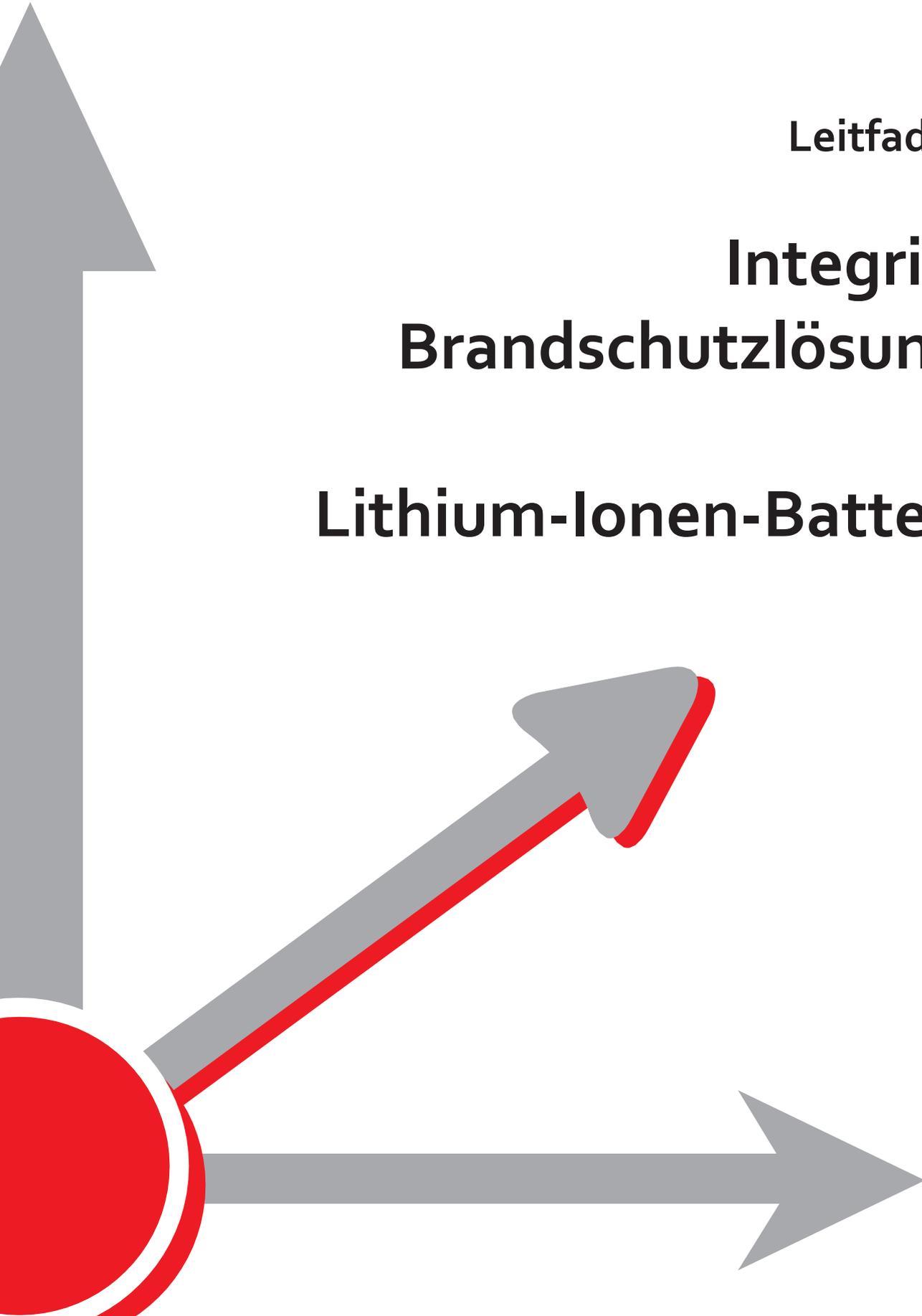


Leitfaden für

**Integrierte  
Brandschutzlösungen  
für  
Lithium-Ionen-Batterien**



## Änderungen Revisionstabelle

Date	Rev #	Wer?	Änderung
15.02.2022	V1.0-EN	Team	Erste Veröffentlichung ( EN)

## HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Dieses Dokument dient ausschließlich der Orientierung der Euralarm-Mitglieder und gegebenenfalls ihrer Mitglieder über den Stand der Dinge in Bezug auf das Thema. Obwohl alle Anstrengungen unternommen wurden, um seine Genauigkeit zu gewährleisten, sollten sich die Leser nicht auf seine Vollständigkeit oder Richtigkeit verlassen, noch sollte es als Rechtsauslegung herangezogen werden. Euralarm haftet nicht für die Bereitstellung unrichtiger oder unvollständiger Informationen.

*Hinweis: Die englische Version dieses Dokuments ist das genehmigte Euralarm-Referenzdokument.*

## Copyright Euralarm

© 2022, Zug, Switzerland

Euralarm • Gubelstrasse 11 • CH-6300 Zug • Switzerland

E: [secretariat@euralarm.org](mailto:secretariat@euralarm.org)

W: [www.euralarm.org](http://www.euralarm.org)

## INHALTSVERZEICHNIS

1	<b>EINLEITUNG</b> .....	4
2	<b>ZUSAMMENFASSUNG und SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	4
3	<b>TECHNOLOGIE und ANWENDUNGEN von Lithium-Ionen-Batterien</b> .....	5
3.1	Anwendungen von Lithium-Ionen-Batterien .....	6
4	<b>BRANDRISIKEN UND GEFAHREN von Lithium-Ionen-Batterien</b> .....	8
4.1	Mit Lithium-Ionen-Batterien verbundene Risiken .....	8
4.2	Ursachen für das Versagen von Lithium-Ionen-Batterien.....	8
4.3	Stadien des Ausfalls von Lithium-Ionen-Batterien.....	9
4.4	Risiken.....	9
4.5	Thermisches Durchgehen und seine Gefahren.....	10
5	<b>ZIELE und HERAUSFORDERUNGEN DES BRANDSCHUTZES</b> .....	11
6	<b>PASSIVER/PRÄVENTIVER BRANDSCHUTZ</b> .....	12
6.1	Zugesetzte Flammenschutzmittel für die thermische Stabilität der Batterie .....	12
6.2	Fehlersicherheit.....	12
6.3	Abteilungen (brandgeschützt) als zusätzliches Gehäuse für die Batterien .....	12
6.4	Überwachung durch das Batteriemanagementsystem (BMS) .....	12
7	<b>DETEKTIONSTECHNOLOGIEN</b> .....	13
7.1	Einleitung.....	13
7.2	Erkennung von Gasen und Partikeln .....	13
7.3	Wärmeerkennung .....	14
7.4	Detektion von Rauch .....	15
7.5	Detektion von Flammen.....	16
7.6	Video-Brand- und Rauchmeldeanlage (VFD) .....	16
8	<b>BRANDSCHUTZSYSTEME (BRAND UNTERDRÜCKUNG und LÖSCHUNG)</b> .....	17
8.1	Automatische Wasserlöschsysteme .....	17
8.2	Gaslöschanlage .....	18
8.3	Schaum- und wasserbasierte Anlagen.....	20
8.4	Pulversysteme.....	21
8.5	Aerosollöschsysteme.....	21
8.6	Sauerstoffreduktionssysteme .....	22
8.7	Tragbare Feuerlöscher.....	22
9	<b>KONZEPTION VON BRANDMELDE- UND FEUERLÖSCHSYSTEMEN IN VERSCHIEDENEN EINSATZBEREICHEN</b> .....	23
9.1	Gestaltungsgrundsätze .....	23
9.2	Lithium-Ionen-Batterien in Anwendung) .....	23
10	<b>SCHLUSSFOLGERUNG</b> .....	31
11	<b>POST FIRE MANAGEMENT</b> .....	31
11.1	Batterien .....	31
11.2	Brandrückstände.....	31
	<b>ANHANG</b> .....	32
1	In diesem Dokument verwendete <b>BEGRIFFE, ABKÜRZUNGEN und DEFINITIONEN</b> .....	32
2	Brandarten / Brandklassen.....	33
3	<b>FÜR DIESES DOKUMENT VERWENDETE MATERIALIEN UND INFORMATIONEN</b> .....	34

## 1 EINLEITUNG

Dieser Euralarm-Leitfaden informiert über die Probleme im Zusammenhang mit der Verwendung von Lithium-Ionen-Batterien, wie Brände in Batterien entstehen können und wie sie entdeckt, kontrolliert, unterdrückt und gelöscht werden können. Darüber hinaus enthält dieser Leitfaden Hinweise zum Umgang mit den Folgen eines Brandes. Fragen im Zusammenhang mit Explosionen und Belüftung sind davon ausgenommen.

Dieser Leitfaden dient als Orientierungshilfe für alle Fachleute, die sich mit Brandsicherheit, Brandschutz, Löschen und Brandbekämpfung im Zusammenhang mit der Nutzung, Lagerung oder dem Transport von Lithium-Ionen-Batterien und den damit verbundenen Brandrisiken befassen. Auf Aspekte von Konsumgütern wird in diesem Leitfaden nicht eingegangen.

Das Papier ist als allgemeiner Leitfaden zu verstehen und ersetzt keine ausführliche Beratung in konkreten Fällen. Der Leitfaden entspricht dem derzeitigen Kenntnisstand der Industrie und wird aktualisiert, sobald weitere Informationen verfügbar sind.

## 2 ZUSAMMENFASSUNG und SCHLUSSFOLGERUNGEN

Lithium-Ionen-Batterien haben sich in einer Reihe von Bereichen zur bevorzugten Batterietechnologie entwickelt, darunter Stromerzeugung, Kommunikation, Industrie, Fahrzeuge und zahlreiche andere Anwendungen. Die Grundlage für die immer größere Beliebtheit von Lithium-Ionen-Batterien ist die große Menge und hohe Verfügbarkeit der gespeicherten Energie. Die im Verhältnis geringe Häufigkeit größerer Zwischenfälle zeugt von den Bemühungen und dem erfolgreichen Design, das dem kritischen Aspekt der Verwendung solcher hochdichten Energieprodukte gewidmet ist. Allerdings reicht aktives Batteriemanagement nicht aus, um kritische Situationen gänzlich zu verhindern. Es bedarf daher mehrerer Sicherheitsebenen, um die schwerwiegenden Folgen eines Versagens in einer Lithium-Ionen-Batterie zu minimieren.

Allein das Vorhandensein von Lithium-Ionen-Batterien in einem Raum führt zu einem beträchtlichen Brandrisiko, da Lithium-Ionen-Batterien hochenergetische Materialien mit leicht entzündlichen Elektrolyten enthalten. Eine Beschädigung des Separators im Inneren der Batterien (durch einen mechanischen Schaden oder hohe Temperaturen) kann einen internen Kurzschluss zur Folge haben, der mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem thermischen Durchgehen führt. Ist eine Zelle thermisch durchgebrannt, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich die Hitze auf benachbarte Zellen ausbreitet, was eine Kettenreaktion mit oft verheerenden Folgen nach sich zieht.

Zur Begrenzung der Wahrscheinlichkeit und der Folgen eines Lithium-Ionen-Batterie-Brandes muss stets eine kohärente Strategie verfolgt werden, die Risikovermeidung, Früherkennung, Interventionsmaßnahmen, aktives Löschen und physische Trennung umfasst.

Die zunehmende Anzahl von Lithium-Ionen-Batterien und die steigende Menge an gespeicherter Energie in unterschiedlichen Energiespeicheranwendungen stellen eine neue Art der Brandgefahr dar, die den Brandschutz vor Herausforderungen stellt. Es stehen zahlreiche Technologien zur Verfügung, mit denen entstehende Brände in den verschiedenen Stadien erkannt werden können. Die frühzeitige Erkennung spielt jedoch eine entscheidende Rolle, da sie frühzeitig die Möglichkeit bietet, die Ausbreitung des thermischen Durchgehens zu verhindern und den Gesamtschaden signifikant zu verringern. Die Erkennung der Elektrolytfreisetzung, die in den frühen Stadien des Batterieversagens erfolgt, ist ein Bereich der Innovation, für den sich die Zulassung solcher Systeme abzuzeichnen beginnt. Rauch- und Wärmemeldesysteme sind auch für Brandmeldung und die Aktivierung eines Brandlöschsystems geeignet - falls ein frühzeitiges Abschalten nicht erfolgreich ist.

Automatische Brandlöschsysteme löschen oder verhindern Entstehungsbrände, um Gegenstände, Räume oder ganze Gebäude vor Bränden und deren Folgen zu schützen. Hierzu werden Löschmittel auf Wasserbasis, Schäume, Pulver, Aerosole und gasförmige Löschmittel benutzt. Entscheidend bei jeder Brandlöschanlage sind jedoch die Auswahl des für die jeweilige Gefahr am besten geeigneten Mittels, die Konzeption der Anlage, die korrekte Ausbringung des Löschmittels sowie die ordnungsgemäße Installation der Anlage. Außerdem müssen zugelassene Anlagen verwendet und ständig von entsprechend geschultem Personal gewartet werden.

**Für jede Brandschutzanwendung ist eine bestimmte Lösung erforderlich, basierend auf der Verwendung von zugelassenen Systemen, da es kein Schutzkonzept gibt, welches für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet ist.**

Vor der Auswahl des optimalen Konzepts müssen die Ziele der Maßnahmen, das Schutzkonzept und die möglichen Nebenwirkungen der eingesetzten Technologien berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den auf dem Markt verfügbaren

technischen Optionen muss die gesamte Umgebungssituation der Anwendung berücksichtigt werden.

Auch wenn ein Batteriebrand gelöscht ist, besteht immer noch eine erhebliche Brandgefahr, da die Batterien, die von dem Brand betroffen sind, vermutlich noch heiß sind, brennbare und giftige Gase freisetzen und sich erneut entzünden können. Daher ist es notwendig, dass die Nachlöscharbeiten so schnell wie möglich von entsprechend ausgerüstetem und geschultem Personal durchgeführt werden.

### 3 TECHNOLOGIE und ANWENDUNGEN von Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien (häufig auch als Li-Ionen-Batterien bezeichnet) sind auf dem Vormarsch und haben sich aufgrund ihres guten Verhältnisses von Energie zu Gewicht und Volumen in zahlreichen Anwendungen zur bevorzugten Batterie entwickelt.

#### Technologie der Lithium-Ionen-Batterie

In Bezug auf Material, chemische Zusammensetzung und Aufbau sind Lithium-Ionen-Batterien sehr verschieden und werden ständig weiterentwickelt. Im Gegensatz zu Lithiumbatterien, die nicht wiederaufladbar sind, enthalten sie Lithiumionen in einem brennbaren Elektrolyten. Allerdings enthalten sie kein freies Lithiummetall. In der Regel kombinieren Lithium-Ionen-Batterien hochenergetische Materialien mit leicht entzündlichen Elektrolyten.

Die Zellengehäuse bestehen in der Regel aus Metall oder Polymeren in Form von Zylindern (Jellyroll), Pouch oder prismatischer Ausführung. Bei den Kathoden handelt es sich um ein oxidbeschichtetes Lithium, z. B. Lithium-Kobalt-Oxid, mit einer Anode, z.B. Grafit, die sich in einem Elektrolyten mit einem Polyfilmseparator befindet.

Je nach Einsatz und Anwendung variieren die Batterien in Größe und Konfiguration. Größere Batterien sind beispielsweise in Energiespeichersystemen (ESS) und Fahrzeugen zu finden, wohingegen kleinere Batterien in Laptops und Mobiltelefonen und vielen anderen Anwendungen eingesetzt werden.

Zur Erhöhung der Spannung werden die Batterien in Reihe geschaltet, zur Erhöhung des maximalen Stroms parallel.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die erwartete Entwicklung der Batteriechemie. Es ist zu erwarten, dass die hier betrachteten Technologien der heutigen Batterien noch bis zur Mitte des nächsten Jahrzehnts weit verbreitet sein werden.

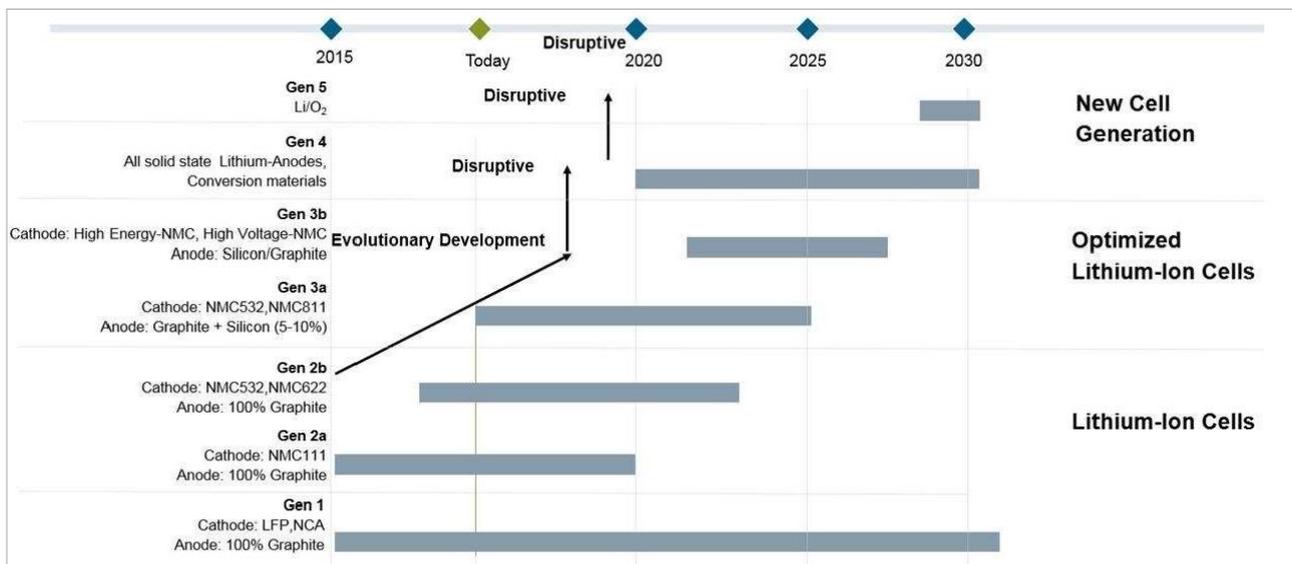


Abbildung 1: Zukünftige Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien

(Quelle: SIEMENS White Paper "Brandschutz für Lithium-Ionen-Batterie-Energiespeichersysteme" - Mai 2020)

### 3.1 Anwendungen von Lithium-Ionen-Batterien

Im Vergleich zu anderen Zell- und Batterietechnologien wie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) und Nickel-Metallhydrid (NiMH) bieten Lithium-Ionen-Batterien eine größere Kapazität und einen zuverlässigen Betrieb. Angesichts dieser Eigenschaften haben sich Lithium-Ionen-Batterien in zahlreichen Bereichen zur bevorzugten Batterietechnologie entwickelt, u. a. in der Stromerzeugung, in der Kommunikationstechnik, der Industrie, in Fahrzeugen und militärischen Anwendungen und in der Raumfahrt.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die wichtigsten Verwendungszwecke (die gängigsten Anwendungen) für wiederaufladbare Batterien und deren typische Batteriekapazitäten für die jeweilige Anwendung kurz beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass **im Falle eines Brandes die Verbrennungswärme direkt mit der Batterieleistung zusammenhängt.**

#### Batterie-Management-Systeme

Bei vielen Lithium-Ionen-Batterieanwendungen ist die wohl wichtigste elektronische Komponente das Batteriemanagementsystem (BMS), das neben der Steuerung und Überwachung des Ladezustands auf Zell- und Systemebene auch die Temperaturüberwachung und die Steuerung, während der Lade- und Entladezyklen übernimmt.

Ein effizientes BMS sorgt dafür, dass die Zellen im vorgesehenen sicheren Betriebsbereich bleiben, sodass eine Überladung und Überentladung vermieden wird.

#### 3.1.1 Wiederaufladbare, tragbare Kleingeräte und andere häufig verwendete elektronische Geräte

Der Überbegriff "tragbare Geräte" umfasst ein sehr breites Spektrum von Anwendungen für solche Batterien im privaten und beruflichen Gebrauch. Hierzu gehören Mobiltelefone, Smartphones, Laptops, Tablets, E-Reader, Kameras und zahlreiche andere elektronische Geräte, die mit wiederaufladbaren Batterien betrieben werden (z. B. Elektrowerkzeuge usw.). Diese Produkte sind in der Regel mit einer **Batteriekapazität von 2 bis 30 Wh** ausgestattet (siehe Tabelle 1).

Gerät	Kapazität der Batterie
Kameras	2,5 - 9 Wh
Mobiltelefone / Smartphones	7 – 10 Wh
Laptops/Tablets	15 – 27 Wh
Elektrische Werkzeuge	3,6 – 18 Wh

*Tabelle 1: Batteriekapazität von tragbaren Geräten  
(Quelle: Zahlen von verschiedenen Herstellern)*

#### 3.1.2 Kleine elektrische Fortbewegungsmittel

Kleine elektrische Fortbewegungsmittel umfassen unterschiedliche Arten von kleineren Geräten/Fahrzeugen, die die Fortbewegung von ein bis zwei Personen ermöglichen und zusätzlich zum Antrieb durch den Menschen über einen Elektromotor verfügen. Die Energie dafür wird meist aus externen wiederaufladbaren Batterien bezogen. Die Batterien solcher Produkte variieren **typischerweise von 50 bis zu 1250 Wh** (siehe Tabelle 2).

Ausstattung/Fahrzeug	Kapazität der Batterie
Elektrisches Skateboard	50 – 500 Wh
E-bikes	500 -1250 Wh

*Tabelle 2: Batteriekapazität bei kleinen elektrischen Fahrzeugen  
(Quelle: Zahlen von verschiedenen Herstellern)*

#### 3.1.3 Notstromanlage oder USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung)

Bei einem Notstromsystem handelt es sich um eine unabhängige Stromquelle, die wichtige elektrische Systeme bei Ausfall der normalen Stromversorgung unterstützt. Ein Notstromsystem kann aus einem Notstromgenerator, Batterien und anderen Geräten bestehen. Notstromsysteme werden installiert, um Menschen und Gegenstände vor den Folgen eines Stromausfalls der Hauptstromversorgung zu schützen. Hierbei handelt es sich um eine Art kontinuierliches Stromversorgungssystem. Diese Systeme werden in einer Vielzahl von Bereichen eingesetzt, von Privathaushalten über Krankenhäuser, wissenschaftliche Labors, Datenzentren, Telekommunikationseinrichtungen und Schiffe. Die Batteriekapazität solcher Systeme variiert typischerweise **zwischen 1 und 200 kWh** (siehe Tabelle 3).

Kapazität der Batterie	
Klein	1 – 5 kWh
Mittel	50 – 100 kWh
Groß	100 – 200 kWh

**Tabelle 3:** Batteriekapazität in EPS / EPS  
(Quelle: Zahlen von verschiedenen USV-Herstellern)

### 3.1.4 Elektromobilität und Elektroautos (Elektrifizierung von Fahrzeugen)

Zur Elektromobilität gehören alle Fahrzeuge und Boote, die von einem Elektromotor angetrieben werden und die Energie primär aus dem Stromnetz beziehen - also extern aufgeladen werden können. Dazu gehören

- rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (EV)
- Fahrzeuge mit einem Elektromotor und einem kleinen Verbrennungsmotor (Range Extended Electric Vehicles - REEV)
- Hybridfahrzeuge, die über das Stromnetz aufgeladen werden können (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV)
- Elektrobusse
- Elektroboote/-schiffe

Elektroautos (EV) sind gegenwärtig mit Batteriekapazitäten in einem **Bereich zwischen 25 - 100 kWh** erhältlich, während andere Fahrzeuge **bis zu 2500 kWh** Kapazität haben können (siehe Tabelle 4).

Modell	Batterie	
Fiat 500	24 – 42	kWh
Renault Zoe	41 – 52	kWh
Tesla Model 3	55 – 75	kWh
VW ID.4	62 – 82	kWh
Ford Mach-E	76 – 99	kWh
Porsche Taycan	79 – 93	kWh
Elektrobusse	100 – 500	kWh
Elektroboote	20 – 200	kWh
Elektroboote	200 – 2500	kWh

**Tabelle 1:** Batteriekapazität in Fahrzeug Elektrifikation (Quelle: ADAC und Wikipedia)

### 3.1.5 Energiespeichersysteme (ESS)

Batterie-Energiespeichersysteme (ESS) umfassen ein breites Spektrum von Anwendungen in der Stromversorgung - von der Erzeugung bis zum Verbrauch. Diese Systeme tragen dazu bei, die Leistung von Anlagen zu optimieren, indem sie den Strombedarf im gesamten Netz glätten, Frequenz und Spannung stabilisieren und Schwankungen zwischen Angebot und Nachfrage in der industriellen und privaten Stromversorgung ausgleichen.

Einige Beispiele für ESS-Anwendungen:

- Stromversorgungssysteme für Netze und Microgrids
- Elektrizitätsversorgung für die Industrie
- Integration von erneuerbaren Energien

Auf dem Markt sind derzeit ESS mit Batteriekapazitäten zwischen 5 und 500 kWh und in sehr großen Ausführungen mit einer Kapazität von mehreren tausend kWh erhältlich (siehe Tabelle 5). Da die gespeicherte Energie sehr hoch ist, stellen Lithium-Ionen-Batterie-Energiespeichersysteme eine Anwendung dar, für die ein umfassender Brandschutz notwendig ist.

Kapazität der Batterie	
Wohnhaus	5 – 50 kWh
Mittel	200 - 500 kWh
Groß	➤ 4000 kWh

**Tabelle 5:** Batteriekapazität in ESS  
(Quelle: von der Redaktion erhobene Zahlen)

Durch das Vermögen zur schnellen Speicherung und Entnahme von Energie aus Lithium-Ionen-Batterien ist ihre zunehmende Beliebtheit begründet worden. Die verhältnismäßig niedrige Häufigkeit größerer Zwischenfälle ist ein Beweis für die erfolgreichen Bemühungen und das grundsätzlich sichere Design, das für die Nutzung solcher Hochleistungsprodukte angewandt wird. Allerdings kommt es immer wieder zu Zwischenfällen, und dies macht zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich, um die schwerwiegenden Folgen eines Ausfalls einer Lithium-Ionen-Batterie zu minimieren.

#### 4.1 Mit Lithium-Ionen-Batterien verbundene Risiken

Um das Brandrisiko von Lithium-Ionen-Batterien zu verstehen, ist es wichtig, zunächst die Batterietechnologie zu kennen.

Im Mittelpunkt des Batteriesystems stehen die elektrochemischen Batteriezellen. Eine solche Lithium-Ionen-Zelle besteht aus zwei Elektroden, der Anode (negative Elektrode) und der Kathode (positive Elektrode). Auf diese Elektroden sind ein Kollektor und ein aktives Material aufgebracht. In der Mitte zwischen den Elektroden befindet sich der ionenleitende (in der Regel entflammable) Elektrolyt. Hierbei handelt es sich um ein Gemisch aus in organischen Lösungsmitteln gelösten Lithiumsalzen mit verschiedenen Zusätzen, das als

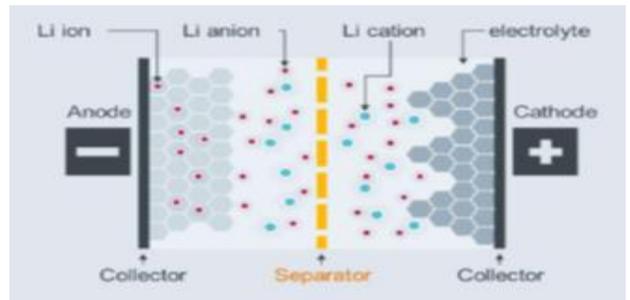


Abbildung 1: Aufbau der Li-Ionen-Batterie

Abschließend gibt es einen Separator, der die elektrische Trennung der Elektroden gewährleistet und zugleich einen effizienten Ionenaustausch ermöglicht.

Weil Lithium-Ionen-Batterien hochenergetische Materialien mit oftmals entflammablen Elektrolyten kombinieren (sie verwenden organische Lösungsmittel wie z. B. Ethylkarbonat gemischt mit leichter flüchtigen linearen Karbonaten), führt jede Beschädigung des Separators (entweder mechanisch oder durch hohe Temperaturen verursacht) zu einem internen Kurzschluss mit hoher Wahrscheinlichkeit eines **thermischen Durchgehens** (siehe Kapitel 4.5.1). Sicherheitsrelevante Situationen sind fast unvermeidlich.



**HINWEIS:** Für einige Branchen und Anwendungen sind die Batteriezellen in IP-geschützten versiegelten Batteriepacks enthalten. Daher kann es schwierig oder gar unmöglich sein, das Feuerschutzmittel auf die Batteriezellen zu verteilen. Die Konstruktionsmethode hat einen großen Einfluss auf das Risiko und die Strategien zur Schadensbegrenzung.

#### 4.2 Ursachen für das Versagen von Lithium-Ionen-Batterien

Das Versagen von Lithium-Ionen-Batterien und die daraus resultierende Gefahr der Überhitzung und/oder Selbstentzündung (siehe "thermisches Durchgehen") kann eine oder mehrere der folgenden Ursachen haben:

- Interne Herstellungsfehler (Materialfehler, Verunreinigungen, Montage-/Konstruktionsfehler)
- Physische Beschädigung (beim Zusammenbau zu Fertigprodukten, beim Versand, bei der Handhabung, bei der Abfallentsorgung oder während des Betriebs; egal ob zufällig oder böswillig)
- Defekt des Separators durch Dendritenbildung (durch unerkannte Alterung und anschließenden internen Kurzschluss)
- Mechanischer Missbrauch (Quetschung/Durchdringung)
  - Thermische Überbelastung Aussetzung gegenüber hohen Temperaturen (d.h. nicht klimatisierte Lagerung)
  - Einwirkung von Feuer
  - Hitze von benachbarten Zellen\*
- Elektrische Überbelastung
  - Überladung/Überentladung,
  - Kurzschluss

\*) : So bestehen Lithium-Ionen-Batterien, wie sie z. B. in Elektrofahrzeugen verwendet werden, aus vielen Hunderten oder sogar Tausenden von Einzelzellen. Überhitzt eine einzelne Zelle, fängt sie Feuer oder explodiert sie gar, kann die Ausbreitung der Hitze auf benachbarte Zellen schnell zu einer katastrophalen Situation führen.

### 4.3 Stadien des Ausfalls von Lithium-Ionen-Batterien

Ein Ausfall von Lithium-Ionen-Batterien kann in vier verschiedenen Phasen auftreten, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind:

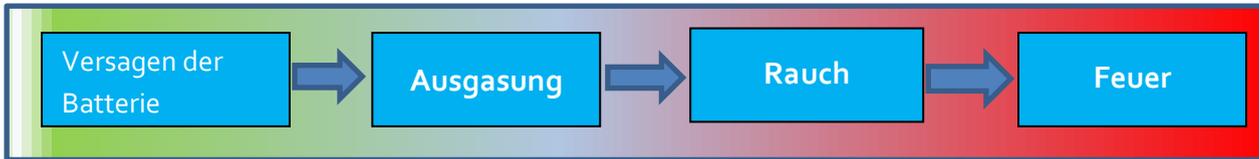


Abbildung 3: Phasen des Brandes einer Lithium-Ionen-Batterie

#### 4.3.1 Ausgasung

Die Ausgasung tritt vor dem eigentlichen thermischen Durchgehen der Batteriezelle auf. Sie nimmt dann zu, wenn das thermische Durchgehen eintritt, und setzt sich auch danach fort. Zylindrische und prismatische Zellen haben in der Regel Druckentlastungsöffnungen, um den Überdruck abzubauen. Pouch-Zellen verfügen in der Regel nicht über solche Druckentlastungsmechanismen. Vielmehr kann sich die Hülle bis zu einem gewissen Grad ausdehnen, um ein gewisses Maß an Ausgasung zuzulassen, ist aber so konstruiert, dass er platzt (oft entlang einer Naht oder dafür vorgesehenen Schwachstelle). Der Überdruck wird so auf vorhersehbare Weise an einem vorhersehbaren Ort abgebaut. Diese anfängliche Ausgasung bietet eine gute Möglichkeit für ein frühzeitiges Eingreifen, sofern sie erkannt werden kann.

#### 4.3.2 Rauch

Sobald die Temperaturen, die durch eine defekte Batterie erzeugt werden, die Auslegungsgrenzen der Konstruktionsmaterialien überschreiten, erzeugt ihre Zersetzung Rauch. Dieser Rauch wird insbesondere durch Zersetzungspartikel gebildet, die von den thermischen Luftströmen getragen werden, welche mit den hohen Temperaturen einhergehen. Unter Umständen - z. B. wenn das Versagen der Batterie durch äußere Hitze ausgelöst wird - kann bereits Rauch freigesetzt werden, bevor die Ausgasung einsetzt. In diesem Fall kann und sollte eine frühzeitige Raucherkenntnis genutzt werden, um entsprechende Interventionsmaßnahmen einzuleiten. Im Gegensatz dazu ist es wahrscheinlicher, dass Rauch und hohe Außentemperaturen entstehen, nachdem eine Ausgasung stattgefunden hat (wie in Abbildung 3 zu sehen), wenn die Hitze intern durch andere Fehlerquellen erzeugt wird (z. B. Überladung).

#### 4.3.3 Feuer

Bei erhöhten Temperaturen, Rauchwolken aus potenziell entflammaren Gasen und zunehmenden Rauchmengen sind der Übergang zu einem Brandzustand und die Entwicklung von Flammen fast unvermeidlich - vor allem dann, wenn das thermische Durchgehen nicht kontrolliert wird und sich mit exponentiellem Temperaturanstieg auf benachbarte Zellen ausbreitet.

### 4.4 Risiken

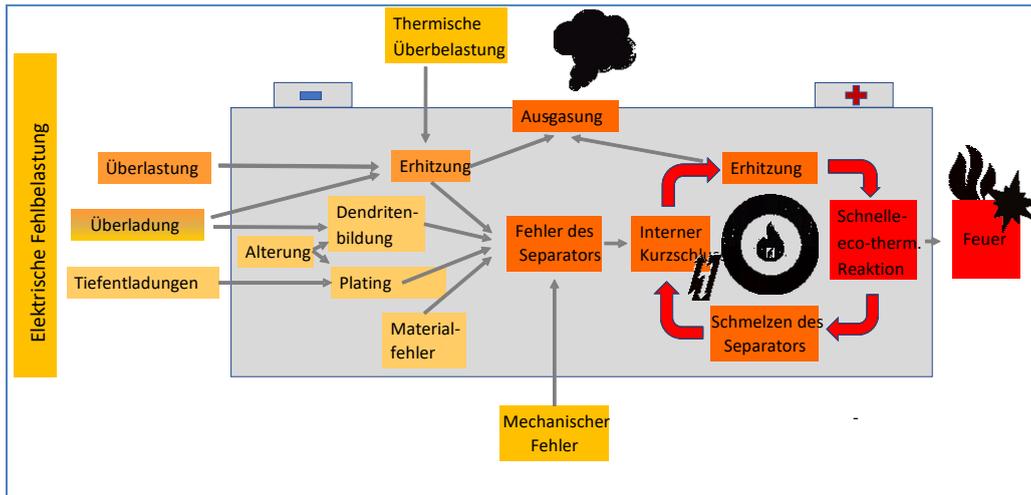
Von dem Zeitpunkt an, an dem ein Brand festgestellt wird und sich entwickelt, geht die Aufgabe von der Brandverhütung zur Unterdrückung und Eindämmung über. Bereits das bloße Vorhandensein von Lithium-Ionen-Batterien in einem Raum stellt ein erhebliches Brandrisiko dar - unabhängig davon, ob sie gelagert oder in Betrieb sind. Aus diesem Grund müssen stets Maßnahmen ergriffen werden, um die Ausbreitung des Feuers zu begrenzen, falls es dazu kommt. Die Eindämmung ist daher eine grundlegende Überlegung zur Risikominderung und muss die schwerwiegenden Folgen eines Brandes einer Lithium-Ionen-Batterie berücksichtigen, darunter

- Freisetzung giftiger Gase (HF, CO, CO<sub>2</sub>, POF<sub>3</sub>, usw.)
- Freisetzung von Wärme
- Verbrennung von brennbaren Materialien
- Explosionsgefahr

## 4.5 Thermisches Durchgehen und seine Gefahren

### 4.5.1 Was ist ein "Thermal Runaway"?

Ein **thermisches Durchgehen** von Lithium-Ionen-Batterien entsteht, wenn eine einzelne Zelle oder ein Bereich innerhalb einer Zelle aufgrund von thermischem Versagen, mechanischem Versagen, internem/externem Kurzschluss, Überentladung, Überladung oder elektrochemischer Fehlfunktion zu hohe Temperaturen erreicht. Wenn die Zelle eine so hohe Innentemperatur erreicht, dass sich der Elektrolyt, eine organische Flüssigkeit, entzündet, bricht das Oxidmaterial in der Kathode zusammen und setzt Sauerstoff frei. Die beschädigte Zelle enthält nun Brennstoff (flüssiger organischer Elektrolyt) und Sauerstoff (aus den Oxiden in der Kathode) für ein Feuer, das selbst Sauerstoff erzeugen kann, was seine Löschung extrem erschwert.



*Abbildung 4: Ursache-Wirkungs-Beziehungen, die zum thermischen Durchgehen bei Lithium-Ionen-Zellen führen*

Bei erhöhten Temperaturen (vor dem thermischen Durchgehen) setzt die exotherme Zersetzung der Zellmaterialien ein. In der Folge baut sich der Innendruck in der Zelle auf, bis der Elektrolytdampf zunächst über ein Überdruckventil oder durch kontrolliertes Zerbrechen der Hülle entweicht. Eine frühzeitige Erkennung der Dämpfe, die in der Anfangsphase der Ausgasung entweichen, kann die Möglichkeit bieten, in die Prozesse rund um die Batterie einzugreifen - vor allem in die Lade- und Kühlsysteme, die sie unterstützen. Zu diesem Zeitpunkt sind die vorherrschenden Gase die Lösungsmittel des Elektrolyten.

Wenn die Selbsterwärmung der Zelle größer ist als die Wärmeabgabe an die Umgebung, steigt die Zellentemperatur exponentiell an, die Stabilität geht verloren und es kommt zum thermischen Durchgehen. Die dabei entstehenden Gase sind ein Anzeichen für thermische Zersetzung und umfassen CO, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>. Durch den Verlust der Stabilität wird auch die gesamte verbleibende thermische und elektrochemische Energie an die Umgebung abgegeben.

Der **thermische Durchbruch** erfolgt in der Regel zunächst in einer einzelnen Zelle, ehe die thermische Ausbreitung zu einem Dominoeffekt in den benachbarten Zellen führt. Wenn ein solches thermisches Durchgehen einsetzt:

- **Es gibt keine Technologie, die erwiesenermaßen ein thermisches Durchgehen in einer Zelle STOPPT**
- er braucht keinen Sauerstoff, um sich zu entwickeln
- dauert es zunächst nur einige Sekunden in einer einzelnen Zelle - je nach Anzahl der Zellen in einem Batteriesystem und durch den Dominoeffekt kann es von Stunden bis zu mehreren Tagen dauern.
- führt es zu hohen Temperaturen (über 600°C) in den Materialien, die viele Stunden andauern können.

### 4.5.2 Gründe für das thermische Durchgehen

Ursachen für die Gefahr sind die komplexe und komplizierte Bauweise, die ständig steigende Energiedichte und die Alterung der Batterie. Durch Mängel und physische Beschädigungen können auch interne Kurzschlüsse entstehen, die zum Ausfall der Zellen führen. Andererseits gibt es Ereignisse, die zu einem Zellversagen führen können, die von außen auf die Zellen einwirken und so entdeckt werden können. In der frühen Phase des thermischen Durchgehens steigen die Temperatur und die Wärmefreisetzung sowie die Freisetzung von entflammbarem/giftiger Elektrolyt. Dieser Prozess beschleunigt sich, je näher das Zellversagen rückt. Ohne Gegenmaßnahmen wird ein explosives Gas-Luft-Gemisch erzeugt: Wenn dann eine Zündquelle vorhanden ist, kann es zu einer Explosion kommen. Wird die Erhitzung

nicht gestoppt, kommt es zum thermischen Durchgehen.



**Hinweis:** Das Potenzial für thermisches Durchgehen wird durch den Ladezustand, die Betriebsbedingungen, die Batterieelektrodenmaterialien, den Elektrolyt und den Separator beeinflusst.

## 5 ZIELE und HERAUSFORDERUNGEN DES BRANDSCHUTZES

Mit der zunehmenden Anzahl von Lithium-Ionen-Batterien und der steigenden Menge an gespeicherter Energie in verschiedenen Energiespeicheranwendungen entsteht eine neue Art von Brandgefahr, die noch nicht vollständig erkannt ist. Das Thema Brandschutz ist eine vielschichtige Herausforderung, die in diesem Dokument jedoch in drei verschiedene Aspekte unterteilt wird:

- Prävention (passiver/vorbeugender Brandschutz):
  - Alle Möglichkeiten, die Entstehung einer bedrohlichen Situation zu verhindern, sollten genutzt werden
  - Die richtige Wahl der Materialien ist entscheidend
  - Eine angemessene Abschottung und Trennung der Anlagen sind erforderlich
  - Genaues Energiemanagement und Überwachung der Leistung während des Ladens und Entladens der Batterien ist unerlässlich.
  - Siehe Kapitel 6 für weitere Einzelheiten
- Branderkennung:
  - Zuverlässige Erkennung der ersten Anzeichen eines bedrohlichen Ereignisses kann Zeit verschaffen, um einzugreifen und eine Eskalation der Gefahr zu vermeiden
  - Es kann ein geeignetes Signal für die Auslösung eines Brandlöschsystems liefern, wenn anderes frühzeitiges Eingreifen (z.B. Notabschaltung) fehlschlägt
  - Siehe Kapitel 7 für weitere Details
- Brandlöschung
  - Löschen von äußeren Flammen, aber Flammenlöschung allein reicht nicht aus
  - Kühlung ist unbedingt erforderlich, um die hohen Temperaturen zu senken
  - Kühlung während des gesamten Prozesses des thermischen Durchgehens des betroffenen Moduls (die Konstruktion muss sicherstellen, dass die Kühlung über einen Zeitraum möglich ist, der lang genug ist, um die Gefahr abklingen zu lassen)
  - das Übergreifen des thermischen Durchgehens vom Modul zu Modul verhindern
  - Kontrollierte Entlastung von Überdruck aus dem Batteriemodul aufgrund von Ausgasung, d. h. Vermeidung des Berstens der Hülle
  - Für weitere Einzelheiten siehe Kapitel 8

In sämtlichen Phasen ist es wichtig zu berücksichtigen, dass es verschiedene Batteriehersteller und viele Batterietypen auf dem Markt gibt.

## 6 PASSIVER/PRÄVENTIVER BRANDSCHUTZ

Unter passivem bzw. vorbeugendem Brandschutz versteht man die "Verringerung des Brandrisikos" bzw. die "Schadensminderung bei Bränden" durch vorbeugende Maßnahmen. Dies kann heutzutage durch folgende Maßnahmen geschehen:

### 6.1 Zugesezte Flammenschutzmittel für die thermische Stabilität der Batterie

Unter dem Begriff Flammenschutzmittel wird eine Reihe von Chemikalien zusammengefasst, die verarbeiteten Materialien wie Kunststoffen und Textilien sowie Oberflächenbehandlungen und Beschichtungen zugesetzt werden. Sie werden bei Vorhandensein einer Zündquelle eingesetzt und sollen die weitere Entfaltung einer Flammenbildung durch eine Vielzahl unterschiedlicher physikalischer und chemischer Methoden verhindern oder verlangsamen.

### 6.2 Fehlersicherheit

Massnahmen zur Verhinderung und/oder Verringerung der durch thermisches Durchgehen verursachten Schäden, z.B. Sperrfunktion des Separators und Entlüftung der Zellen.

### 6.3 Abteilungen (brandgeschützt) als zusätzliche Einhausung für Batterien

Eine Möglichkeit zur Bekämpfung von Bränden in Lithium-Ionen-Batterien besteht darin, die Batterie und das Feuer einzuschließen, um zu verhindern, dass es auf andere Zellen oder Materialien übergreift. Das kann eine Lösung für kleine tragbare batteriebetriebene Geräte sein. Gegenwärtig geben z. B. die meisten kommerziellen Fluggesellschaften eine feuerfeste Tasche an die Flugzeugbesatzung aus, mit der kleine Batteriebrände in Flugzeugen erfolgreich eingedämmt werden konnten.

Sobald die Größe der Batterie zunimmt, wird die Auswahl der Eindämmungsmethoden komplizierter. Bei Fahrzeugen beispielsweise erhöht die Eindämmung das Gewicht des Fahrzeugs, was nicht unbedingt die beste Lösung ist. Der Schutz des Batteriesatzes vor mechanischer Beschädigung wird jedoch als Kompromiss vorgenommen.

Bei großen Energiespeichersystemen kann die Verwendung von Brandwänden zwischen den Batteriemodulen und deren Einbau in gesonderten ISO-Containern die Ausbreitung des Feuers von einem Modul zum anderen eindämmen. Der Einsatz von feuerbeständigen Containern (in der Regel 90+ Minuten Feuerbeständigkeit) mit Explosionsschutz kann bei großen Systemen und sogar bei Fahrzeugen nach einem Unfall verwendet werden. Diese Container können auch mit einem Brandunterdrückungs-/Löschsystem ausgestattet werden.

### 6.4 Überwachung durch das Batteriemanagementsystem (BMS)

Wenn ein Batteriemanagementsystem (BMS) installiert ist, kann es frühzeitig Informationen zur Erkennung ungewöhnlicher Betriebsdaten von Batterien liefern. So können Parameter wie Zelltemperatur, Spannung, Stromstärke, Ladezustand usw. vom BMS überwacht und kontrolliert werden, und bei anormalen Daten wird ein Alarm oder eine andere Kontrolle/Aktion ausgelöst.

Zu den Interventionsmaßnahmen können gehören:

- Teilabschaltung oder vollständige Abschaltung des Systems
- Verstärkung der Belüftung, um eine mögliche Ansammlung von explosiven Dämpfen zu verringern
- verstärkte Kühlung, um schnellstmöglich so viel Wärme wie möglich abzuführen

Das schnelle Abschalten und die Isolierung einzelner Batteriebanken ist unerlässlich, um die Vorteile der Brandmelder- und Löschsysteme zu nutzen, die ihrerseits aktiviert werden, wenn Ereignisse eintreten, die sich der Kontrolle des BMS entziehen (oder das BMS selbst ausfällt).

 **HINWEIS:** Im Rahmen des Projekts Horizont 2020 - "**Electric Vehicle Enhanced Range, Lifetime and Safety Through INGenious battery management (EVERLASTING)**" - werden innovative Technologien zur Verbesserung der Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien durch die Entwicklung genauerer und standardisierter Batterieüberwachungs- und -managementsysteme entwickelt. Auf diese Weise lässt sich das Verhalten der Batterien unter allen Umständen und über ihre gesamte Lebensdauer hinweg vorhersagen, und es wird ein proaktives und wirksames Batteriemangement ermöglicht. Dies führt zu einer höheren Zuverlässigkeit und Sicherheit und ermöglicht es, Probleme zu vermeiden, statt sie zu lindern. Weitere Einzelheiten zu diesem Projekt finden Sie unter <https://everlasting-project.eu/>

### 7.1 Einleitung

Bei Anwendungen und Geräten mit Lithium-Ionen-Batterien ist eine (sehr) schnelle Erkennung von Zellen/Batterien, die ungewöhnliche Anzeichen aufweisen, erforderlich, um einen thermischen Durchgehen nach Möglichkeit zu vermeiden. Bei der Entwicklung von Brandschutzsystemen für Lithium-Ionen-Batteriesysteme ist daher eine frühzeitige und zuverlässige Branderkennung ein Muss. Der Einsatzort der Batterien hat jedoch einen großen Einfluss auf die Eignung der verschiedenen Lösungen, insbesondere bei mobilen Anwendungen wie Fahrrädern oder Kraftfahrzeugen, wo die Detektionssysteme typisch nicht installiert werden können.

Hinzu kommt, dass ein Entstehungsbrand, der vielleicht in einem an die Batterien angrenzenden Bereich entsteht, mit automatisierten, gezielten Löschsystemen schnell gelöscht werden muss, um zu verhindern, dass eine große Anzahl von Zellen, Batterien oder Batteriemodulen thermisch durchgeht und Feuer fängt (siehe folgende Kapitel).

Jedes Feuer in Lithium-Ionen-Batterien beginnt mit der Ausbreitung von Gas und Partikeln. Anschließend wird in den nächsten Stadien der Brandentwicklung Rauch mit anschließender Flammenbildung sichtbar.

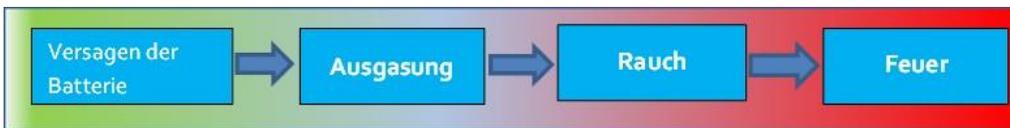


Abbildung 5: Phasen des Brandes einer Lithium-Ionen-Batterie

Zur Erkennung solcher Entstehungsbrände in den verschiedenen Stadien stehen viele verschiedene Technologien zur Verfügung, doch vor der Auswahl eines Detektionssystems sind einige grundlegende Prinzipien zu berücksichtigen:

- **Eine sehr frühe Erkennung von Bränden anhand von Gas oder Rauch ist möglich, sobald die erste Ausgasung einer ersten Zelle begonnen hat.** Nach einem solchen Ausgasungsereignis kann eine zuverlässige Erkennung mit verschiedenen Arten von Technologien durchgeführt werden.
- **Das Detektionssystem spielt eine Schlüsselrolle,** da es erforderlich ist frühzeitige Interventionsmaßnahmen einzuleiten, um die Propagation des thermischen Durchgehens zu stoppen und den Gesamtschaden erheblich zu begrenzen.
- Da verschiedene Detektionstechnologien und Detektortypen unterschiedliche Eigenschaften haben, **ist von Fall zu Fall oder je nach Anwendung/Anlage eine geeignete Lösung zu wählen.**

### 7.2 Erkennung von Gasen und Partikeln

Gaswarnsysteme erkennen molekulare Konzentrationen von Gasen oder Dämpfen in der Luft. Diese können auf die typischen Produkte des thermischen Durchgehens wie Wasserstoff ( $H_2$ ), Kohlenmonoxid ( $CO$ ) und Kohlendioxid ( $CO_2$ ) ansprechen, aber Systeme, die auf die als Elektrolyte verwendeten organischen Lösungsmittel ansprechen, haben das Potenzial, die Ausgasung zu erkennen, die, wie oben erläutert, auftreten können, bevor das thermische Durchgehen einsetzt.

Sofern Batteriegehäuse vorhanden sind, können Gasdetektoren, die auf  $H_2$ ,  $CO$  oder  $CO_2$  reagieren, einen Warnhinweis geben und mit Batteriemangement- und Brandschutzsystemen verbunden werden. Mithilfe von Gassensoren lassen sich bereits Werte von 1 ppm erkennen, so dass eine frühzeitige Warnung möglich ist.

Systeme, die in der Lage sind, Gase oder Partikel, die bei der Ausgasung entstehen, in geringen Konzentrationen zu erkennen, ermöglichen eine frühzeitige Warnung vor einem drohenden thermischen Durchgehen und lösen Abschaltssysteme aus, um die einzelnen Batteriezellen oder die Batteriezellenreihe elektrisch zu isolieren und so ein thermisches Durchgehen möglicherweise zu verhindern. Voraussetzung für solche Systeme ist in der Regel eine gewisse Abschirmung der Batterien, z. B. ein ESS-Container oder ein Raum, in dem große Batteriebänke untergebracht sind. Für gewöhnlich werden hochempfindliche Ansaugrauchmelder als Partikeldetektoren verwendet, die auf die Dampfwolken der Abgase reagieren, wenn sie abgeleitet werden, und nicht auf einzelne Gas-/HC-Moleküle.

Um eine wirksame Erkennung der Ausgasung zu gewährleisten, müssen die Lüftungsanlagen berücksichtigt werden. Häufig wird jedoch die Luftbewegung genutzt, um die Batterien während des normalen Ladevorgangs kühl zu halten. Aus diesem Grund müssen die Sensoren für Ausgasungsereignisse gezielt positioniert werden und empfindlich genug sein, um die ersten Anzeichen von Ausgasungsereignissen zu erkennen, bevor sie zu stark verdünnt werden - oder im Falle von Dämpfen wieder in den gasförmigen Zustand übergegangen sind.

Des Weiteren kann eine strategisch günstig platzierte Ausgasungserkennung ein Situationsbewusstsein für die Bedingungen innerhalb einer Einrichtung schaffen, indem sie z. B. Informationen darüber liefert, von wo aus das Ereignis erfolgte, um das Personal bei der Reaktion auf ein Ereignis zu unterstützen, sowie allgemeinere Informationen über gefährliche Zustände oder Vergiftungsgefahren, die ein Betreten der Einrichtung nicht ratsam machen könnten.

Derzeit gibt es keine spezifischen EN-Produktnormen für Detektoren zur Erkennung von Ausgasungen von Li-Ionen-Batterien.

## 7.3 Wärmedetektion

### 7.3.1 Punktförmige Melder

Wärmedetektoren sind mit einem temperaturempfindlichen Element ausgestattet und arbeiten als:

a) Temperatur Grenzwertmelder

Bei solchen Meldern ist eine Höchsttemperatur definiert. Bei Überschreiten dieser Temperatur geht der Melder in den Alarmzustand über. Sie reagieren nur bei Erreichen einer bestimmten Temperatur, unabhängig von der Rauchdichte und anderen Kennwerten.

b) Temperaturdifferentialmelder

Bei Anstiegsgeschwindigkeitsmeldern wird der Temperaturanstieg pro Zeiteinheit definiert, der zur Auslösung eines Alarms erforderlich ist (K/min). Liegt der gemessene Temperaturanstieg pro Zeiteinheit über dieser Schwelle, wird ein Alarm ausgelöst. Anstiegsgeschwindigkeits-Temperaturfühler basieren in der Regel auf dem Funktionsprinzip eines Thermistors.

### 7.3.2 Lineare Wärmemelder.

Lineare Wärmemeldesysteme setzen sich aus einem linienförmigen Sensor und einer Auswerteeinheit zusammen. Als Sensor dient entweder ein Kabel mit elektrischen oder optischen Leitern, ein Kabel mit mehreren Sensoren oder ein Rohr. Mit diesen Auswerteeinheiten können übergeordnete Systeme verbunden werden, die eine Visualisierung der Messwerte und die Steuerung/Freigabe verschiedener anderer Aktionen (z.B. Brandschutz) ermöglichen.

### 7.3.3 IR-Kameras

Eine Wärmebildkamera, auch Infrarotkamera (IR) oder Wärmebildkamera genannt, ist ein Gerät, das ein Bild mit Hilfe von Infrarotstrahlung erzeugt, ähnlich wie eine gewöhnliche Kamera, die ein Bild mit sichtbarem Licht erzeugt. Ihre Aufnahme und Analyse werden als Thermografie bezeichnet.

Die Funktionsweise basiert auf der Tatsache, dass alle Objekte eine bestimmte Menge an Strahlung in Abhängigkeit von ihrer Temperatur abgeben. Im Allgemeinen gilt: Je höher die Temperatur eines Objekts ist, desto mehr Infrarotstrahlung wird ausgesandt. Mit einer Infrarotkamera kann diese Strahlung auf ähnliche Weise erfasst werden wie mit einer normalen Kamera, die sichtbares Licht erfasst. Sie funktioniert sogar in völliger Dunkelheit, da die Umgebungshelligkeit keine Rolle spielt. Damit ist sie für jeden Einsatz in Anwendungen ohne Licht und für den 24/7-Einsatz geeignet.



**HINWEIS:** In den meisten Fällen kann die Wärmedetektion nicht als Früherkennung speziell für die Anwendung dieses Dokuments angesehen werden. Trotzdem wird sie erwähnt, um einen Überblick zu geben und für den Fall, dass in einer bestimmten Anwendung kein anderes Detektionsprinzip anwendbar ist.

## 7.4 Detektion von Rauch

Schwebeteilchen weisen verschiedene Arten und Bereiche von Partikelgrößen auf. Im blauen Bereich ist eine typische Partikelgrößenverteilung von Brandrauch mit einem Maximum bei 0,2 µm Partikelgröße dargestellt. Im roten Bereich ist eine Partikelgrößenverteilung von Staubpartikeln mit einem Maximum bei 90 µm dargestellt.

In Abbildung 2 ist zwar zu erkennen, dass der Großteil der Rauchpartikel eine Partikelgröße von weniger als 1 µm aufweist (blauer Bereich) und dass trügerische Phänomene wie Staubpartikel im Allgemeinen größer als 1 µm sind (roter Bereich). Die Unterscheidung ist jedoch nicht ganz so eindeutig - insbesondere wenn sich Rauch-/Dampfpartikel ballen oder wenn der Staub besonders fein ist. Dieses Prinzip kann jedoch sehr empfindlichen Rauchmeldern dabei helfen, ein gewisses Maß an Unterscheidung zwischen Rauchpartikeln und potenziellen Störungsalarmen zu erreichen.

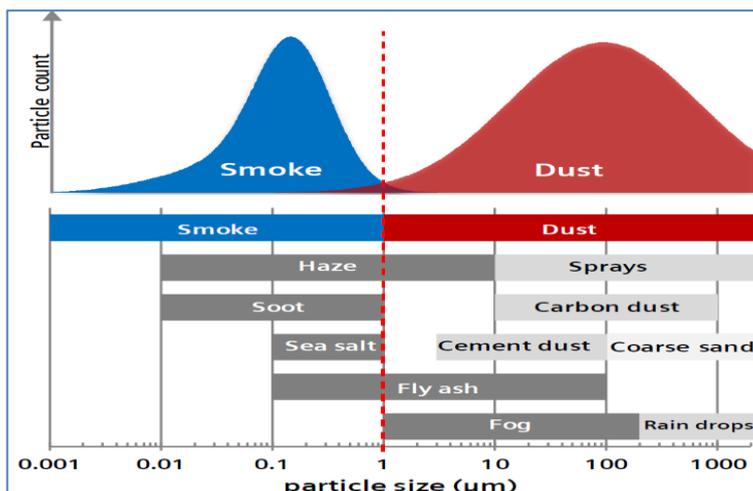


Abbildung 6: Partikelgröße von Rauch und Staub

### 7.4.1 Punktförmige Rauchmelder und Multisensormelder

Diese Melder sind die gebräuchlichsten in Brandmeldeanlagen. Sie kommen in Bereichen zum Einsatz, in denen mit beginnenden, rauchentwickelnden Bränden zu rechnen ist und in denen keine oder nur geringe Täuschungserscheinungen auftreten. Der am häufigsten verwendete Rauchmelder ist der Streulichtmelder. Ihre Funktionsweise ist optisch, d. h. sie erkennen das vom Rauch gestreute Licht, früher waren sie auch mit einer Ionisationskammer ausgestattet waren. Besonders geeignet sind sie zur Erkennung kleiner Rauchpartikel.

Vermeehrt werden punktförmige Multisensormelder eingesetzt, die optische Rauchererkennung und Wärmedetektion (und in einigen Varianten auch CO) kombinieren. Wegen der intelligenten Verknüpfung der Sensorsignale sind solche Melder in der Lage, eine zuverlässigere Erkennung zu bieten.

### 7.4.2 Lineare Rauchmelder

Die Funktionsweise von linearen Rauchmeldern beruht auf der Messung der durch Rauch verursachten Lichtabschwächung. Bei Systemen, die Sender und Empfänger im selben Gehäuse unterbringen, kommt ein abgesetzter Reflektor zum Einsatz. Dies hat den Vorteil, dass sie nur an einer Stelle in der Melderlinie verdrahtet werden müssen und die Wartung einfacher ist. In Systemen ohne Reflektor sind Sender und Empfänger getrennt. Beide Systeme arbeiten jedoch nach dem gleichen Messprinzip.

Lineare Rauchmelder werden in Bereichen eingesetzt, in denen mit Rauchentwicklung zu rechnen ist und in denen punktförmige Rauchmelder nicht eingesetzt werden können. Zu den typischen Einsatzgebieten von linearen Rauchmeldern gehören:

- sehr hohe Räume (Atrien, Hallen)
- große Hallen, in denen die Wartung von punktförmigen Meldern schwieriger oder teurer wäre als die von linearen Rauchmeldern
- historische Gebäude, in denen punktförmige Melder aus ästhetischen Gründen unerwünscht sind



**HINWEIS:** Insbesondere für die Anwendung dieses Dokuments kann die lineare (Strahl-)Rauchdetektion in den meisten Fällen nicht als Früherkennungstechnologie angesehen werden. Trotzdem wird sie erwähnt, um einen Überblick zu geben und für den Fall, dass in einer bestimmten Anwendung kein anderes Erkennungsprinzip anwendbar ist.

### 7.4.3 Ansaugrauchmelder

Bei Ansaugrauchmeldern (auch bekannt als Air Sampling Detector oder ASD) werden mit Hilfe eines geeigneten Ansaugsystems/Ventilators Luftproben aus dem zu überwachenden Bereich über ein Rohrnetz in die Erfassungskammer gesaugt.

ASD sind in der Regel mit Filtern ausgestattet, um Staubpartikel zu filtern, die zu Verschmutzung und unerwünschten Alarmen führen können. Außerdem verfügen sie über eine Technologie, die es ihnen ermöglicht, zwischen rauchähnlichen Partikeln (~0,2 µm) und Staub (>1 µm Partikelgröße) zu unterscheiden. Typischerweise werden sie dort eingesetzt, wo Rauch so früh wie möglich erkannt werden muss und punktförmige Melder zu unempfindlich oder nicht widerstandsfähig genug gegen Verschmutzung sind. Die hochempfindlichen Ansaugrauchmelder sind in der Lage, Ausgasungsereignisse zu erkennen, indem sie das Gemisch aus Gas und Partikeln im Abgas von Lithium-Ionen-Batterien durch Partikeldetektion als Frühwarnsensoren erkennen.

### 7.5 Detektion von Flammen

Brandmelder wandeln die von Flammen ausgehende elektromagnetische Strahlung in ein elektrisches Signal um. Um Fehlfunktionen und Täuschungen durch Sonnenlicht, reflektiertes Licht, Lampen und andere Lichtquellen weitestgehend auszuschließen, wird der Erfassungsbereich der Melder vom sichtbaren in den unsichtbaren Bereich verlagert. Aus diesem Grund arbeiten die meisten Flammenmelder im UV- oder Infrarotbereich und überwachen auch das charakteristische Flackern, das Flammen erzeugen.

Brandmelder werden in Bereichen eingesetzt, in denen offene Brände sehr schnell entstehen können und in denen eine Überwachung großer offener Flächen erforderlich ist.

### 7.6 Video-Brand- und Rauchmeldeanlage (VFD)

Die Video-Brand- und Rauchererkennung basiert auf den Videobildern von Kameras, kombiniert mit einer intelligenten Videoanalyse. Diese Technik wird in vielen Sicherheitsanwendungen eingesetzt, insbesondere in schwierigen Umgebungen und großen offenen Bereichen.

VFDs haben im Vergleich zu den anderen oben beschriebenen Techniken das Potenzial, die Erkennungszeit zu minimieren. Dies gilt sowohl für Anwendungen im Innen- als auch im Außenbereich, da die Kameras das "Volumen" überwachen können und nicht warten müssen, bis sie vom Rauch erreicht werden. Sie sind jedoch noch eine neue Technologie und beruhen auf komplexen Algorithmen, um rauch-/flammenähnliche Situationen von einem echten Rauch- oder Brandereignis unterscheiden zu können.

## 8 BRANDSCHUTZSYSTEME (BRAND UNTERDRÜCKUNG und LÖSCHUNG)

Automatisierte Löschanlagen löschen oder verhindern das Entstehen von Bränden, um Objekte, Räume oder ganze Gebäude vor Bränden und deren Folgen zu schützen.

Dazu werden flüssige (Wasser), zweiphasige (Schaum), feste (Pulver), gasförmige (Gase) oder Aerosole als Löschmittel eingesetzt. Abhängig vom Löschmittel wird Wärme und/oder Sauerstoff aus dem Feuer verdrängt, d. h. vom Brennstoff getrennt. Die Lösch- oder Unterdrückungswirkung beginnt, während der Flutungszeit und endet nach Ablauf der Haltezeit. Eingriffe und Aktivierung der Brandlöschanlage müssen entsprechend aufeinander abgestimmt sein.

**Entscheidend bei jeder Brandlöschanlage ist folgendes:** Die jeweilige Anlagenauslegung und vor allem die korrekte Ausbringung des Löschmittels unter ausreichendem Druck ist maßgeblich für das korrekte Funktionieren der Löschanlage. Entscheidend sind natürlich nicht nur die Auslegung und Konstruktion einer Anlage, sondern auch deren korrekte Installation, die Verwendung zugelassener Systeme und die ständige Wartung durch entsprechend geschulten und zertifizierten Personals.

### 8.1 Automatische Wasserlöschsysteme

Das am häufigsten verwendete und am weitesten verbreitete Löschmittel ist Wasser. Eingesetzt wird es in verschiedenen Sprinkleranlagen sowie in Sprühwasser- und Wassernebelanlagen. Während Sprinkleranlagen meist temperaturabhängig ausgelöst werden, erfordern andere Systeme in der Regel die Auslösung durch eine automatische Brandmeldeanlage

Die Hauptaufgabe von wasserbasierten Systemen ist der Schutz des Gebäudes und der Räume. Zum Schutz elektrischer Anlagen sind die mit wasserbasierten Systemen verbundenen Risiken von Geräteschäden zu berücksichtigen.

Die Kühlwirkung von automatischen Wassersystemen hängt von der Batteriekonfiguration ab. Zudem kann es schwierig sein, den brennenden Bereich zu erreichen ("Sprühschatten").

Wirksamkeit: Starke Kühlwirkung, verhindert das Übergreifen des Feuers auf andere Objekte



**HINWEIS:** Mittel auf Wasserbasis sind elektrisch leitfähig, es sei denn, es wird entionisiertes Wasser verwendet. Entionisiertes Wasser wird elektrisch leitfähig, wenn es mit Verbindungen, wie z. B. Salz, in Berührung kommt, die im Gefahrenbereich vorhanden sein können.

#### 8.1.1 Sprinkleranlagen

Das am häufigsten verwendete automatische System, das mit Wasser arbeitet, ist die Sprinkleranlage. Solche Systeme werden in fast allen Industriezweigen, größeren Unternehmen, Kaufhäusern, Garagen, Versammlungsstätten, Schulen, Krankenhäusern, Hotels, Flughäfen usw. verwendet. Es handelt sich dabei um spezielle Düsen, die durch hitzeempfindliche, zerbrechliche Elemente verschlossen werden, die in Stahlrohren in Höhe der Decke/Dach montiert und über Steuerventile an eine spezielle Wasserversorgung angeschlossen sind. Bei einem Brand öffnen sich durch die Hitze ein oder mehrere Sprinkler, um Wasser auf den Brandherd und die angrenzenden brennbaren Materialien abzugeben. Mit zunehmender Brandlastdichte und Brandausbreitungsgeschwindigkeit steigen die Wassermengen und die Anzahl der Sprinkler, die sich öffnen sollen.

Wenn die Temperatur am Sprinklerkopf einen kritischen Wert überschreitet, werden die Sprinkler automatisch einzeln aktiviert. Durch die automatische Aktivierung wird die Wasserversorgung ausgelöst, und die Sprinkleranlagen dienen auch als Brandmeldeanlagen und lösen einen Alarm aus.

Wirksamkeit: Starke Kühlwirkung, verhindert das Übergreifen des Feuers auf andere Objekte

### 8.1.2 Sprühwasser- und Sprühflutanlagen

Sprühflutanlagen (auch "Sprühwasseranlagen" genannt) ähneln in ihrem Aufbau den Sprinkleranlagen. Die zwei wichtigsten Unterschiede sind, dass das System mit offenen Sprinklerköpfen oder -düsen ausgestattet ist; die Sprinklerköpfe haben keine wärmeempfindlichen Elemente. Um die Ventile des Sprühwasserbereichs zu aktivieren, ist eine separate Brandmeldeanlage erforderlich.

Sprühwasseranlagen versprühen das Wasser über viele Sprühköpfe. Das Sprühwassersystem ist für Bereiche mit besonders hoher Brandlast entwickelt worden, wie z. B. Brennstofflager, bei denen eine schnelle Brandentwicklung zu erwarten ist. Für solche Fälle ist eine schnellere Branderkennung als dies durch zerbrechlichen Glasfässchen möglich wäre, damit das Wasser früher eingesetzt werden kann, um das Feuer zu bekämpfen, bevor es so groß wird, dass es das System überfordert.

Da sehr große Wassermengen freigesetzt werden, benötigen Sprühwasseranlagen eine hohe Kapazität der Wasserversorgung.

Dank der elektronischen Erkennung kann das Wasser im Vergleich zu automatischen Sprinklern schneller freigesetzt werden.

Wirksamkeit: Starke Kühlwirkung, verhindert das Übergreifen des Feuers auf andere Objekte

### 8.1.3 Wassernebel/Wasservernebelungssystem

Bei Wassernebelssystemen kommen kleine Wassertröpfchen zum Einsatz, um die Flammen zu kühlen und Brände durch schnelles Verdampfen von Wasser zu ersticken. Außerdem blockiert der Wassernebel die Strahlungswärme, um die Umgebung zu schützen.

Diese Systeme versuchen, im Gegensatz zur herkömmlichen Sprinklertechnik, durch den Einsatz von Nieder- oder Hochdrucktechniken (und speziell entwickelten Düsen) ein Tröpfchenspektrum mit möglichst kleinem Durchmesser zu erreichen. Das Verhältnis von Oberfläche zu Wasservolumen ist bei kleinen Tröpfchen größer, was zu einer schnelleren Verdunstung und effizienteren Kühlung führt. Wie Tests und Zulassungen gezeigt haben, zielt die Wassernebeltechnik im Vergleich zu Sprinkleranlagen darauf ab, wesentlich geringere Wassermengen aufzubringen. Die Grundlage für die Auslegung wird immer durch Brandversuche im großen Maßstab bestimmt. Aus diesem Grund sollte Wassernebel zum Schutz von Lithium-Ionen-Batterien nur dann eingesetzt werden, wenn ein etabliertes Prüfprotokoll vorliegt.

Bei Verwendung einer elektronischen Branddetektion ist eine schnellere Wasserabgabe möglich als bei automatischen Sprinklern.

Wirksamkeit: Starke Kühlwirkung, verhindert das Übergreifen des Feuers auf andere Objekte

## 8.2 Gaslöschanlage

Für Gaslöschanlagen werden entweder Inertgase, CO<sub>2</sub> oder synthetische Löschmittel verwendet. Inerte Gase und CO<sub>2</sub> löschen durch Sauerstoffverdrängung, synthetische Löschmittel löschen durch Wärmeaufnahme. Gaslöschanlagen dienen zum Löschen von Bränden in sensiblen Umgebungen, bei denen Wasser oder andere Löschmittel wegen der Gefahr von Folgeschäden ungeeignet sind.

Bei der Verwendung gasförmiger Löschmittel handelt es sich um elektrisch nicht leitende, gasförmige und flüchtige Löschmittel, die bei der Ausbringung keine Rückstände hinterlassen. Die Verwendung gasförmiger Löschmittel erfolgt häufig dort, wo Wasser als Löschmittel nicht erwünscht ist oder wo die besonderen Eigenschaften eines Gases besser geeignet sind. Gaslöschsysteme werden in erster Linie zum Schutz von Bereichen eingesetzt, die sich in geschlossenen Räumen befinden (um die Konzentration des Löschmittels zu erhalten). Gaslöschsysteme wirken dreidimensional und sind deshalb hochwirksam und dringen in jeden Hohlraum innerhalb des Löschbereiches.

Gaslöschsysteme eignen sich sehr gut zum Schutz von wichtigen Systemen und wertvollen Gütern, immer dann wenn es wichtig ist, dass keine Schäden durch das Löschmittel oder dessen Rückstände entstehen. Bei allen Arten von elektrischen Risiken (Datenzentren, IT-Räume, Kontrollräume, Schaltanlagenräume usw.) oder sehr empfindlichen/wertvollen Vermögenswerten oder Materialien (Kunst, Antiquitäten, seltene Bücher usw.) sind sie oft die erste Wahl. Hinzu kommt der Aspekt der Personensicherheit, da viele dieser Anwendungen entweder ständig oder gelegentlich besetzt sind. Sie sind zum vollständigen Fluten geeignet und halten das Gas unter Druck in Behältern der

Löschmittelzentrale bereit und bringen es über ein Rohrleitungssystem über die Löschdüsen im Schutzbereich aus. Momentan sind als gasförmige Löschmittel Inertgase, CO<sub>2</sub> und synthetische Löschmittel (Halogenkohlenwasserstoffe) verfügbar.

Da der Löschvorgang schnell erfolgt, können die Geräte vor unnötigen Schäden durch das Feuer und den Rauch (der Abbauprodukte des Brennstoffs und möglicherweise des Löschmittels enthält) bewahrt werden. Nach dem Löschen sind nur sehr wenige Aufräumarbeiten erforderlich. Da Löschgase nicht elektrisch leitend sind, können sie insbesondere zu Schutz elektrischer Systeme sicher verwendet werden.

Für alle Gaslöschanlagen besteht die Möglichkeit Löschmittelverluste durch Leckagen durch Nachflutung zu kompensieren. Jedoch ist für alle Gaslöschanlagen ein gewisses Maß an Dichtheit gefordert und jeder Form der Kompensation von Leckageverlusten vorzuziehen.



**HINWEIS:** Bei sämtlichen gasförmigen Stoffen können Leckagen im Gehäuse durch eine Nach- oder Halteflutung ausgeglichen werden. Jedoch ist für alle Gaslöschanlagen ein gewisses Maß an Dichtheit gefordert und jeder Form der Kompensation von Leckageverlusten vorzuziehen.

In den folgenden Unterkapiteln werden weitere Einzelheiten zu den Eigenschaften der verschiedenen gasförmigen Löschmittel beschrieben.

### 8.2.1 Inertgas Feuerlöschanlagen

Inertgas-Feuerlöschanlagen nutzen natürliche Inertgase wie Stickstoff, Argon und/oder Mischungen von Inertgasen, einschließlich einer CO<sub>2</sub>-haltigen Mischung. Sie löschen Brände, indem sie die Sauerstoffkonzentration im Raum reduzieren, und eignen sich für Brandgefahren der Klassen A, B und C.

Inertgase lassen keine Rückstände und Nebenprodukte zurück, wenn sie das Feuer bekämpfen. Inertgase haben kein GWP (Global Warming Potential) und kein ODP (Ozone Depletion Potential) und können in begehbaren Räumen sicher verwendet werden.

Inertgase haben eine ähnliche Dichte wie Luft und reagieren weniger empfindlich auf Leckagen des Löschbereiches. Da sie allerdings als Druckgase gelagert werden, ist die Anzahl der in einem System verwendeten Behälter möglicherweise größer als bei Systemen mit Halogenkohlenwasserstoffen. Die Hochdruckspeicherung ist sehr nützlich, da sie es dem Planer ermöglicht, die Behälter auch in sehr großer Entfernung vom Löschbereich aufzustellen.

Wirksamkeit:

- Potenzial zur Verlangsamung des thermischen Durchgehens durch Löschung des Elektrolyten
- Vermeidung von explosionsfähigen Atmosphären im Flutungsbereich
- Schnelle Verteilung des Löschmittels innerhalb des Flutungsbereichs
- Fähigkeit, Brände in elektrischen Anlagen zu löschen
- Fähigkeit, Brände mit Elektrolyten zu löschen
- Ermöglicht längere Haltezeiten, wenn der Löschbereich gut abgedichtet ist
- Ermöglicht längere Haltezeiten in nicht luftdicht verschlossenen Gehäusen, durch verlängerte Flutung oder Nachflutung

### 8.2.2 Halogenkohlenwasserstoff Anlagen

Halogenkohlenwasserstoff-Löschanlagen verwenden eine Reihe synthetischer Löschmittel. Sie löschen das Feuer vorwiegend durch Wärmeabsorption. Sie eignen sich für Brandgefahren der Klassen A, B und C.

Die aktuelle Generation von Halogenkohlenwasserstoffgasen kann in begehbaren Räumen sicher verwendet werden und hat kein Ozonabbaupotenzial (ODP = Ozone Depletion Potential). Üblicherweise benutzte Halogenkohlenwasserstoffe haben ein GWP (Global Warming Potential) zwischen 1 und 3500.

Halogenkohlenwasserstoffe werden in flüssiger Form gelagert, weisen relativ niedrige Löschkonzentrationen auf und benötigen daher deutlich weniger Lagerkapazität. Die Behälter müssen in der Regel näher am geschützten Bereich aufgestellt werden als bei Inertgassystemen, aber Systeme mit höherem Druck können einige dieser Einschränkungen mindern.

Wirksamkeit:

- Fähigkeit zur Verlangsamung des thermischen Durchgehens durch Löschung des Elektrolyten
- Fähigkeit, Brände schnell zu löschen
- Vermeidung von explosionsfähigen Atmosphären im Flutungsbereich

- Schnelle Verteilung des Mittels innerhalb des Risikos (10s)
- Fähigkeit, Brände in elektrischen Anlagen zu löschen
- Fähigkeit, Brände mit Elektrolyten zu löschen
- Mehrfachflutungen möglich

### 8.2.3 Kohlendioxid-Anlagen

Kohlendioxid-Löschanlagen verwenden Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), ein farbloses, geruchloses, elektrisch nicht leitendes Gas. Als Löschmittel ist es hochwirksam, da es in erster Linie den Sauerstoff verdrängt und einen gewissen Beitrag zur Kühlung leistet.

Da Kohlendioxid eine hohe Ausdehnungsrate hat, können CO<sub>2</sub>-Feuerlöschsysteme schnell wirken. Weil es sich bei Kohlendioxid um ein Gas handelt welches ebenso rückstandsfrei wirkt wie Inertgase, sind nach der Auslösung einer CO<sub>2</sub>-Löschanlage keine Reiningungsarbeiten erforderlich.

CO<sub>2</sub> wird wie Halogenkohlenwasserstoff in flüssiger Form gelagert, benötigt aber höhere Konzentrationen und benötigt daher mehr Löschmittelbehälter.

Obwohl CO<sub>2</sub>-Feuerlöschanlagen bei der Brandbekämpfung sehr wirksam sind, birgt der CO<sub>2</sub>-Wirkstoff auch ein tödliches Risiko für Menschen, die sich im Flutungsbereich aufhalten. Und zwar ist CO<sub>2</sub> bereits in Konzentrationen, die viel niedriger sind als die für die Brandbekämpfung erforderliche sind. CO<sub>2</sub>-Löschanlagen sollten aus diesem Grund nur in unbewohnten Räumen eingesetzt werden und benötigen zusätzliche Personenschutzeinrichtungen.

Wirksamkeit:

- Potenzial zur Verlangsamung des thermischen Durchgehens durch Löschung des Elektrolyten
- Verhinderung explosionsfähiger Atmosphären im Flutungsbereich
- Fähigkeit, Brände in elektrischen Anlagen zu löschen
- Fähigkeit, Brände mit Elektrolyten zu löschen
- Ermöglicht längere Haltezeiten in nicht hermetisch verschlossenen Gehäusen durch Halte- und Nachflutungen

## 8.3 Schaum- und wasserbasierte Anlagen

Bei Schaum und wasserbasierten Löschanlagen werden Zusatzstoffe in den Wasserfluss eingemischt. Schaumstoffe werden in der Regel zum Abdecken und Erstickern von Bränden brennbarer Flüssigkeiten verwendet.

Dazu gehören Standard-Schaumstoffe der Klasse B, Schaumstoffe der Klasse A sowie Netzmittel und Dispersionen.



**HINWEIS:** Der Einsatz von fluorierten Feuerlöschschäumen wird künftig eingeschränkt. Es wird daher empfohlen, dies bei der Wahl des Mittels zu berücksichtigen.

### 8.3.1 Standard-Schaumstoffe der Klasse B

Schaumstoffe der Klasse B basieren auf fluorierten oder fluorfreien Chemikalien und werden in drei Klassen eingeteilt, die sich durch das Luftvolumen unterscheiden:

- ⇒ **Schwach schäumende Systeme (Ausdehnungsverhältnis des Schaums < 20)**  
Der Einsatz bei großen Kohlenwasserstoffbränden, wie z. B. in Tanklagern, Raffinerien, Flughäfen und Schiffen, erfolgt in der Regel mit geringer Expansion.
- ⇒ **Mittelschnell schäumende Systeme (Schaumausdehnungsverhältnis ≥ 20 bis < 200)**  
Mittelschnell schäumende Systeme sind für den Schutz gegen das Verschütten brennbarer Flüssigkeiten in Innenräumen oder im Freien gedacht. Der Schaum kann sanft in der Nähe der Gefahr aufgebracht werden, baut sich schnell auf und bietet eine gute Dampfunterdrückung.
- ⇒ **Schnell schäumende Systeme (Ausdehnungsverhältnis des Schaums ≥ 200)**  
Schnell schäumende Systeme geben Schaum aus einer Reihe von Schnellschaumgeneratoren ab, um den Raum auszufüllen, in dem sich Brände (entweder der Klasse A oder der Klasse B) auf verschiedenen Ebenen befinden könnten. Diese Systeme eignen sich für große Räume, Kabeltunnel, Kühlräume, Kellerräume usw. Auch wenn sie hauptsächlich für Innenräume geeignet sind, kann Schwertschaum auch in windgeschützten Außenbereichen eingesetzt werden.

### 8.3.2 Schaumstoff der Klasse A

Schaumstoffe der Klasse A wurden speziell für die Bekämpfung von Bränden mit Materialien der Klasse A entwickelt. Zu den typischen Anwendungen gehören Waldbrände, Müllbrände.

### 8.3.3 Benetzungsmittel / Wässrige Dispersionen

Benetzungsmittel setzen die Oberflächenspannung von reinem Wasser erheblich herab und erhöhen dessen Eindring- und Ausbreitungsvermögen. Zu den typischen Anwendungen gehören, ähnlich wie bei Schaumstoffen der Klasse A, Wald- und Müllbrände. Für die meisten Netzmittel wird natürliches Material auf Pflanzenbasis verwendet, so dass bei der Verwendung eines solchen Systems außer den Umweltaspekten von fluorierten Schäumen nichts beachtet werden muss.

Wässrige Dispersionen können chemisch aufgeblättertem Vermiculit enthalten, die in Form eines Nebels aufgetragen wird. Als Vermiculit bezeichnet man eine Gruppe von hydratisierten Aluminium-Eisen-Magnesium-Schichtsilikaten.

Bei der chemischen Exfoliation von Vermiculit entstehen mikroskopisch kleine, einzelne Plättchen, die frei in Wasser suspendiert sind, so dass eine stabile wässrige Dispersion von Vermiculit entsteht. Die Vermiculitpartikel lagern sich auf der Oberfläche der Brennzelle ab und bilden einen Film auf der Oberfläche. Diese Schicht trocknet sofort, und die Vermiculitplättchen überlagern und verbinden sich miteinander. Dadurch entsteht eine nicht entflammare physikalische Sauerstoffbarriere zwischen der Feuerquelle und der Umgebungsluft. Dieser Vorgang kann eine kühlende Wirkung auf das Feuer haben.

Benetzungsmittel können in ortsfesten Anlagen, tragbaren Feuerlöschern, mobilen Feuerlöschern und in Rucksacklöschern verwendet werden.

Effektivität: Abhängig von der Anwendungsmethode und den Brandarten

## 8.4 Pulversysteme

Pulversysteme sind äußerst wirksam bei der Unterdrückung von Feuer. Bei der Freisetzung wirken Pulver als Zweiphasenflüssigkeit, d. h. ein in einem Gas suspendierter Feststoff. Auf diese Weise sind sie hochwirksam, wenn Hindernisse vorhanden sind, und haben keine signifikanten Leistungseinbußen durch Sprüschatten, wie dies bei einigen anderen Wirkstoffarten der Fall ist. Die pulverförmigen Mittel können sowohl in offenen als auch in geschlossenen Räumen eingesetzt werden.

Der wichtigste Mechanismus zur Unterdrückung von Bränden bei den meisten Pulvern ist die Hemmung der chemischen Kettenreaktion. Pulverförmige Wirkstoffe sind im Allgemeinen ungiftig.

Man unterscheidet zwischen verschiedenen Arten von pulverförmigen Stoffen, die jeweils ein unterschiedliches Maß an Brandunterdrückungsfähigkeiten bieten.

Wirksamkeit:

- Rasche Verteilung des Wirkstoffs im Löschbereich
- Geschützte Volumina müssen nicht versiegelt werden, um den Wirkstoff einzudämmen
- Fähigkeit, die Ausbreitung von Thermal Runaway auf benachbarte Zellen zu verlangsamen
- Fähigkeit, Brände in elektrischen Anlagen zu löschen
- Fähigkeit, Brände schnell zu löschen

## 8.5 Aerosollöschsysteme

Bei Aerosollöschsystemen werden ähnliche Steuer- und Überwachungseinrichtungen wie bei gasförmigen Feuerlöschsystemen verwendet. Im Unterschied zu gasförmigen Feuerlöschsystemen bestehen eingesetzten Aerosole jedoch aus einer festen Blockverbindung, die in einem drucklosen Behälter (oder Generator) gelagert wird, der direkt im Löschbereich angebracht ist.

Das Aerosol besteht aus festen Partikeln in Mikro- oder Nanogröße, die in einer anderen Substanz, z. B. einem Gas, suspendiert sind, ohne sich im Gas aufzulösen. Zum Löschen von Bränden wird die chemische Kettenreaktion, die einen Brand auslöst, unterbrochen.

Auch wenn kondensierte Aerosolsysteme bei der Brandbekämpfung hochwirksam sind, kann der Wirkstoff ein Gesundheitsrisiko für Personen darstellen, die sich in dem Bereich aufhalten, in dem er eingesetzt wird. In begehbaren Bereichen sind daher bei der Konstruktion des Systems die in den Normen genannten Sicherheitsvorkehrungen zu

treffen. Ob Aerosole in normal begehbaren Räumen verwendet werden dürfen, hängt von der Bewertung im Einzelfall ab.

Da die Zusammensetzung von Aerosolen sehr unterschiedlich sein kann, sollte deren Eignung zum Löschen von Bränden von Lithium-Ionen-Batterien von Fall zu Fall geprüft und nachgewiesen werden.

Wirksamkeit:

- Kein kühlender Effekt
- Möglichkeit zur Verlangsamung des thermischen Durchgehens durch Löschen eines Elektrolytbrandes
- Schnelles Löschen von Bränden
- Schnelle Verteilung des Wirkstoffs innerhalb des Risikos
- Fähigkeit, Brände mit Elektrolyten zu löschen
- Fähigkeit, Brände in elektrischen Anlagen zu löschen
- Ermöglicht längere Haltezeiten in nicht hermetisch verschlossenen Gehäusen
- Vermeidung von explosionsfähigen Atmosphären im Flutungsbereich

## 8.6 Sauerstoffreduktionssysteme

In der Regel sind Sauerstoffreduktionssysteme so konzipiert, dass sie entweder reinen Stickstoff oder Luft mit einer vorgemischten Zusammensetzung mit erhöhtem Stickstoffgehalt in einen geschützten Raum einleiten, um eine Sauerstoffkonzentration zwischen 13 % und 16 % zu erreichen und aufrechtzuerhalten. Sinkt die Sauerstoffkonzentration auf etwa 13 %, herrschen ähnliche Bedingungen wie nach der Auslösung von Stickstofflöschsystem mit sehr niedriger Auslegungskonzentration.

Durch die Aufrechterhaltung eines permanent niedrigen Sauerstoffgehalts die Entwicklung einer flammenden Verbrennung bei Materialien, die Brände der Klasse A erreicht werden. Für einige Materialien sind wesentlich niedrigere Konzentrationen erforderlich, insbesondere wenn die Gefahr einer tiefsitzender Brände und für Brände der Klasse B

Auch wenn eine Flammenbildung unter diesen Umständen wahrscheinlich unterdrückt wird, führt das Vorhandensein einer Wärmequelle dennoch zu einer Pyrolyse. Das Potenzial für Schwelbrand und/oder die Entstehung von Produkten unvollständiger Verbrennung unter sauerstoffarmen Bedingungen sollte berücksichtigt werden.

Die Konzeption von Sauerstoffreduktionssystemen sollte durch Brandversuche ermittelt werden. Bislang wurden jedoch noch keine konkreten Testdaten in Bezug auf Brände von Lithium-Ionen-Batterien veröffentlicht. Darum sollten Sauerstoffreduktionssysteme nur dann zum Schutz von Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt werden, wenn zuvor entsprechende Tests stattgefunden haben.

Wirksamkeit: Verringert die Brandgefahr nach Freisetzung von Elektrolytgasen durch Sauerstoffreduktion

## 8.7 Tragbare Feuerlöscher

Ein tragbarer Feuerlöscher sollte nur für einzelne kleine wiederaufladbare, tragbare Geräte und andere häufig verwendete elektronische Geräte (wie Laptops, Mobiltelefone, E-Zigaretten, Elektrowerkzeuge usw.) mit Lithium-Ionen-Batterien eingesetzt werden, die zuvor von der Stromversorgung getrennt wurden. Unter Umständen ist ein vollständiges Löschen nicht möglich, aber der Einsatz eines nahe gelegenen Wasser- oder Wasserlöschers sollte ein Übergreifen des Feuers auf andere Materialien in der Nähe verhindern, während der Alarm ausgelöst wird.

In tragbaren Feuerlöschern werden verschiedene Löschmittel verwendet (auf Wasserbasis, CO<sub>2</sub>, Pulver usw.). Bei Bränden von Lithium-Ionen-Batterien kommen jedoch nur Löschmittel auf Wasserbasis in Frage.

Verwenden Sie keine tragbaren Feuerlöscher für Hochspannungssysteme oder für Batterien mit hohen Kapazitäten (wie in EV, PHEV oder ESS).

## 9 KONZEPTION VON BRANDMELDE- UND FEUERLÖSCHSYSTEMEN IN VERSCHIEDENEN EINSATZBEREICHEN

### 9.1 Gestaltungsgrundsätze

**Für jeden Anwendungsfall ist eine spezifische Lösung erforderlich, zu deren Aufbau grundsätzlich ausschliesslich zugelassene Systeme zu verwenden sind.. Es gibt kein Schutzkonzept, das für alle Anwendungen gleichermaßen geeignet ist.**

Bevor das optimale Konzept ausgearbeitet werden kann, müssen die Schutzziele, das Schutzkonzept und eventuelle Nebeneffekte der eingesetzten Technologien berücksichtigt werden. Abgesehen von den auf dem Markt verfügbaren technischen Optionen (siehe Kapitel 6 und 7) muss die gesamte Umgebungssituation der jeweiligen Anwendung betrachtet werden.

Dieses Konzept sollte einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen, bei dem folgende Punkte zu berücksichtigen sind :

- Risikobewertung
- Schutzziele und Vorgaben
- Passiver/präventiver Feuerschutz
- Verhinderung der Ausbreitung des Feuers auf benachbarte Batterien und Bereiche
- Batteriemanagementsystem (Erkennung eines Batterieausfalls)
- Art der Brand-/Rauchmeldeanlage
- System zur Erkennung von Ausgasungen
- Automatisches System zur Inertisierung
- Automatisches Feuerlöschsystem
- Nebeneffekte
- Belüftung/Absaugung
- Überdruckentlastungssystem
- Geltende Normen
- Nationale oder regionale Vorschriften von Behörden und Feuerwehren

### 9.2 Lithium-Ionen-Batterien in Anwendung)

In Kapitel 3.1 dieses Dokuments werden 5 Klassen von Lithium-Ionen-Batterieanwendungen betrachtet:

- I. Tragbare Geräte und andere häufig verwendete elektronische Güter
- II. Kleine Elektromobilität
- III. Notstromsysteme oder UPS
- IV. Elektromobilität und Elektroautos
- V. Energiespeichersysteme

Diese Einstufung bezieht sich lediglich auf die jeweiligen Batteriekapazitäten und damit auf die unterschiedlichen Brandlasten. Für Aussagen über die Anwendbarkeit von bestimmten Brandschutztechnologien ist jedoch zu berücksichtigen, in welchen Umgebungen sich diese mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestatteten Produkte / Systeme befinden. Somit muss das jeweilige Produkt / System in seiner jeweiligen Umgebung betrachtet werden, um die bestmögliche Lösung für den Brandschutz festlegen zu können.

Nachfolgend wird eine Reihe von derzeit bekannten Umgebungssituationen mit Details zum Detektions- und Löschkonzept beschrieben:

#### 9.2.1 Batterien in öffentlichen Verkehrsmitteln

Darunter sind Anwendungsfälle zu verstehen, bei denen tragbare Geräte und andere häufig genutzte elektronische Güter sowie kleine Elektromobile (Roller usw.), die mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattet sind, in öffentlichen Verkehrsmitteln (Bus, Zug, Flugzeug, Schiff usw.) transportiert werden, aber auch hybride und vollelektrische öffentliche Verkehrsmittel.

Um die Umweltziele zu erreichen, werden im öffentlichen Verkehr immer mehr Hybrid- und vollelektrische Busse eingesetzt. UNECE R107 stellt zwar eine Anforderung an Fahrzeugschleppsysteme, behandelt aber nicht speziell Batteriebrände. Die Batteriezellen sind in der Regel in versiegelten Batteriepacks eingeschlossen, so dass es unmöglich ist das Löschmittel direkt auf die Zellen aufzubringen.

Zur Erfüllung der IMO-Emissionsziele werden auch immer häufiger Schiffe und Boote mit Hybrid- und Elektroantrieb eingesetzt. So wird derzeit in Japan ein 62 Meter langes, 453 Tonnen schweres Tankschiff gebaut, das mit zwei Lithium-Ionen-Batterien (1740 kWh) vollständig elektrisch betrieben werden soll. Eine Reihe von Passagierfähren in Skandinavien wird ebenfalls vollständig mit Batterien angetrieben. Diese reichen von 20 m mit 70 Passagieren und einer Kapazität von 180-400 kWh bis hin zu 140+ m mit 1000 kWh. Im Zusammenhang mit dieser Umstellung auf Elektroantrieb hat das schwedische Prüfinstitut RISE 2017 einen Bericht über Batterieantriebe auf See veröffentlicht, der die Herausforderungen des Brandschutzes berücksichtigt. Abgesehen vom Antrieb können Schiffe auch ihr eigenes ESS zur Stromversorgung haben, was ein zusätzliches Risiko darstellt. In der Luftfahrt arbeiten Airbus, Boeing und weitere Unternehmen an Projekten für vollelektrische Flugzeuge.

Lithiumionenbatterien in tragbaren Geräten führen auch dazu, dass Besatzung und Passagiere ihre eigenen kleinen batteriebetriebenen Geräte mit an Bord bringen.

Für den Brandschutz bei diesen Anwendungen ergeben sich vielfältige Herausforderungen, unter anderem der Schutz der Stromversorgung und der in den Fahrzeugen mitgeführten Geräte. Maßnahmen, die von Anbietern/Eigentümern öffentlicher Verkehrsmittel unter Berücksichtigung aller in Kapitel 9.1 genannten Punkte in Betracht gezogen werden sollten.

Das Vorsehen von geeigneten Abtrennungen rund um die Batteriepakete, um die Ausbreitung von Bränden einzuschränken; dies ist wahrscheinlich bei Schiffsanwendungen viel einfacher. Ein geeignetes Batteriemanagementsystem, das mit Brand- und Gasmeldesystemen verbunden ist, um eine rasche Erkennung zu ermöglichen, damit Brandschutzsysteme aktiviert und die Passagiere gegebenenfalls evakuiert werden können.

Systeme zur vollständigen Flutung, wie z. B. Gaslösch- und Wasserlöschsysteme, sind eine sinnvolle Lösung für den Einsatz in der Schifffahrt, da sie an Board fest installiert werden können. Bei den meisten Bussen und ähnlichen Fahrzeugen sind bereits kleine fest installierte Systeme gemäß UNECE R107 vorhanden, obwohl die Konstruktionsdichte möglicherweise überprüft werden muss. In Flugzeugen müssen die Gewichsfaktoren berücksichtigt werden.

Für die kleinen Geräte, die von den Fluggästen an Bord mitgeführt werden, sollten tragbare Feuerlöscher und ein Havarie-Behälter vorgesehen werden. Bei einigen Fluggesellschaften gibt es außerdem Beschränkungen für die Mitnahme von Geräten im Frachtraum und in der Kabine, und alle Flugzeuge führen jetzt einen oder mehrere Beutel mit, in denen kleine Geräte, die Anzeichen eines thermischen Durchgehens zeigen, verstaut werden können.

### 9.2.2 Anwendungen im Wohnbereich (ESS in Verbindung mit Photovoltaik + Garagen mit E-Fahrzeugen)

Energiespeichersysteme für Privathaushalte, die auch als Powerpacks bezeichnet werden, kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn das Stromnetz ausfällt. Sie dienen auch zur Ergänzung von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien, wie z. B. Solarenergie, und erlauben die Nutzung von Energie, wenn die ursprüngliche Energiequelle nicht verfügbar ist. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit, Stromspitzen abzufangen und die Stromlast auszugleichen, wodurch sowohl die Endverbraucher als auch die Energieversorgungsunternehmen profitieren. Die Zunahme der Energieerzeugung aus erneuerbaren Energien und die steigende Zahl von Elektroautos sind Faktoren, die zu den zweistelligen Wachstumsraten des Marktes für Energiespeicher für Privathaushalte beitragen.

#### Risiko:

Aufgrund der geringen Größe dieser Systeme könnte man meinen, dass das Risiko eines thermischen Durchgehens und schließlich eines Brandes gering ist. Jedoch liegen öffentlich zugängliche Unterlagen über Zehntausende von Energiespeichersystemen für Privathaushalte vor, die aufgrund potenzieller Brandrisiken zurückgerufen wurden. In den Berichten wird darauf hingewiesen, dass sich die Systeme überhitzen, Dämpfe freisetzen und Brände auslösen. Zudem besteht aufgrund der großen Anzahl dieser Systeme und ihrer Installation in Garagen und an Orten, an denen der Brandschutz nicht unbedingt im Vordergrund steht, ein erhebliches Risiko, dass sich ein Brand auf den Raum und den Rest des Gebäudes ausbreitet.

Es besteht die Gefahr der Erzeugung und Emission von Gasen aus dem Batterie-Elektrolyten. Dieses Risiko besteht in zweierlei Hinsicht. Zum einen sind die Gase leicht entflammbar, zum anderen können die emittierten Gase je nach Chemie der Batterien giftig sein und z. B. Fluorwasserstoff enthalten, der schon in geringen Konzentrationen lebens-

und gesundheitsgefährdend sein kann.

### **Feuerschutz:**

Angesichts der Größe dieser Anwendung (kleine Schränke), der Tatsache, dass es keine Sicherheitsvorschriften dafür gibt, und der Tatsache, dass es sich bei den Nutzern um Haushalte und Personen ohne Brandschutzerfahrung handelt, besteht eine große Herausforderung darin, die damit verbundenen Risiken zu bewältigen.

Die folgenden bewährten Vorbeugungsmaßnahmen sind sehr hilfreich:

- Vermeiden Sie brennbare Materialien in unmittelbarer Nähe des Energiespeichersystems
- Aufstellen des Energiespeichersystems im Freien oder in der Nähe von Öffnungen, damit sich die entflammbaren/giftigen Gase nicht im Gebäude ausbreiten bzw. abgeführt werden können.

Diese Hinweise sollten von den Behörden, den Versorgungsunternehmen, den Versicherungsgesellschaften und auch von den Herstellern und Verkäufern der Systeme gegeben werden.

Relevant für diese Anwendung sind eigenständige, im Energiespeichersystem installierte Brandschutzlösungen, die über eine geeignete Detektions- und Löschfunktion verfügen, robust sind und einen minimalen Wartungsaufwand erfordern.

Im Gegensatz dazu sind komplexe und wartungsintensive technische Lösungen, sei es für die Erkennung von Ausgasung, die Branderkennung oder die Brandbekämpfung, in der Praxis nicht einfach zu realisieren.

## **9.2.3 Elektromobilität**

### **9.2.3.1 Risikobewertung**

Elektrofahrzeuge gehören mittlerweile zum Straßenbild, und auch sie müssen geparkt und aufgeladen werden. Deshalb ist die Brandsicherheit von Parkhäusern und Tiefgaragen mit Stell- und Ladeplätzen für elektrisch betriebene Fahrzeuge, sowie die Sicherheit von Ladestationen ein aktuelles Thema.

**Beispiel:** Schwerer Brand und Explosion eines Elektroautos an einer Ladestation - zu sehen auf Youtube:  
<https://insideevs.com/news/423581/severe-electric-car-fire-explosion-charging/>

Im Rahmen der Risikobewertung von Anwendungen/Infrastrukturen mit Elektrofahrzeugen muss Folgendes berücksichtigt werden;

- Bei Elektroautos besteht das größte Brandrisiko beim Parken bzw. beim Laden (siehe Ergebnisse des ALBERO-Projekts:  
> 50% von allen Brandunfällen mit Elektroautos ereigneten sich während des Ladens oder Parkens)
- Das Brandrisiko eines Elektrofahrzeugs ist nicht größer als das eines Benzin- oder Dieselfahrzeugs. Es scheint sogar geringer zu sein. Batteriebrände sind jedoch schwieriger zu löschen. Tatsache ist, dass sich ein Brand in einem Elektrofahrzeug viel schneller ausbreiten kann und viel schwieriger zu kontrollieren ist.
- Im Falle eines brennenden Elektroautos ist es selten möglich, das Feuer sofort zu löschen. Ein Stahlbetonboden kann der Hitze eine gewisse Zeit lang standhalten, doch wenn zu viel Hitze einwirkt, kann der Beton brechen und das Eisen schmelzen, so dass die Gefahr eines Einsturzes besteht.
- Aufgrund der reaktiven und manchmal hochgiftigen Materialien bergen Batteriebrände in geschlossenen Räumen oder unterirdischen Einrichtungen auch eine chemische Gefahr. Die freigesetzten Schadstoffe können sich aufgrund der eingeschränkten Belüftungsmöglichkeiten in der Luft konzentrieren und die für Menschen kritischen Grenzwerte schneller überschreiten als im Freien, wo die Rauchgase stärker verdünnt sind. Erschwerend kommen die Flucht- oder Rettungsmöglichkeiten in solchen Räumen hinzu.

Die aus dieser Risikobewertung hervorgegangenen Ziele des Brandschutzes führen schließlich zu Prioritäten beim Schutz des Gebäudes und beim Schutz von Personen. Nachrangig ist der Schutz eines brennenden Elektrofahrzeugs, sofern nicht bereits Maßnahmen in einem solchen Fahrzeug integriert sind.

Letztlich muss sich der Brandschutz auf die Verhinderung der Brandausbreitung auf benachbarte Batterien und Bereiche konzentrieren und nach passiven/präventiven Brandschutzmaßnahmen suchen.

### 9.2.3.2 Passiver/präventiver Brandschutz - Verhindern der Brandausbreitung auf benachbarte Batterien und Bereiche

#### a) **Bauliche Maßnahmen**

- zusätzlicher Schutz der Baustruktur in der Nähe von Parkplätzen mit Ladestationen.
- Ladestationen mit Kollisionsschutz oder an Stellen, an denen Kollisionen nicht möglich sind.
- Achten Sie darauf, wie ein Elektrofahrzeug nach dem Löschen eines Brandes in einen Außenbereich gebracht werden kann, z. B. zum Kühlen in einem Wassertank.

#### b) **Installationsmaßnahmen**

- Möglichkeit zur Unterbrechung der Stromzufuhr zu allen Ladegeräten durch eine einzige Handlung der Anwesenden.
- Prüfung der Lage von Parkplätzen für Elektrofahrzeuge und Ladestationen/-einrichtungen im Verhältnis zu Lüftungsöffnungen und Fluchtwegen während des Planungsprozesses.
- Die Nutzung von Verdrängungslüftung/Rauch- und Wärmeabzug kann dazu beitragen, dass die Wirksamkeit erhöht wird.
- Abluftkanäle, die so positioniert sind, dass die Wahrscheinlichkeit einer Beeinträchtigung der Umgebung durch Verbrennungsprodukte, die aus der Tiefgarage entweichen, minimiert wird.

#### c) **Organisatorische Maßnahmen**

- E-Autos sollten im Idealfall in feuerfesten Einzelparkplätzen abgestellt werden. Im Falle eines Brandes könnten diese abgetrennten Bereiche dann schnell und gezielt mit Raumlöschanlagen geflutet werden.
- Eine bauliche Trennung würde auch dazu beitragen, die Rauchentwicklung in der Tiefgarage im Brandfall zu minimieren, da dies neben dem Brand selbst eine erhebliche Gefahr für Menschen darstellt.
- Hinweise für die Nutzung der Tiefgarage und ihrer Lademöglichkeiten (einschließlich Wartung) sowie Informationen für die Fahrer, wie sie sich im Brandfall verhalten sollen und wie sie mit Fehlermeldungen des Batteriemanagementsystems (BMS) umgehen sollen.
- die Option, in der Tiefgarage keine Elektrofahrzeuge zu laden und/oder zu parken. Die Sinnhaftigkeit des Angebots von Lademöglichkeiten in Tiefgaragen sollte diskutiert werden

### 9.2.3.3 Brand-/Rauchmeldeanlage

Selbstverständlich wird ein entstehender Brand in einem E-Fahrzeug am ehesten durch entsprechende Überwachungs-/Detektions- und Meldesysteme im Fahrzeug erkannt. Da dies jedoch bisher nicht gesetzlich vorgeschrieben ist, kann man nicht davon ausgehen, dass diese grundsätzlich vorhanden sind.

Die hier empfehlenswerten Detektionsmethoden umfassen daher alle Rauch- und Brandmeldeverfahren, die in den jeweiligen Gebäuden durch nationale gesetzliche Regelungen erwähnt werden.

Für Elektrofahrzeuge, die im Freien abgestellt werden, gibt es meist keine Detektionssysteme, es sei denn, sie sind in Ladestationen, Wallboxen etc. eingebaut.

### 9.2.3.4 Feuerlöschanlagen/-mittel

Bei Tiefgaragen würde das Ziel darin bestehen, das Feuer zu löschen und die Ausbreitung des Feuers auf weitere Fahrzeuge und die Gebäudestruktur zu begrenzen. Zurzeit gibt es keine Anhaltspunkte dafür, dass fest installierte Systeme einen Einfluss auf die Kühlung des Batteriepacks im Fahrzeug haben können.

Das Löschmittel sollte unter Berücksichtigung der Auswirkungen der Abschottung, der Rauchkontrolle, des Abfließens des Löschmittels und der möglichen Kontamination der örtlichen Wasserversorgung sowie der Auswirkungen auf gegebenenfalls anwesende Personen ausgewählt werden.

## 9.2.4 Lagerhaltung (Lagerung von Batterien oder mit Batterien ausgestatteten Waren)

Die Aufbewahrung von Batterien in Lagern kann in den folgenden 3 unterschiedlichen Fällen erfolgen:

1. Lagergüter, die Batterien enthalten
2. Lagerung von Batterien
3. Vorhandensein von Geräten, die mit Batterien ausgestattet sind, wie z. B. Gabelstapler

#### 9.2.4.1 Sicherheitsmaßnahmen

Die Sicherheit der Mitarbeiter muss besonders beachtet werden, da der Brand eine hohe Rauchdichte erzeugt und sich durch die Ausgasung der Batterien ausbreitet. Eine rasche Evakuierung ist erforderlich.

Die am Brand beteiligten Personen sollten über das Risiko aufgeklärt werden.

#### 9.2.4.2 Lagergut mit integrierten Batterien

Diese Waren können von sehr unterschiedlicher Art und Größe sein: Computer, Mobiltelefone, tragbare Werkzeuge, Elektrofahrräder, usw. Der Ladezustand der Batterien der gelagerten Produkte ist in der Regel niedrig (<50%), aber in jedem Fall mehr als 10%. Infolgedessen besteht die Gefahr eines Batteriebrands. Das Gerät ist außerdem in seiner Box ausgeschaltet, so dass auch das BMS-System ausgeschaltet ist.

In der Regel wird die Ware in einer Verpackung aus Karton und Kunststoff gelagert. Die Brandentwicklung ist, ausgehend von einem thermischen Durchgehen der Batterie, vergleichbar mit üblichen Lagerbränden, da sich der Brand durch die Verpackung ausbreitet.

Es gibt verschiedene Maßnahmen, um eine Brandausbreitung zu verhindern:

- Passive Lösung: Lagerung von Waren mit regelmäßigen Trennungen zwischen den Regalen
- Vorbeugende Lösungen: Verringerung des Batterieladezustands auf einen annehmbaren Mindestwert
- Brandmeldesystem: Rauchmeldesysteme sind in dieser Umgebung am besten geeignet
- Automatische Brandbekämpfungslösungen: Eine Konzeption, die sich an den Standardregeln für den Brandschutz in Lagern orientiert, insbesondere unter Verwendung von Sprinkleranlagen, sollte bevorzugt werden. Das Schutzziel sollte jedoch die Nichtausbreitung sein, da das Vorhandensein von Batterien die vollständige Löschung des Feuers erschwert.
- Be- und Entlüftungssysteme sollten entsprechend den nationalen Vorschriften geplant und installiert werden.

#### 9.2.4.3 Lagerung der Batterien

In Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung können Batterien sehr unterschiedlicher Art und Größe sein.

Der Ladezustand der Batterien ist in der Regel niedrig (<50 %), aber in jedem Fall höher als 10 %. Infolgedessen besteht die Gefahr eines Batteriebrands. Die Batterie selbst verfügt zudem über kein BMS-System bzw. ist dieses nicht aktiviert. Die Höhe des Risikos hängt von der Größe und Leistung der Batterie ab.

Das Risiko der Ausbreitung eines Batteriebrandes ist außerdem direkt mit der Speicherdichte verknüpft. Da die Batterien nicht oder nur leicht verpackt sind, kann die Wärmestrahlung schnell einen Dominoeffekt auslösen.

Es gibt verschiedene Maßnahmen, um die Ausbreitung eines Feuers zu verhindern:

- Passive Lösung: Verringerung der Speicherdichte und Lagerung der Batterien in regelmäßigen Abständen zwischen den Regalen
- Vorbeugende Lösungen: Reduzierung des Batterieladezustands auf einen akzeptablen Mindestwert
- Brandmeldesystem: Rauch- und Abgasmeldesysteme sind in dieser Umgebung am besten geeignet.
- Automatische Brandbekämpfungslösungen: Das Schutzziel sollte die Nichtausbreitung sein, indem Sprinkler- oder Wassernebelssysteme verwendet werden.
- Belüftungs-/Absaugsysteme sollten nach den nationalen Vorschriften geplant und installiert werden.

#### 9.2.4.4 Vorhandensein von Geräten, die Batterien verwenden, wie z. B. Gabelstapler

Ein Brand eines Gabelstaplers kann in den folgenden Situationen auftreten:

- Der Stapler wird von einem Mitarbeiter benutzt, wenn der Brand ausbricht: Die Fahrer sollten so geschult werden, dass sie den Stapler in einem bestimmten Bereich abstellen, in dem die Ausbreitungsgefahr begrenzt ist. Anschließend kann ein manueller Eingriff vorgenommen werden.
- Die Staplerbatterie wird in einer Ladestation aufgeladen. Das geschieht vor allem außerhalb der Arbeitszeiten, wenn niemand anwesend ist. Außerdem werden in großen Lagern mehrere Lkw gleichzeitig im selben Bereich beladen.

Bei beiden Fällen ist das BMS-System in Betrieb und vermindert das Risiko. Allerdings birgt die letztere Situation ein viel höheres Risiko und erfordert automatische Präventions- und Schutzsysteme.

Es gibt verschiedene Arten von Maßnahmen zur Verhinderung einer Brandausbreitung:

- Passive Lösung: Einbau von physischen Trennungen zwischen elektrischen Ladestationen und bzw. ausreichend Platz zwischen Ladestationen
- Vorbeugende Lösungen: Batterien nicht über einen längeren Zeitraum im Ladezustand belassen, insbesondere

nicht an Wochenenden

- Branderkennungssystem: Auagangsdetektionssysteme stellen die Technologie zur frühestmöglichen Detektion in dieser Umgebung dar.
- Automatische Brandbekämpfungslösungen: Das Schutzziel sollte darin bestehen, ein Übergreifen von ladendem Fahrzeug auf einen anderen oder auf die Umgebung zu verhindern. In diesem Fall eignen sich wasserbasierte Systeme, die die Bereiche der elektrischen des Ladeplatzes abdecken.
- Belüftungs-/Absaugsysteme sollten entsprechend den nationalen Vorschriften geplant und installiert werden.

## 9.2.5 Energiespeichersysteme (ESS)

### 9.2.5.1 Schutzziele

Ausgangspunkt für die Planung eines jeden Brandschutzsystems ist immer das zu erreichende Schutzziel. Hieraus folgt unmittelbar: Verschieden Schutzziele führen zu unterschiedlichen Schutzkonzepten und letztlich zu unterschiedlichen Lösungen.

So müssen im Rahmen der individuellen Risikoanalyse geeignete Maßnahmen definiert werden, um ein geeignetes Schutzkonzept zu finden. Für den Schutz von Personen und Sachwerten sowie den Schutz vor Betriebsunterbrechungen können die Maßnahmen zur Erreichung der Schutzziele unterschiedlich sein.

Vereinfacht beschreiben Schutzziele das maximale Schadensausmaß, das im Brandfall eintreten darf. Das Mindestschutzziel wird üblicherweise von den für die Errichtung und den Betrieb verantwortlichen Behörden festgelegt und wird typischerweise durch die Schutzziele des Anlagenbetreibers ergänzt.

- Zulässiges Schadensausmaß;
- Schutz der Anlage selbst;
- Schutz der Umwelt;
- Sicherstellung einer schnellen Wiederinbetriebnahme.

Prinzipiell sind die einschlägigen Bauvorschriften und baurechtlichen Bestimmungen einzuhalten. Für alle baulichen Anlagen ist eine Einzelfallprüfung vorzunehmen.

Es ist in jedem Fall die jeweilige Baugenehmigung einschließlich des Brandschutzkonzeptes/Nachweises zu beachten. Verantwortlich dafür, dass die Auflagen der jeweiligen Baugenehmigung eingehalten werden, ist der Bauherr bzw. Betreiber.

Maßgebend sind die Maßnahmen zum Personenschutz, zur Verfügbarkeit, zum Schutz von Sachwerten und zum Umweltschutz in Abhängigkeit von der jeweils ermittelten Risikostufe

#### **Typische Szenarien und Zielvorgaben für das jeweilige Schutzniveau:**

**Level 1:** Brand von außen auf den Batteriespeicher (externes Brandereignis außerhalb des ESS).

Schutzziel: Gewährleistung, dass ein Brandereignis nicht auf den Batteriespeicher übergreifen kann

Mögliche Maßnahmen: Bautechnische Trennung mit ausreichendem Feuerwiderstand, räumliche Trennung oder Löschanlagen.

**Level 2:** Brandgeschehen im Bereich der Sekundärelektronik (Leistungselektronik, Klimagerät ...). Der Brandfall findet außerhalb des Batterieraums statt, ist aber durch eine ausreichende Brandbarriere vom Lithium-Ionen-Batteriespeicher getrennt.

Schutzziel: Im Falle eines Brandes in der Nähe der Sekundärelektronik oder der Lithium-Ionen-Batterien ist die Auswirkung so zu begrenzen, dass ein Übergreifen des Brandes auf den anderen Raum verhindert wird. Batteriesysteme, Module und Zellen müssen gegen externe (elektrische) Brände geschützt werden.

Mögliche Maßnahmen: Brandmeldeanlage mit automatischer Löschanlage für die elektrischen Gefahren. Die Löschmittel sollten rückstandsfrei den Schutz der Anlage gewährleisten.

**Level 3:** Brandeinwirkung auf den Lithium-Ionen-Batteriespeicher (Brandereignis findet im Batterieraum statt) und eine zuverlässige Unterscheidung, ob es sich um einen Brand der Lithium-Ionen-Batterien oder der Leistungselektronik handelt, ist nicht gegeben. Im Falle eines Entstehungsbrandes in der Nähe der Batterien (z.B. Brand der Leistungselektronik, etc.) sind die Auswirkungen so zu begrenzen, dass ein Übergreifen des Brandes auf die Batterien verhindert wird.

Mögliche Maßnahmen: Brandmeldesystem mit automatischem Löschesystem für elektrische Risiken. Das verwendete Löschmittel sollte rückstandsfrei den Schutz der Anlage gewährleisten.

**Level 4:** Szenario: Brand innerhalb des Lithium-Ionen-Batteriespeichersystems (Brand oder thermische Reaktion auf "Zellebene"). Schutzziel: Bei einem Zellenbrand das Übergreifen auf benachbarte Zellen oder das Durchgehen eines Moduls verhindern. Abhängig von der Batteriekonfiguration müssen Zellbrände auf einzelne Zellen oder betroffene Module begrenzt werden. Die Ausbreitung des thermischen Durchgehens über die betroffenen Zellen hinaus und von Sekundärbränden ist zu verhindern.

Mögliche Maßnahmen: Systeme zur frühestmöglichen Brand- und Ausgasungsdetektion in Kombination mit automatischen Löschesystemen zum rückstandsfreien Löschen von elektrischen Bränden und zur dauerhaften Unterdrückung von Bränden.

#### 9.2.5.2 Bewertung der Risiken

Durch die umfassenden normativen Regelungen und Vorgaben für die im Rahmen der Zertifizierung der Batteriezellen vorzunehmenden Prüfungen kann man davon ausgehen, dass das Speichersystem selbst als "relativ" sicher eingestuft werden kann. Somit ist es zunächst erforderlich, die Speichersysteme vor einem externen Brandgeschehen zu schützen, um durch externe Verbrennungswärme ausgelöste Zellzerfallsprozesse zu verhindern.

##### Elektrische Brandgefahr

Grundsätzlich birgt jeder Lithium-Ionen-Batteriespeicher ein elektrisches Brandrisiko.

Statistiken (GDV) zeigen, dass in ca. 25 % aller Fälle elektrische Brände die Ursache für große Schäden und die Hauptbrandursache in Industrieunternehmen sind. Alleine diese Risiken erfordern sowohl eine zuverlässige Erkennung als auch automatische Löschesysteme zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs. Durch automatische Gaslöschanlagen können Elektrobrände frühzeitig erkannt und sicher gelöscht werden.

##### Brandgefahr durch thermisches Durchgehen

Ursache für die Gefahr sind die filigrane Bauweise, die immer höhere Energiedichte und die Alterung der Batterie. Werden äußere mechanische Kräfte ausgeschlossen, so ist ein durch Batteriezellen selbst verursachter Brand immer auf eine altersbedingte Beschädigung des Separators und einen darauf folgenden inneren Kurzschluss zurückzuführen. Durch den daraus resultierenden Temperaturanstieg beginnt der (meist leicht entzündliche) Elektrolyt zu verdampfen. Infolgedessen baut sich der Innendruck in der Zelle immer weiter auf, bis der Elektrolytdampf entweder über ein Überdruckventil oder durch das Bersten des Gehäuses abgelassen wird. Ohne Gegenmaßnahmen bildet sich ein explosives Gas-Luft-Gemisch: Es bedarf nur einer Zündquelle, und die Folge ist eine Explosion. Falls die Erhitzung nicht gestoppt wird, kommt es zum thermischen Durchgehen.

#### 9.2.5.3 Exemplarisches Brandschutzkonzept - Schutzkonzept zur Erfüllung der Sicherheitsstufe 4

Ein sich abzeichnender thermischer Runaway muss so früh wie möglich durch die Erkennung von Ausgasungen erkannt werden. Eine ausreichende Konzentration des Löschmittels muss abgegeben werden, ehe der Separator der ersten Batteriezelle zusammenbricht. Das Batteriemanagementsystem soll die frühzeitige Information über das Ausgasen von Batteriezellen nutzen, um Notabschaltungen vorzunehmen, die eventuell die Entwicklung eines Durchgehens durch Überladung oder Überlast stoppen können.

Frühzeitiges Entladen/Fluten des Löschmittels, um:

- die Entstehung großer Mengen explosiver Elektrolyt-Sauerstoff-Gemische zu verhindern,
- das Ausmaß und die Reaktionsgeschwindigkeit eines ersten thermischen Durchgehens zu reduzieren,
- die Ausweitung solcher Durchzündungen zu hemmen,
- die Rückzündung und Sekundärbrände durch eine lang anhaltende Inertisierung zu vermeiden.

##### Erkennung von Feuer und Ausgasungen:

Dazu sind Detektoren notwendig, die sowohl elektrische Brände als auch Ausgasungen zuverlässig erkennen können.

##### Löschen

Da die Brandherde möglicherweise versteckt oder abgedeckt sind, wirken nur vollständig flutende Löschmittel.

Die Auswahl des Löschmittels sollte folgende Punkte berücksichtigen:

- es sollte keine Schäden an Sachwerten verursachen
- falls es in begehbaren Räumen verwendet wird, muss es für Menschen ungefährlich sein

#### Kombination aus Brandmeldeanlage, Batteriemanagementsystem und Feuerlöschanlage

Der Schlüssel zum Erreichen der formulierten Brandschutzziele besteht in der Kombination von möglichst frühzeitiger Branderkennung mit Hochleistungsmeldern und geeigneten Löschanlagen sowie der Alarmweiterleitung an das Batteriemanagementsystem.

#### 9.2.5.4 Wirksamkeitsnachweis

Der Wirksamkeitsnachweis muss durch praktische Brand- und Löschversuche erfolgen. Der Wirksamkeitsnachweis muss sich auf das Schutzziel und das entsprechende Szenario beziehen und durch eine unabhängige Prüfstelle begleitet werden.

## 10 SCHLUSSFOLGERUNG

Bei Lithium-Ionen-Batterien kann es zu erheblichen und nicht mehr aufzuhaltenden thermischen Durchgehen kommen. Aus diesem Grund sind sorgfältig abgestimmte Maßnahmen erforderlich, um die damit verbundenen Gefahren und Nutzung der verfügbaren Optionen zur Bewältigung dieser Risiken zu ermitteln.

Anfängliche Brände und Entstehungsbrände in Lithium-Ionen-Batterien können durch die Überwachung verschiedener Phänomene erkannt werden, z. B. durch die Freisetzung eines Gemischs aus festen und flüssigen Partikeln in einem Elektrolytgas und anormale Temperaturen.

Der Schlüssel zum erfolgreichen Brandschutz von Lithium-Ionen-Batterien liegt nachweislich in der Unterdrückung/Löschung des Brandes, der Reduzierung der Wärmeübertragung von Zelle zu Zelle und der anschließenden Abkühlung benachbarter Zellen, aus denen das Batteriepack/-modul besteht.

Das Brandrisiko kann auch nach dem Einsatz des Brandschutzsystems bestehen bleiben, da die angrenzenden Zellen möglicherweise durch das ursprüngliche Brandereignis beschädigt wurden; es können daher zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein, um eine Wiederentzündung zu verhindern.

Die Nutzung von Lithium-Ionen-Batterien ist weit verbreitet und wird sowohl in großen als auch in kleinen Mengen eingesetzt. Deswegen müssen bei der Prüfung von Brandschutzmaßnahmen die besonderen Umstände und der gesamte Gefahrenkomplex berücksichtigt werden. Außerdem ist zu prüfen, ob die Brandschutzmaßnahmen für die jeweilige Anwendung validiert wurden.

In allen Fällen ist eine Risikobewertung erforderlich, damit Art und Ausmaß des Brandrisikos und die zu treffenden Schutzmaßnahmen bestimmt werden können.

## 11 POST FIRE MANAGEMENT

### 11.1 Batterien

Ist ein Batteriebrand gelöscht, besteht in der Regel immer noch eine erhebliche Brandgefahr; die Batterien, die von dem Brand betroffen waren, sind möglicherweise noch heiß und können immer noch brennbare und giftige Gase freisetzen und sich wieder entzünden.

Aus diesem Grund ist es notwendig, dass nach dem Brand so schnell wie möglich mit der Brandbekämpfung durch entsprechend ausgerüsteten und geschulten Personals begonnen wird. Dies kann folgendes umfassen:

- Belüftung
- Absaugung
- Isolierung
- Überwachung des Feuers (z. B. durch den Einsatz von Wärmebildkameras zur Überwachung der Temperatur)
- Wiederherstellung

Das Ausmaß der Nachlöscharbeiten an einer Batterie hängt von deren Größe ab. Wenn das Feuer gelöscht ist, wird das Risiko für weitere Brände minimiert.

### 11.2 Brandrückstände

Die Entsorgung der Brandrückstände muss auf umweltgerechte Art und Weise erfolgen. Die Bau - und Installationsvorschriften für die verschiedenen Feuerlöschsysteme liefern Informationen über die Bestimmungen der Entsorgung.

Giftige Gase und Verbrennungsprodukte, können zu kontaminierten Löschwasser führen, welches zurückgehalten werden muss.

# ANHANG

## 1 In diesem Dokument verwendete BEGRIFFE, ABKÜRZUNGEN und DEFINITIONEN

Begriff/Abkürzung	Definition
<b>Batterie</b>	ein Behälter, der aus einer oder mehreren Zellen besteht, in denen chemische Energie in Elektrizität umgewandelt und als Stromquelle genutzt wird
<b>BMS</b>	<b>Batteriemanagementsystem</b> - Elektronisches System, das eine wiederaufladbare Batterie kontrolliert
<b>Li-Ion Lithium-Ionen</b>	Lithium-Ionen leisten den Ladungsträgertransport in Lithium-Ionen-Batterien
<b>ES</b>	<b>Energiespeicherung</b> - die Speicherung von Energie, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugt wurde, um sie später zu nutzen
<b>ESS</b>	<b>Energiespeichersystem</b> - Anordnung von Batterien, die zur Speicherung von Energie verwendet werden
<b>EV</b>	<b>Elektrofahrzeug</b> - Fahrzeuge mit einem oder mehreren Elektromotoren als Antrieb
<b>GWP</b>	<b>Globales Erwärmungspotenzial</b>
<b>IR</b>	<b>Infrarot</b>
<b>LOAEL</b>	<b>Lowest Observed Adverse Effect Level</b> - geringste Konzentration eines Stoffes, die eine nachteilige Veränderung der Morphologie, Funktion, Kapazität, des Wachstums, der Entwicklung oder der Lebensdauer eines Zielobjekts verursacht, das sich von normalen Organismen der gleichen Art unterscheidet
<b>µm</b>	<b>Mikrometer</b>
<b>PHEV</b>	<b>Plug-in-Hybridfahrzeuge</b> - Hybridfahrzeuge, die über ein Stromnetz aufgeladen werden können
<b>REEV</b>	<b>Elektrofahrzeuge mit verlängerter Reichweite</b> - Fahrzeuge mit einer Kombination aus Elektromotor und einem kleinen Verbrennungsmotor
<b>SEI</b>	<b>Festelektrolyt-Grenzschicht</b> - bezeichnet eine passive Grenzschicht, die sich bei Lithium-Ionen-Batterien an der Schnittstelle zwischen der Anode, welche aus Kohlenstoff besteht, und dem Elektrolyten bildet, der sich durch die Zersetzung des Elektrolyten bildet. Der innere Widerstand der Batterie erhöht sich durch die SEI-Schicht.
<b>SoC</b>	<b>Ladezustand</b> - Ladestand einer elektrischen Batterie im Verhältnis zu ihrer Kapazität. Der SoC wird in Prozent angegeben (0% = leer; 100% = voll).
<b>Thermisches Durchgehen</b>	Unkontrollierbare exotherme chemische Reaktion
<b>Propagation des Thermische Durchgehens</b>	Falls eine einzelne Batteriezelle thermisch durchgeht und sich auf Nachbarzellen ausbreitet, spricht man von "Propagation".
<b>Feuer-Tetraeder</b>	Elemente, die zur Aufrechterhaltung eines Brandes erforderlich sind - Brennstoff, Wärme, Sauerstoff und eine chemische Kettenreaktion
<b>Ausgasung</b>	Freisetzung von entflammabaren/giftigen Elektrolytdämpfen.
<b>Wh</b>	<b>Wattstunde</b>
<b>kWh</b>	<b>Kilowattstunde</b>

## 2 Brandarten / Brandklassen

Die **Brandklasse** ist ein System zur Einteilung von Bränden in Bezug auf die Art des Materials und des Brennstoffs, der für den Brand verantwortlich ist. Daraus ergibt sich die Art des Löschmittels, das für diese Brandklasse verwendet werden kann.

Den verschiedenen Brandarten werden oftmals Klassenbuchstaben zugewiesen, die sich jedoch von Land zu Land unterscheiden. Für Europa, die Vereinigten Staaten und Australien gibt es separate Normen.

Bild	Beschreibung	Europa (EN 2)	Vereinigte Staaten	Australien
	Brennbare Materialien (Holz, Papier, Stoff, Müll)	Klasse A	Klasse A	Klasse A
	brennbare Flüssigkeiten	Klasse B	Klasse B	Klasse B
	brennbare Gase	Klasse C	Klasse B	Klasse C
	Metallbrände	Klasse D	Klasse D	Klasse D
	Elektrobrand	Nicht klassifiziert (früher Klasse E)	Klasse C	Klasse E
	Speiseöle und Fette	Klasse F	Klasse K	Klasse F

Tabelle 6: Brandklassen in Europa, USA und Australien

### 3 FÜR DIESES DOKUMENT VERWENDETE MATERIALIEN UND INFORMATIONEN

Nr.	Dokument
1.	Guidance on Li Ion Battery Fires prepared by the FIA Lithium-Ion battery SIG – published Jan 11th 2021 <a href="https://www.fia.uk.com/static/2a999c49-760b-47e3-b02f96a2ca89ecd9/Guidance-Documents-on-Li-Ion-Battery-Fires-12-20-v1.pdf">https://www.fia.uk.com/static/2a999c49-760b-47e3-b02f96a2ca89ecd9/Guidance-Documents-on-Li-Ion-Battery-Fires-12-20-v1.pdf</a>
2.	Vorbeugender und abwehrender Brandschutz bei Lithium-Ionen Großspeichersystemen (1. Auflage) Bundesverband Energiespeicher Systeme e. V., Oranienburger Straße 15, 10178 Berlin <a href="https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/10/Brandschutz_Lithium_Ionen_Grossspeichersysteme_BVES.pdf">https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/10/Brandschutz_Lithium_Ionen_Grossspeichersysteme_BVES.pdf</a>
3.	Papers from <b>SuVeRen project</b> , concerns the adaptation of underground infrastructures (tunnels & car parks) to green vehicles. <a href="https://www.suveren-nec.info/">https://www.suveren-nec.info/</a>
4.	Lithium Batteries - Fire and Safety hazards – Efficient loss prevention and fire fighting - Paper from 2016 published by the companies "riskexperts" and "Batteryuniversity GmbH"
5.	SIEMENS White Paper "Fire protection for Lithium-Ion battery energy storage systems" Published May 2020 <a href="https://new.siemens.com/global/en/markets/data-centers/fire-safety/whitepaper-fire-protection-for-li-ion-battery-energy-storage-systems.html">https://new.siemens.com/global/en/markets/data-centers/fire-safety/whitepaper-fire-protection-for-li-ion-battery-energy-storage-systems.html</a>
6.	"Technical Reference for Lithium-Ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression" - Paper from DNV GL <a href="https://www.dnv.com/Publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062">https://www.dnv.com/Publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062</a>
7.	RISE-report2020:30: "Charging of electric cars in parking garages" Research Institutes of Sweden Are W. Brandt and Karin Glansberg Norway 2020 - ISBN:978-91-89167-12-4 <a href="https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2020/report-2020-30-charging-of-electric-cars-in-parking-garages.pdf">https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2020/report-2020-30-charging-of-electric-cars-in-parking-garages.pdf</a>
8.	SIEMENS Fire Safety Guide 2012 - Published by: Siemens Switzerland Ltd Infrastructure & Cities - Sector Building Technologies Division International <a href="https://sid.siemens.com/v/u/A6V10308640">https://sid.siemens.com/v/u/A6V10308640</a>
9.	Research conducted by FM Global on sprinkler protection of storage of small batteries in warehouses and of large energy storage systems - <a href="https://www.fmglobal.com/insights-and-impacts/2020/energy-storage-systems">https://www.fmglobal.com/insights-and-impacts/2020/energy-storage-systems</a>
10.	Report from Dutch fire brigade on the need for sprinklers in car parks where electric vehicles are present. <a href="https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:eef3e542-c2f9-4e2a-ae21-eae8fff1732a/datastream/OBJ/download">https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:eef3e542-c2f9-4e2a-ae21-eae8fff1732a/datastream/OBJ/download</a>
11.	Report of a fire in an ESS in the US protected with Novec which resulted in an explosion <a href="https://www.utilitydive.com/news/aps-says-runaway-thermal-event-caused-2019-battery-explosion-outlines-4-st/582475/">https://www.utilitydive.com/news/aps-says-runaway-thermal-event-caused-2019-battery-explosion-outlines-4-st/582475/</a>
12.	DNVGL joint development program issued Jan 7 <sup>th</sup> 2020 <a href="https://www.dnvgl.com/news/new-dnv-gl-joint-industry-report-offers-recommendations-for-enhanced-battery-safety-on-vessels--164738">https://www.dnvgl.com/news/new-dnv-gl-joint-industry-report-offers-recommendations-for-enhanced-battery-safety-on-vessels--164738</a>
13.	Dutch institute for fire safety (IFV) on <b>fire safety in parking garages</b> published in Dec 2020. <a href="https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Nieuw-handreikingen-buurtbatterijen-en-opslag-lithium-ion-accus.aspx">20201208-IFV-Brandveiligheid-parkeergarages-met-elektrisch-aangedreven-voertuigen.pdf</a>
14.	Dutch institute for fire safety (IFV) <b>guidelines for energy storage systems &gt;20kWh</b> (draft published Feb 2019) <a href="https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Nieuw-handreikingen-buurtbatterijen-en-opslag-lithium-ion-accus.aspx">https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Nieuw-handreikingen-buurtbatterijen-en-opslag-lithium-ion-accus.aspx</a>
15.	Technical report on battery fires prepared by EFECTIS and on behalf of FIEP (Fire Information Exchange Platform) - published May 2020 - <a href="https://eufiresafety.community/news/401160">https://eufiresafety.community/news/401160</a>
16.	DNV-GL "Technical Reference for Lithium-Ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression" 2019 <a href="https://www.dnv.com/publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062">https://www.dnv.com/publications/technical-reference-for-li-ion-battery-explosion-risk-and-fire-suppression-165062</a>
17.	UK Gov MARINE GUIDANCE NOTE on use of battery power for vessels: MGN 550 (M+F) - Electrical Installations - Guidance for Safe Design, Installation and Operation of Lithium-ion Batteries <a href="https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/882850/MGN_550_Electrical_Installations_-_Guidance_for_Safe_Design_Installatio....pdf">https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/882850/MGN_550_Electrical_Installations_-_Guidance_for_Safe_Design_Installatio....pdf</a>
18.	US Gov Marine Safety Information Bulletin "Passenger vessel compliance and operational readiness" <a href="https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/MSIB/2019/MSIB_008_19.pdf?ver=2019-09-10-115632-287">https://www.dco.uscg.mil/Portals/9/DCO%20Documents/5p/MSIB/2019/MSIB_008_19.pdf?ver=2019-09-10-115632-287</a>
<b>Weitere Dokumente, die bei der Erstellung dieses Leitfadens verwendet wurden</b>	
19.	12-28K_Hazards Containing Arrays of Lithium Ion _Li-Ion_ Batteries.pdf 32,5 KB
20.	140619_Gen2 Fire Suppression Report_V1 o.pdf 939,0 KB
21.	855_ESS_AAA_DraftDevminutes_01_17.pdf 16,1 MB
22.	CEN B0386 Lithium Proposal Italy 2018-06-01.pdf 616,0 KB

Nr.	Dokument
23.	Combustible Metal Extinguishing Reference Chart.pdf 241,0 KB
24.	DB27A7110892423EABB2FCB95D5AC1B0.pdf 3,2 MB
25.	Fire risks associated with batteries (1).pdf 5,2 MB
26.	Fire Suppression System Powerstar.pdf 2,5 MB
27.	FI--Trust-Report-Mobility-Scooters-May-15.pdf 1,2 MB
28.	FM Global White-Paper-Increased-Use-of-LIBs.pdf 257,0 KB
29.	FPE Extra Issue 26, February 2018 - SFPE.pdf 1,2 MB
30.	FSH_2_18_0046_CEN_TC70_WG5_No386.pdf 602,0 KB
31.	Hill-0513-ExtinguishmentofLithiumBatteriesrev2.pdf 516,0 KB
32.	Lithium-Ion Battery Fluid Protection (2) 3M.pdf 490,0 KB
33.	lithium batteries.pdf 817,0 KB
34.	Lithium Ion (Li-Ion) Batteries_ A Fire_DC Journal.pdf 1,9 MB
35.	Lithium-Ion Batteries used in Electrified Vehicles - General Risk Assessment and Construction Guidelines from a Fire & Gas Release Perspective.pdf 543,0 KB
36.	Lithium-Ion Battery Hazards - SFPE.pdf 4,8 MB
37.	Lithium-Ion Battery Safety - Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas (1).pdf 19,8 MB
38.	Managing the lithium (ion) battery fire risk - Industrial Fire Journal - Fire & Rescue - Hemming Group Ltd.pdf 1
39.	NFPA li ion batteries.pdf 646,0 KB
40.	Risks associated with alternative fuels in road tunnels and underground garages (1).pdf 843,0 KB
41.	Samsung SDI MSDS_2013.pdf 243,0 KB
42.	Safe introduction of battery propulsion at Sea (2).pdf 651,0 KB
43.	Scanned from a Xerox Multifunction Device.pdf 845,0 KB
44.	SFPE_Q4-2012.pdf 910,0 KB
45.	sprapport_2012_66.pdf 5,2 MB
46.	Study of fire and explosion hazards of alternative fuel vehicles in tunnels (1).pdf 2,7 MB
47.	TR-Lithium-IonPhase3.pdf 4,4 MB
48.	White-Paper- Increased-Use-of-LIBs.pdf 240,0 KB

**Datum der Veröffentlichung: 15-02-2022**

**euralarm**

Euralarm  
Gubelstrasse 22  
CH-6301 Zug (Switzerland)

**Schweizer Handelsregister-Nr: CHE-222.522.503**

**E** [secretariat@euralarm.org](mailto:secretariat@euralarm.org)

**W** [www.euralarm.org](http://www.euralarm.org)