

Kurzbericht



**Untersuchung der Auswirkung einer
Propagation innerhalb eines
Sicherheitsschranks**

1 Testobjekt und Versuchsaufbau

Getestet wurde ein DÜPERTAHL Sicherheitsschrank BATTERY line standard XL mit den Abmessungen 2045 mm x 1194 mm x 612 mm (H x B x T) und einer Aufteilung der Lagerkapazität in vier thermisch abgetrennte Lagerbereiche.

Der Sicherheitsschrank wurde mit einem Rauchgaskasten so umbaut, dass das freie Innenraumvolumen 2,18 m³ beträgt. Dieses freie Innenvolumen befindet sich nahezu vollständig vor den Schranktüren. Das Abluftrohr des passiven Abluftkanals wurde direkt aus dem Rauchgaskasten geführt und zu dessen Innenraum hin abgedichtet.

Im Sicherheitsschrank wurden zwei prismatische Li-Ionen-Zellen (54 Ah, vollständig geladen (SOC = 100 %)) der aktuellen Automotive-Generation auf Lagerebene 2 so positioniert, dass sie nacheinander in thermisch durchgegangen sind (thermal runaway). In der ersten Zelle wurde dazu mittels eines Nagelpenetrationstests ein interner Kurzschluss verursacht. In der benachbarten Zelle wurde - infolge der Wärmeübertragung – ebenfalls ein thermisches Durchgehen initiiert (Zellpropagation).

Zwei weitere Zellen wurden oberhalb (Lagerebene 1) und in einigem Abstand neben den beiden getriggerten Zellen (Lagerebene 2) positioniert.

Die Berstöffnungen der getriggerten Zellen zeigten jeweils in Richtung der weiteren Zellen und der rechten Tür, um eine weitere Zellpropagation wahrscheinlicher zu machen und die Türmechanik maximal thermisch zu belasten.

Die Innenraumtemperaturen des Sicherheitsschranks wurden mittels der in Abbildung 1 gezeigten Sensoren überwacht.

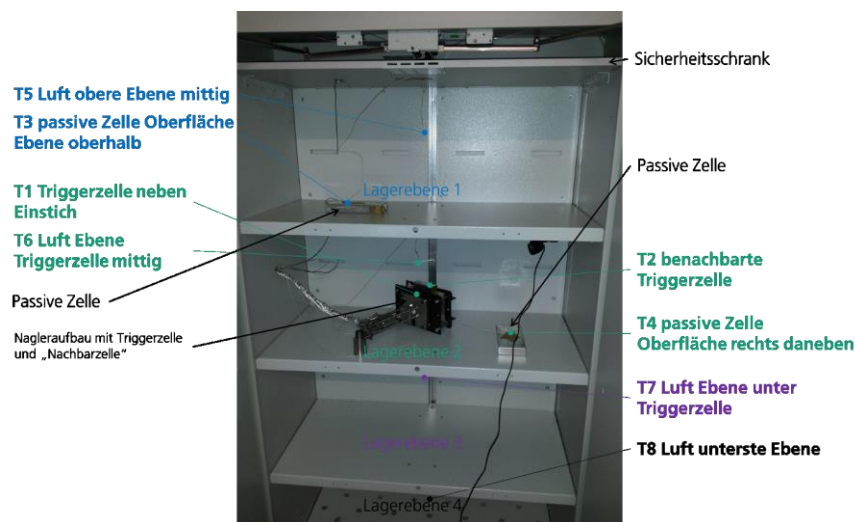


Abb. 1: Platzierung der vier Li-Ionen-Zellen sowie der Thermoelemente innerhalb des Sicherheitsschranks

Neben den Temperaturen im Schrank wurden noch die aus den Türspalten austretenden Rauchgase mittels Online-FT-IR, Flüssigabsorber mit anschließender IC-Analyse der Anionen, sowie GC- und GC-MS-Methoden umfassend analysiert.

2 Temperaturverlauf

In Abbildung 2 werden die Temperaturverläufe T1-T8 der einzelnen Messpunkte während des Versuchs gezeigt. Ca. 1,8 min. nach Aufzeichnungsbeginn wurde durch den Eintritt des Nagels in die erste Zelle ein interner Kurzschluss ausgelöst. Dieser führte zu einer eher punktuellen Erhöhung der Temperatur im Inneren der Zelle auf ca. 350 °C und zum Aufplatzen der Berstscheibe. Dadurch wurde der Zellinhalt sehr schnell und zielgerichtet ausgeworfen. Hierdurch lassen sich der moderate Temperaturanstieg des Zellgehäuses auf ca. 350 °C und die höheren Temperaturen des Partikelstrahls von ca. 600 °C erklären.

Aufgrund der großräumigen Erwärmung des Zellkerns der zweiten Zelle kam es zu einer schnelleren und intensiveren Umsetzung der Zellmaterialien (vgl. Abb. 2 T2). Der daraus resultierende explosionsartige Druckstoß wurde von der Backdraftverriegelung der Schranktür aufgefangen.

Obwohl die Oberflächentemperatur der auf der gleichen Lagerebene 2 gelegenen dritten Zelle kurzzeitig auf bis zu ca. 180 °C anstieg, reichte die Temperatur nicht aus um die Zelle im Inneren so stark thermisch zu belasten, dass es auch zu einem thermischen Durchgehen dieser Zelle kam. Die Temperatur der vierten Zelle, die auf der obersten Lagerebene 1 lag, stieg aufgrund der Trennung durch die thermisch isolierte Lagerebene nur geringfügig an. Dies zeigt deutlich den positiven Einfluss einer räumlichen Trennung der Zellen bzw. einer thermischen Abtrennung der Lagerbereiche bei der Lagerung von Li-Ionen-Zellen - wie sie bereits bei DÜPERTHAL Sicherheitsschränken zum Einsatz kommt-.

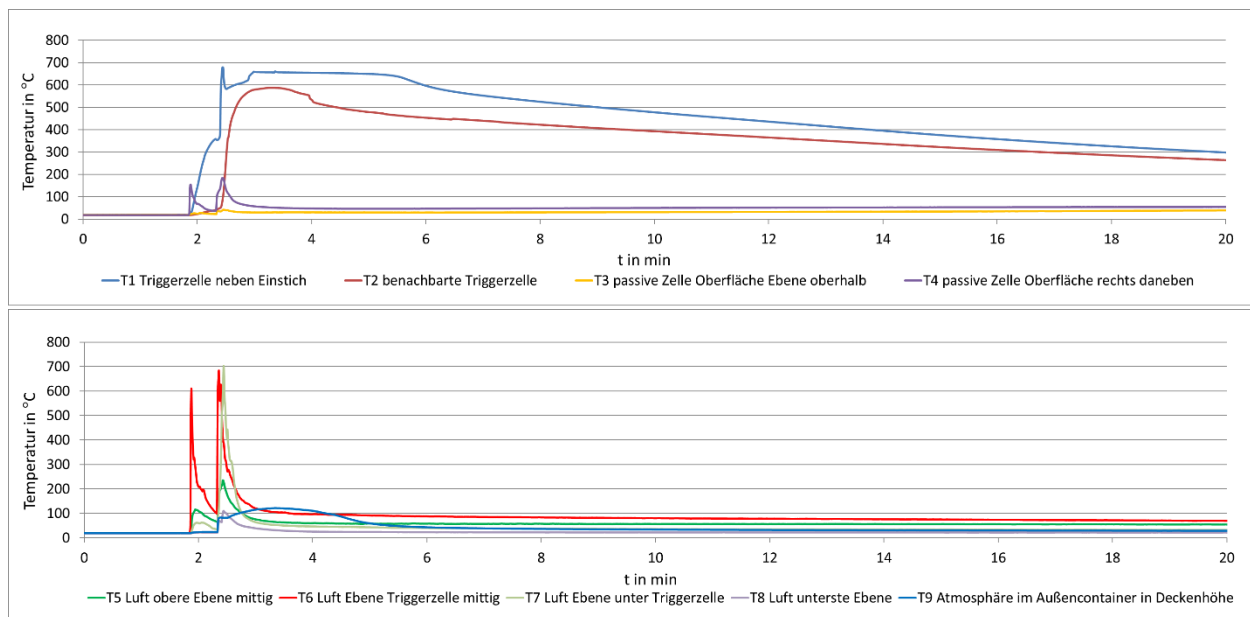


Abb. 2: Oben: Verlauf der Oberflächentemperaturen der vier im Sicherheitsschrank positionierten 54 Ah-Zellen. Unten: Temperaturverlauf in den Lagerebenen und dem Rauchgaskasten

3 Gasanalytik

Während des Versuchs wurden mittels verschiedener Analysemethoden die aus den Türspalten des Sicherheitsschranks austretenden Rauchgase analysiert. Bei der quantitativen Gasanalyse zeigten sich die folgenden Gaskonzentrationen im Rauchgaskasten (vgl. Tabelle 1).

Tab. 1: Quantitative Gasanalyse der Hauptkomponenten mittels GC

Substanz	Einheit	GC-Analyse		
H ₂	Vol-%	0,5	±	0,1
N ₂	Vol-%	78,4	±	0,9
O ₂	Vol-%	18,0	±	0,01
CO	Vol-%	1,0	±	0,2
CO ₂	Vol-%	3,3	±	0,4
Methan	ppm	1030	±	0,02
Ethan	ppm	108	±	19
Ethen	ppm	4454	±	0,05
Propen	ppm	338	±	24
Benzol *	ppm	24	±	1,2

* Quantifizierung anhand FID-Signal des GC-MS

Die eingesetzte FT-IR-Methode ermöglichte die Beobachtung des zeitlichen Konzentrationsverlaufs wichtiger Hauptkomponenten in der Gasphase. Für die sicherheitskritische Beurteilung wurden jedoch die Maximalwerte der FT-IR-Methode bzw. die punktuellen Konzentrationsbestimmungen der anderen analytischen Methoden nach dem Havarieereignis herangezogen.

Bei der Auswertung fällt, der mittels FT-IR ermittelte, maximale Wert von ca. 11.000 ppm (= 1,1 Vol-%) Kohlenmonoxid auf. Dieser Wert wurde nochmals durch die Einzelpunktmessung der GC-Analyse bestätigt (vgl. Tab. 1). Damit wurde der Störfallbeurteilungswert (AEGL-3 10 min: lebensbedrohliche Gefährdung bei 10 Minuten Expositionszeit)¹ von 1.700 ppm weit überschritten. Da der Sicherheitsschrank in den meisten Fällen in einem größeren (>> 2,18 m³ freies Gasvolumen) und besser belüfteten Raum aufgestellt ist und die Expositionszeit im Notfall geringer sein wird, ist das erwartbare Expositionsrisiko in den allermeisten Fällen deutlich niedriger.

Die ermittelten Gaskonzentrationen lassen sich wie folgt auf ein größeres Raumvolumen umrechnen.

$$\text{ermittelte Gaskonz. (ppm)} * (2,18 \text{ m}^3 / x \text{ m}^3) = \text{Gaskonz. (ppm) in Raumvolumen } x$$

Somit würde der AEGL-3 10 min.-Wert bei einer Raumgröße ab ca. 14,2 m³ nicht mehr überschritten werden.

Bei der Berechnung wurde eine zusätzliche Belüftung oder Frischluftzufuhr des Raums, welche die effektive Gaskonzentration weiter verringern würde, nicht berücksichtigt.

Neben den in Tabelle 1 gezeigten Gaskonzentrationen wurden noch die Konzentrationen saurer Gase mittels Flüssigabsorption und anschließender IC-Analyse ermittelt. Dabei zeigte sich, dass die Konzentrationen für Fluorwasserstoff (HF) mit 11,4 ppm und für Chlorwasserstoff (HCl) mit 0,4 ppm jeweils sogar deutlich unterhalb der AEGL-2 10 min.-Werte (AEGL-2 10 min: schwerwiegende, lang andauernde oder fluchtbehindernde Wirkung bei 10 Minuten Expositionszeit)¹ von HF = 95 ppm bzw. HCl = 100 ppm lagen.

¹ (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/anlagensicherheit/aegl-stoerfallbeurteilungswerte>; Stand: 07.04.2019)

4 Zusammenfassung

Der Test hat gezeigt, dass die Backdraftverriegelung des Sicherheitsschranks auch dem explosionsartigen Druckstoß einer Automotive-Zelle mit einer Kapazität von 54 Ah standhält und die Türen dauerhaft geschlossen und verriegelt bleiben. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass eine räumliche Trennung der Zellen bei der Lagerung und eine thermische Abtrennung der einzelnen Lagerbereiche wirkungsvoll das thermische Durchgehen weiterer Zellen verhindern kann.

Mit Hilfe der Gasanalytik konnten die Rauchgase, welche im Brandfall durch die Türspalte des Sicherheitsschranks entweichen, qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Dabei wurde gezeigt, dass das größte Gefährdungspotential von entweichendem Kohlenmonoxid ausgeht. Dieses Gefährdungspotential kann durch einen gut belüfteten Aufstellort minimiert werden.

5 Referenz

Der vorliegende Kurzbericht fasst die Ergebnisse des Versuchs, welcher am 11.09.2019 am Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT) in Pfinztal durchgeführt wurde, zusammen. Als Basis dient der folgende Ergebnisbericht:

Abert, M., Fanz, P., Froberg, J. (28.09.2019): *Untersuchung der Auswirkung einer Propagation innerhalb eines Sicherheitsschranks mit Analytik*. Pfinztal: Fraunhofer Institut für Chemische Technologie - ICT