

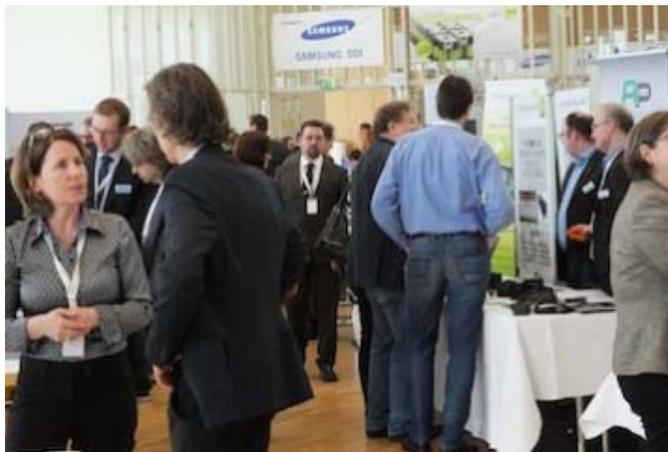
## LITHIUM-IONEN-BATTERIETECHNOLOGIE



Vortrag an der Hochschule RheinMain  
Rüsselsheim, 03. Juni 2016  
Dr. Jochen Mähliß

## Das Unternehmen

- unabhängiges DAkkS-akkreditiertes Prüflabor für Batterien aller Technologien
- vielfältiges Leistungsspektrum rund um Qualitäts- und Sicherheitsprüfungen von Zellen und Batterien
  - kundenspezifisch: Barbecue-Test, Nageltest, Trommeltest...
  - normspezifisch: UN 38.3, DIN EN 62133...
- Sachverständigengutachten
- Entwicklung von Batterietestgeräten und Zellenvergleichsprogramm
- Veranstalter von Schulungen, Seminaren und Battery Experts Foren



# Inhaltsübersicht

- 1 Batterien-ABC
  
- 2 Lithium-Ionen-Zellen
  - Aufbau & Funktionsprinzip
  - Anoden- und Kathodenaktivmaterialien
  - Markttrends und -analyse
  - Lebensdauer
  - Zellinterne Sicherheitskonzepte
  
- 3 Lithium-Ionen-Batterien
  - Aufbau
  - Schutzelemente (Batterie-Management-System)
  - richtiger Umgang

**1**

# BATTERIEN-ABC



Quelle: Umweltbundesamt

## Batterie

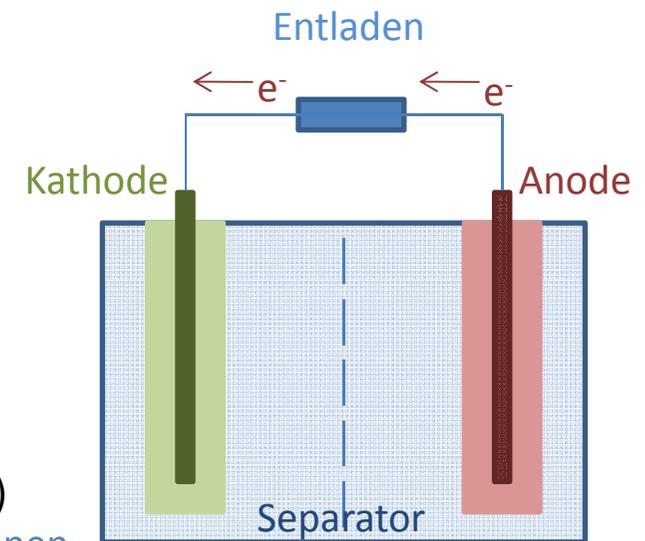
- bedeutet eine oder mehrere Zellen, die mit Hilfe permanenter Mittel elektrisch verbunden sind, einschließlich Gehäuse, Anschlüsse und Kennzeichnungen
- eine einzelne Zelle besteht aus Anode, Kathode, Separator und Elektrolyt

- nicht-wiederaufladbare Batterien (Primärbatterien)

Alkali-Mangan, Zink-Kohle, Lithium-Metall

- wiederaufladbare Batterien (Sekundärbatterien, Akkumulatoren)

Blei-Säure, Nickel-Cadmium, Nickel-Metallhydrid, Lithium-Ionen



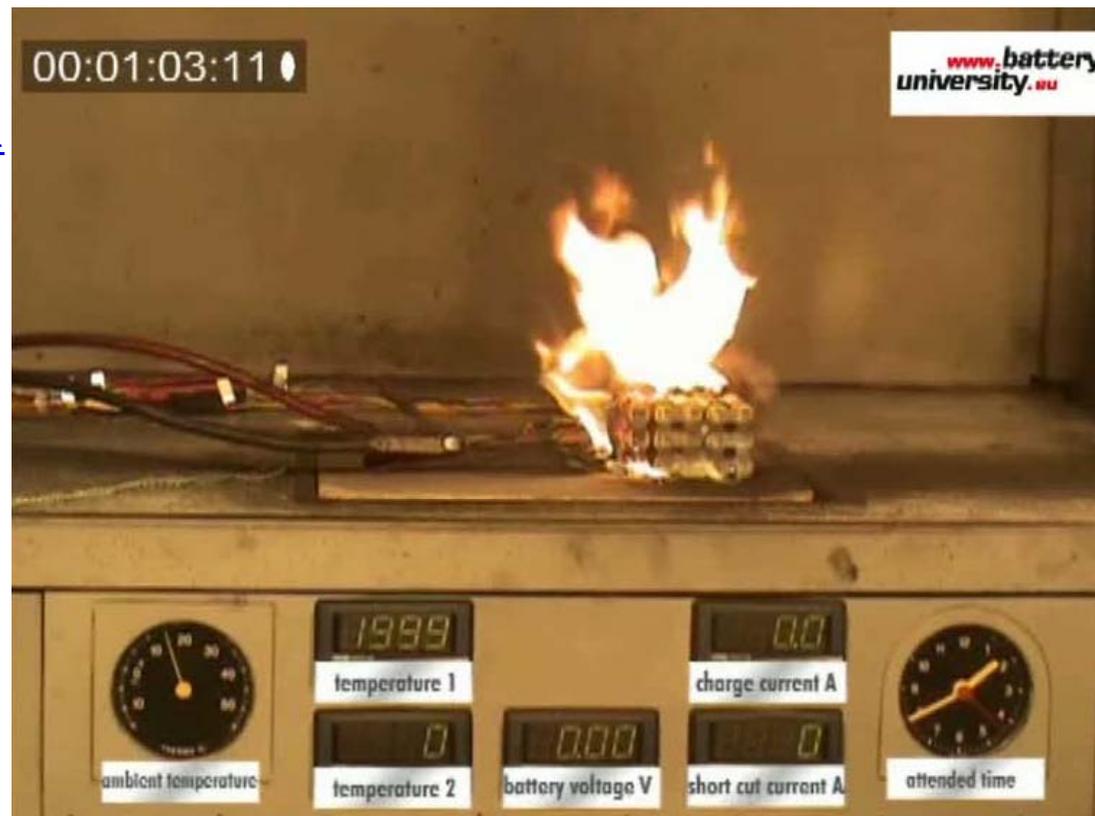
## Batterie-Management-System (BMS)

- elektronische Steuerung, die den Zustand der Batterie überwacht und regelt
  - „intelligente Batterie“
  - Standardfunktionen: **SCHUTZ**
    - Spannungsüberwachung (Lade-/Entladekontrolle)
    - Stromüberwachung
    - Temperaturüberwachung
    - „gas gauching“ (Bestimmung des Ladezustandes)
    - „cell balancing“ (Ausgleich der Ladezustände)

## Kurzschluss

- nahezu widerstandslose Verbindung zwischen den Polen einer Zelle oder Batterie
- hoher Kurzschlussstrom
  - Erhitzung der Batterie
    - Zersetzung und Verdampfung der Elektrolytflüssigkeit → → Gasbildung
    - ausgestoßenes Gas kann sich an den heißen Verbindern entzünden → → Feuer!!!

[VIDEO 1](#)



## Nennkapazität [Ah]

→ gespeicherte Elektrizitätsmenge (Strommenge mal Zeit) einer vollständig geladenen Batterie, die beim Entladen unter definierten Bedingungen entnommen werden kann

Bsp.: Eine Batterie mit 1500 mAh könnte eine Stunde lang einen Strom der Stärke 1500 mA abgeben

## Nennspannung [V]

→ charakteristische Betriebsspannung der Batterie

Bsp.: NiCd-Zelle = 1,2 V; NiMH-Zelle = 1,2 V; Blei-Säure-Zelle = 2,0 V; Lithium-Ionen-Zelle = 3,7 V

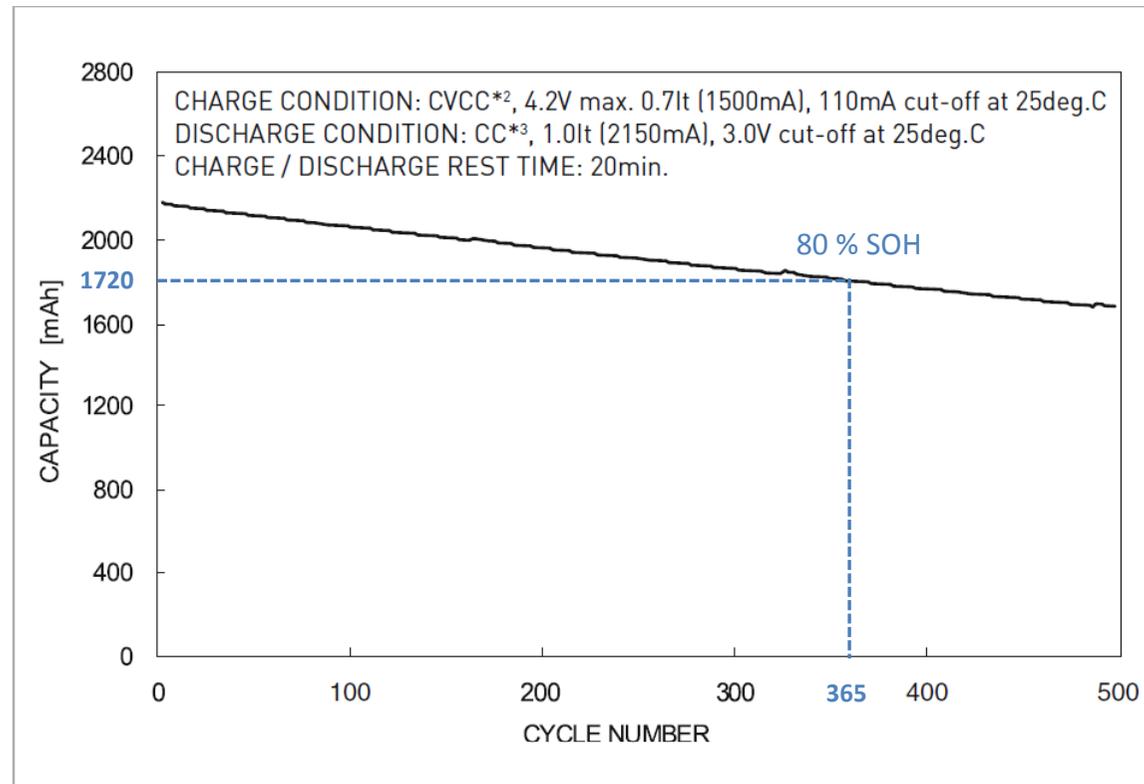
## Nennenergie [Wh]

→ die Energie in Wattstunden, die eine Batterie unter definierten Bedingungen abgeben kann  
→ Nennkapazität [Ah] multipliziert mit Nennspannung [V] ergibt Energiegehalt

Bsp.: 1500 mAh (1,5 Ah) x 3,6 V = 5,4 Wh

## Nutzungsdauer

- verwendbarer Zeitrahmen einer Zelle oder Batterie
  - abhängig von kalendarischer Lebensdauer und Zyklenzahl
  - Hersteller definieren im Allgemeinen die Nutzungsdauer bis zu dem Wert, an dem nur noch 80 % der ursprünglichen Nennkapazität vorhanden ist



→ Verwendung in Second-life-Batterien?

## Zyklus

- vollständige Entladung einer vollgeladenen Zelle oder Batterie mit nachfolgender vollständiger Ladung
  - Lebensdauer einer Zelle oder Batterie wird meistens in Anzahl der Zyklen angegeben

## Zylindrische Zelle

- die am weitesten verbreitete Ausführungsform
    - einfach zu produzieren, mechanisch sehr stabil
- Bsp.: „18650“ → 18 mm Durchmesser und 65,0 mm Höhe  
„26650“ → 26 mm Durchmesser und 65,0 mm Höhe



## Geschichtliches

1854 Wilhelm Josef Sinsteden: entwickelt die Blei-Säure-Zelle

1899 Waldemar Jungner : entwickelt die Nickel-Cadmium-Zelle (NiCd)

1950er:  
erfolgreiche Markteinführung  
→ 1970er und 80er mobile elektronische Geräte  
→ höhere Energiedichte

→ Entwicklung der Nickel-Metallhydrid-Zelle (NiMH)  
→ Entwicklung der Lithium-Ionen-Zelle



1990:

Kommerzialisierung von NiMH-Zellen

1991:

Kommerzialisierung von Lithium-Ionen-Zellen  
(Sony mit amorphem Kohlenstoff als Anode,  $\text{LiCoO}_2$  als Kathode)

1994:

Sanyo mit Graphit als Anode,  $\text{LiCoO}_2$  als Kathode  
→ erhöht die Energiedichte der Zelle zusätzlich

1999:



Kommerzialisierung von Lithium-Ionen-Polymer-Zellen



2

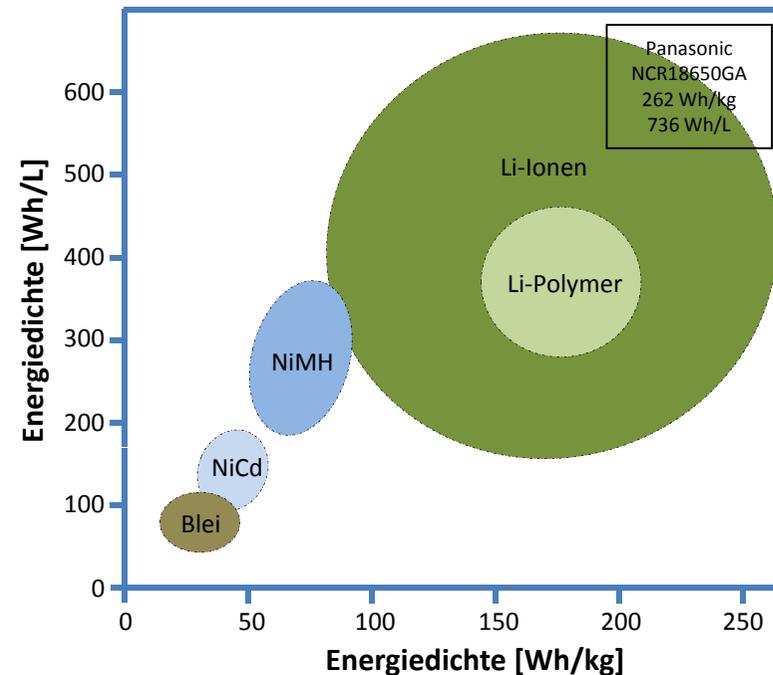
# LITHIUM-IONEN-ZELLEN



Quelle: BASF-Pressfoto\_Metalloxid-Partikel

## Vorteile

- keinen Memory-Effekt (wie bei NiCd) → keinen Lazy-Effekt (wie bei NiMH)
- hohe Spannung von bis 3,7 V pro Zelle
- leichteste feste Element
- höchste Energiedichten
- hoher Wirkungsgrad von bis zu 95 %  
(Verhältnis Entladestrommenge/  
Ladestrommenge)
- großer Temperaturbereich (-20 °C bis +70 °C)
- lange Lebensdauer (> 300 Zyklen)
- niedrige Selbstentladungsrate (< 1 % pro Monat)
- umweltfreundlich (enthalten keine giftige Substanzen wie Cd, Pb oder Hg)



Quelle: <http://www.batteriesdatabase.com>, Stand Aug. 2012

## Aufbau

→ Wickelzelle besteht aus einem Wickel und Elektrolyt in einem festen Gehäuse

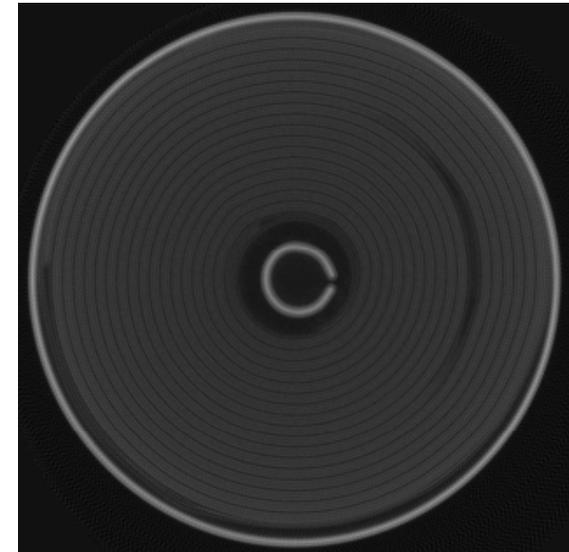
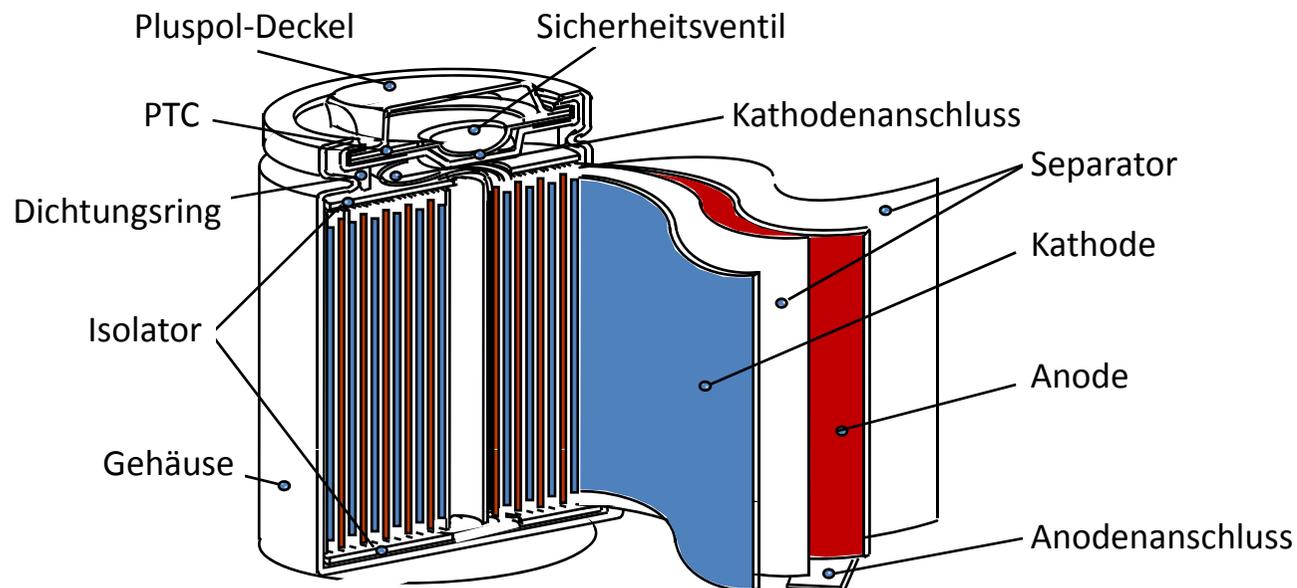
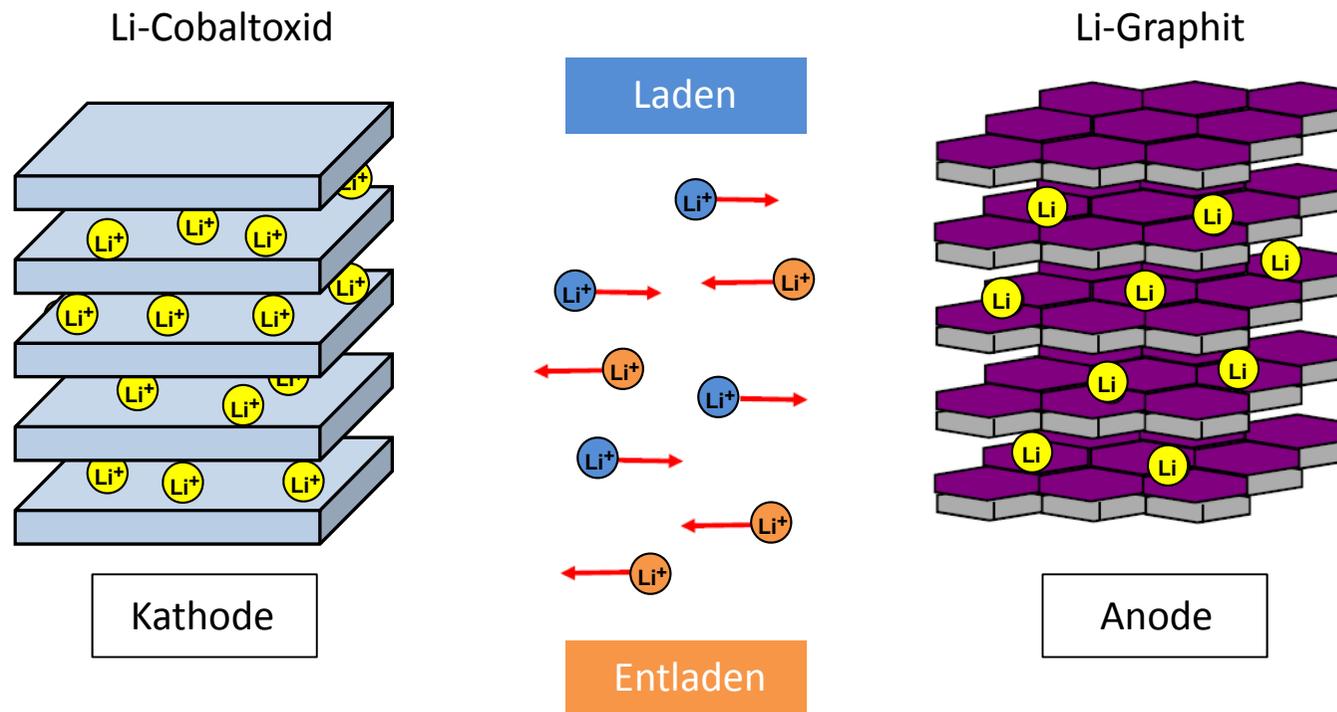


Abb.: Zylindrische Zelle

→ ist die am weitesten verbreitete Ausführungsform

- + einfach zu produzieren
- + größte Energiedichte
- + mechanisch sehr stabil
- + einfach zu kontaktieren
- schlechte Wärmeabfuhr
- geringe Skalierbarkeit

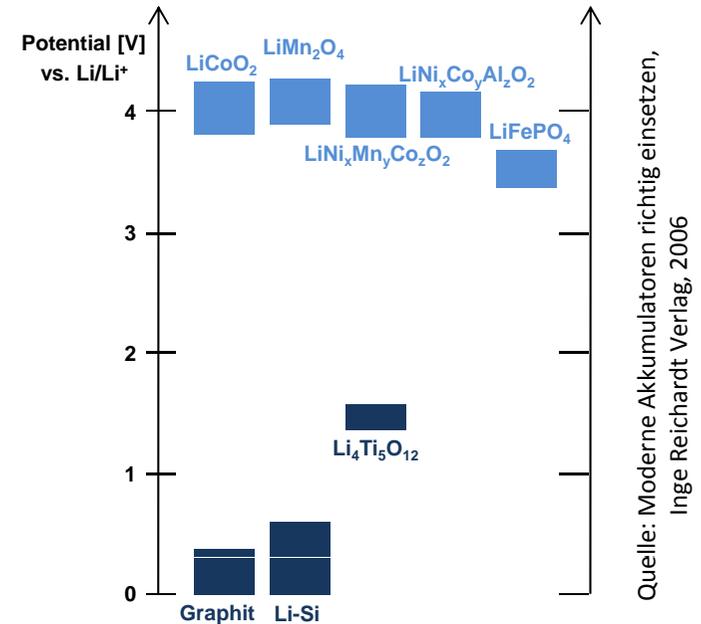
## Funktionsprinzip



- Lithium-Ionen repräsentieren die aktive Spezies
  - Wanderung von Anode zu Kathode und von Kathode zu Anode...
- Aktivmaterial: Kathode =  $\text{Li-CoO}_2$ ; Anode  $\text{Li-C}_6$ 
  - Einlagerung von Li-Ionen ( $\text{Li}^+$ ) in Kathode (Cobaltoxid)
  - Einlagerung von Li-Atomen ( $\text{Li}$ ) in Anode (Graphit)

## Anoden- und Kathodenaktivmaterialien

1. der Unterschied zwischen ihren Potentialen sollte so groß wie möglich sein  
→ hohe Spannung
2. die Oberfläche der Elektroden sollte so groß wie möglich sein  
→ Hochstromfähigkeit
3. die Speicherkapazität für Li-Ionen/Li-Atome sollte so groß wie möglich sein  
→ hohe Kapazität
4. die Volumenänderung bei unterschiedlichen Beladungszuständen sollte so klein wie möglich sein  
→ hohe Zyklenzahl, lange Lebenszeit
5. die Materialien sollten bei hohen Temperaturen so stabil wie möglich sein  
→ Sicherheit

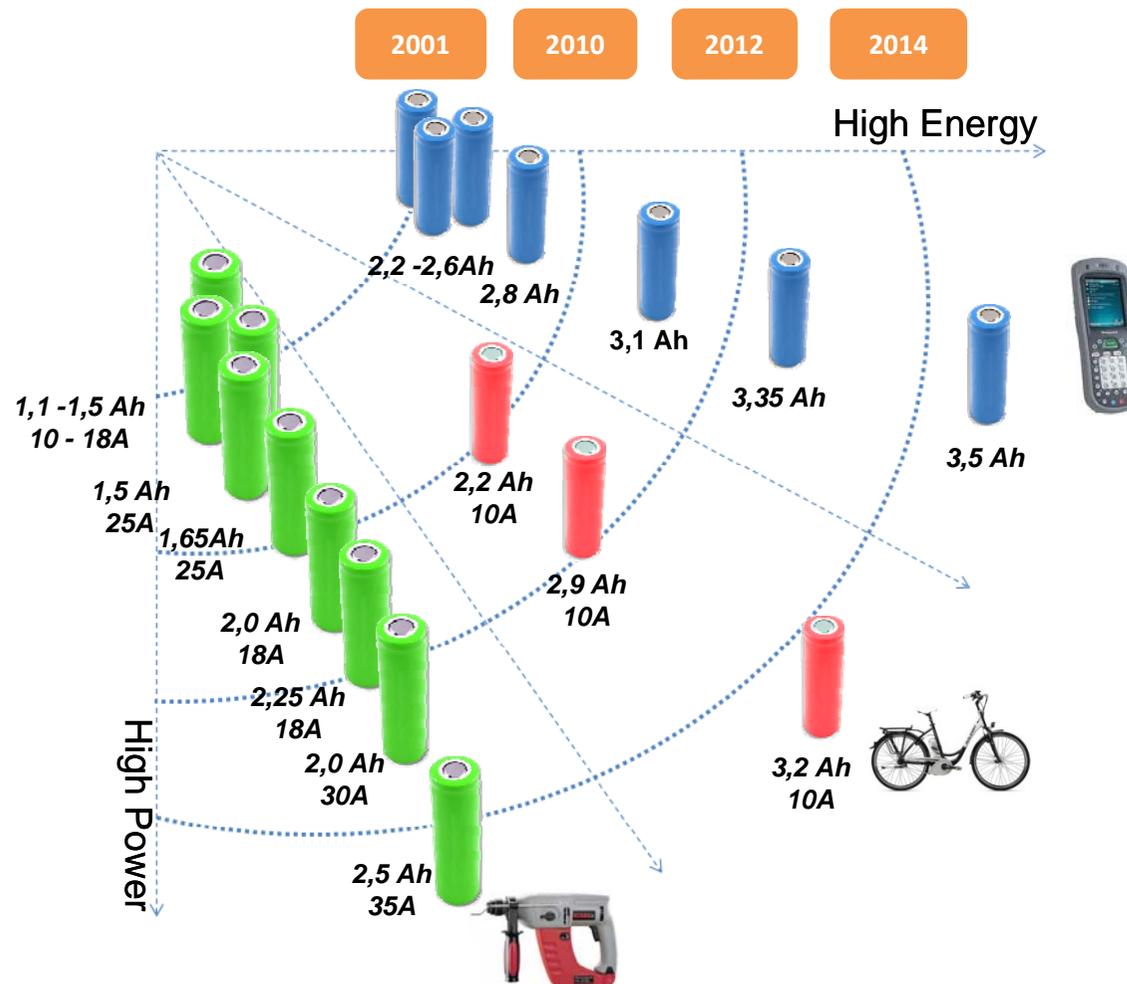


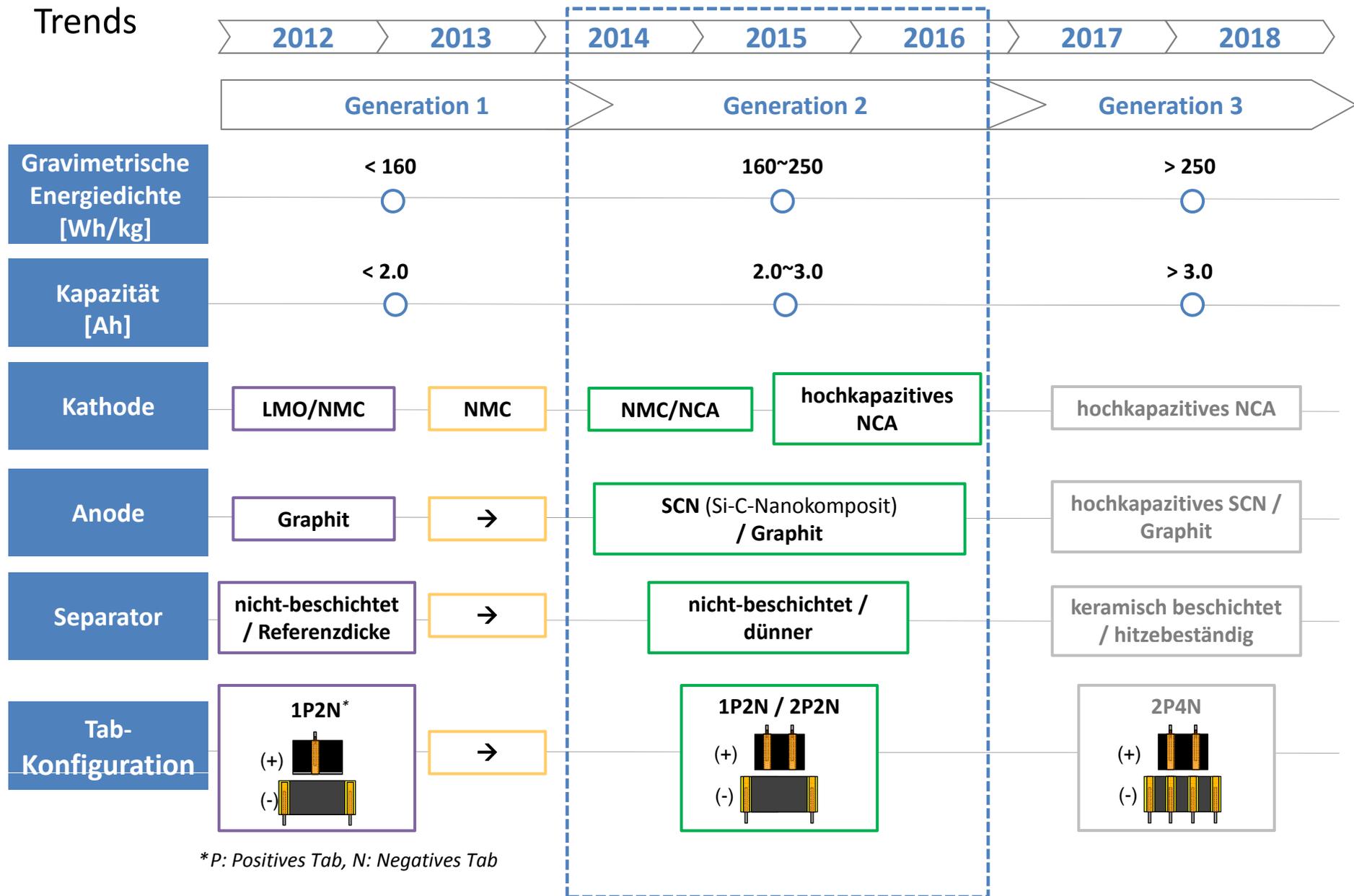
## Zusammenfassung der Kathodenmaterialien:

	LCO	LMO	NMC	NCA	LFP
Struktur	Schicht	Spinell	Schicht/Spinell	Schicht	Olivin
Sicherheit	- <a href="#">VIDEO 2</a>	+ <a href="#">VIDEO 3</a>	o	--	++
Nennspannung [V]	3,7		3,6/3,7	3,6	3,2/3,3
Vol. Energiedichte [Wh/L]	320-500	290-340	490- 580	480-670	160-260
Grav. Energiedichte [Wh/kg]	110-180	100-120	180-210	180-250	80-120
Entladeleistung [C]	1-2	3-15	1-10	1-10	10-30
Lebensdauer [Zyklen] bis 60 % Restkapazität	300-500	1000-1500	500-1000	500-1000	2000-5000
Anschaffungskosten [€/kWh] Zelle (18650) Q4/2014	170	230	200	210	450
Relative Kosten [€/kWh/Zyklus]	0,35-0,60	0,15-0,25	0,20-0,40	0,20-0,40	0,10-0,25
Anwendungsbereiche	High Energy Home appliance	High Power Power Tools Garden Tools Medical application Military	High Energy+Power Power Tools Garden Tools Home appliance Medical application Electromobility Energy Storage	High Energy+Power Power Tools Garden Tools Home appliance Electromobility Energy Storage	High Power Power Tools Garden Tools Electromobility Military Emergency- Lighting Energy Storage

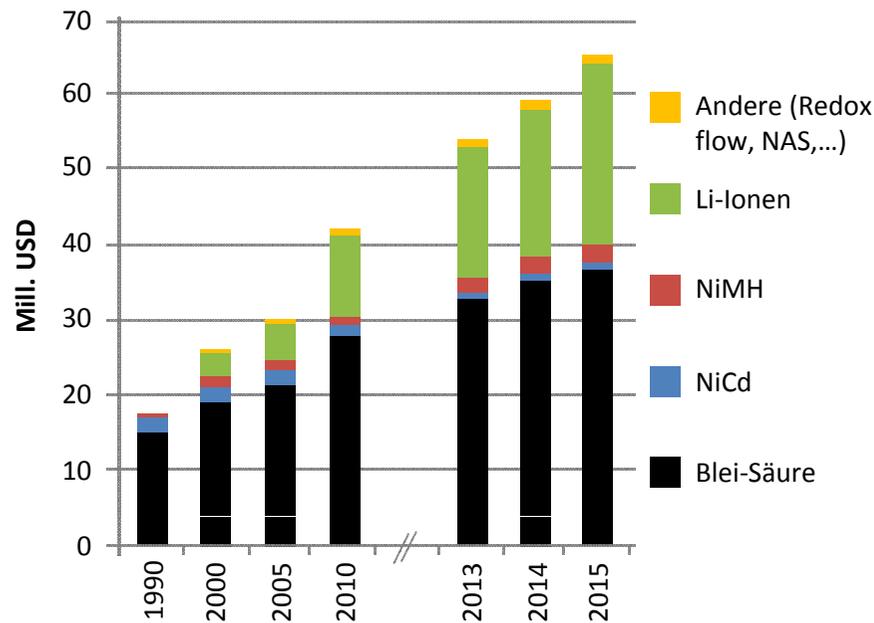
# Markttrends und -analyse

High Energy vs High Power





## Umsatz mit den verschiedenen Sekundärbatterien-Systemen



Quelle: AVICENNE ENERGY Analyses 2015

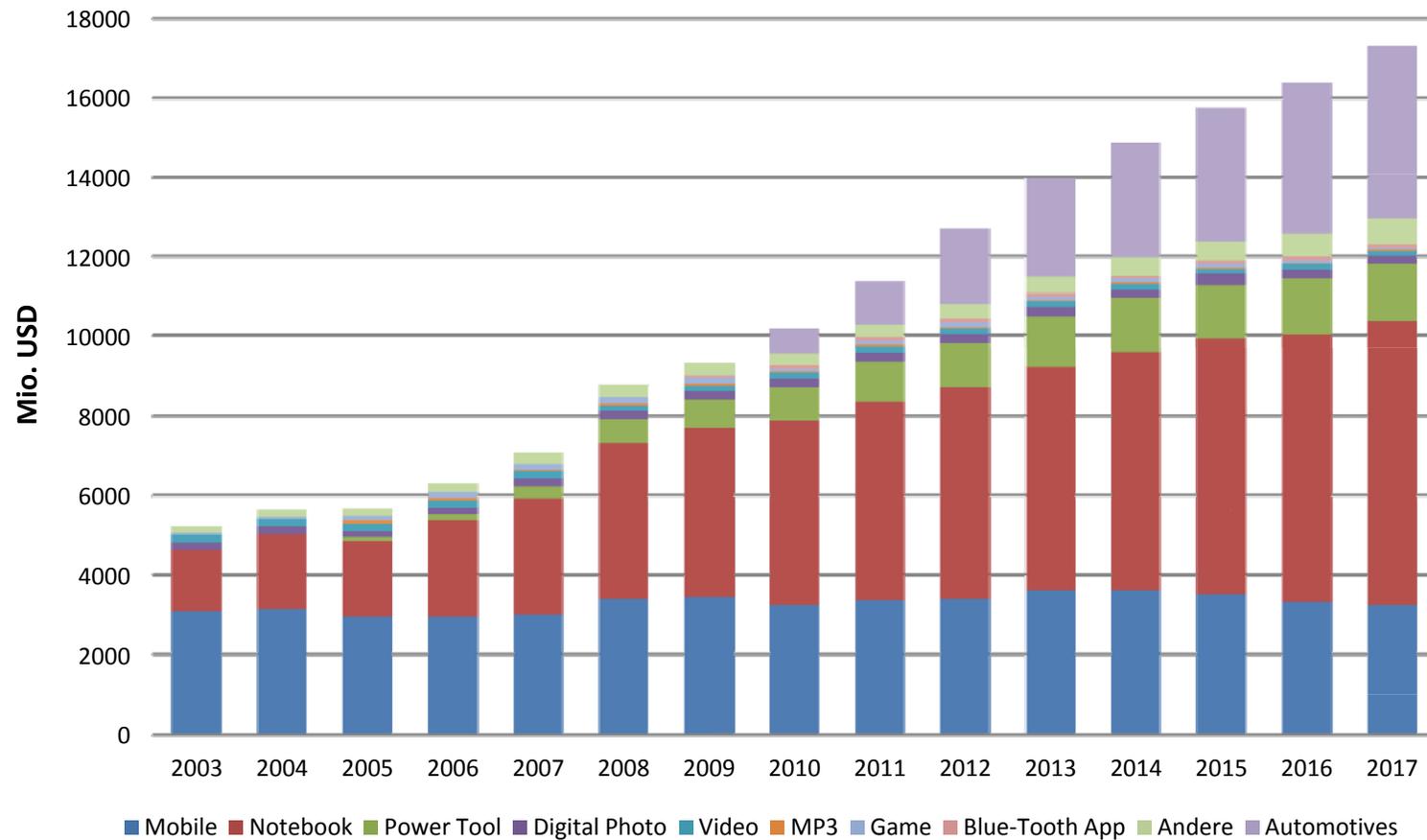
Blei-Säure hat immer noch den höchsten Marktanteil:

- + hohe Zellspannung von etwa 2 V
- + hohe Sicherheit, auch unter Fehlgebrauchsbedingungen
- + hohe Lebensdauer möglich (→ „DOD“ )
- + sehr gutes Recycling
- + zuverlässig und preisgünstig

→ typ. Anwendungen: unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Traktion (Bsp. Gabelstapler), Starterbatterien, stationäre Energiespeicher

- geringe Energiedichte von nur 30 Wh/kg
- ziemlich schwer
- Belüftung des Batteriestandorts notwendig, da Wasserstoff entstehen kann
- begrenzte Lagerzeit von wenigen Monaten
- Sulfatierung bei niedrigem SOC
- müssen gewartet werden

## Marktprognose

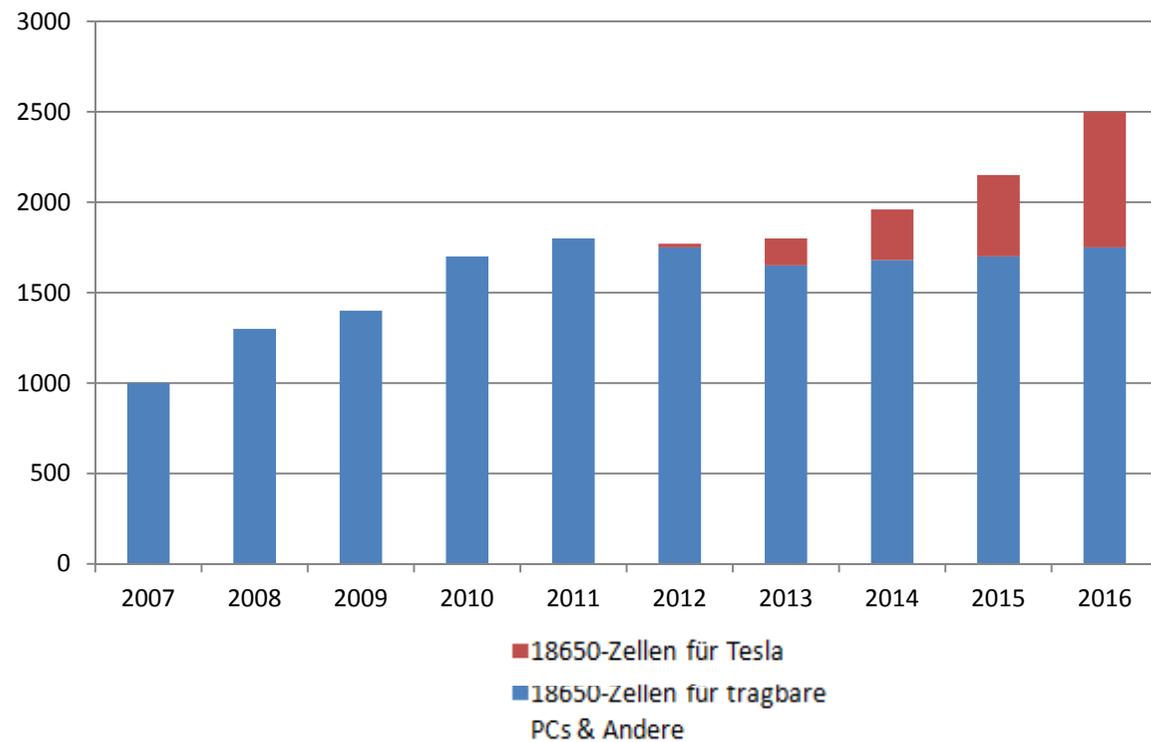
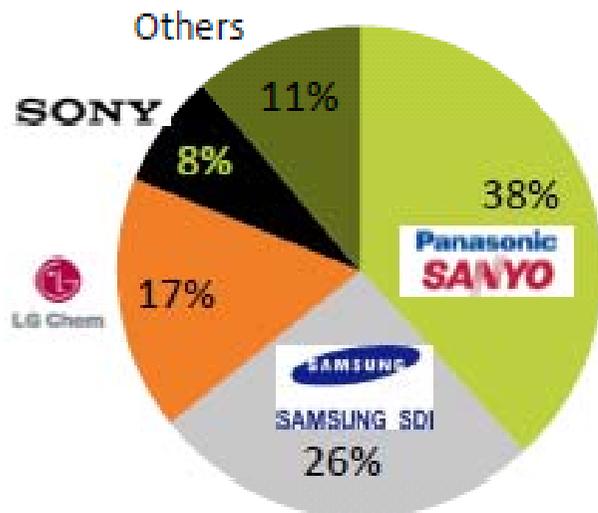


Quelle: AVICENNE ENERGY Analyses 2013

## „TESLA changes the game...“

→ 2014 griff TESLA ca. 15 % der 18650-Zellen aus dem Markt ab

18650-Zellen 2014,  
Volumen 1.960 Mio. Zellen



„Model S“ bis Ende 2015 ca. 55 000 verkauft



<b>60</b> 60 kWh Batterie	<b>85</b> 85 kWh-Batterie	<b>85D</b> 85 kWh Dualmotor	<b>P85D</b> 85 kWh Performance
<b>390 km</b> Reichweite NEFZ <b>385 PS</b> Motorleistung <b>6,2</b> Sekunden 0-100 km/h <b>190 km/h</b> Höchstgeschwindigkeit 8 Jahre, 200.000 km Garantie auf Batterie und Antriebseinheit Supercharger-Nutzbarkeit optional	<b>502 km</b> Reichweite NEFZ <b>385 PS</b> Motorleistung <b>5,6</b> Sekunden 0-100 km/h <b>225 km/h</b> Höchstgeschwindigkeit 8 Jahre Garantie mit unbegrenzter Laufleistung auf Batterie und Antriebseinheit Supercharger-Nutzbarkeit inbegriffen	<b>502 km</b> Reichweite NEFZ (geschätzt) <b>380 PS</b> Motorleistung <b>190 PS</b> Frontmotor und Heckmotor <b>5,4</b> Sekunden 0-100 km/h <b>250 km/h</b> Höchstgeschwindigkeit Dual Motor Allradantrieb 8 Jahre Garantie mit unbegrenzter Laufleistung auf Batterie und Antriebseinheit Supercharger-Nutzbarkeit inbegriffen	<b>480 km</b> Reichweite NEFZ (geschätzt) <b>700 PS</b> Motorleistung <b>224 PS</b> Frontmotor, <b>476 PS</b> Heckmotor <b>0</b> auf 100 km/h in <b>3,4 Sek.</b> <b>250 km/h</b> Höchstgeschwindigkeit Dualmotor-Allradantrieb für fulminanten Vortrieb und überlegenes Handling - mit speziell ausgelegter Radaufhängung 8 Jahre Garantie mit unbegrenzter Laufleistung auf Batterie und Antriebseinheit Supercharger-Nutzbarkeit inbegriffen

„Model X“ Auslieferung ab 2016



- Vorbestellungslimit (20 000 St.) innerhalb weniger Wochen erreicht
- reines EV
- Batterie 90 kWh
- Reichweite 500 km
- „Signature-Variante“ (700 PS)
- Kosten 117.000 €

„Model 3“ ab 2017 ca. 35.000 USD



Stand Ende Mai 2016: 450.000 Vorbestellungen

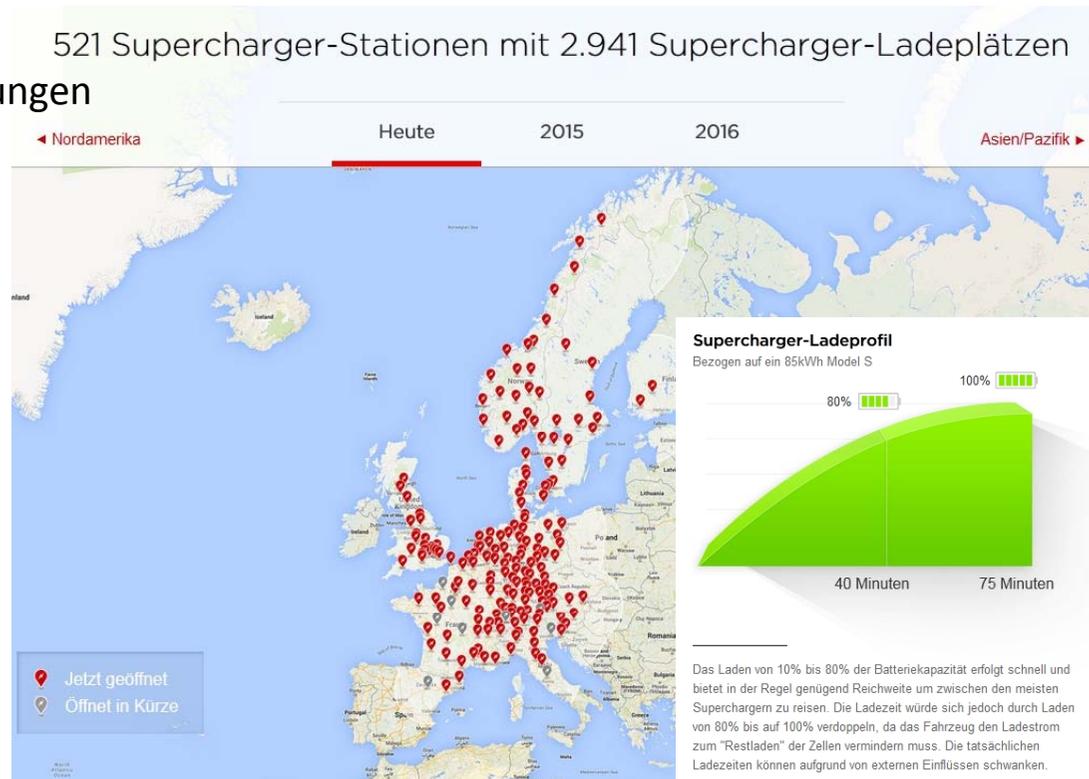
521 Supercharger-Stationen mit 2.941 Supercharger-Ladeplätzen

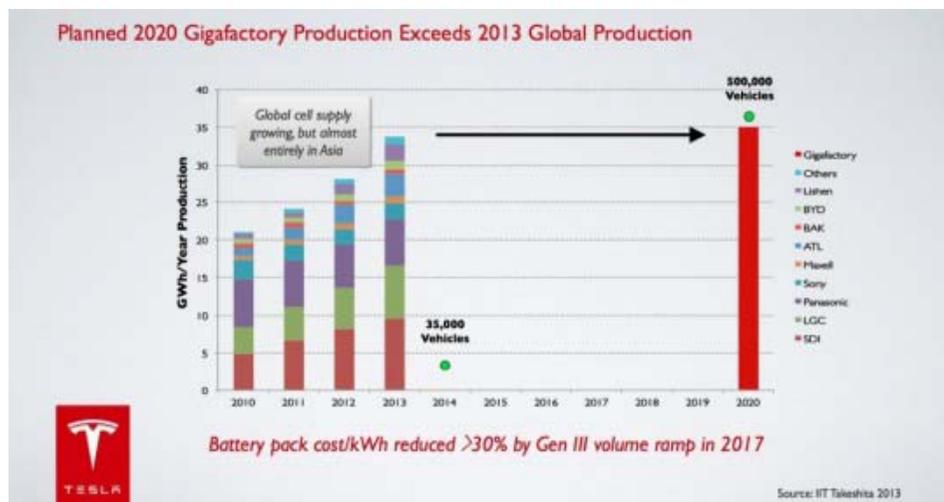
Reichweite

Nach einem halbstündigen Ladevorgang

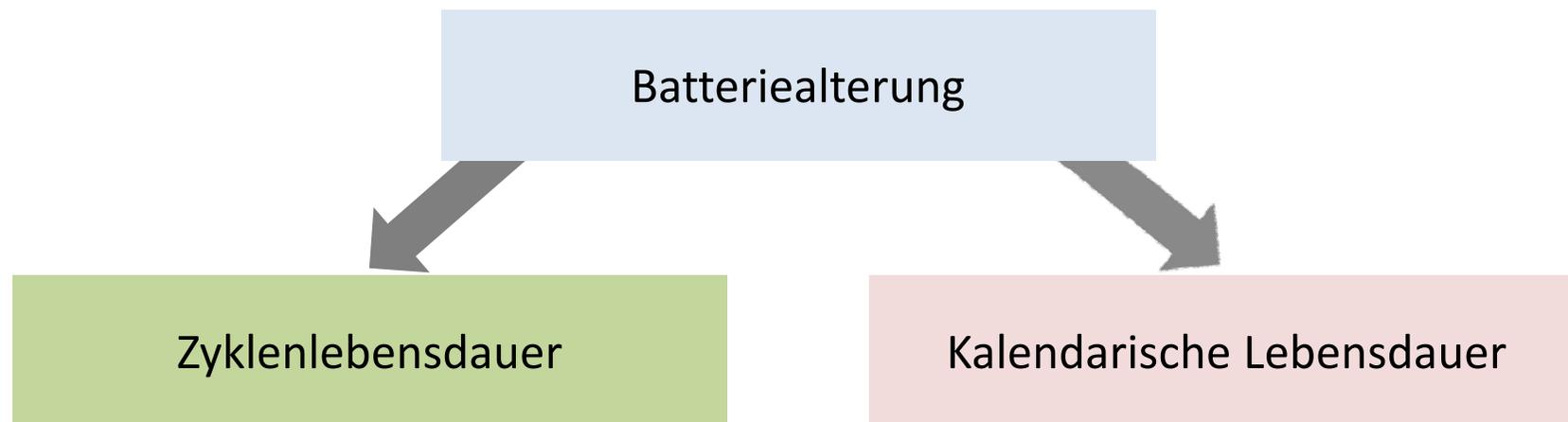


Die Tesla Supercharger liefern in 30 kurzen Minuten ca. 270 km Reichweite.





# Lebensdauer



abhängig von:

- Zellchemie (bspw. Aktivmaterialien)
- SOC („state of charge“)
- DOD („depth of discharge“)
  - Teilzyklen erhöhen Lebensdauer überproportional
- „Cell Imbalance“ (→ Cell-Balancing)
- Lade-/Entladestromstärke
- Betriebstemperatur

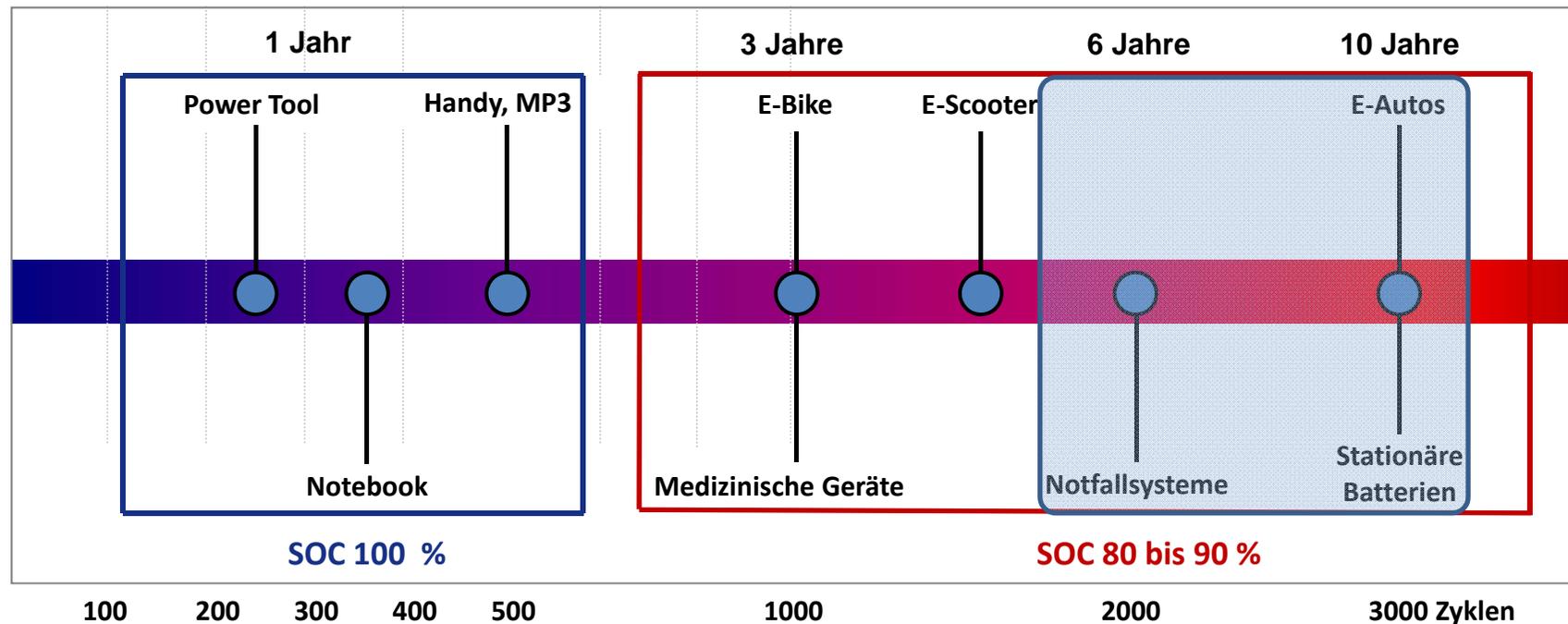
abhängig von:

- Zellchemie
- SOC
- Umgebungstemperatur
  - RGT-Regel:  
Temperaturerhöhung um 10 °C, verdoppelt Zersetzungs-/Auflösungsgeschwindigkeiten  
→ halbiert Lebensdauer

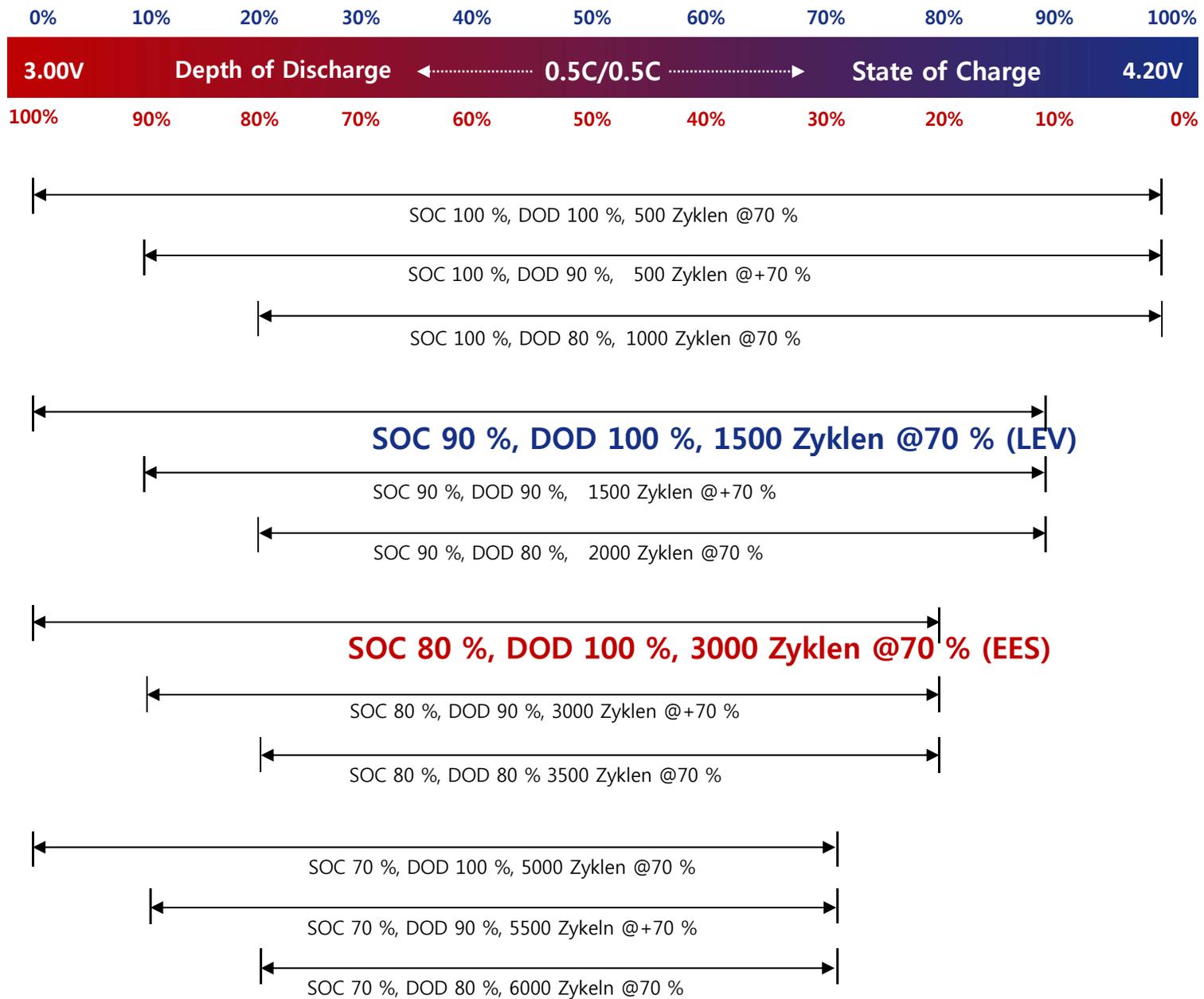
[Kalkulation Kapazitätsverlust](#)

## Lebensdauer vs Zyklenzahl

→ in Abhängigkeit von den Ladezustand (SOC/DOD)

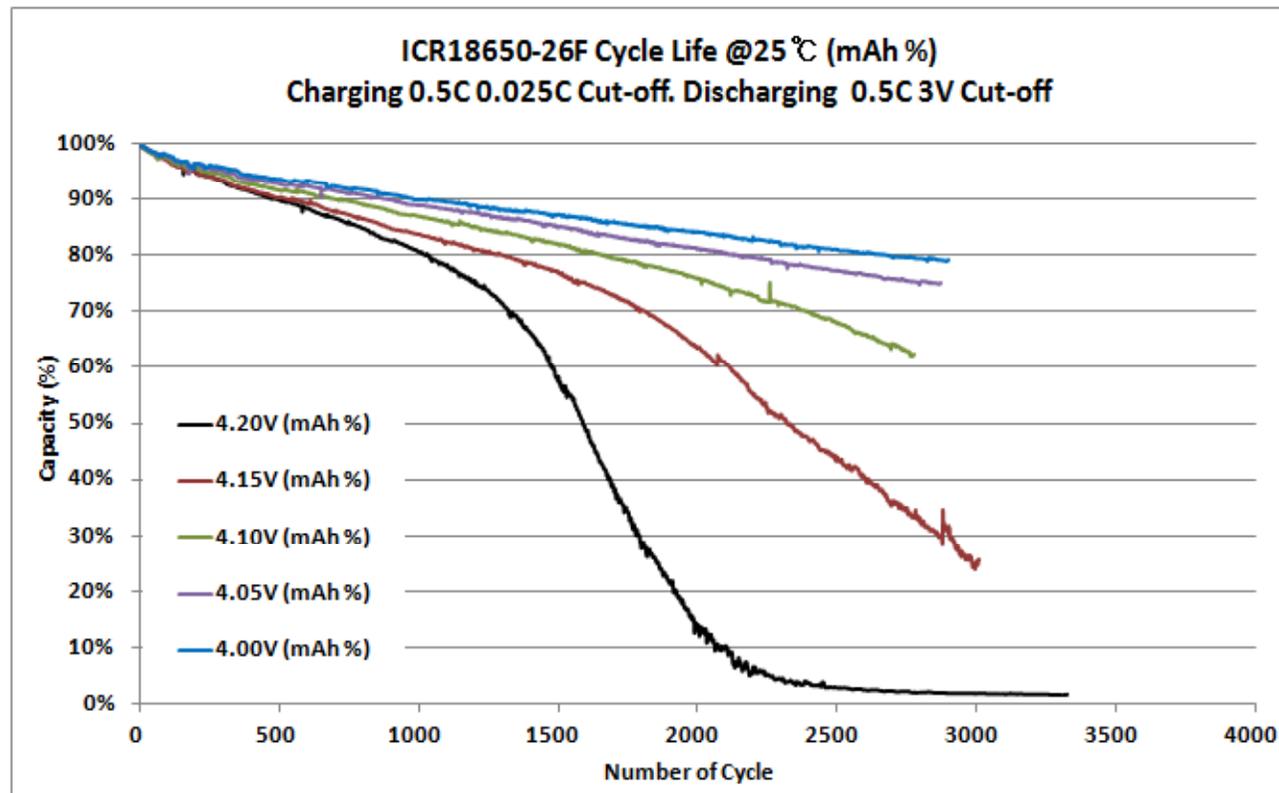


- je höher SOC, desto geringer Zyklenzahl
  - in manchen Applikationen 100 % SOC erforderlich
- je niedriger SOC, desto höher Zyklenzahl
  - in manchen Applikationen hohe Lebensdauer erforderlich
  - niedrigerer SOC auf Kosten der Kapazität

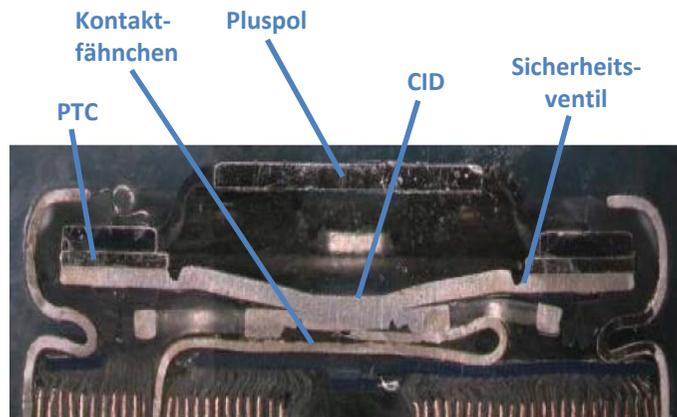


Quelle: Samsung\_Zelle ICR18650-26F

→ in Abhängigkeit von dem Ladezustand (SOC) → Ladeschlussspannung



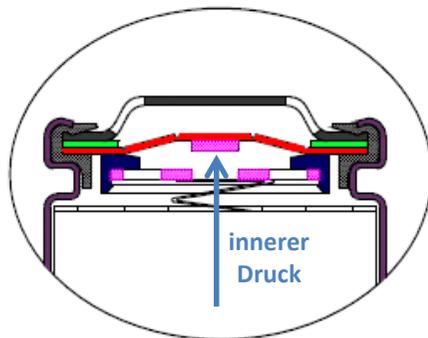
→ je niedriger die Ladeschlussspannung gesetzt wird, desto länger die Lebensdauer  
Bsp. Samsung ICR18650-26F



## Zelleninterne Sicherheitskonzepte

### PTC

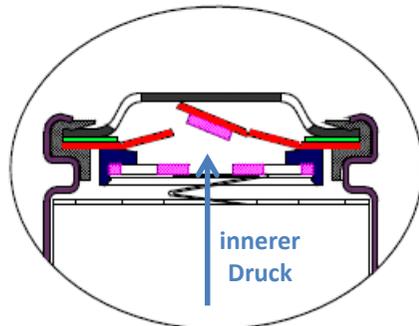
- positive temperature coefficient
- übermäßige Ausdehnung des Bauteils bei Erwärmung
  - fließen zu hohe Ströme während des Lade- oder Entladevorgangs, reduziert das PTC durch Erwärmung den Stromfluss



### CID

- current interrupt device
- bei Entstehung internen Druckes verformt sich Sicherheitsventil und Kathodenkontakt reißt ab
  - → Unterbrechung des Ladestroms

Bsp.: Sauerstoffentstehung durch Zersetzung der  $\text{CoO}_2$ -Kathode bei 5 V → Überladung

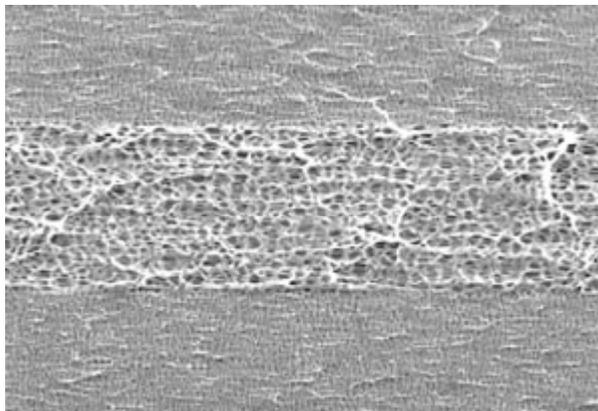


### Sicherheitsventil

- steigt interner Druck plötzlich sprunghaft an, bricht Sollbruchstelle und Gas kann entweichen
- verhindert gewaltsames Bersten der Zelle

## Separator

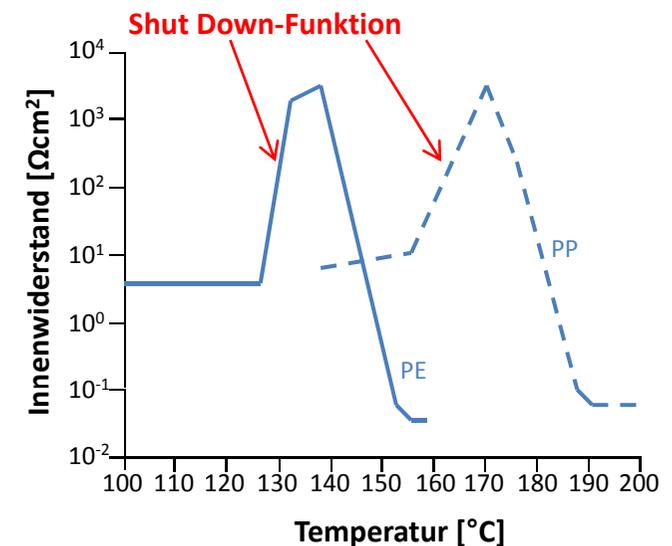
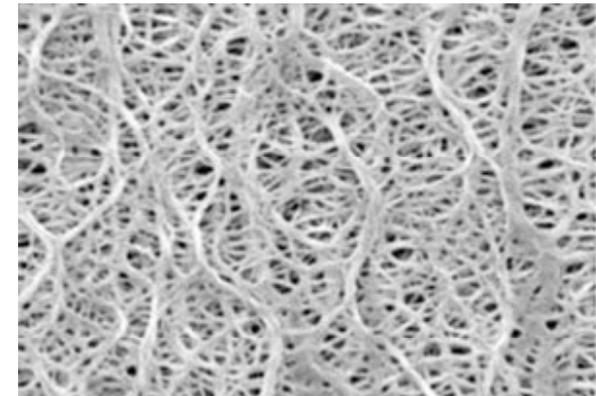
- elektrolytdurchlässige Trennvorrichtung mit dem die Elektroden vor gegenseitiger Berührung geschützt werden
  - Vermeidung von Kurzschluss
  - besteht aus porösem, nicht-leitendem Material (z.B. Kunststoff)
  - REM-Aufnahme PE-Separator:
    - hochporös (40-50 %)
  - verwenden von Trilayer-Separatoren



celgard® Trilayer PP/PE/PP Battery Separator

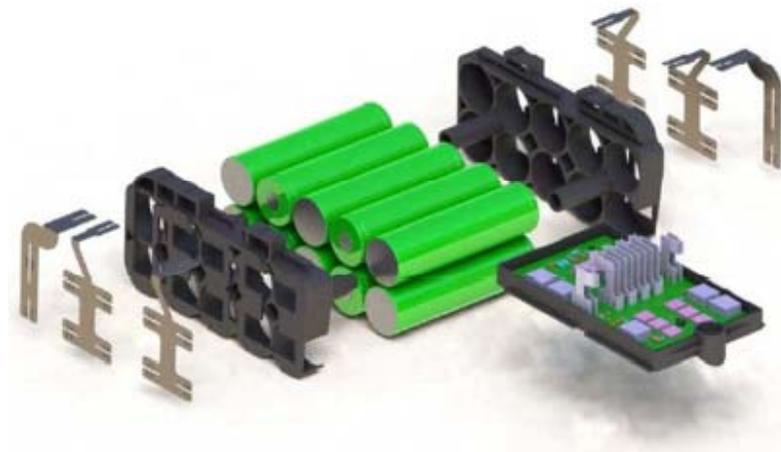
- „shut down“ (PE ca. 130 °C, PP ca. 160 °C)
- Innenwiderstand der Zelle steigt um mind. Faktor 1000
- Stromfluss wird minimiert
- Beschichtung mit keramischen Partikeln

Bsp.: SEPARION®



**3**

# LITHIUM-IONEN- BATTERIEN



Quelle: BMZ\_Explosionszeichnung Batterie

## Aufbau

Design und Aufbau am Beispiel einer Pedelec-Batterie



- Unterrohr-Akku für Diamantrahmen
- Konfiguration 10S5P (50 zylindrische Zellen des Typs 18650)
- entsprechende Bauraumstudien in Zusammenarbeit mit dem Designer

## Anforderungen an den Akku

### → elektrische Anforderungen

- hohe Leistung (Leistungsanforderungen Motor)  
Spannungsbereich in dem der Motor arbeitet  
Stromaufnahme des Motors
- hohe Kapazität ( $\triangleq$  hohe Reichweite)
- hohe Zyklenfestigkeit ( $\triangleq$  hohe Lebensdauer)
- hohe Sicherheit
- hoher Ladestrom
- hohen Wirkungsgrad/geringe Lade-/Entladeverluste
- geringe Selbstentladung

### → mechanische Anforderungen

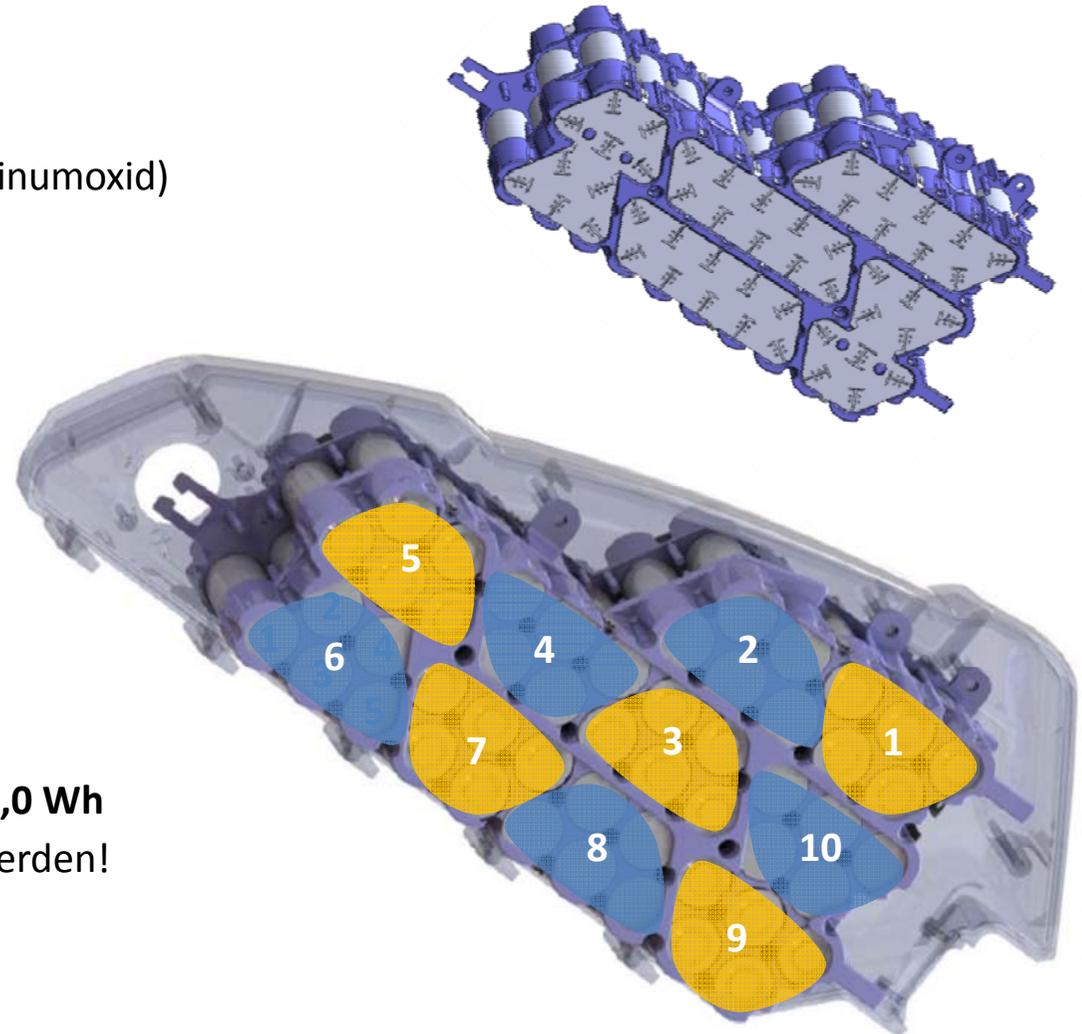
- geringe Abmessungen (angepasst an Bauraum und Geometrie)
- geringes Gewicht
- wasserdicht (IP-Schutzklassen)
- mechanisch belastbar (steife Gehäusestruktur, sichere Verbindung der Einzelteile)
- Verwendung von Materialien mit hoher Eigensicherheit (feuerfest)

### → kaufmännische Anforderungen

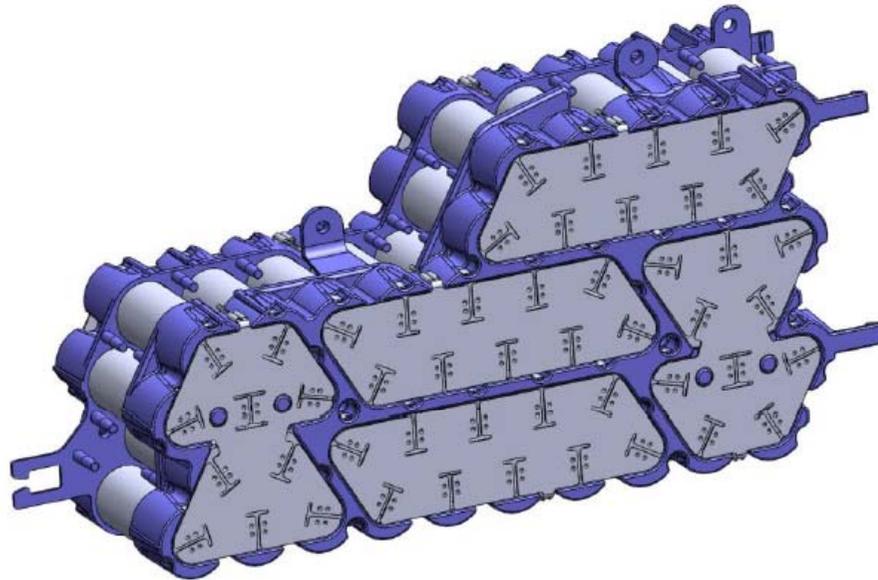
- niedrige Produktionskosten

### Technische Vorgaben: 10S5P

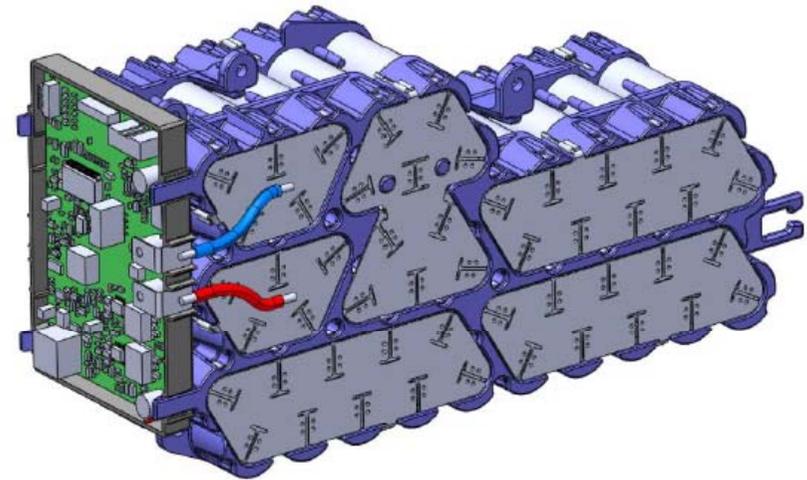
- Zellauswahl Panasonic NCR18650A
  - Trimix-Zelle: NCA (Nickel-Cobalt-Aluminiumoxid)
  - 3,6 V, 3100 mAh
  
- 50 Zellen (10 seriell x 5 parallel)
  - parallele Schaltung
    - Kapazitäten addieren sich:  
 $5 \times 3100 \text{ mAh} = \mathbf{15,5 \text{ Ah}}$
  - serielle Schaltung:
    - Spannungen addieren sich:  
 $10 \times 3,6 \text{ V} = \mathbf{36,0 \text{ V}}$
  
- Nennenergie
  - Nennspannung x Nennkapazität = **558,0 Wh**
  - muss als Gefahrgut transportiert werden!



### Verbinder zur Konfiguration 10S5P



### Befestigung und elektrischer Anschluss des Batterie-Management-Systems

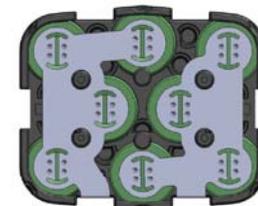


### Zellverbinder

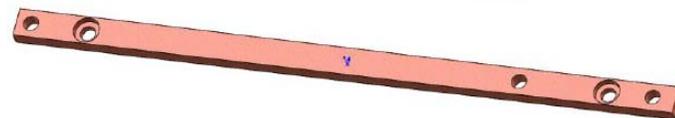
→ Standardverbinder für einfache Anordnung:  
Stahl vernickelt, Hilumin®, Hilan®, Nickel (99.2)



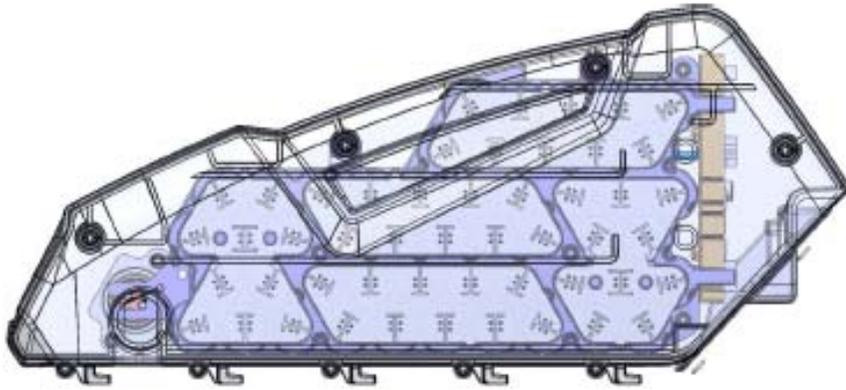
→ mehrfache Formverbinder für spezifische Konfigurationen:



→ Stromschienen als Sammelverbindung  
Kupfer, Aluminium

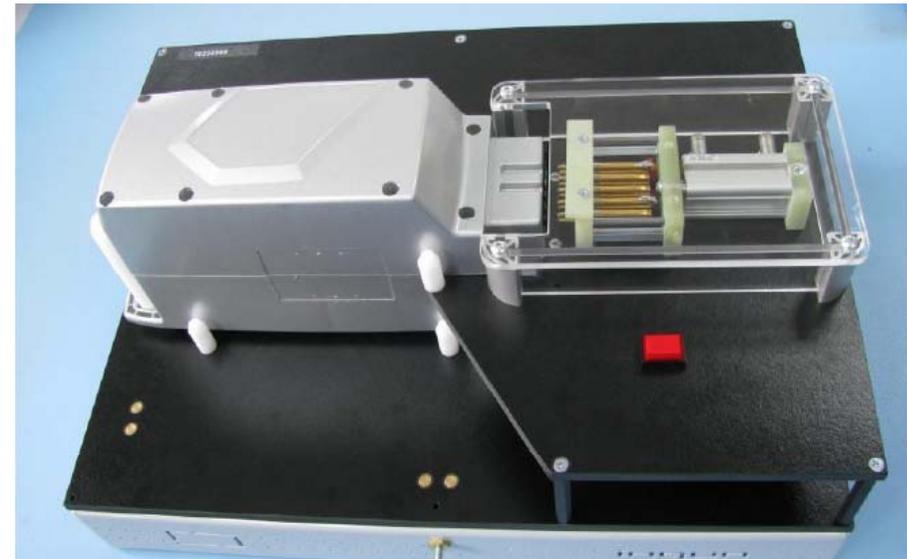


## Gehäuseverschraubung und Versiegelung



## Batterieprüfung

- in der Produktionslinie
- nach erfolgreichem Durchlauf drucken des Etikettes mit zugeordneter Seriennummer



## Schutzelemente – Batterie-Management-System

### → Schutzfunktionen

- Überladen
- Tiefentladen
- Überstrom (→ keine zu starke Belastung → Lebensdauer)
- Kurzschluss
- Temperatur

### → Balancing (→ max. Kapazitätsausnutzung)

### → Informationen

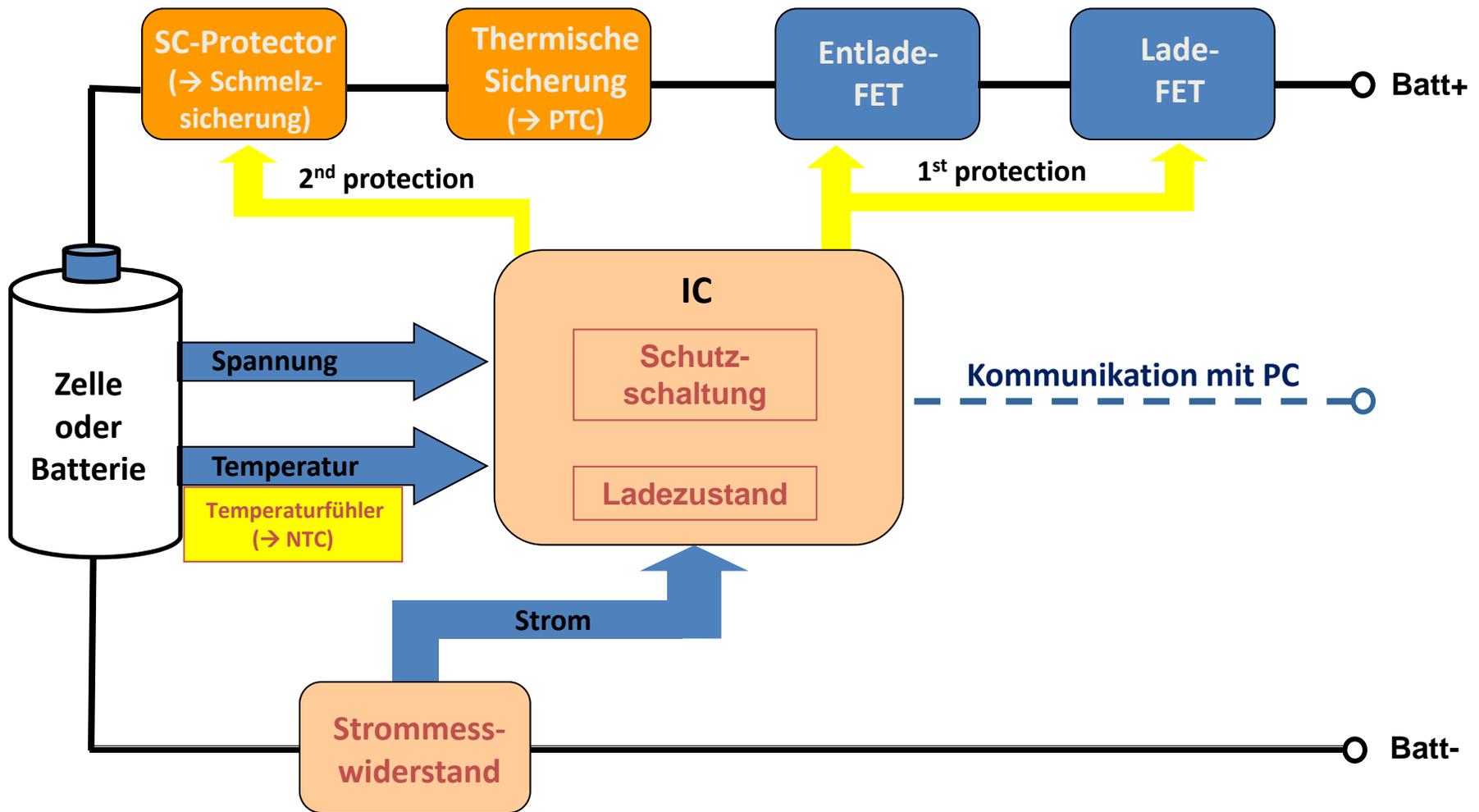
- Gas Gauging (Ladezustandsanzeige)
- Fehlerspeicher

### → Kommunikation

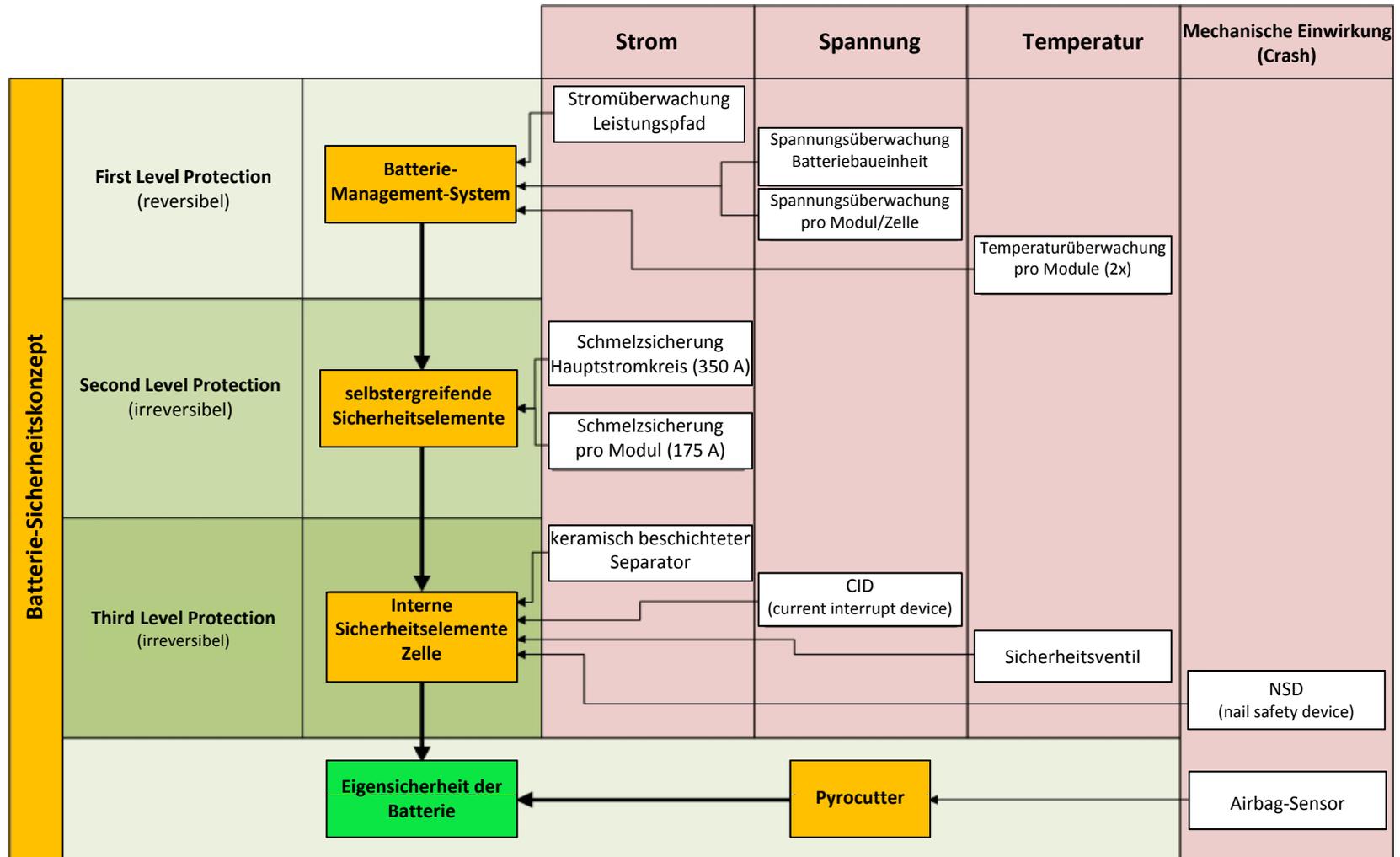
- SM-Bus
- LIN-Bus
- CAN-Bus



## Aufbau BMS



## Sicherheitskonzepte in einer Automotive-Batterie



## Richtiger Umgang

- bei ordnungsgemäßem Umgang und sachgerechter Handhabung können Batterien als vergleichsweise sicher angesehen werden!!
- aufgrund technischer Defekte oder unsachgemäßer Handhabung kann es jedoch zu einer unkontrollierten Abgabe der chemisch gespeicherten Energie kommen
  - Brandgefahr!!



### Grundsätzlich gilt:

#### a) nicht zerlegen, öffnen, zerkleinern

- Batterien sollten nur von ausgebildetem Personal zerlegt werden
- Batteriegehäuse sollten nur mit Hilfe eines Werkzeugs geöffnet werden können

#### b) nicht kurzschließen

- Batterien dürfen nicht in Schachtel/Schubfach gelagert werden, in welcher sie sich gegenseitig kurzschließen können oder durch andere leitende Werkzeuge kurzgeschlossen werden können
- erst unmittelbar vor Verwendung aus der Originalverpackung entnehmen

#### c) keinen hohen Temperaturen aussetzen oder ins offene Feuer werfen (→ Explosionsgefahr!)

- direktes Sonnenlicht vermeiden

#### d) keinen mechanischen Stößen aussetzen

**Batterien nicht weiter verwenden, wenn:**

- **Ladevorgang nicht innerhalb der spezifizierten Zeit beendet wurde**
- **ungewöhnliche Wärme, Geruch, Verfärbung, Deformation während Gebrauch, Ladevorgang oder Lagerung detektiert wird**

**Beispiele für fehlerhafte Handhabung und unsachgemäßem Gebrauch:**

Mechanische Beschädigungen

- mechanische Beschädigungen können zu inneren Kurzschlüssen führen
  - hoher fließender Strom führt zu Hitzeentwicklung
  - kann zu Feuerentfachung führen

Bsp. Lithium-Ionen-Batterie: Zersetzung des Elektrolyten

- Gasbildung
  - Öffnen des Sicherheitsventils
  - Entzündung des brennbaren Gases an glühenden Verbindern

- unter Umständen ist der Defekt nicht unmittelbar zu erkennen
- auch noch Stunden nach der Beschädigung kann es zum Brand kommen!

- beschädigte Batterien nicht mit bloßen Händen berühren!
  - Lithium kann schwere Verätzungen der Haut verursachen → → LiOH
  - Batterien mit Hilfe einer Schaufel oder Zange handhaben
- ausgelaufene Elektrolytflüssigkeit mit  $\text{CaCO}_3$ -Lösung versetzen und mit einem saugfähigen Stück Stoff aufwischen

→ Elektrolytflüssigkeit ist gesundheitsschädlich  und ätzend  → Bsp.:  $\text{LiPF}_6$

→ bei hohen Temperaturen Bildung giftiger Zersetzungsprodukte möglich!! 

→ Bsp.: Bildung von Flußsäure (HF)

→ löst Calcium aus Knochen → Osteoporose

→ Schutzhandschuhe tragen!!

→ Nitril-Kautschuk

→ Butyl-Kautschuk



→ brennt eine Lithiumbatterie, so können -wie bei jedem Brand- Reizungen infolge von entstehendem Rauch oder Dämpfen an Augen, Haut und Atemwegen auftreten

→ Tragen einer Gasmasken gegen organische Gase!!

(bspw. Atemschutzfilter A2B2E2K2-P3)

→ Schutzbrille tragen!!



→ Überladeversuch Samsung 60 Ah-Zelle mit blockiertem OSD (Overcharge Safety Device)

[VIDEO 4](#)

**Results of gas analyses**

	unit	Overcharge autoclave 60Ah SAMSUNG BMZ1307a_60Ah_GAS_02 thermal runaway, venting, fire	thermal stability autoclave 60Ah SAMSUNG BMZ1307a_60Ah_GAS_04 cell opening, electrolyte evaporation, venting, no fire
kind of event			
volume of autoclave	l	45	45
p peak event	mbar	23700	13000
calculated total volume at normal pressure	l	1066.5	585
p final after event	mbar	8000	5390
volume of emitted gas	l	360	242.55
Fluorine concentration in the air of the autoclave	µg/l	353.3	90.2
O2	vol %	1.3	1.0
N2	vol %	13.7	19.1
H2	vol %	14.2	14.9
CO2	vol %	22.4	26.0
CO	vol %	15.2	16.9
Ar	vol %	0.1	0.2
Phosphin	mg/m3	0.1	0.07
Formaldehyde:	µg/m3	<2	<2
Acetaldehyde:	µg/m3	1720	1960
Propionaldehyde:	µg/m3	214	174
Butyraldehyde:	µg/m3	112	256
Valeraldehyd:	µg/m3	<2	<2
Methane:	vol%	8.70	7.4
Ethan:	vol%	4.5	1.8
Ethen:	ppm (vol)	34000	48000
Propane:	ppm (vol)	4900	2200
Propene:	ppm (vol)	17000	23000

→ riesige Gasvolumina (360 L und 242 L)  
 → brennbare (Bsp: Propan), erstickende (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), toxische (Phosphin, HF, CO) und krebserregende (Aldehyde) Reaktionsprodukte

calclatrion total amount = concentration \* (volume autoclave + volume emitted gas)

## Erste-Hilfe



Sollten aus einer Lithiumbatterie Chemikalien austreten, ist Folgendes zu beachten:

- Einatmen: austretende Gase können zu Atemwegsbeschwerden führen
  - sofort lüften oder an die frische Luft gehen, in schlimmeren Fällen sofort einen Arzt rufen
  
- Verschlucken: es kann zu Verätzungen der Speiseröhre und des Magens kommen
  - kein Erbrechen herbeiführen
  - Mund mit Wasser ausspülen
  - nie einer ohnmächtigen Person etwas durch den Mund einflößen, Arzt konsultieren
  
- Hautkontakt: es können Hautirritationen auftreten
  - Haut mit Seife und Wasser gründlich waschen
  - kontaminierte Kleidung ausziehen
  
- Augenkontakt: es kann zu Reizungen an den Augen kommen
  - sofort die Augen gründlich mit Wasser auswaschen, ca. 15 Minuten immer wiederholen, dann einen Arzt aufsuchen



→ Toxizität

Im normalen Umgang treten keine gefährlichen Stoffe aus der Lithiumbatterie aus und es kann somit zu keiner Berührung mit toxischen Stoffen kommen.

→→ keine Schutzausrüstung erforderlich



→ Umwelt

Bei normalem Umgang tritt keine Umweltschädigung durch die Lithiumbatterie auf. Sie muss jedoch nach dem Gebrauch gesondert entsorgt werden, da sie gefährliche Chemikalien enthält.



→ Entsorgung

**Der Akkumulator ist Sondermüll!**



Die Entsorgung der Lithiumbatterie darf nur über eine dafür vorgesehenen Stelle, wie z.B. bei der Stiftung GRS (Gemeinsames Rücknahmesystem), erfolgen.

Die Lithiumbatterie darf auf keinen Fall über den Restmüll entsorgt werden.



**VI ELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!**

**Batteryuniversity GmbH**

Am Sportplatz 30 · 63791 Karlstein am Main · Germany  
Tel. +49 (0)6188 - 99410-0 · Fax. +49 (0)6188 - 99410-20  
mail@batteryuniversity.eu · www.batteryuniversity.eu