

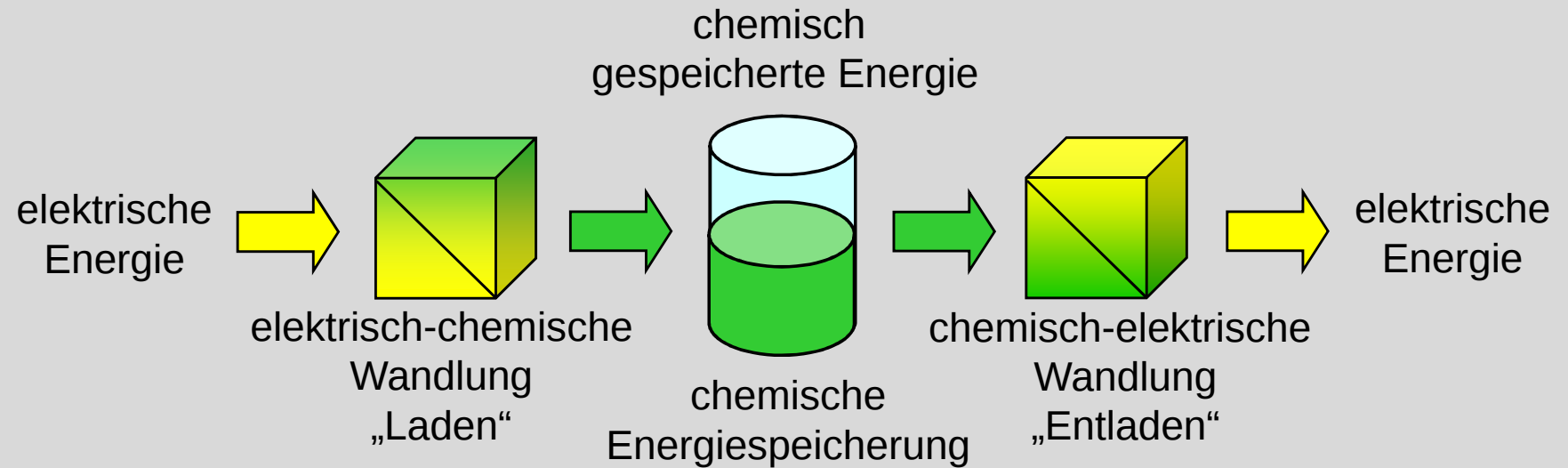
Batterie- und Brennstoffzellensysteme

Batteriesysteme

André Weber

Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik IWE
Adenauerring 20b, Geb. 50.40 (FZU), Raum 314
phone: 0721/608-7572, fax: 0721/608-7492
andre.weber@kit.edu

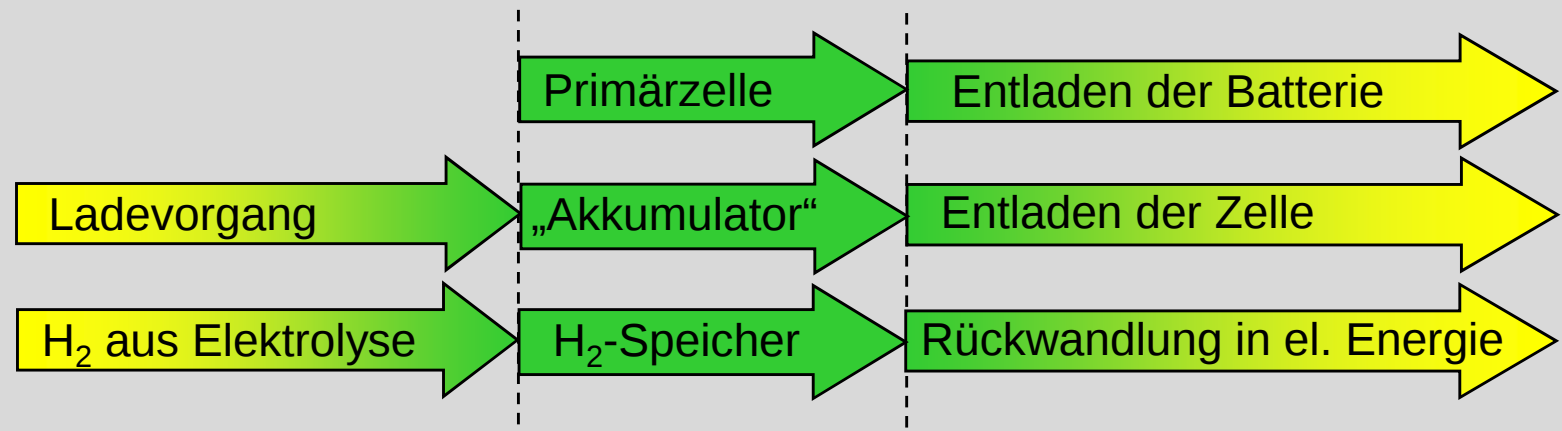




primäre Batterie:
(Einwegbatterien)

sekundäre Batterie:
(Akkumulatoren)

tertiäre Batterie:
(Brennstoffzellen)



Hybrid-Kraftfahrzeug

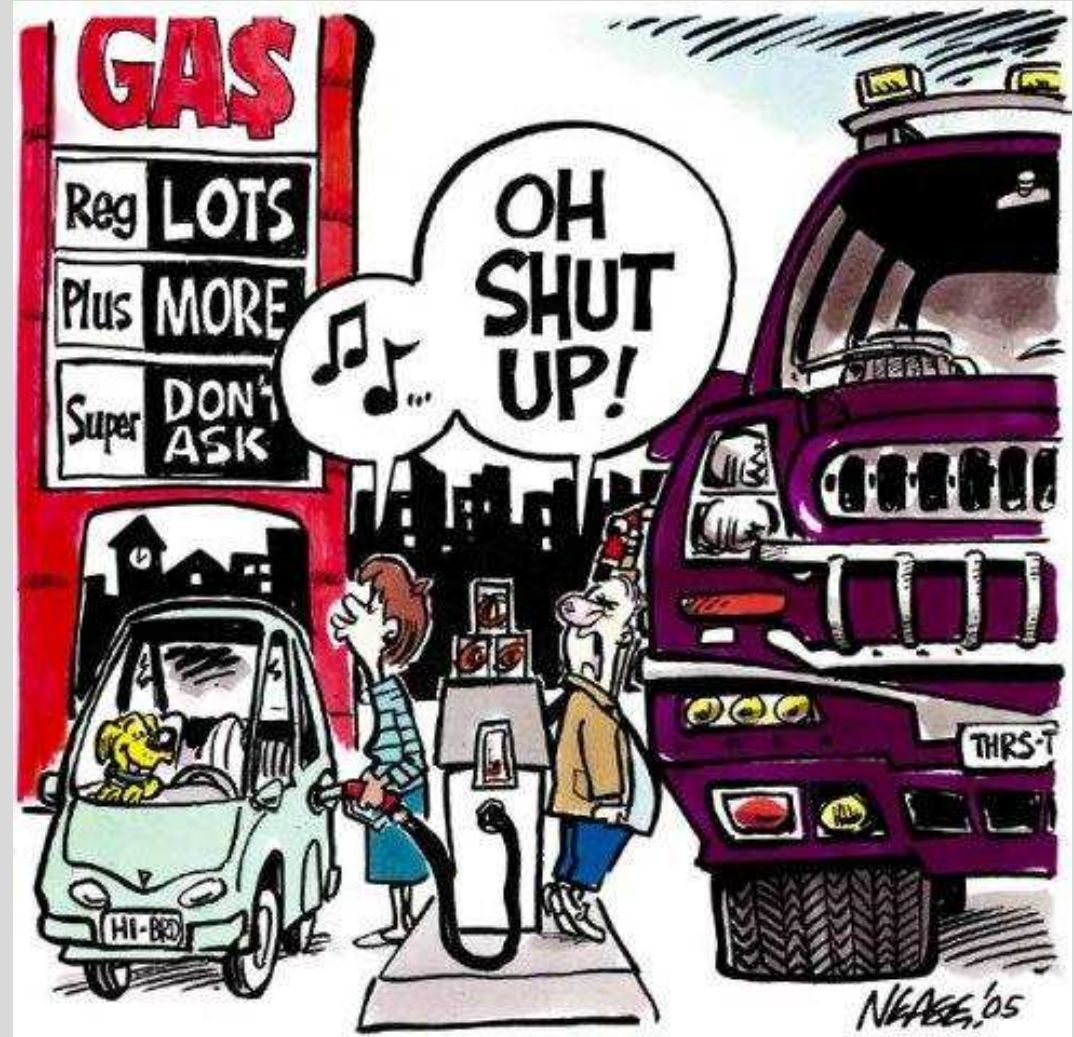
...mindestens

- zwei verschiedene Energiewandler
...und...
- zwei verschiedene
Energiespeichersysteme
im Fahrzeug zum Zweck des Antriebs
vorhanden.

Hybrid-Elektrofahrzeug

Hybridfahrzeug, das seine
Energie/Leistung aus

- *einem* Betriebskraftstoff
...und...
- *einer* Speichereinrichtung für
elektrische Energie/Leistung
bezieht (Batterie oder Brennstoffzelle).



Elektromobilität

Geschichte der Elektroautos (EV Electric Vehicles)

Die ersten Automobile
waren elektrisch!



90er Jahre:
Mehrere tausend
Fahrzeuge auf
dem Markt !



2010:
Neue Rahmen-
bedingungen!



Elektromobilität

Geschichte der Elektroautos (GM)

1966 GM Electrovan



**New materials
for FC membranes**

2000 Opel HydroGen1



2007 Opel HydroGen4



1966

1972

1990

1996

2000

2007

2010



1972 Lunar Roving Vehicle



1990 Opel Impuls



1996-1999 GM EV1



2010 Chevrolet Volt
2011 Opel Ampera

Space technology

- Low performance
- Huge systems
- Lack of suitable materials

E-hype & ZEV mandate

- Limited range
- Long recharging time
- Range anxiety
- Poor battery life
- Too expensive

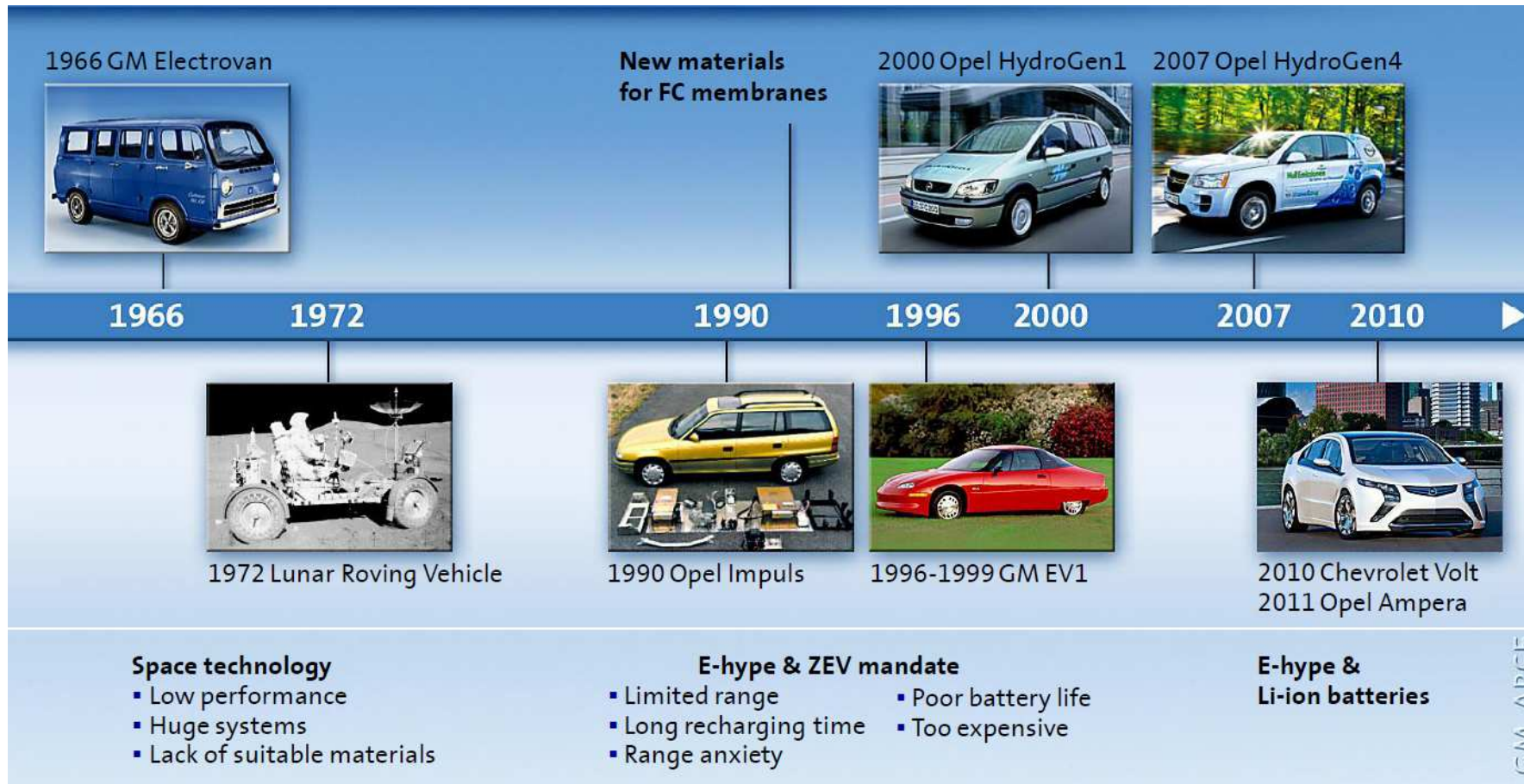
E-hype & Li-ion batteries

GM APCE



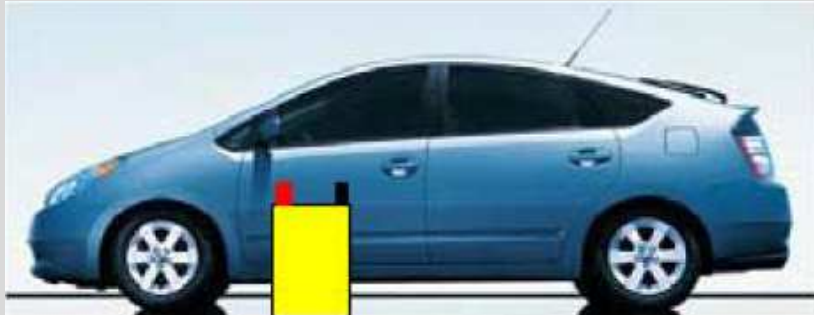
Elektromobilität

Geschichte der Elektroautos (GM)



Elektromobilität

Typen von Hybridfahrzeugen



Hybridfahrzeug (HEV)

Speicher ca. 1 kWh, Ladung nur während Fahrt, Treibstoffeinsparung max. 20%.



Plug-In Hybridfahrzeug (PHEV)

Speicher 5-10 kWh, Ladung aus dem Netz, 50-70 km Reichweite ohne Treibstoff, volle Reichweite, volle Leistungsfähigkeit.



Elektrofahrzeug (EV)

Speicher 15-40 kWh, Ladung aus dem Netz, 100 - 300 km Reichweite ohne Treibstoff.

Hybridfahrzeuge

Betriebsmodi bei Hybridfahrzeugen

„Boosting“

Verbrennungsmotor und E-Maschine arbeiten beim Beschleunigen zusammen. Antriebsdrehmomente addieren sich, der Verbrennungsmotor kann ohne Einbußen im Beschleunigungsverhalten leistungsschwächer gewählt werden.

Elektrisches Fahren (Vollhybrid bzw. EV)

Antrieb nur durch den Elektromotor, emissionslose und leise Fortbewegung.

Generatorbetrieb

Der Verbrennungsmotor wird in einem hohen, betriebsgünstigen Drehmomentbereich betrieben (Lastpunktanhebung), die E-Maschine arbeitet im Generatorbetrieb. Die nicht zur Fortbewegung benötigte Motorleistung wird zum Laden der Traktionsbatterie verwendet.

Rekuperation

Bremsen mittels E-Maschine im Generatorbetrieb Traktionsbatterie wird geladen.

Segeln

Verbrennungsmotor und E-Maschine inaktiv.

Start/Stopp-Funktion

Automatisches Abschalten des Verbrennungsmotors bei Stillstand des Fahrzeuges, selbstständiger Start des Motors bei Freigabe der Bremspedals vor erneutem Anfahren.

- **Micro-Hybrid**

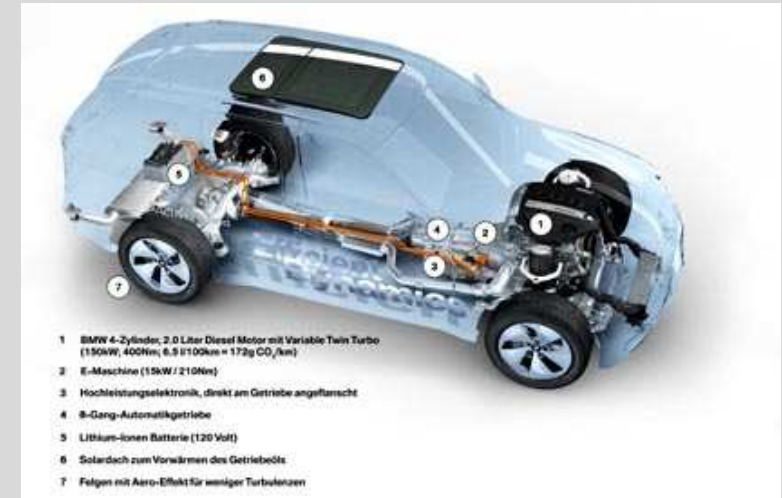
- E-Maschine: 2-3 kW
- Betriebsspannung 12V.
- einfache Integration in bestehende Fahrzeugmodelle
- Betriebsmodi: Start/Stopp, Generatorbetrieb
- mögliche Verbrauchseinsparung: bis 10%

- **Mild-Hybrid**

- E-Maschine: 10-15 kW
- Betriebsspannung: 42-150V
- mögliche Verbrauchseinsparung: bis 20%
- Betriebsmodi: Start/Stopp, Generatorbetrieb, „Boosting“, Rekuperieren

- **Voll-Hybrid (& Power-Hybrid)**

- E-Maschine: >15 kW (>50kW)
- Betriebsspannung: >120V.
- Betriebsmodi: Start/Stopp, Generatorbetrieb, „Boosting“, Rekuperieren, elektr. Fahren
- Hybridanordnung: z.B. Parallelhybrid
- mögliche Verbrauchseinsparung: >20%



Hybridfahrzeuge

Beispiele



Toyota
Prius II

Mercedes-Benz
S 400 HYBRID

Mercedes-Benz
ML 450 HYBRID

Motor	57 kW / 78 PS	205 kW / 279 PS	205 kW / 279 PS
max. Drehmoment	115 Nm	338 Nm	338 Nm
E-Motor	1x / k.A.	1x / 160 Nm	2x / 260+270 Nm
Traktionsbatterie	Ni-MH, prismatisch	Li-Ionen, zylindrisch	Li-Ionen, zylindrisch
Verbrauch* (komb.)	4.3 l/100 km	7.9 l/100 km	7.7 l/100 km
CO ₂ -Emission	104 g/km	190 g/km	185 g/km
Markteinführung (D)	2003*	2009	2009

* Werksangaben nach NEFZ-Zyklus ** Prius I 1997 (J) 2000 (D), Prius II (2003), Prius III (2009)

Hybridfahrzeuge

Beispiele



Toyota

Prius Plug-in

Mercedes-Benz

E 350 e

Mercedes-Benz

GLC 350 e

Motor

V: 72, E: 53 & 23 kW

V: 155, E: 65 kW

V: 155, E: 85 kW

max. Drehmoment

V: 142, E: 163 & 40 Nm

V: 350, E: 440 Nm

V: 350, E: 340 Nm

Reichweite el.

50 km

33 km

34 km

Traktionsbatterie

8.8 kWh Li-Ion

8.7 kWh

8.7 kWh

Verbrauch /100 km

1.0 l + 7.2 kWh

2.1 l + 11.5 kWh

2.5 l + 13.9 kWh

CO₂-Emission

22 g/km

49 g/km

59 g/km

Stand (D)

2017

2017

2017

NiMH-Batterie im Prius II

28 Module mit 6 Zellen
(168 Zellen @ 1,2V = 201,6 V)

Zelltyp: prismatisch

Nennkapazität: 6,5 Ah

Gewicht: 39 kg

Energie: 1,3 kWh

Energiedichte: 41 Wh/kg

Spitzenleistung: 40 kW

Leistungsdichte: 1300 W/kg

Elektrische Reichweite: 3 km

Hersteller: Panasonic

Preis Batterie: ~2500€ (7/2008)



Elektromobilität

Hybridfahrzeuge – Beispiel Opel Ampera

Max. power:	111 kW
Max. torque:	370 Nm
Top speed:	160 km/h
Acceleration (0-100 km/h):	<10 s
Energy content (battery):	16 kWh
Charging time:	4 – 6h @ 230 V
Range (battery-electric):	40 – 80 km
(total):	>500 km



GM APCE

(altes Modell bis 2016)



Institut für Angewandte Materialien
Werkstoffe der Elektrotechnik

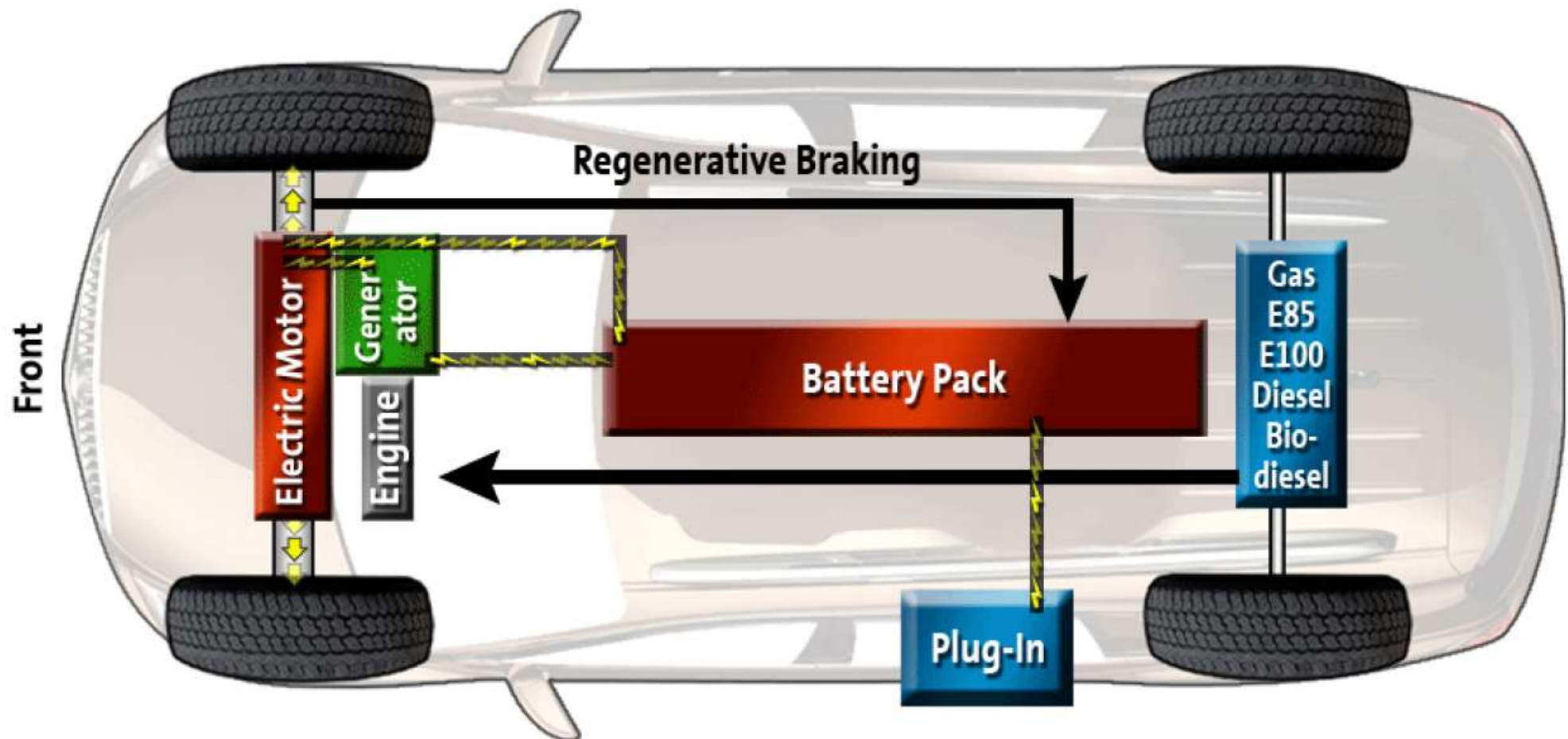
Quelle: GM

www.iam.kit.edu/wet

Vorlesung BBS 08 - Batteriesysteme.pptx, Folie: 13, 22.07.2017

Elektromobilität

Hybridfahrzeuge – Beispiel Opel Ampera



Elektromobilität

Hybridfahrzeuge – Beispiel Opel Ampera

- Li-Ion pouch cells (288)
- Energy content: 16 kWh
- Charging time: 4 - 6 h @ 230 V, 16 A
- Max. discharge power: > 111 kW
- Nominal voltage: 370 V
- Liquid cooling
- System weight: 198 kg
- Warranty: 8 years / 160,000 km

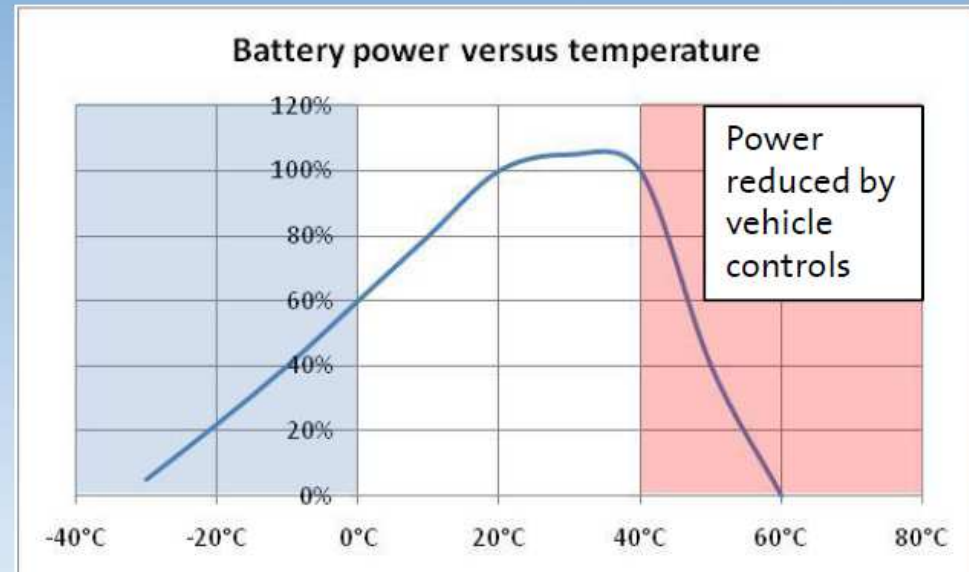
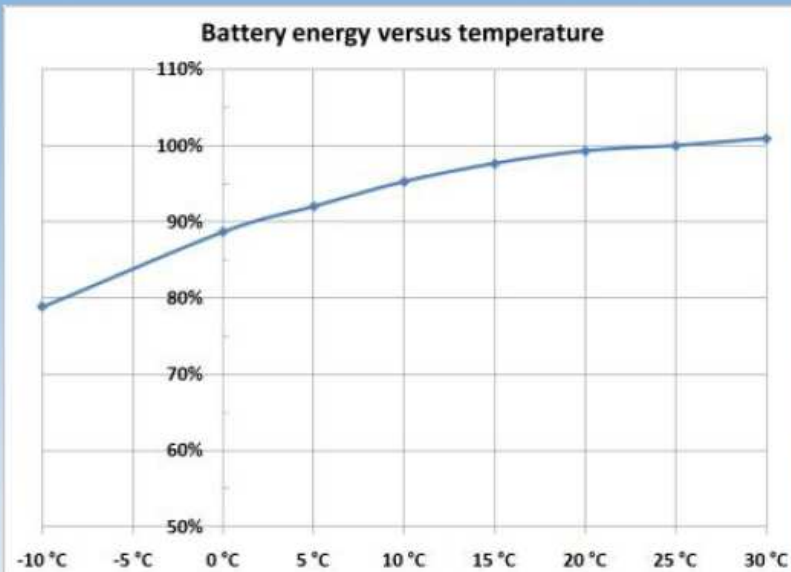


GM APCE

Elektromobilität

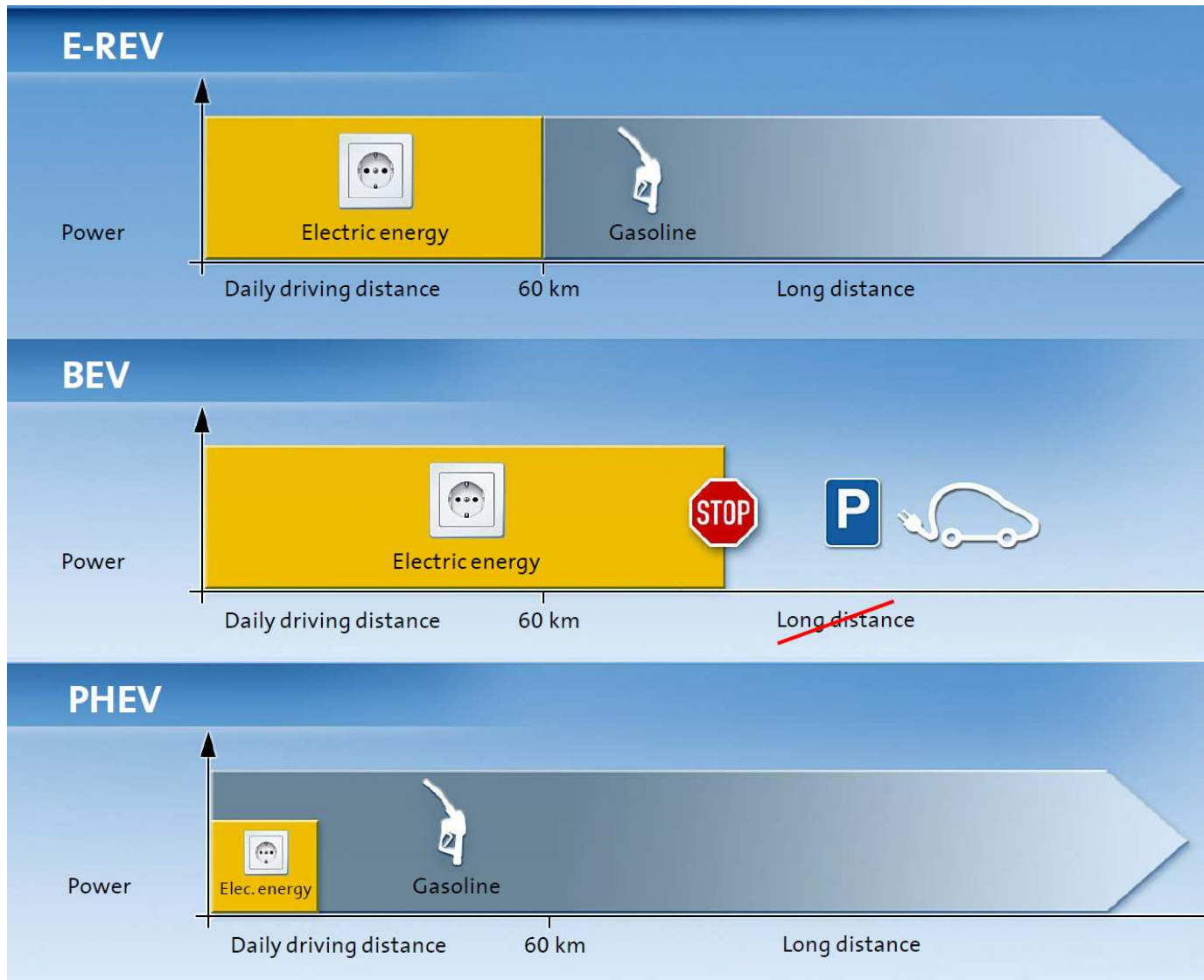
Hybridfahrzeuge – Beispiel Opel Ampera

- Available energy is slightly reduced at low temperatures
- Full power is only available in a small temperature band
 - At low temperatures, power is reduced
 - Below 0°C, there is the risk of Li-plating during charging
 - High temperatures increase the aging of the battery => reduce power to prevent overheating



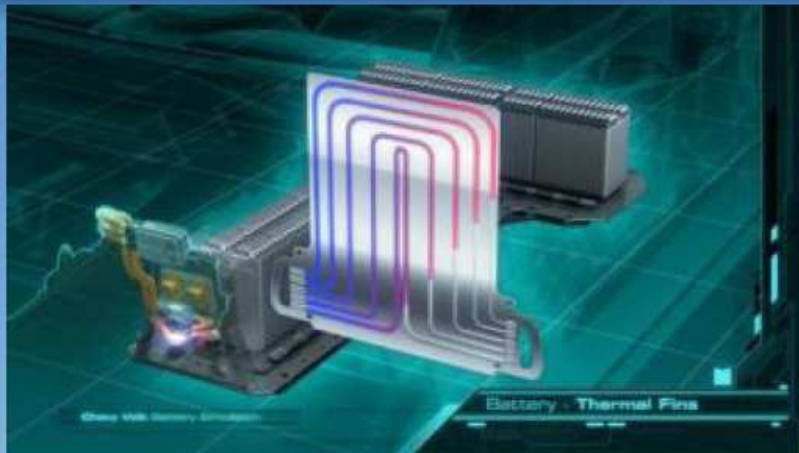
Elektromobilität

Hybridfahrzeuge – Beispiel Opel Ampera



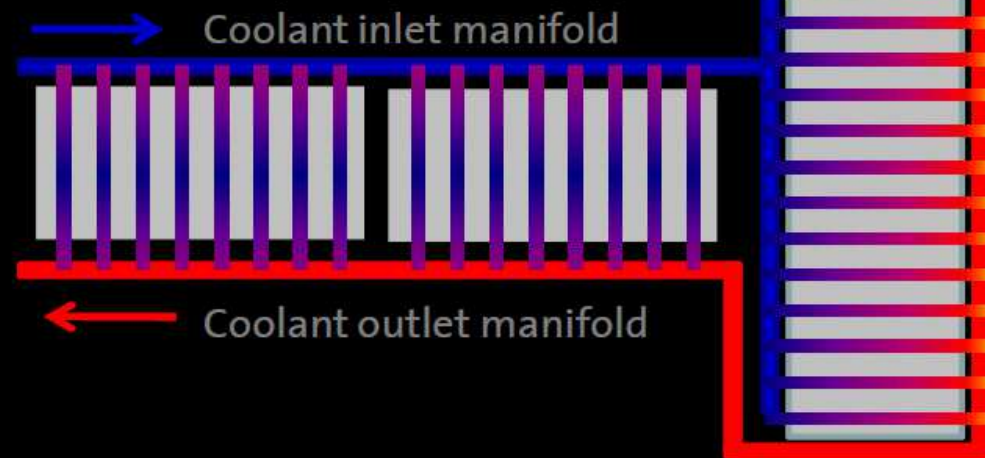
Elektromobilität

Hybridfahrzeuge – Beispiel Opel Ampera

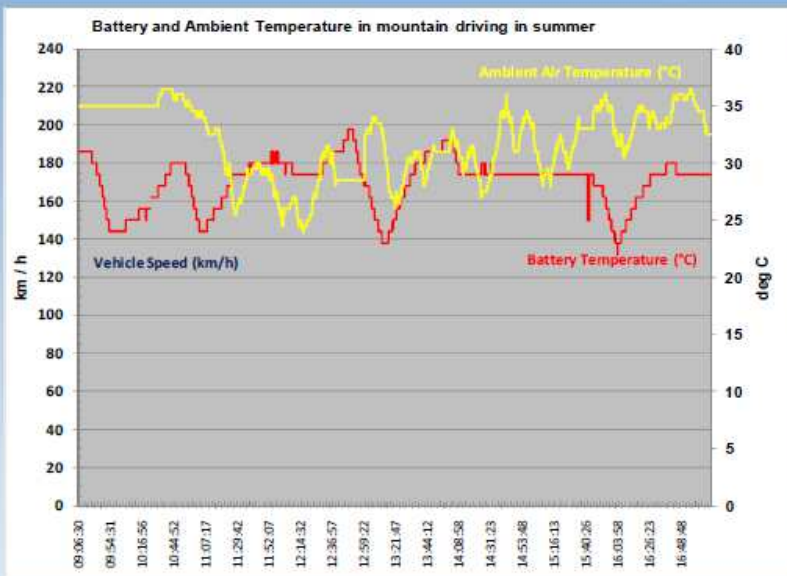


Cooling fin concept enables effective heat exchange to/from Lithium Ion pouch cells

Thermal System Concept



Efficient heat transport and equal temperature distribution



Elektromobilität

Opel Ampera-e / Chevrolet Bolt EV (GM)



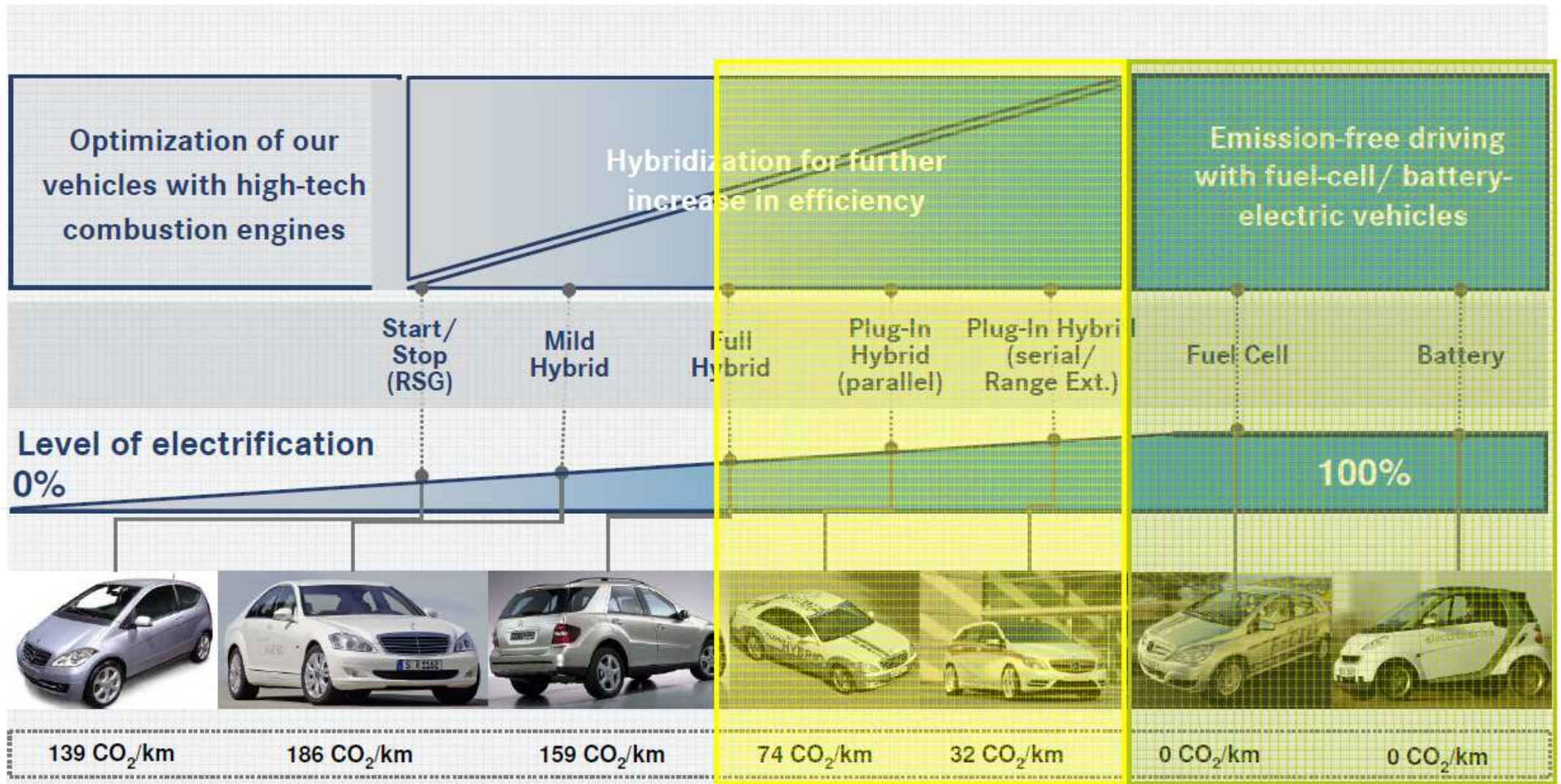
Batterie: Li-Ionen, 60 kWh, LG
288 Zellen, 10 Module (8x 30 + 2x 24 Zellen)
Garantie: 8 Jahre / 160 000 km
Leistung: 150 kW, 360 Nm
Verbrauch: 19.7 kWh/ 100 km (114 g CO₂/km)
Reichweite: 520 / 380 / 300 km

Elektromobilität

Opel Ampera / Chevrolet Bolt EV (GM)



Daimler Roadmap to sustainable Mobility



Mild-Hybrid (Start Stopp-Funktion)

E-Motor: 15 kW

V-Motor: V6, 205 kW

Beschleunigung: 7,2 s (0-100 km/h)

Mehrgewicht (Hybrid): 75 kg

Verbrauch: 7,9 l (Einsparung 2,2 l
gegenüber Vorgängermodell)

CO₂-Emission: 190 g/km

Traktionsbatterie:

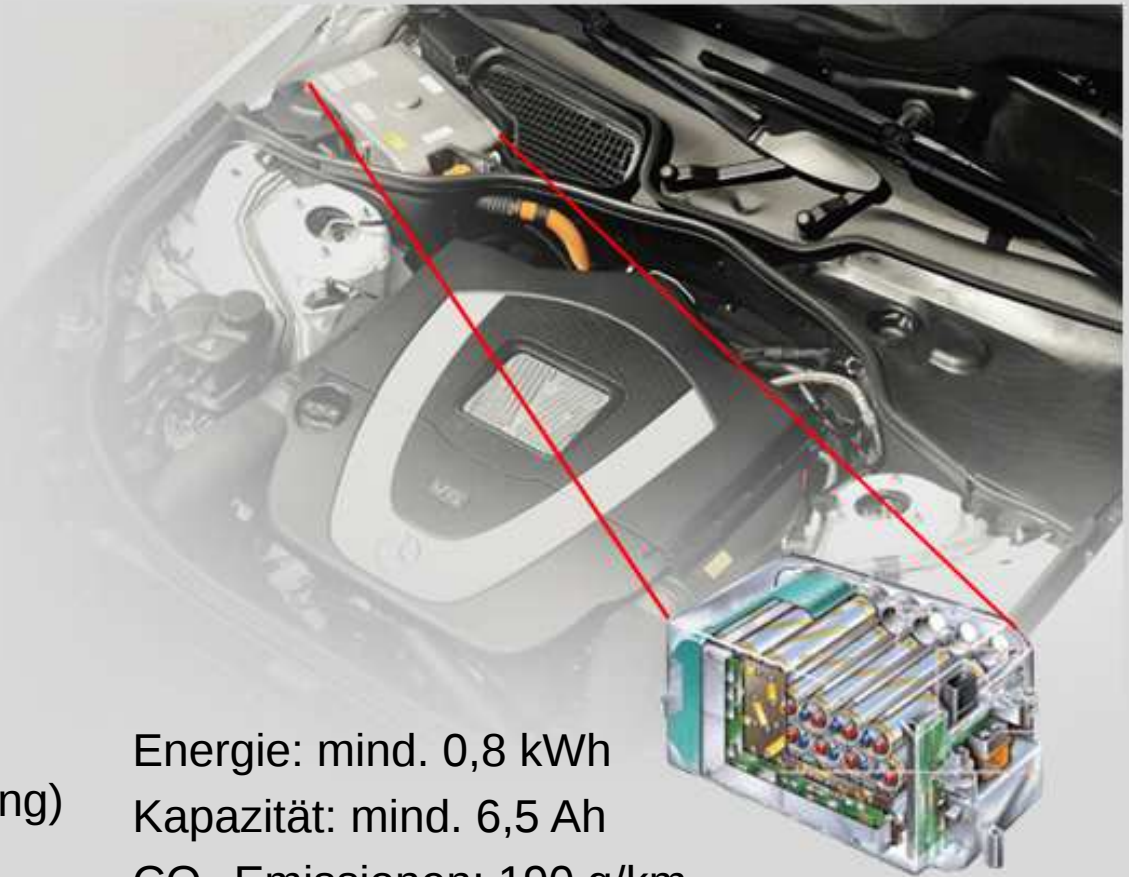
Li-Ionen, zylindrisch

35 Zellen, 1 Zellblock (Zellen + Kühlung)

Kühlung über Fahrzeugklimaanlage

Nennspannung: 126 V (87,5 V bis 144 V)

Leistung 19 kW/10 s (EoL 50% SOC)



Energie: mind. 0,8 kWh

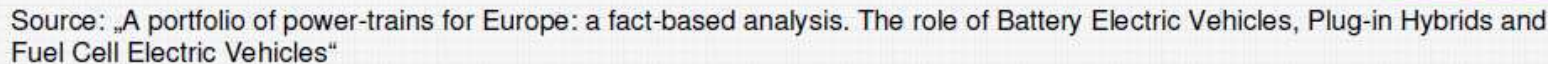
Kapazität: mind. 6,5 Ah

CO₂-Emissionen: 190 g/km

Lebensdauer: 10 Jahre (Ø Temp: 40°C)

Betriebstemperatur -25°C – +45°C

KIT
Karlsruher Institut für Technologie



- *well-to wheel, C-D-segment, NEDC)

Charging Infrastructure

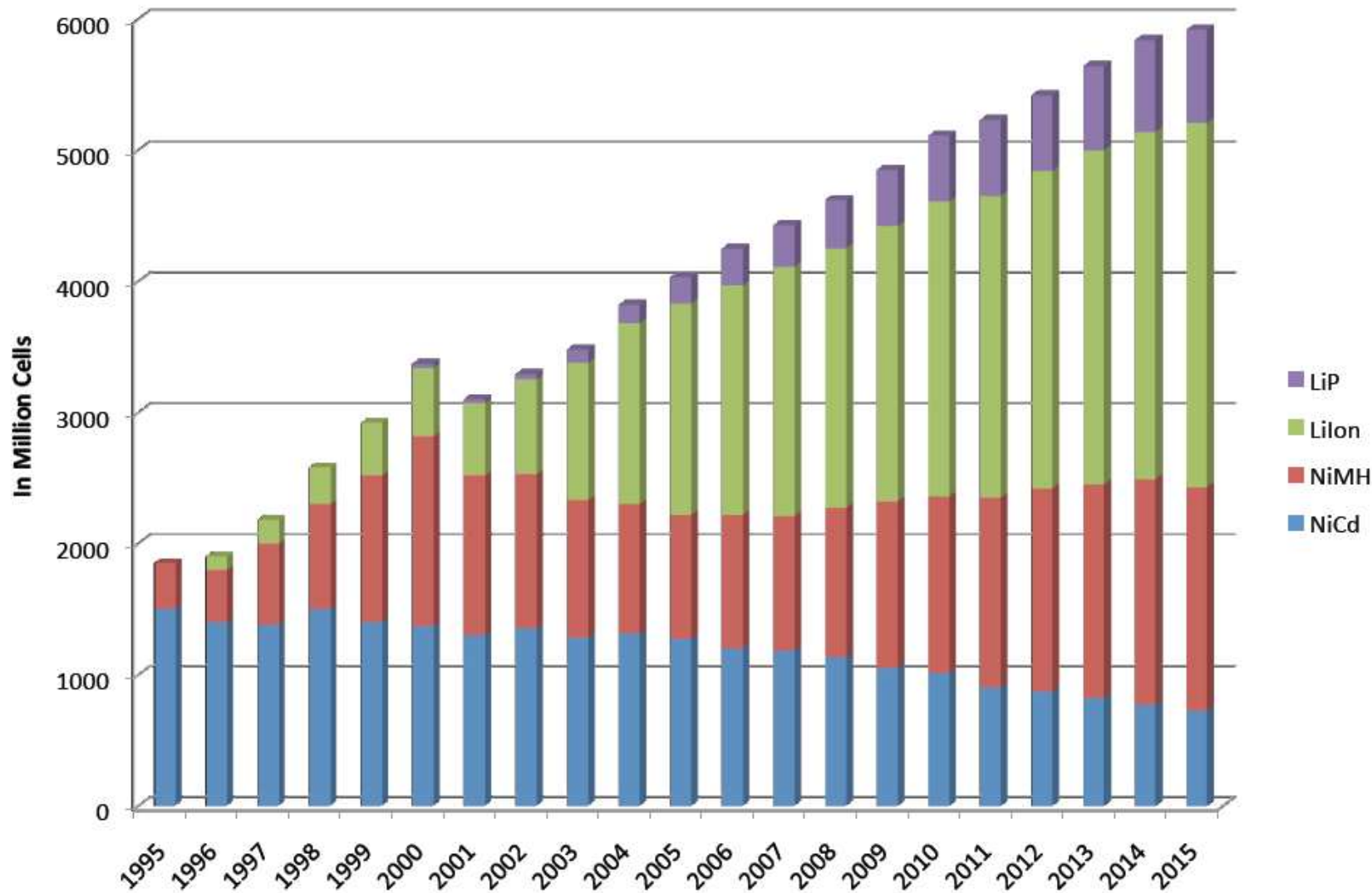
		100% charging efficiency		Features	
	Max. charging capacity	Charge time for 20 kWh			
Socket		1-phase 3.7 – 11 kW	3-phase	1.8 – 5.5 h	+ Simple handling installation costs are low to nothing, - Garage/bay required, no communication
Wall box		1-phase 3.7 – 22 kW	3-phase	0.9 – 5.5 h	+ Simple installation, optional: Measurement, communication and cost settlement software, - Generally limited protection from vandalism and access
Charging post		1-phase 3.7 – 44 kW	3-phase	0.5 – 5.5 h	+ Function design same as for wall box. Requirements with respect to vandalism, access and cost settlement > 44 kW (AC) in 2014-2017, > 100 kW (DC) in 2020 - Increased installation and connection costs
		DC > 44 kW		< 0.5 h	- High charging capacity has an impact of the service life of the battery
Induct. charging		1-phase 3.7 – 11 kW	3-phase	1.8 – 5.5 h	+ No user intervention, low wear, vandalism-safe - Charging capacity, efficiency, positioning, shielding
Battery replacement		≈ 400 kW		0.05 hours (3 min.)	- Standards required for batteries, installation location, Determining the product liability, robust/durable connectors
For comparison: Conventional filling station (gasoline)				20 kWh ≈ 2.2 l	
		≈ 20,000 kW		3.4 sec	+ Approx. 14,800 in Germany with 88,000 fuel pumps (avg. 6/filling station) Avg. distance 16 km/filling station

Elektromobilität: Konzeptfahrzeug von Volkswagen (mit Lithium-Ionen Traktionsbatterie)



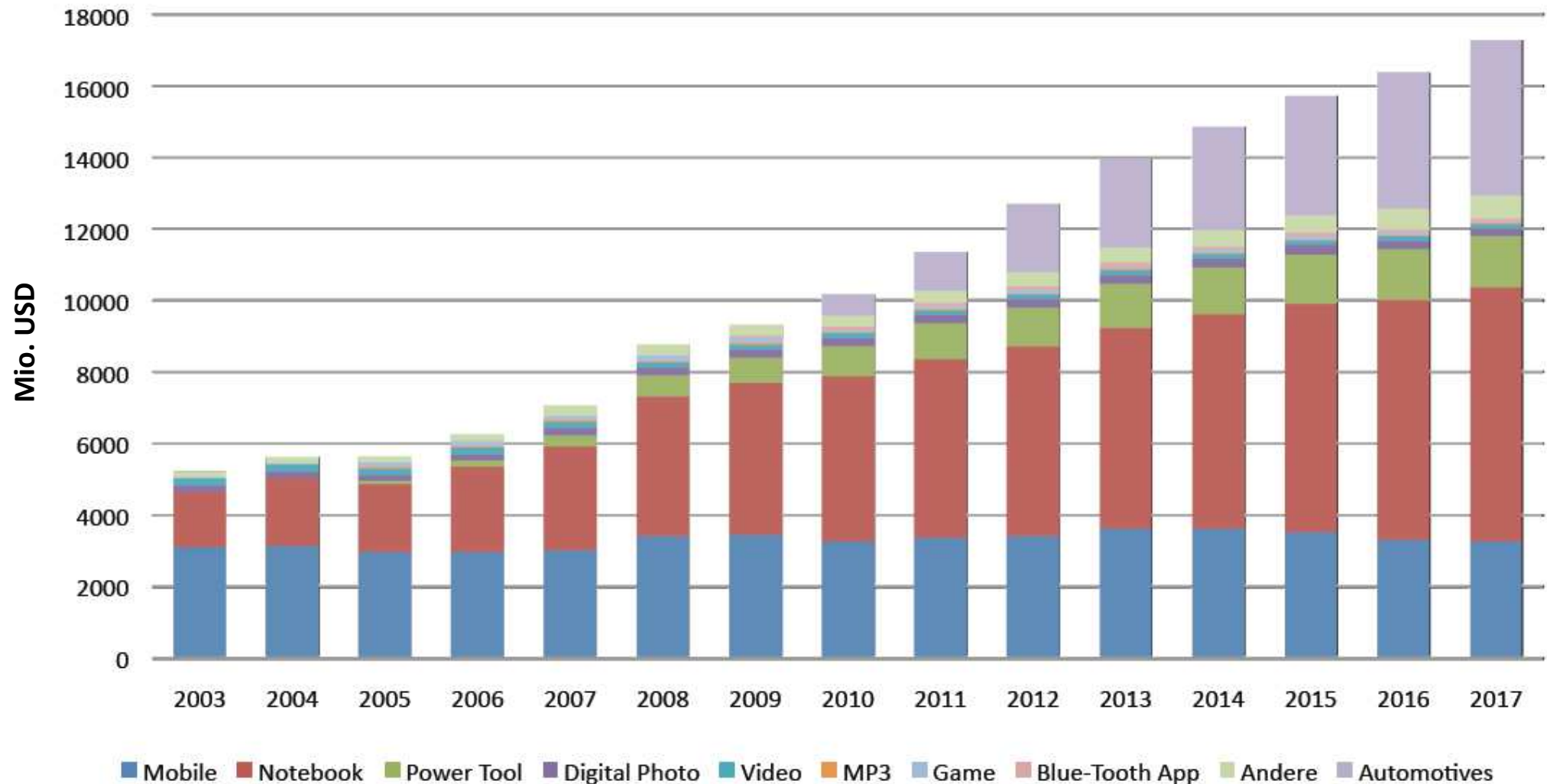
Der EU-Standard des neuen Steckersystems (7-polig, 400V, 63A) wurde April 2009 beschlossen.

Battery Market



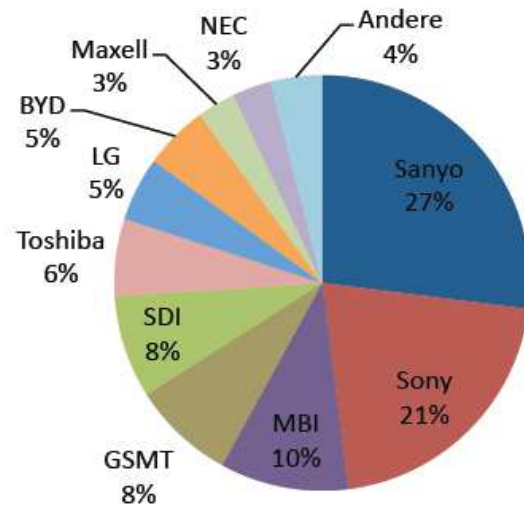
Battery Market

Future LIB Packs

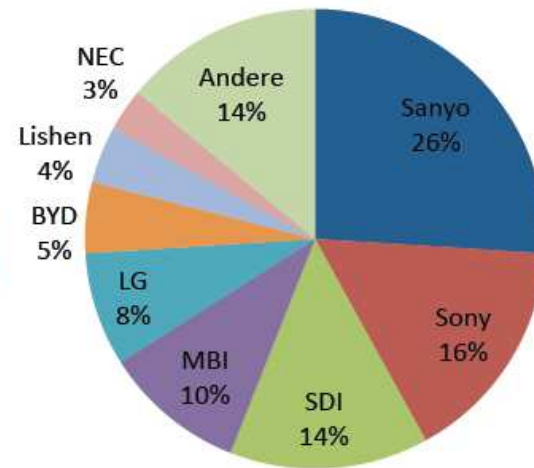


Battery Market Market Share

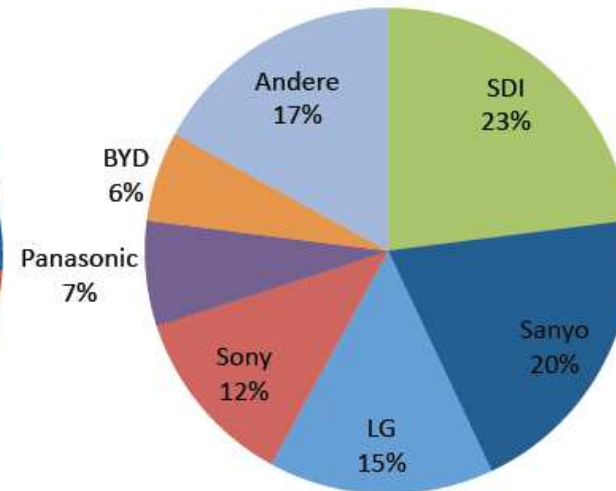
Market Share 2002



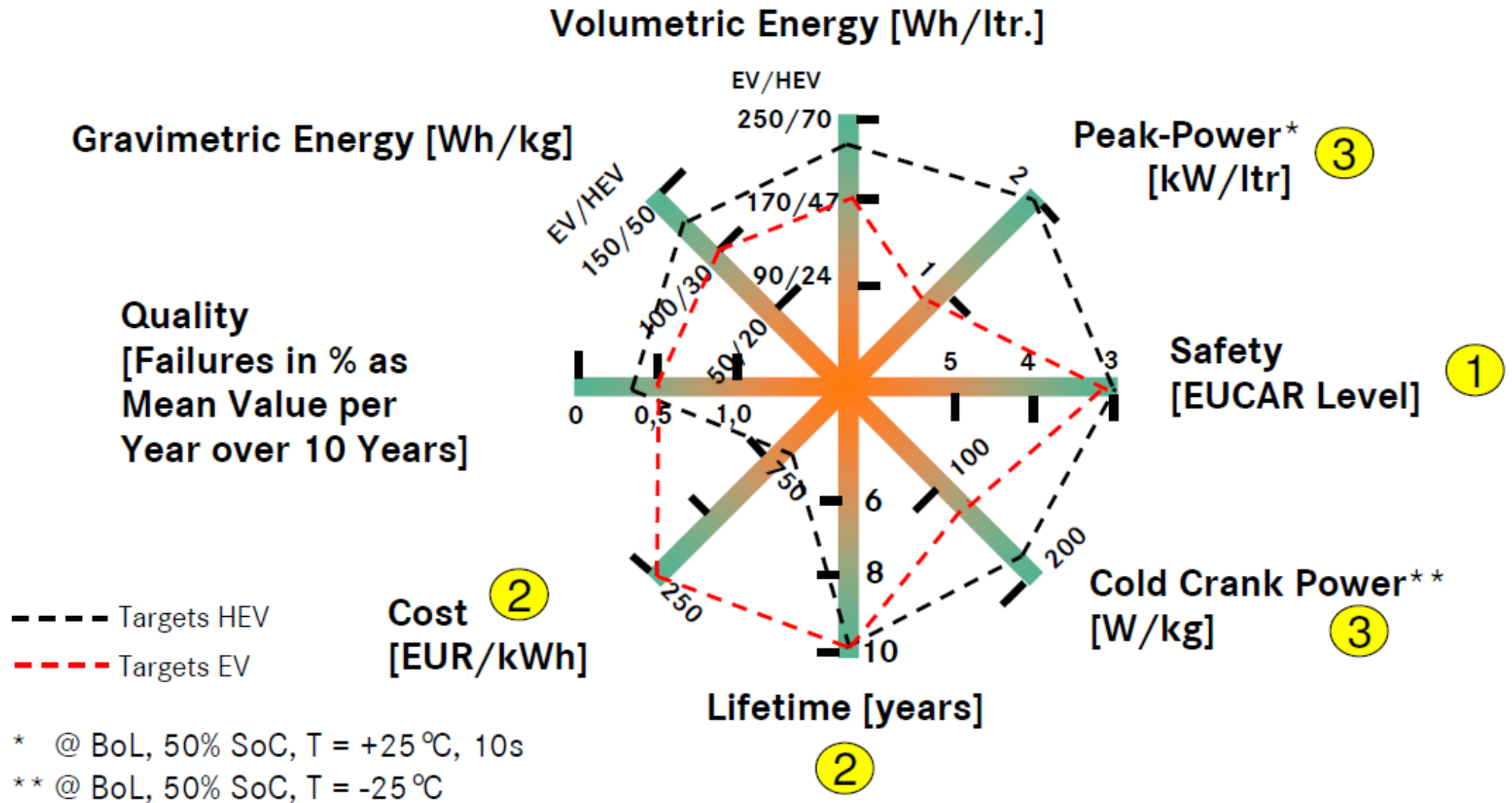
Market Share 2007

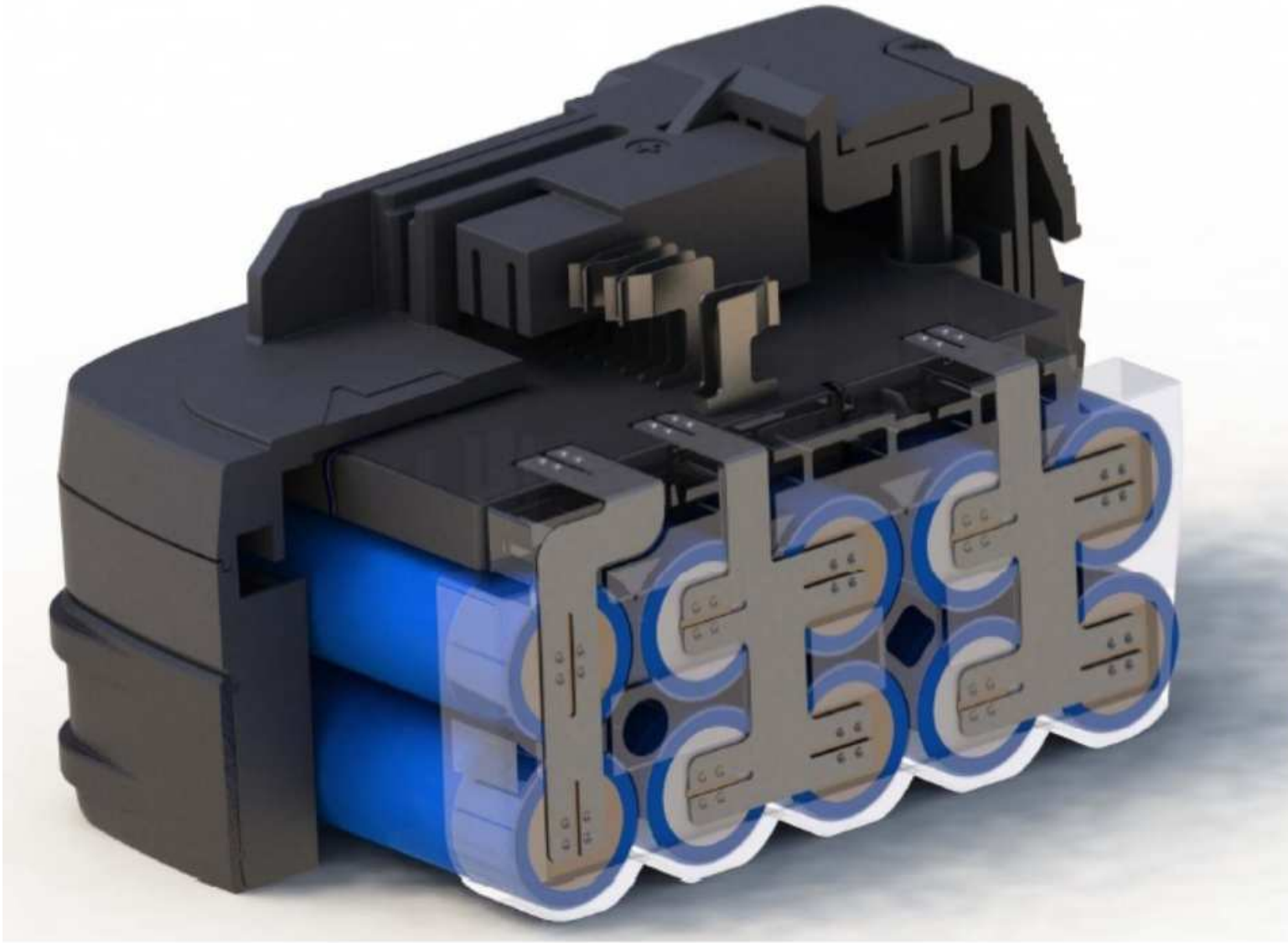


Market share 2011

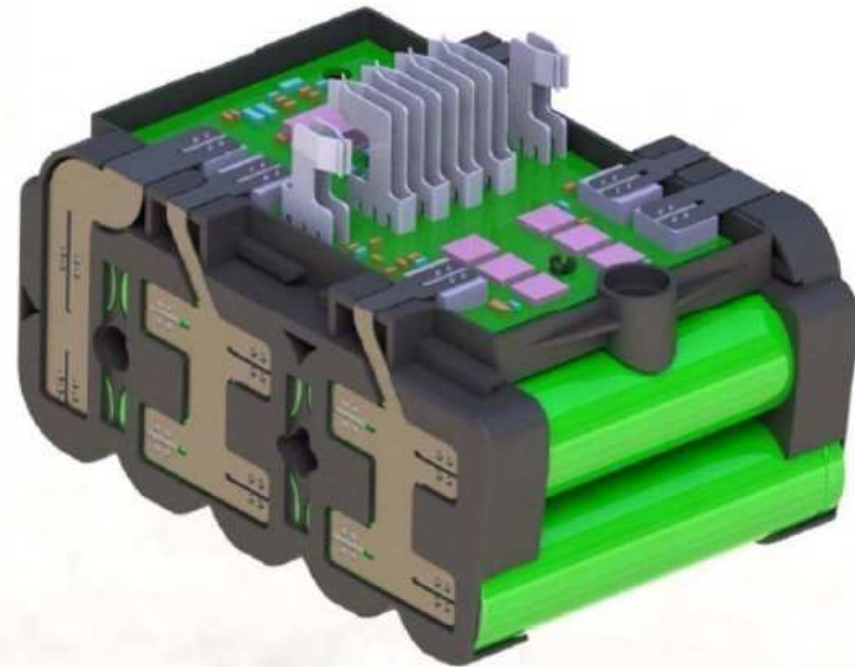
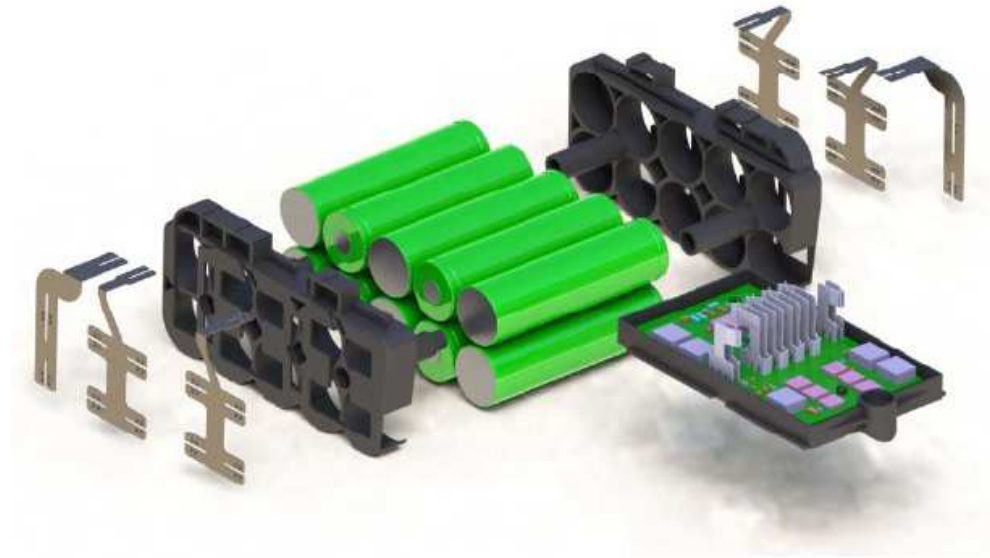


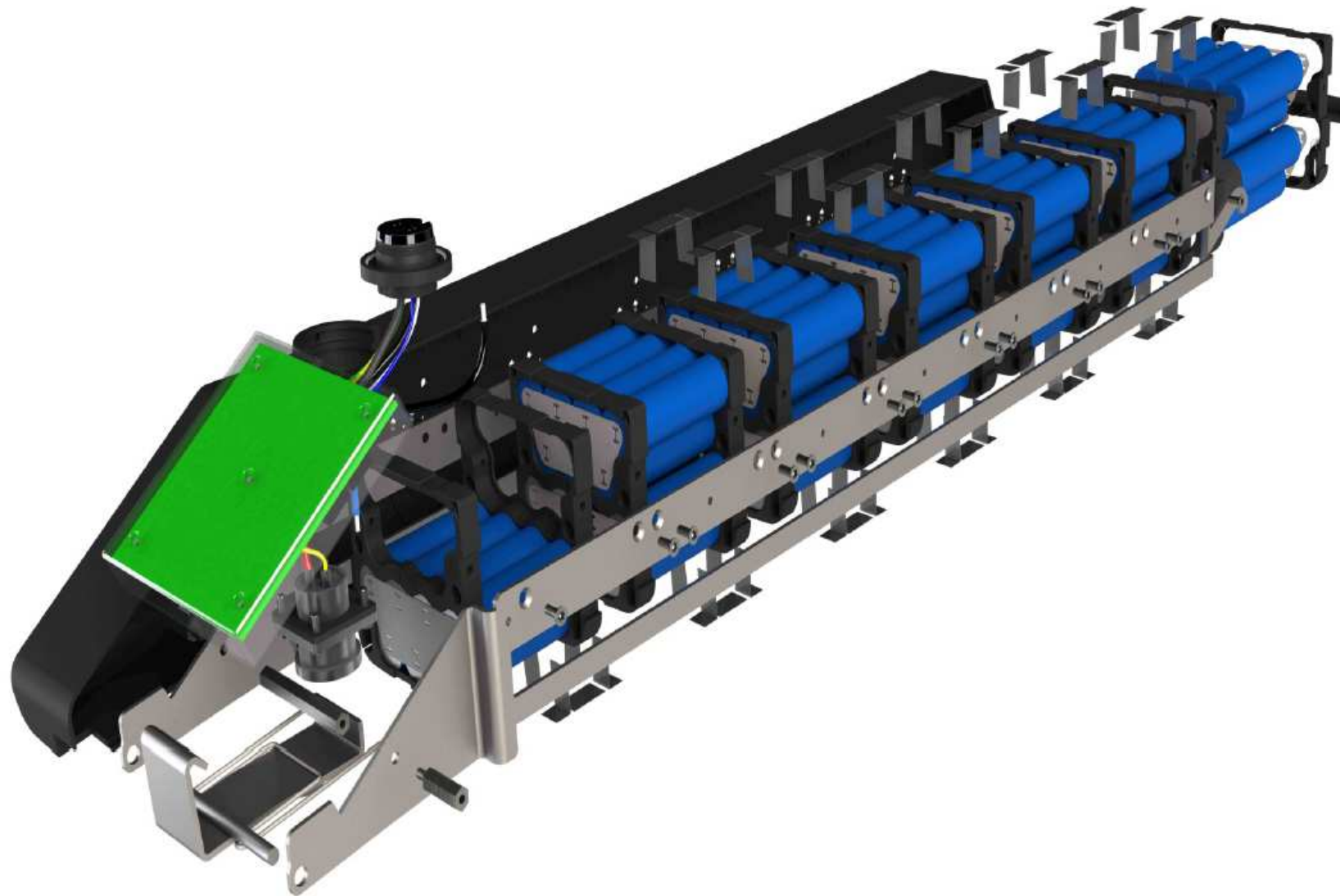
Key Performance Parameters of Battery Systems

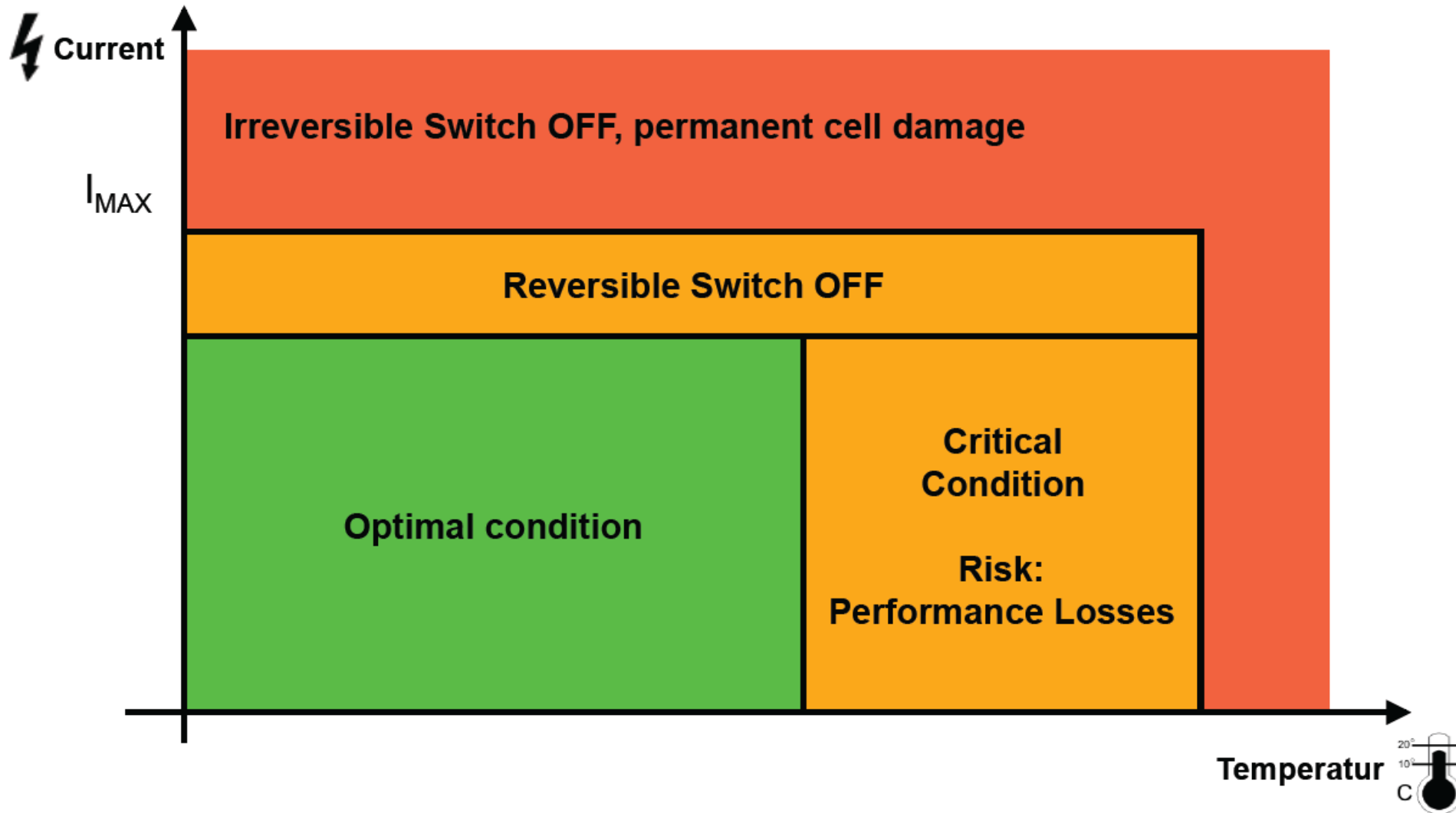


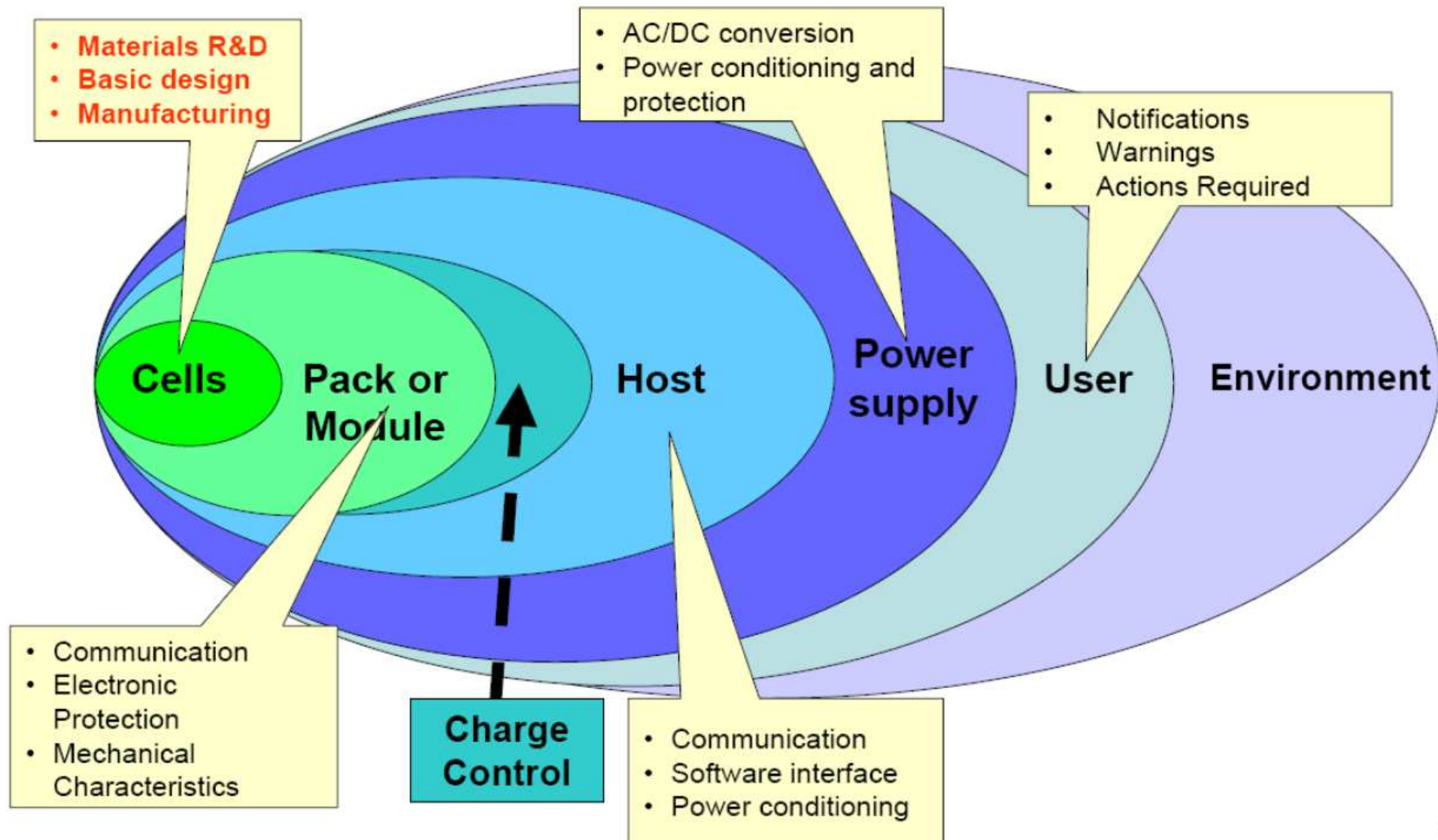


Battery System Designs



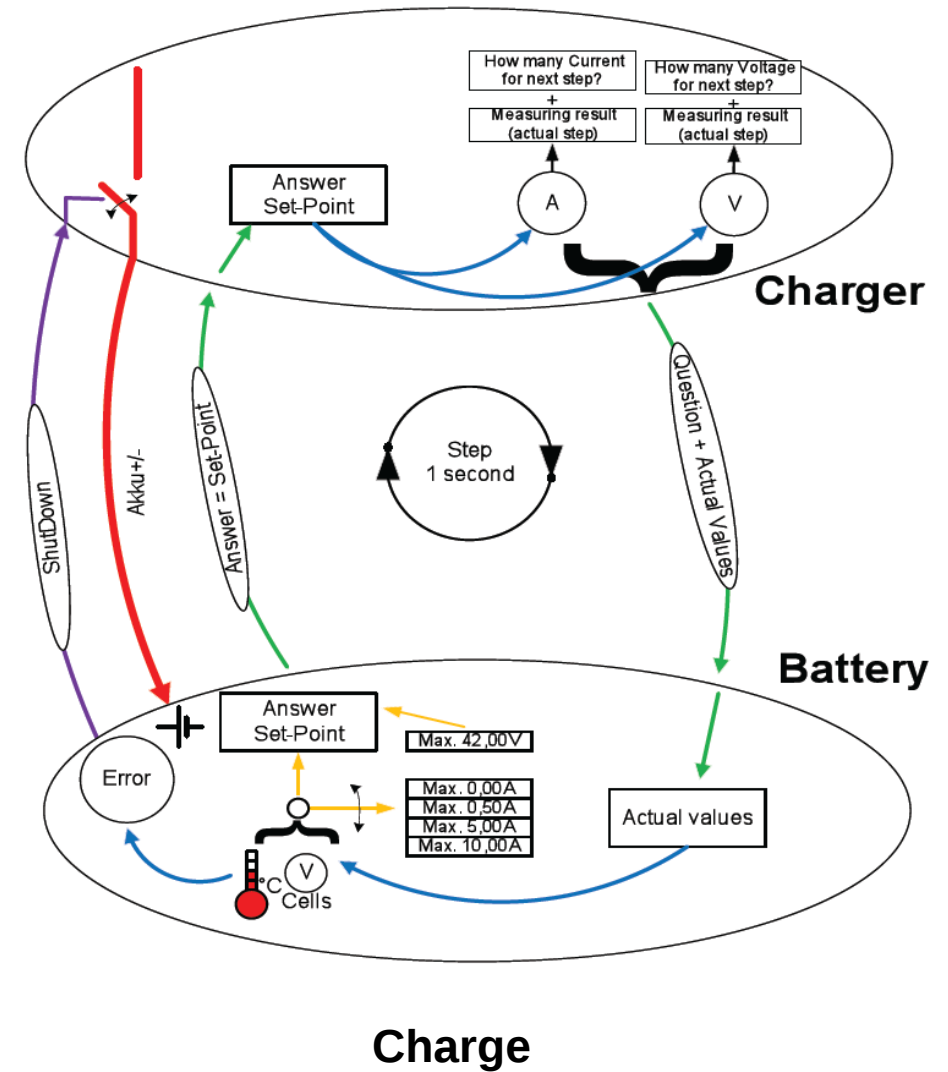
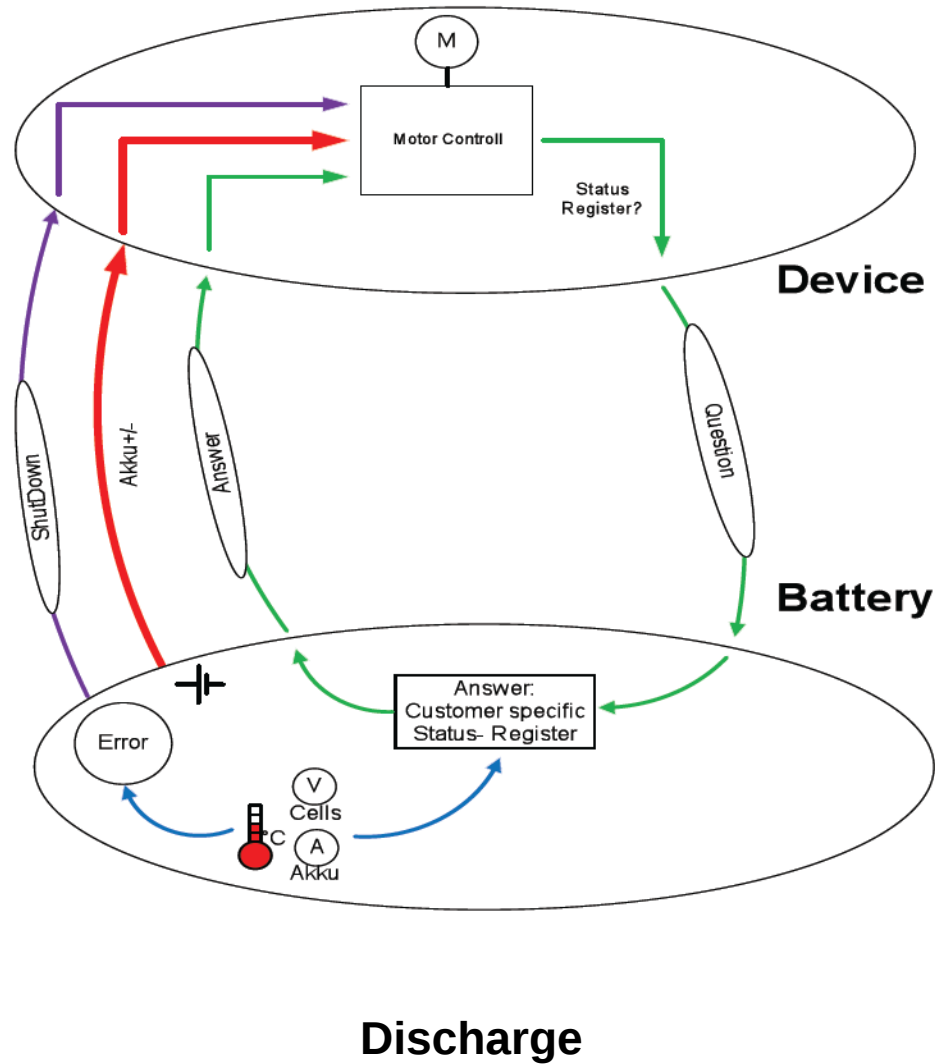






LiB Safety

Communication to and from Battery



LiB Safety

Mechanical Safety on Module Level

Coolant outlet

Negative terminal

BMS CAN connection

Positive terminal

Coolant inlet

Robust housing



The module integrates 12 pouch cells with

- cooling structure (liquid cooling)
- Power connectors
- BMS (voltage, temperature and impedance measurement, balancing, communication on CAN)

to an easily manageable unit.

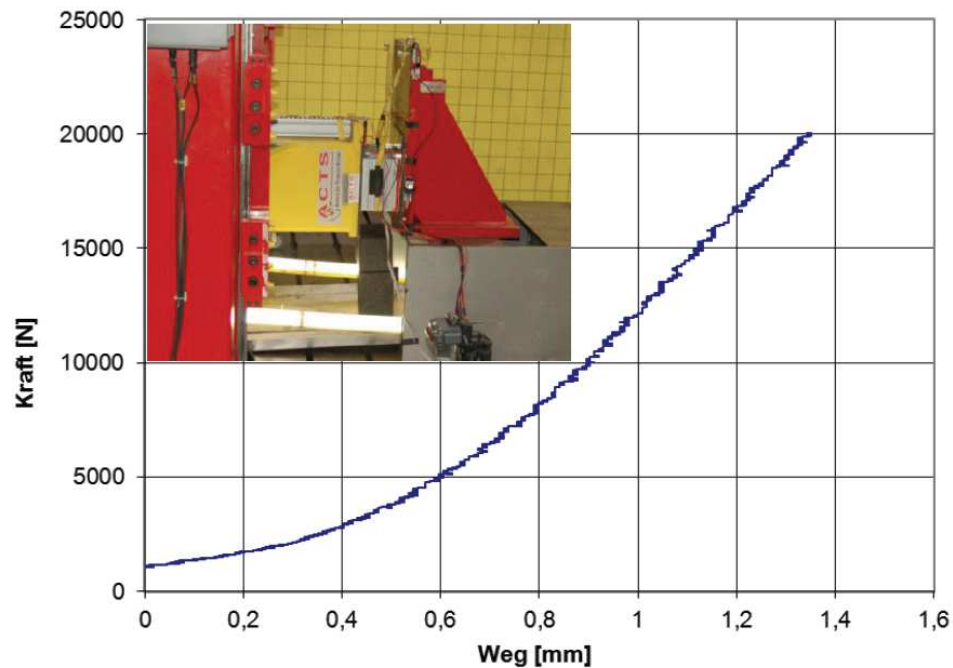
Technical Data:

Energy:	2.3 kWh
Weight:	17.5kg
Energy density:	134Wh/kg
Chemistry:	NMC
Power:	18kW
Dimensions:	260*230*170mm

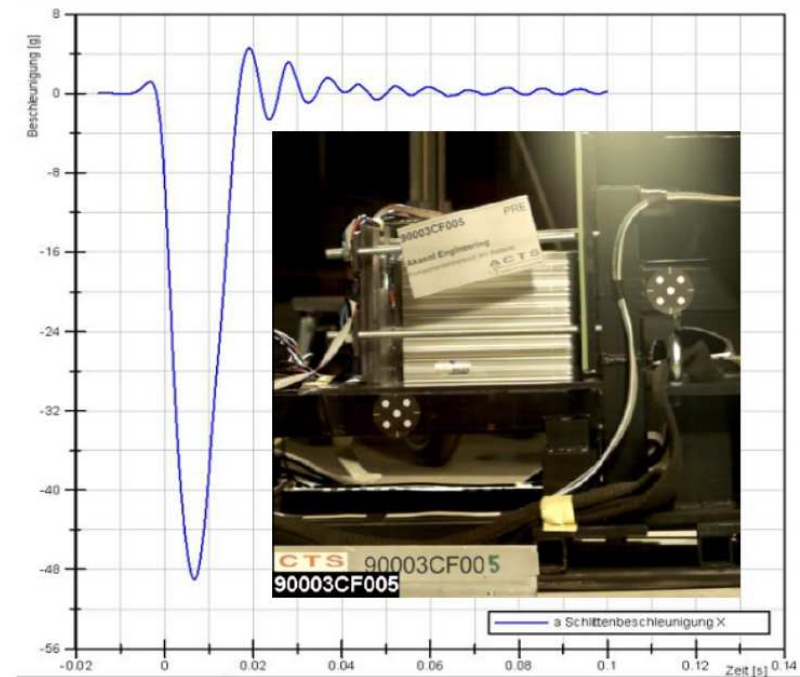
LiB Safety

Mechanical Safety – Static and Dynamic Crash Tests

Requirements of Akasol Engineering:
20 kN all axes.

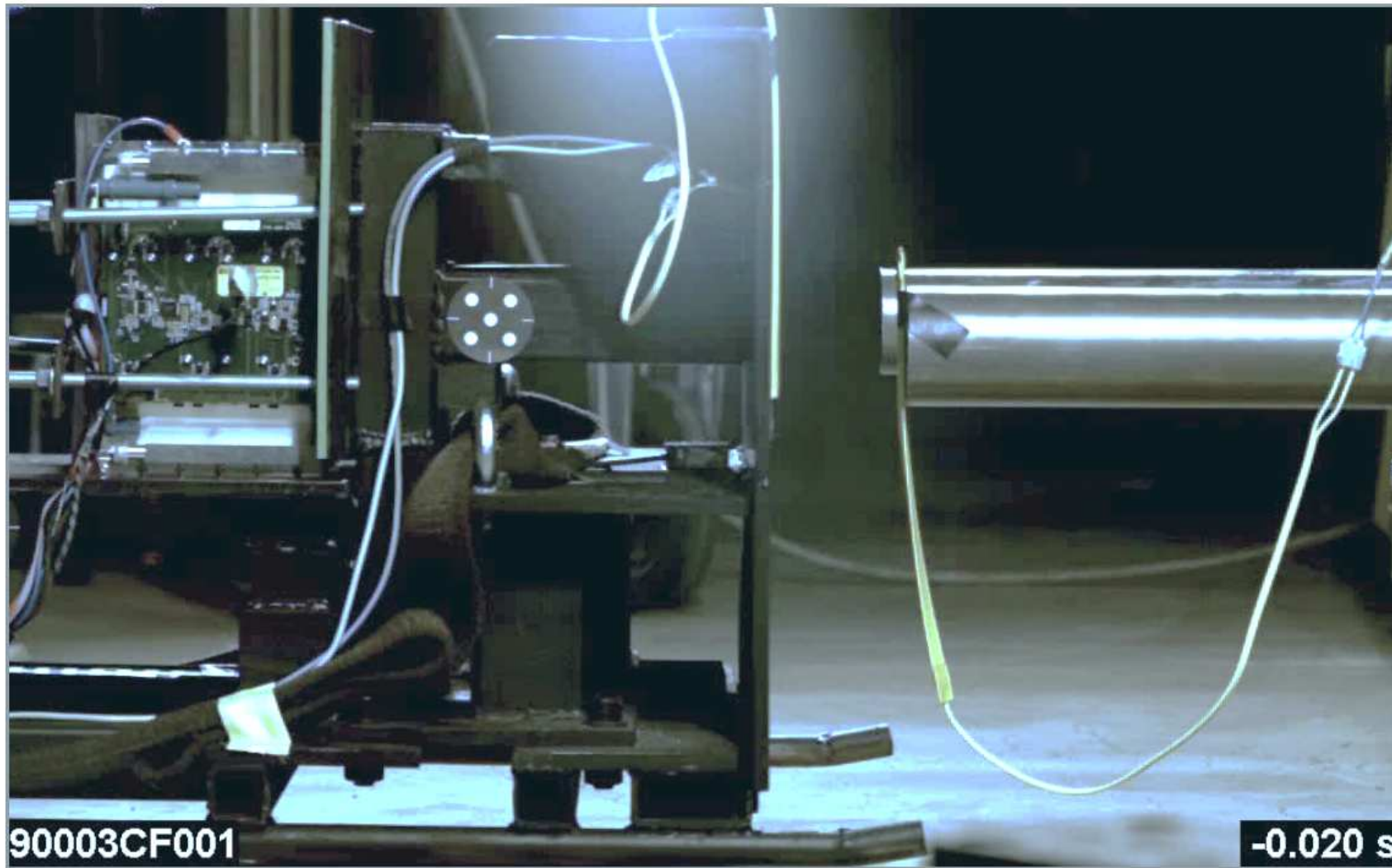


Requirements of Akasol Engineering:
50 g / 11 ms all axes.



LiB Safety

Mechanical Safety – Static and Dynamic Crash Tests

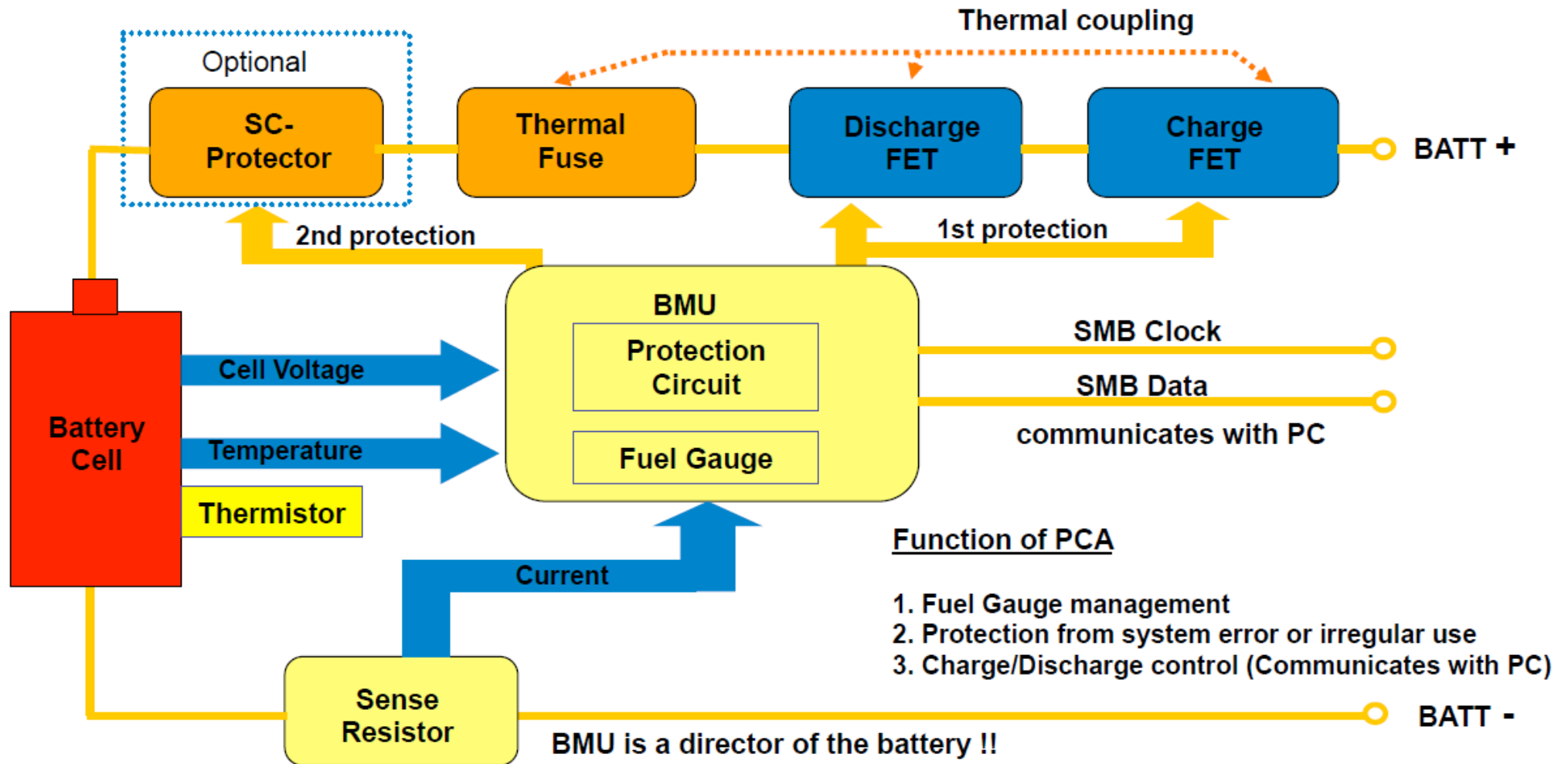


LiB Safety

Electrical Safety – Isolation

- Redundant electrical insulation on relevant locations
- Observation of the insulation resistance
- Checking of terminal voltage and leakage current before closing the contactors





Safety and Misuse Tests

Mechanical Abuse Test

- Controlled Crush (15%/50%)
- Penetration
- Drop Test

- Immersion
- Roll Over Simulation
- Mechanical Shock

Thermal Abuse Tests

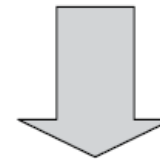
- Thermal Stability Test
- Simulated Fuel Fire
- Elevated Temperature Storage
- Rapid Charge/Discharge
- Thermal Shock Cycling

Electrical Abuse Tests

- Overcharge/Overvoltage
- Short Circuit
- Overdischarge/Voltage Reversal
- Partial Short Circuit Test

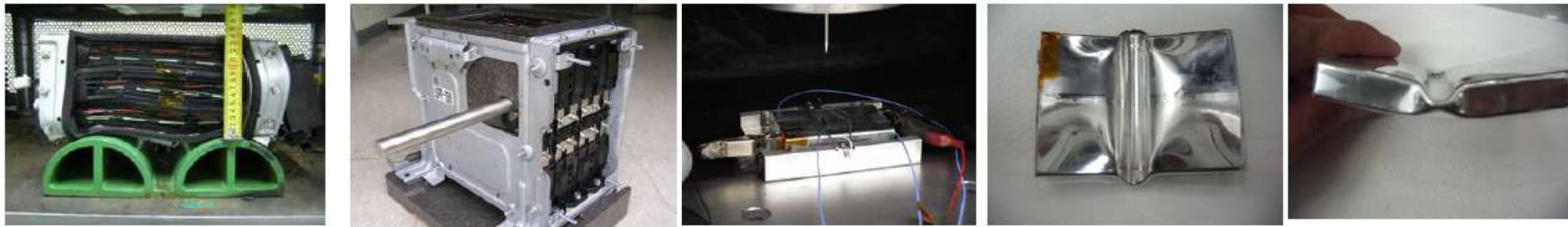
Regarding Crush/Penetration/Drop-Tests:

- Test standards predominantly applicable for cell and module level
- Low realistic approach of test standards in regard to vehicle accident loads (e.g. Penetration test, Compression degree of 15/50%)
- No correlation of crash load to battery weight in vehicles
- Hazard level requirements insufficient for automotive standards



**Requirements SAE J2929, ECE R-100-2
for automotive batteries (system and vehicle level)**

LiB Safety Tests



	UN 38.3	EN 62133	UL 2054	UL 1642
Height simulation	X			X
Thermo test (Temperature cycle)	X	X	X	X
Vibration test	X	X	X	X
Shock test	X	X	X	X
Short Circuit with increased Temperature	X	X	X	X
Short Circuit at room Temperature		X	X	X
Free fall		X	X	
Thermo overload		X	X	
Overload			X	
Squeeze test			X	X
Crush test			X	X
Wrong charging			X	X
Overcharging			X	
Forced charging			X	X
Limited power source test			X	
Battery pack temperature test			X	
250 N steady force test			X	
Projectile test			X	X
Temperature increase test			X	X



EUROPEAN SAFETY STANDARD FOR LITHIUM-ION BATTERIES



Introduction of a European safety standard for Li-Ion batteries

- to guarantee and ensure your customer the highest possible safety level according to the current quality standards
- to minimize your liability risks
- to have an competitive advantage over your competitors (→ marketing tool)

EUROPEAN SAFETY STANDARD FOR LITHIUM-ION BATTERIES

Standard and safety label:

UN Transport Test

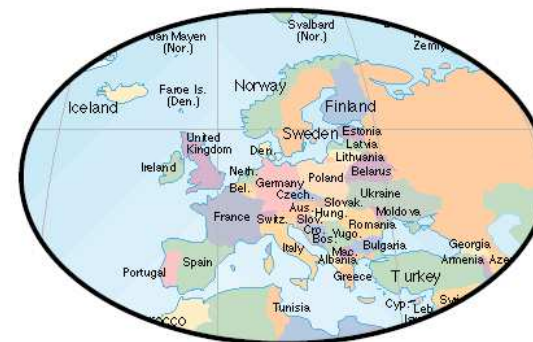
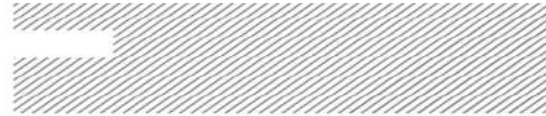
- mandatory for lithium batteries worldwide
- UN Manual „Tests and Criteria“, Part III, section 38.3
- precondition for the transportation of lithium batteries by road, rail, air or sea!

→ ensures the safety of the battery during transportation

EN 62133

- European Standard „Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications“
- derived from the worldwide recommended safety standard IEC 62133

→ ensures the safety during daily usage



BMZ
THE BATTERY EXPERTS



SAFETY STANDARD FOR LITHIUM-ION

Tests:

	UN 38.3	EN 62133
Altitude simulation	X	
Thermal test (temperature cycles)	X	X
Vibration	X	X
Shock	X	X
Short circuit at elevated temperature	X	X
Short circuit at room temperature		X
Free fall		X
Thermal abuse		X
Overcharge	X	



- tests PCB under ambient conditions
- simulates careless handling
- tests foreseeable misuse

- minimal number of samples
 - UN 38.3: 8 Li-Ion batteries (with PCB)
 - EN 62133: 18 Li-Ion batteries
 - in combination: 21 Li-Ion batterieis
- duration 6-8 weeks
- costs approx. 13.000 €

UN-Test # 1: ALTITUDE SIMULATION Höhensimulation

Parameter

Druck:	11.6kPa (115mbar–50.000ft)
Temperatur:	20 ±5 °C
Testdauer:	6 h
Prüflingsanzahl:	16
Kriterien:	kein Massenverlust, kein Leck, keine Entlüftung, keine Zerlegung, kein Aufbrechen, kein Feuer, nach Test Leerlauf- spannung mind. 90% der Anfangsspannung

**Diese Prüfung simuliert den Lufttransport
unter Niedrigdruckbedingungen.**



UN-Test # 2: THERMIC TEST Thermischer Test

Parameter

Temperaturen:	+75 ± 5°C / - 40 ± 5°C
Testverweildauer bei jeder Ecktemperaturdauer:	12h bei Batteriemassen >500g 6h bei Batteriemassen <500g
Änderungszeit bei Temperaturwechsel:	max. 30 Minuten
Gesamttestzeit:	250h bei Batteriemassen >500g 130h bei Batteriemassen <500g
Überwachungszeit nach Test:	24h
Anzahl Zyklen:	10
Prüflingsanzahl:	16
Kriterien:	kein Massenverlust, kein Leck, keine Entlüftung, keine Zerlegung, kein Aufbrechen, kein Feuer, nach Test Leerlaufspannung mind. 90% der Anfangsspannung

Diese Prüfung beurteilt bei Zellen und Batterien die Unversehrtheit der Dichtung und die internen elektrischen Verbindungen. Die Prüfung wird unter Anwendung von schnellen und extremen Temperaturänderungen durchgeführt.



UN-Test # 3: VIBRATIONS TEST Vibrationstest

Parameter

Frequenzbereich:	7–200Hz
Profil:	Amplitude 7 - 18Hz 1g 18 - 50Hz 1.6 mm _{pp} 50 - 200Hz 8g
Durchlaufgeschwindigkeit:	0.645 Okt. / Min.
Anzahl der Durchläufe:	24 (12 nach oben und 12 nach unten)
Gesamtprüfzeit je Achse:	3h
Achsen:	X; Y; Z
Prüflingsanzahl:	16
Testbedingung:	Raumtemperatur
Kriterien:	kein Massenverlust, kein Leck, keine Entlüftung, keine Zerlegung, kein Aufbrechen, kein Feuer, nach Test, Leerlaufspannung mind. 90% der Anfangsspannung

Diese Prüfung simuliert die Schwingung während des Transports.

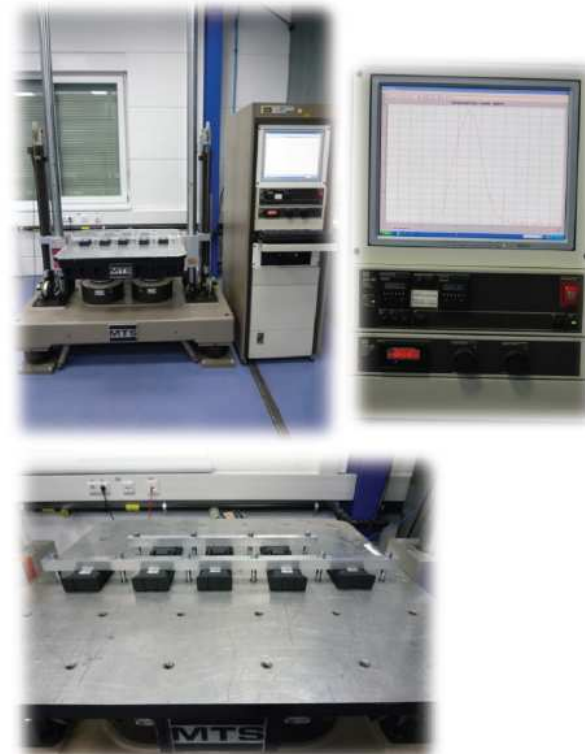


UN-Test # 4: SHOCK TEST Stoßtest

Parameter

Schockform:	Halbsinus
Beschleunigungsamplitude/ Einwirkzeit:	150g / 6ms (Masse <500g) 50g / 11ms (Masse >500g)
AnzahlStöße/Halbachse:	3
Anzahl Halbachsen:	$\pm X$; $\pm Y$; $\pm Z$
Gesamtzahl Stöße:	18
Prüflingsanzahl:	16
Prüflingsanzahl:	16
Testbedingung:	Raumtemperatur
Kriterien:	kein Massenverlust, kein Leck, keine Entlüftung, keine Zerlegung, kein Aufbrechen, kein Feuer, nach Test , Leerlaufspannung mind. 90% der Anfangsspannung

Diese Prüfung simuliert mögliche
Stöße während des Transports.



UN-Test # 5: EXTERNAL SHORTCUTTEST Externer Kurzschluss-Test

Parameter

Prüftemperatur:	+ 55°C ± 2°C
Gesamtaußenwiderstand:	< 0,1 Ω
Testdauer:	1 h
Überwachungszeit nach Test:	6 h
Prüflingsanzahl:	16
Kriterien:	Kein Übersteigen der Temperatur von 170°C, keine Zerlegung, kein Bruch, kein Feuer.

Diese Prüfung simuliert einen externen Kurzschluss.



UN-Test # 6: OVERCHARGE Überlasttest

Parameter

Prüftemperatur:	+ 23°C ± 2°C
Ladestrom:	2-fach so groß wie empfohlener Ladestrom
Ladespannung:	a) empfohlene Ladespannung < 18 V: min. Prüfspannung 2-fache der max. Ladespannung oder 22V b) empfohlene Ladespannung > 18 V: min. Prüfspannung 1,2-fache der max. Ladespannung
Testdauer:	24 h
Überwachungszeit nach Test:	7Tage
Prüflingsanzahl:	8 aus vorherigen Tests oder separate Batterien
Kriterien:	Kein Aufgehen, kein Feuer innerhalb von 7 Tagen

Diese Prüfung beurteilt die Fähigkeit einer wiederaufladbaren Batterie, Überladungsbedingungen zu widerstehen



Lifetime Aspects

