

## Elektromobilität

**VDI, 07.05.2025, 18:30, TZA**

### Teil 1: Elektrische Antriebe

Dr. Heinz Schäfer - Schäfer e-Mobility

### Teil 2: Batteriesysteme

Prof. Dr.-Ing. André Böhm - Hochschule Esslingen, Fakultät Mobilität und Technik  
Dipl.-Ing. Detlev Rammoser

**Anschließend Diskussion**

# Batteriesysteme

VDI Augsburg, 07.05.2025

Prof. Dr.-Ing. André BÖHM

Hochschule Esslingen



## State of the Art

- Packdesign
- Systemdesign
- Market Share
- Kosten
- Energiedichten

## Challenges

- Durability / Swelling
- Safety / Propagation

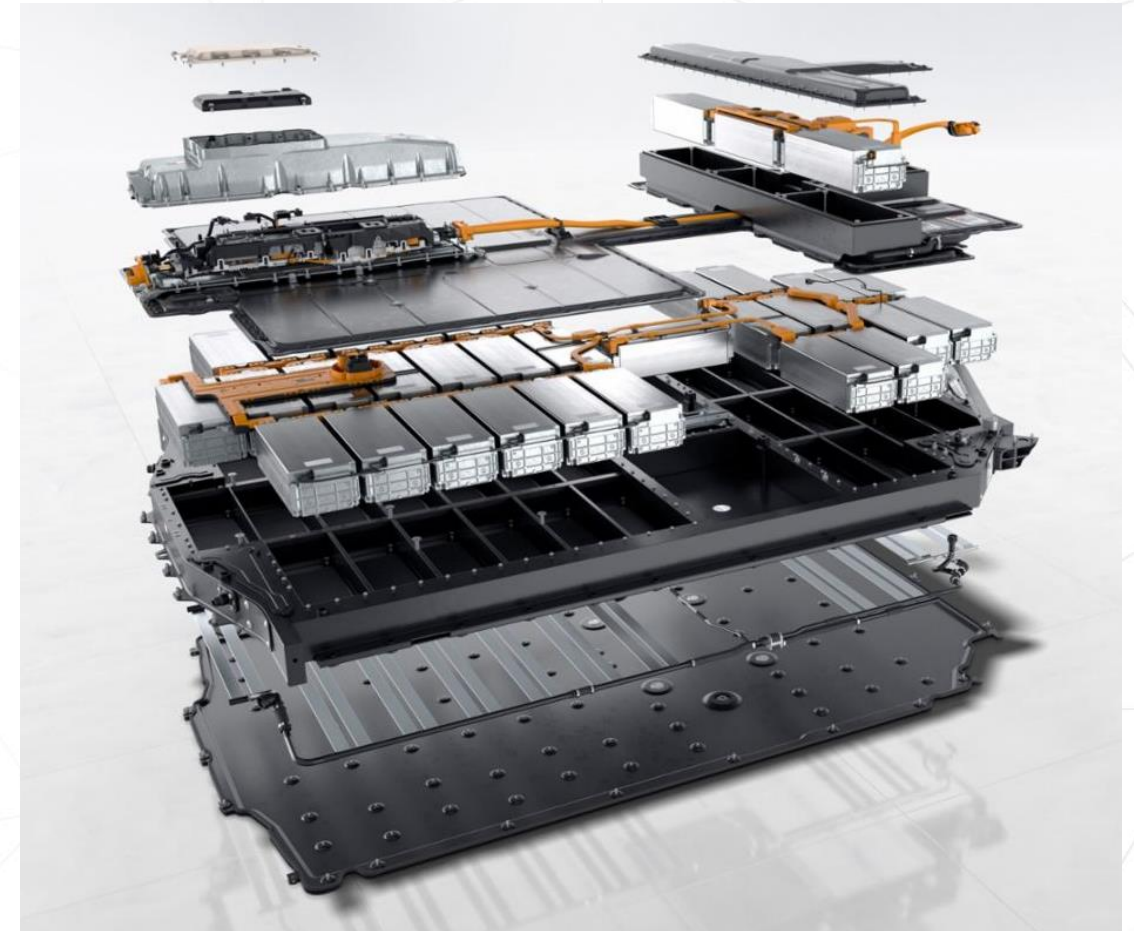
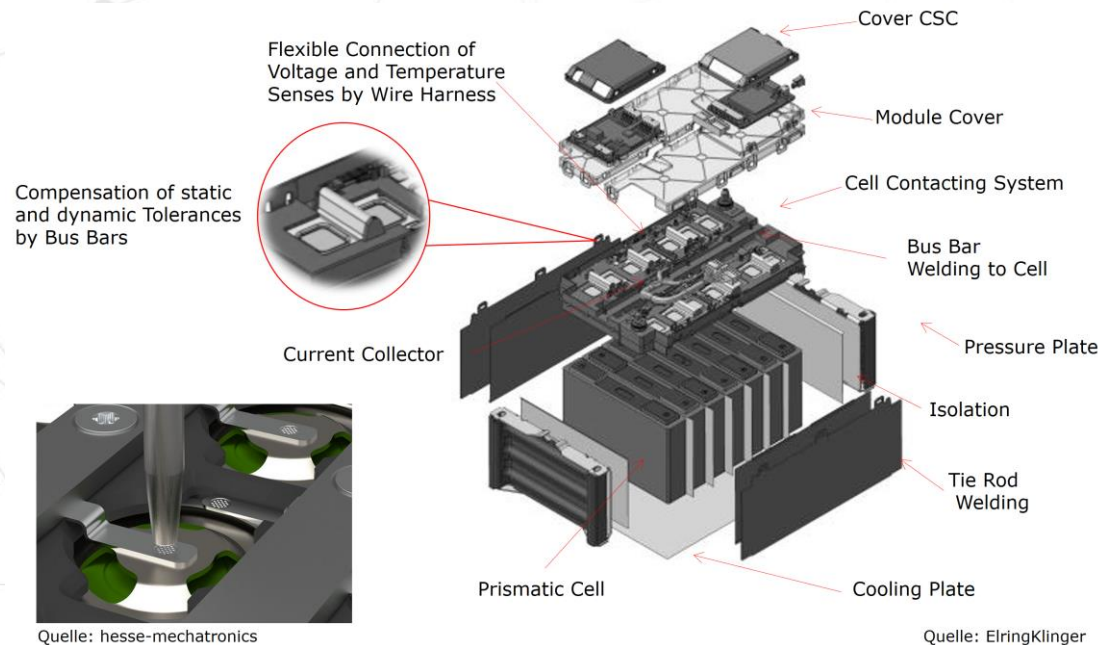
## Development Trends

- High Nickel / High Silicon
- LFP
- Solid State
- SIB



## Modulares Batteriedesign

- V.a. europäische OEMs
- Reparierbar
- Moderate Energiedichte
- Versteifungsaufwände

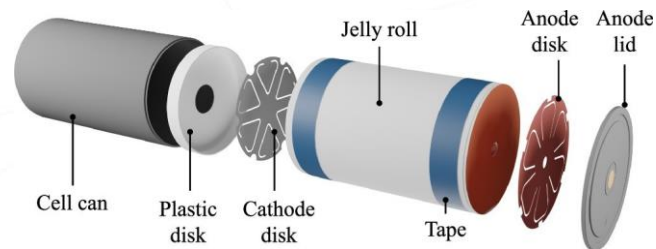


Quelle: Porsche (Taycan)

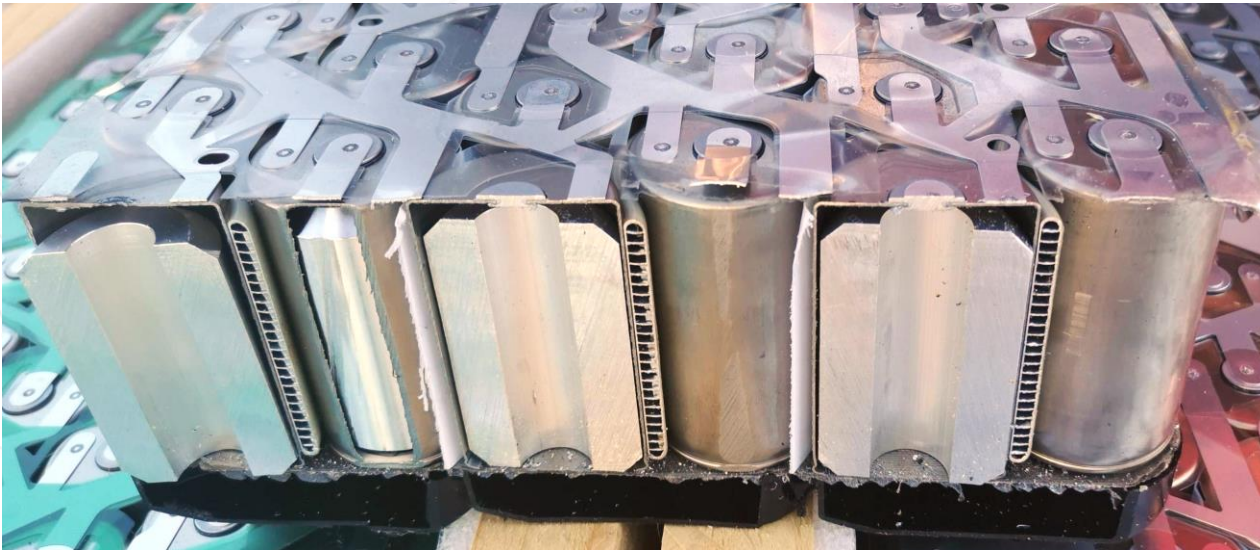
# Pack Design – Cell to Pack

## Cell to Pack Batteriedesign

- Keine Module
- Vollständig verklebt
- Keine Versteifung nötig
- Hohe Energiedichte
- Schlechte Reparierbarkeit



Quelle: TUM



Quelle: Tesla



# Pack Design – Cell to Pack

## Cell to Pack LFP Batteriede

- Keine Module
- Vollständig verklebt
- Keine Versteifung nötig
- Riesige LFP-Zellen



Quelle: BYD



# Beispiel: Zeekr 001 NMC vs LFP (Geely)

ADAC

🔍 📄 📞 SOS ☰ Menü

🏠 > Rund ums Fahrzeug > Autokatalog > Marken & Modelle > Zeekr > Zeekr 001 im Fahrbericht:

## Zeekr 001 im Fahrbericht: Luxus-Elektroauto für wenig Geld

12.07.2023



Der Zeekr 001: Luxuriöse Elektro-Limousine mit Schrägheck aus China • © Zeekr

Mit dem Zeekr 001 kommt 2024 ein Premium-Elektroauto aus China auf den Markt, das Audi, BMW und Mercedes unter Druck setzen wird. Es bietet viel Luxus, Komfort und Dynamik ab 60.000 Euro.

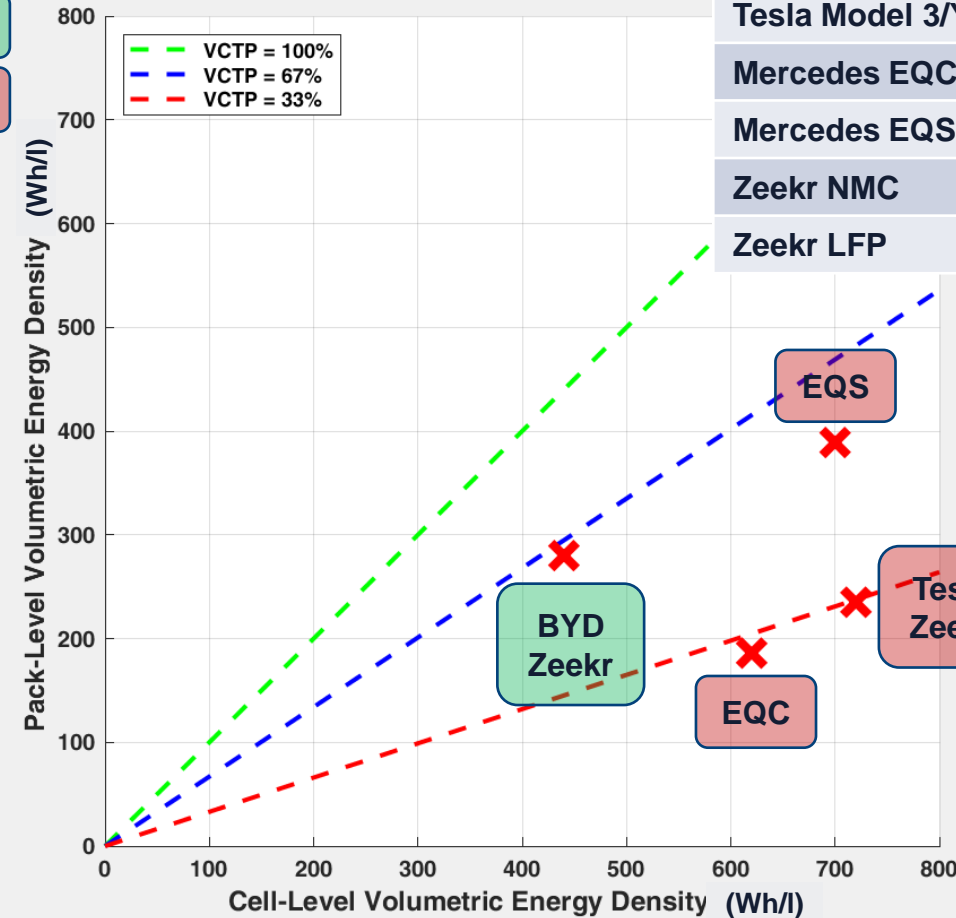
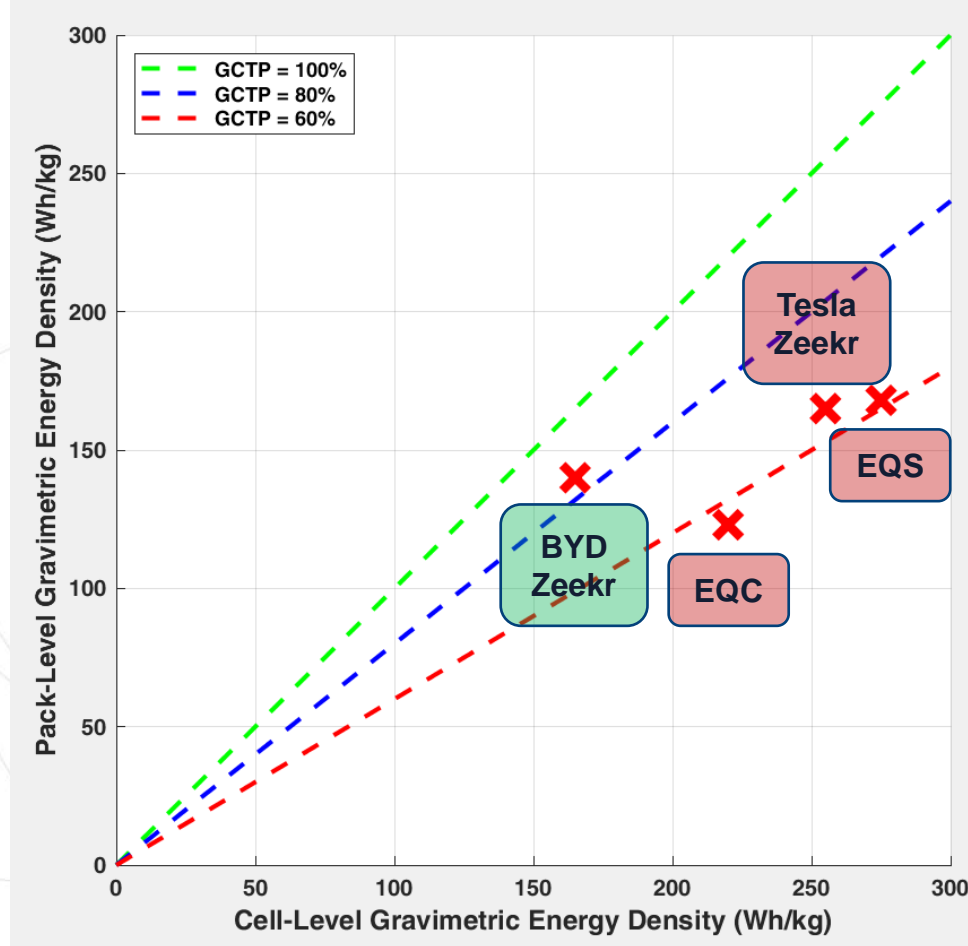
- Zwei Versionen: 200 kW/272 PS oder 400 kW/544 PS      Seit 02/2024: 580 kW / 789 PS
- 100-kWh-Akku für bis zu 620 km Reichweite      ZEEKR FR: 930 kW (1265 PS) 0-100 km/h: 2,1s
- Außergewöhnliches Design, hohe Qualität      ➔ Geely

Zeekr – der Name der neuen Automarke aus China liest sich etwas sperrig. Welcher Konzern hinter diesem Markennamen steckt, und was für Autos man von Zeekr erwarten darf, erfahren Sie hier. Dazu bewertet der ADAC erstmals, wie sich der Zeekr 001 im alltäglichen Straßenverkehr so anfühlt.

	NMC – Modell	LFP - Modell	
Kapazität	100 kWh	95 kWh	-5%
Gewicht	2470 kg	2575 kg	+4%
Batteriegewicht	606 kg	720 kg	+19%
ED Zelle	255 Wh/kg	165 Wh/kg	-36%
ED Batterie	165 Wh/kg	132 Wh/kg	-20%
GCTPR	65%	80%	+24%
Charging 30-80%	15 min	11,4 min	-24%
Reichweite	705 km	675 km	-4%
0 – 100 km/h	3,3 s	3,5 s	+6%
Sicherheit	Moderat	Hoch	
Lebensdauer	~800 Zyklen	~3.000 Zyklen	
Preis	\$41.040	\$36.930	-10%



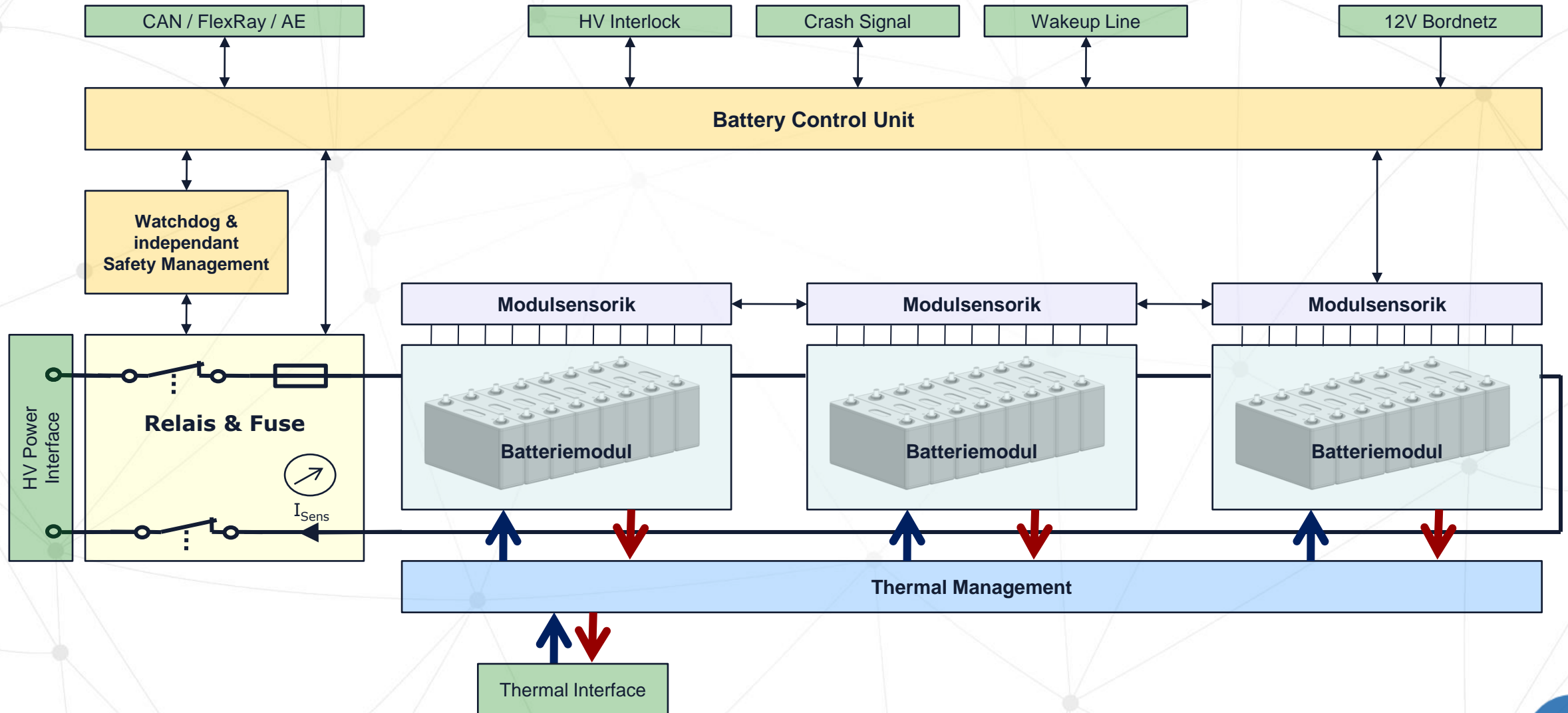
## Energiedichten von LFP auf systemebene konkurrenzfähig



	GCTP	VCTP
BYD Han	80%	64%
Tesla Model 3/Y	65%	33%
Mercedes EQC	56%	40%*
Mercedes EQS	61%	56%*
Zeekr NMC	65%	33%*
Zeekr LFP	80%	64%*

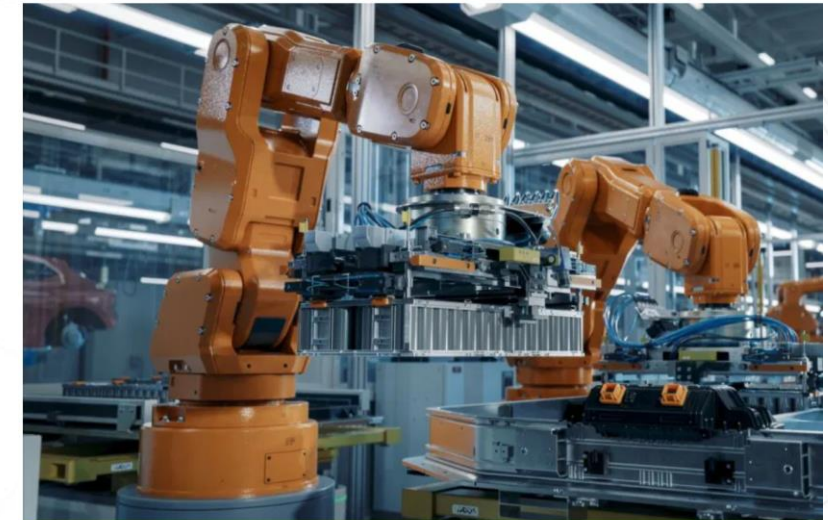


# Battery System Design



Anteil	Firma	Land	Gründungsjahr
37%	CATL	China	1999
16%	BYD	China	1995
14%	LG Energy	Südkorea	2020
6%	Panasonic Sanyo	Japan	1918
5%	SK Innovation	Südkorea	2007
5%	Samsung SDI	Südkorea	1970
5%	CALB	China	2007
2%	Farasis	China	2009
2%	EVE Energy	China	2001
2%	Gotion / Guoxuan	China	1995
7%	Sonstige		

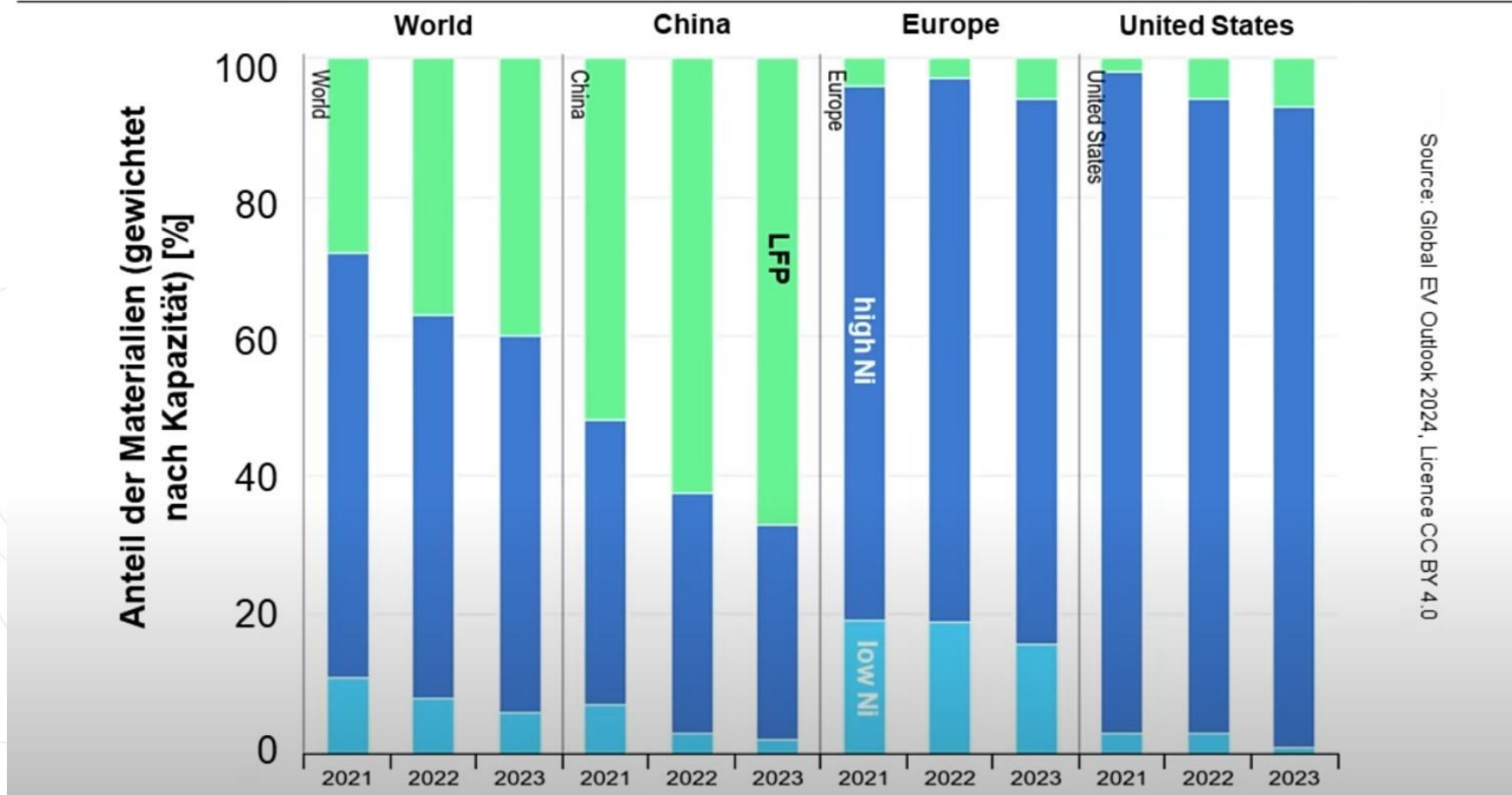
**Gesamtproduktion 2023: 705 GWh** (~ 11.750.000 x 60 kWh)



**Chinas Batteriemarkt wuchs 2024 um 41,5 Prozent**

Quelle: From Jan to Dec in 2023, Global EV Battery Usage Posted 705.5GWh, a 38.6% YoY Growth (SNE Research 2024)

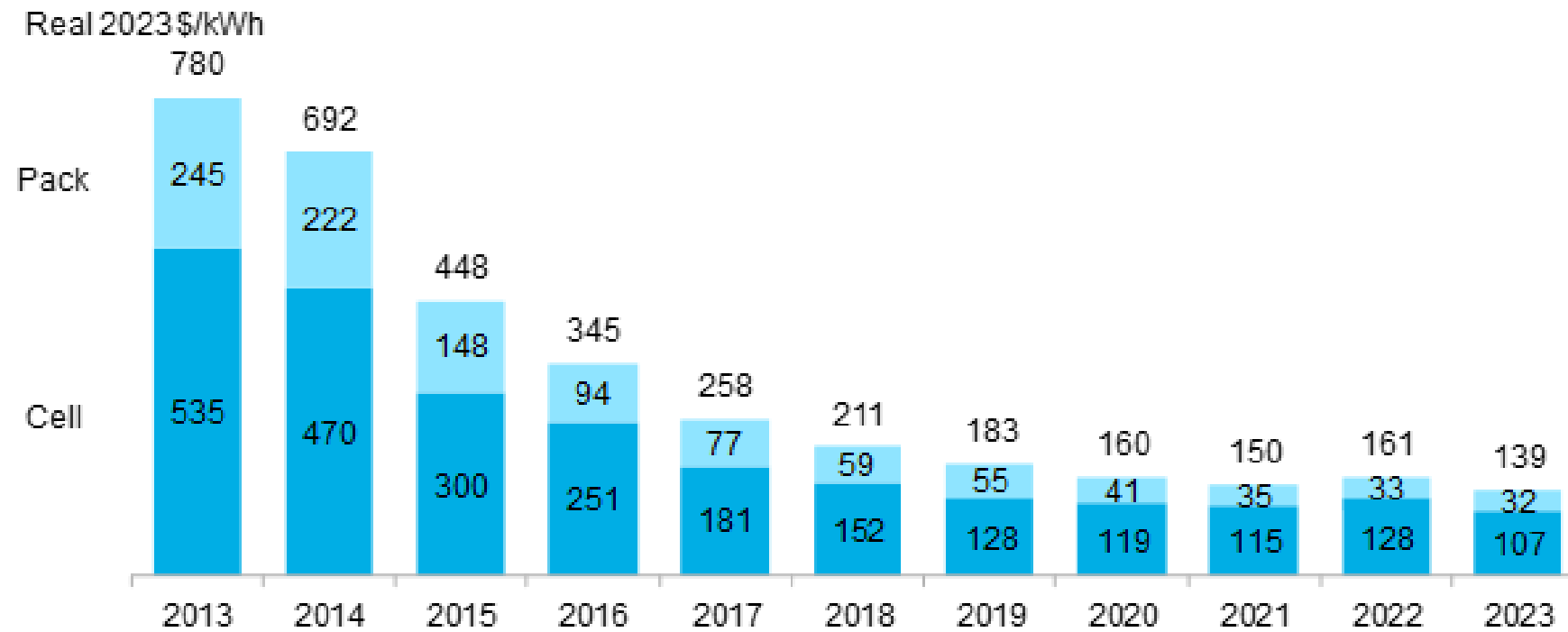
## Anteil nach Batteriekapazität der verschiedenen Zellchemien in den verschiedenen Weltmärkten (2021-2023)





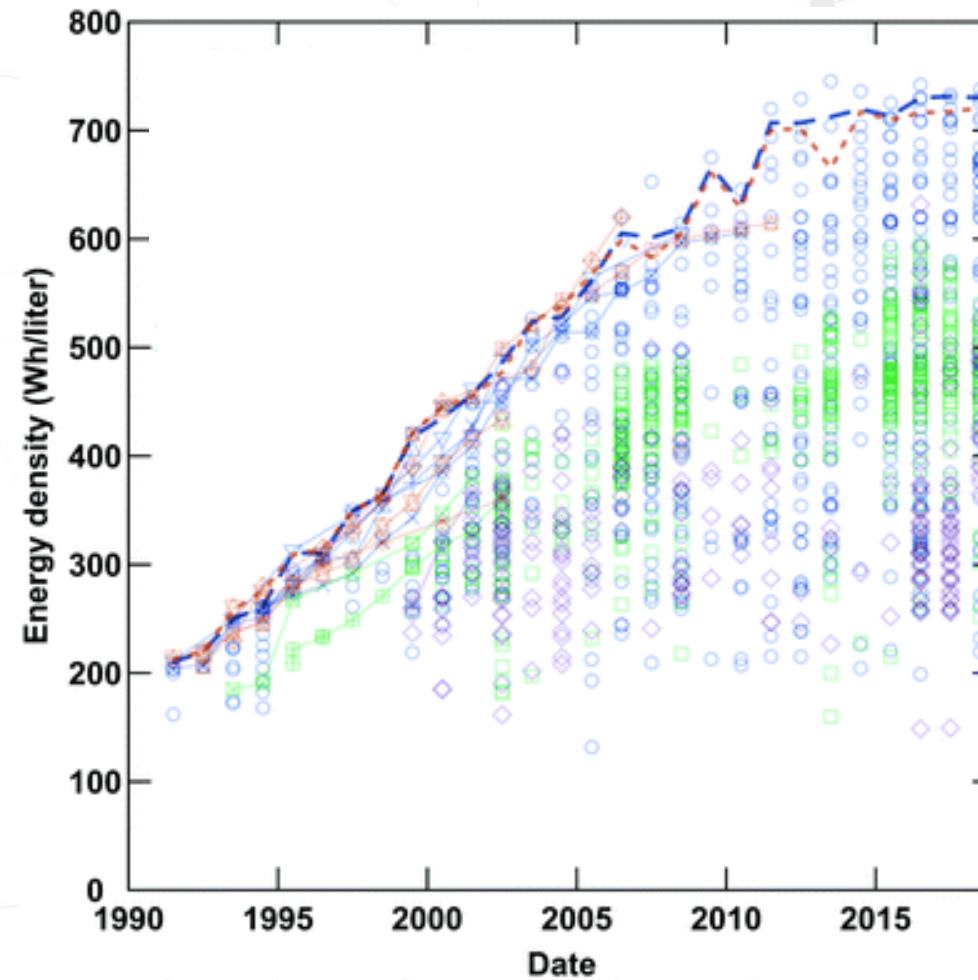
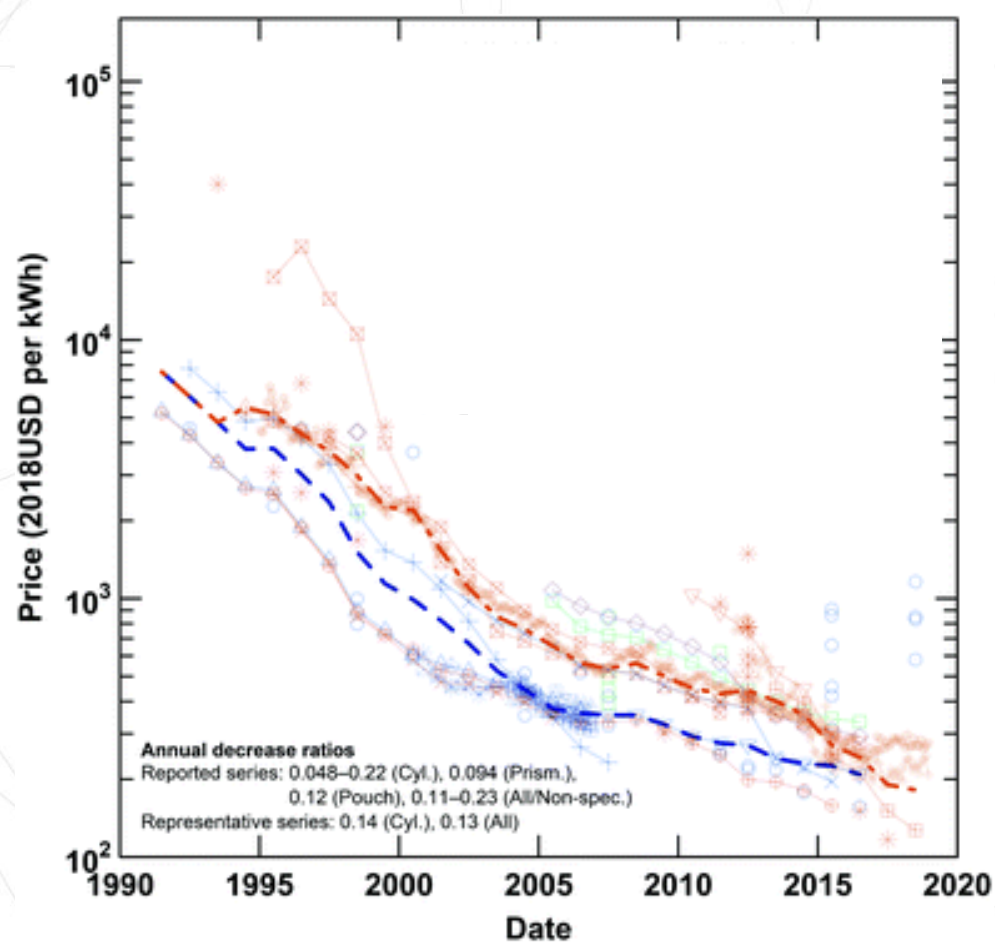
# Preisentwicklung Packs und Zellen

Figure 1: Volume-weighted average lithium-ion battery pack and cell price split, 2013-2023



Source: BloombergNEF. Historical prices have been updated to reflect real 2023 dollars. Weighted average survey value includes 303 data points from passenger cars, buses, commercial vehicles, and stationary storage.

# Entwicklung Zell-Preis und Energiedichte



Quelle: Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline, M. S. Ziegler, J. E. Trancik, 2021

## Breathing

- Dicke von Li-Ionen Zellen variiert mit Ladezustand

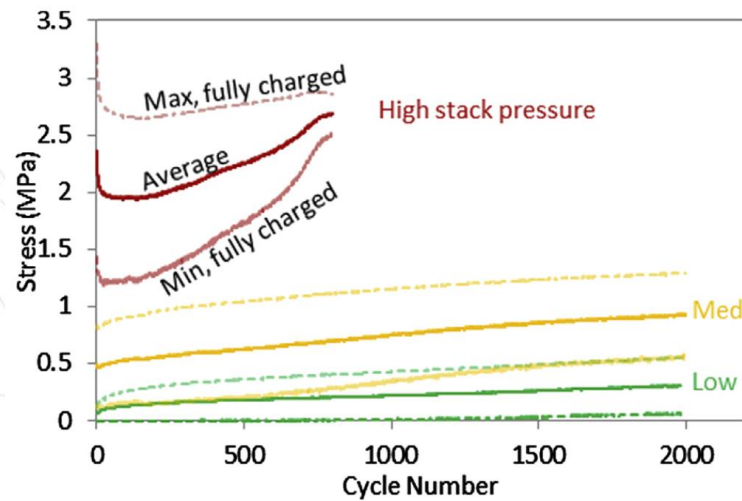
## Swelling

- Dickenwachstum über Lebensdauer
- Besonders bei Silizium-haltigen Anoden

Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion pouch cells

John Cannarella, Craig B. Arnold<sup>1</sup>

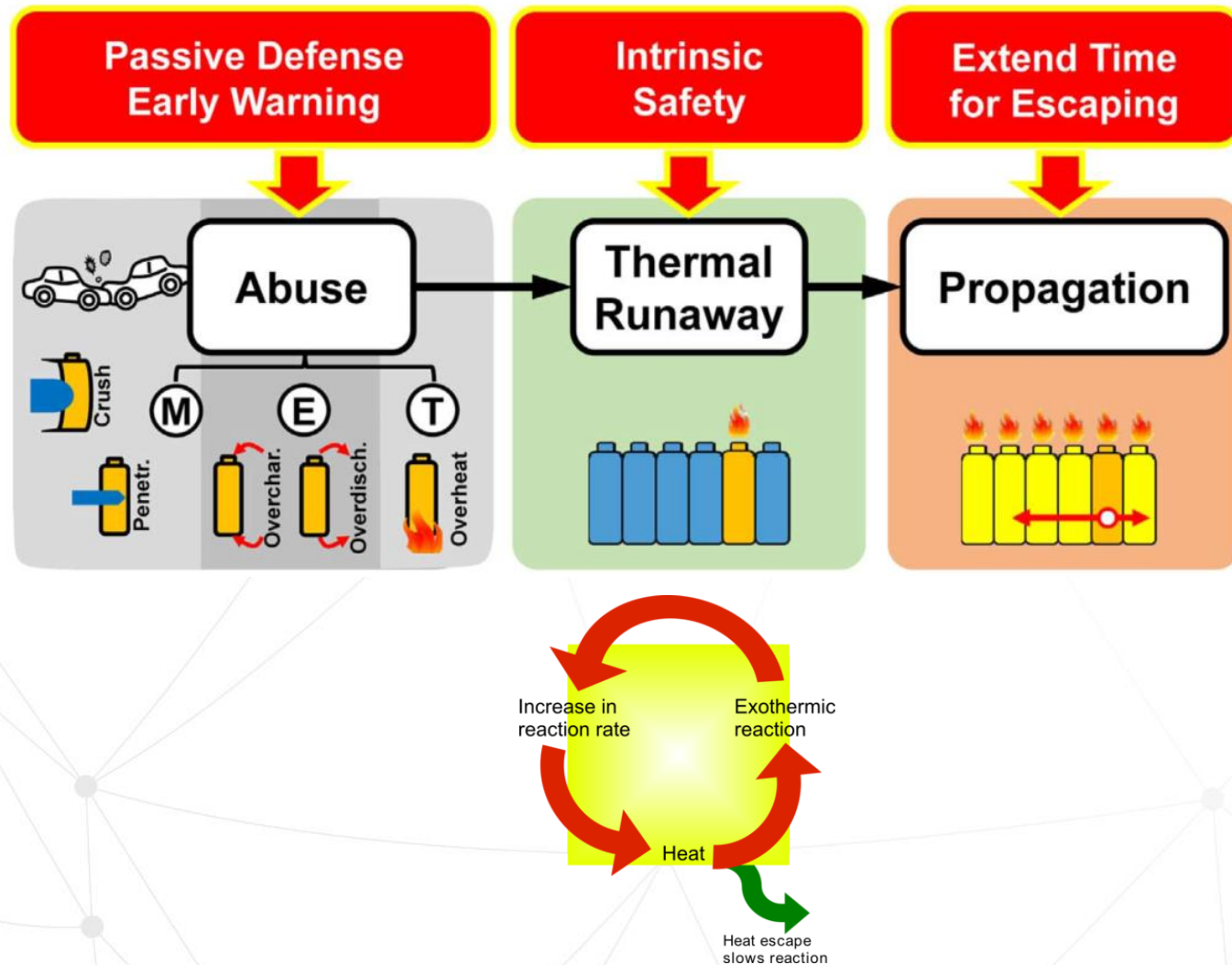
<sup>1</sup>Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA



Nissan Leaf Battery

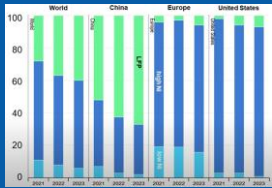


# Challenges - Propagation



Quelle: Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: a review, X. Feng, 2018

## State of the Art



**NCM**  
High Nickel /  
High Silicon

- Preis
- Sicherheit
- Swelling

**LFP**

- Energiedichte

**Solid State**

- Serienreife
- Preis
- Haltbarkeit

**Natrium**  
Ionen

- Energiedichte

???

# Battery technology roadmap

		Today & Short term	2025	Medium-/long term	2035	Vision
Me-ion	LIB	200–300 Wh/kg, 600–750 Wh/l 90–175 €/kWh		Continuous improvement	320–360 Wh/kg, 800–960 Wh/l 45–90 €/kWh	
	SIB	140–160 Wh/kg, 250–300 Wh/l 80–120 €/kWh		Optimizing material combinations	> 200 Wh/kg, > 400 Wh/l < 40 €/kWh	
	SIB–Salt	< 150 Wh/kg, 10–25 Wh/l 700–1000 €/kWh*		Increasing operating voltage and reducing costs	< 200 €/kWh*	
	MIB	50–150 Wh/kg, 150–300 Wh/l		Stable cathode-electrolyte combination	> 300 Wh/kg, > 400 Wh/l < 40 €/kWh	
	ZIB	30–60 Wh/kg, 40–100 Wh/l		Stability of electrodes and electrolyte	50–120 Wh/kg, 80–200 Wh/l	
	AIB	30–35 Wh/kg, 35–50 Wh/l, but 9,000 W/kg and > 20,000 cycles		Highly corrosive electrolyte	45–50 Wh/kg, 45–80 Wh/l, but > 10,000 W/kg and > 50,000 cycles; 10–20 % cost saving compared to LIBs	
Me-S	Li-S	> 300 Wh/kg, 300–450 Wh/l		Cycling stability and power density	550 Wh/kg, 700 Wh/l 50 €/kWh	
	Na-S RT	> 300 Wh/kg		Multiple challenges especially on cathode and anode side	> 350 Wh/kg	
	Na-S HT	180–268 Wh/kg, 300–414 Wh/l, long calendar and cycle lives 300–450 €/kWh*		Cost reduction and safety improvements	220–300 Wh/kg, 320–440 Wh/l, long calendar and cycle lives < 300 €/kWh*	
Me-air	Li-air	<= 500 Wh/kg, but with a very low cycling stability		Safety, energy efficiency, unhealthy side reactions	theoretical: 3500 Wh/kg practical: 1230 Wh/kg	
	Zn-air	100–200 Wh/kg, only flow design with pot. high cycling stability 100–150 €/kWh		No stable planar cell design, low power performance	200–300 Wh/kg, 2000–14000 cycles 10–100 €/kWh	
V-RFB		22–30 Wh/kg, > 10 000 cycles, 20 years calendar life		Improved operational temperature and automated cell stacking	> 35 Wh/kg, > 10 000 cycles, 20 years calendar life	

\* Cost on system level

Quelle: Alternative Battery Technologies Roadmap, Fraunhofer ISI, 09/2023

Me-ion  
Me-S  
Me-air

Metal-ion  
Metal-sulfur  
Metal-air

LIB  
SIB  
SIB-Salt  
MIB  
ZIB  
AIB  
Li-S  
Na-S RT  
Na-S HAT  
Li-air  
Zn-air

Lithium-ion battery  
Sodium-ion battery  
Sodium-ion saltwater battery  
Magnesium-ion battery  
Zinc-ion battery  
Aluminum-ion battery  
Lithium-sulfur  
Sodium-sulfur room temperature  
Sodium-sulfur high temperature  
Lithium-air  
Lithium-air

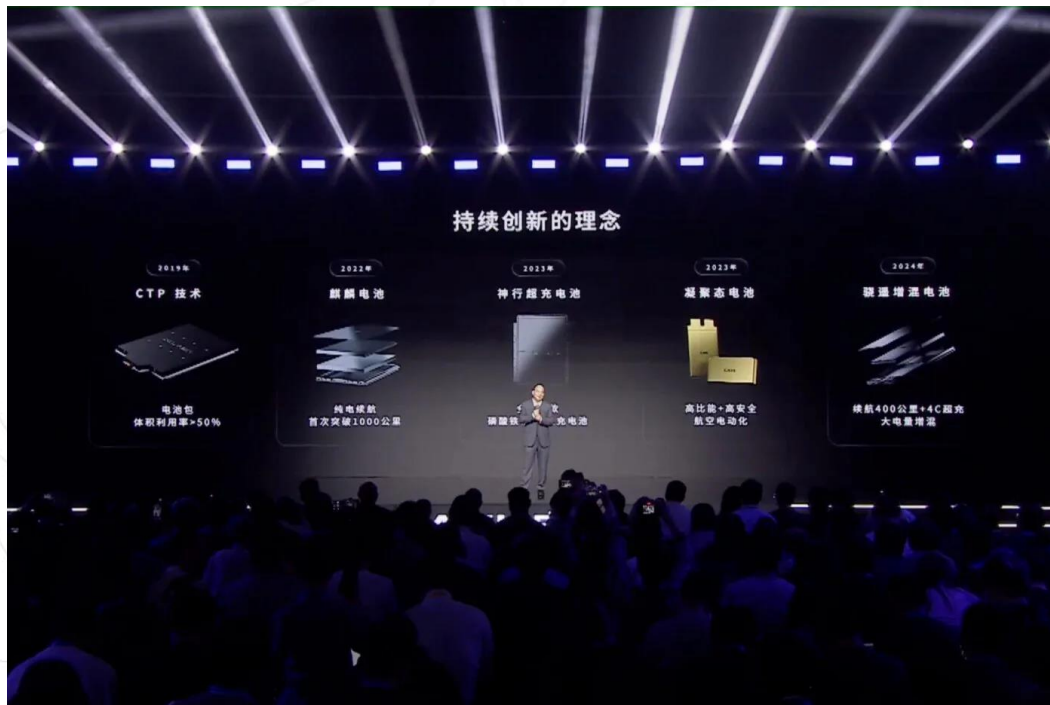
V-RFB

Vanadium Redox flow battery



# LFP Development

- Chinesische Zellhersteller konzentrieren sich auf LFP
- Aktuell hohe Entwicklungsgeschwindigkeit
- Energiedichten steigen moderat
- Schnellladefähigkeit steigt stark, z.B.

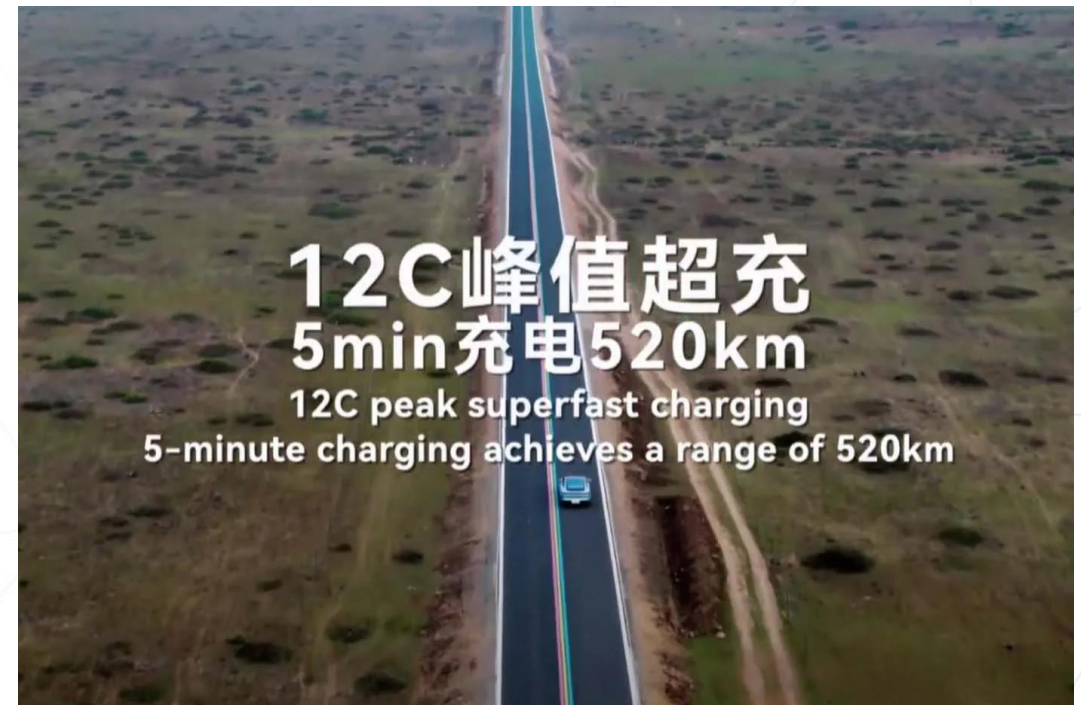


wallstreet ONLINE

Akku-Revolution made in China

16181 0 Kommentare

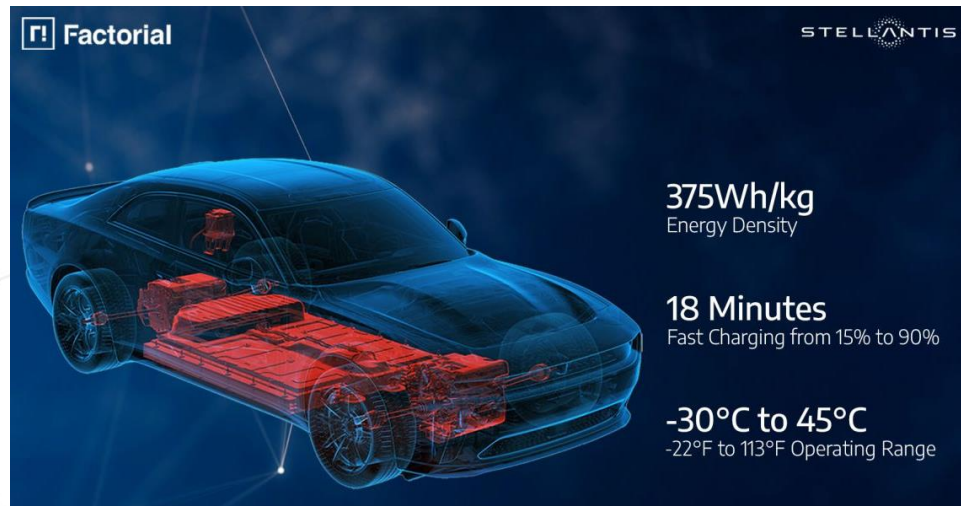
## CATL zerlegt BYD & Tesla– 520 km Reichweite in 5 Minuten



PRESS RELEASES

24 Apr 2025

## Stellantis and Factorial Energy Reach Key Milestone in Solid-State Battery Development



- **Stellantis and Factorial Energy successfully validated automotive-sized solid-state battery cells with 375Wh/kg energy density, a major step toward commercial use**
- **Breakthrough FEST® technology enables fast charging from 15% to 90% in 18 minutes**
- **The battery cells can operate in temperatures from -30°C to 45°C (-22°F to 113°F), with potential for further expansion and demonstrate high power capabilities up to 4C discharge**
- **Stellantis is incorporating Factorial's solid-state batteries into a demonstration fleet by 2026**

Quelle: Stellantis

12.05.2025

## FEST



Lithium-Metall-Anode  
und Quasi-Festelektrolyt

Polymer-basiert

B-Muster-Status

106 Ah Ladekapazität

391 Wh/kg (Zelle)

770 Wh/l (Zelle)

Quelle: Geladen Batteriepodcast, Bild von Stellantis, 02.03.2025

## SOLSTICE



sulfidbasiertes  
Feststoffelektrolytmaterial,  
Betriebstemperatur > 90 °C

trockenbeschichtet

A-Muster-Status

40 Ah Ladekapazität

420 Wh/kg (Zelle)

860 Wh/l (Zelle)

# Natrium Ionen / Sodium Ion Batteries (SIB)

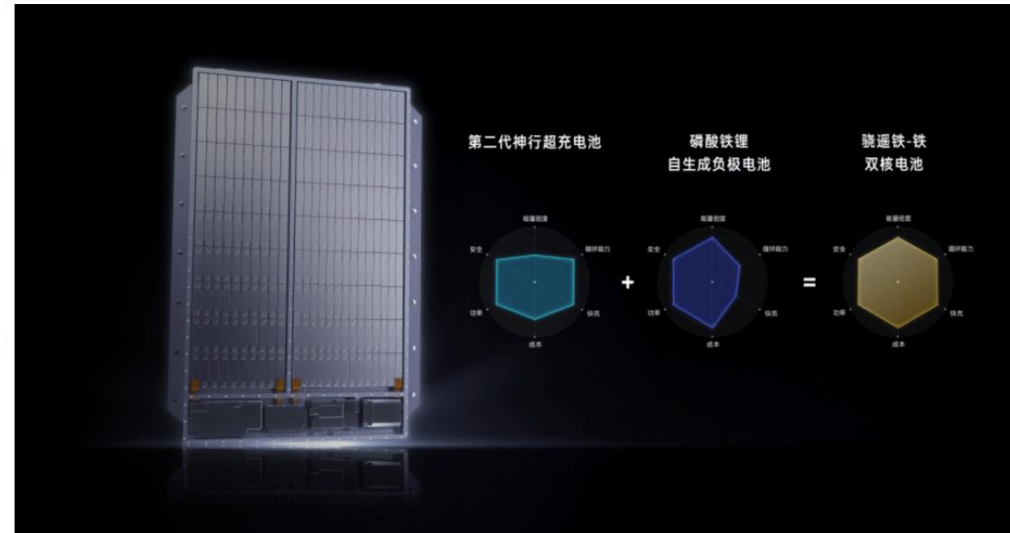
- Großserienproduktion von Natrium Ionen Batterien angekündigt
- Energiedichten fast auf LFP Niveau

## Avisierte Vorteile

- Erhöhte Tieftemperaturfähigkeit
- Hohe Lebensdauer
- Geringere Preise
- Verbesserte Rohstoffsituation
- Hohe Sicherheit

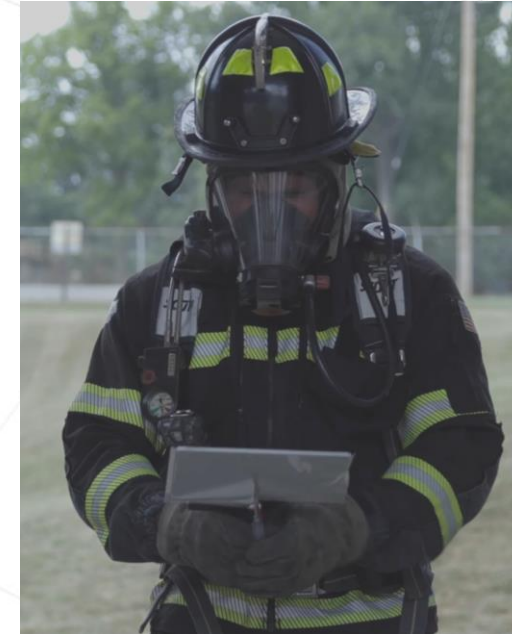
Batterieentwicklung | 23. April 2025

### ■ CATL präsentiert neue Batterie-Generationen



Der chinesische Batteriehersteller CATL hat im Rahmen seiner „Super Tech Day“-Veranstaltung drei neue Batteriesysteme vorgestellt. Im Mittelpunkt stand die sogenannte Naxtra-Batterie, die dem Unternehmen zufolge die erste serienreife Natrium-Ionen-Batterie ist. Die Zelle erreiche eine Energiedichte von 175 Wattstunden pro Kilogramm und liegt damit im Bereich heutiger LFP-Zellen. Die Batterie soll bei minus 40 Grad Celsius noch 90 Prozent ihrer Leistung erbringen und mehr als 10.000 Ladezyklen ermöglichen. CATL plant den Produktionsstart der Zelle für Dezember 2025.

Quelle: battery-news.de



Quelle: Natron