



# CEF.NRW

Cluster EnergieForschung

## Innovative Fahrzeugbatterien mit neuen Materialien

**Dr. Stefan Rabe**

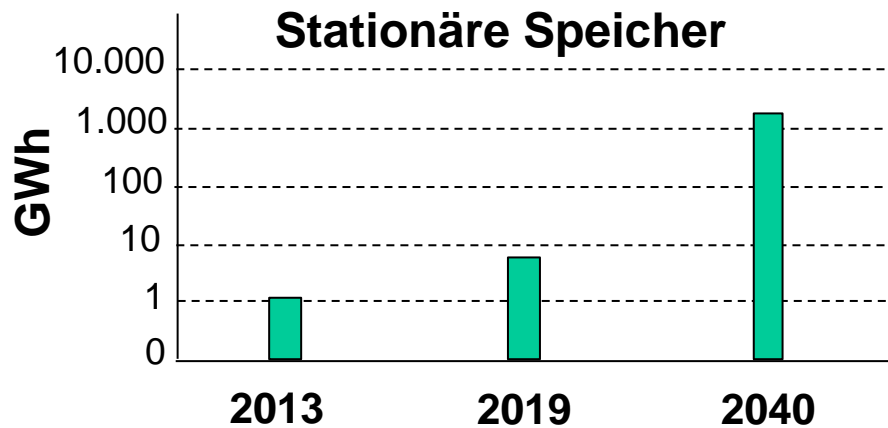
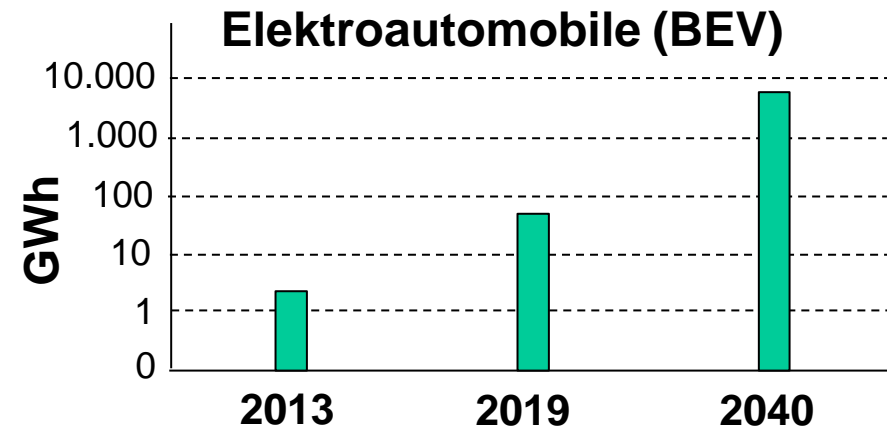
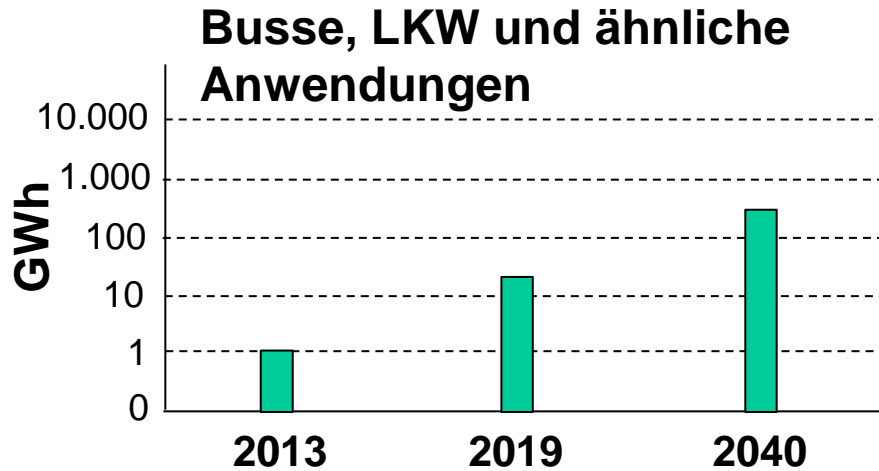
# Inhalt

## Inhalt

- 1) Entwicklung der Elektromobilität
- 2) Aufbau von Lithium – Ionen – Batteriezellen
- 3) Trends Anodenmaterialien
- 4) Trends Kathodenmaterialien
- 5) Festkörperbatterien
- 6) Zusammenfassung



# Entwicklung der Speicherkapazitäten in verschiedenen Sektoren

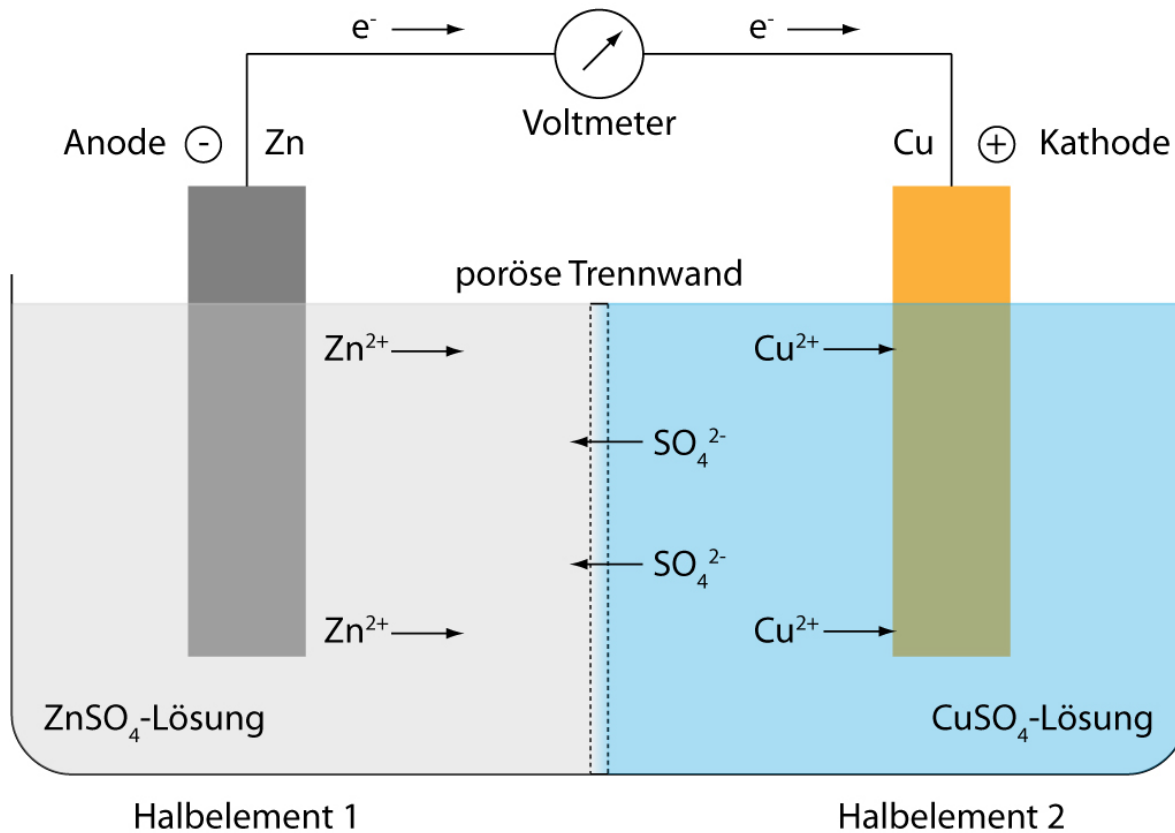


**Lithium – Ionen – Batterien sind die dominanten Speicher**

Quelle: IEA, Report „Innovation in batteries and electricity storage“, September 2020

# Daniell - Element

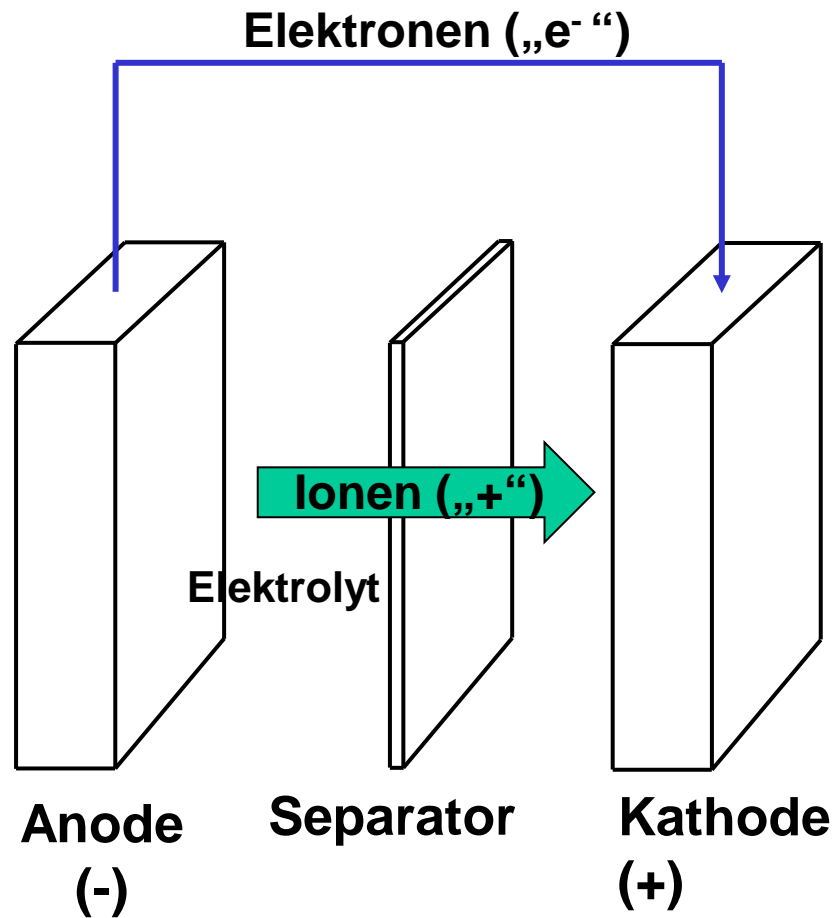
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/NMAH-Daniell\\_cell\\_batteries\\_1836.JPG/1200px-NMAH-Daniell\\_cell\\_batteries\\_1836.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/NMAH-Daniell_cell_batteries_1836.JPG/1200px-NMAH-Daniell_cell_batteries_1836.JPG)



John Frederic Daniell, 1790 - 1845  
 Quelle: Wikipedia

Quelle: [www.cup.unimuenchen.de/courses/praktika/ac/liebiglab/L/gp/daniellelement.jpg](http://www.cup.unimuenchen.de/courses/praktika/ac/liebiglab/L/gp/daniellelement.jpg)

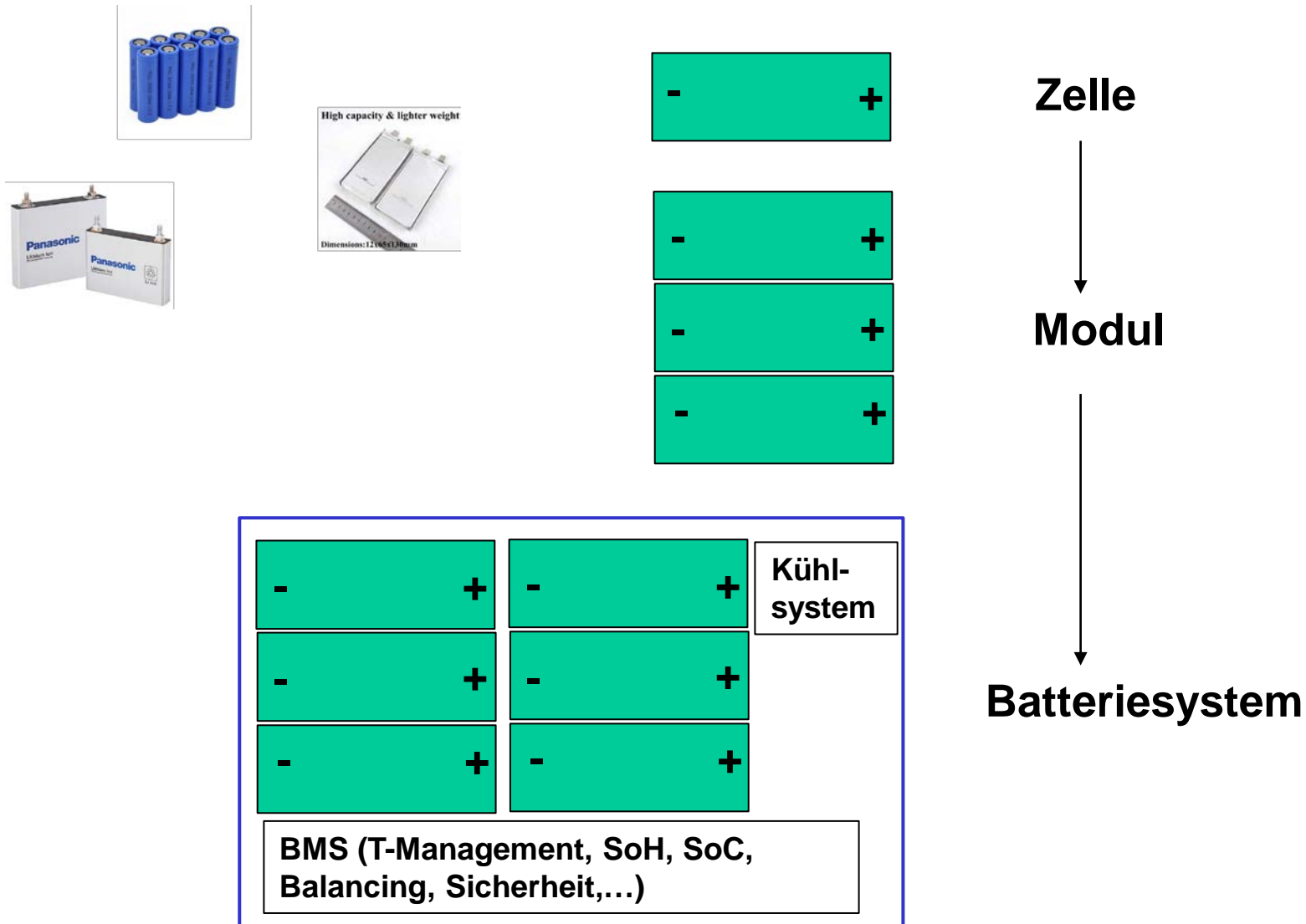
# Schematischer Aufbau einer Batteriezelle



- **Primärzelle/-batterie :**  
nicht wiederaufladbar
- **Sekundärzelle/-batterie:**  
wiederaufladbar

Bauteil	elektrisch leitfähig	ionenleitfähig
Anode	erforderlich	kann
Kathode	erforderlich	kann
Elektrolyt	nein	erforderlich
Separator	nein	erforderlich

# Zelle, Modul und Batteriesystem



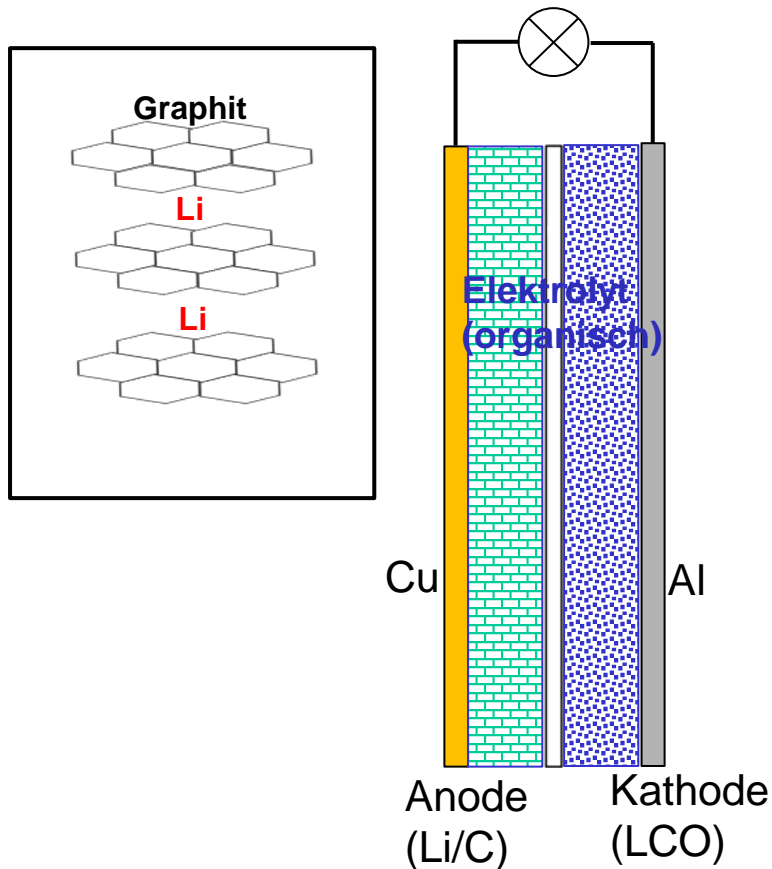
Quelle: Kompendium: Li-Ionen-Batterien, VDE, 2015

# Warum Lithium ?

<i>Aktivmaterial</i>	<i>Gewicht / g mol<sup>-1</sup></i>	<i>Ladungs- äquivalent</i>	<i>Äquivalent- masse / g mol<sup>-1</sup> F<sup>-1</sup> <sup>b</sup></i>	<i>Spezifische Ladung / Ah kg<sup>-1</sup></i>	<i>Elektroden- potential / V <sup>c</sup></i>	<i>Batterie (Beispiel)</i>
Pb	207,20 <sup>a</sup>	2	103,60	259	-0,13	Pb-PbO <sub>2</sub>
Cd	112,42 <sup>a</sup>	2	56,21	477	-0,40	Ni-Cd
LaNi <sub>5</sub> H <sub>6</sub> (MH <sup>d</sup> )	438,40 <sup>a</sup>	6	73,07	366,7	±0,00	Ni-MH
Zn	65,38 <sup>a</sup>	2	32,69	820	-0,76	Zn-MnO <sub>2</sub>
Li	6,94 <sup>a</sup>	1	6,94	3862	-3,05	Li-MnO <sub>2</sub>
Na	22,94 <sup>a</sup>	1	22,99	1168	-2,71	Na-NiCl <sub>2</sub>

Quelle: M. Winter, Universität Münster

# Schematischer Aufbau einer Li – Ionen - Batterie



## Anode und Kathode:

- Speicherung von Ladungsträgern

## Separator:

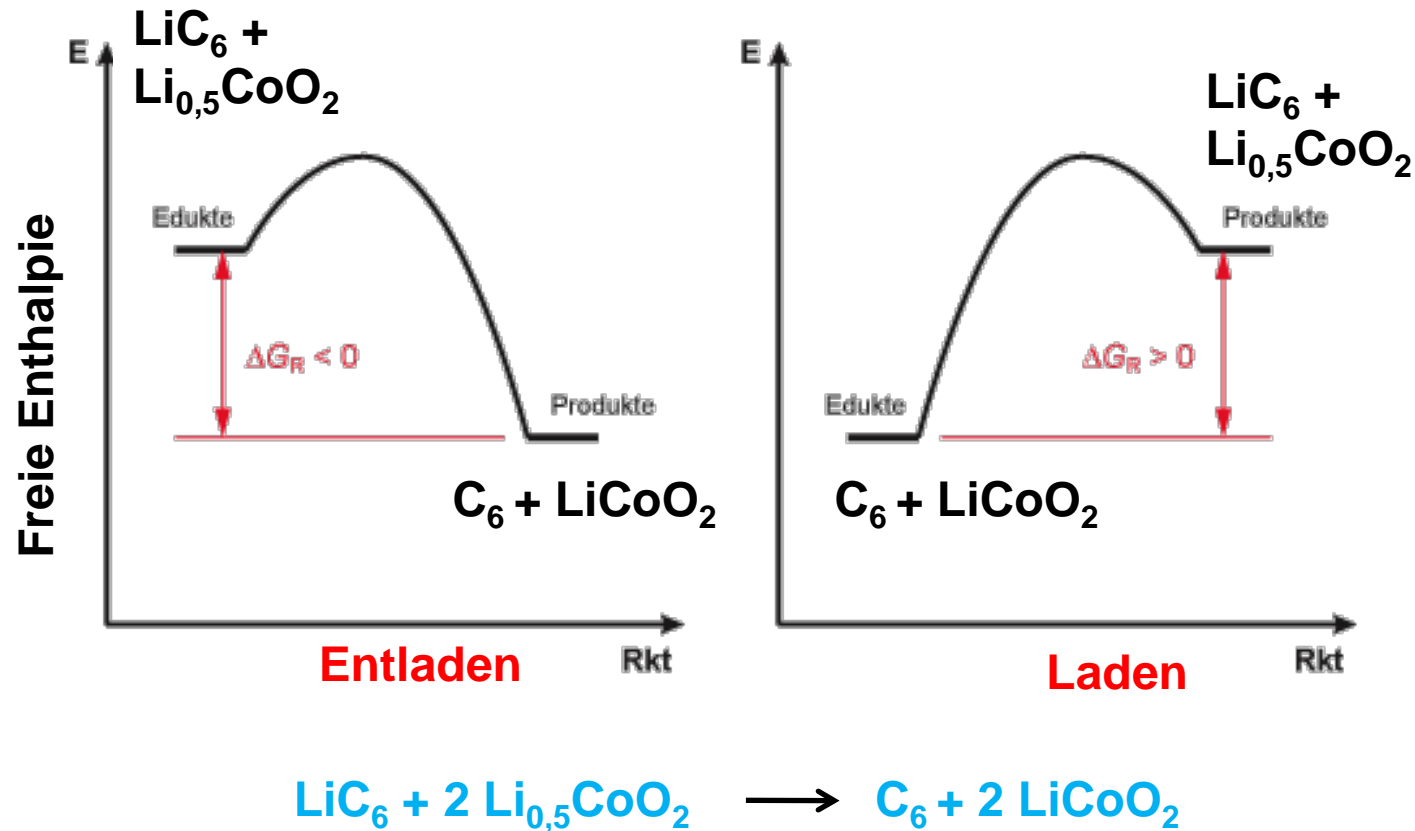
- Trennung von Anode und Kathode (Verhinderung von Kurzschlüssen)

## Elektrolyt

- Leitung von Li – Ionen
- Leitsalz:  $\text{LiPF}_6$



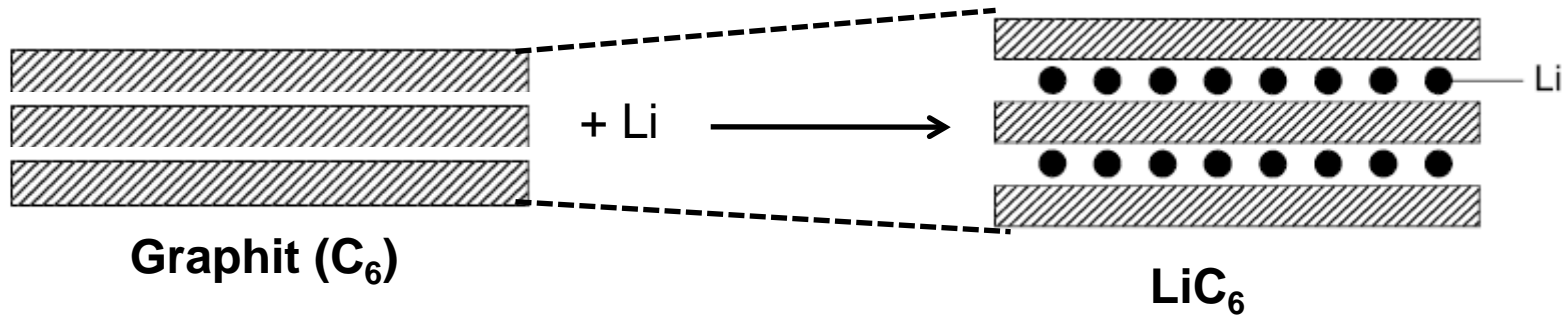
# Umwandlung chemischer in elektrische Energie



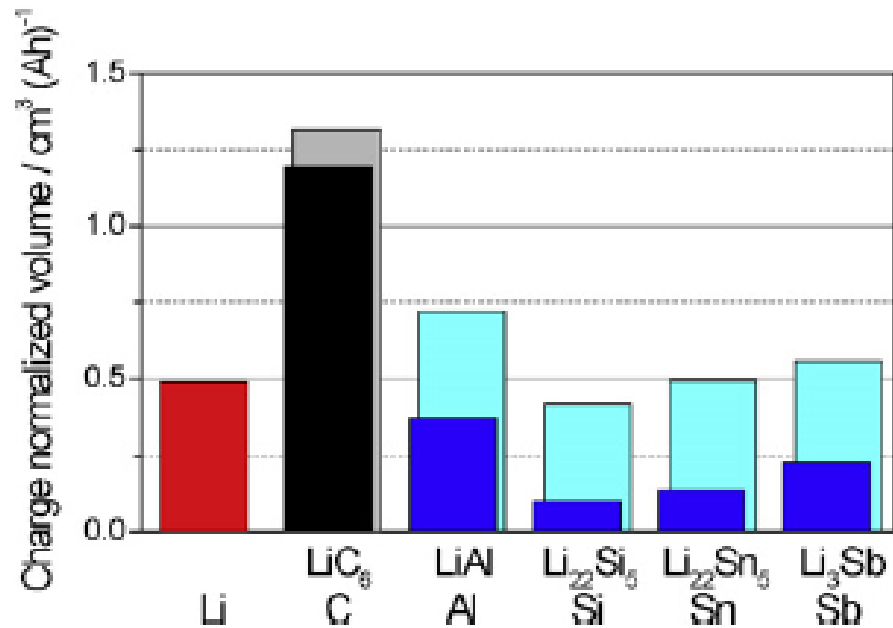
## Anodenmaterialien: Anforderungen

- **Anodenmaterial bestimmt die Ladezeit der Batterie!**
- **Potenzial ähnlich zu Li – Metall (wichtig für hohe Zellspannung)**
- **Strukturänderungen beim Laden/Entladen sollten möglichst klein sein (wichtig für Zyklenstabilität)**
- **Hohe Reversibilität**
- **Schnelle Diffusion von Li – Ionen (wichtig für die Leistung)**
- **gute elektrische Leitfähigkeit**
- **hohe spezifische Ladungsspeicherkapazität (Energiedichte)**
- **Sicherheit**

# Intercalationsverbindungen: Graphitanode

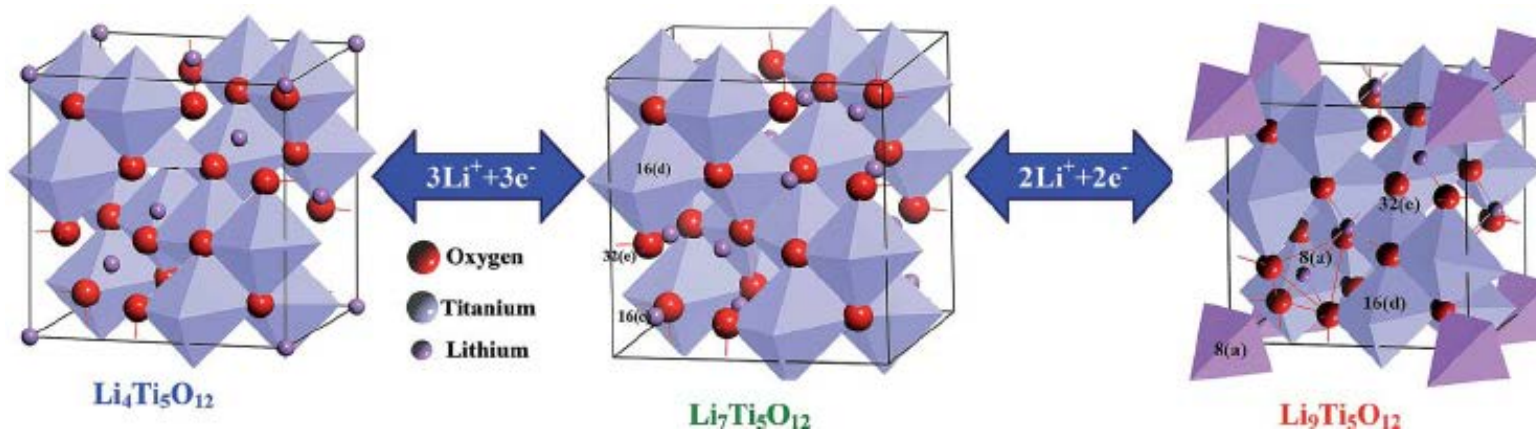


▪ **Volumenänderung: + 6%**



B. Scrosati, J. Garche / Journal of Power Sources 195 (2010) 2419–2430

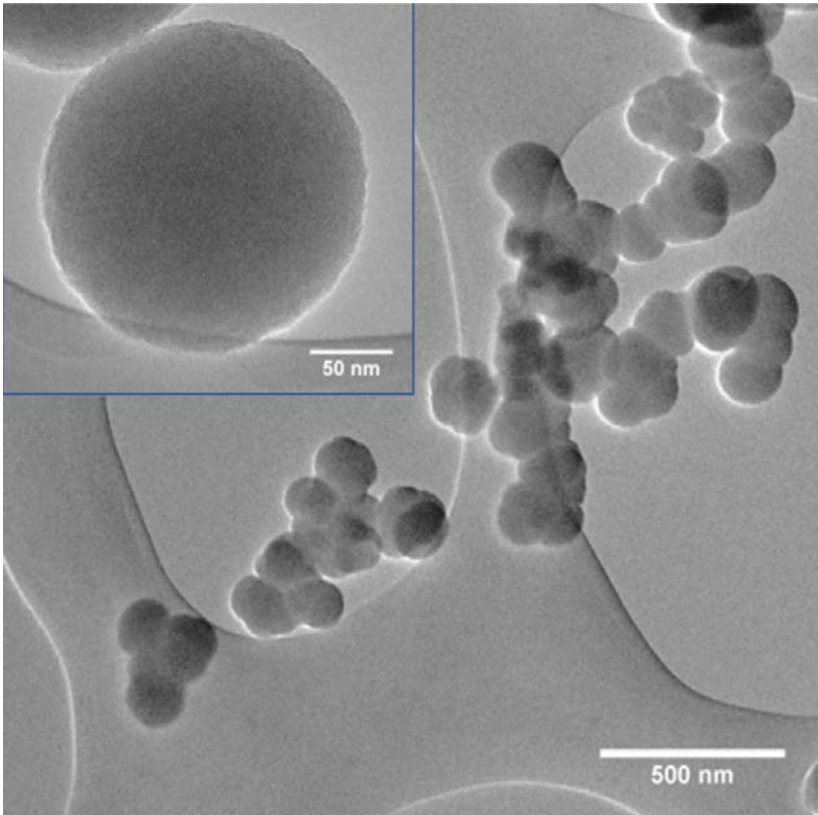
## Alternativ – Anode: Lithium – Titan – Oxide $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$



Quelle: Ting – Feng Yi et al.; J. Mater. Chem. A, 2015, 3, 5750

- geringe Volumenänderung zw. Laden und Entladen (nur ca. 0,1 %):  
sehr gute Zyklenstabilität
- Potenzial: ca. 1,5 V gegen Li/Li<sup>+</sup>
- Gute intrinsische Sicherheit
- niedrige Kosten
- Nachteil: niedrigere Energiedichte

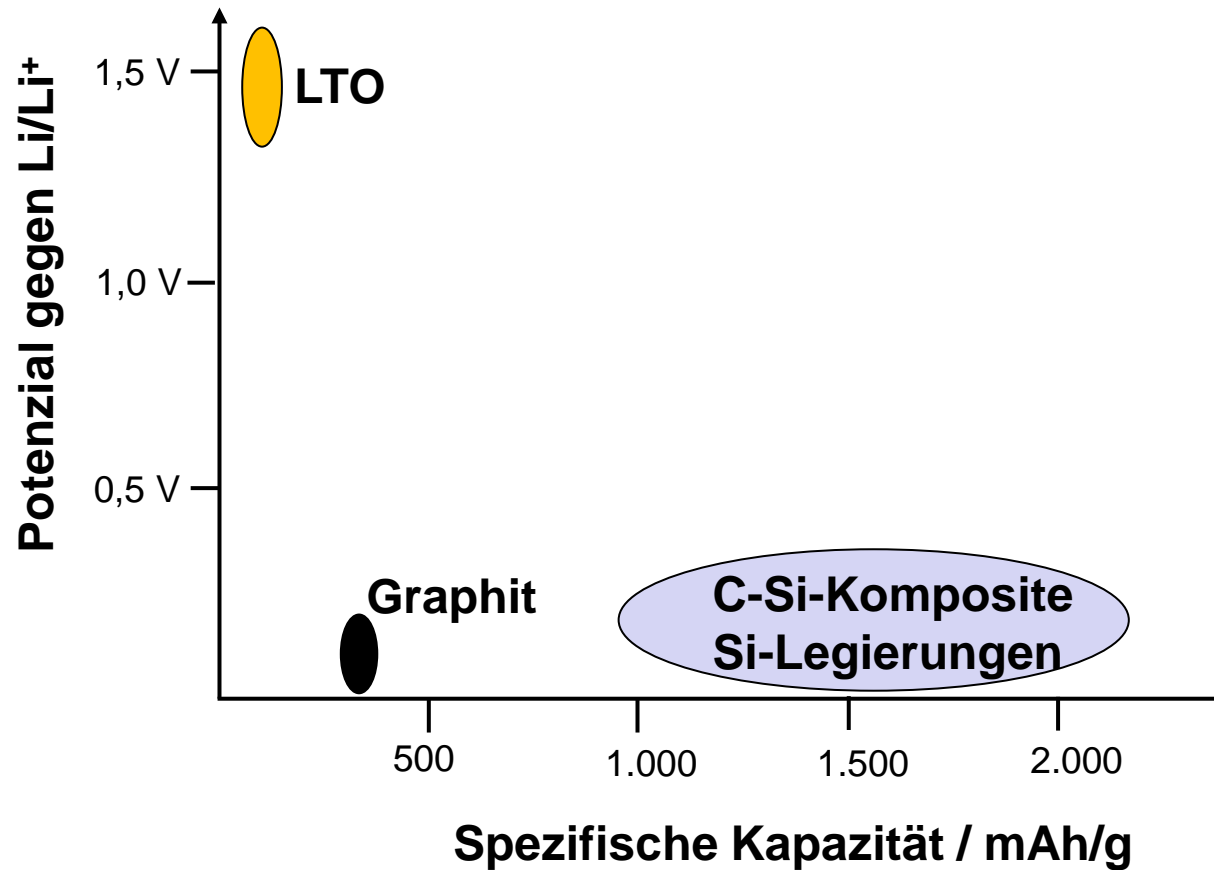
## Silizium – Kohlenstoff Komposite



© Universität Duisburg-Essen/Orthner

- Hohe Kapazität (1.500 mAh/g)
- Zyklenstabil
- Ermöglicht kürzere Ladezeiten
- Großskalige Herstellung wird derzeit geprüft

# Eigenschaften von Anodenmaterialien



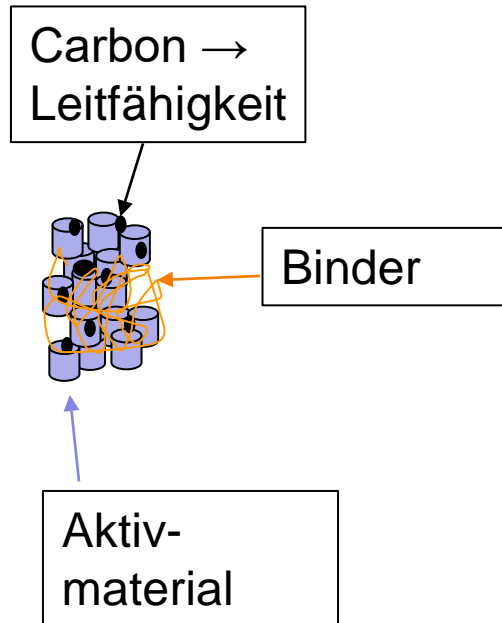
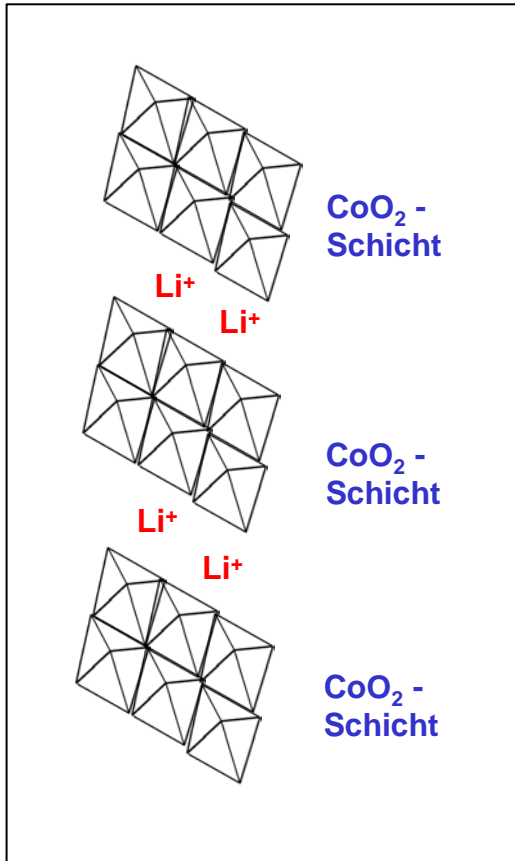
**Li-Metall:  
3.862 mAh/g  
(theor.)**

Quelle: Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, R. Korthauer (Hrsg.), Springer-Verlag 2013

# Kathodenmaterialien: Anforderungen

- **Kathodenmaterial wichtig für die Reichweite!**
- **Hohes positives Potenzial zu Li/Li+**
- **Strukturänderungen beim Laden/Entladen sollten möglichst klein sein (wichtig für Zyklenstabilität)**
- **Schnelle Diffusion von Li – Ionen (wichtig für die Leistung)**
- **Gute elektrische Leitfähigkeit**
- **Hohe spezifische Ladungsspeicherkapazität (Energiedichte)**
- **Sicherheit**

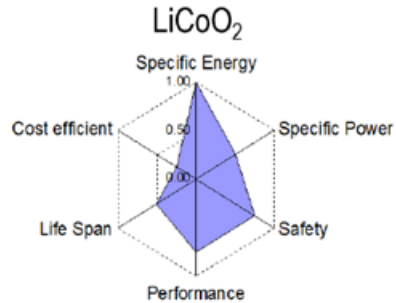
## Beispiel: Lithium – Kobalt – Oxid (LCO)



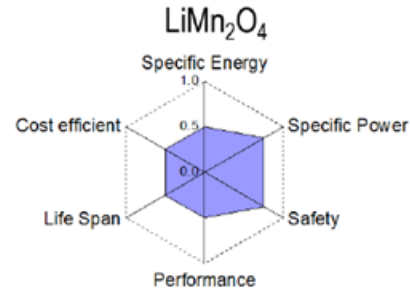
- etabliertes Material für kleine Batterien
- Zyklenstabil
- hohe Kosten
- Sicherheitsprobleme (z.B. bei Überladung)



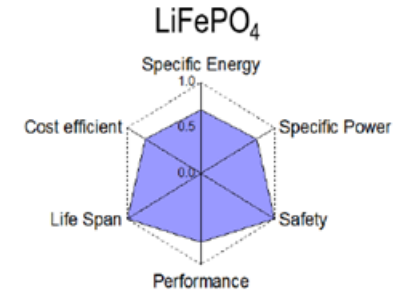
# Übersicht Kathodenmaterialien



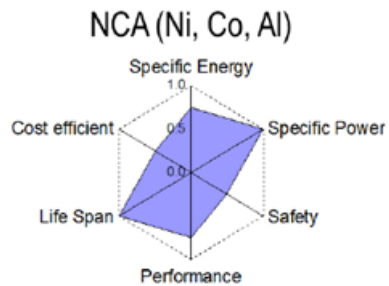
Pot.: 3,9 V  
 Th. Kap.: 140 mAh/g



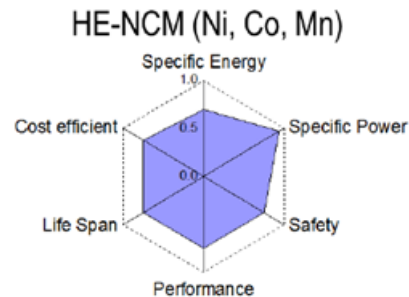
Pot.: 4,0 V  
 Th. Kap.: 150 mAh/g



Pot.: 3,5 V  
 Th. Kap.: 170 mAh/g



Pot.: 4,0 V  
 Th. Kap.: 180 mAh/g



Pot.: 4,5 V  
 Th. Kap.: bis 260 mAh/g

Quelle: P. Novak, Paul Scherrer Institut, Villigen CH

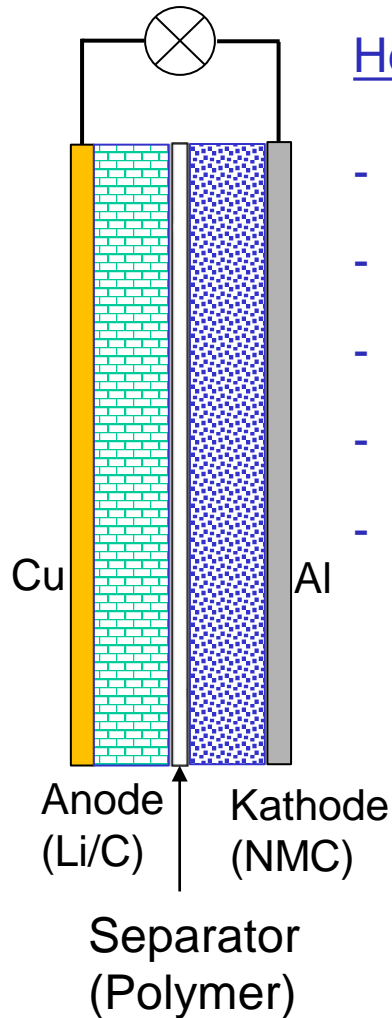
# Übersicht NCM - Materialien

Material	Zusammensetzung	Kapazität (Ah/kg)
NCM 111	$\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0,33}\text{Co}_{0,33}\text{Mn}_{0,33})_{1-x}\text{O}_2$	154@0,1 C
NCM 523	$\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0,50}\text{Co}_{0,20}\text{Mn}_{0,30})_{1-x}\text{O}_2$	164@0,1 C
NCM 622	$\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0,60}\text{Co}_{0,20}\text{Mn}_{0,20})_{1-x}\text{O}_2$	178@0,1 C
NCM 811	$\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0,80}\text{Co}_{0,10}\text{Mn}_{0,10})_{1-x}\text{O}_2$	> 185@0,1C
HE - NCM	Manganreich	260@0,1 C
HV-Spinell	Manganreich	140 @ 1 C

Quelle: BASF, 2014 ([https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/Fetcenko%20-%20Industry%20Partners%20Panel\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/Fetcenko%20-%20Industry%20Partners%20Panel_0.pdf))

# Festkörperbatterien

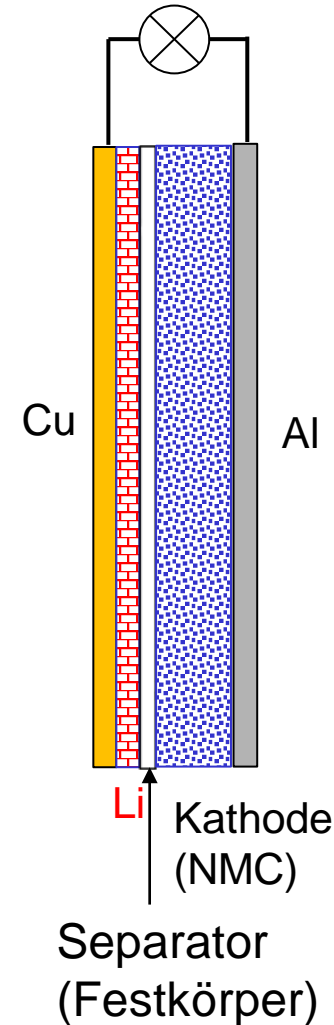
## Aufbau LIB



### Herausforderungen:

- Brennbarkeit Elektrolyt
- Gasentwicklung Elektrolyt
- Energiedichte
- Limitiertes T-Fenster
- Limitiertes Spannungsfenster

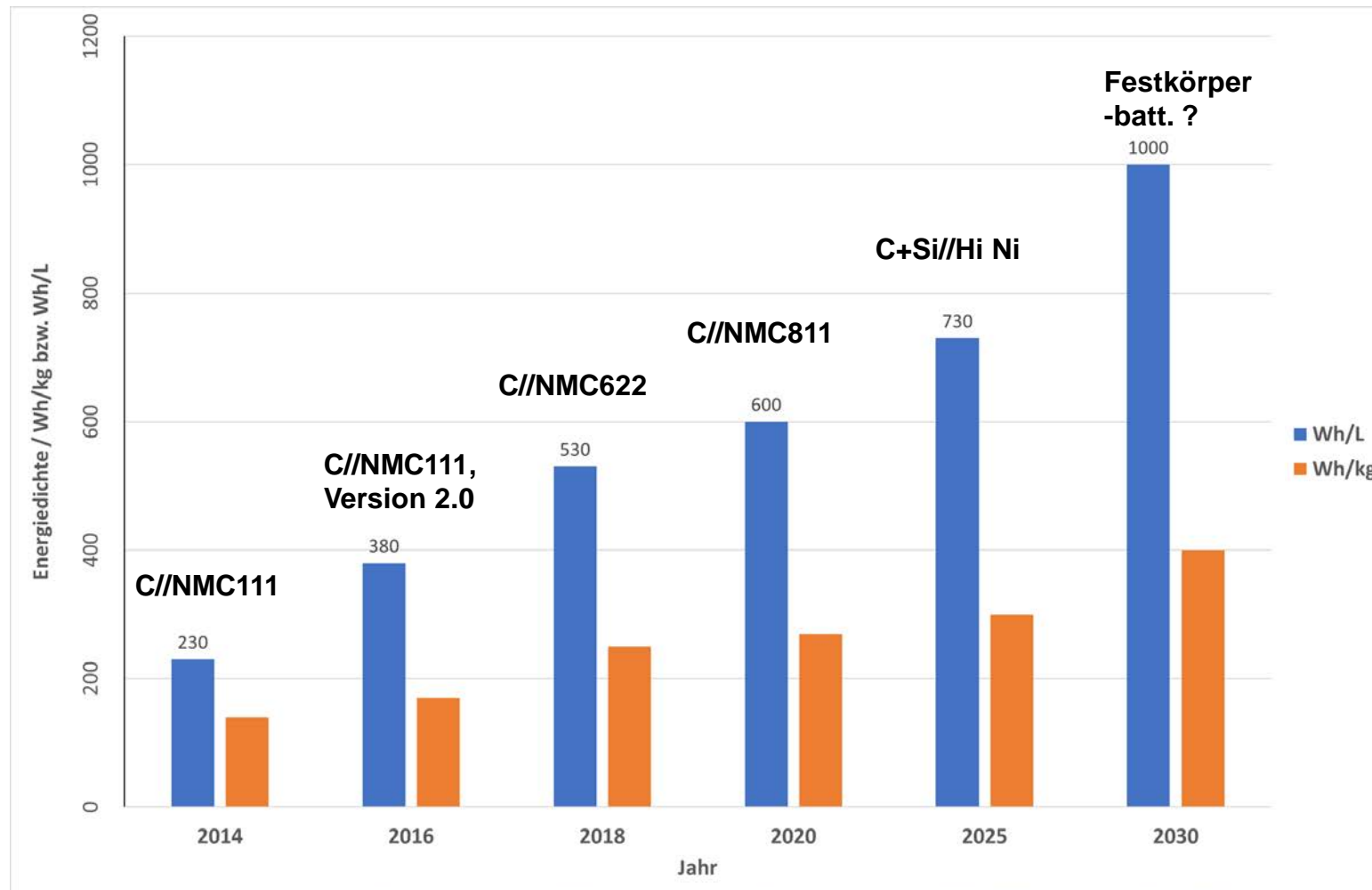
## Aufbau FK-Batterie



### Herausforderungen:

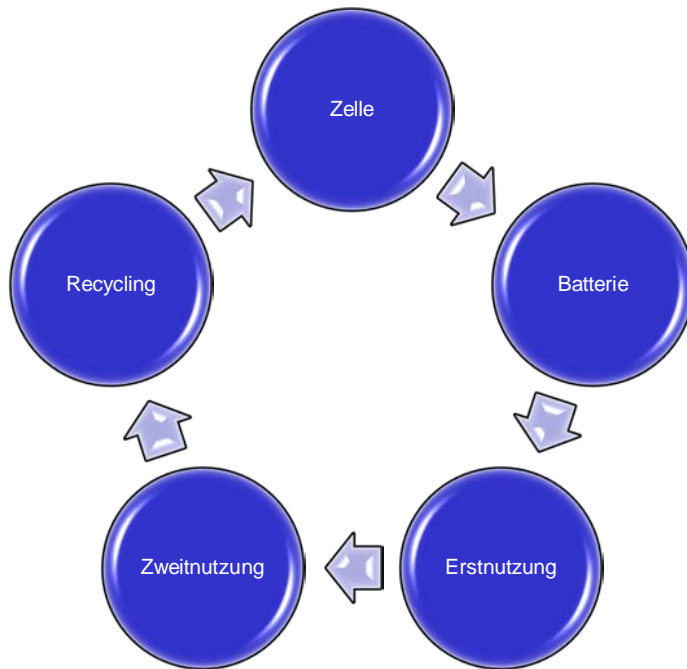
- Volumenänderung bei Nutzung -> Zelle muss unter Druck gehalten werden (2-3 bar)
- Dendritenbildung (Sicherheit)
- Kann bisher nur bei höheren Temperaturen betrieben werden (60 °C)

# Entwicklung der Energiedichten



Quelle: Präsentation VW, Kraftwerk Batterie 2019

# Zusammenfassung



- **Lithium-Ionen-Technologien haben große technologische Fortschritte gemacht**
- **Anode: kürzere Ladezeiten und höhere Kapazitäten durch Siliziumbasierte Elektroden**
- **Kathode: höhere Reichweiten durch nickelreiche Materialien**
- **LFP als Kathodenmaterial für Kleinfahrzeuge**
- **Nachhaltigkeit durch Kreislaufwirtschaft gewährleisten**

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



**Dr. Stefan Rabe**  
Leiter Themengebiet Energieforschung  
Cluster EnergieForschung.NRW  
EnergieAgentur.NRW  
T: +49 211 86642 429  
M: +49 171 7707706  
E: [rabe@cef.nrw](mailto:rabe@cef.nrw)  
P: Roßstr. 92, 40476 Düsseldorf  
I: [www.energieagentur.nrw](http://www.energieagentur.nrw)