

# Entwicklungsstand innovativer Batteriesysteme und Ladetechnik für den Einsatz in Elektrobussen

## Internationale Trolleybus Konferenz

Leipzig, 23. und 24. Oktober 2012

HOPPECKE Batterie Systeme GmbH  
Dr. Gunter Schädlich



Motive Power Systems



Reserve Power Systems



Special Power Systems



Service

- 1 Elektromobilität im ÖPNV
- 2 Spezifische Anforderungen des ÖPNV an Energiespeicher
- 3 Anwendungen für unterschiedliche Batterietechnologien
- 4 NiMH Batterietechnologie
- 5 Li-Ion Batterietechnologie und Ausblick

## Elektromobilität Umweltschonend und CO<sub>2</sub> frei



Lokale Reduktion  
von CO<sub>2</sub> - Emissionen

Lärminderung in Ballungszonen

Reduzierung des Verbrauchs  
fossiler Kraftstoffe

## Flottenbetreiber



## Innerstädtischer Lieferverkehr Spezialfahrzeuge



## ÖPNV Anwendungen

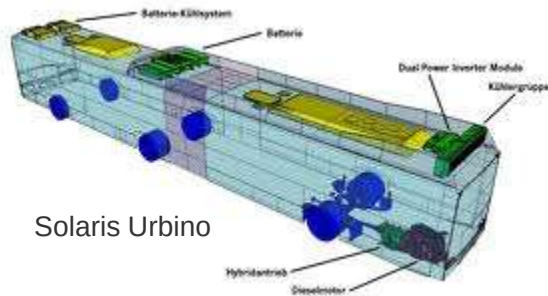


O-Busbetrieb in Salzburg

## Trolleybusse



O-Busse in Vancouver



## Antriebskonzepte Designunterschiede Anwendungen



China BYD

## Hybridbusse

Plug-in Hybridbusse

Brennstoffzellen-Batterie-Hybridbusse

APTS  
Vossloh Kiepe  
HOPPECKE



Elektrobus in Osnabrück

## Batteriebusse



Wiener Linien

- 1 Elektromobilität im ÖPNV
- 2 Spezifische Anforderungen des ÖPNV an Energiespeicher**
- 3 Anwendungen für unterschiedliche Batterietechnologien
- 4 NiMH Batterietechnologie
- 5 Li-Ion Batterietechnologie und Ausblick

- Einsatz zum Systemstart
- Energieversorgung für aller Verbraucher im Bordnetz
- Leistungsbereitstellung bei Beschleunigungsvorgängen
- Rekuperation Aufnahme der Bremsenergie
- Energiebereitstellung für den Antrieb

|                          |                                                                | U<br>V DC | P <sub>peak</sub><br>kW   | E<br>kWh  |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|-----------|
| <b>Trolleybus</b>        | <i>Ersatz Dieselmotor<br/>durch Batterie</i>                   | 600 – 800 | Fahren 100<br>Bremsen 350 | 30 – 40   |
| <b>Hybridbus</b>         | <i>Optimierung<br/>Dieselaggregat<br/>Kraftstoffeinsparung</i> | 500 – 700 | 200                       | 25 - 35   |
| <b>Plug-in-Hybridbus</b> |                                                                | 500 – 700 | 150 - 350                 | 60 - 100  |
| <b>Elektrobus</b>        | <i>Elektrischer Fahrbetrieb<br/>BZ / Batterie</i>              | 600 – 800 | 150 - 350                 | 80 - >200 |



|                                                                                     | ÖPNV                  | PKW                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Beschleunigen & Bremsen                                                             | 1 Zyklus / min.       | 0,6 ... 0,9 Zyklen / min.       |
| Betriebsstunden                                                                     | 3.000 pro Jahr        | 400 pro Jahr                    |
|  | 180.000 Zyklen / Jahr | 14.400 ... 21.600 Zyklen / Jahr |

## Moderne Batteriesysteme

bestehen aus

- Zellen
- Batteriecontainer
- Batteriemanagementsysteme
- Thermisches Management
- Ladetechnik

benötigen know how

- ✓ Elektrochemie
- ✓ Design, Materialwissenschaften
- ✓ Elektronik, Softwareentwicklung
- ✓ Thermodynamik
- ✓ Elektrotechnik, Leistungselektronik

# Batterien sind



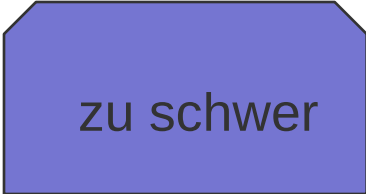
zu voluminös



zu geringe Reichweite



zu gefährlich



zu schwer

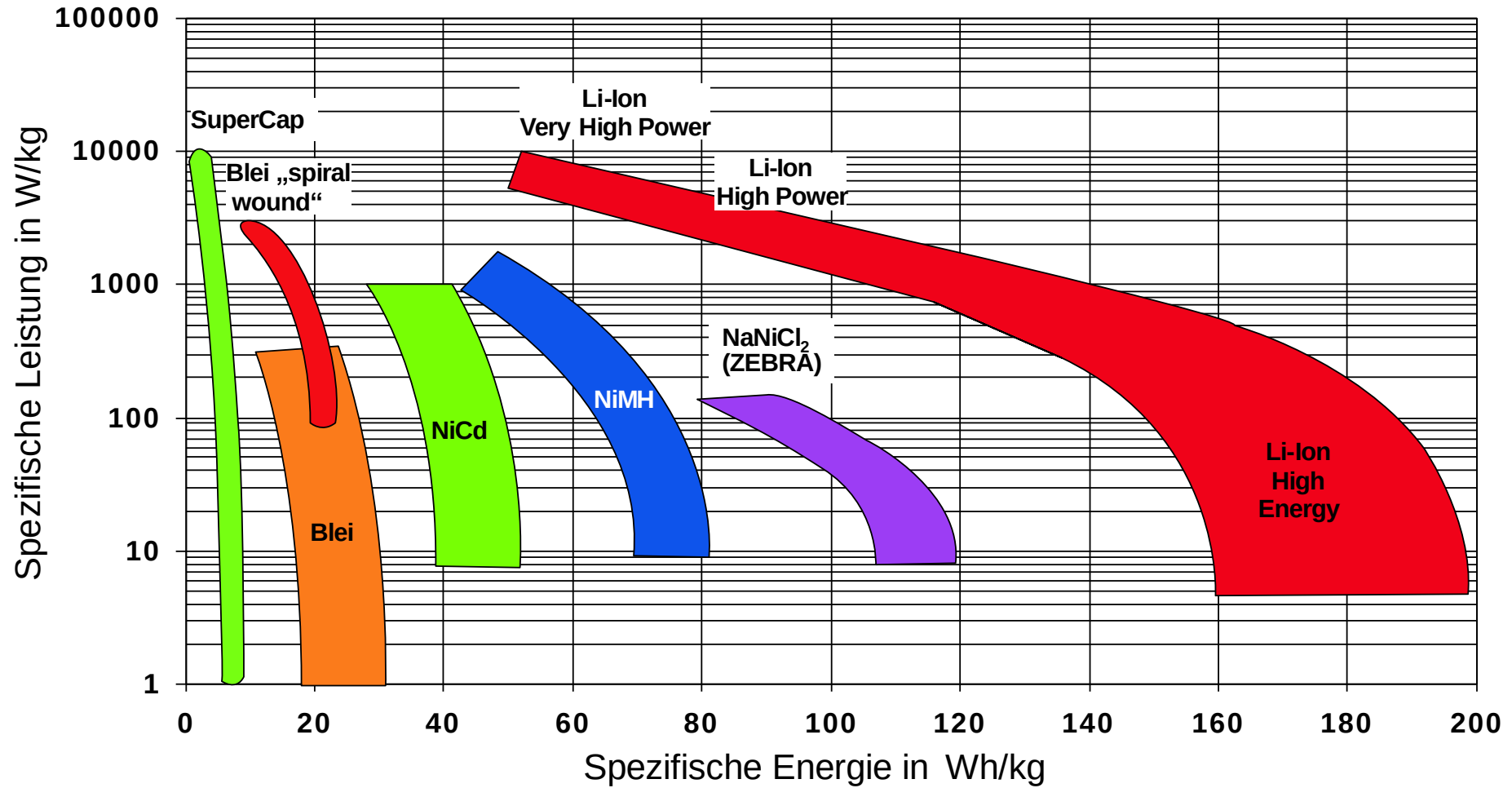


- 1 Elektromobilität im ÖPNV
- 2 Spezifische Anforderungen des ÖPNV an Energiespeicher
- 3 Anwendungen für unterschiedliche Batterietechnologien**
- 4 NiMH Batterietechnologie
- 5 Li-Ion Batterietechnologie und Ausblick

| Technologie      | Nennspannung  |                        |
|------------------|---------------|------------------------|
| Pb               | 2,0 V         | Schwefelsäure          |
| NiCd             | 1,2 V         | Alkalische Systeme     |
| NiH <sub>2</sub> | 1,5 V         |                        |
| NiMH             | 1,3V          |                        |
| NiFe             | 1,2 V         |                        |
| NiZn             | 1,65 V        |                        |
| AgZn             | 1,5 V         |                        |
| Li-Ion           | 2,2 V - 4,7 V | Lithium Systeme        |
| Li-Po            | 3,7 V         |                        |
| NaS              | 2,08 V        | Hochtemperatur-Systeme |
| Na/NiCl          | 2,58 V        |                        |
| Vanadium         | 1,41 V        | Redox-Flow - Batterien |
| Zink-Brom        | 1,76 V        |                        |

| Technologie      | Nennspannung  |                           |
|------------------|---------------|---------------------------|
| <hr/>            |               |                           |
| <hr/>            |               |                           |
| NiCd             | 1,2 V         | <b>Alkalische Systeme</b> |
| NiH <sub>2</sub> | 1,5 V         |                           |
| NiMH             | 1,3V          |                           |
| NiFe             | 1,2 V         |                           |
| NiZn             | 1,65 V        |                           |
| AgZn             | 1,5 V         |                           |
| <hr/>            |               |                           |
| Li-Ion           | 2,2 V - 4,7 V | <b>Lithium Systeme</b>    |
| Li-Po            | 3,7 V         |                           |
| <hr/>            |               |                           |

# RAGONE Diagramm

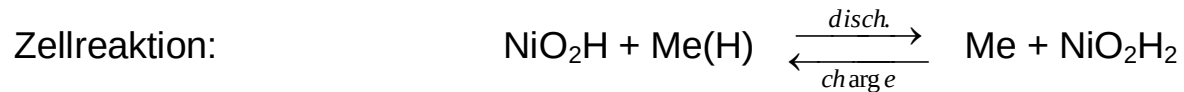
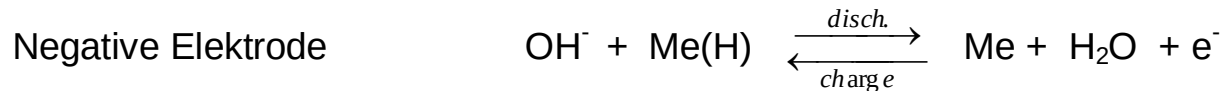
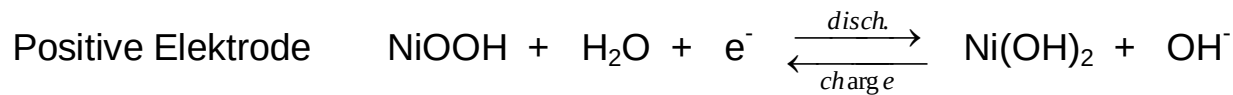


Quelle; Prof. Sauer RWTH Aachen



- 1 Elektromobilität im ÖPNV
- 2 Spezifische Anforderungen des ÖPNV an Energiespeicher
- 3 Anwendungen für unterschiedliche Batterietechnologien
- 4 NiMH Batterietechnologie**
- 5 Li-Ion Batterietechnologie und Ausblick

## Elektrochemie der NiMH Technologie

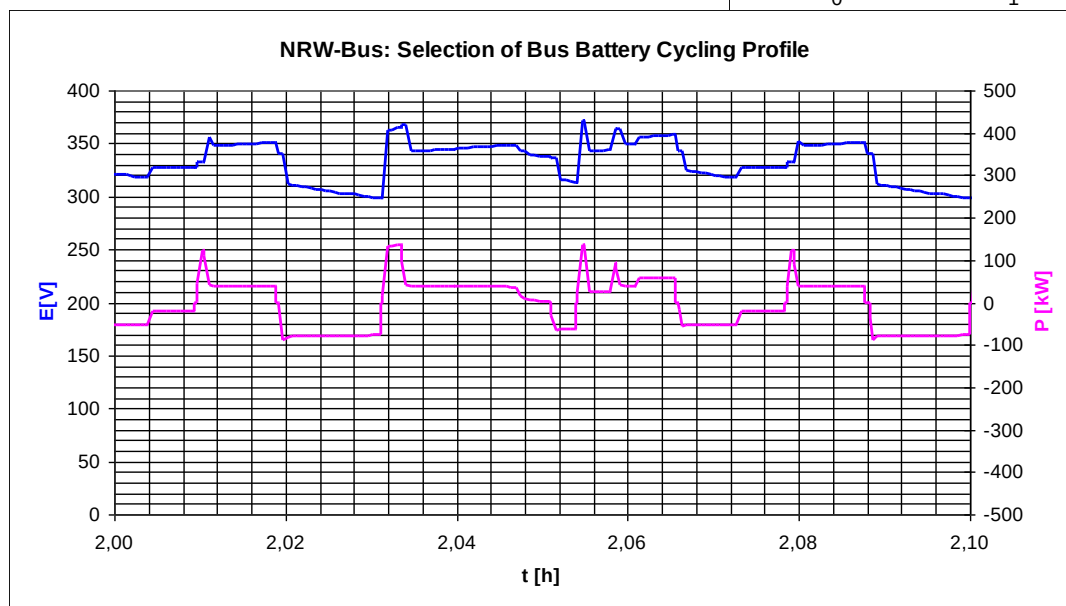
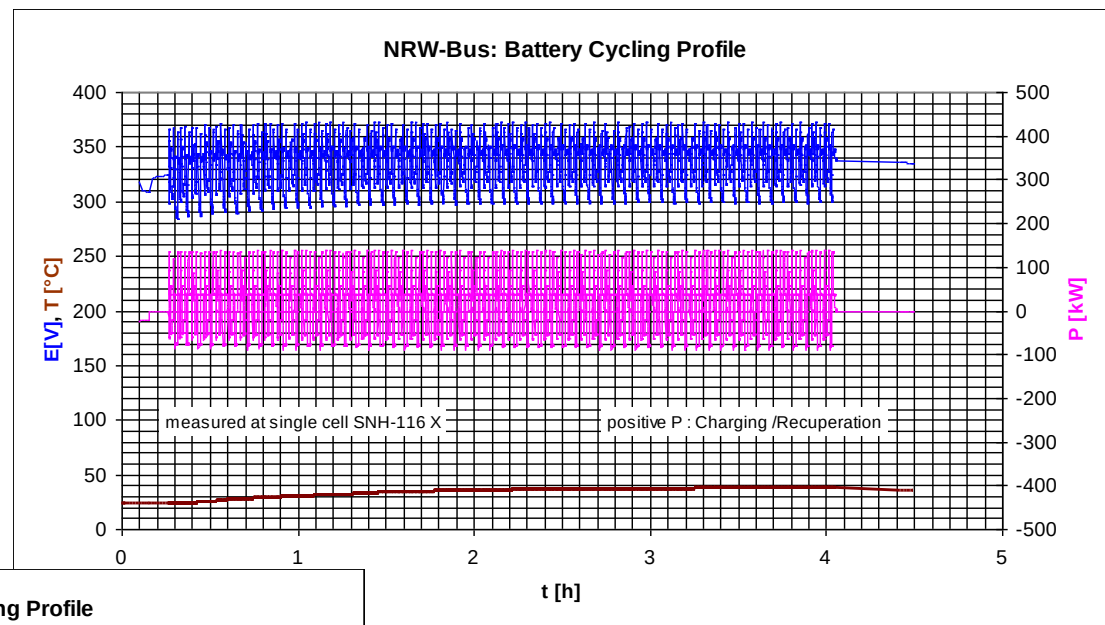




## NiMH Batterie (25 kWh)



|                | I [A] | P [kW] | E [kWh] |
|----------------|-------|--------|---------|
| Nominal Load   | 75    | 25     | 25      |
| High Load      | 150   | 45     | 23      |
| Peak Load      | 375   | 110    | 22      |
| Nominal Charge | 150   | 55     |         |
| Peak Charge    | 300   | 120    |         |



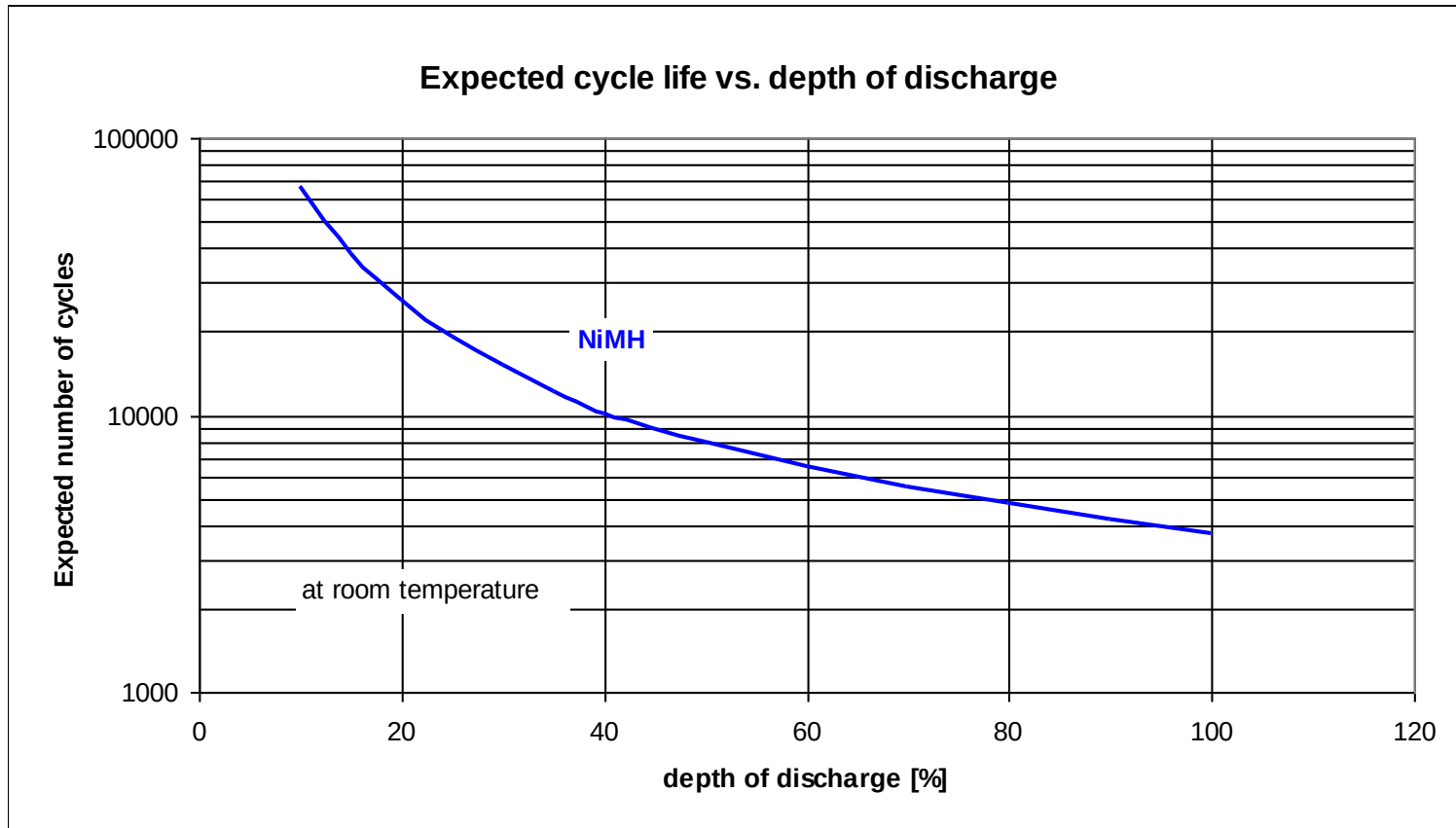
Linienbetrieb bei der RVK in Hürth

zwei Fahrzeuge

Linienbetrieb bei der GVB in Amsterdam

zwei Fahrzeuge

- Einsatz seit 2011
- bisher 500 bis 600 Kapazitätsdursätze



- **Spez. Energie, Energiedichte**
- **Spez. Leistung, Leistungsdichte**
- Sicherheit
- Kosten
- Lebensdauer

- 1 Elektromobilität im ÖPNV
- 2 Spezifische Anforderungen des ÖPNV an Energiespeicher
- 3 Anwendungen für unterschiedliche Batterietechnologien
- 4 NiMH Batterietechnologie
- 5 Li-Ion Batterietechnologie und Ausblick**



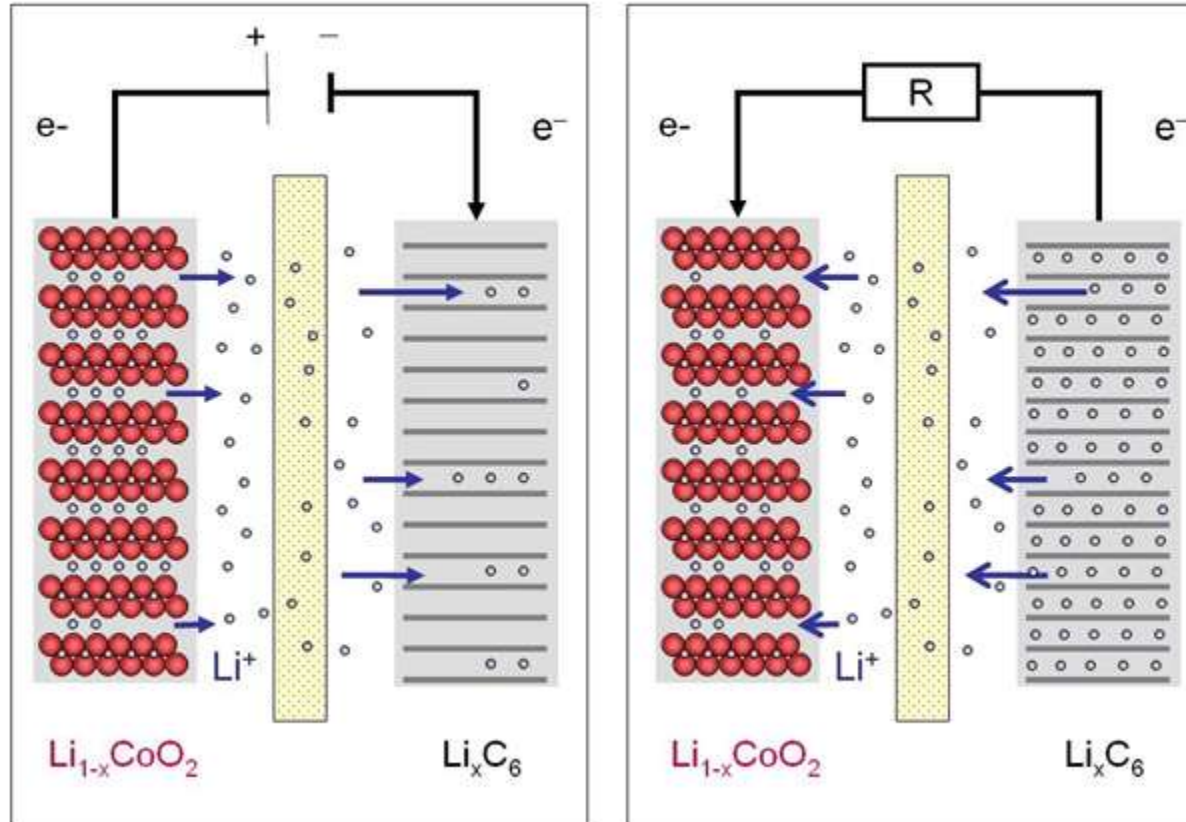
# Lithium Batterien

**Primärzellen**

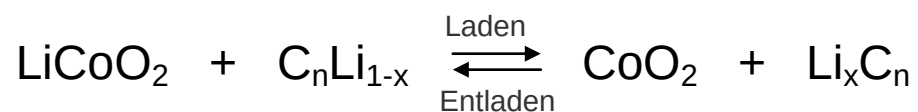
**Wiederaufladbare Systeme**

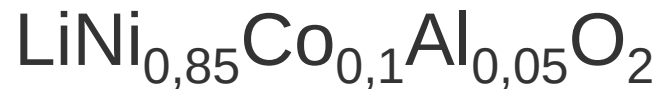
**Lithium-Ionen-Akkumulator**

# Funktionsprinzip Li-Ionen Batterie



Gesamtreaktion





Leitsalze

z.B.  $\text{LiPF}_6$  (Lithiumhexafluorophosphat)

$\text{Li}_3\text{PO}_4\text{N}$  (Lithiumphosphatnitrid)

gelöst in

Aprotischen Lösungsmitteln

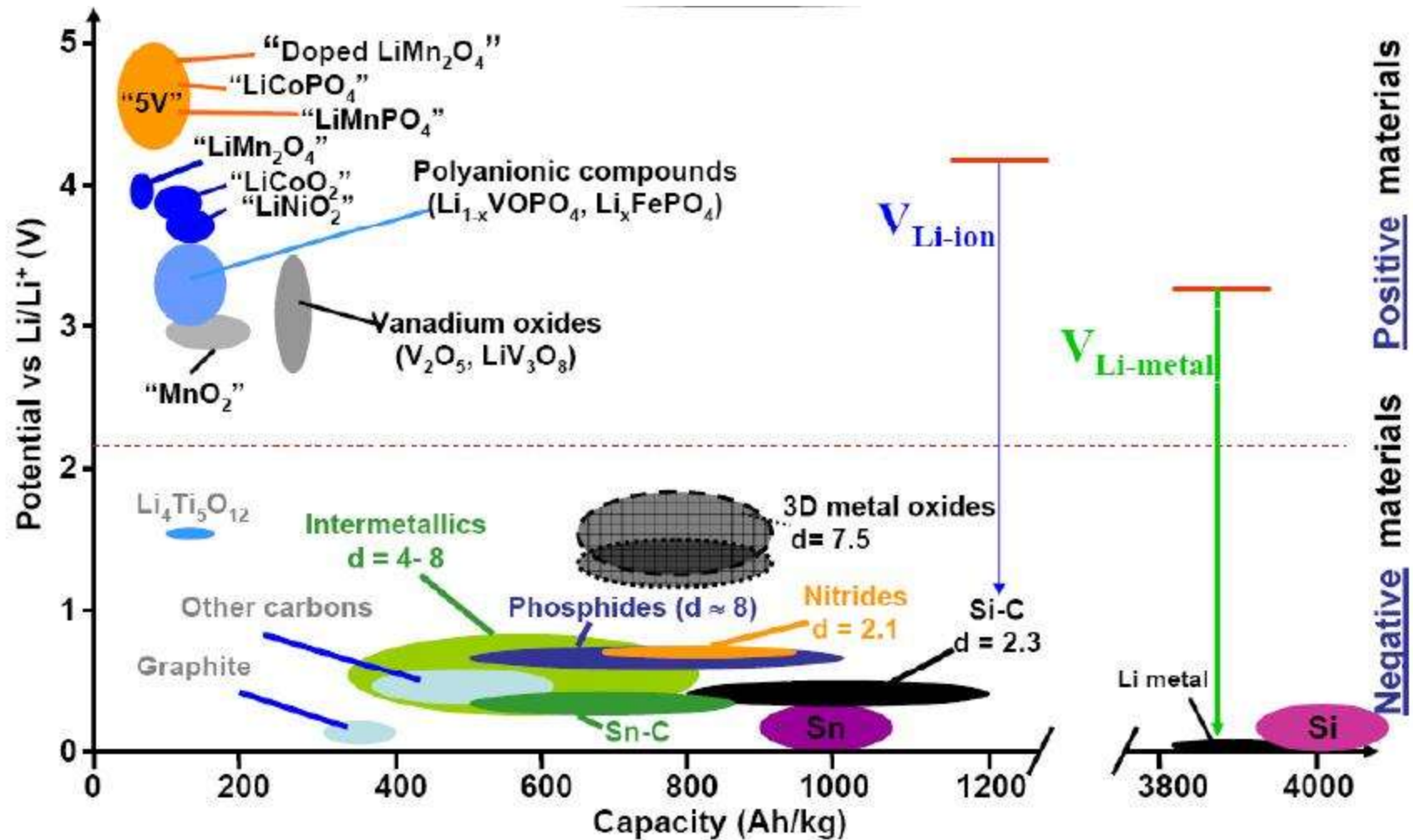
z.B. Ethylencarbonat,  
Diethylcarbonat ...

**oder**

**Polymerelektrolyte**

z.B. Polyvinylidenfluorid (PVDF)

# Elektrodenmaterialien Li-Ionen Batterien



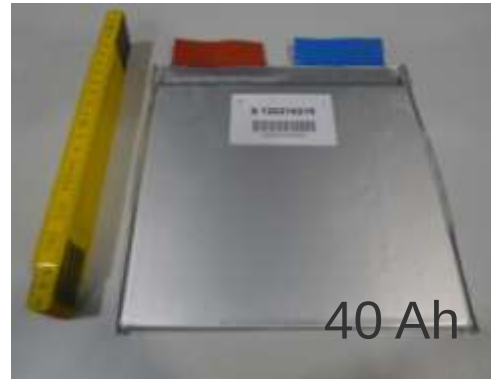
J.M. Tarascon and M. Armand : Nature, 2001, 414 (359-367)

Updated: Saft (2005)

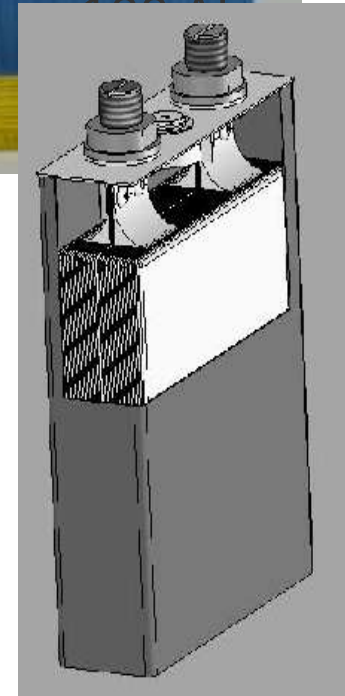
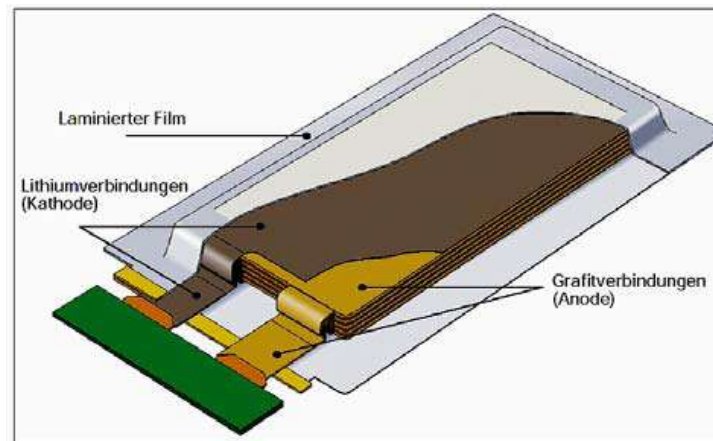
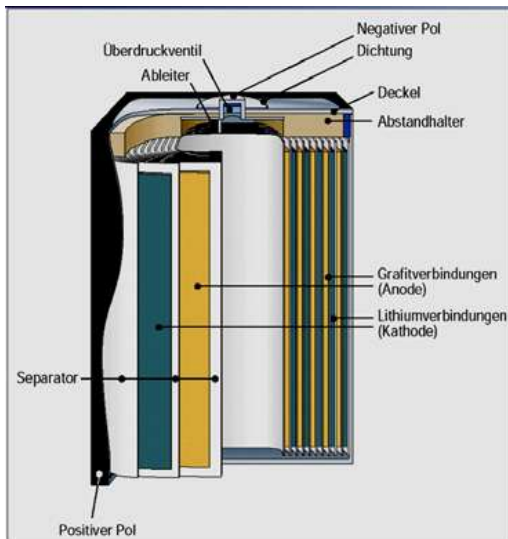
cylindrical



„coffee-bag“



prismatic





Li-Ion Zelle



Li-Ion Batterie Modul  
(z.B. 24 V 50 Ah)

Integration von

- elektrische Sicherheitssysteme
- thermisches Management
- Batteriemanagement (BMS)
- sicherer mechanischer Aufbau



Li-Ion Batterie System  
(z.B. HV Modul 110 V 50 Ah)

**Nachteilige Konsequenz**

**Reduzierung der  
Energiedichte um  
bis zu 40 %**

Energiebedarf 12 m Elektrobus  
(abhängig von Streckenprofil und  
Einsatzbedingungen)

- für Antrieb 0,8 - 2 kWh/km
- Nebenaggregate 0,5 - 1,5 kWh/km

Fahrleistung 240 km  
(12 h bei 20 km/h)

Einschränkungen bei Fahrleistungen ?  
oder

- Zwischenladen der Batterie an Haltestellen
- Batteriewechsel

Szenario einer Auslegung

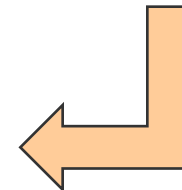
Energiebedarf

312 - 840 kWh

Batteriegewicht ?  
(Annahme 100 Wh/kg)

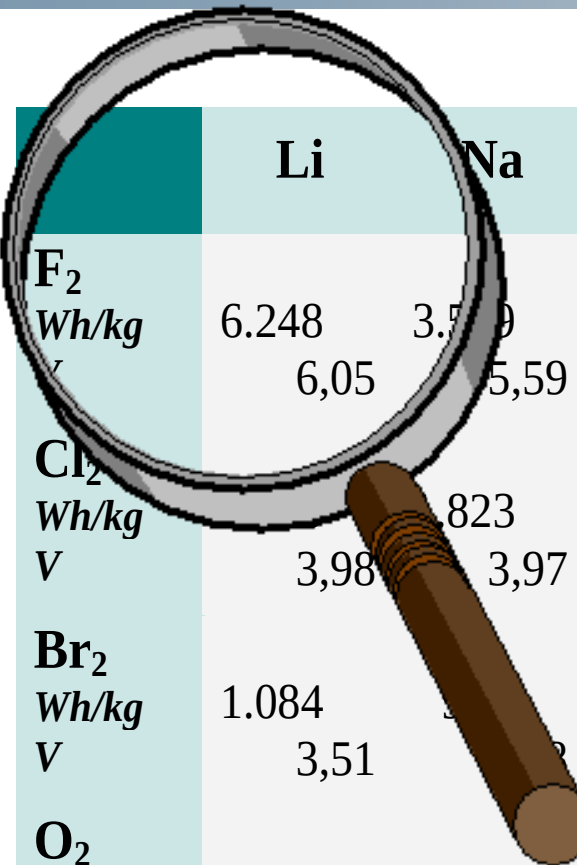
3,1 - 8,4 to

Szenario unrealistisch



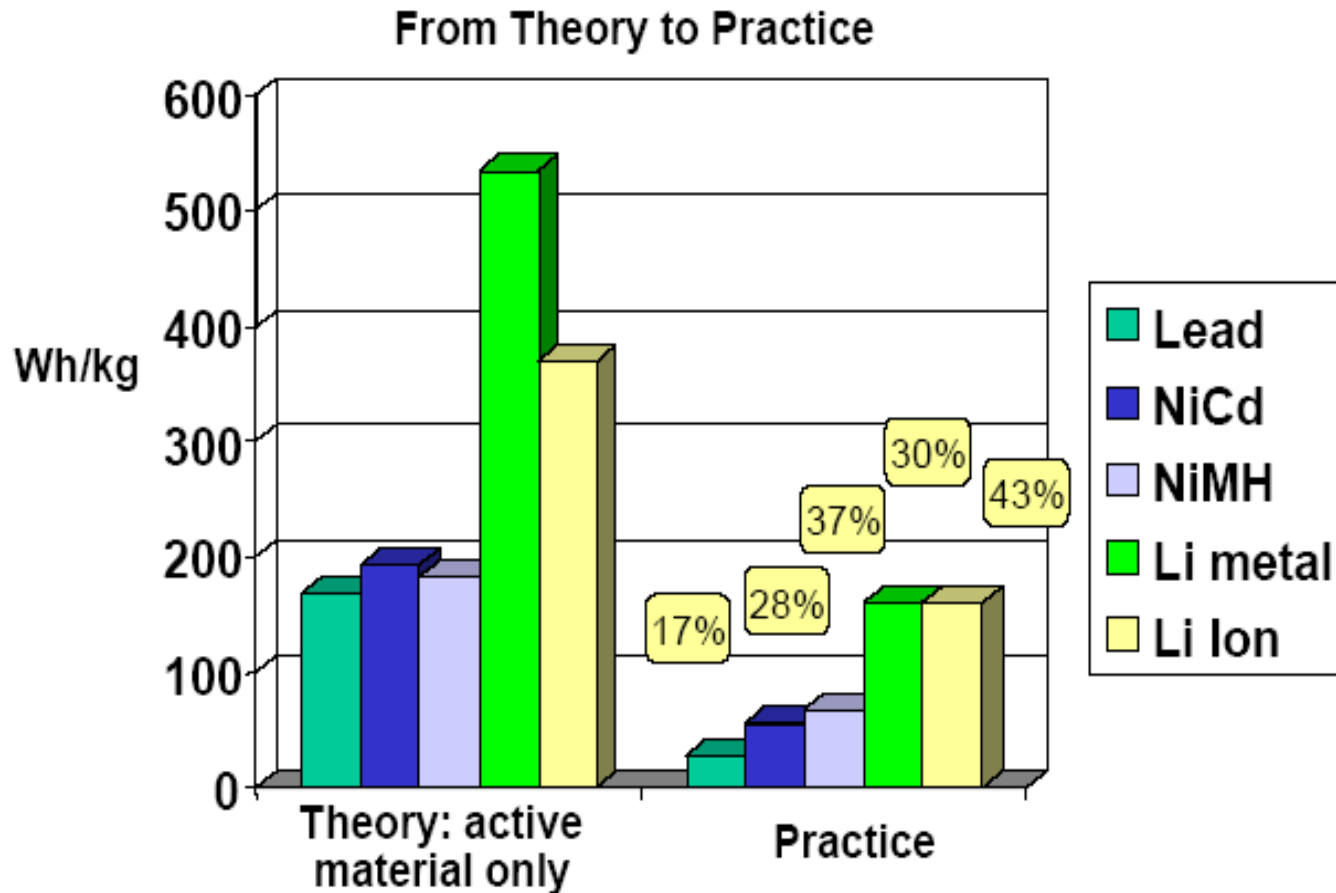


# Eine Auswahl



|                       | Li    | Na    | Ca    | Mg    | Al    | Zn    | Fe    | H <sub>2</sub> |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| <b>F<sub>2</sub></b>  |       |       |       |       |       |       |       |                |
| Wh/kg                 | 6.248 | 3.519 | 4.137 | 4.673 | 4.080 | 1.917 | 1.858 | 3.785          |
| V                     | 6,05  | 5,59  | 6,02  | 5,43  | 4,36  | 3,69  | 3,25  | 2,85           |
| <b>Cl<sub>2</sub></b> |       |       |       |       |       |       |       |                |
| Wh/kg                 |       | 1.823 | 1.725 | 1.725 | 1.330 | 752   | 660   | 1.000          |
| V                     | 3,98  | 3,97  | 3,06  | 3,06  | 2,21  | 1,91  | 1,57  | 1,36           |
| <b>Br<sub>2</sub></b> |       |       |       |       |       |       |       |                |
| Wh/kg                 | 1.084 |       | 753   | 753   | 509   | 442   | 306   | 187            |
| V                     | 3,51  |       | 2,58  | 2,58  | 1,68  | 1,85  | 1,23  | 0,56           |
| <b>O<sub>2</sub></b>  |       |       |       |       |       |       |       |                |
| Wh/kg                 | 5.240 | 1.752 | 1.850 | 1.850 | 2.790 | 1.087 | 760   | 3.670          |
| V                     | 2,91  | 2,03  | 2,94  | 2,94  | 1,73  | 1,65  | 1,27  | 1,23           |
| <b>S</b>              |       |       |       |       |       |       |       |                |
| Wh/kg                 | 2.500 | 1.290 | 910   | 1.710 | 910   | 537   | 310   | 269            |
| V                     | 2,14  | 2,08  | 0,85  | 1,82  | 0,85  | 0,98  | 0,51  | 0,17           |

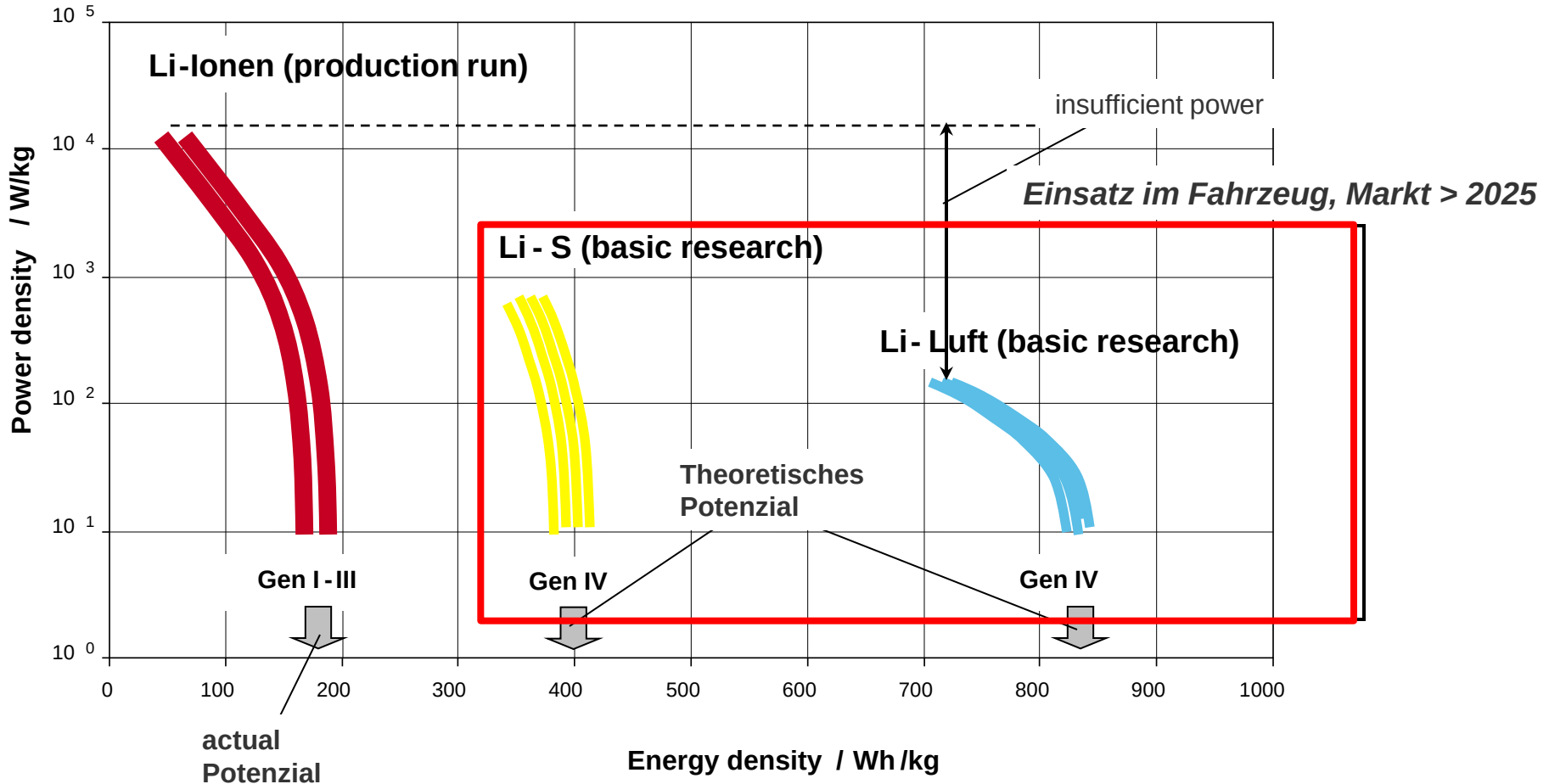
## Theoretische und praktische spez. Energie



# Erwartungen an zukünftige Entwicklungen

## Mögliche zukünftige Li- Technologien

### Lithium-Schwefel and Lithium-Luft





**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**



Motive Power Systems



Reserve Power Systems



Special Power Systems



Service