

Batterie- und Brennstoffzellensysteme

## Lithium-Ionen Batterien 2

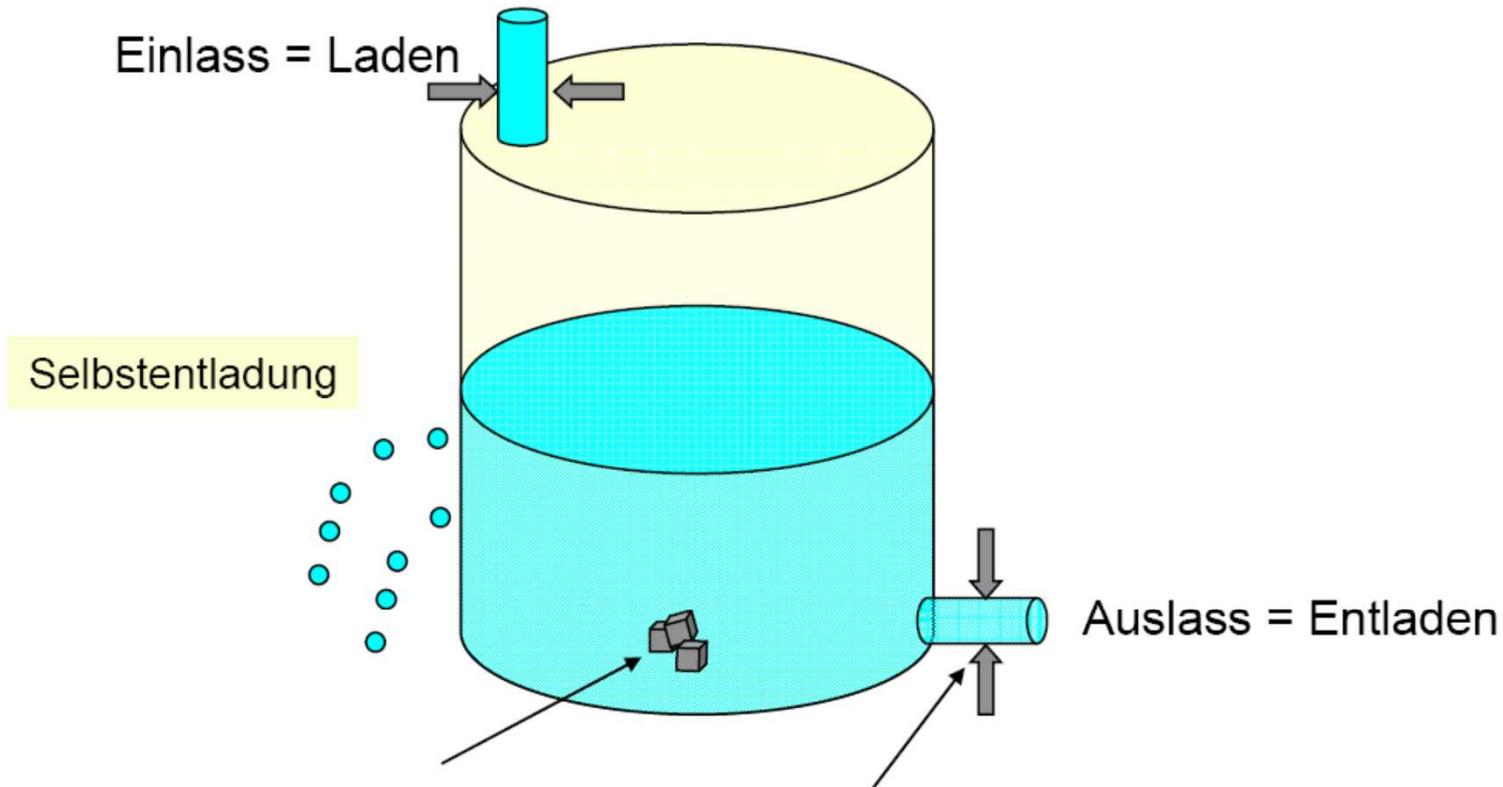
André Weber

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](mailto:andre.weber@kit.edu)  
[www.iwe.kit.edu](http://www.iwe.kit.edu)

Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik



Die in der Tonne vorhandene Wassermenge stellt den Ladezustand (SOC) dar

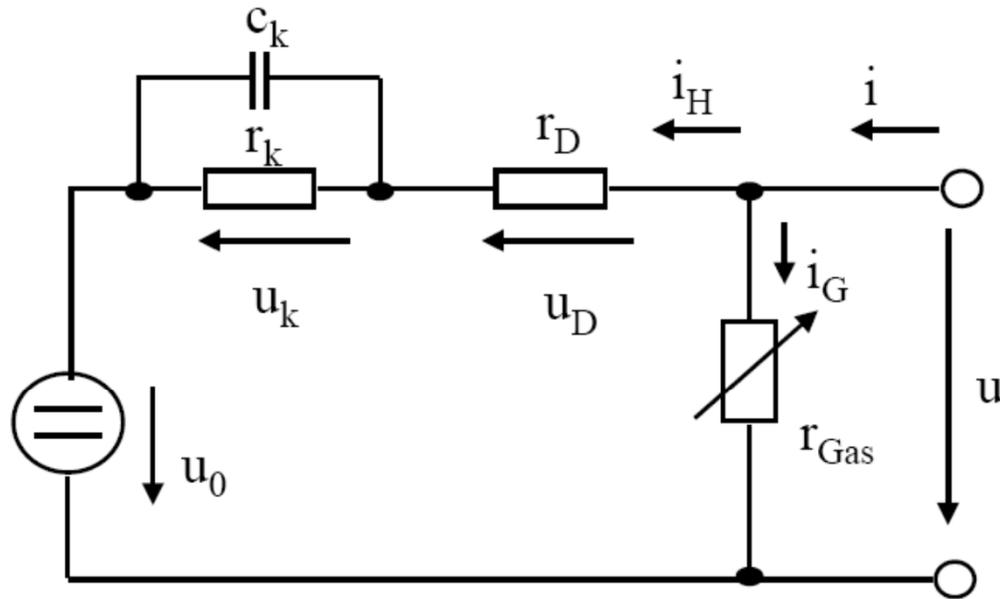


Mit zunehmendem Alter sammeln sich Steine in der Tonne  
→ Volumenverlust = Alterung

Mit zunehmendem Alter wird der Auslass/Einlass dünner (Kalkablagerung)  
→ Anstieg des Widerstandes = Alterung

# Lithium-Ionen Batterien

## Methoden zur SOC-Bestimmung



Vereinfachtes Ersatzschaltbild einer Batterie

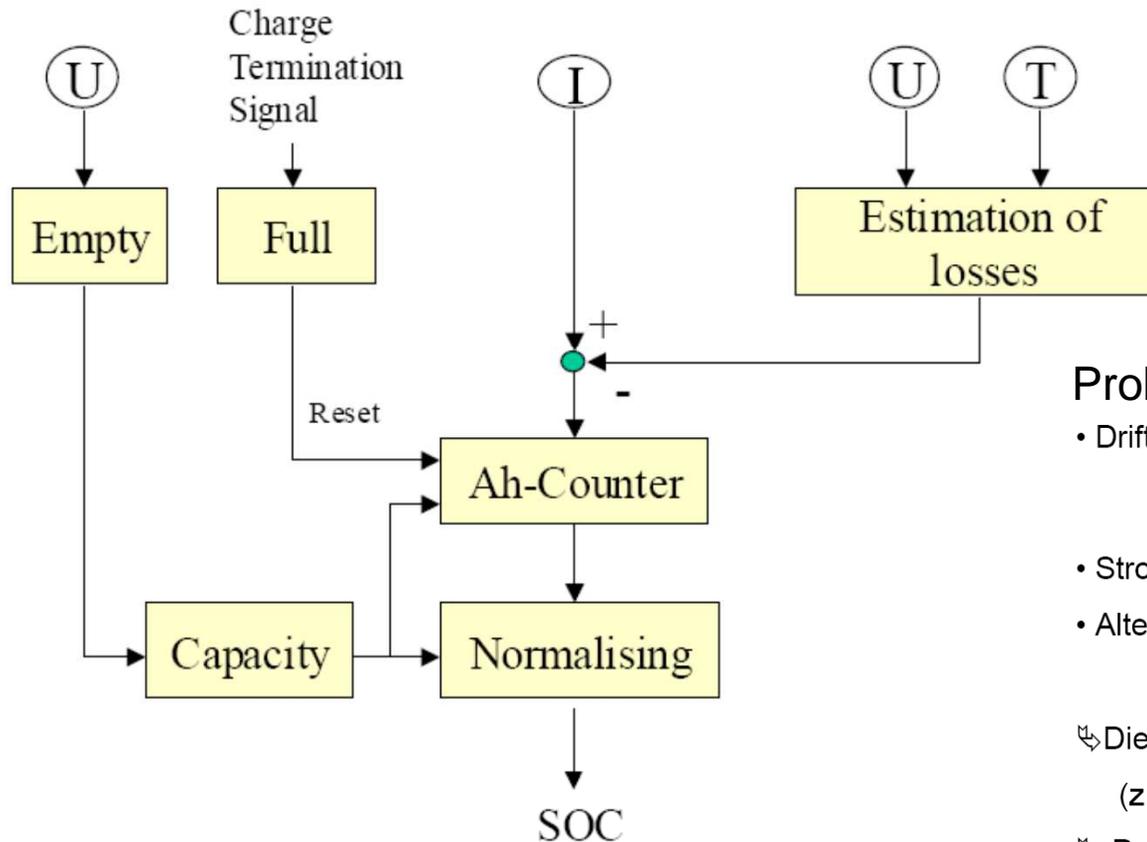
### Übliche Verfahren:

- Bestimmung der Ruhespannung  $U_0$ , da  $U_0 = f(U_0)$
- Bestimmung des Innenwiderstands  $r_D$ ,  $r_k$ , da leistungsbestimmend
- Integration des Hauptreaktionsstroms  $I_H$  (Ah Bilanz)
- Oft kombinierte Verfahren, z.B. AH Bilanz mit Korrektur nach Standzeit.

In der Regel nicht trivial, da die Parameter von  $I$ ,  $T$ , Alter und unmittelbarer Vorgeschichte abhängen und Alterung und Ladezustand nicht ohne weiteres separierbar sind.

# Lithium-Ionen Batterien

## SOC-Bestimmung – Ladungsbilanzierung



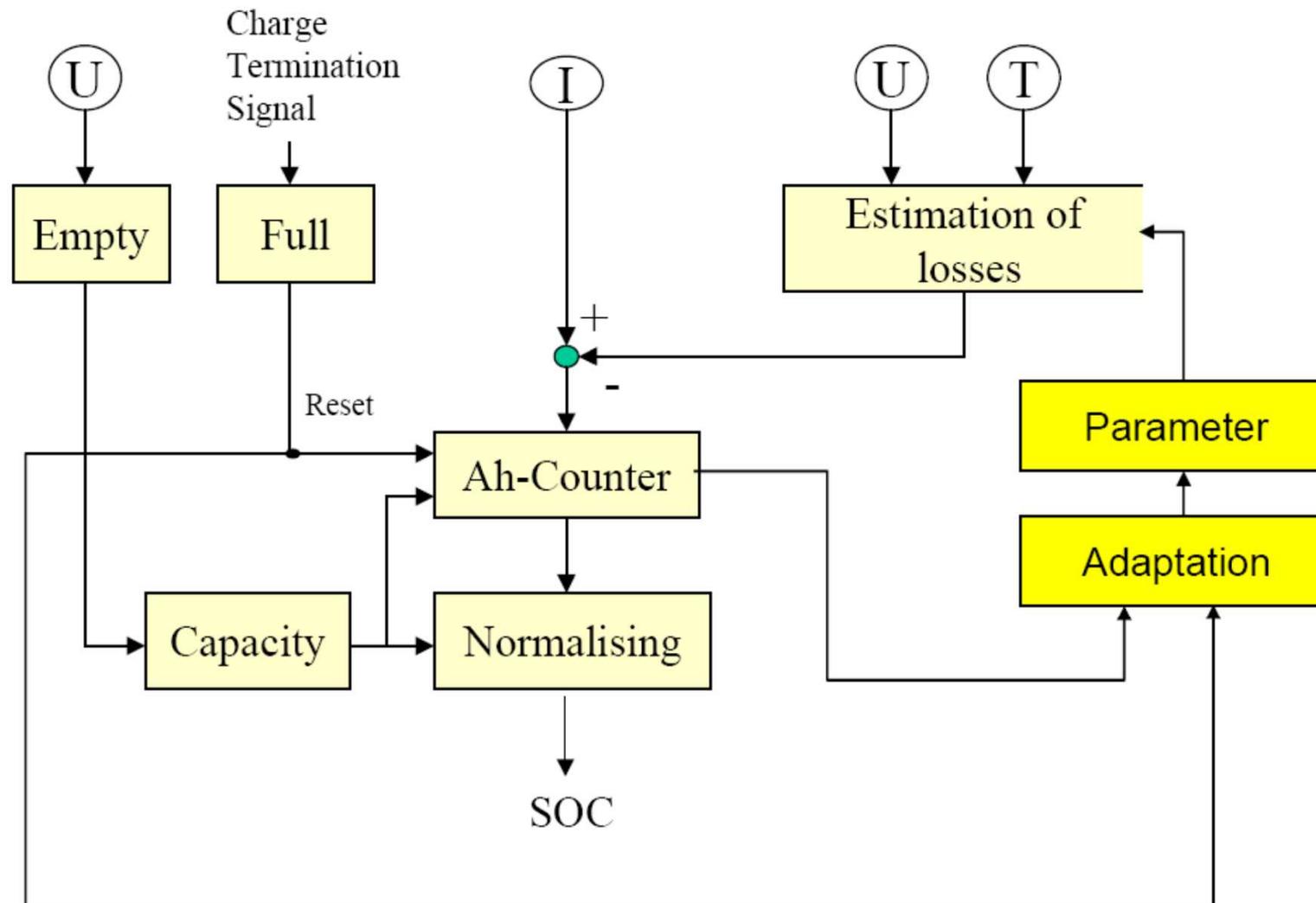
### Probleme

- Drift des SOC, bedingt durch Integrationsfehler:
    - Offset bei der Strommessung
    - Fehler bei der Schätzung der Verluste
  - Strommessung muss genau sein → teuer
  - Alterung der Batterie muss berücksichtigt werden (NiCd!)
- ↳ Die Bilanz muss rekaliert werden  
(z.B. den Vollladezustand erkennen)
- ↳ Parameteranpassung zur Adaption an die Alterung

- **Genaue (offsetfreie) Strommessung ist notwendig**
- **Erkennung des Voll- und/oder Leerzustandes ist notwendig**
- **Ladungsverluste sollten berücksichtigt werden**

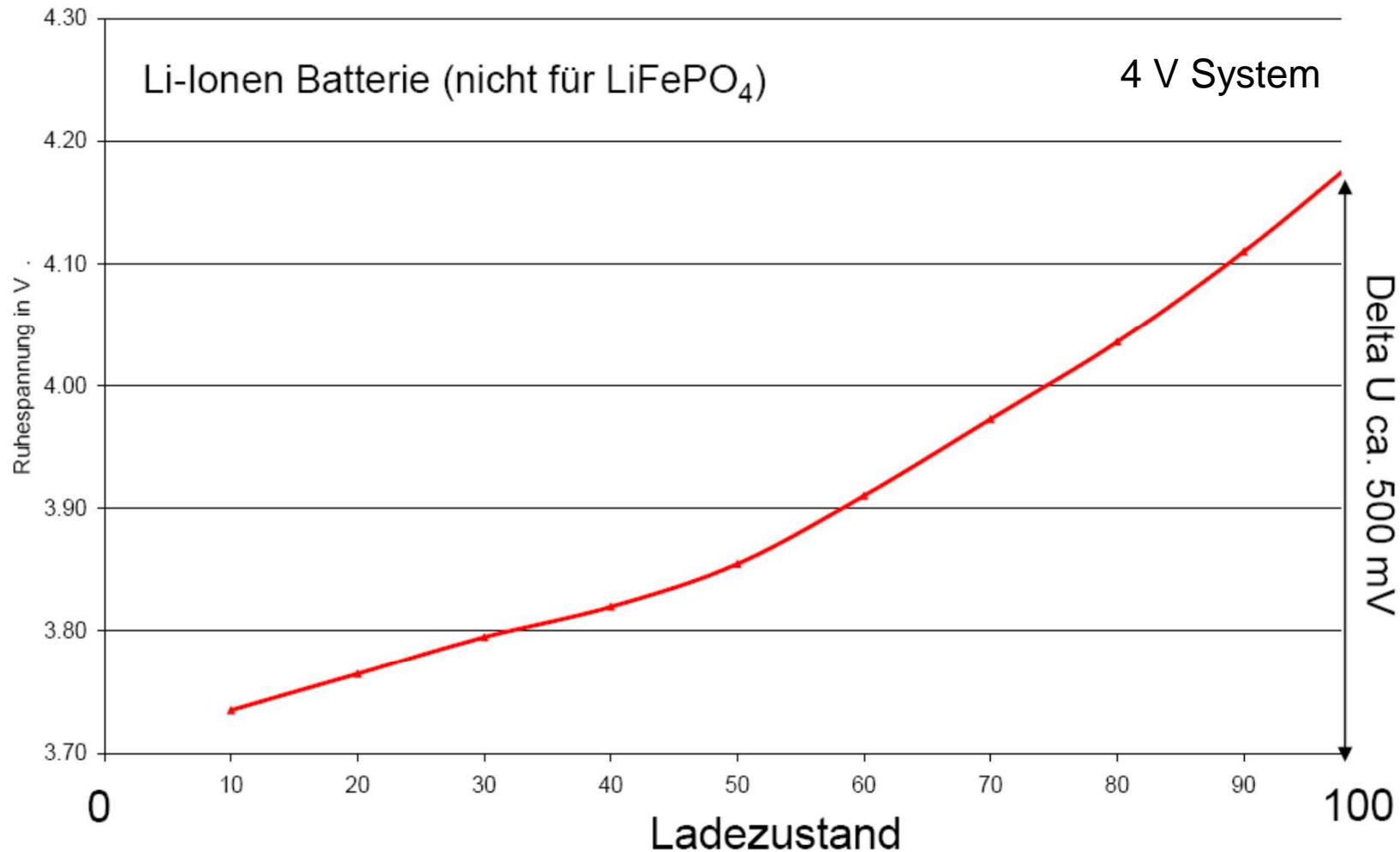
# Lithium-Ionen Batterien

## Ladungsbilanzierung – adaptive Anpassung



# Lithium-Ionen Batterien

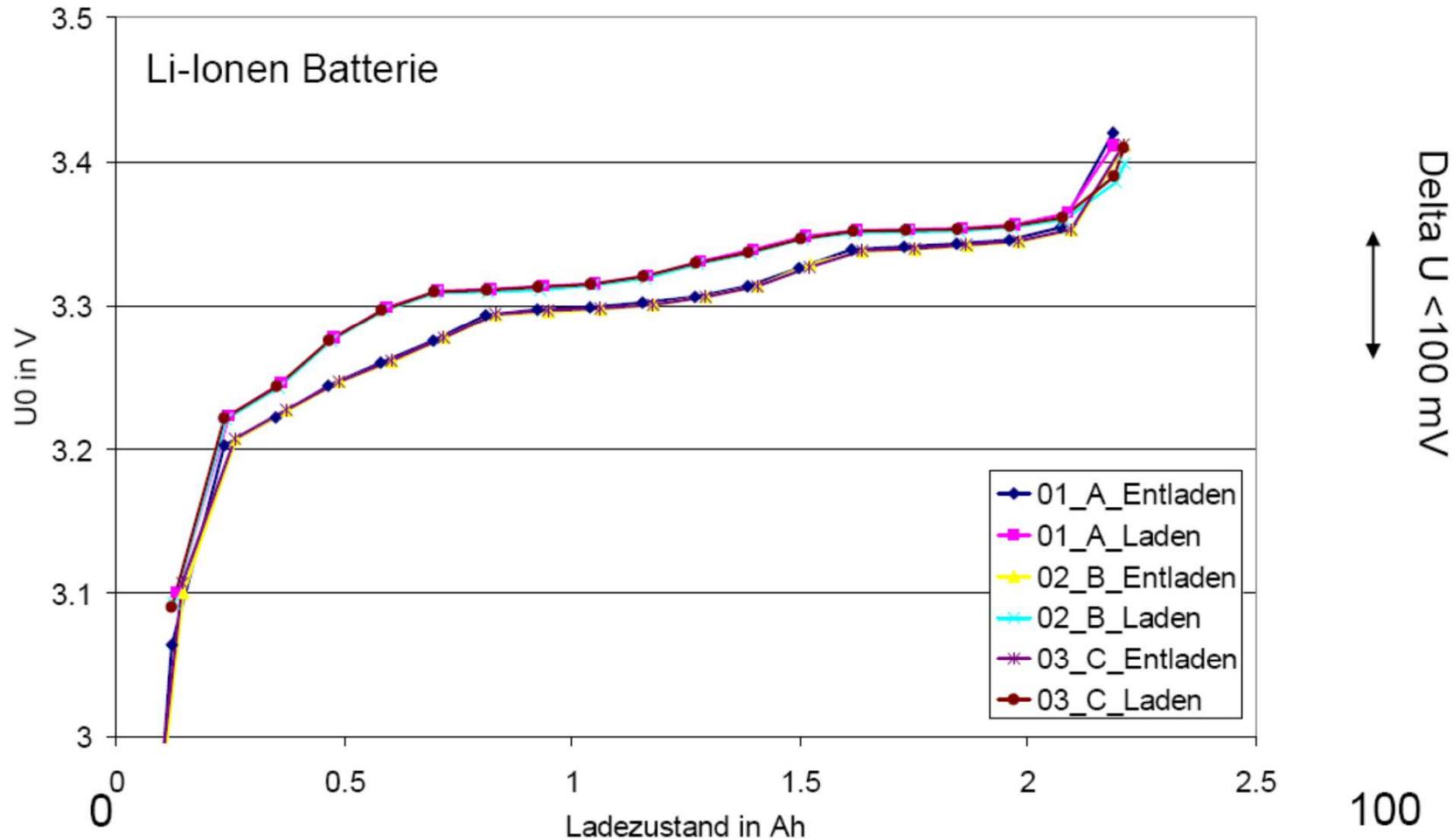
## SOC-Bestimmung - Ruhepotential



Die Ruhespannung kann für Li-Ionen Batterien zur SOC Bestimmung verwendet werden. Bei NiMH Bat. ist die Ruhespannung nicht verwendbar.

# Lithium-Ionen Batterien

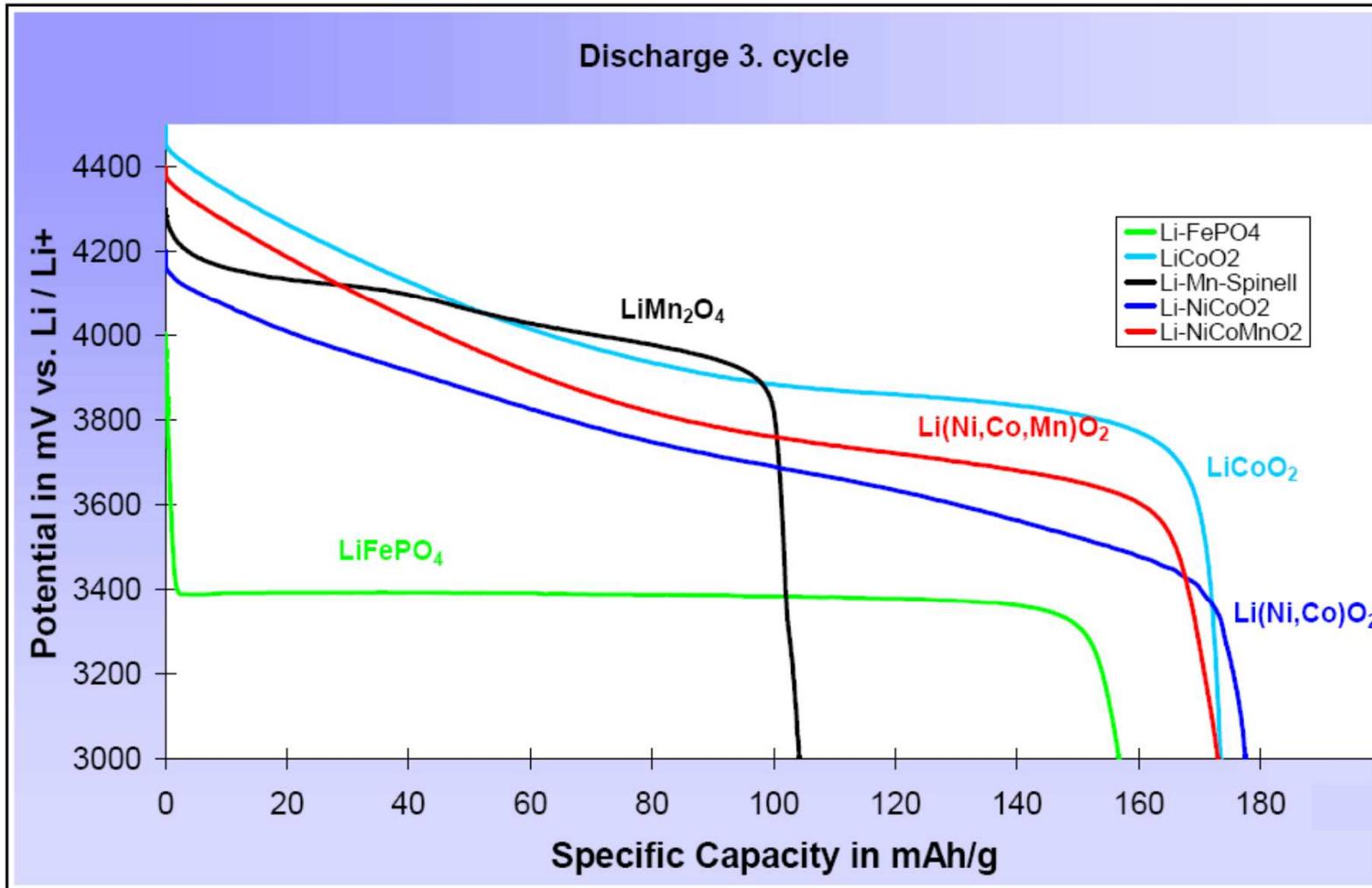
## SOC-Bestimmung – Ruhepotential bei $\text{LiFePO}_4$



Die Geringe Änderung der Ruhespannung und die Spannungshysterese führen zu erheblichen Problemen bei der SOC Bestimmung

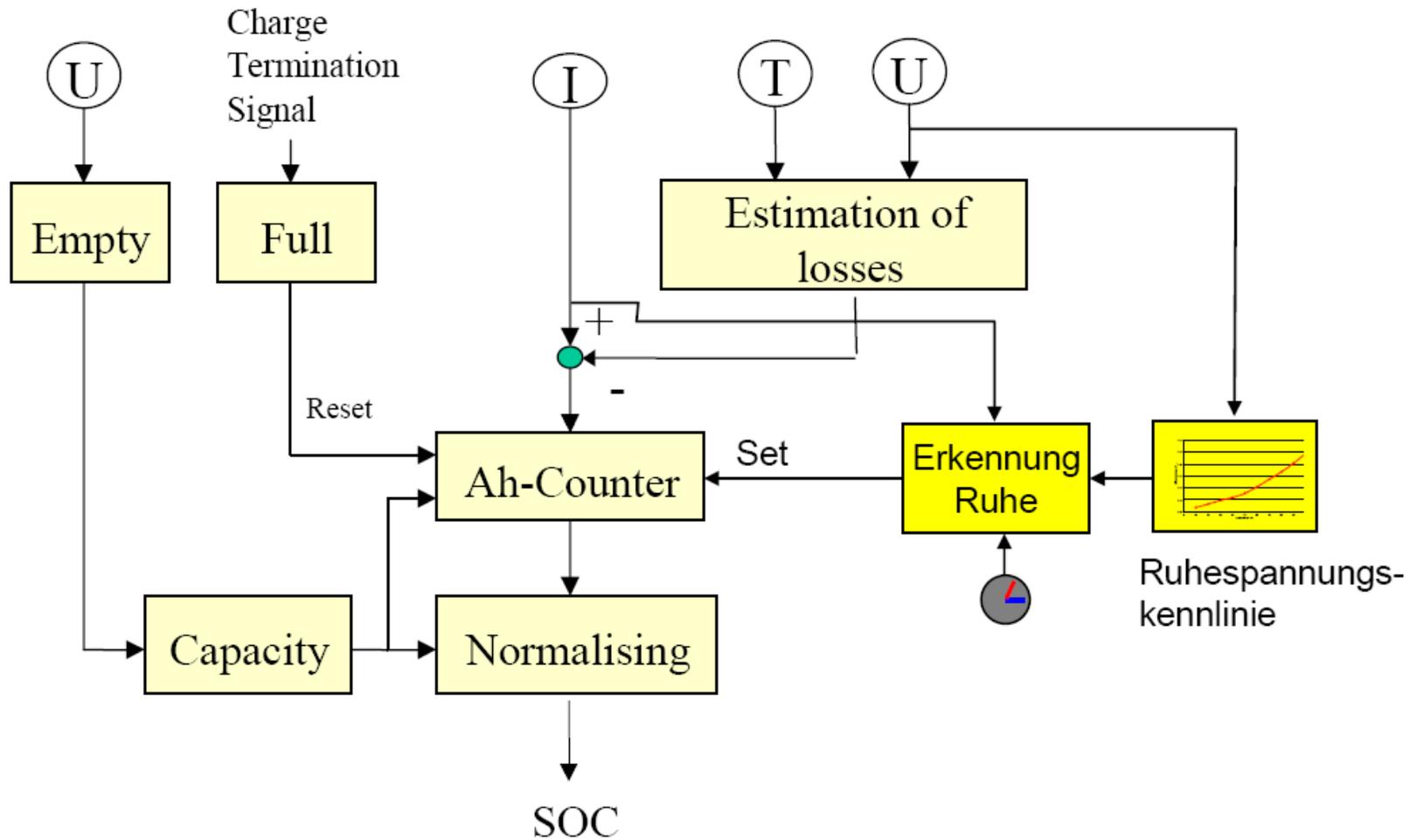
# Lithium-Ionen Batterien

## SOC-Bestimmung – Ruhepotential als f(Ladezustand)



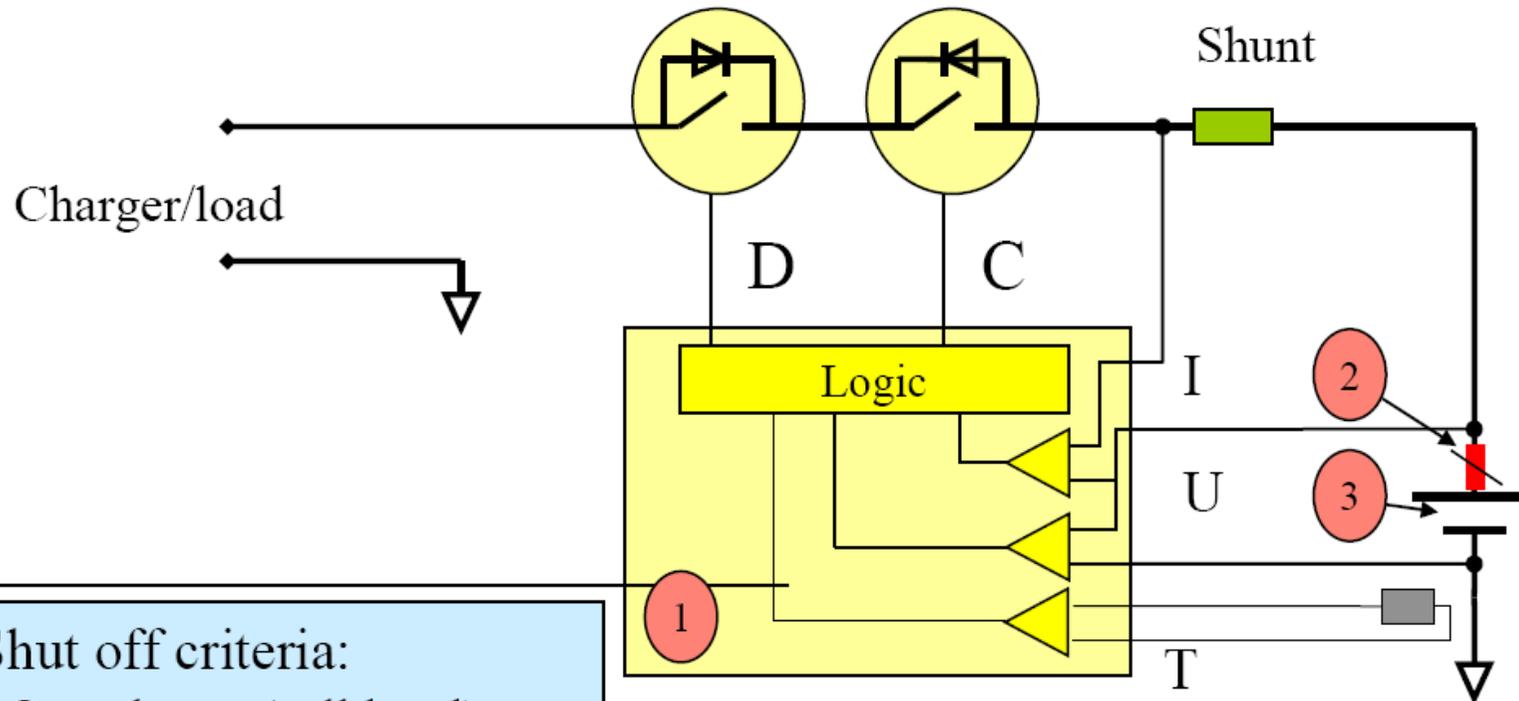
# Lithium-Ionen Batterien

## SOC-Bestimmung – kombinierte Verfahren



# Lithium-Ionen Batterien

## Überwachungselektronik – System mit einer Zelle



### Shut off criteria:

- Overcharge (cell level)
- deep discharge (cell level)
- Short circuit/over load
- (over temperature)

Only for applications with small and moderate currents

### Safety system:

- 1 active protection circuit
- 2 passive protection components (PTC, Polyswitch ..)
- 3 passive protection components / cell level

# Lithium-Ionen Batterien

## Passive Schutzvorrichtungen

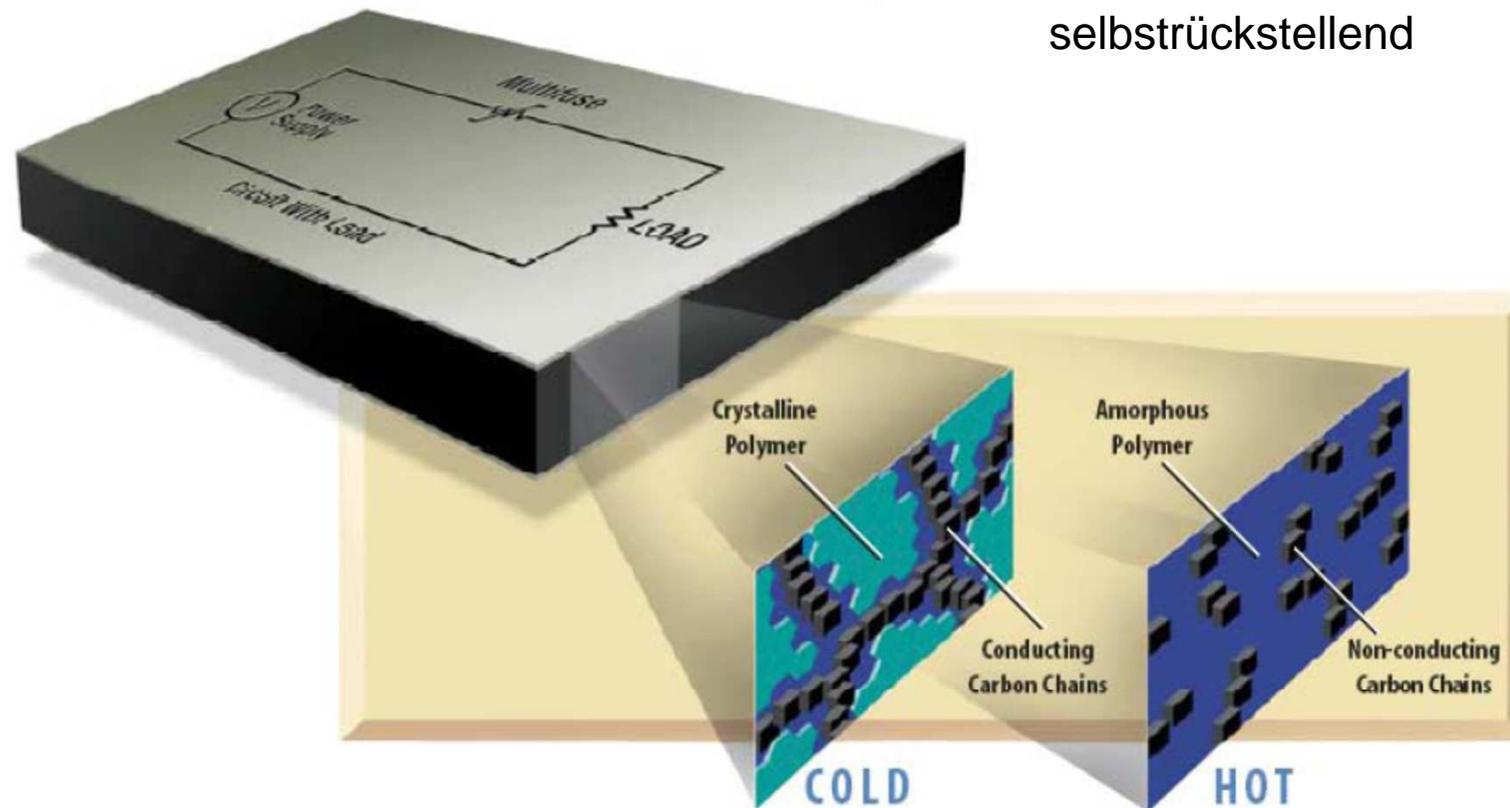


Bild: Bourns

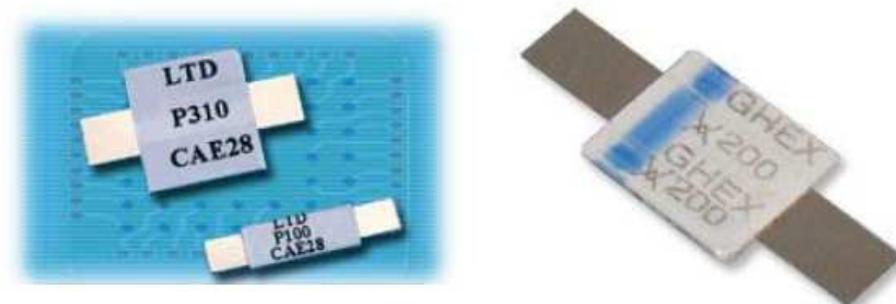
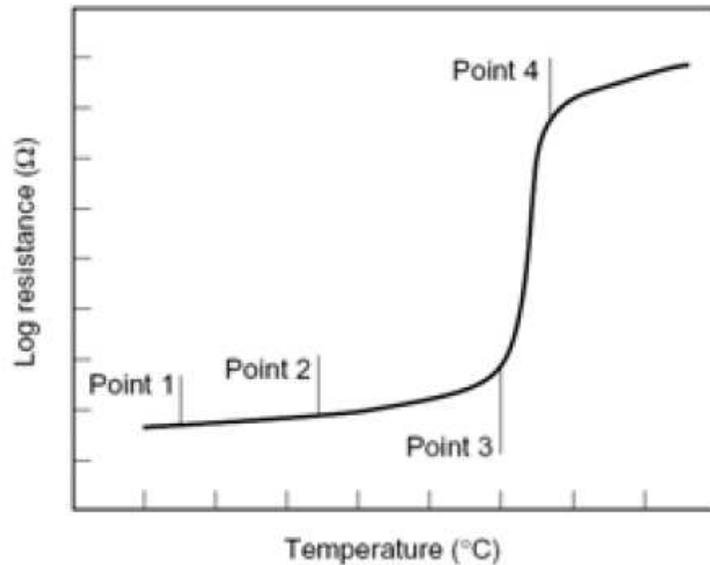
Handelsnamen (Hersteller):

Multifuse (Bourns)  
Polyswitch (Tyco)  
Everfuse (TTC)

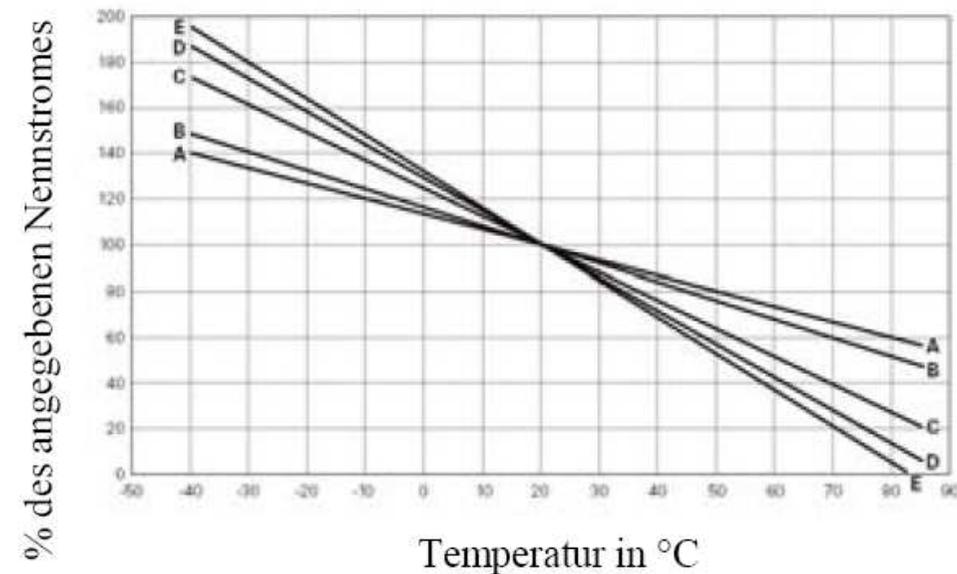
# Lithium-Ionen Batterien

## Passive Schutzvorrichtungen – Polyswitch

- Polyswitch: Halbleiterschalter, der ab einer Grenztemperatur seinen Widerstand vervielfacht
- Da durch Stromfluss Wärme entsteht, ergibt sich auch Überstromschutz (temperaturabhängig)

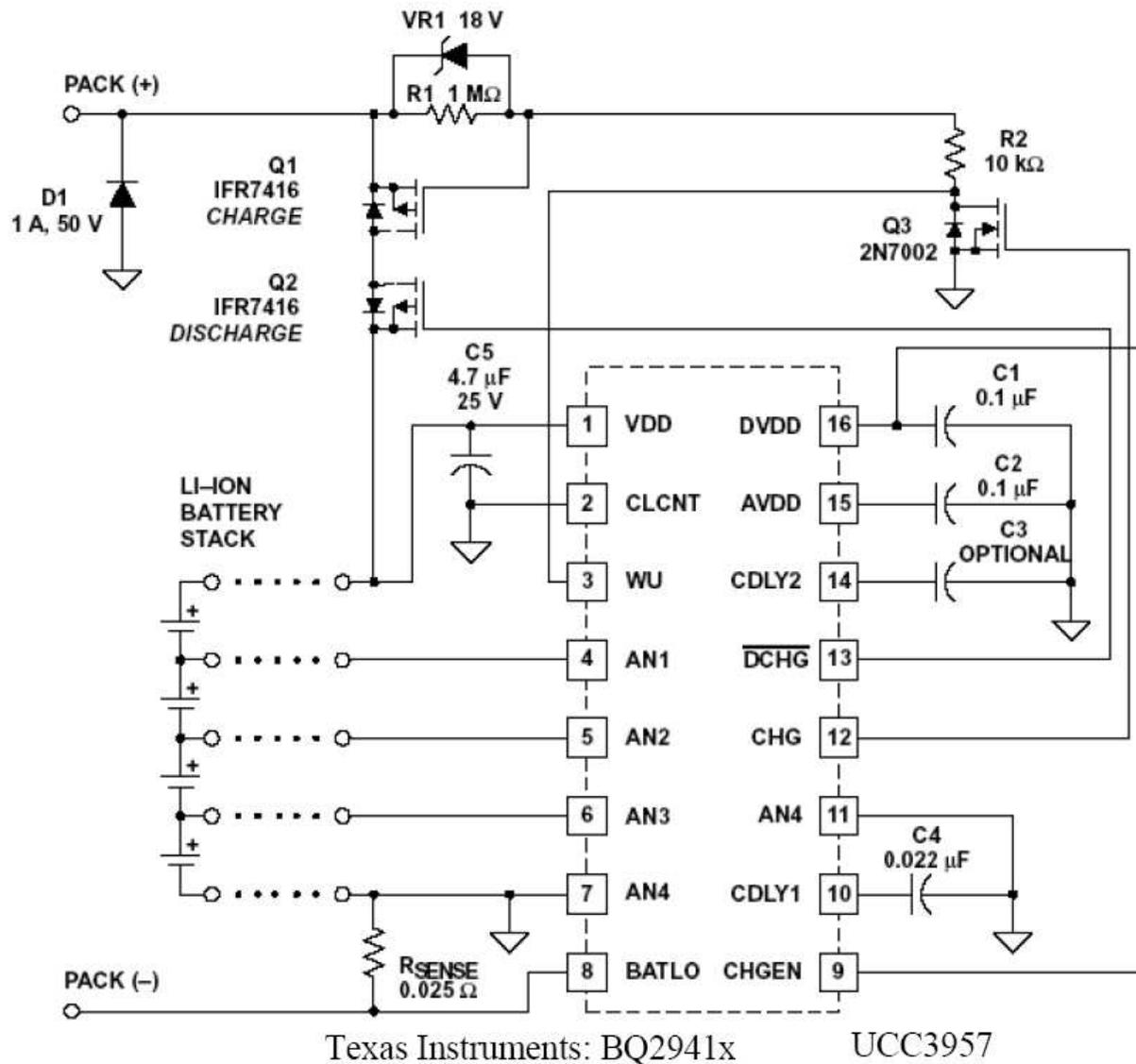


Bis für Ströme von ca. 10 A verfügbar  
Abschalttemperaturen ab etwa 80°C



# Lithium-Ionen Batterien

## Überwachungselektronik – System mit mehreren Zelle



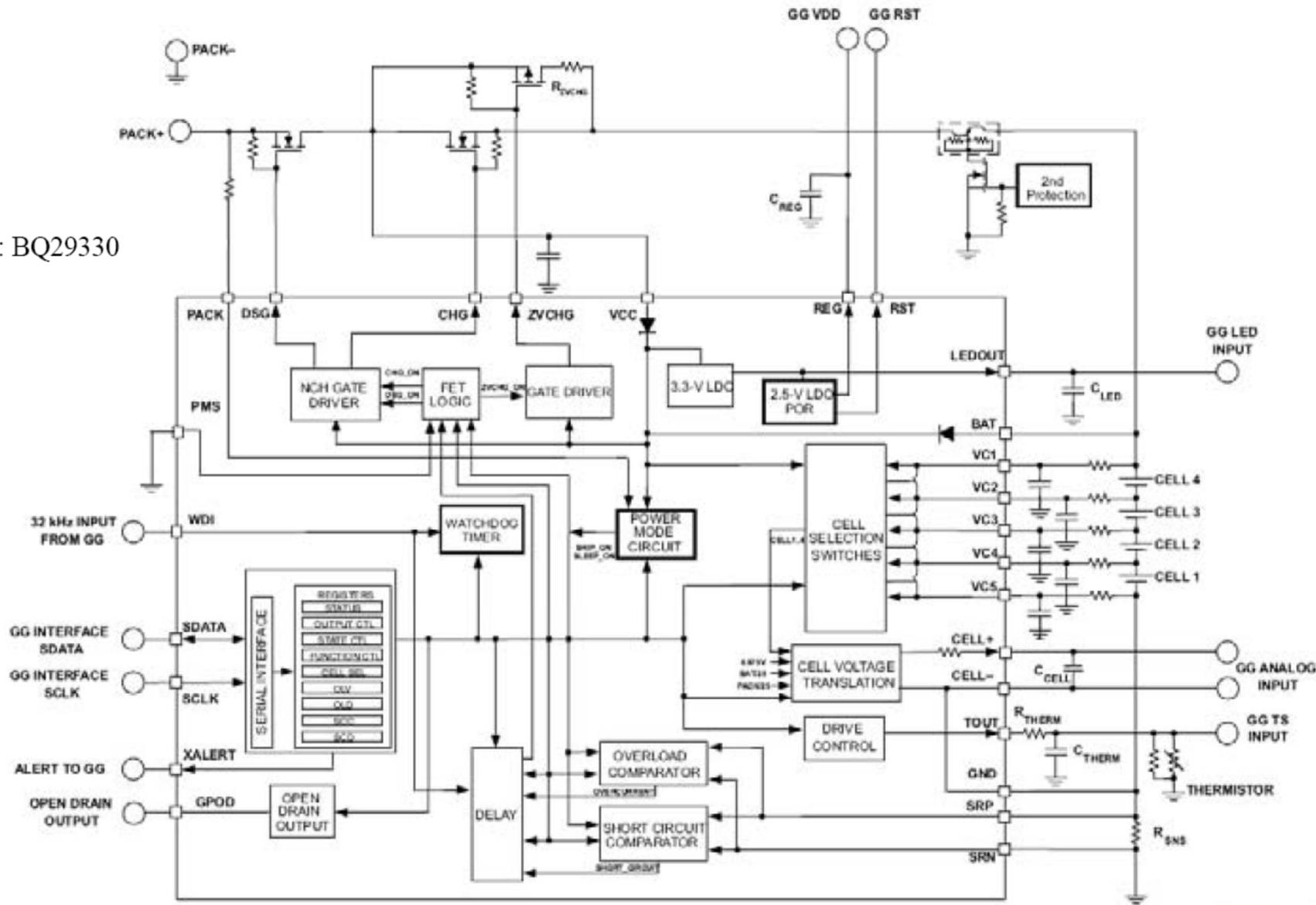
Nicht programmierbare  
Analogtechnik.

→ Keine Einstellfehler  
oder Softwarefehler  
möglich.

# Lithium-Ionen Batterien

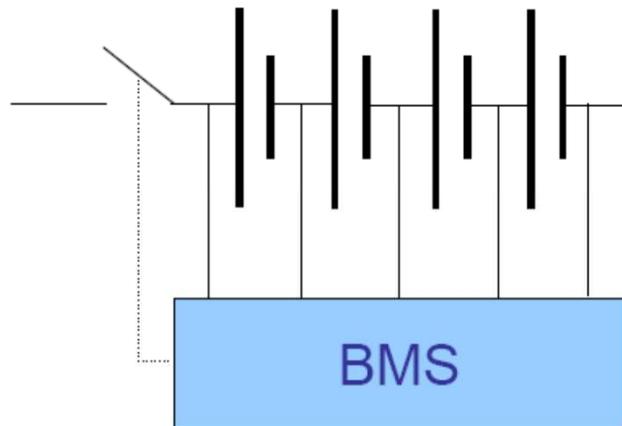
## Überwachungselektronik für mehrzelliges System

TI: BQ29330



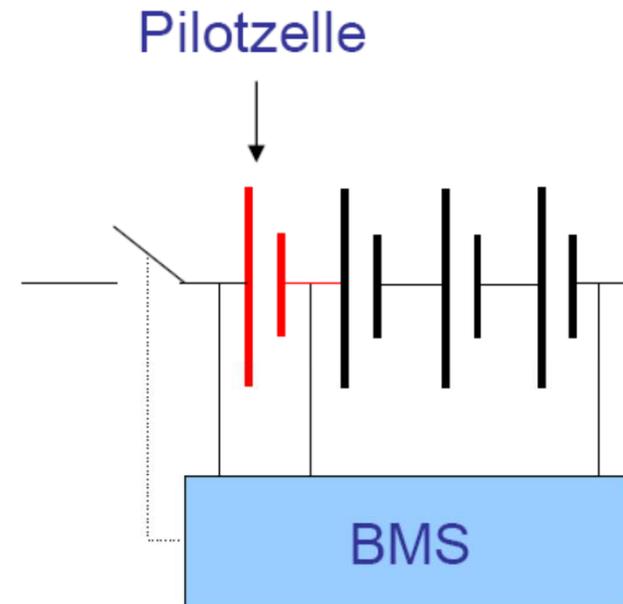
# Lithium-Ionen Batterien

## Überwachungselektronik – Konzepte



System basierend auf Messung  
aller Zellen (+Ladungsausgleich)

Standard System (Laptop)

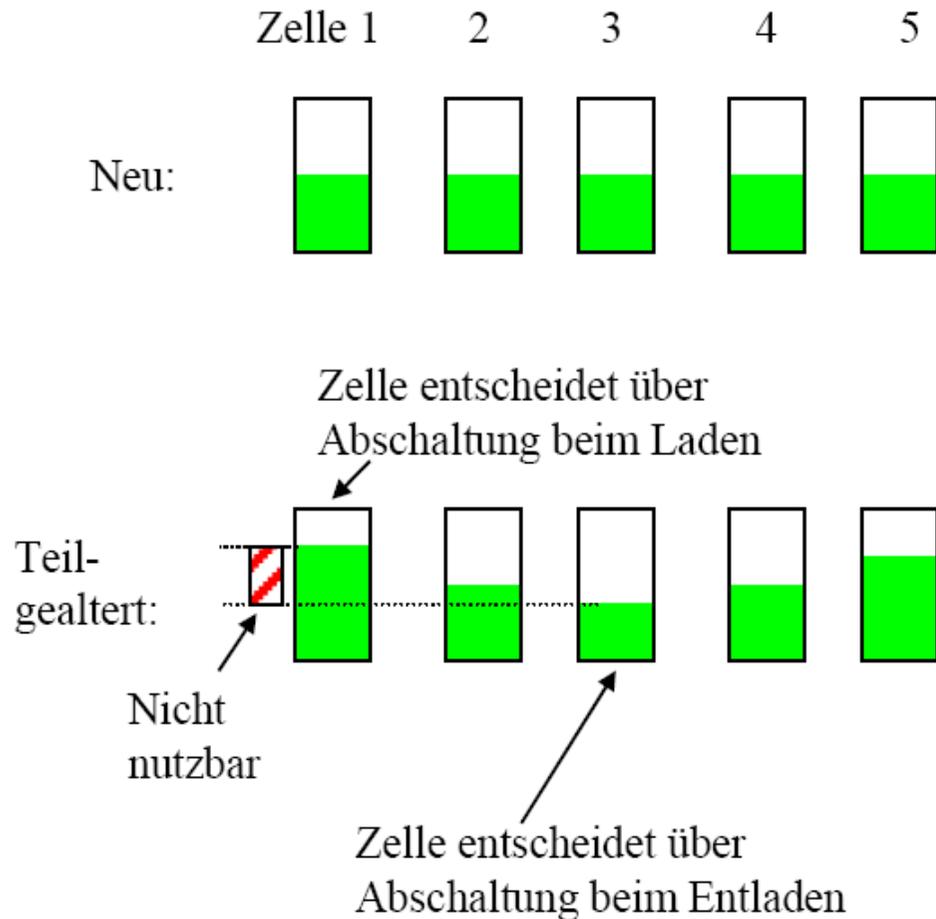


System basierend auf Pilotzelle  
oder nur Gesamtspannung.  
Kein Ladungsausgleich möglich.

Low Cost Lösung.

# Lithium-Ionen Batterien

## Batteriemanagement – Ladungsausgleich



Zellen in neuen Packs haben einen sehr ähnlichen Ladezustand. D.h., alle Zellen erreichen quasi zur gleichen Zeit die Abschaltsschwellen.

Bedingt durch Fertigungstoleranzen und unterschiedliche Zelltemperaturen haben die Zellen unterschiedliche Selbstentladeraten.

Im Laufe der Zeit laufen so die Ladezustände auseinander. Da sowohl Überladen, als auch Überentladen sehr schädlich/gefährlich sind, muss das BMS derartige Zustände erkennen.

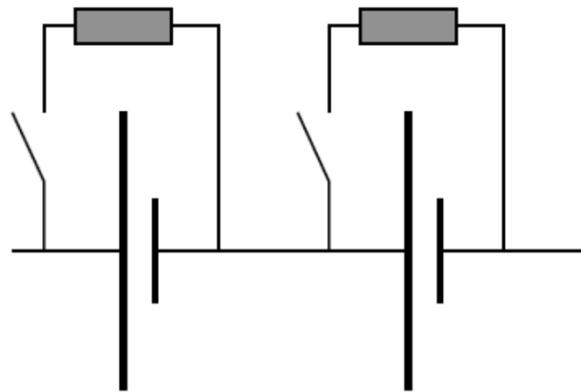
- Modulspannungsüberwachung ist notwendig
- Ein Ausgleich der Ladezustände ist notwendig

Aus Sicherheitsgründen zudem

- Temperaturüberwachung
- Stromüberwachung

# Lithium-Ionen Batterien

## Ladungsausgleich – Bypass-Widerstand



Control strategy:

- same cell voltages

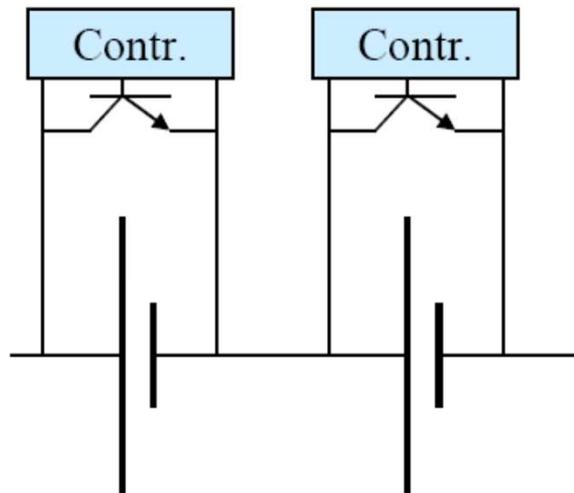
Questions:

- Size of R
- Algorithm

cheap, simple, slow, additional heat  
→ Self discharge of the battery is equivalent to the self-discharge of the worst cell.

# Lithium-Ionen Batterien

## Ladungsausgleich – Bypass-Transistor



### Advantages.

- Better control
- Limited to charge voltage

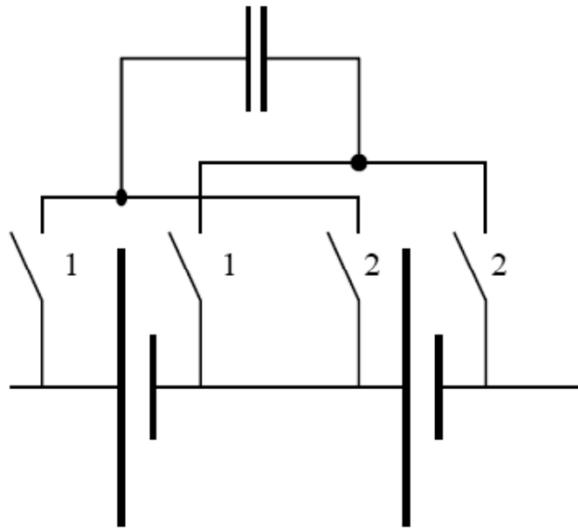
### Disadvantages

- Only during charging active
- Change of parameters is difficult

cheap, simple, slow, additional heat  
→ Self discharge of the battery is equivalent to the self-discharge of the worst cell.

# Lithium-Ionen Batterien

## Ladungsausgleich – Switched Capacitors



### Advantages

- always active
- simple control

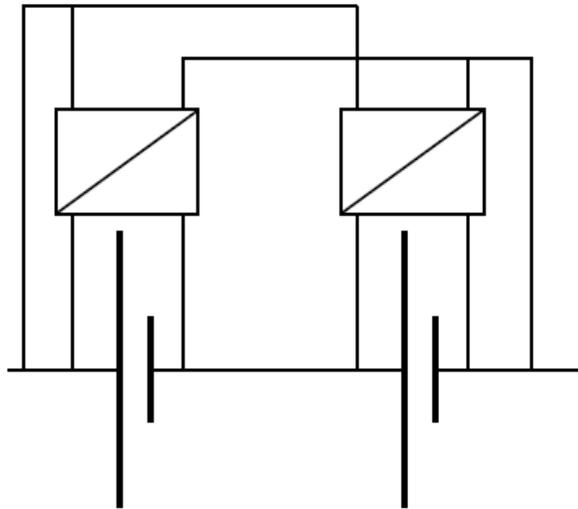
### Disadvantage

- two switches for each cell necessary
- many patents exist

Conclusion: → average costs, lower losses, complex  
→ selfdischarge of the battery is according the average cell value.

# Lithium-Ionen Batterien

## Ladungsausgleich – Switched Power Supplies



### Advantages

- always active
- high power possible

### Disadvantages

- costs
- existing patents

Conclusion: → high costs, complex, low losses  
→ selfdischarge of the battery is according the average cell value.  
→ Capacity of the battery is about the average cell capacities.

# Lithium-Ionen Batterien

## Ladungsausgleich - Auslegung

1. Estimate the maximum drift in state of charge per day of a single cell ( $C_{\text{drift}}$  in Ah/day)
2. Estimate the available time for charge equalization per day ( $t_{\text{eq}}$ /day)

$$\text{Minimum equalization current} = C_{\text{drift}}/t_{\text{eq}}$$

For a HEV battery (6 Ah Capacity) the drift can be assumed to be 10% per month  
=0.33% CN / day = 20 mAh/day.

The available time for equalization is assumed to be 5h/day

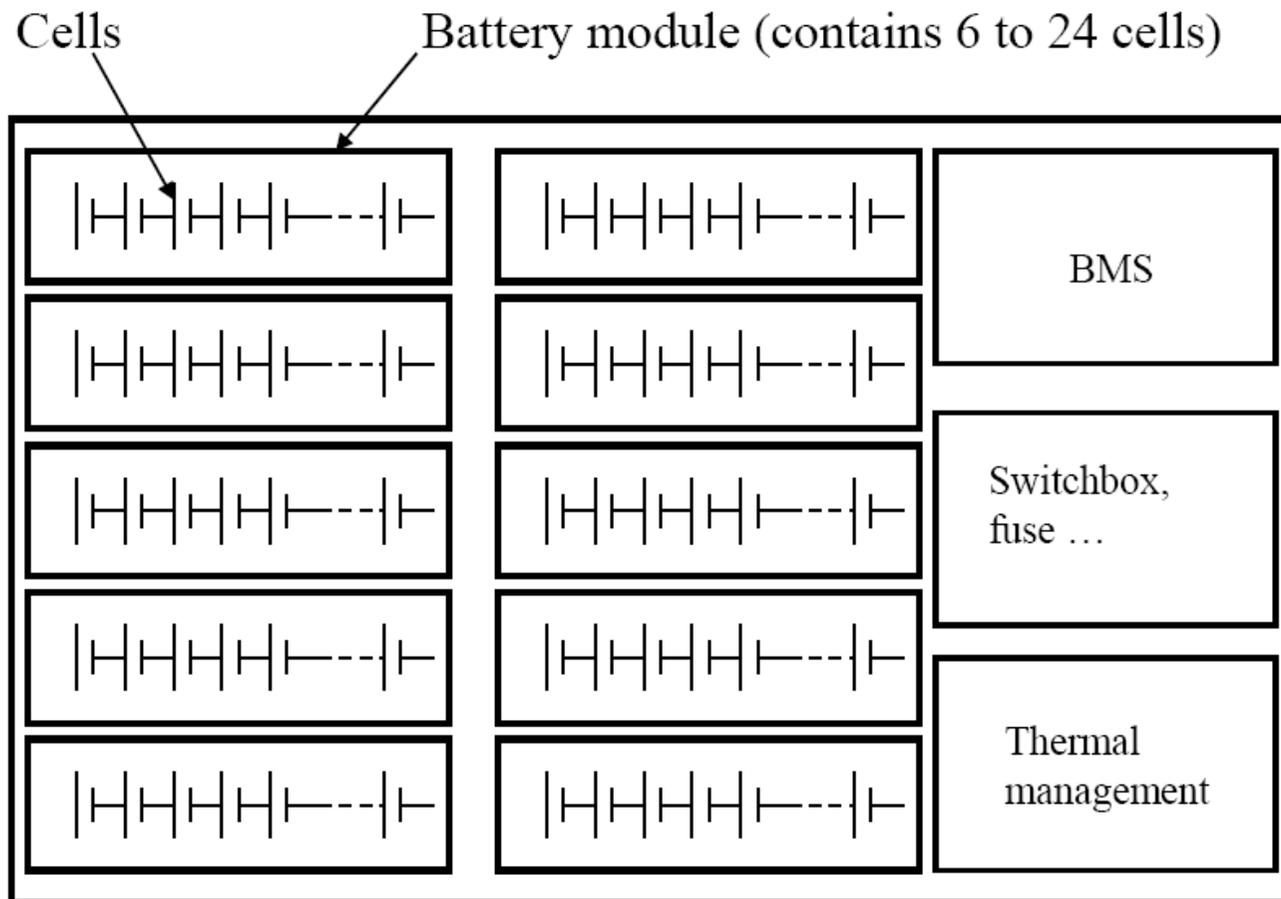
Minimum equalization current = 4 mA. → ca. 0.001 C-Rate

Typically used: some 10 mA → ca. 0.01 C-Rate

Equalization currents are very small and losses caused by the charge equalization can be neglected.

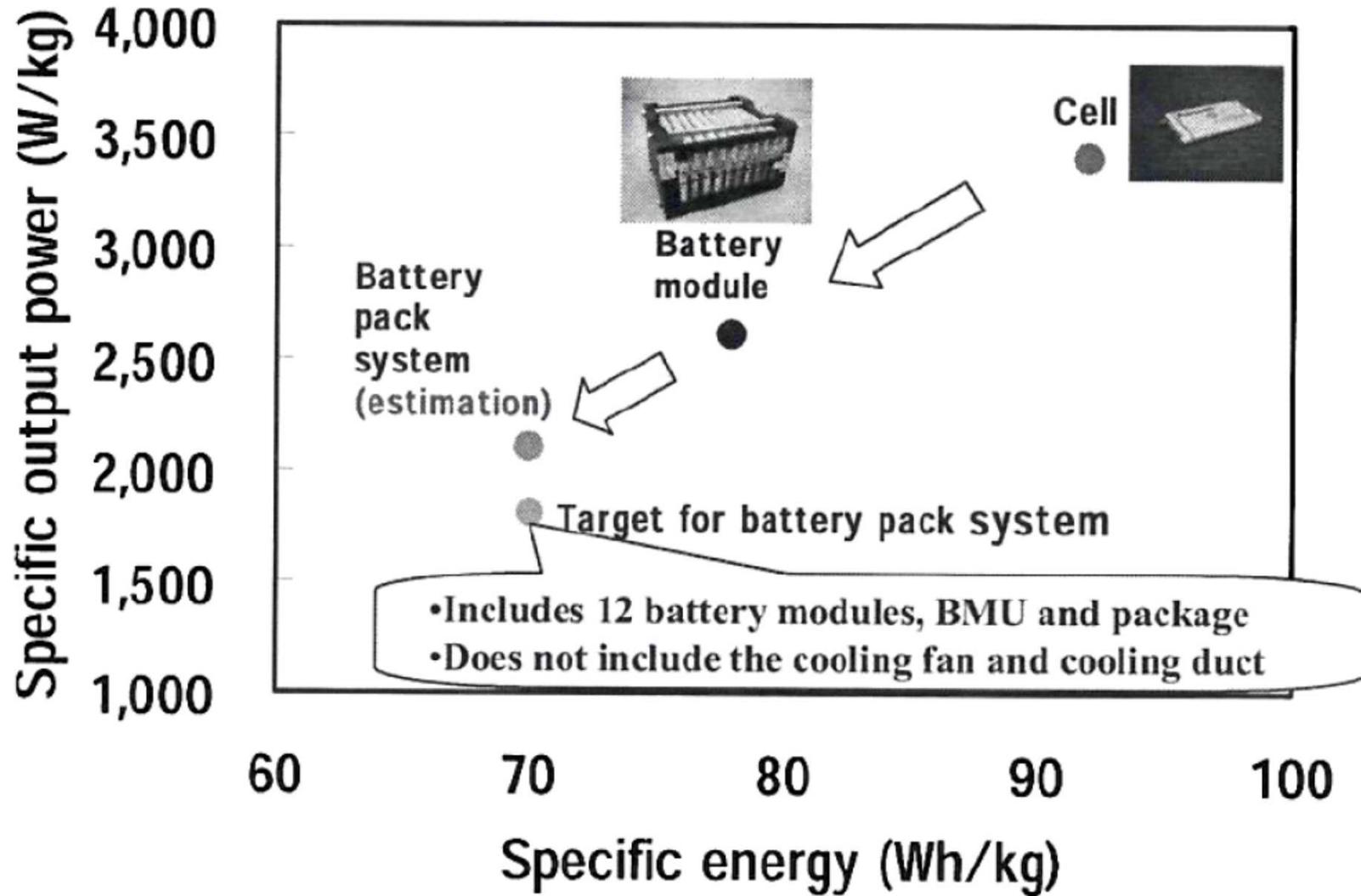
# Lithium-Ionen Batterien

## Cell, Module and System



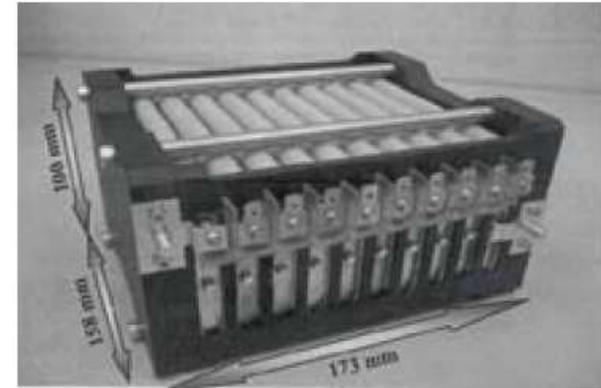
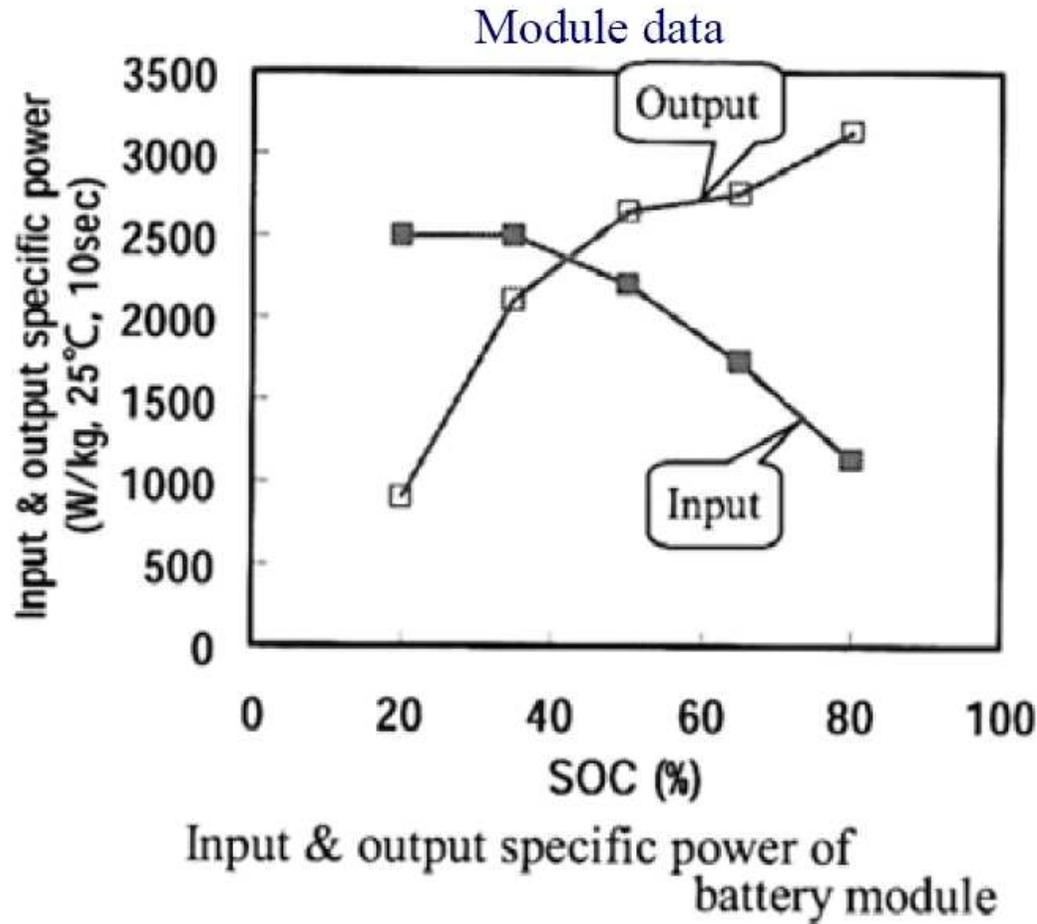
# Lithium-Ionen Batterien

## Cell, Module and System – Specific Power

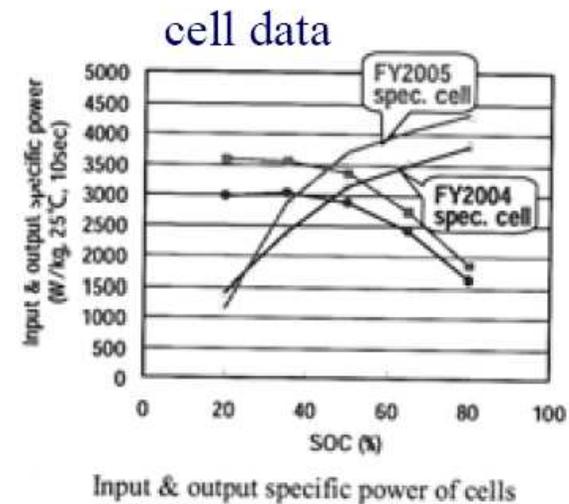


# Lithium-Ionen Batterien

## Leistung als f(SOC)

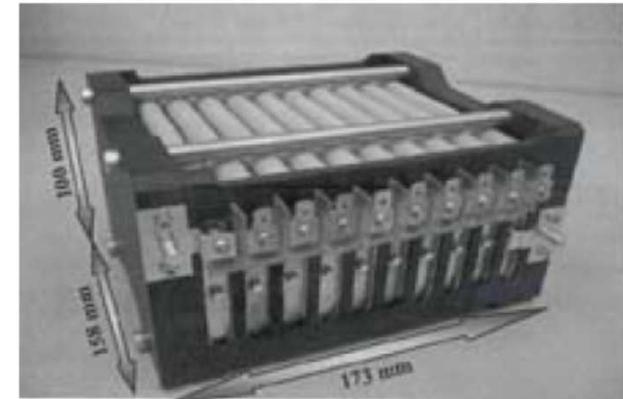
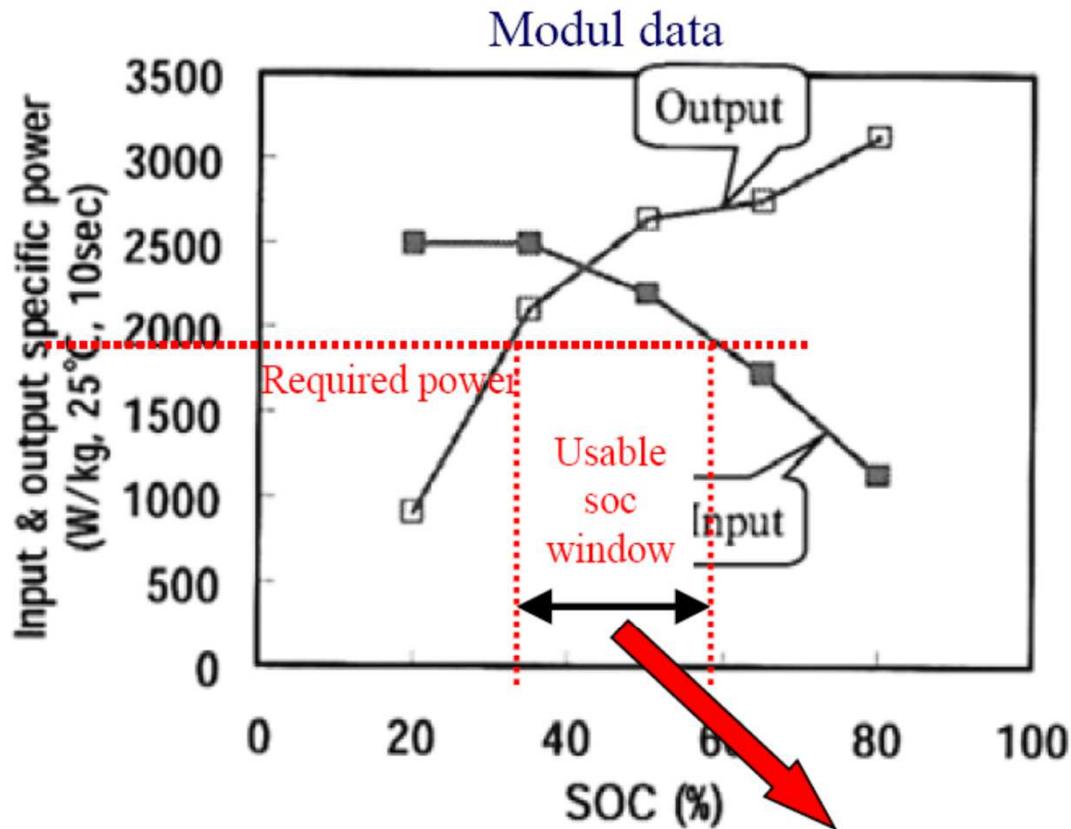


Module 2005: 10 cells with 7 Ah cells  
3,3 kg, 2.7 l



# Lithium-Ionen Batterien

## HEV Energy Management



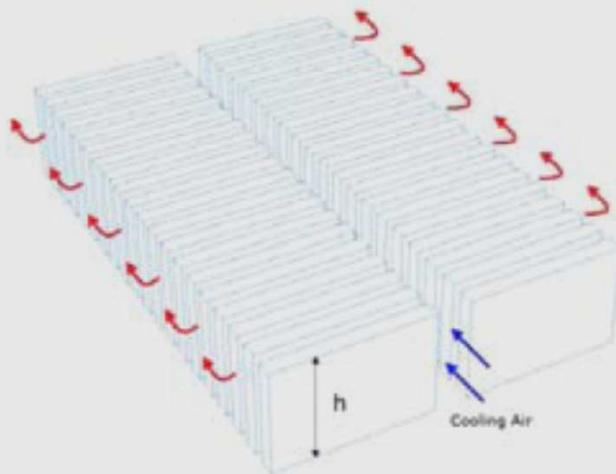
Module 2005: 10 cells with 7 Ah cells  
3,3 kg, 2.7 l

The energy management tries to hold the battery in this soc window

# Lithium-Ionen Batterien

## LiB System – Samsung SDI

Component	Weight(g)	Quantity	Part Weight(g)	Portion(%)
Cell	300	40	12000	40.9
Barrier	50	42	2100	6.5
Rod & Bolt	520	8	4160	12.9
Endplate	750	4	3000	9.3
Lower Plate	320	2	640	1.9
Circuit	280	2	560	1.7
Connecting Plate	5	44	220	0.7
<b>Module Partial Sum</b>			<b>22680</b>	<b>74.0</b>
Case	6090	1	6090	18.9
BMS	2300	1	2300	7.1
<b>Total Sum</b>			<b>31070</b>	<b>100</b>



Thermal Management



Source: Samsung, EVS 22

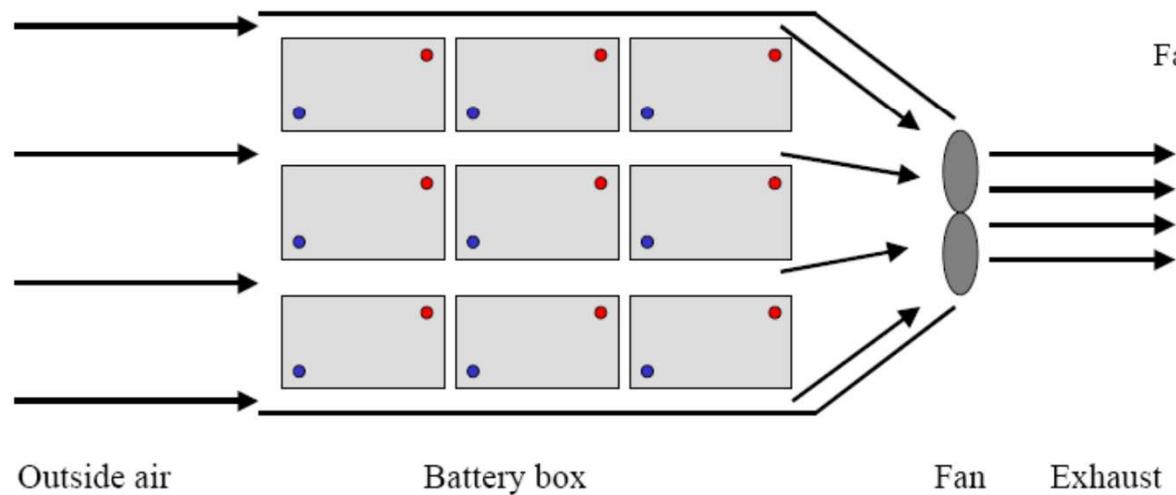
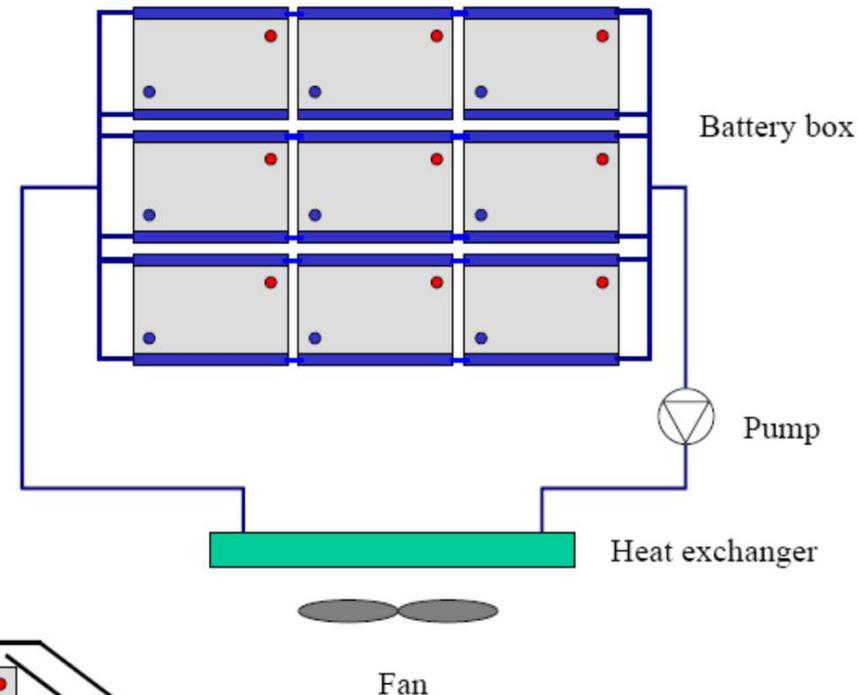
40 cells, 144V, 6Ah, 30 kW, 31kg, 38l

# Lithium-Ionen Batterien

## Thermal Management

### Liquid cooled:

- more complex
- silent
- very efficient
- isolation difficult
- additional cooling system necessary

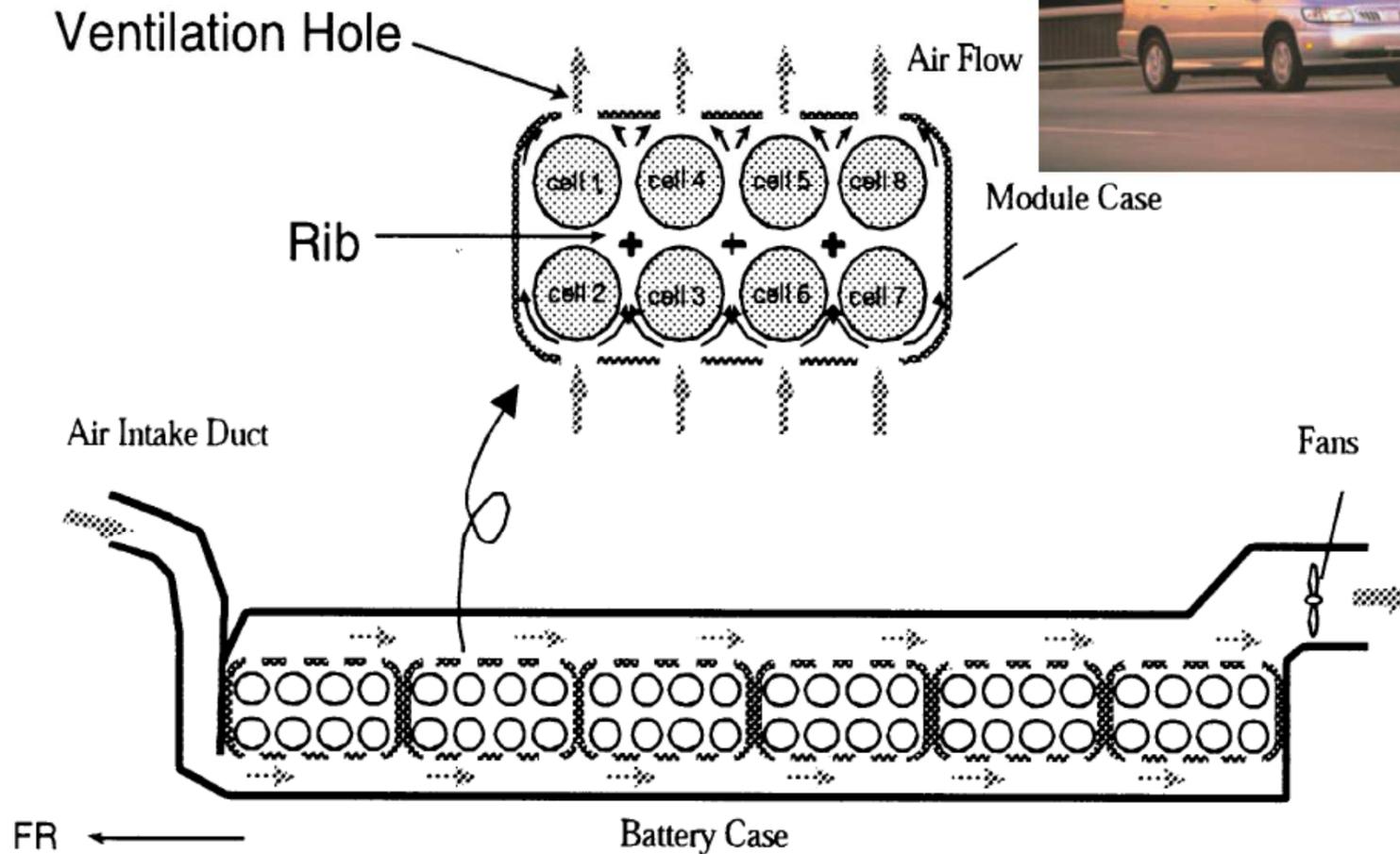


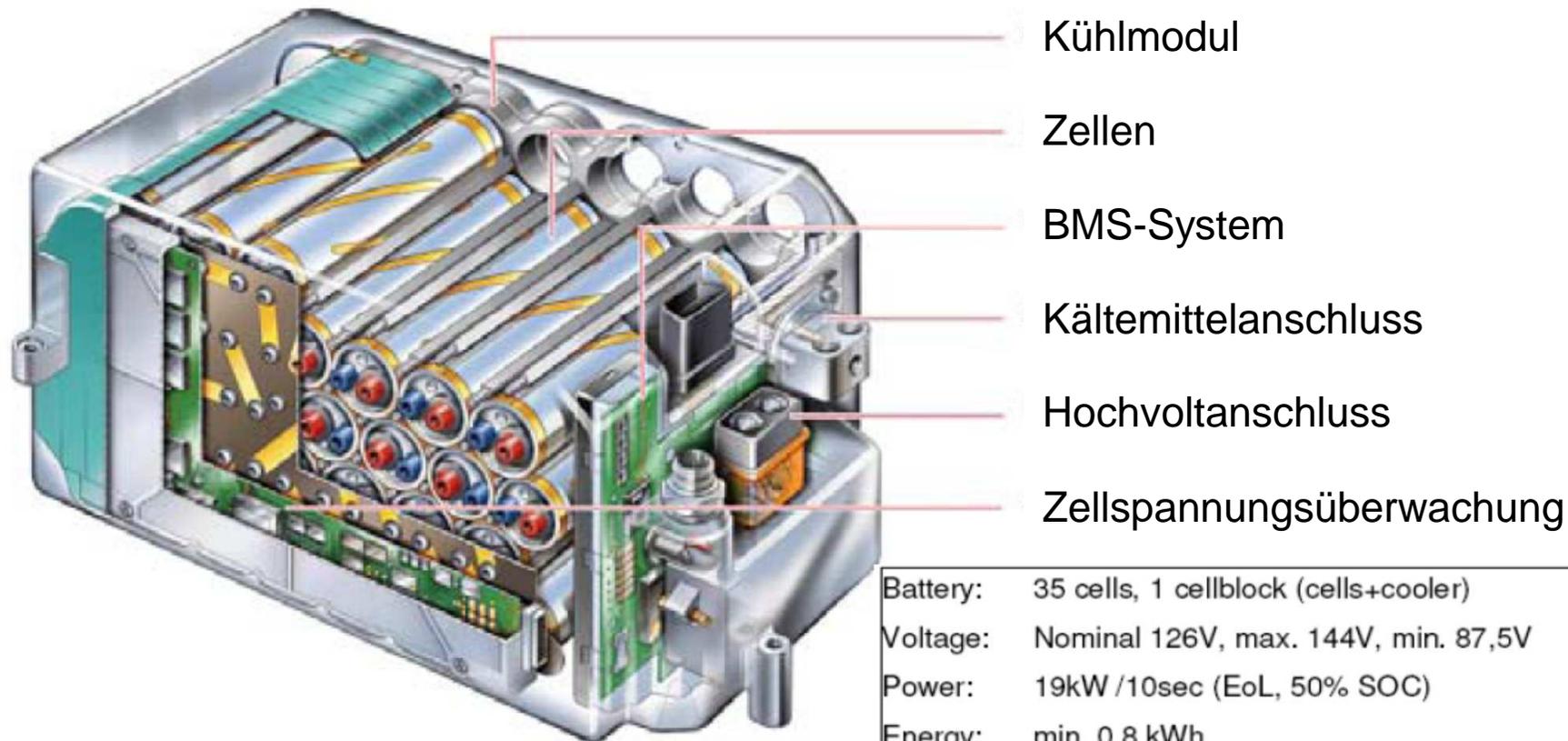
### Air cooled:

- simple
- noisy
- less efficient

# Lithium-Ionen Batterien

## Thermal Management – Nissan Altra EV





Battery:	35 cells, 1 cellblock (cells+cooler)
Voltage:	Nominal 126V, max. 144V, min. 87,5V
Power:	19kW /10sec (EoL, 50% SOC)
Energy:	min. 0,8 kWh
Capacity:	min. 6,5 Ah
Cooling:	R134a (cooler integrated into AC-loop)
Lifetime:	10years (mean temperature 40°C)
Opererating Temperature:	-25 °C – 45 °C

Quelle: Daimler AG