

**Vorlesung :** **Energiespeichertechnologien- & Anwendungen**  
**MB-Master | Kursnr.: 139030**

**Lecture:** **Energy Storage Technologies and Applications**

**Vortragender**

***Prof. Dr. Christian Doetsch***

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
 +49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de

**#6 Lithium-Ionen-Batterie – Flipped Classroom**

**#6 Lithium Ion Battery– flipped classroom**

**Flipped Classroom #6 | Flipped Classroom #6**



Ministerium für  
 Kultur und Wissenschaft  
 des Landes Nordrhein-Westfalen



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. [www.creativecommons.org/licences/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licences/by-sa/4.0)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. All logos and explicitly marked elements used are excluded from this license. [www.creativecommons.org/licences/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licences/by-sa/4.0)



# Aufgaben für die Gruppenarbeiten

## Flipped Classroom #6 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 1:** Die Beschriftung einer 18650 Lithium-Ionen Batterie behauptet die Batterie habe eine Kapazität von 9900mAh bei einer Nennspannung von 3,7 V. Diese Behauptung soll untersucht werden. Es soll angenommen werden, dass die Stöchiometrie im vollständig entladenen Zustand wie folgt lautet:  $\text{Li}_1\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2 + 0,6 \text{Li}_0\text{C}_6$  (die Angaben der Indices bei  $\text{Li}_1$  und  $\text{Li}_0$  sind nur Hilfen). Das Gewicht der Zelle wurde gemessen und entspricht  $m_{\text{Zelle}}=35,8\text{g}$  (Vernachlässigen Sie die Hülle, Pole etc.)

Hinweis: Betreiben Sie die Kathode nur bis zu einem Lithierungsgrad von 0,4. Die Anode soll jedoch vollständig genutzt werden.

- Berechnen Sie die gravimetrische Energiedichte der Batteriezelle anhand der Beschriftung [Wh/kg]
- Berechnen Sie die stöchiometrische Gesamtmasse der Elektroden [g/mol] (Tipp: Anode + Kathode im selben Ladezustand)
- Berechnen Sie die theoretische gravimetrische Energiedichte [Wh/kg]. Wie passt das zum Ergebnis aus a)?

### Endergebnisse Aufgabe 1:

- Energiedichte = 1023 Wh/kg
- $M_{\text{Anode}}=72,06 \text{ g/mol}$ ;  $M_{\text{Kathode}}= 96,46 \text{ g/mol}$ ;  $M_{\text{elektroden}}=139,7 \text{ g}$
- Energiedichte= 425,9 Wh/kg (Energienmenge ist höchstens 40% der angegebenen).



## Flipped Classroom #6 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 2:** Eine vollständig entladene Lithium-Ionen Batterie (LiFePO<sub>4</sub>-Kathode und Graphit-Anode) hat die folgende Stöchiometrie:

Kathode: Li<sub>0,70</sub>FePO<sub>4</sub> Anode: Li<sub>0</sub>C<sub>6</sub>.

Nach einer partiellen Ladung lautet die Stöchiometrie wie folgt: Kathode : Li<sub>0,35</sub>FePO<sub>4</sub> Anode : Li<sub>0,45</sub>C<sub>6</sub>

Annahme: Während der Ladung haben keine Nebenreaktionen stattgefunden.

Hinweis: Lithium-Eisen-Phosphat Kathoden werden bis zu einem Lithiierungsgrad von 0% betrieben.

- Sind die Anode und Kathode (stöchiometrisch betrachtet) gleich „groß“ bzw. welche ist wieviel „größer“?
- Welche Elektrode würde eine Vollladung limitieren? Und wie wäre die stöchiometrische Gleichung bei Vollladung?

### Endergebnisse Aufgabe 2:

*a) NICHT gleich „groß“.*

*Die Kathode ist – molar betrachtet –  $n = 1,285$  mal „größer“ als die Anode.*

*b) die Kathode (kann stöchiometrisch nur noch 0,35 Li abgeben).*

Li<sub>0</sub>FePO<sub>4</sub> Anode : Li<sub>0,9</sub>C<sub>6</sub>

## Flipped Classroom #6 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 3:** Eine vollständig entladene Lithium-Ionen Batterie (LiFePO<sub>4</sub>-Kathode und Graphit-Anode) hat die folgende Stöchiometrie:

Kathode: Li<sub>0,70</sub>FePO<sub>4</sub> Anode: Li<sub>0</sub>C<sub>6</sub>.

Nach einer partiellen Ladung lautet die Stöchiometrie wie folgt: Kathode : Li<sub>0,35</sub>FePO<sub>4</sub> Anode : Li<sub>0,45</sub>C<sub>6</sub>

Annahme: Während der Ladung haben keine Nebenreaktionen stattgefunden.

Hinweis: Lithium-Eisen-Phosphat Kathoden werden bis zu einem Lithiierungsgrad von 0% betrieben.

a) Welchen SoC hat die Batterie nach der oben genannten partiellen Ladung (Kathode: Li<sub>0,35</sub>FePO<sub>4</sub> Anode: Li<sub>0,45</sub>C<sub>6</sub>)? [%]

b) Geben sie zusätzlich die stöchiometrische Gesamtgleichung an in der Form n·Kathode + Anode. Wie groß ist n?

c) wie groß ist die gravimetrische Coulombdichte [Ah/g]?

### Endergebnisse Aufgabe 3:








a) *SOC ist 50%*

b) *NICHT gleich „groß“.*



c) *Coulombdichte = 88,6 Ah/kg*

**Noch Fragen ?**

†CC-Lizenzen	Bezeichnung	Version	Link zum Lizenz-/Vertragstext
	CC0 Bedingungslose Lizenz	Vers. 1.0	<a href="https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode">https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode</a>
	CC-BY Attribution (Namensnennung)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by/1.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by/1.0/legalcode</a>
	CC-BY-SA Attribution Share Alike (Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/1.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/1.0/legalcode</a>
	CC-BY-ND Attribution No Derivatives (Namensnennung-Keine Bearbeitung)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nd/1.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nd/1.0/legalcode</a>
	CC-BY-NC Attribution Non Commercial (Namensnennung-Nicht kommerziell)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc/1.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc/1.0/legalcode</a>
	CC-BY-NC-SA Attribution Non Commercial Share Alike (Namensnennung-Nicht kommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/1.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/1.0/legalcode</a>
	CC-BY-NC-ND Attribution Non Commercial No Derivatives (Namensnennung-Nicht kommerziell-Keine Bearbeitung)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	<a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/legalcode</a> <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/1.0/legalcode">http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/1.0/legalcode</a>

**Prof. Dr. Christian Doetsch**

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
+49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de




Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministry of Culture and Science  
of the State of  
North Rhine-Westphalia



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.  
All logos and explicitly marked elements used are excluded from this license. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)