

**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

**#3 Elektrische Energiespeicher – Flipped Classroom**

**#3 Electrical Energy Storage – flipped classroom**

**Flipped Classroom #3 | Flipped Classroom #3**



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

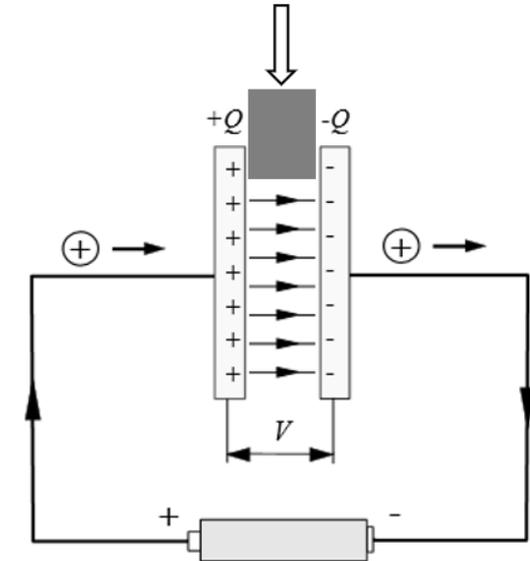
## Flipped Classroom #3 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 1:** Ein Plattenkondensator ( $A=0,05\text{m}^2$ ;  $d=2\text{ mm}$ ;  $\epsilon_0=8,854 \cdot 10^{-12}\text{ As/Vm}$ ) ist mit einer Spannungsquelle ( $U=9\text{ V}$ ) verbunden und aufgeladen.

- Berechnen Sie die Ladungsmenge (As) auf und die Energie (J) im Kondensator.
- Es wird ein Dielektrikum ( $d=2\text{ mm}$ ;  $\epsilon_R=3$ ) eingeschoben. Was passiert?  
(TIPP: Überlegen Sie welche Variable konstant bleibt) Bestimmen Sie die Spannung, Ladung und Energie am Kondensator.
- Die Spannungsquelle wird nun abgeklemmt, dann das Dielektrikum herausgezogen. Bestimme Spannung, Ladung und Energie des Kondensators. (TIPP: Überlegen Sie welche Variable konstant bleibt); Falls noch Zeit ist
- wie hätte man Teil b) rechnen müssen, wenn das Dielektrikum nur 1 mm Dick gewesen wäre?

### Endergebnisse Aufgabe 1:

- Ladungsmenge =  $2 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ ; Energie  $W=9 \cdot 10^{-9}\text{ J}$ ;
- $U$  ist konstant.  $C_R=663 \cdot 10^{-12}\text{ As/V}$ ;  $Q=6 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ ;  $W=27 \cdot 10^{-9}\text{ J}$ ;  $C$ ,  $Q$ ,  $W$  verdreifachen sich
- $Q$  bleibt konstant.  $Q=6 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ .  $C_0=221 \cdot 10^{-12}\text{ As/V}$ .  $W=81 \cdot 10^{-9}\text{ J}$
- zwei serielle Kondensatoren; in Summe also  $331 \cdot 10^{-12}\text{ As/V}$



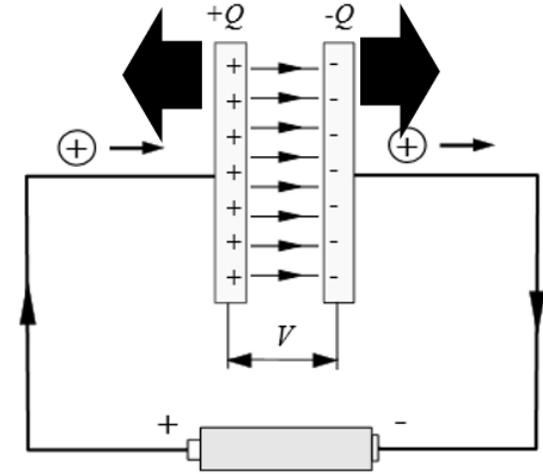
## Flipped Classroom #3 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 2:** Ein Plattenkondensator ( $A=0,05\text{m}^2$ ;  $d=2\text{ mm}$ ;  $\epsilon_0=8,854 \cdot 10^{-12}\text{ As/Vm}$ ) ist mit einer Spannungsquelle ( $U=9\text{ V}$ ) verbunden und aufgeladen.

- Berechne die Ladungsmenge (As) auf und die Energie (J) im Kondensator.
- Die Platten werden auseinanderbewegt ( $d=4\text{ mm}$ ). Was passiert?  
(TIPP: Überlegen Sie welche Variable konstant bleibt) Bestimme Spannung, Ladung und Energie am Kondensator.
- Die Spannungsquelle wird nun abgeklemmt, dann die Platten wieder auf  $2\text{ mm}$  zusammen geschoben. Bestimme Spannung, Ladung und Energie des Kondensators.  
(TIPP: Überlegen Sie welche Variable konstant bleibt);

Falls noch Zeit ist

- was würde passieren wenn man nach c) die Platten  $100\text{ m}$  weit auseinander gezogen hätte?



### Endergebnisse Aufgabe 2:

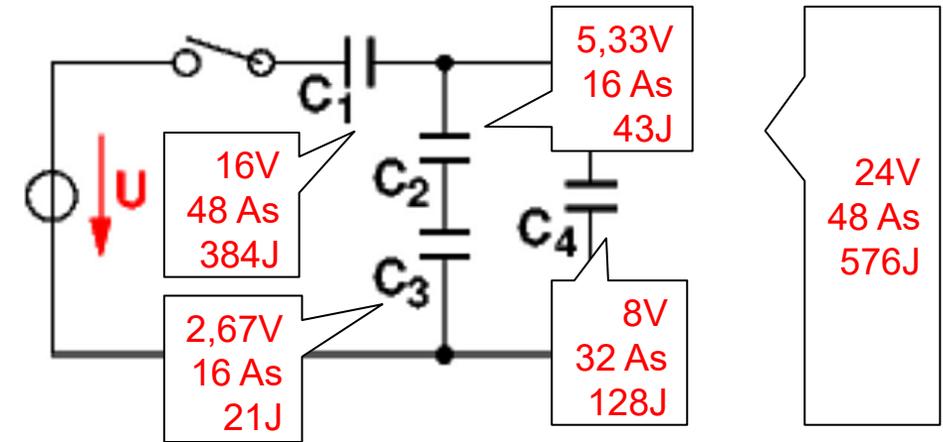
- $C_0 = 221 \cdot 10^{-12}\text{ As/V}$ ;  $Q = 2 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ ;  $W = 9 \cdot 10^{-9}\text{ J}$ ;
- $U$  ist konstant!  $C_R = 110,5 \cdot 10^{-12}\text{ As/V}$ ;  $Q = 1 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ ;  $W = 4,5 \cdot 10^{-9}\text{ J}$ ;
- $Q$  bleibt konstant!  $Q = 1 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ ;  $C_0 = 221 \cdot 10^{-12}\text{ As/V}$ ,  $U = 4,5\text{V}$ ;  $W = 2,25 \cdot 10^{-9}\text{ J}$
- $Q$  konstant  $Q = 1 \cdot 10^{-9}\text{ As}$ ; es wäre weniger ein Plattenkondensator als mehr zwei extrem weit entfernte Punktladungen

## Flipped Classroom #3 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 3:** Kondensator-Schaltung: In der gegebenen Schaltung mit  $U=24\text{V}$ ,  $C_1=3\text{F}$ ,  $C_2=3\text{F}$ ,  $C_3=6\text{F}$  und  $C_4=4\text{F}$  enthalten die Kondensatoren keine Ladung.

- Wie groß ist die Gesamtkapazität  $C_{\text{ges}}$  [F] der vier Kondensatoren und wie groß ist die die gespeicherte Energiemenge  $W_{\text{ges}}$  [J], wenn der Schalter geschlossen wurde.
- Welche Spannungen  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  und  $U_4$  [V] liegen dann an den einzelnen Kondensatoren an?
- Wie groß ist die gespeicherte Energiemenge  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  und  $W_4$  [J] der Einzelkondensatoren?

*Tipps: a) Kondensatoren sukzessive zusammenfassen und Ersatzschaltbild mit jeweils einem Kondensator weniger! b) Umgekehrt, zuerst den EINEN (Ersatz) Kondensator berechnen, danach die Schritte aus a) rückwärts gehen, so dass für jeden Kondensator Ladung  $Q_x$  und Spannung  $U_x$  bekannt sind.*



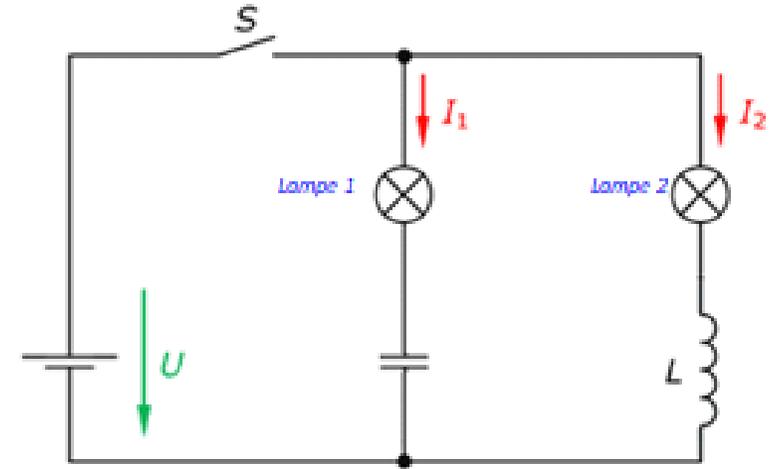
### Endergebnisse Aufgabe 3:

- $C_{1,2,3,4} = 2\text{F}$ ;  $W_{\text{ges}} = 576\text{J}$  ( $=0,16\text{Wh}$ );
- $U_1=16\text{V}$ ;  $U_2=5,333\text{V}$ ;  $U_3=2,666\text{V}$ ;  $U_4=8\text{V}$
- $W_1=384\text{J}$ ;  $W_2=43\text{J}$ ;  $W_3=21\text{J}$ ;  $W_4=128\text{J}$

## Flipped Classroom #3 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 4:** Eine Spannungsquelle versorgt über einen An/Aus-Taster zwei parallele, identische Glühlampen  $L_1$ ,  $L_2$ ; zu der ersten Glühlampe ist ein Kondensator, zur zweiten Glühlampe ist eine Spule  $L$  in Reihe geschaltet. Der Energieinhalt von Spule und Kondensator sind im geladenen Zustand gleich.

- Beschreibe qualitativ wie sich das Leuchtverhalten der beiden Glühlampen beim Schließen des Tasters zeitlich verändert.
- Was geschieht, wenn der Taster wieder geöffnet wird? (qualitative Beschreibung des zeitlichen Verhaltens der beiden Lampen)
- Wie groß muss die Kapazität des Kondensators sein, damit die Energiemenge mit der Spule (10 H) identisch ist (Widerstand  $R$  der Lampen je  $50 \Omega$ )?



### Endergebnisse Lösung 4:

- Einschalten: Lampe 1 leuchtet sofort mit voller Leuchtstärke und wird immer dunkler und erlischt. Lampe 2 noch dunkel und wird danach immer heller.*
- Beim Öffnen des Schalters leuchten beide Lampen sofort mit voller Helligkeit und erlöschen dann langsam*
- $C = 0,004 \text{ As/V} = 4 \text{ mF}$

## Flipped Classroom #3 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

**Aufgabe 5:** Eine Spannungsquelle (5V) versorgt über einen An/Aus-Taster zwei parallele, identische Glühlampen  $S_1$ ,  $S_2$  (je  $50 \Omega$ ); zu der zweiten Glühlampe ist eine Spule  $L$  (10H) in Reihe geschaltet.

a) Beschreibe qualitativ wie sich das Leuchtverhalten der beiden Glühlampen beim Schließen des Tasters zeitlich verändert.

b) Was geschieht, wenn der Taster wieder geöffnet wird? (qualitative Beschreibung des zeitlichen Verhaltens der beiden Lampen)

c) Bestimme die Energiemenge in der geladenen Spule und gebe die maximale Leistung der beiden Glühlampen zum Vergleich an.

Falls noch Zeit ist d) Nehme an, die Luftspule hat einen Querschnittsfläche von  $1 \text{ cm}^2$  und  $5 \text{ cm}$  Länge, wie viele Wicklungen sind nötig um die o.g. Induktivität von  $10 \text{ H}$  zu erreichen? ( $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )

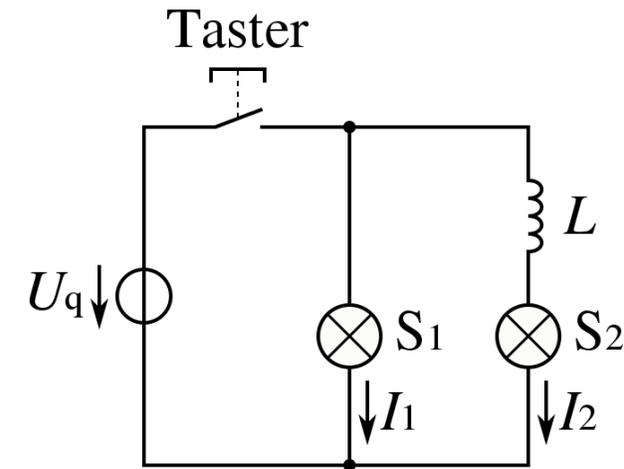
### Endergebnisse Lösung 5:

a) Beim Einschalten leuchte Lampe  $S_1$  sofort auf (volle Leuchtstärke), Lampe  $S_2$  bleibt zuerst dunkel und beginnt dann zu leuchten bis zur vollen Leuchtstärke

b) Beim Öffnen des Schalters leuchten beide Lampen mit voller Helligkeit danach werden sie langsam dunkler

c)  $I = 0,1 \text{ A}$ ;  $P = 0,5 \text{ W}$ ; insgesamt  $1 \text{ W}$ ;  $E = 0,05 \text{ Ws}$ ;

d)  $N = 63.000$  Wicklungen



$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$

## Flipped Classroom #3 - „Break-Out Session“ mit Lösungen

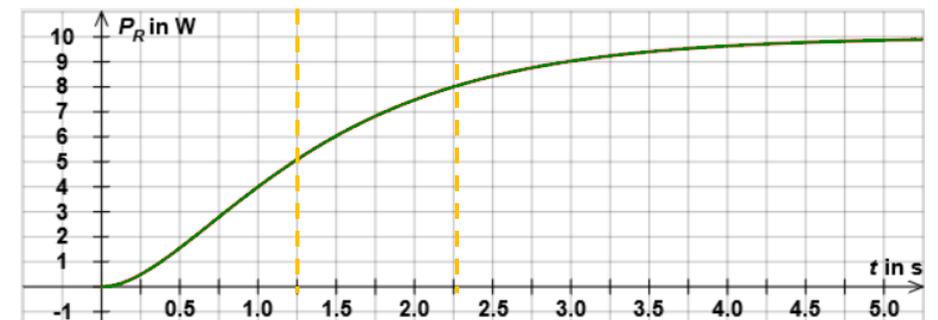
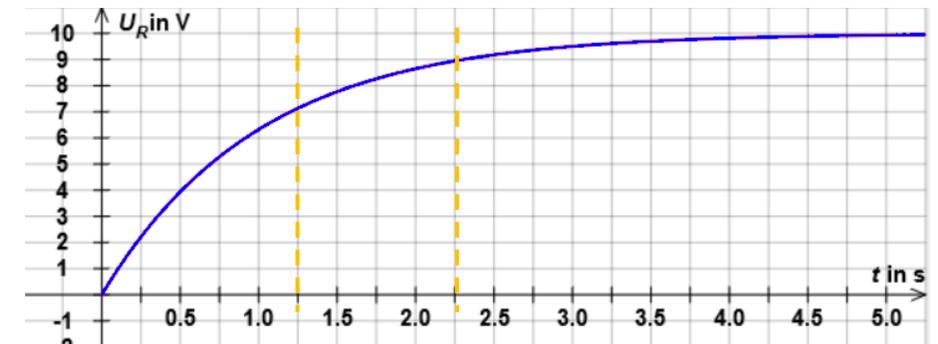
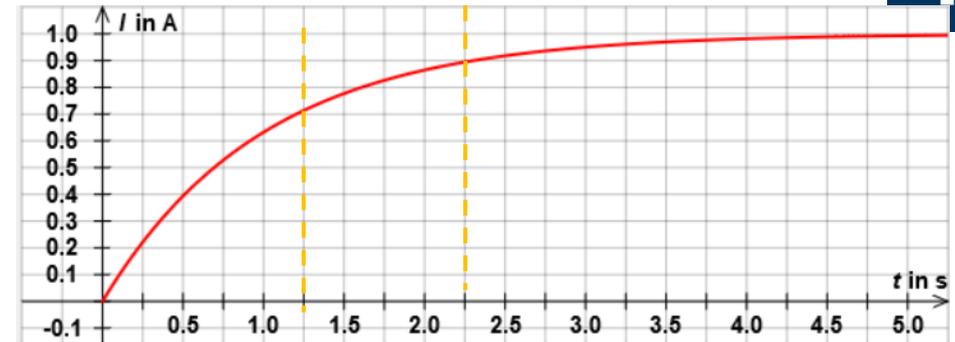
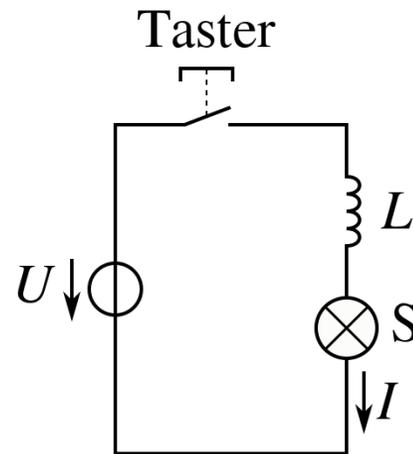
**Aufgabe 6:** Eine Spannungsquelle (10V) versorgt über einen An/Aus-Taster Glühbirnen S ( $10\ \Omega$ ) zu der eine Spule L (10H) in Reihe geschaltet ist.

- a) Berechnen Sie den Strom  $I$  [A] und die Spannung  $U$  [V] an der Glühbirne und deren Leistung nach 1,25 s und 2,25 s nach betätigen des Tasters;  
 b) wie groß ist die maximale Leistung der Glühbirne und wie viel Energie ist maximal in der Spule gespeichert?

### Endergebnisse Lösung 6:

a) nach 1,25 s ( $e^{-1,25}=0,2865$ ): **0,71 A; 7,1 V; 5 W** ;  
 nach 2,25 s ( $e^{-1,25}=0,1054$ ): **0,89 A; 8,9 V; 8 W**

b) Leistung Glühbirne: 10 W ;  
 Energiemenge Spule:  $E= 5\ \text{Ws}$ ;



# 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)