

**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

**0. Allgemeines**

**0. Basic Information**

**Vorlesung #0**

**| Lecture #0**



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/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/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/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)





## Content Energy Storage

The lecture provides an application-oriented overview of the entire field of energy storage. Building on the fundamentals of storage and energy systems as well as the role of storage in them, three areas of technology are covered: electrical storage systems, thermal storage systems and chemical storage systems. In addition, the operation of electrical storage systems in various applications and the techno-economic simulation of these.

The following topics are addressed in detail: Basics of energy supply / storage, electrical storage (pump storage, compressed air storage, supercaps, superconducting magnetic coils, lithium / lead batteries, flow batteries); thermal storage (sensitive, latent etc.); chemical storage (hydrogen, methane, other fluids) and specialized markets

The lecturer is Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch (Head of Cross-Energy-Systems at the Faculty of Mechanical Engineering at the Ruhr University Bochum - RUB).

The teaching format is designed as so-called "blended learning", i.e. a mixture of online and face-to-face teaching with self-learning components. Specifically, this means that the lecture is available as a video (.mp4) and slides (.pdf) in German (slides with an additional English translation), the exercises are intended as group or individual exercises in presence and for self-learning and checking of understanding Moodle -Questions are involved.

# Energiespeichertechnologien 2/2 SWS, 5 CP

**Zielgruppe: MB/UTRM-MA: techn. Wahlfach**

Die Vorlesung vermittelt einen anwendungsorientierten Überblick über das gesamte Feld der Energiespeicherung. Aufbauend auf den **Grundlagen** der Speicherung und der Energiesysteme sowie der Rolle von Speichern in denselben, werden drei Technologiebereiche abgedeckt: **Elektrische Speichersysteme**, **Thermische Speichersysteme** und **Chemische Speichersysteme**. Darüber hinaus noch der Betrieb von elektrischen Speichersystemen in verschiedenen Anwendungen sowie die **techno-ökonomische Simulation** dieser.

Im Detail werden folgende Themen adressiert: Grundlagen der Energiebereitstellung/Speicherung, Elektrische Speicher (Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Supercaps, Supraleitende magnetische Spulen, Lithium-/Blei-Batterien, Flow-Batterien); thermische Speicher (sensible, latente etc.); chemische Speicher (Wasserstoff, Methan, andere Fluide) sowie spezielle Märkte.

Der **Dozent** ist **Prof. Dr.-Ing. Christian Doetsch** (Lehrstuhlhaber Cross-Energy-Systems an der Fakultät Maschinenbau der Ruhruniversität Bochum - RUB).

Das **Lehrformat** ist als so genanntes "**Blended Learning**" angelegt, d.h. eine Mischung aus Online und Präsenz-Lehre mit Selbstlernanteilen. Konkret heißt das, dass **die Vorlesung als Video** (.mp4) und **Vortragsfolien** (.pdf) in deutscher Sprache (Vortragsfolien mit zusätzlich englischer Übersetzung) vorliegen, die **Übungen als Gruppen- oder Einzelübung** in Präsenz vorgesehen sind und zum Selbstlernen und Überprüfung des Verständnisses **Moodle-Fragen** eingebunden sind.

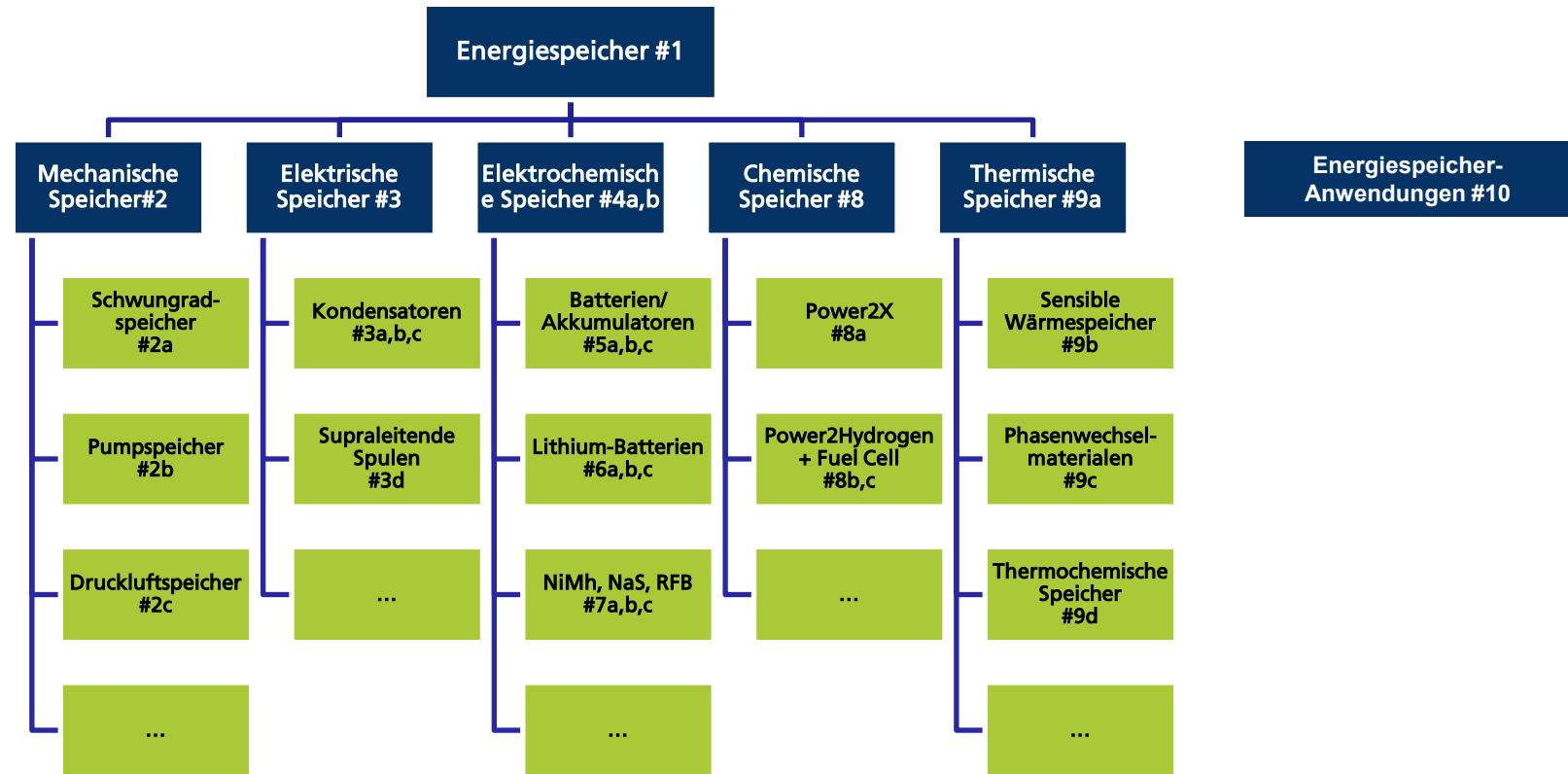
CONTENT

The lecture provides an application-oriented overview of theoretical and technical basics as well as current developments in energy storage technologies and applications and covers the following areas:

- #1 basics of energy storage,
- #2 Mechanical energy storage
- #3 Electrical energy storage
- #4-#7 Electrochemical energy storage
- #8 Chemical energy storage
- #9 Thermal energy storage
- #10 energy storage applications

INHALT

Die Vorlesung vermittelt einen anwendungsorientierten Überblick über theoretische und technische Grundlagen sowie über aktuelle Entwicklungen in der Energiespeicherung und Anwendungen und deckt die folgenden Gebiete ab:



## Productive Failure – *Produktives Scheitern* *Süddeutsche Zeitung vom 13.11.2022*

„Der Wissenschaftler (Manu Kapur) der ETH Zürich wirbt für ein Konzept namens Productive Failure, produktives Scheitern. Die Grundfrage lautet: Sollten Schüler, Studenten [...] erst inhaltliche Instruktionen bekommen und sich dann an der Lösung eines Problems versuchen?

Oder sollten sie ohne Eingangsinfos loslegen, sich versuchen und erst später Instruktionen bekommen?

Laut einer groß angelegten Meta-Analyse im Fachjournal Review of Educational Research zeigte die zweite Variante bei den meisten Lernenden Erfolge. Wer sich erst versucht, scheitert, dabei lernt, was nicht geht und erst dann hilfreiche Informationen erhält, lernt offenbar tiefer und erfolgreicher.

DESIGN LAYERS AND THE EMBODIED PRINCIPLES			
DESIGN PHASES	TASK	PARTICIPATION STRUCTURES	SOCIAL SURROUND
<b>1. Generate and explore multiple representations and solutions methods (RSMs)</b>	Design tasks that are adequately complex, engaging, and draw on students' mathematical resources	Enable collaboration to allow students to elaborate, critique, explain, and evaluate shared work, thereby further enriching the shared representation and solution spaces	Create a safe space for students to explore and generate by setting appropriate socio-mathematical norms, and providing affective support for persistence
<b>2. Organization and Knowledge Assembly</b>	Compare and contrast student-generated and canonical ideas	Enable student engagement through group presentations and students' participation; teachers act as facilitators, paraphrasing student explanations, and drawing attention to critical features	Create a safe space to explore the affordances and constraints of student-generated RSMs with a view of improving upon them, and not assessing them as correct or incorrect

*Table 1: Implementation of the design principles in the design of task, participation structures and social surround*

Siehe auch: <https://www.manukapur.com/productive-failure/>

## Blended Learning – *Flipped Classroom*

// Blended learning is both simple and complex. At its simplest, blended learning is the thoughtful integration of classroom face-to-face learning experiences with online learning experiences.

Garrison and Kanuka, 2004, 96

### WAS BEDEUTET BLENDED LEARNING UND FLIPPED CLASSROOM?

*Blended Learning* ist in aller Munde und führt zu neuen Überlegungen bei der Gestaltung von Hochschullehre. Damit wird die sinnvolle **Verschränkung von synchroner wie asynchroner Präsenz- und Online-Lehre** bezeichnet. Auf dieser Seite finden Sie Lehr-Lern-Projekte, welche eigene, innovative Ansätze ausprobieren und evaluieren.

Bei der *Flipped Classroom-Methode*, einer praktischen Umsetzung des Blended Learning-Gedankens, wird die traditionelle Präsenzlehre *umgedreht* (engl. *flipped*): Der Prozess der Wissensvermittlung und –aneignung wird aus der Lehrveranstaltung in die Selbststudienzeit verlagert. Dies wird durch den sinnvollen **Einsatz von E-Learning-Elementen** wie Vortragsvideos, Screencasts und auch interaktiven Lerneinheiten möglich gemacht. Studierende tragen dadurch beim Lernen eine hohe Eigenverantwortung. Die Methode ermöglicht es Ihnen jedoch auch bedarfsorientiert über die eigene Vorgehensweise zu entscheiden.

Die gemeinsame **Zeit in Präsenzveranstaltungen** ist frei verfügbar für gezieltes Üben und kann zum Beispiel durch vorgeschaltete Verständnisfragen, das Vertiefen und Wiederholen, kollaboratives Arbeiten und die Aktivierung der Studierenden genutzt werden.

<https://www.uni-leipzig.de/kollektion-lehrpraxis/methoden-und-formate/flipped-classroom-und-blended-learning>

## Methodisches Konzept (Plan) - **PRÄSENZ**

**Semester** 13 „Lern“-Termine a 90-120 min incl. 1 Fragen/Klausurvorbereitung + 1 Reservetermin

### Vorlesung

- **Vorbereitung Studierende**

**Je Lerneinheit ca.** 60-120 min Vorlesung als Videos (außer erste Vorlesung!)

### Übung

90 min live Übung in Kleingruppen im flipped classroom Format (Ab der 3. Vorlesung!)

- **Aufgabenstellungen in Gruppenarbeit mit abschließender Präsentation**

Aufgabenstellung für Gruppenarbeit in Präsenz mit je 5-7 Teilnehmern Es werden zumeist kleinere Aufgaben gerechnet inkl. kurzer Internet-Recherchen. Den Abschluss bildet jeweils eine kurze Ergebnispräsentation der Gruppe.

### MOODLE

Je Lerneinheit gibt es ca. 5-9 Moodle-Aufgaben als Multiple- oder Single-Choice, als Rechenaufgabe, als Grafik-Beschriftungsaufgaben etc.. Diese dienen der Nachbereitung der Vorlesung und Vorbereitung zur Klausur. Es erfolgt KEINE Bewertung, sie dienen der reinen Selbstkontrolle bezüglich des Verständnisses.

### Klausur (120 min)

Es werden prinzipiell alle Themen adressiert. Schwerpunkte sind das technische, chemische und teilweise ökonomische Verständnis, das Einsortieren des Wissens in größere Zusammenhänge, die Größenordnung von Angaben (bspw. Energiedichte von X ist größer als Y) und das Anwenden des Wissens in Form von kleinen Beispielaufgaben. Zum notwendigen Wissen gehören auch die Anwendung relevanter Berechnungsformeln und chemische Reaktionsgleichungen. Exakte Stoffwerte oder Naturkonstanten werden in Prüfungen angegeben ebenso ein Formelverzeichnis.

# Methodisches Konzept Übung - *Präsenz*

Live - Event

90 min live „Event“ im Hörsaal

## *Einstieg*

### 1. Einstiegsfragen (5 min)

zu Beginn: 2-5 Single-/Multiple-Choice-Fragen zur Vorlesung. Jeweils Erklärung der Antwort anhand einer Folie aus der Vorlesung.

(Ziel Wissensstand eruieren bzw. Missverständnisse auffinden und vor allem Studierende motivieren sich vorzubereiten, KEINE Wiederholung der Inhalte der Vorlesung – sonst Fehlanreiz sich NICHT vorzubereiten)

### 2. Verständnisfragen (5 min)

Bitte direkt stellen. Erfahrungsgemäß sind es hier 0-2 Fragen.

## *Anwendung des erlernten Wissens*

### 3. Aufgabenstellungen (5 min)

Kurze Aufgabenstellung für Arbeitsgruppen mit je 4-7 Teilnehmern. Es werden zumeist kleinere Aufgaben gerechnet inkl. kurzer Internet-Recherchen.

### 4. Aufgaben Rechnen (45-60 min)

ca. 45-60 Minuten in den Arbeitsgruppen

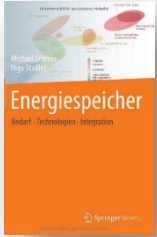
### 5. Gruppenvorstellung (15 min)

ca. 5 min je Gruppe bzw. Aufgabe

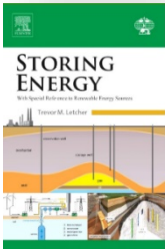
### 6. Abschluss (5 min)

Abschlussfrage nach größtem (bestehendem) Problem und/oder größter Erkenntnis  
Hinweis auf diese Aufgaben und auch Moodle-Aufgaben in der Klausur vorkommen können bzw. werden

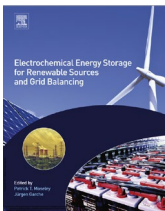
# Literaturempfehlungen / Literature



Sterner, M.; Stadler, I. [Hrsg./Ed.]:  
„Energiespeicher – Bedarf – Technologien – Integration“  
ISBN-13: 978-3642373794 Sprache/Language: Deutsch/German



Letcher, T.M. [Hrsg./Ed.]: „STORING ENERGY:  
with Special Reference to Renewable Energy Sources “  
ISBN-13: 978-0-12-803440-8 Sprache/Language: Englisch



Moseley, P.T.; Garch J. [Hrsg./Ed.]: „Electrochemical Energy Storage for  
Renewable Sources and Grid Balancing“  
ISBN-13: 978-0-444-62616-5 Sprache/Language: Englisch



Hauer, A.; Hiebler, S.; Reuß, M.:  
„Wärmespeicher“  
ISBN-13: 978-3816783664 Sprache/Language: Deutsch/German



# Literaturempfehlungen / **Literature**



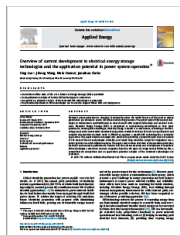
„Energiespeicherung als Element einer sicheren Energieversorgung“ Ausfelder et al., Zeitschriften Artikel: 72 Seiten, [www.cit-journal.com](http://www.cit-journal.com), 2015, Chem.Ing.Tech. 2015, 87, No. 1-2, S. 17-89,



„Energiespeicher“, Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft, Eisner, Sauer et al., Abschlussbericht: 84 Seiten, Sprache: Deutsch



„Kompendium: Li-Ionen Batterien“, Juli 2015, BMWI, VDE, DKE, Abschlussbericht: 66 Seiten, Sprache: Deutsch



„Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation“; Xing Luo, Jihong Wang, Mark Dooner, Jonathan Clarke <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>

# Literaturempfehlungen / Literature



„Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review“; Mathew Aneke, Meihong Wang

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.097>



Kapitel 2 „Wasserelektrolyse“ in K. Ghaib: „Das Power-to-Methane-Konzept“, Springer, 2017, Auszug („essentials“): 9 Seiten, Sprache: Deutsch

[https://doi.org/10.1007/978-3-658-19726-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-19726-1_2)



„Transformation of the German energy system – Technology Readiness Levels 2018“; Christoph Pieper, Michael Beckmann, VGB PowerTech 8|2019

**Prof. Dr. Christian Doetsch**

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
+49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de

QR-Code: Business Card



# ORCA.nrw

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

Hochschule Düsseldorf  
University of Applied Sciences  
HSD

ISEA

Stromrichter-  
technik und  
Elektrische  
Antriebe

RWTH AACHEN  
UNIVERSITY

FH AACHEN  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

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)