Karlsruher Institut für Technologie

# Ökologische und ökonomische Performance stationärer Li-Ion-Batteriespeicher

**Dr. Manuel Baumann[1], Dr. Jens Peters[2] , Dr.-Ing. Marcel Weil[1,2]**
[1]Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) - Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
[2]Helmholtzinstitut Ulm (HIU) - Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

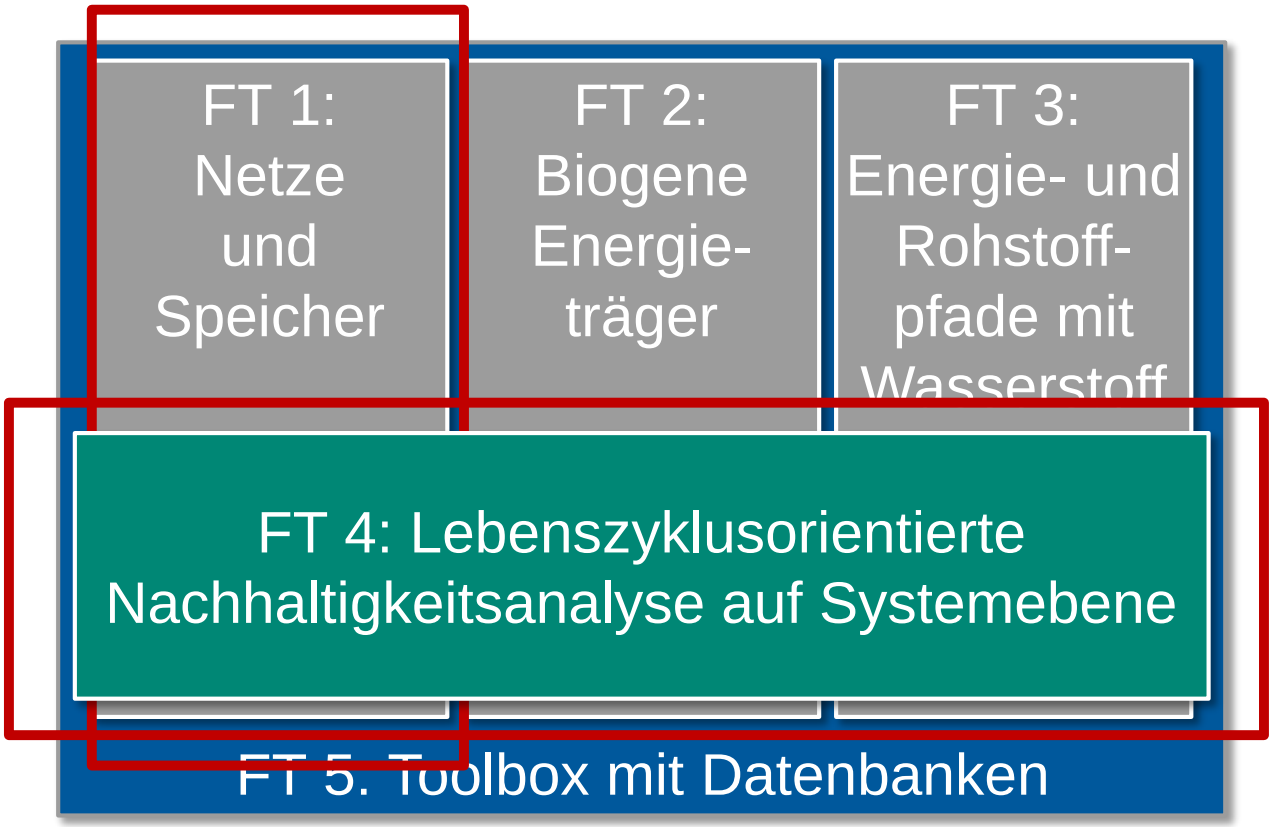
**EnInnov2018 – 15. Symposium Energieinnovation | 14.02.-16.02.2018 / TU Graz Österreich**

- Ausstieg aus der Kernenergie bis Ende 2022
- Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch bis 2050 auf 60%.
- Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 80% bis 2050.
- Reduktion des Primärenergieverbrauchs bis 2050 um 50%
- Reduktion des Stromverbrauchs bis 2050 um 25 Prozent

# HGF Initiative: Energiesystem 2050

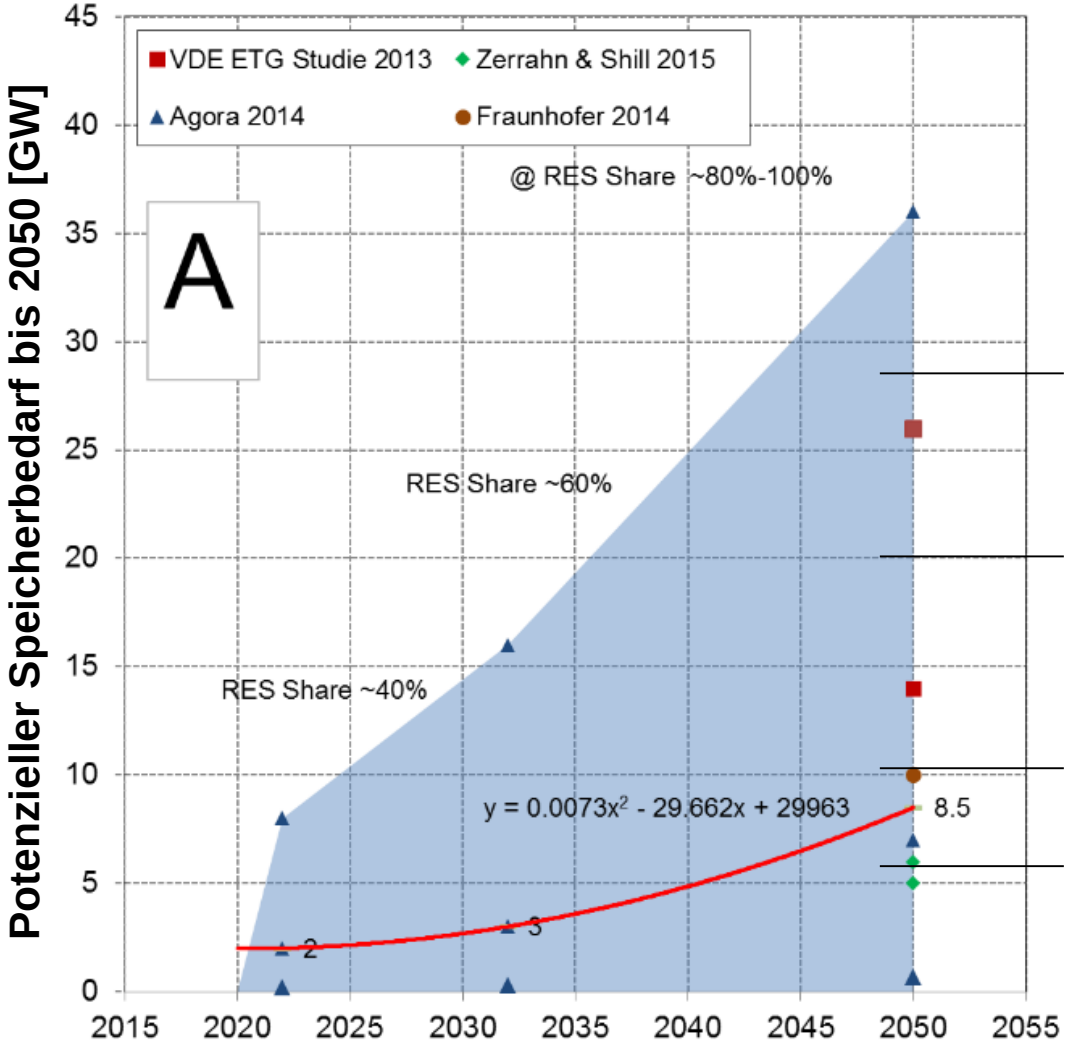
- Greift die Ziele der Energiewende auf
- Joint Initiative von HGF Zentren und Programmen (2015 – 2019)
  - Zusammenarbeit von 8 Helmholtz Zentren
    DLR, FZJ, GFZ, HZB, HZDR, IPP, KIT, UFZ
  - Derzeit ca.130 Wissenschaftler ; Budget: 15 Mio.€
- Systemische Analysen um den Herausforderungen der Energiewende zu begegnen
  - Identifikation von flexiblen & nachhaltigen Entwicklungskorridoren
  - Interdisziplinäre und intersektorale Forschungsansätze
  - Nutzung/Untersuchung großskaliger Energieinfrastruktur

# HGF Initiative: Energiesystem 2050




- http://www.helmholtz.de/en/research/energy/energie_system_2050/

# Motivation: Potenzieller Speicherbedarf




Speicherkapazität zwischen 4 - 5 std.

Installierte Leistung Gaskraftwerke in DE (2017)

Installierte Leistung Braunkohle in DE (2017)

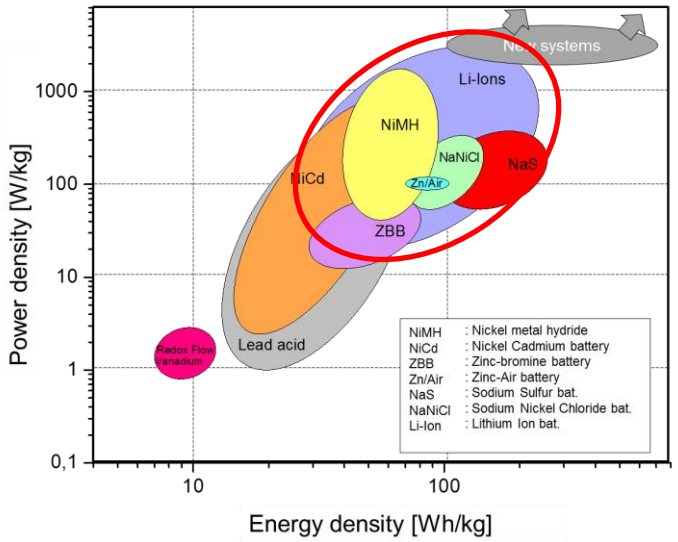
Installierte Leistung Kernenergie in DE (2017)

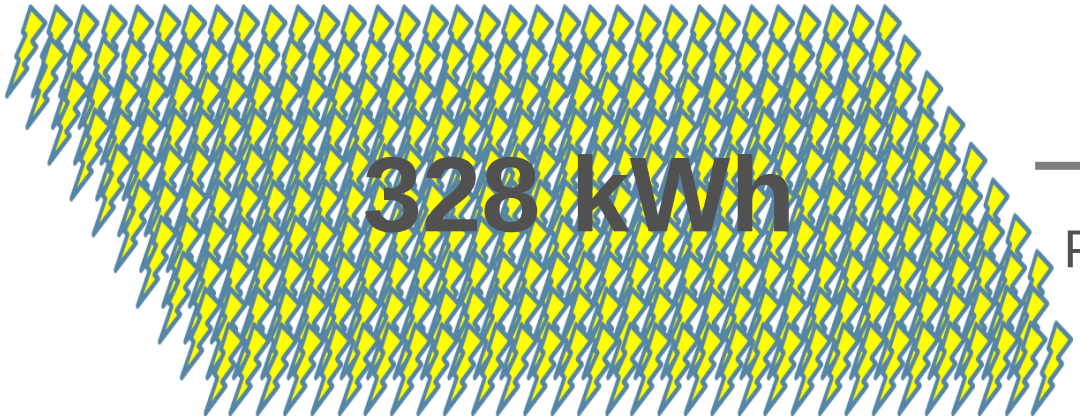
★ Pumpspeicherleistung in DE (2017)

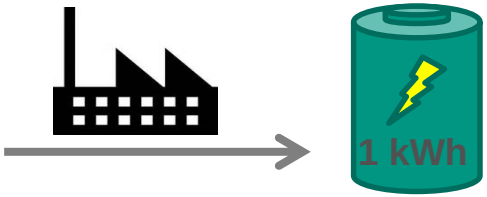
Quelle: Baumann et al. 2017

# Li-Ionen Batteriespeicher

- LFP Li-Eisenphosphat / Graphitanode
- LTO LFP / Li-Titanatanode
- NCM Li-Ni-Co-Mg-Oxid / Graphitanode
- NCA Li-Ni-Co-Al-Oxid / Graphitanode
- LMO Li-Mg-Oxid / Graphitanode



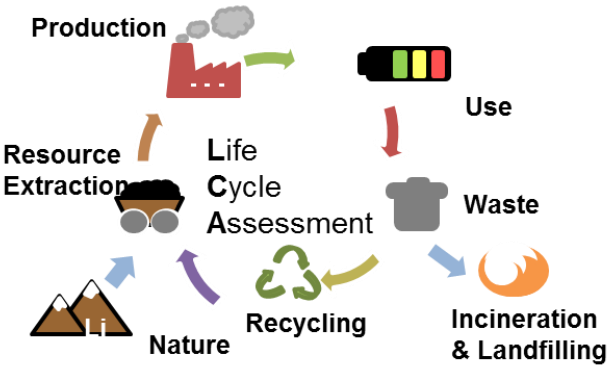




Produktion einer kWh Speicherkapazität

(Mittelwerte über bestehende Studien zur elektrochemischen Energiespeicherung mit signifikanten Abweichungen zwischen Studien- / Batteriechemie)

# Bewertungsansatz und -kriterien

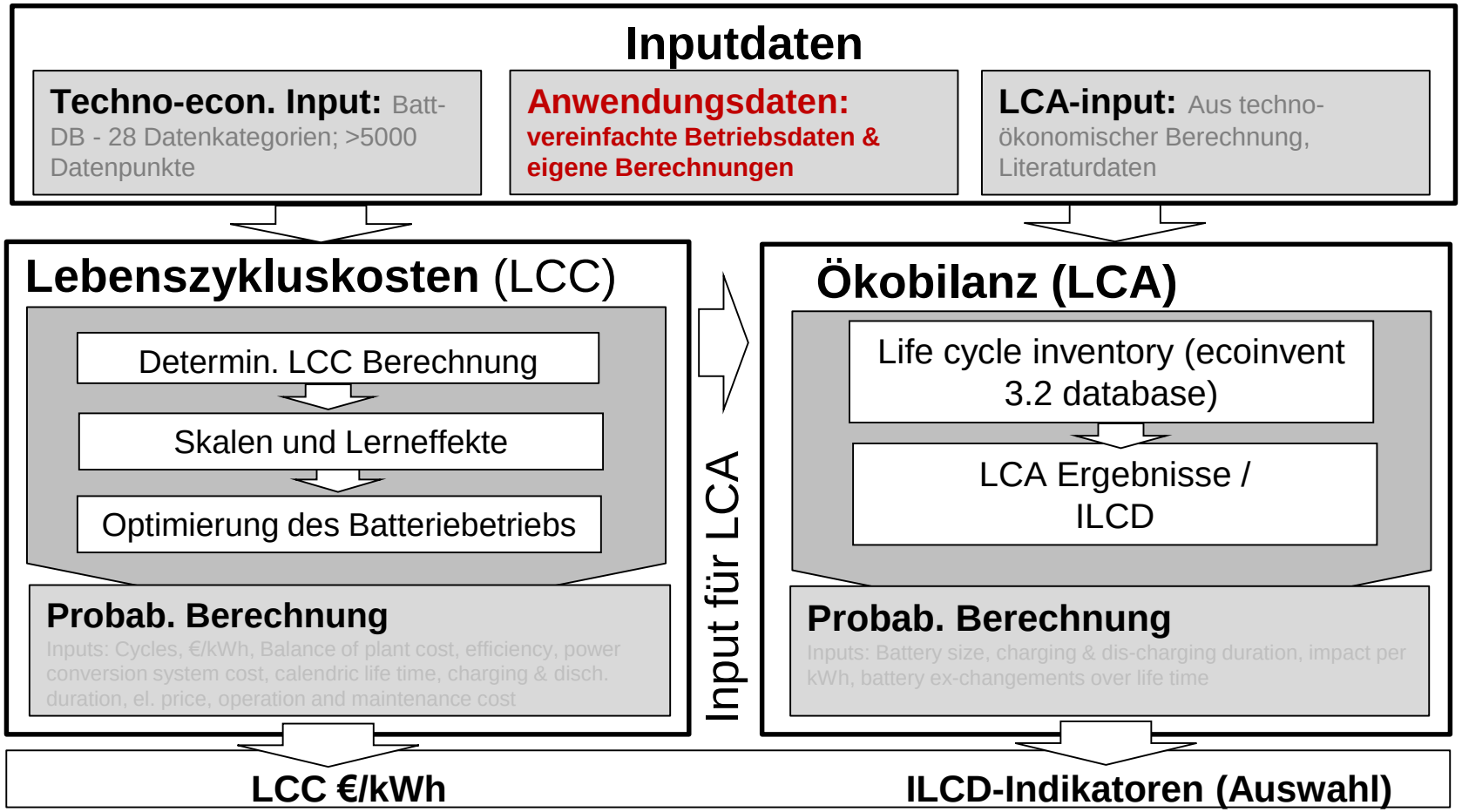
- Lebenszyklusbetrachtung
  - Deckt alle Lebensphasen eines Produktes ab
  - Mehrere Methoden verfügbar




- Life Cycle Costing –LCC / Lebenszykluskosten
  - VDI 2884
  - Funktionelle Einheit €/MWh

- Life Cycle Assessment - LCA / Ökobilanz
  - ISO 14040 & ISO 14044
  - International Reference Life Cycle Data System (ILCD)
  - Funktionelle Einheit X/kWh
  - Bsp.: GWP kg$CO_2$ eq./kWh,

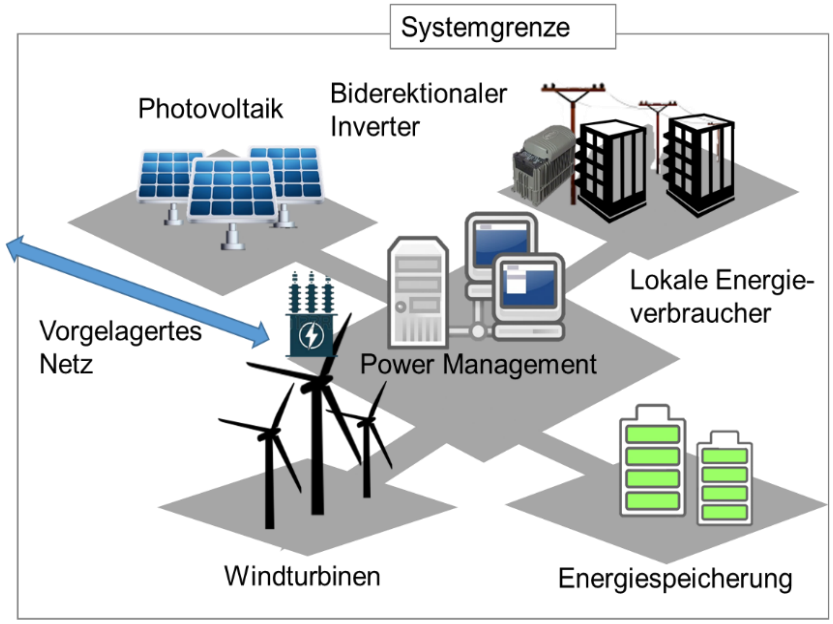
# Methodik

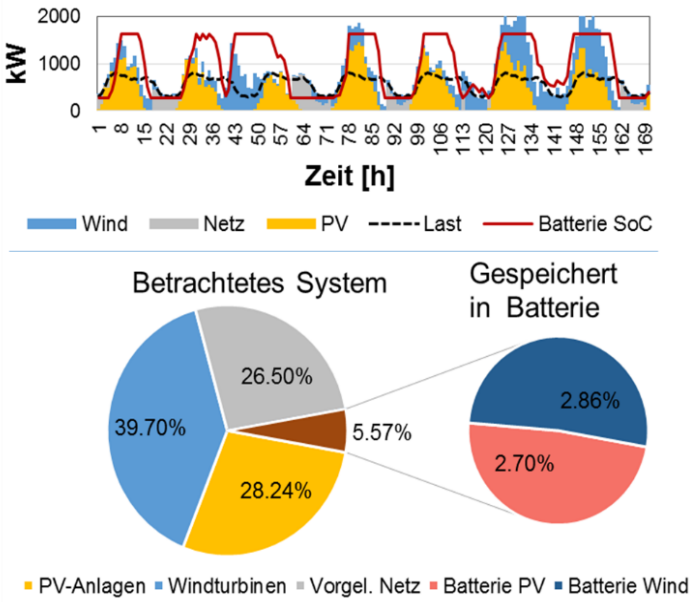



**Bewertung der Speicher**

# Anwendungsbeispiel

- PV & Windkraft / erzeugte Elektrizität lokal verbrauchen
- Einfache Abschätzung der täglich gefahrenen Zyklen (min, max, modus für Zyklen, DoD)
- Verhältnis von PV & Windkraft erzeugter Energie zur Batterieladung

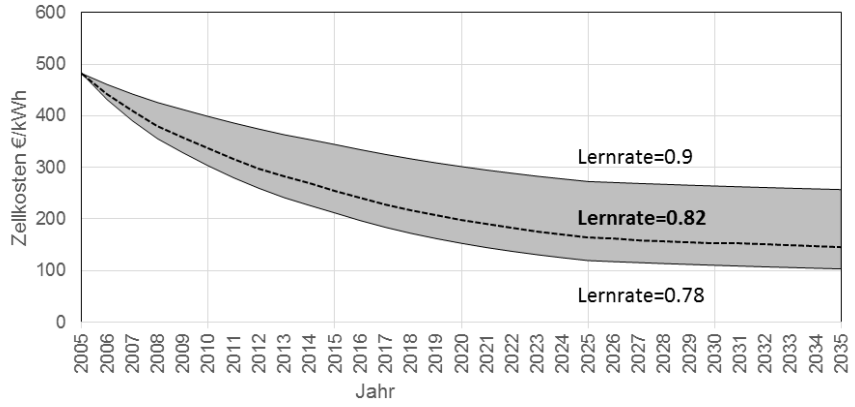


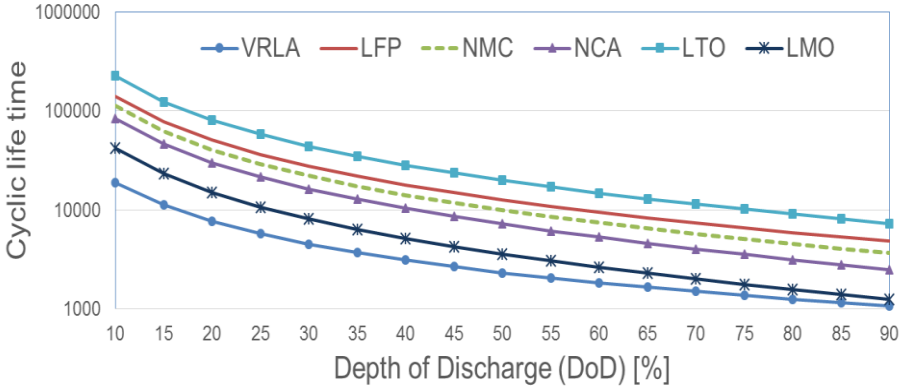



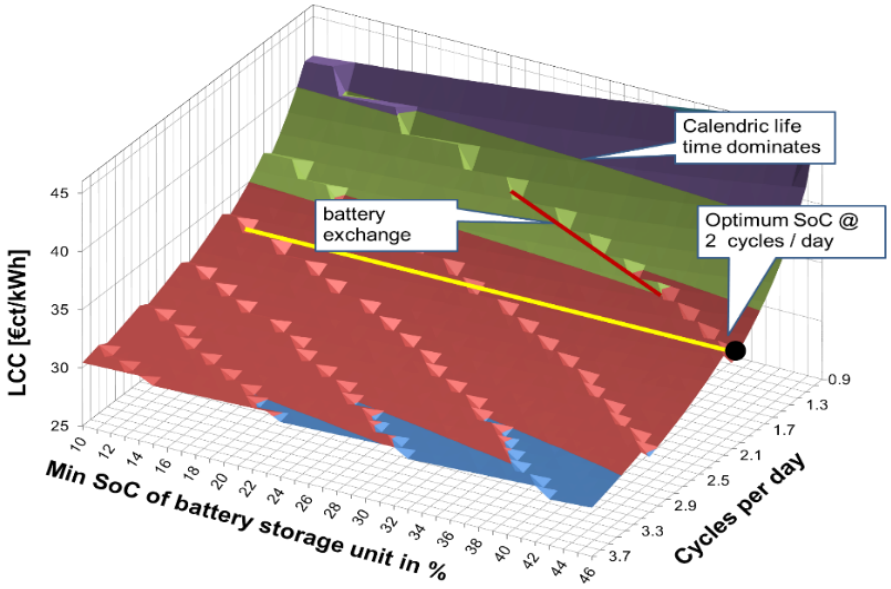

M. Baumann, et al, “Environmental impacts of different battery technologies in renewable hybrid micro grid systems,” IEEE International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, Torino Italy, 2017.

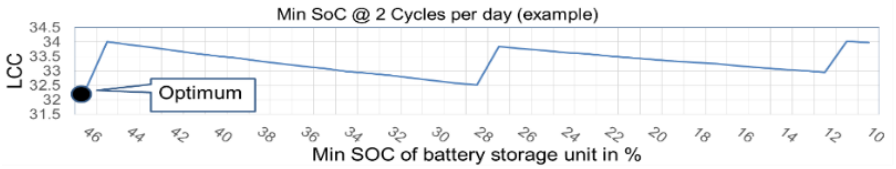
# Techno-ökonomische Modellierung

- Bsp. für Li-Ion-Zellen: Lernraten, Lebensdauer, SoC-Optimierung



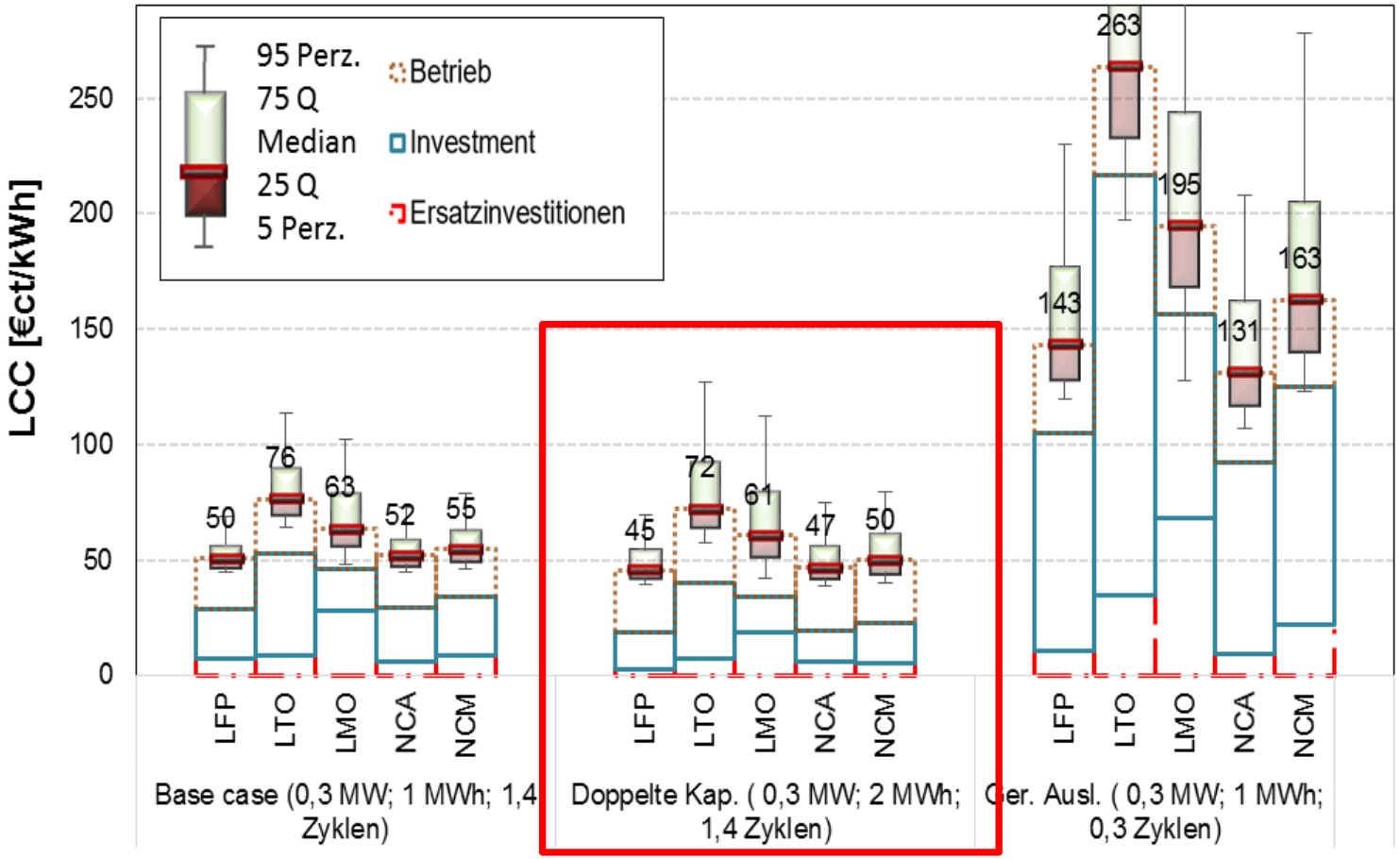




Baumann, et al, “CO2 footprint and life cycle costs of electrochemical energy storage for stationary grid applications,” *Energy Technol.*, Dec. 2016.

# Lebenszykluskosten

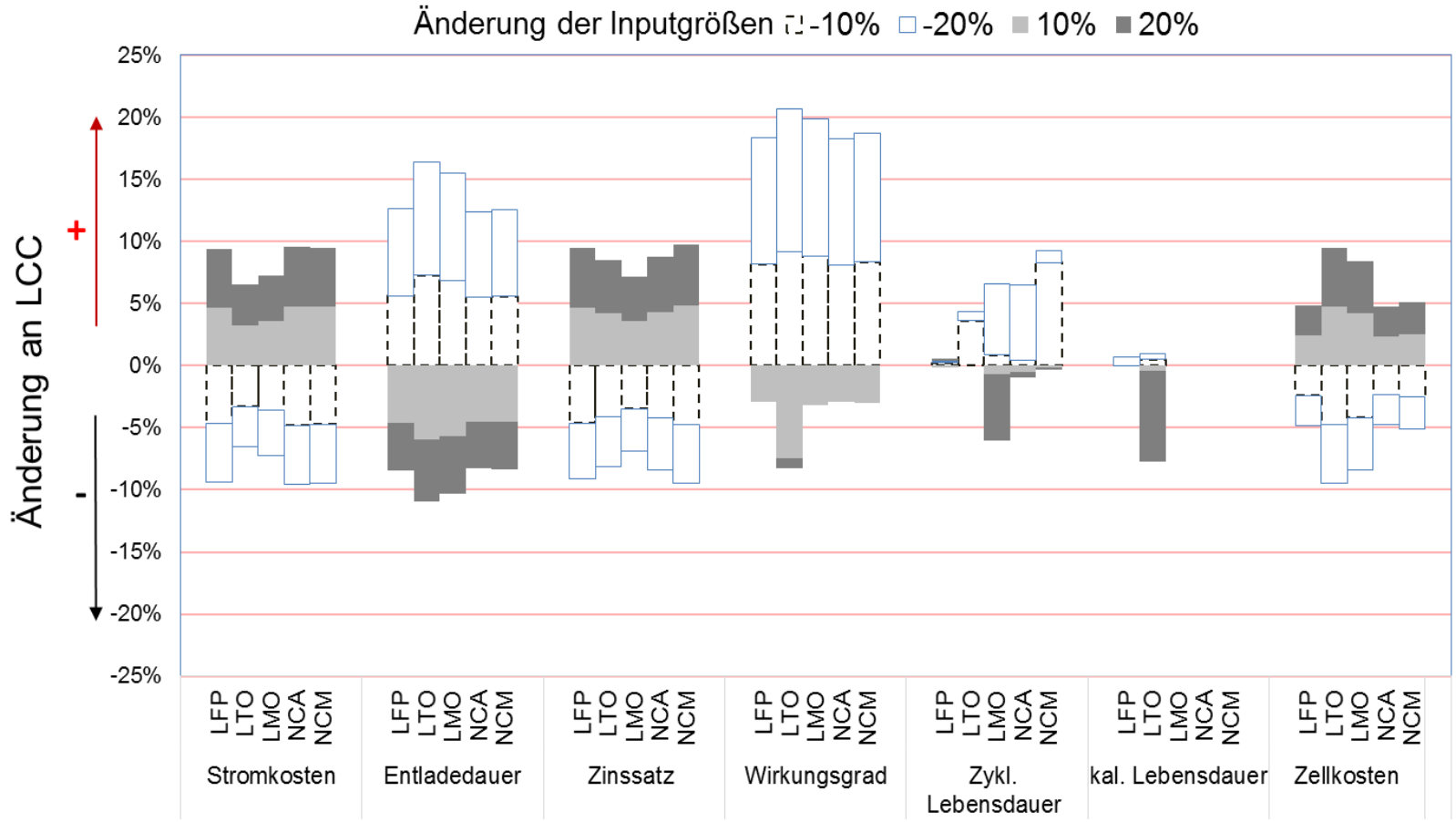
# Lebenszykluskosten Ergebnisse

- Drei unterschiedliche Fälle: Basecase / Doppelte Kap. / Geringe Auslastung



# Lebenszykluskosten Sensitivitätsanalyse

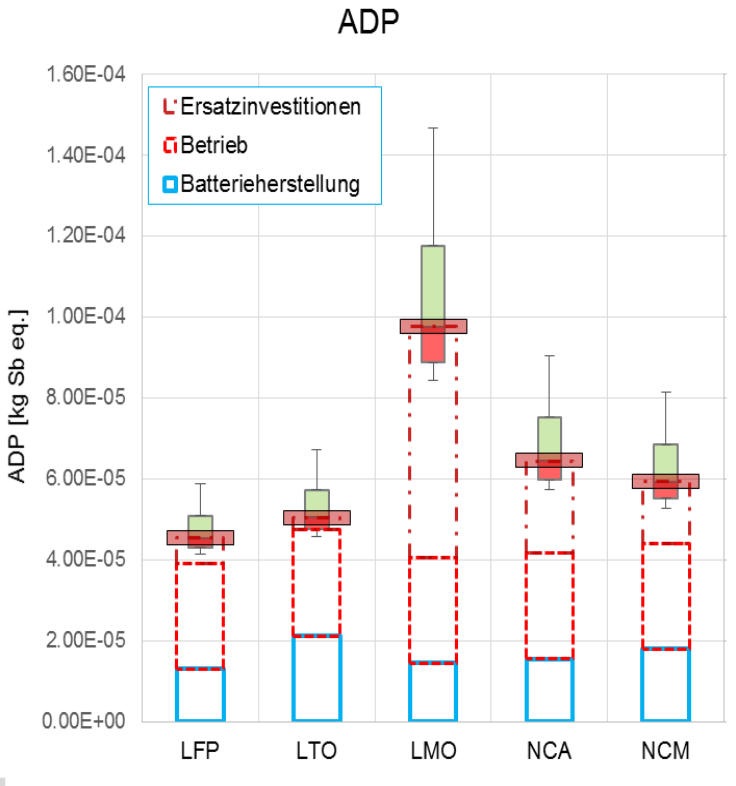
- Variierung ausgewählter Inputparameter (Mediane / Base-case)

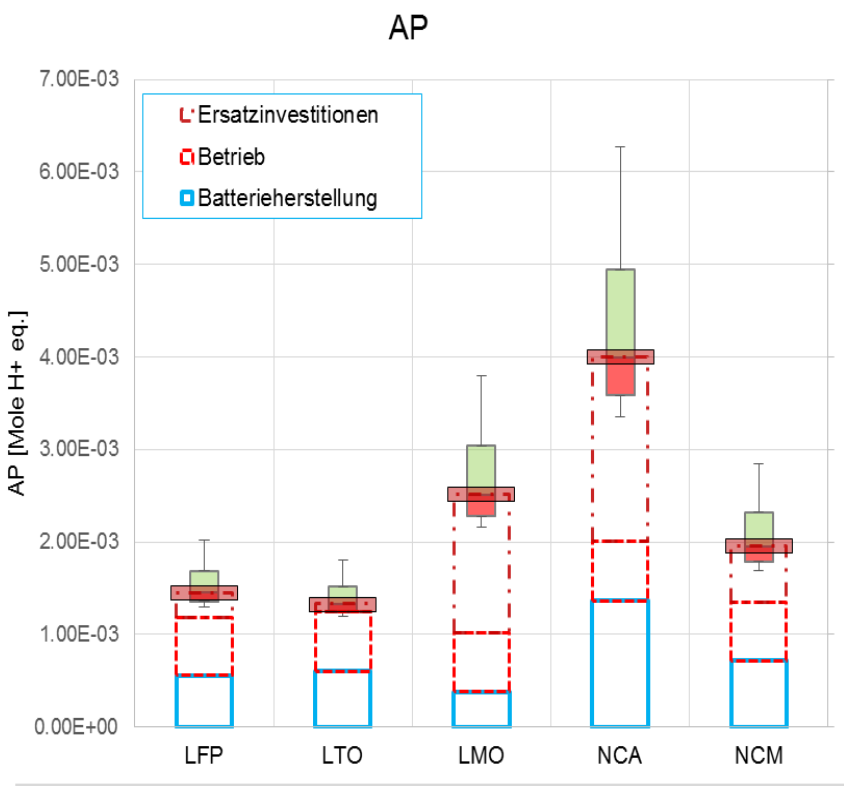


# Ökobilanzergebnisse

# LCA-Ergebnisse

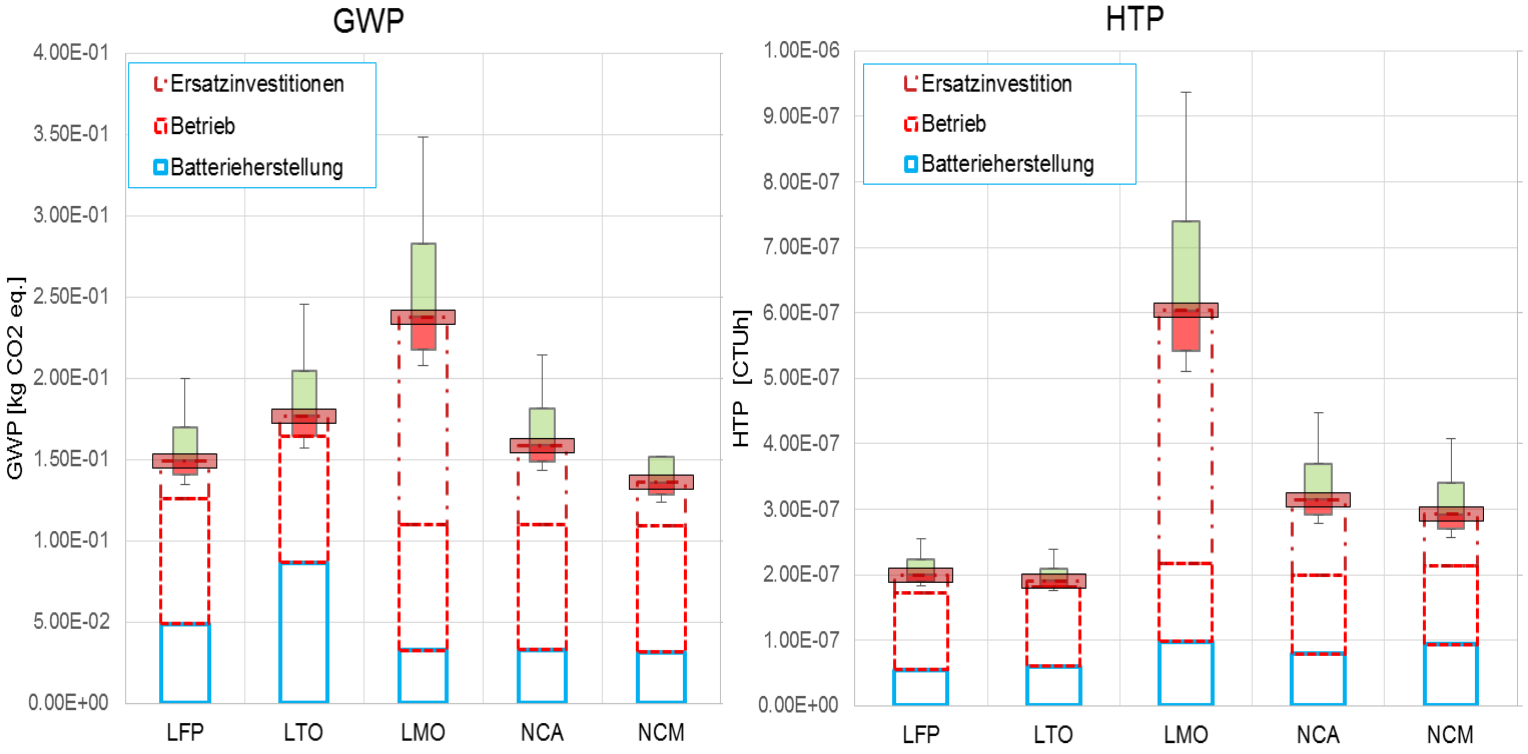
- Ressourcenverarmungspot. (engl. abiotic depletion potential; **ADP**):
  - Verknappung endlicher Ressourcen (z.B. Öl, Metalle)
- Versauerungspotential (engl. acidification potential; **AP**):
  - Saurer Regen, Gewässerversauerung (z.B. durch $SO_2$, $NH_3$)



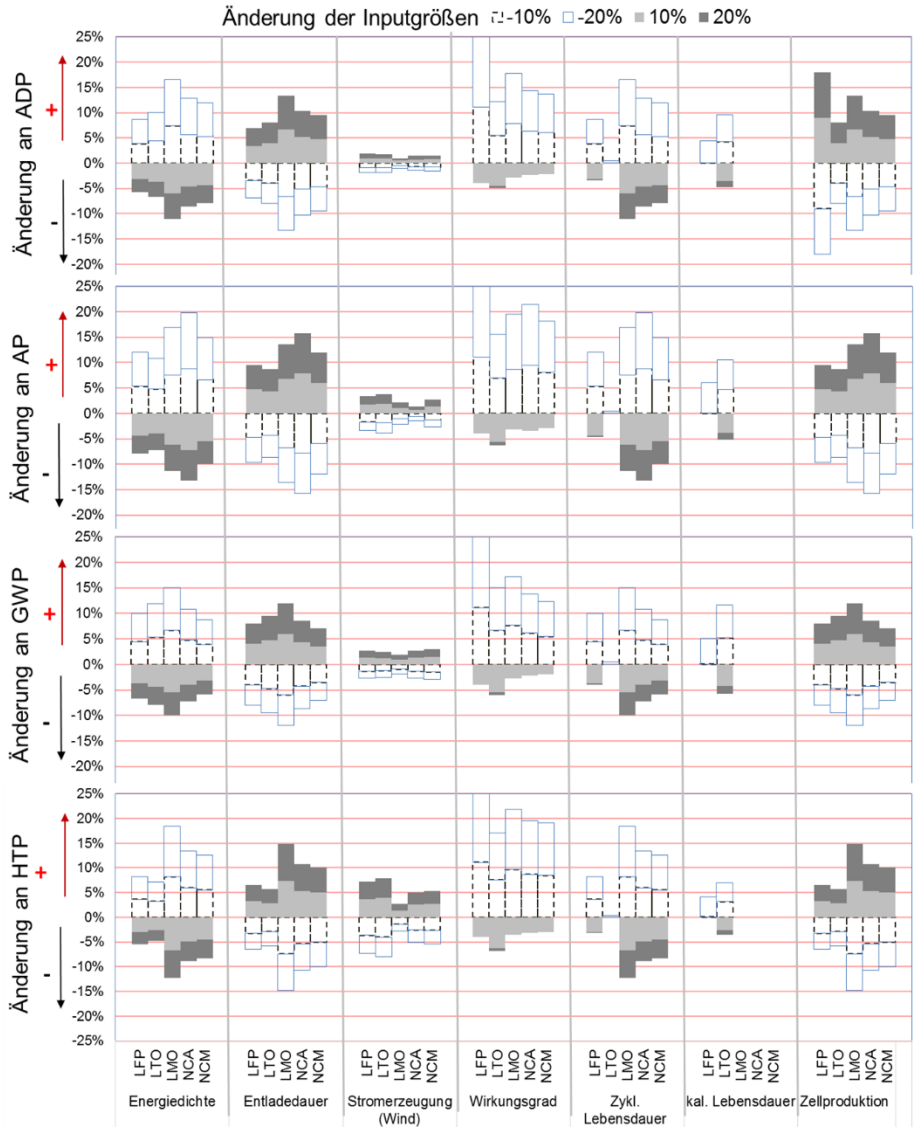
# LCA-Ergebnisse

- Erderwärmungspotential (engl. global warming potential **GWP**):
  - Beitrag zum Klimawandel ($CO_2$, $CH_4$, $N_2O$ etc.)
- Humantoxizitätspotential (**HTP**):
  - Emission gesundheitsschädlicher Substanzen (z.B. krebsgefährdende)



# LCA-Sensitivitätsanalyse

- Variierung der Inputparameter (um Mediane / Base-case)
- Auswirkungen für alle Parameter ähnlich
- Ausprägung ändert sich je nach Umweltauswirkungskategorie und Technologie
- Änderung von Wirkungsgrad, Energiedichte und zykl. Lebensdauer hat sehr unterschiedliche Auswirkungen (abh. von Zellchemie)



# Diskussion

- LCA und LCC variieren stark je nach Zellchemie, Szenario- und Parameterannahmen
- Hohe Unsicherheiten / große Bandbreite an Inputparametern aus verwendeter Batteriedatenbank → Sensitivitätsanalyse
- Schwierig eine eindeutige Antwort für die Vorteilhaftigkeit einer Li-basierten Technologievariante zu geben
  - Innerhalb der Umweltfaktoren / Bsp. AP NCA vs. HTP LMO
  - Zwischen LCC und LCA / Bsp. LTO vs. LMO
  - Sensitivitäten abh. von Kategorie & Technologie
- Entsorgung und Recyclingpotential wurden nicht betrachtet
  - Kaum differenzierbare Daten zu den zellspezifischen Recyclingpotenzialen
  - Es besteht hier weiterer Forschungsbedarf

# Kontaktdaten

**ITAS**
Institut für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse
Karlstraße 11, Karlsruhe
Deutschland
**http://www.itas.kit.edu/**

**Forschungsbereich: Innovationsprozesse und Technikfolgen**


**Manuel Baumann**
Manuel.baumann@kit.edu

**Marcel Weil**
Marcel.weil@kit.edu

**Jens Peters**
Jens.peters2@kit.edu

# Literatur


- Agora Energiewende, “Stromspeicher in der Energiewende - Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienst-leistungen und im Verteilnetz,” Berlin, Sep. 2014.
- F. Adamek, T. Aundrup, W. Glaunsinger, and et al, “Energiespeicher für die Energiewende, Speicherungsbedarf und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz für Szenarien bis 2050,” VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Frankfurt am Main, Jun. 2012.
- W.-P. Schill, J. Diekmann, and A. Zerrahn, “Stromspeicher: eine wichtige Option für die Energiewende,” *DIW Wochenbericht*, vol. 10, pp. 195–205, Oct-2015.
- “Abschlussbericht Netzintegrierte Stromspeicher zur Integration fluktuierender Energie – Technische Anforderungen, ökonomischer Nutzen, reale Einsatzszenarien,” Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Technische Universität Darmstadt, EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Jülich, Sep. 2011
- M. Baumann, C. Marcelino, J. Peters, M. Weil, P. Almeida, and E. Wanner, “Environmental impacts of different battery technologies in renewable hybrid micro grid systems,” presented at the IEEE International Conference on Innovative Smart Grid Technologies, Torino Italy, 2017.
- M. J. Baumann, J. F. Peters, M. Weil, and A. Grunwald, “CO2 footprint and life cycle costs of electrochemical energy storage for stationary grid applications,” *Energy Technol.*, Dec. 2016.