

Helmholtz Institut für elektrochemische Energiespeicher Ulm (HIU)
Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS)

Umweltauswirkung, Rohstoffbedarf und Recyclingpotential von Batteriespeichern

J.F. Peters^{1,3}, M. Mohr^{1,3}, M. Weil^{1,2,3}

- ¹ Research Group Resources, Recycling, Environment and Sustainability, Helmholtz Institute Ulm for Electrochemical Energy Storage (HIU)
- ² Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS)
- ³ Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Treibhausgase



EE-Anteil



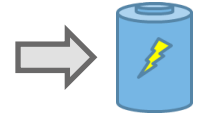
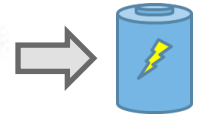
Effizienz



Wärme (Gebäude)



Verkehr



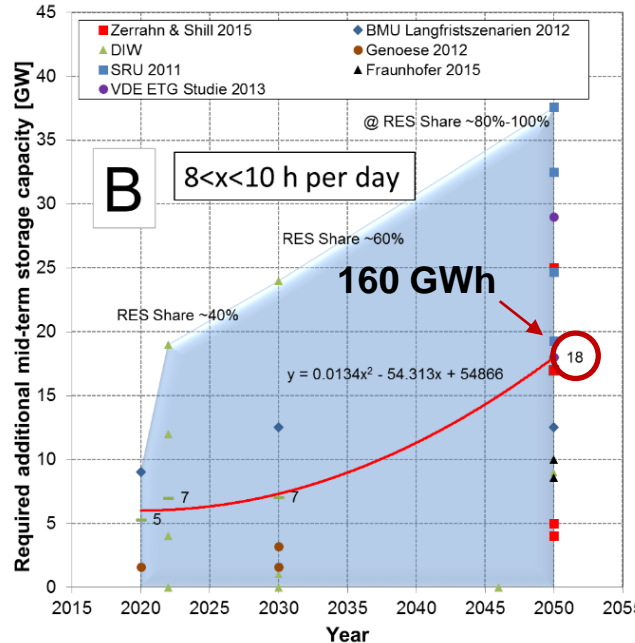
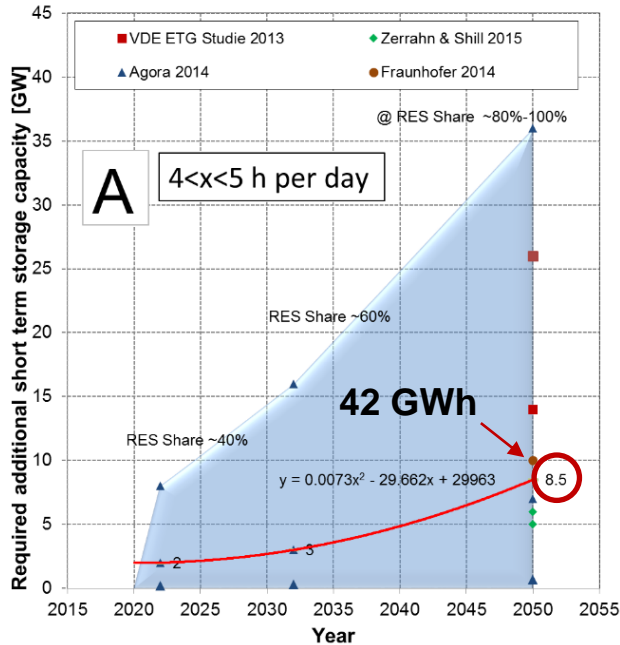
Energiespeicherbedarf



Speicherbedarf durch Energiewende DE, Welt

Versch. Studien, sehr diverse Ergebnisse

- *Basis für Abschätzungen, Extremszenarien, ..*



NOVEMBER 2017

Funded by DBU STIFTUNG MERCATOR

GLOBAL ENERGY SYSTEM BASED ON 100% RENEWABLE ENERGY - POWER SECTOR

47858 GWh
(for 100% renewables worldwide until 2050)

Study by
LUT Lappeenranta University of Technology
ENERGYWATCHGROUP

Publ. No. 20
19/2011 Lappeenranta
Finland
Tel: +358 42677364
Email: marjo.holmstrom@lut.fi

Publ. No. 22
10/17 Berlin
Germany
Tel: +49 30 609 888 810
Email: office@energywatchgroup.org

Genug Ressourcen?

The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future

Energiewende -> steigender Bedarf an Stromspeichern -> Batterien



Electric mobility



Stationary



(Handheld)



June 2017

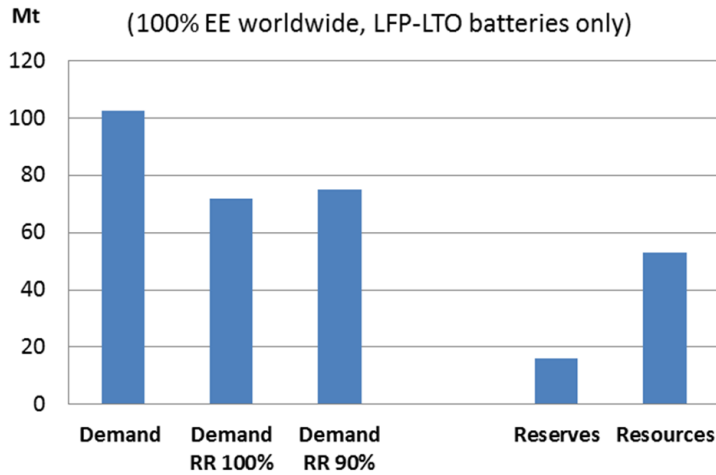
- Abkehr von fossilen Brennstoffen
-> erhöhter Bedarf an Mineralien / Metallen
- Sorgen bzgl. Versorgungssicherheit, Preisschwankungen und Verfügbarkeit
- Idee der Kreislaufwirtschaft und Rückgewinnung von Ressourcen gewinnt an Bedeutung

Ressourcenbedarf (Extraktion)

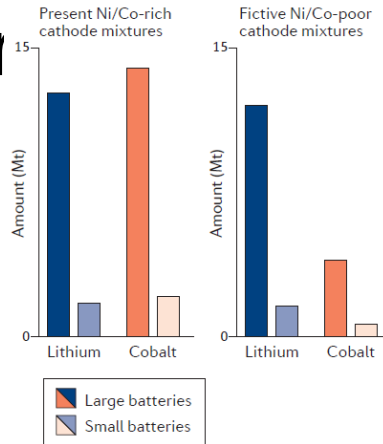
- Lithiumbedarf für 100% erneuerbare weltweit (energyWatch)
- Li and Co bedarf für E-KfZ weltweit (IEA blue map Szenario)

Lithium demand until 2050

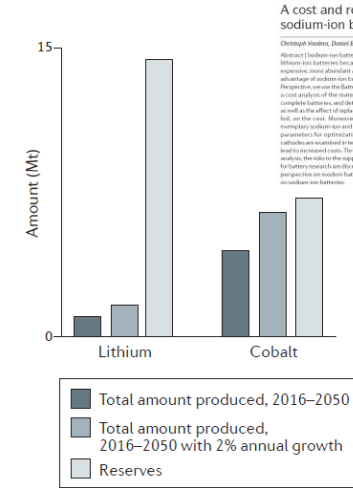
(100% EE worldwide, LFP-LTO batteries only)



a Demand for lithium and cobalt for the battery industry, 2016–2050



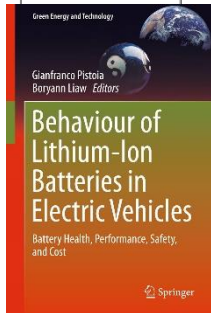
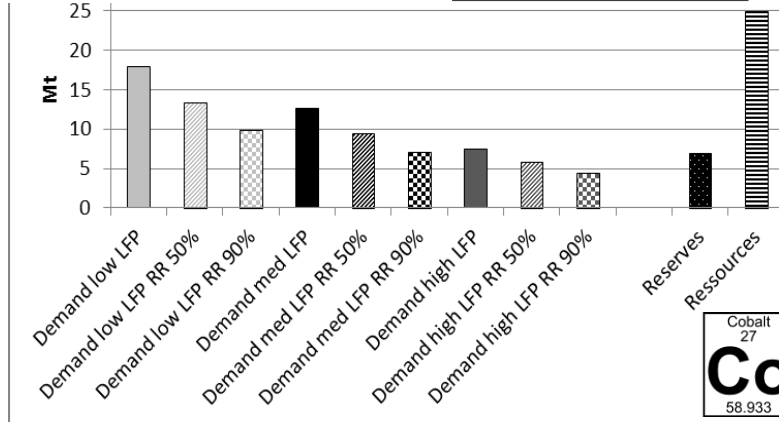
b Lithium and cobalt production and reserves



A cost and resource analysis of sodium-ion batteries

Christoph Wessling, Daniel Buchholz, Marcel Weil and Stefan Passerini
 Sodium-ion batteries have been identified as appealing alternatives to lithium-ion batteries because they are made from raw materials that are less expensive, more abundant and less toxic. However, the frequently discussed advantage of sodium-ion batteries, i.e., to be less expensive, is not always true. In this Perspective, we use the battery performance and cost analysis to conduct a cost analysis of the materials for sodium-ion and lithium-ion cells, as well as complete battery cells, and determine the effect of manufacturing lithium-ion cells as well as the effect of replacing the material used for the anode current collector foil in the case. Moreover, we compare the utilization of mineral resources over the respective sodium-ion and lithium-ion batteries and highlight the most critical parameters for optimization. Finally, the major raw materials for lithium-ion cathodes are compared in terms of potential supply due to new supply sources and the respective costs. Finally, the major raw materials for lithium-ion cathodes are compared in terms of potential supply due to new supply sources and the respective costs. Finally, the major raw materials for lithium-ion cathodes are compared in terms of potential supply due to new supply sources and the respective costs. Finally, the major raw materials for lithium-ion cathodes are compared in terms of potential supply due to new supply sources and the respective costs.

Vaalma, C.; Buchholz, D.; Weil, M.; Passerini, S. (2018) A cost and resource analysis of sodium-ion batteries. 2018. Nature Rev Mat, 3, Nr. 18013.



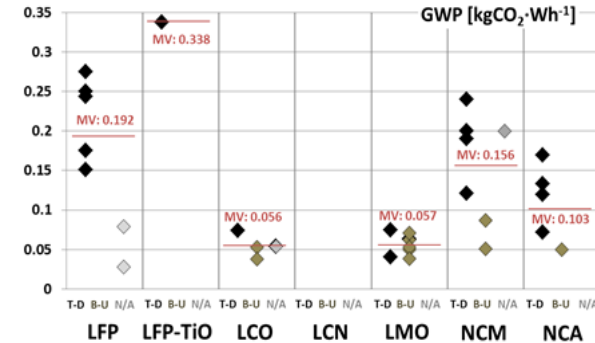
Cobalt 27
58.933

Weil, M.; Ziemann, S.; Peters, J. The issue of metal resources in li-ion batteries for electric vehicles. In: Pistoia, G.; Liaw, B.: Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles. Battery Health, Performance, Safety, and Cost. Springer 2018, S. 59-74,

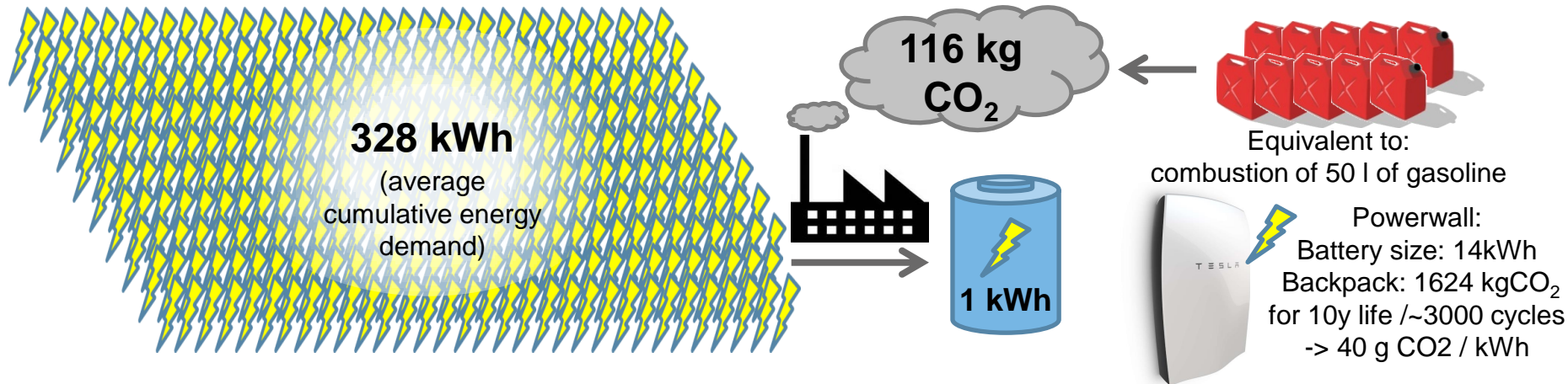
Aber: Nicht nur Ressourcen..

Hoher Energiebedarf und Umweltauswirkungen der Batterieherstellung

- Erheblicher ökologischer Rucksack
- Möglichkeiten der Reduktion durch Recycling?



Energy input and CO₂ emissions for the production of one kWh of storage capacity *



* Peters JF, Baumann MJ, Braun J, Weil M. The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. Renew Sustain Energy Rev, 67, 491–506 (2017)

Marktübersicht Batteriespeicher

- Auswahlkriterien?



**Marktübersicht
Batteriespeicher**

Informationsangebot



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Energie und Technologie
Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



LandSchaftEnergie



C.A.R.M.E.N.

Kriterien für die Umweltauswirkungen

Umweltauswirkungen der Produktion sind schwer beeinflussbar

Aber: Leistungsparameter während des Betriebs sind ebenfalls wichtig:

- Energiedichte (Materialaufwand pro kWh Kapazität)
- Effizienz
- Lebensdauer
- Recyclingfähigkeit

Energiedichte

Veränderung des kumulativen Energieaufwandes (CED) zur Herstellung 1 kWh in Abhängigkeit der Energiedichte (ED)

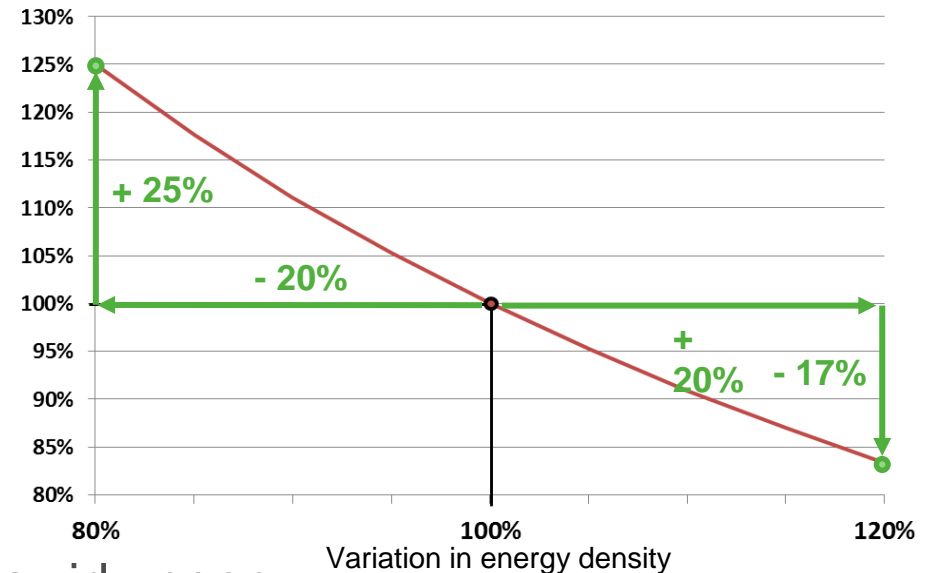
- ED 20% \nearrow -> CED ~ 17% \searrow
- ED 20% \searrow -> CED ~ 25% \nearrow

➤ Relativ hoher Einfluss

Umweltauswirkungen der Batterieherstellung sind v.a. massebezogen

➤ höhere Energiedichte reduziert die pro kWh Kapazität herzustellende Batteriemasse und damit Umweltauswirkungen

Variation of cumulative energy demand for producing 1 kWh



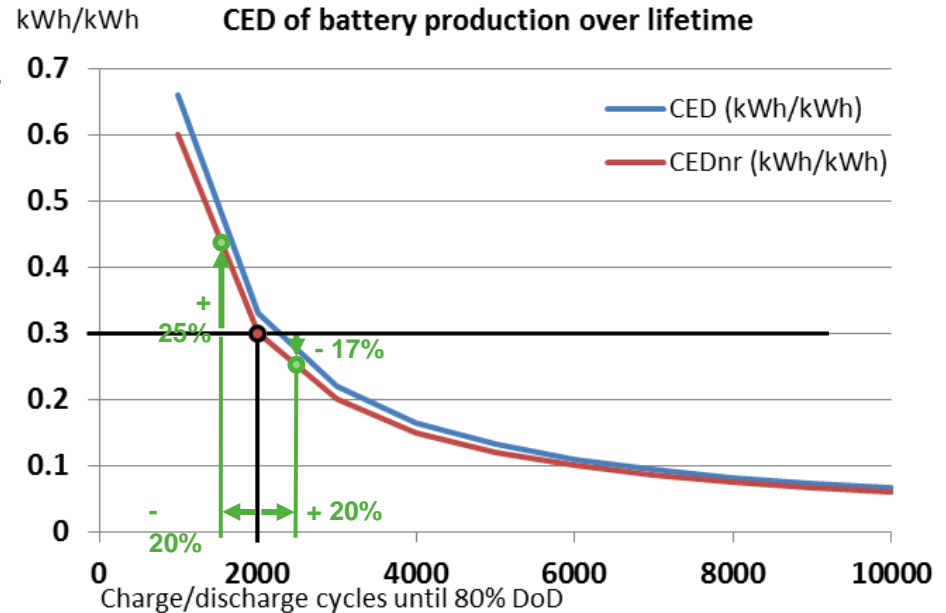
Lebensdauer

Umweltauswirkungen aus Produktion über Lebenszeit

-> pro über Lebenszeit zur Verfügung gestellter (ausgespeicherter) Energiemenge

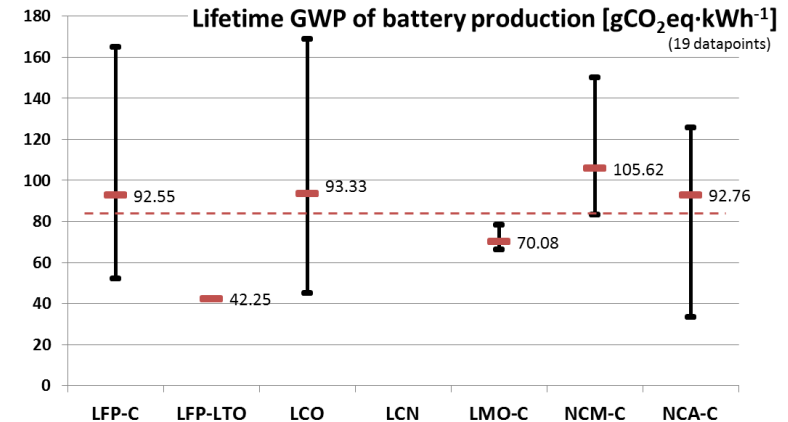
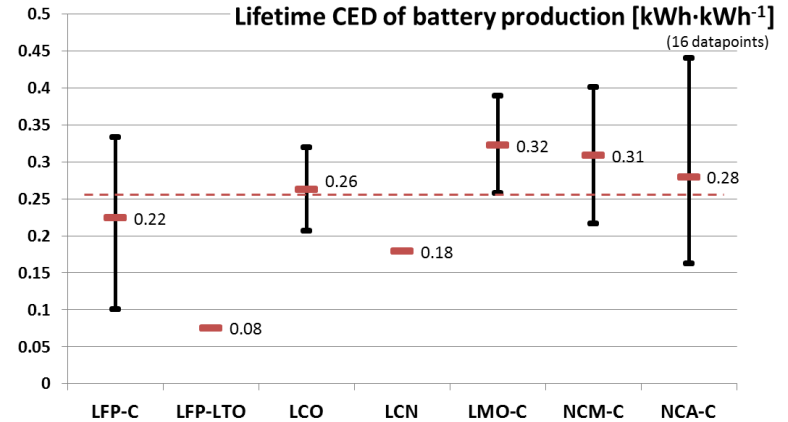
(providing storage of 1 KWh of electricity over lifetime; excluding electricity generation)

- Höhere Lebensdauer -> geringere Umweltauswirkungen
- Lebensdauer muss Anforderung der Anwendung entsprechen



Lebensdauer

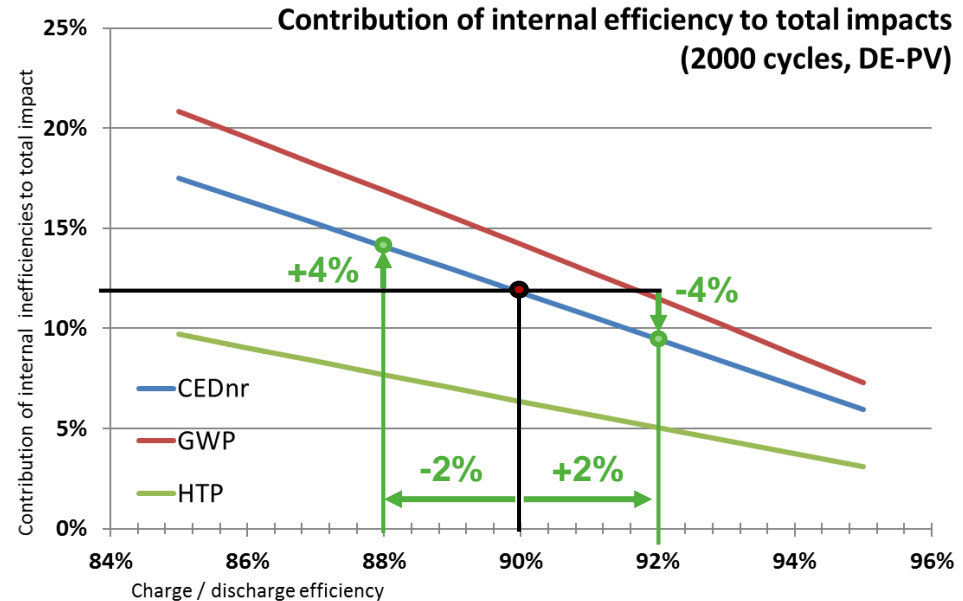
- Durchschnittlicher gesamter CED_{nr} (kumulativer nicht-erneuerbarer Energie- aufwand) über Lebenszeit aus existierenden Studien: 0.25 kWh / kWh (1/4 only from production)
- Gesamt Treibhausgas Emissionen über Lebenszeit aus existierenden studien: 82g CO₂eq / kWh



Effizienz

Umweltauswirkungen durch ‚verlorene‘ (dissipierte) Elektrizität

- Signifikanter Unterschied zwischen Batterietechnologien, oft vergessen
- Abhängig vom geladenen Strom
- Abschätzung der Größenordnung anhand durchschnittlichen PV-Stromes in Deutschland



Recyclingfähigkeit

Lithium-Ion Recyclingindustrie aktuell noch wenig entwickelt

EU-Batteriedirektive (2006-66 EC) reguliert Recycling (Recyclingquoten und Rücknahmeverpflichtung)

Min. Recyclingquote: 50 % (Masse), 65% für Bleibatterien

Aber: Batterien sind sehr komplex und schwer zu recyceln (hohe Integration -> schwierige Trennung, toxische Substanzen -> Gefahrstoff)

Gut zu recyceln: Bleibatterien, Redox-Flow Batterien

Recyclingfähigkeit

Vergleich zwei konzeptionell sehr unterschiedlicher Batteriesysteme für stationäre Anwendung:

- Li-Ion (LFP-LTO)



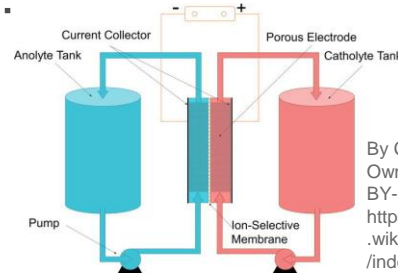
Energy technologies:
http://www.batterymodules.com/rugged_tactical_battery_rackmount.php



LIB

AltaGas 80MWh Li-Ion battery installation:
<http://www.marketwired.com/press-release/altagas-celebrates-opening-of-north-americas-largest-battery-storage-facility-tsx-ala-2191585.htm>

- Redox-Flow (VRFB):



By Colintheone
Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59002803>



VRFB

Fraunhofer ICT 20MWh Redox Flow Battery:
<https://www.ict.fraunhofer.de/de/komp/ae/rfb.html>

Recyclingfähigkeit

Verschiedene Charakteristiken:



Fraunhofer ICT 20MWh Redox Flow Battery: <https://www.ict.fraunhofer.de/de/komp/ae/rfb.html>



AltaGas 80MWh Li-Ion battery installation: <http://www.marketwired.com/press-release/altagas-celebrates-opening-of-north-americas-largest-battery-storage-facility-tsx-ala-2191585.htm>

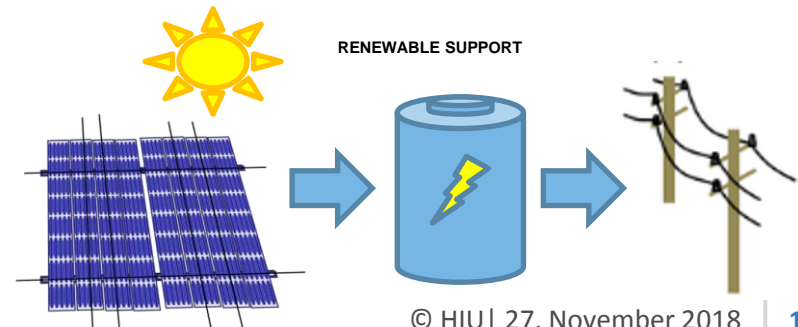
Batteries:

	VRFB	LFP-LTO
Energy density (Wh/kg)	25.8	37.8
Cycle life (cycles)	>10,000	7500
Efficiency (%)	75	93

Application:

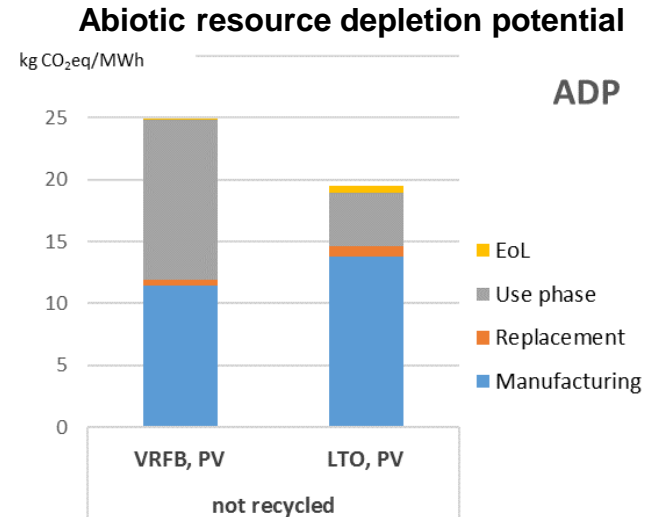
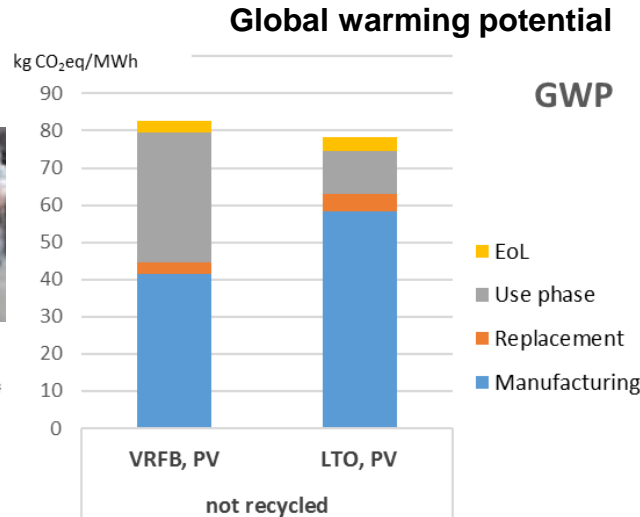
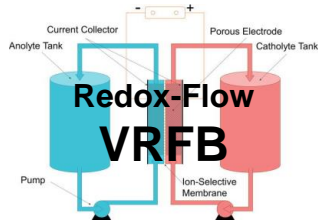
Renewable support (RS) for PV installation

- 6 MWh eff. capacity, 20 y lifetime
- 1.12 cycles / day -> 8176 cycles total



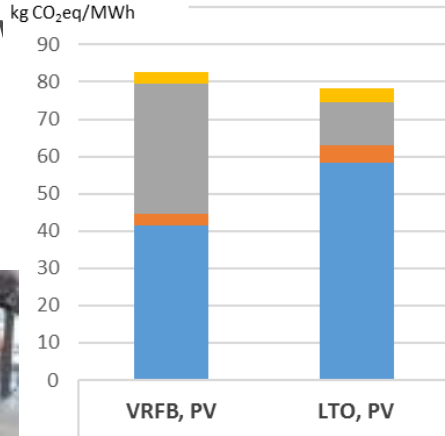
Recyclingfähigkeit

Umweltauswirkungen über gesamten Lebenszyklus

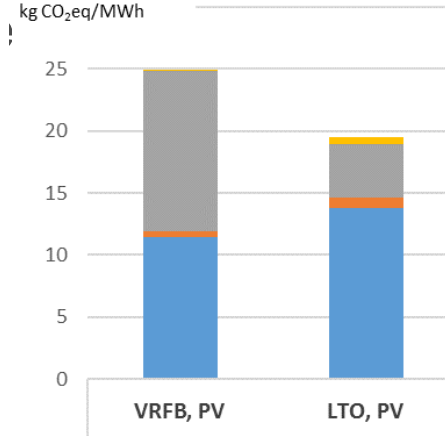
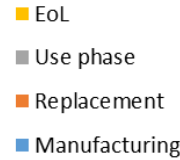


Recyclingfähigkeit

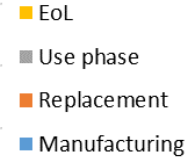
Umweltausv



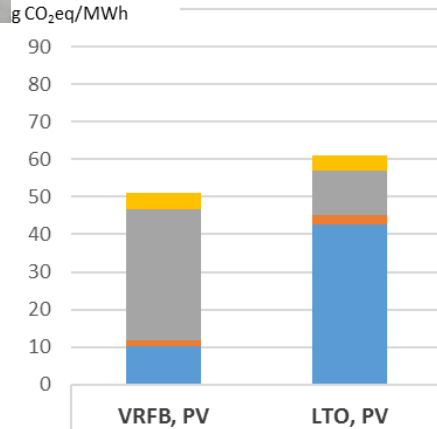
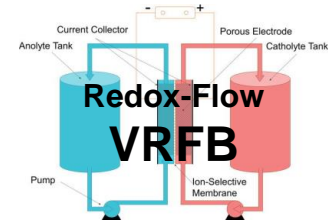
GWP not recycled



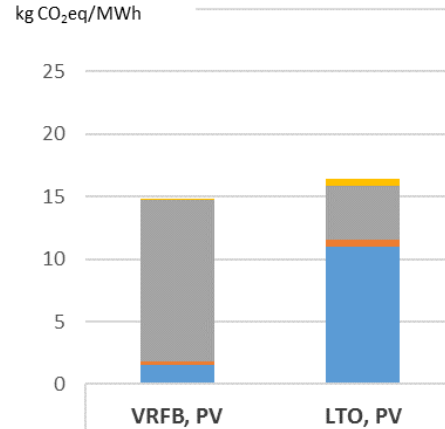
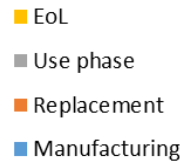
ADP not recycled



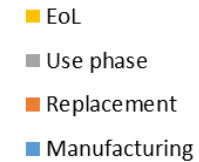
Without recycling



GWP recycled



ADP recycled



With recycling



Paramete

Marktübersicht Batteriespeicher

Unternehmen	Produktbezeichnung	Topologie/System	Zelltyp	Nutzkapazität (kWh)	Entlade-tiefe (%)	Anzahl der Zyklen	Entlade-rate (C)	Nominale Lade-leistung (kW)	Nominale Entlade-leistung (kW)	Wirkungsgrad		Regelungs-geschwindig-keit (ms)	Nöfstrom-versorgung	Standby-verbrauch (kW)	Garantie		Modulares System	Stromdien-leistungen	Sicherheits-leitfaden erfüllt	Endkunden-preis (€)
										Laden (%)	Entladen (%)				Zeithauptgarantie	Laufzeit (Jahre)				
Energy Depot GmbH	ESS CENTURIO SE BYD 7.7	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	7	90	6.000	1,00	8	10	PV2BA1 [95.2]	BAT2AC [94.5]	200	k. A.	0	für Batteriesystem	10	Ja	k. A.	Ja	8.380
	ESS CENTURIO SE BYD 10.2	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	9,3	90	6.000	1,00	8	10	PV2BA1 [96.5]	BAT2AC [95.7]	200	k. A.	0	für Batteriesystem	10	Nein	k. A.	Ja	9.840
ET SolarPower GmbH	ET EnergieS8-Tiny 3.7	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	3	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	k. A.	Nein	k. A.	Ja	5.790
	ET EnergieS8-Tiny 7.4	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	6	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	k. A.	Nein	k. A.	Ja	7.790
	ET EnergieS8-Tiny 11.1	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	9	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	Ja	k. A.	Ja	10.490	
	ET EnergieS8-Tiny 14.8	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	12	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	Nein	k. A.	Ja	12.490	
	ET EnergieS8-Tiny 18.5 / 3P	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	15	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	Ja	k. A.	Ja	14.990	
	ET EnergieS8-Tiny 22.2 / 3P	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	18	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	Nein	k. A.	Ja	16.990	
	ET Energie® 44	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	36	80	5.000	0,30	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	Ja (N)	k. A.	k. A.	k. A.	Nein	k. A.	Ja	35.950
FENECON GmbH	Mini 3-3*	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	3	90	6.000	1,00	3	3	AC2BA1 [90]	BAT2AC [90]	100	Ja (N)	0,02	für Batteriesystem	12	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Nein	4.100
	Mini 3-6*	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	6	90	6.000	1,00	3	3	AC2BA1 [90]	BAT2AC [90]	100	Ja (N)	0,02	für Batteriesystem	12	Nein	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Nein	6.150
	Pro 9-12*	AC-gekoppelt	LiFePO ₄	12	90	6.000	1,00	9	9	AC2BA1 [90]	BAT2AC [90]	100	Ja (N)	0,02	für Batteriesystem	12	Nein	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Nein	12.700
	Pro Hybrid 10-6.4*	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	6,4	100	k. A.	1,00	6,4	6,4	PV2BA1 [97]	BAT2AC [97]	100	Ja (N)	0,001	für Batteriesystem	10	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Ja	8.800
	Pro Hybrid 10-7.7*	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	7,68	100	k. A.	1,00	7,68	7,68	PV2BA1 [97]	BAT2AC [97]	100	Ja (N)	0,001	für Batteriesystem	10	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Ja	9.200
	Pro Hybrid 10-9.0*	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	8,96	100	k. A.	1,00	8,96	8,96	PV2BA1 [97]	BAT2AC [97]	100	Ja (N)	0,001	für Batteriesystem	10	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Ja	10.200
	Pro Hybrid 10-10.2*	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	10,24	100	k. A.	1,00	10	10	PV2BA1 [97]	BAT2AC [97]	100	Ja (N)	0,001	für Batteriesystem	10	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Ja	10.950
	Pro Hybrid 6-6.4*	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	6,4	100	k. A.	1,00	5,12	5,12	k. A.	BAT2AC [94]	100	Ja (N)	0,004	für Batteriesystem	10	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Ja	8.800
	Pro Hybrid 6-7.7*	DC-gekoppelt	LiFePO ₄	7,68	100	k. A.	1,00	6,14	6	k. A.	BAT2PV [94]	100	Ja (N)	0,004	für Batteriesystem	10	Ja	OpenEMS (alle erh. Modelle)	Ja	9.500

Zusammenfassung (global)

- Signifikante Umweltauswirkungen aus Batterieherstellung (hoher Bedarf an Energie und an teils seltenen, unter hoher Umweltbelastung und schlechten Arbeitsbedingungen gewonnenen Materialien)
- Einsatz von Batterien ist nicht notwendigerweise ökologisch sinnvoll
- Für eine hypothetische, 100% auf erneuerbaren Energien basierende Weltwirtschaft können Ressourcenknappheiten ein Problem werden
- Recycling und Kreislaufwirtschaft von hoher Wichtigkeit

Zusammenfassung – Technologie-Ebene

- Keine Richtlinie für Auswahl der besten / ‘grünsten’ Batterie vorhanden. Konkrete Anwendung und deren Anforderungen zu berücksichtigen
- Betrachten aller Parameter ist wichtig:
 - Energiedichte
 - Effizienz
 - Lebensdauer
 - Recyclingfähigkeit
- Kopplung von Fahrzeugen und Netz (Vehicle-to-grid) kann deutlich höhere Auslastung der Batterie ermöglichen (und damit reduzierte Umweltauswirkungen aus der Produktion)



Helmholtz Institute Ulm for
Electrochemical Energy Storage
Albert Einstein Allee 11, Ulm, Germany
<http://www.hiu-batteries.de>



Institute for Technology Analysis and
System Analysis
Karlstraße 11, Karlsruhe, Germany
<http://www.itas.kit.edu/>



Systems - Resources, Recycling, Environment & Sustainability

Dr. Jens Peters
j.peters@kit.edu



- Battery-Management and Monitoring
- System Architecture
- Resources, Recycling, Environment & Sustainability