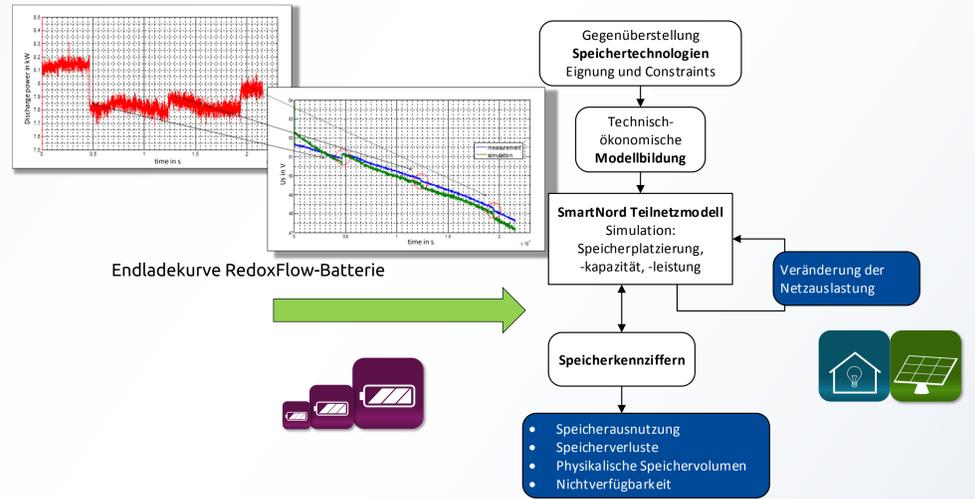


► Forschungsfrage und Kontext

- Wirkleistungsbereitstellung durch Speichereinsatz
 - Speicherauslegung
 - Wettereinfluss auf Erneuerbare Energien
- Energiespeicher
 - Technologien
 - Restriktionen
 - Platzierung im Netz
 - Dimensionierung
- Betriebskonzepte
 - Technische Einordnung
 - Wirtschaftliche Einordnung
 - Gesetzliche Einordnung

► Methodik

- Speichersimulation
 - Modellerstellung und Modellvereinfachung
 - Netzauswahl
 - Szenarienvariation
- Speicherkennziffern/Nutzenfunktion
- Analyse der Ergebnisse



$$\text{Nutzenfunktion: } Nu_{st} = f(c_{st}, \eta_{cycl}, \Delta U, E_{selfD}, V_{st})$$

► Ergebnisse

Speicherklassifizierung

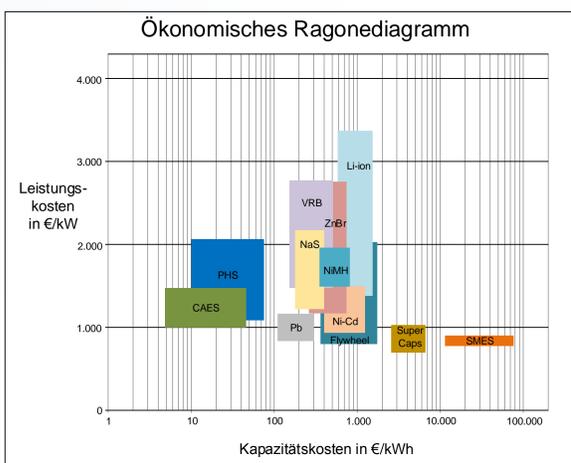
Batterie-Technologien bieten freie Skalierbarkeit und freie Platzierung, zudem Eignung Systemdienstleistungen über Umrichter

Technologie	Flexible Speicherplatzierung	Wirkleistung	Primärregelung	Sekundärregelung	Minutenreserve	Zykluswirkungsgrad in %	Typischer Leistungsbereich in MW	Typische Kapazität in MWh	Selbstentladung	Nutzungsdauer in Jahren	Restriktionen
PHS*		x		x	x	70-85	< 1000	< 8000	-	70	Geographisch
CAES*		x			x	30-70	< 600	500-5000	-	30	Geographisch
Flywheel	x	x	x			90-95	< 10	< 1	20%/Stunde	20	
Supercaps	x		x			90-95	< 0,2	< 0,05	0,5%/Stunde		
SMES*	x		x			90-95	< 100	< 0,03	10-15%/Tag	30	
Blei-Batterie	x	x	x			70-85	< 50	< 10	5%/Monat	5-15	
NaS Batterie	x	x	x			75-90	< 35	< 10	-	15-20	Hochtemperatur
Li-Ion Batterie	x	x	x			85-95	< 50	< 10	2-5%/Monat	10-15	
Redox-Flow Batterie	x	x	x			70-80	< 10	< 100	<<	10	
Wasserstoff/Methan	x	x		x	x	20-40	kW-GW	GWh	<<	20	

Ökonomische Speicherbewertung

$$\text{Grenzkosten: } Gk = c_{st}/(\eta_{cycl} \cdot lt_{cycl}) + c_{el}/\eta_{cycl}$$

Spezifischen Speicherkosten c_{st} in €/kWh
 Zykluswirkungsgrad η_{cycl}
 Zykluslebensdauer lt_{cycl} in Vollzyklen
 \emptyset Energiekosten c_{el} in €/kWh



Grenzkosten ausgewählter Technologien

	Pb*	Li-Ion	VRB*
$c_{st}/(\text{€/kWh})$	202,5	975	335
η_{cycl}	0,81	0,9	0,75
lt_{cycl}	850	6000	13000
$c_{el}/(\text{€/kWh})$	0,15	0,15	0,15
$GK/(\text{€/kWh})$	0,48	0,35	0,23

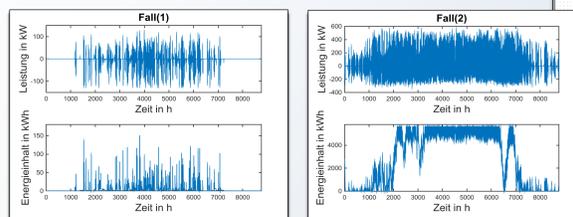
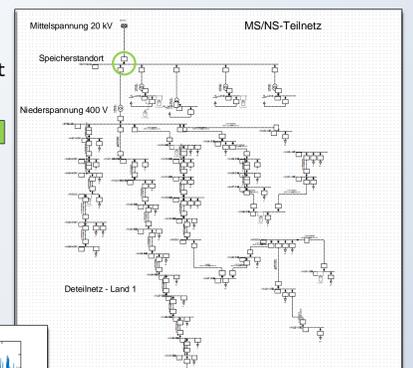
* Pb: Blei-Batterie, VRB: Redox-Flow-Batterie

Netzsimulation & Speicheranalyse

$$\text{Fall (1): } |P_{max*}| \leq |P_{max}|$$

$$\text{Fall (2): } P_{st} = |P_{max} - \emptyset(P_{max})|, E_{st} \triangleq 10 \cdot P_{st}$$

	Pb	Li-Ion	VRB
Speicher/a	4.050 €	11.700 €	5.025 €
Selbstentladung	8 €	14 €	0 €
Speicherverluste	44 €	828 €	1021 €
Kosten/a	4.102 €	12.542 €	6.046 €
Speicher/a	152.010 €	439.140 €	188.605 €
Selbstentladung	304 €	507 €	0 €
Speicherverluste	1.651 €	31.078 €	38.319 €
Kosten/a	153.965 €	470.724 €	226.924 €



	Fall (1)	Fall (2)
Leistung P_{st}	120 kW	563 kW
Kapazität E_{st}	150 kWh	5,63 MWh
Vollzyklen (äqv.)	40	61

Speicher Leistung und Energieinhalt für Fall(1): Vermeidung Netzbelastung und Fall(2): Residuallastglättung

► Ausblick



- Speicher im SmartBuilding
 - Dezentrale, autarke Systeme
 - DC-Systemintegration
- Stoffliche Speicherung
 - Kopplung mit Gasnetz
 - Verwertung in Mobilität und Wärmesektor

Externe Quellen: [1] H. L. Ferreira et al., „Characterisation of electrical energy storage technologies“ in Energy 53 (2013), p. 288-298, 2013
 [2] F. Diaz-González et al., „A review of energy storage technologies for wind power applications“ in Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012), p. 2154-2171, 2012
 [3] H. Chen et al., „Progress in electrical energy storage systems: A critical review“ in Progress in Natural Science 19 (2009), p. 291-312, 2009
 [4] J. Widén, „Correlation between Large-Scale Solar and Wind Power in a Future Scenario for Sweden“ in IEEE Transaction on Sustainable Energy Vol. 2, No. 2, p. 177-184, 2011