

Stationäre Batteriespeicher – Schlüsseltechnologie für ein flexibles Energiesystem

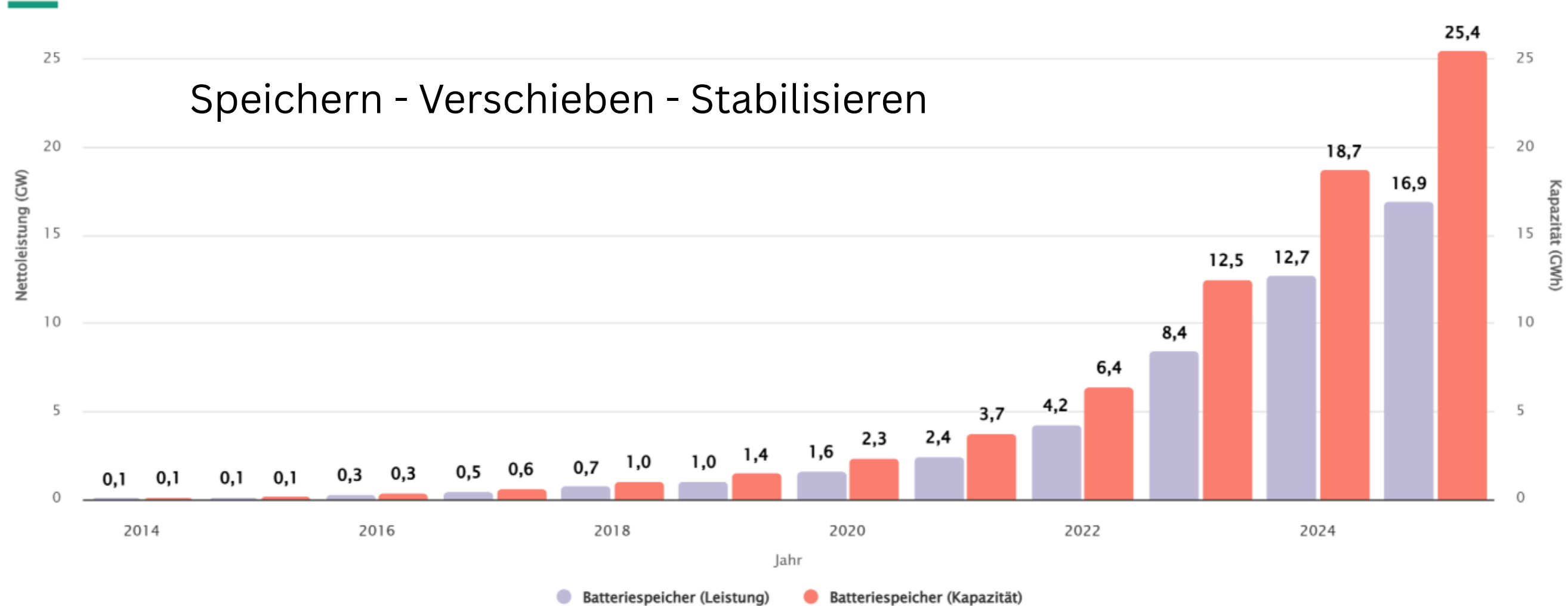
Prof. Dr. Christina Toigo,
Wissenschaftliche Leitung Technologiezentrum Energie,
HAW Landshut

...warum sprechen wir über Energiespeicher?

25 GWh Batteriespeicher Ende 2025 in Deutschland → etwa 20 GWh davon als Heimspeicher!
100 - 170 GWh prognostizierter Bedarf bis 2030

Installierte Leistung und Kapazität von Batteriespeichern

Jahr 2014 bis 2025



Leistung $\leftrightarrow$ Energie

MW $\neq$ MWh

MW = wie schnell lässt sich Energie bereitstellen?

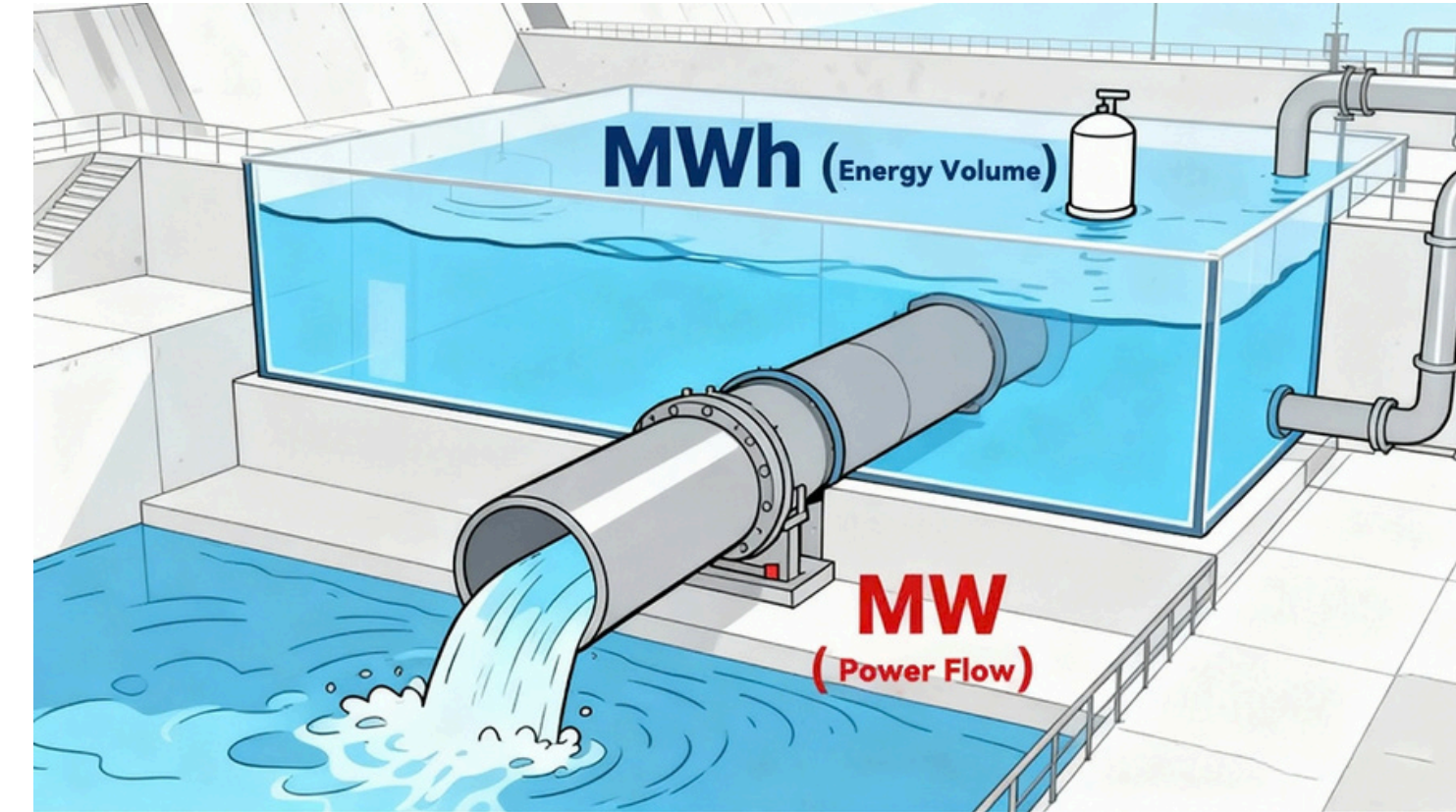
MWh = wie viel Energie kann gespeichert werden?

Vereinfacht gilt:

Entladedauer = Energie [MWh]/Leistung [MW]

Ein Speicher mit 10 MW Leistung und 20 MWh Kapazität könnte daher theoretisch:

- 10 MW für 2 Stunden,
- 5 MW für 4 Stunden oder
- 2 MW für 10 Stunden bereitstellen



Leistung $\leftrightarrow$ Energie

Beispiel 1: Peak-Shaving in einem Industriebetrieb:

Ein Industriebetrieb benötigt normalerweise etwa 500 kW elektrische Leistung. Für kurze Produktionsspitzen steigt die Leistung für 15 Minuten auf 1 MW.

Ohne Speicher:

Netzbezug: 1.000 kW

Mit Batteriespeicher:

- Netz: 500 kW
- Batterie: 500 kW

→ Die Batterie muss also relativ viel Leistung liefern.

Der Energiebedarf ist aber vergleichsweise klein:

$500 \text{ kW} \times 0,25 \text{ h} = 125 \text{ kWh}$

Für diese Anwendung braucht man also nicht zwingend mehrere MWh Energieinhalt.



Leistung $\leftrightarrow$ Energie

Beispiel 2: PV-Strom von Mittag in den Abend verschieben:

Eine größere PV-Anlage produziert mittags überschüssigen Strom. Davon sollen 2 MW über vier Stunden gespeichert und am Abend wieder abgegeben werden.

Dann ergibt sich:

$$2 \text{ MW} \times 4 \text{ h} = 8 \text{ MWh}$$

Der Speicher müsste also grob
in der Größenordnung von 2 MW / 8 MWh liegen.

→ Je länger Energie verschoben werden soll,
desto wichtiger wird die MWh-Zahl.
Deshalb werden solche Speicher auch häufig über ihre
sogenannte Duration beschrieben:
2 MW / 8 MWh → “4-Hour-Battery”



Leistung $\leftrightarrow$ Energie

Beispiel 3: Frequenzregelung / Netzdienstleistung

Hier sieht das Anforderungsprofil wieder völlig anders aus.

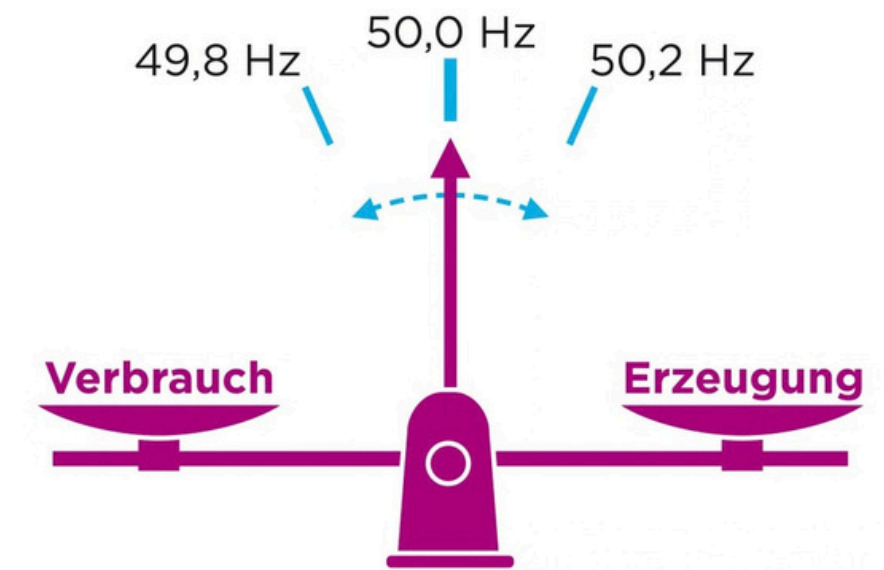
Bei einer Frequenzabweichung muss ein Batteriespeicher sehr schnell reagieren und Leistung aufnehmen oder abgeben.

Angenommen ein Speicher soll kurzfristig:
10 MW bereitstellen.

Muss diese Leistung beispielsweise nur für 15 Minuten gehalten werden, entspricht das theoretisch:

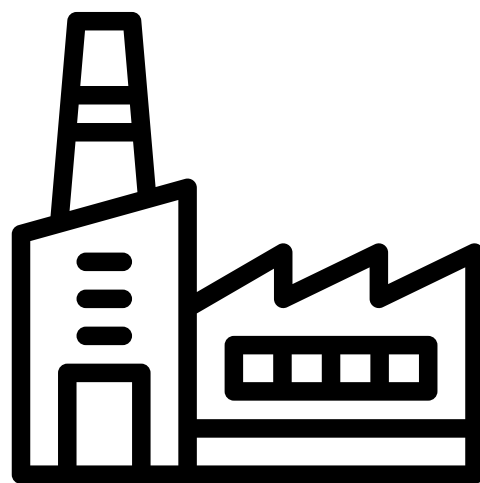
$$10 \text{ MW} \times 0,25 \text{ h} = 2,5 \text{ MWh}$$

Der Speicher benötigt also eine hohe Leistungsfähigkeit, aber deutlich weniger Energie als ein Speicher, der dieselben 10 MW vier Stunden lang liefern soll.



Beim Verbraucher:

- Peak Shaving – Lastspitzen reduzieren
- PV-Eigenverbrauch – Solarstrom zeitlich verschieben
- Ladeinfrastruktur – begrenzte Netzanschlussleistung ergänzen
- Backup / Ersatzstrom – Versorgung bei Netzausfall*
- Microgrids – lokale Energieversorgung stabilisieren



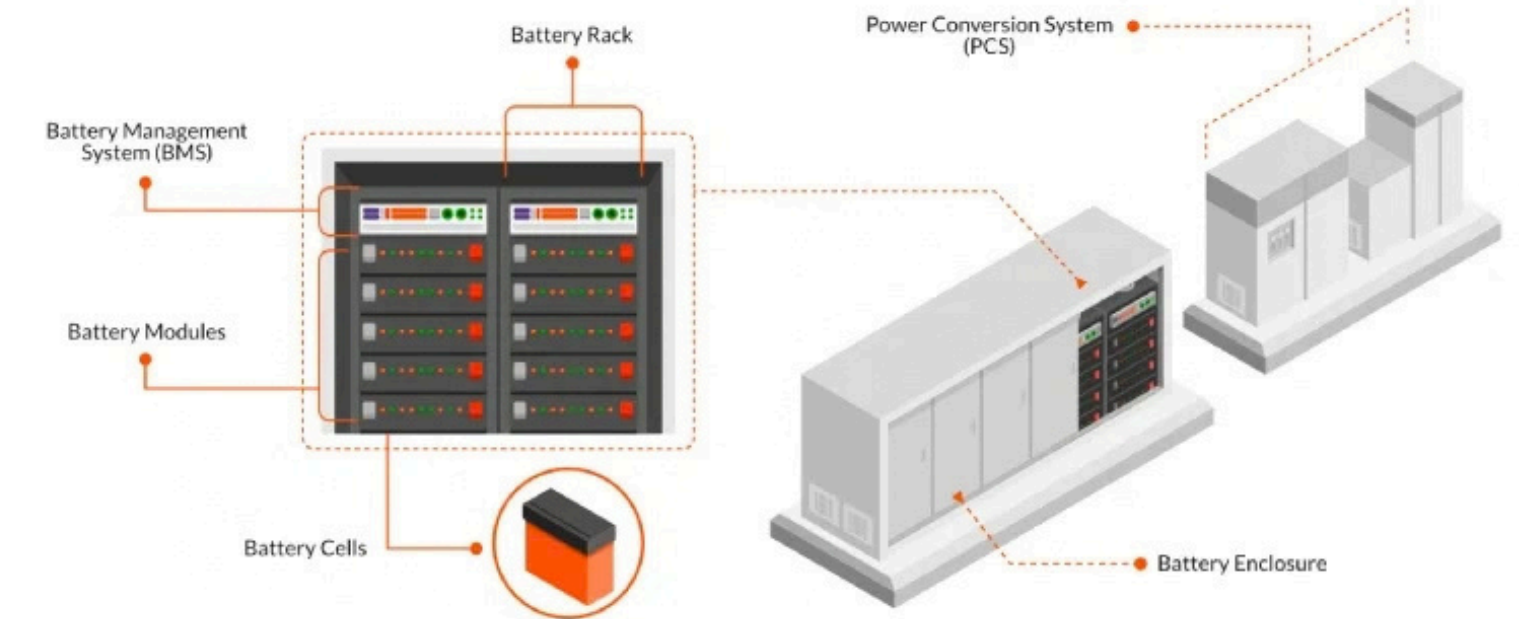
Im Energiesystem:

- Frequenz- und Regelleistung – schnelle Leistungsbereitstellung
- Energy Shifting – Energie von Zeiten hoher Erzeugung in Zeiten hoher Nachfrage verschieben
- Netzunterstützung – Engpässe und Lastspitzen reduzieren
- Stromhandel / Arbitrage – bei niedrigen Preisen laden, bei höheren Preisen entladen
- Integration erneuerbarer Energien – Schwankungen von Wind und PV ausgleichen



Ein Batteriespeicher ist mehr als “nur” die Batterie

Zelle → Modul → Rack → Container → Netz



- BMS – Battery Management System
 - überwacht Spannung, Temperatur, Ladezustand und Zellzustand
- PCS – Power Conversion System
 - wandelt Gleichstrom der Batterie in Wechselstrom für Netz und Verbraucher – und umgekehrt
- EMS – Energy Management System
 - steuert, wann geladen oder entladen wird und welche Aufgabe der Speicher übernimmt
- Thermal Management: hält die Batterie im optimalen Temperaturbereich
- Sicherheits- und Schutzsysteme: erkennen Fehler, begrenzen Auswirkungen und schützen Anlage und Umgebung

Welche Batterietechnologie passt?

Technologie

Stärke

typischer Einsatz

LFP

hohe Zyklenfestigkeit, recht günstig, etabliert

heutige stationäre BESS

NMC

hohe Energiedichte

dort interessant, wo Bauraum/Gewicht relevant sind

Natrium-Ionen

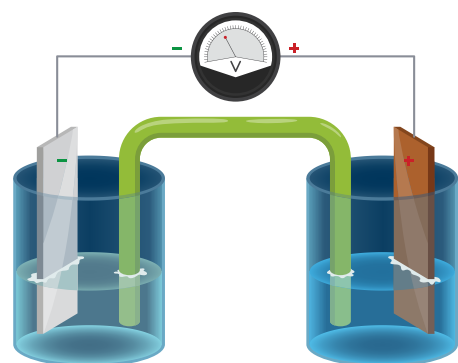
alternative Rohstoffbasis, interessant für stationäre Anwendungen

zunehmend im Markthochlauf

Redox-Flow

Leistung und Energie getrennt skalierbar

längere Speicherdauer, stationäre Großspeicher



Mögliche Ereigniskette

Fehler → Erwärmung → Thermal Runaway → Propagation → Systemereignis

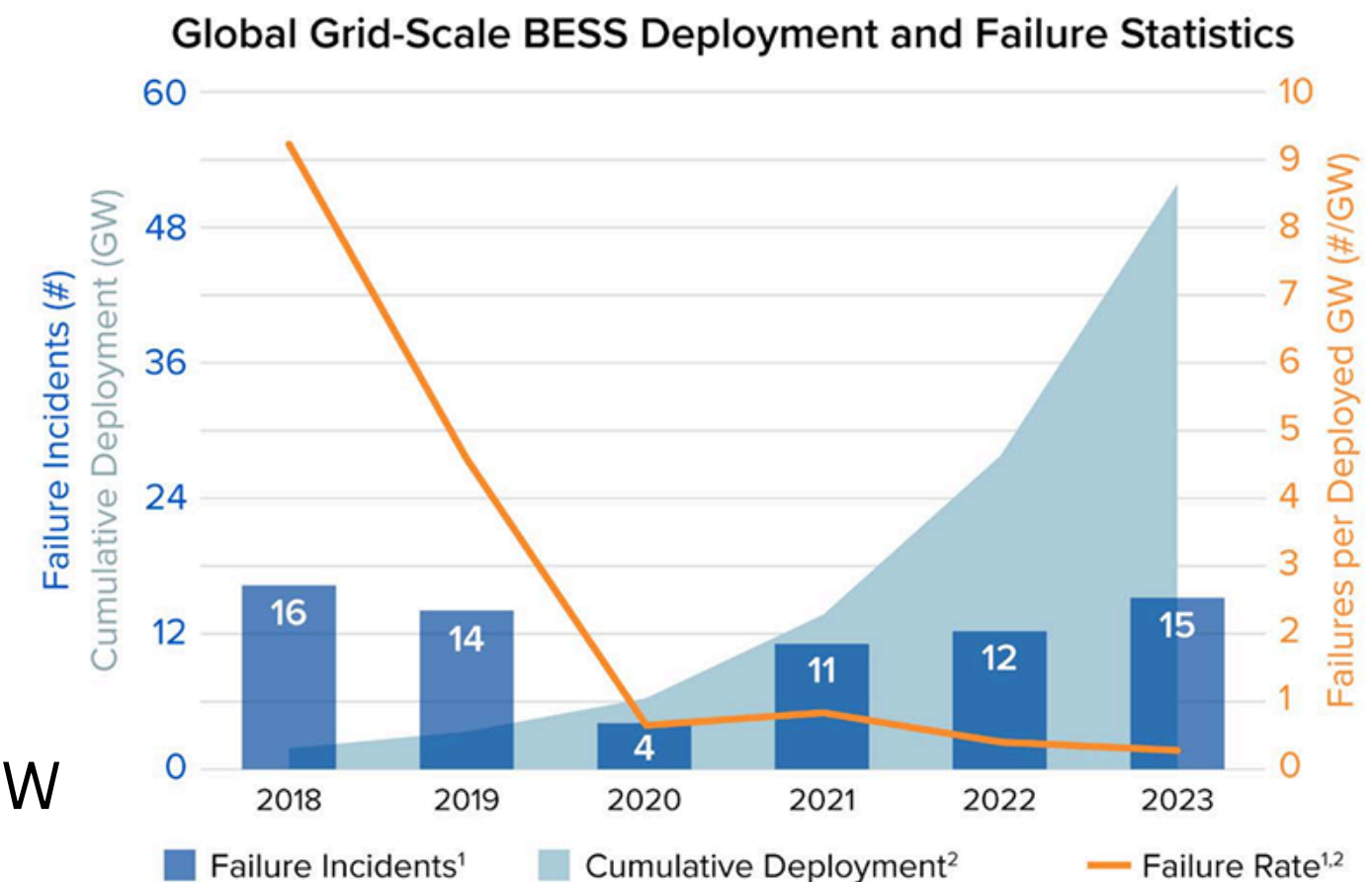
Mögliche Auslöser:

- interner/externer Kurzschluss
- Überladung/Tiefentladung
- Überhitzung
- mechanische Beschädigung

EPRI-Daten zu Großbatteriespeichern zeigen:

↓ ca. **97 %** weniger sicherheitsrelevante BESS-Vorfälle pro installiertem GW zwischen 2018 und 2023

von 26 ausreichend klassifizierten Vorfällen waren lediglich 3 Fälle direkt auf Zelle/Modul zurückzuführen (der Rest: Steuerungs- und Überwachungssystem, Verkabelung, Kühlung, Installation und Integration,...)



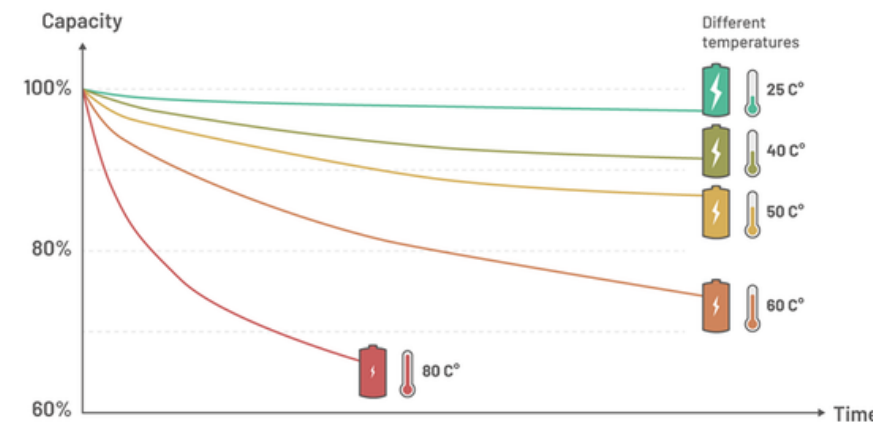
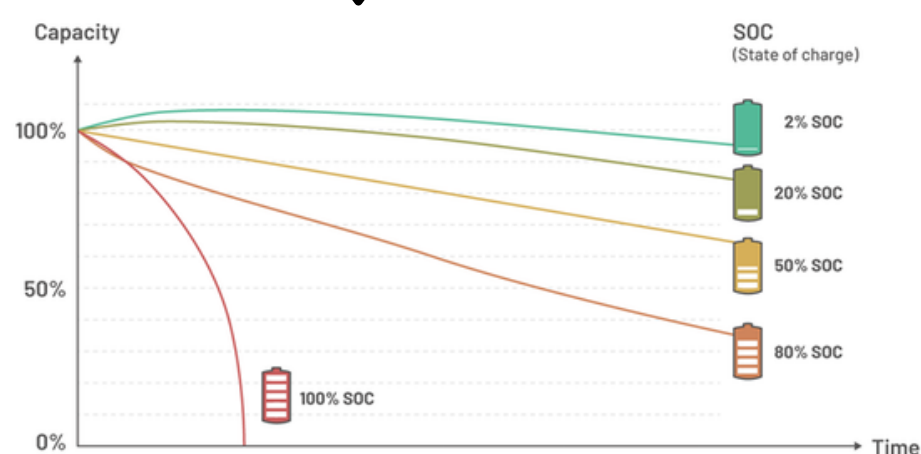
Sources: (1) EPRI Failure Incident Database, (2) Wood Mackenzie. Data as of 12/31/23.

Alterung - die Batterie altert auch im Stillstand!

Kalendarische Alterung:

die Batterie altert mit der Zeit
auch ohne Nutzung
Beeinflusst vor allem durch:

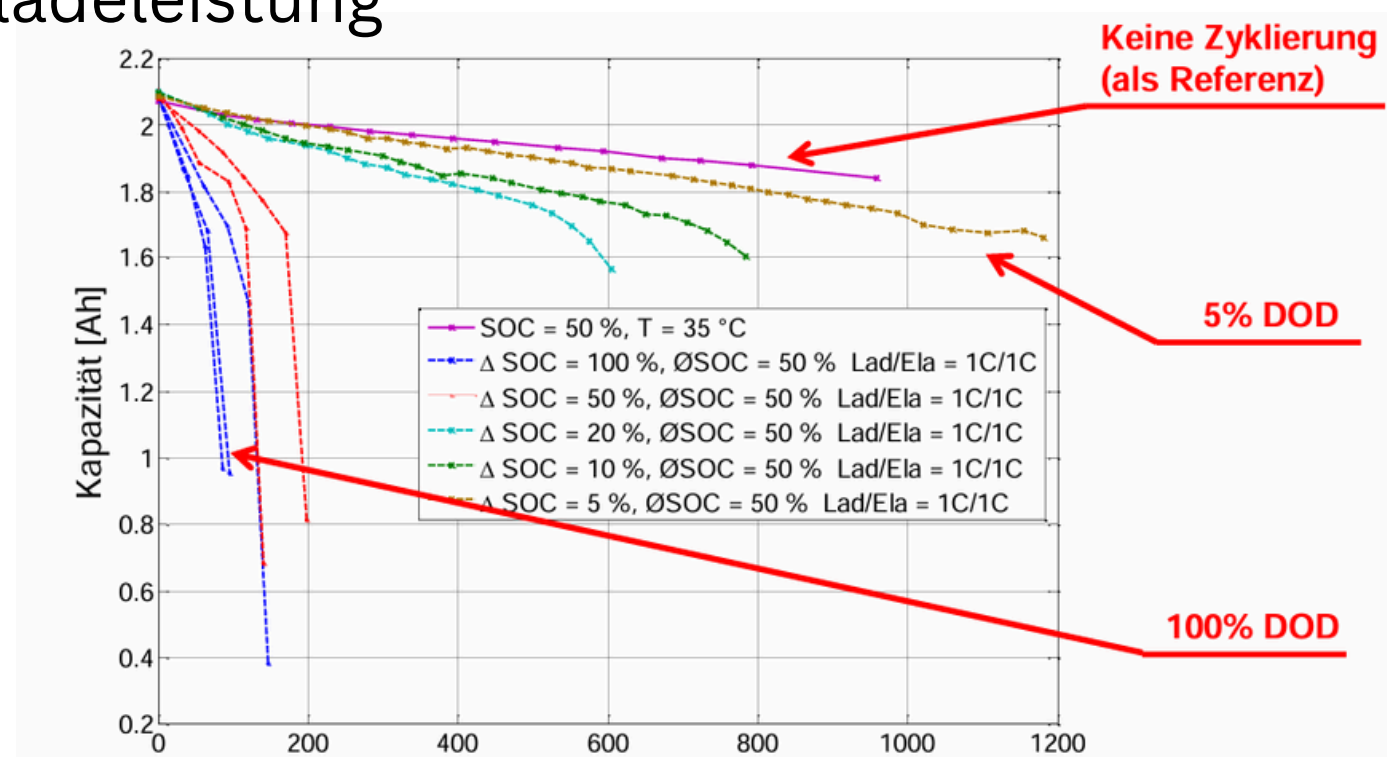
- Temperatur
- State of Charge
- Zeit



Zyklische Alterung

die Batterie altert mit den durchlaufenen Zyklen
Beeinflusst vor allem durch:

- Depth of Discharge (DoD)
- Zyklenzahl
- Lade- und Entladeleistung
- Temperatur





Wo besteht noch Forschungsbedarf?

Sicherheit

- sicherere Zellchemien und Materialien
- Propagation verhindern
- Gas- und Temperatursensorik



Lebensdauer

- präzise SOH-Bestimmung
- Lebensdauer prognostizieren
- Betriebsstrategien optimieren

Systemintegration

- intelligentes Energiemanagement
- Kombination verschiedener Speichertechnologien
- Netzintegration
- optimale Dimensionierung

Neue Materialien und Zellchemien

- Natrium-Ionen
- Redox-Flow
- Lithium-Ionen
 - PFAS-frei
 - verfügbare (recycelte) Rohstoffe

Wohin entwickelt sich die Technologie?

Herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit!



Prof. Dr. Christina Toigo

Maschinen- und Bauwesen

▪ Professorin für Energiespeicher

📍 TZ101 ☎ +49 (0)8531 - 91404411 ✉ christina.toigo@haw-landshut.de

▪ Wiss. Leiterin des Technologiezentrum Energie in Ruhstorf a. d. Rott

▪ Mitglied Promotionszentrum NITRO

