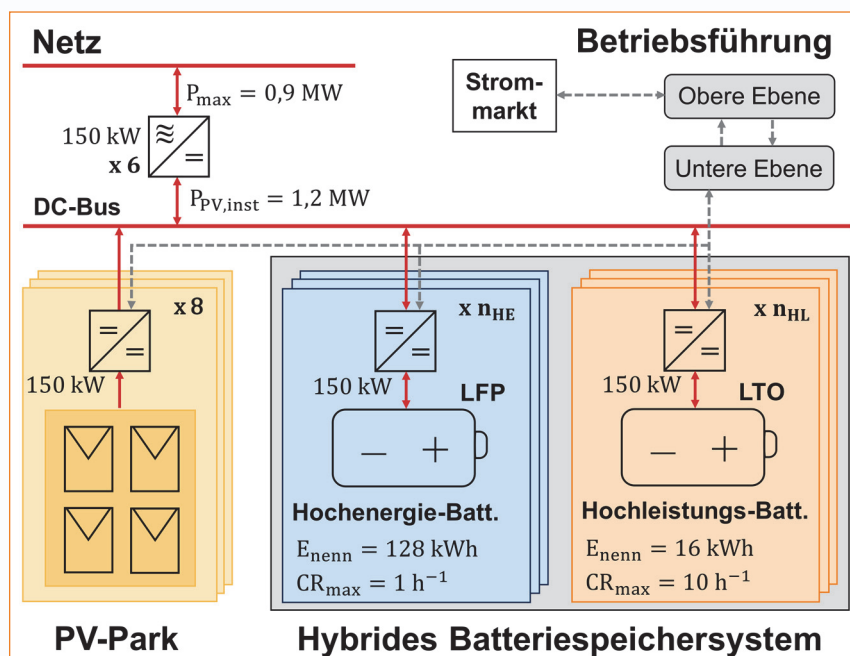


## (1) Motivation

- Lithium-Ionen-Batterien sind gut geeignet, um Leistungsschwankungen im Sekunden- bis Tagesbereich auszugleichen.
- Um den Nutzen des Lithium-Ionen-Batteriespeichers über seine begrenzte kalendarische und zyklische Lebensdauer zu maximieren, kombinieren wir zwei Konzepte:
  - (1) Hybridspeicher verbinden die Vorteile verschiedener Speichertechnologien.
  - (2) Multi-Use erhöht die Ausnutzung des Speichers.
- Um diese Vorteile zur Geltung zu bringen, wird ein geeignetes Betriebsführungskonzept benötigt.

## (2) Referenzanwendung

### Systembeschreibung

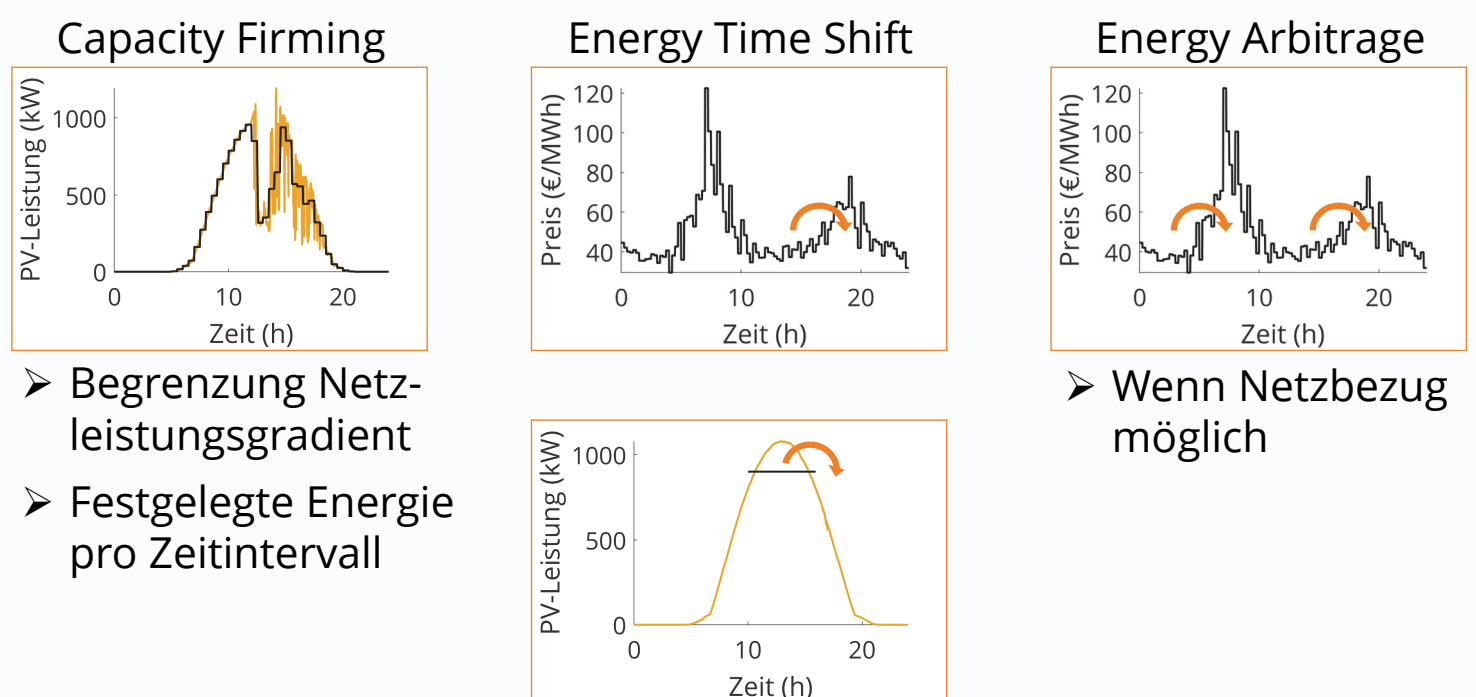


- PV-Park mit Hochenergie-Batterie + Hochleistungs-Batterie
- Modularer Aufbau, DC-Kopplung
- Netzanschlussleistung auf 75 % der installierten PV-Leistung beschränkt

## (5) Zusammenfassung

- ✓ Hierarchisches Betriebsführungskonzept verbindet optimierten Multi-Use-Einsatz zur Anwendungsseite und strategiebasierte Leistungsaufteilung innerhalb des Hybridspeichers.
- ✓ Vorteile der Hybridisierung und der entwickelten Betriebsführung in Bezug auf
  - Nutzen des Batteriespeichers über seine Lebensdauer
  - Gesamtwirkungsgrad
  - Einhaltung der Soll-Netzleistung (Mittelwert und Gradient).

### Multi-Use-Anwendungen



- Hierarchische Betriebsführung mit zwei Ebenen

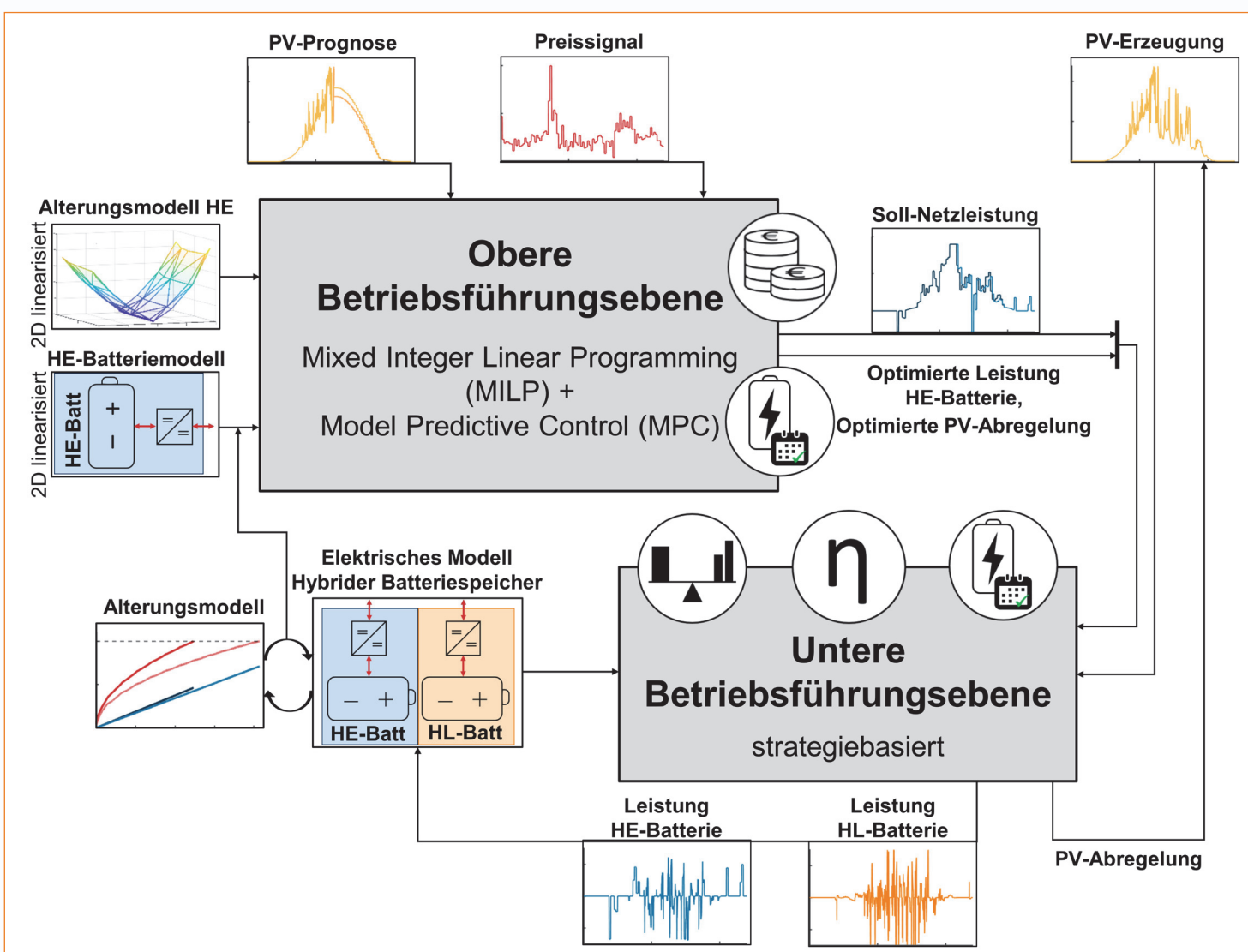
### Obere Betriebsführungsebene

- Modellprädiktive Regelung mit MILP, Zeitschrittweite 15 min, Horizont 24 h
- Optimiert die Netzleistung in Abhängigkeit von PV-Prognosen, Preissignal und Grenzkosten des Speicherbetriebs
- Grenzkosten (Degradationskosten und Umwandlungsverluste) werden in Abhängigkeit von Batterieleistung und Ladezustand 2D-stückweise linearisiert

### Untere Betriebsführungsebene

- Ausgleich der Modell- und Prognosefehler: Bekommt viertelstündliche Sollwerte, arbeitet in Minutenschnittweite
- Berechnung einer Netzleistungstrajektorie, die im Gradienten begrenzt ist und im Mittel dem festgelegten Wert entspricht
- Anschließend strategiebasierte Aufteilung der Leistungsflüsse → bindet Expert:innenwissen ein, sehr kurze Rechenzeiten

## (3) Betriebsführungskonzept



## (4) Simulationsergebnisse

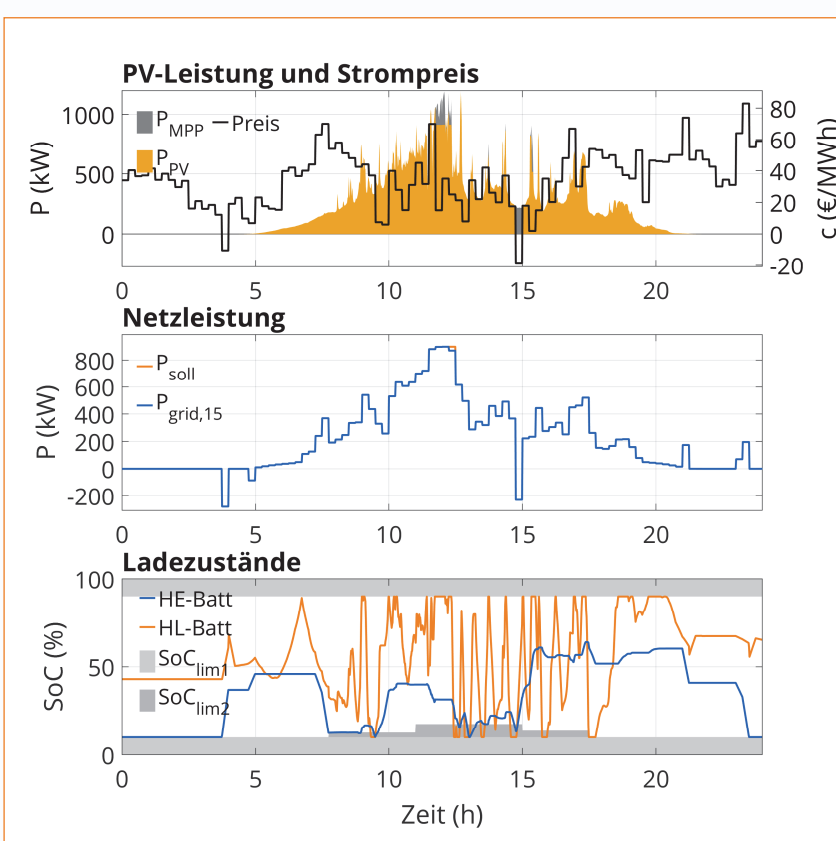
### Falluntersuchungen

- Basisszenario: Hybridspeicher mit jeweils zwei Batteriemodulen, MILP mit 2D-stückweiser Linearisierung
- Hybridspeicher gleich, MILP mit konstanten Wirkungsgraden und Degradationskosten
- Optimierung gleich, statt Hybridspeicher Einzelspeicher mit drei Hochenergie-Batteriemodulen

### Simulationseinstellungen

- Ein-Jahres-Simulationen in Minutenschnittweite mit einem anfänglichen State of Health von 90 %
- Gewinndifferenz gegenüber dem gleichen PV-Park mit reiner Begrenzung des Netzleistungsgradienten

### Beispieltag Fall 1



### Langfristige Vorteile

		Fall 1	Fall 2	Fall 3
1 Jahr	Gewinndifferenz	12 430 €	15 670 €	15 980 €
	Speicherverluste	4,69 %	5,29 %	5,15 %
	Abweichungen der Sollleistung	0,52 %	1,18 %	0,79 %
	Minuten Gradientenverletzung	300	330	570
Extrapolation	Lebensdauer Hochenergie-Batterie	7,33 Jahre	4,60 Jahre	6,60 Jahre
	Kosten-Nutzen-Verhältnis Speicher	1,64	1,27	1,39