



Graz, 15. - 17. Februar 2012

**12. Symposium Energieinnovation
„Alternativen für die Energiezukunft Europa“**

Untersuchungen zu hybriden Speichermodellen in Niederspannungsverteilsnetzen mit hohem Anteil an Photovoltaikanlagen

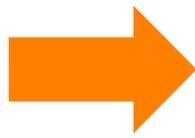
**Dipl.-Ing. Martin Lödl¹, Prof. Dr.-Ing. Rolf Witzmann¹
Dr.-Ing. Michael Metzger²**

¹Technische Universität München, Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze, München, Deutschland

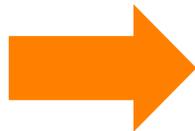
²Siemens AG, Corporate Research and Technologies, München, Deutschland

Motivation

- Lebensdauer konventioneller Betriebsmittel: bis zu **50 Jahre**
- Lebensdauer einer Photovoltaik-Anlage: ca. **25 Jahre**
- Lebensdauer eines guten Speichersystems: ca. **5 - 10 Jahre**
- Kosten des Speichers an der PV-Anlage: > **50%**



Alterungsmechanismen in elektrischen Speichern erfordern eine genauere Betrachtung und Analyse!



Bestmögliche Optimierung und Ausnutzung der Speicher!

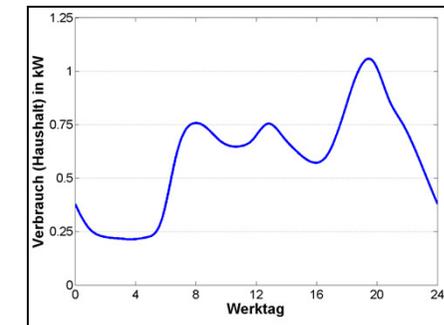


Inhalt

- **Aufnahmefähigkeit von Niederspannungs-Verteilnetzen**
- **Speicherbedarf zur Integration von Photovoltaik-Anlagen**
- **Alterungs-Effekte und Wirkungsgrad-Berechnung von elektrischen Energiespeichern**
- **Optimierung durch „hybride Speichersysteme“**

Einführung

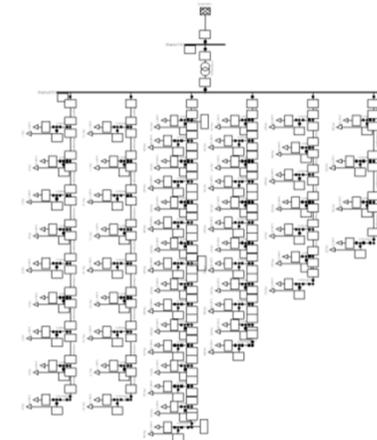
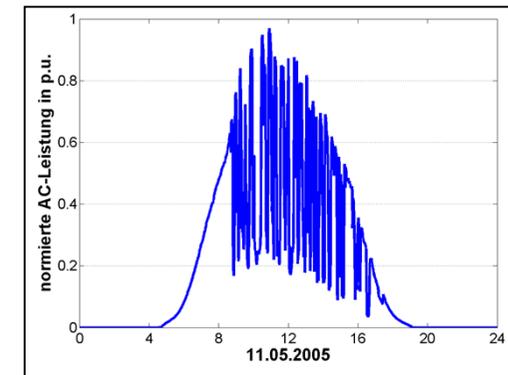
- **Niederspannungs-Verteilnetze**
 - Typische Referenznetze in den Siedlungskategorien Vorstadt, Dorf und ländliches Gebiet¹
 - Belastbarkeits-Kriterien:
 - Einhaltung Spannungsband
 - Transformator-Leistung
 - Leitungs-Strom
- **Verbraucherleistung**
 - für Haushalte, Verbrauch 4.500 kWh/a
 - für Landwirtschaften, Verbrauch 12.000 kWh/a



¹Kerber, Georg; Witzmann, Rolf:
Statistische Analyse von NS-Verteilungsnetzen und Modellierung von Referenznetzen;
ew, Jg. 107 (2008), Heft 6, S. 22 -26

Einführung

- **Einspeiseleistung aus Photovoltaik-Anlagen**
 - Alle wirtschaftlich nutzbaren Dachflächen werden für PV-Anlagen verwendet²
 - Unterscheidung der Anlagenleistung nach Siedlungsgebiet und Gebäudetyp
 - Verlauf nach dem Jahresprofil einer bayrischen Referenz-PV-Anlage
- **Elektrische Energie-Speicher**
 - Verteilte Speicher einheitlicher Größe, zentrale Steuerung
 - Je ein Speicher pro Haushalt bzw. PV-Anlage



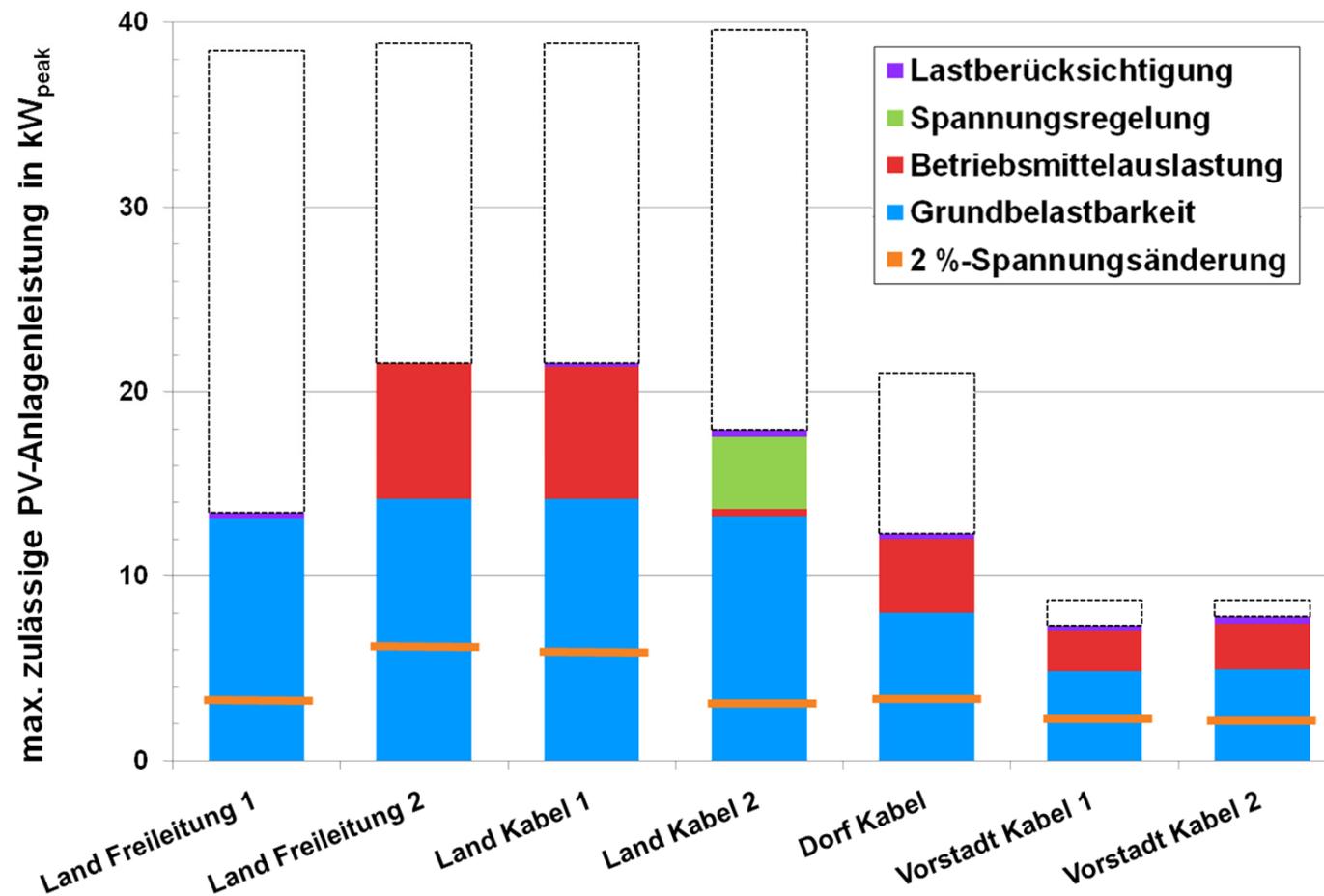
²Lödl, Martin; Witzmann, Rolf:

Abschätzung des Photovoltaik-Potentials auf Dachflächen in Deutschland;

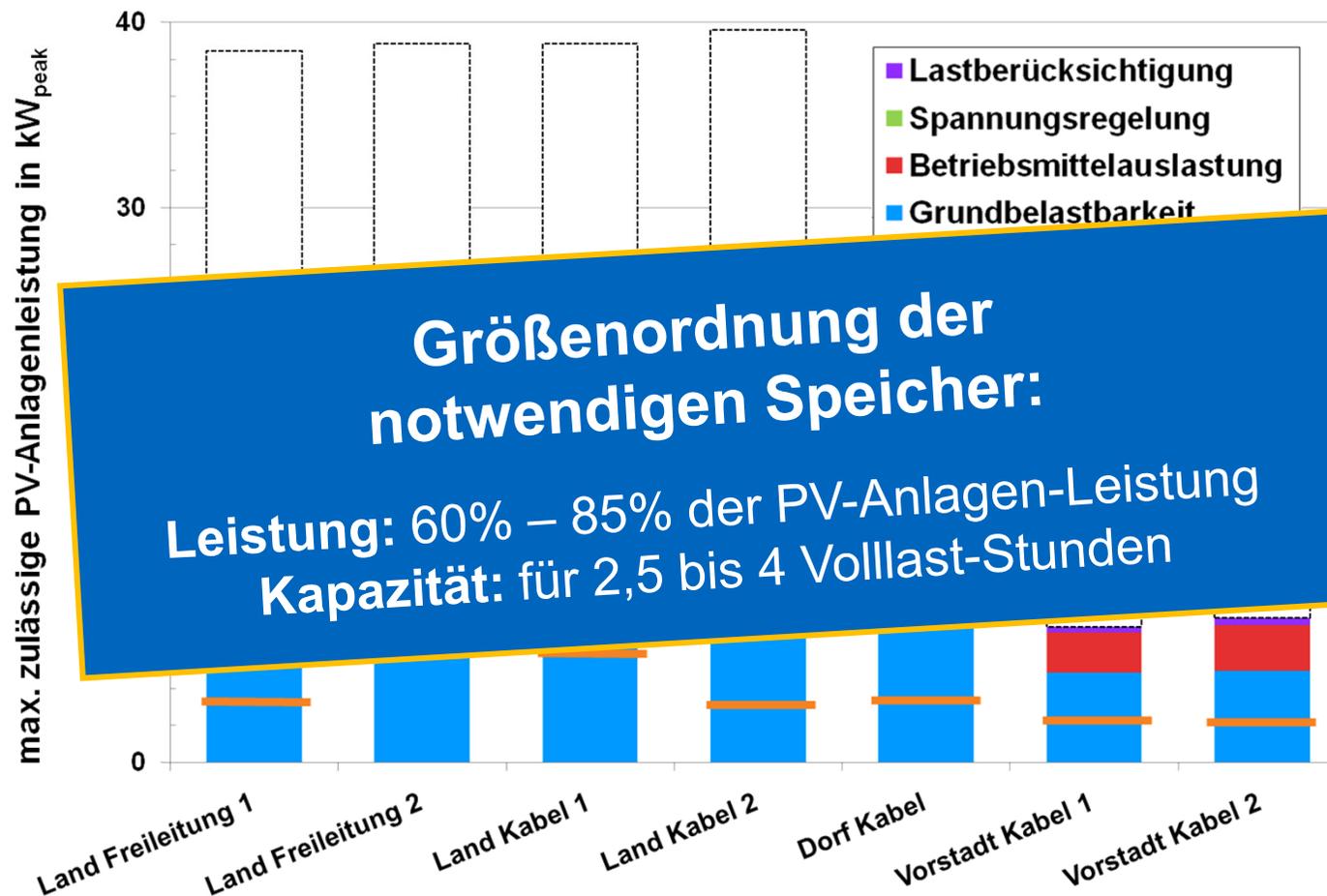
11. Symposium Energieinnovation, 10.-12.2.2010, Graz/Austria



Aufnahmefähigkeit der Referenz-Netze



Aufnahmefähigkeit der Referenz-Netze



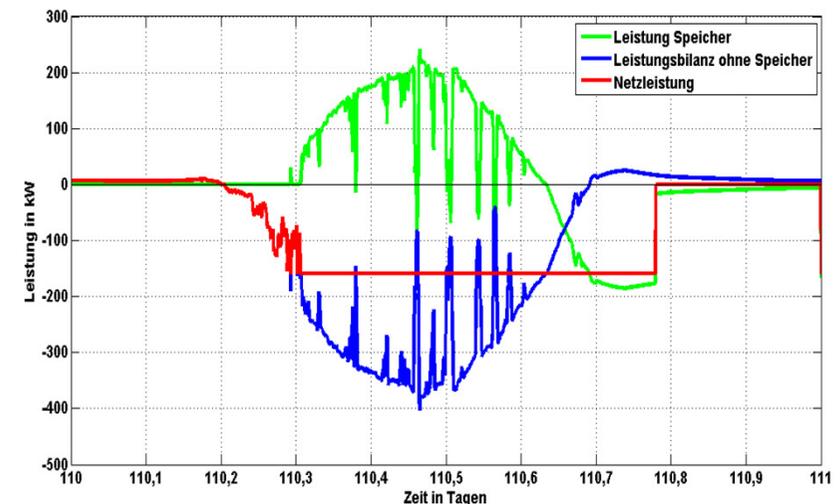
Optimierter Einsatz von Speichern in Verteilnetzen

Netzüberlastungen vermeiden:

- Der Speicher wird geladen, sobald Betriebsmittel überlastet werden
- Der Speicher wird entladen, wenn das Netz nicht ausgelastet ist

Eigenbedarfsdeckung optimieren:

- Erstellung von Bedarfs-Prognosen anhand von Wettervorhersagen und des Lastgangs
→ **Sollwert für vorzuhaltenden Energieinhalt im Speicher**
- An Tagen mit geringer Erzeugung wird zusätzliche Energie eingespeichert
→ **erhöhten Eigenverbrauch aus Speicher decken**



Bewertung von Alterungsmechanismen

- **Alterungsmechanismen:**

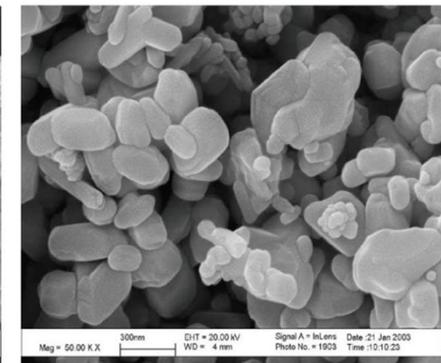
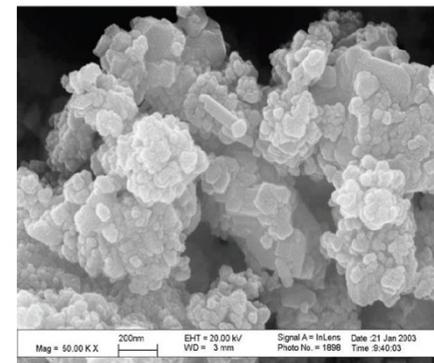
- Sulfatierung
- Säureschichtung
- Gitterkorrosion
- Aktivmassennutzung

- **Ursachen:**

- Hohe Ströme
- Hohe Temperaturen
- Tiefentladungen

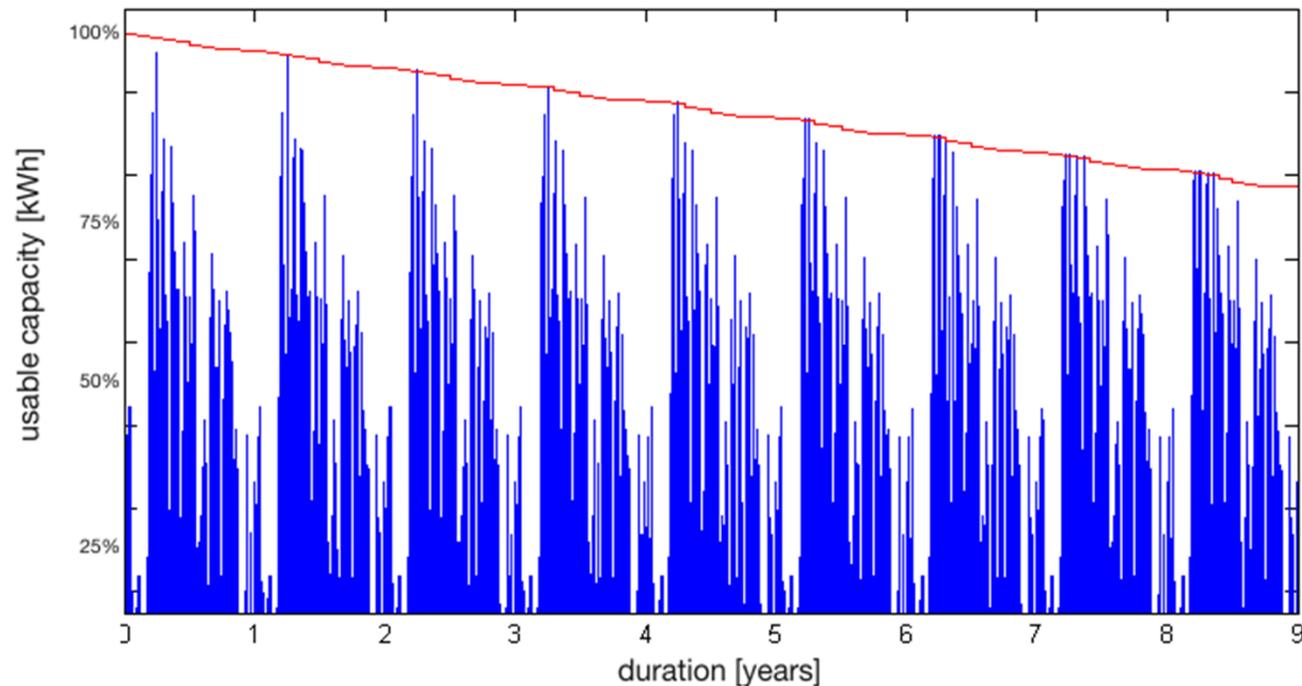
- **Auswirkungen:**

- Geringere Leistung
- Größerer Innenwiderstand, höhere Verluste
- Verringerte Kapazität, schlechterer Wirkungsgrad



Quelle: Bayern Batterie

Berechnung der Alterung



Nach 8 Jahren nur noch 80% Restkapazität

- Beschleunigte Alterung in einspeisestarken Jahreszeiten
- Kapazitätsabnahme steigt von Jahr zu Jahr



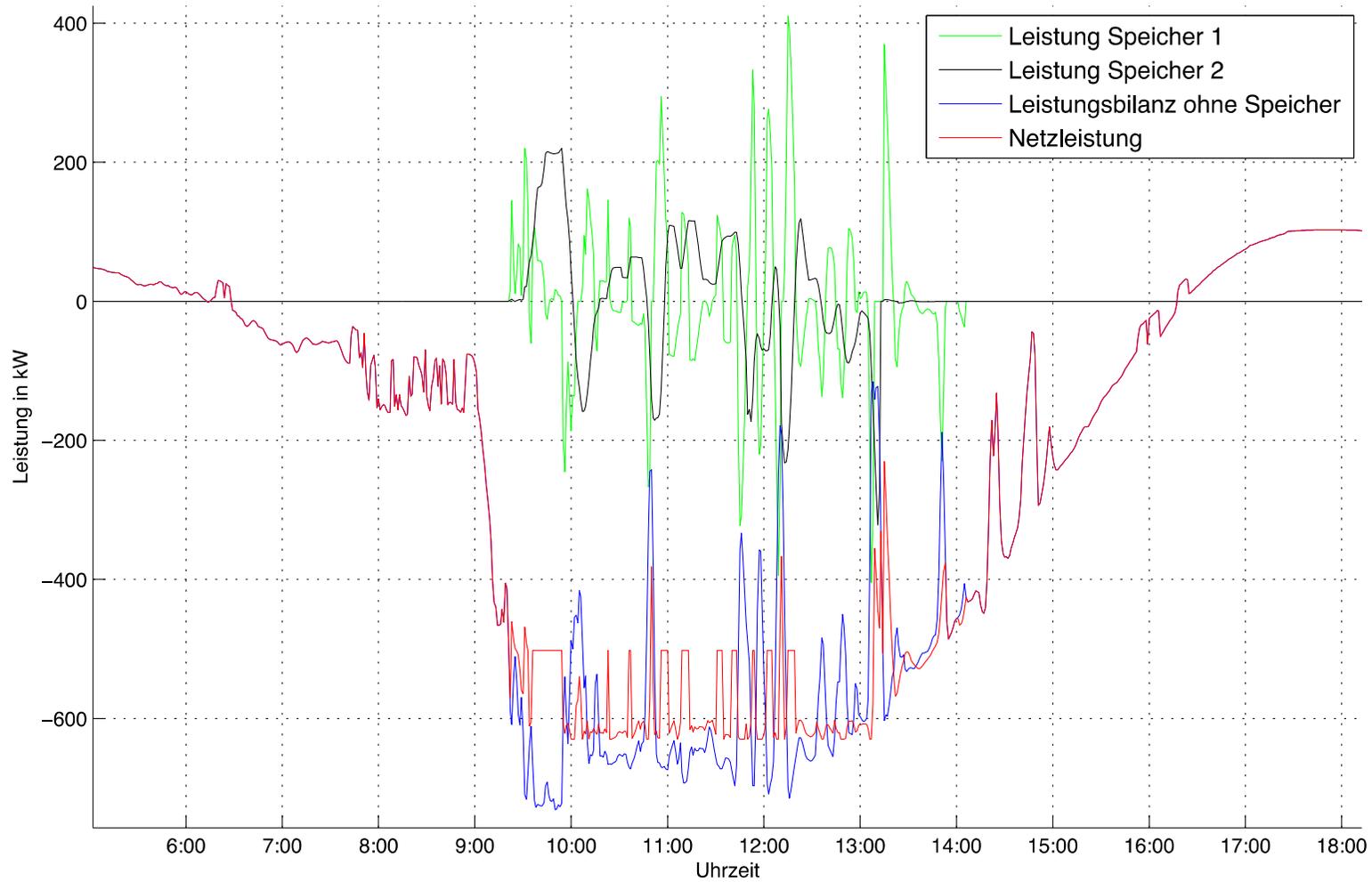
Hybrides Speichermodell

- **Auswahl geeigneter elektrochemischer Speichertechnologien**
 - Mindestens zwei sich ergänzende Speichersysteme, z.B.
 - Doppelschichtkondensatoren:
hohe Leistungsdichten, Zyklenfestigkeit
 - Blei-Säure-Batterie:
rel. hohe Energiedichte, vergleichsweise günstig
 - Ausnutzung der jeweiligen Vorteile:
 - Kombination ermöglicht schnelle Ladung/Entladung mit hoher Leistung und gleichzeitig das Speichern größerer Energiemengen über längere Zeiträume
- **Wechselwirken der Speicher untereinander:**
 - Erhöhung des Wirkungsgrads
 - Verringerung der Alterung
 - Umschichtung der Energien von SuperCaps und Batterie



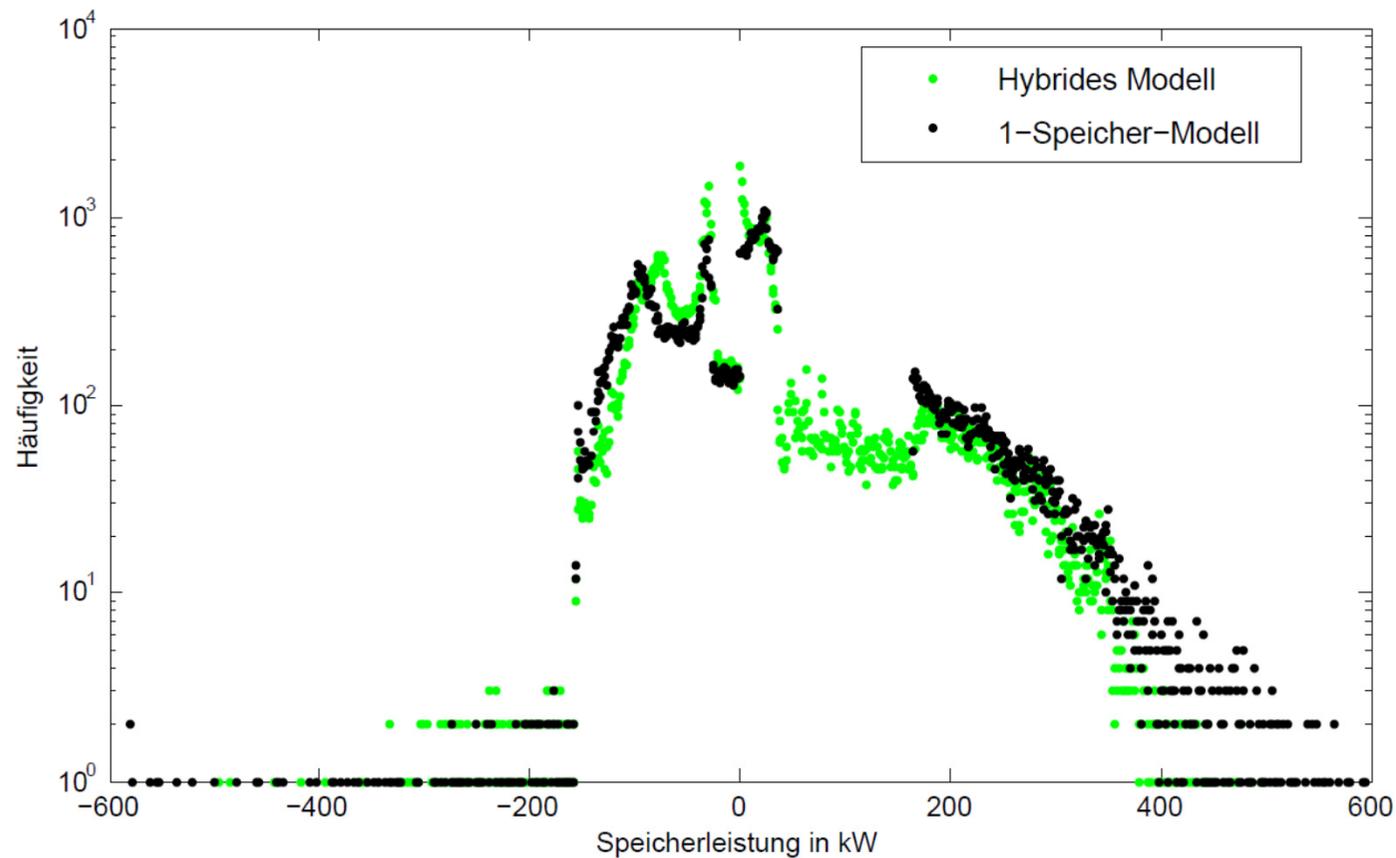
Hybrides Speichermodell

- **Auswahl des Speichers anhand**
 - Ladezustand
 - Höhe und Gradient der geforderten Lade/Entladeleistung
 - Tageszeit
- **Einflussnahme durch Parameter wie**
 - Maximale/minimale Kapazitäten und Leistungen
 - Zeitspanne der Mittelwertbildung
 - Wirkungsgrade und Verluste
- **Paralleles Arbeiten der Speicher**
 - Laden/Entladen des Langzeitspeichers mit gleitendem Mittelwert
 - Kurzzeitspeicher für Leistungspeaks in beide Richtungen
- **Optimierung der Dimensionierung beider Speicher und Berücksichtigung des Alterung**



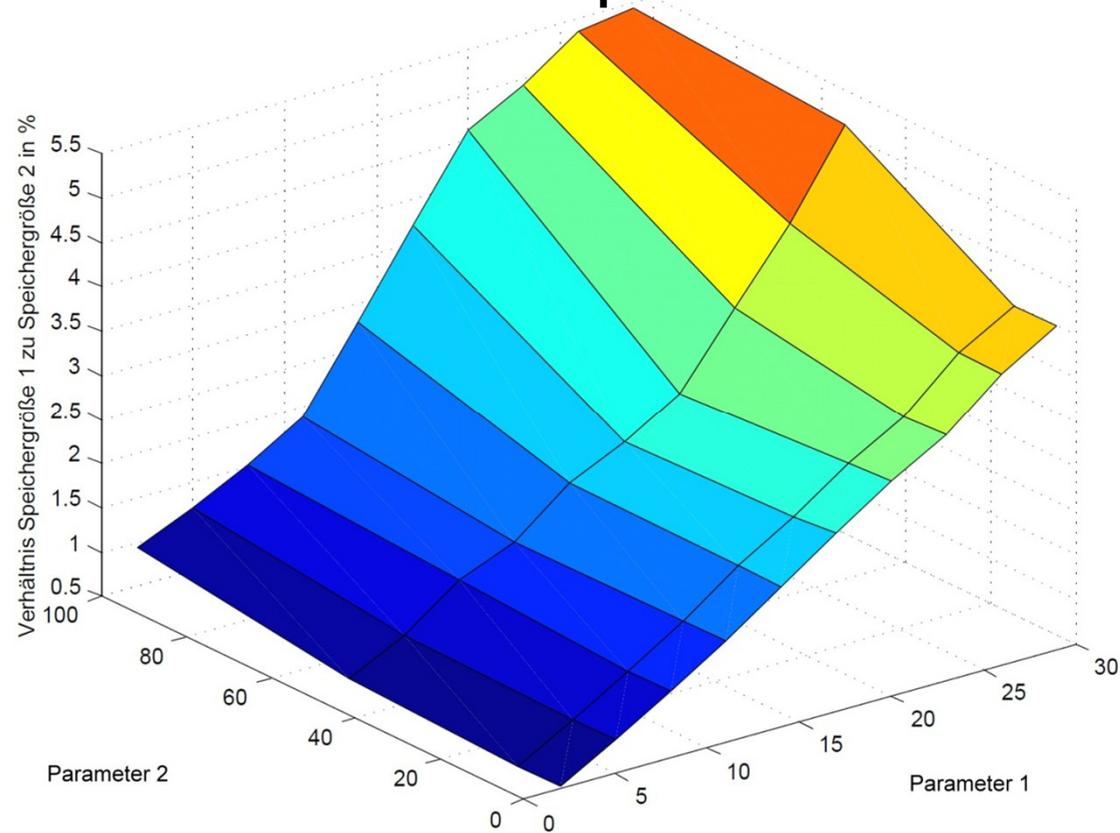
Ergebnisse: Leistungsanforderung

Notwendige Lade/Entladeleistungen des Langzeitspeichers:



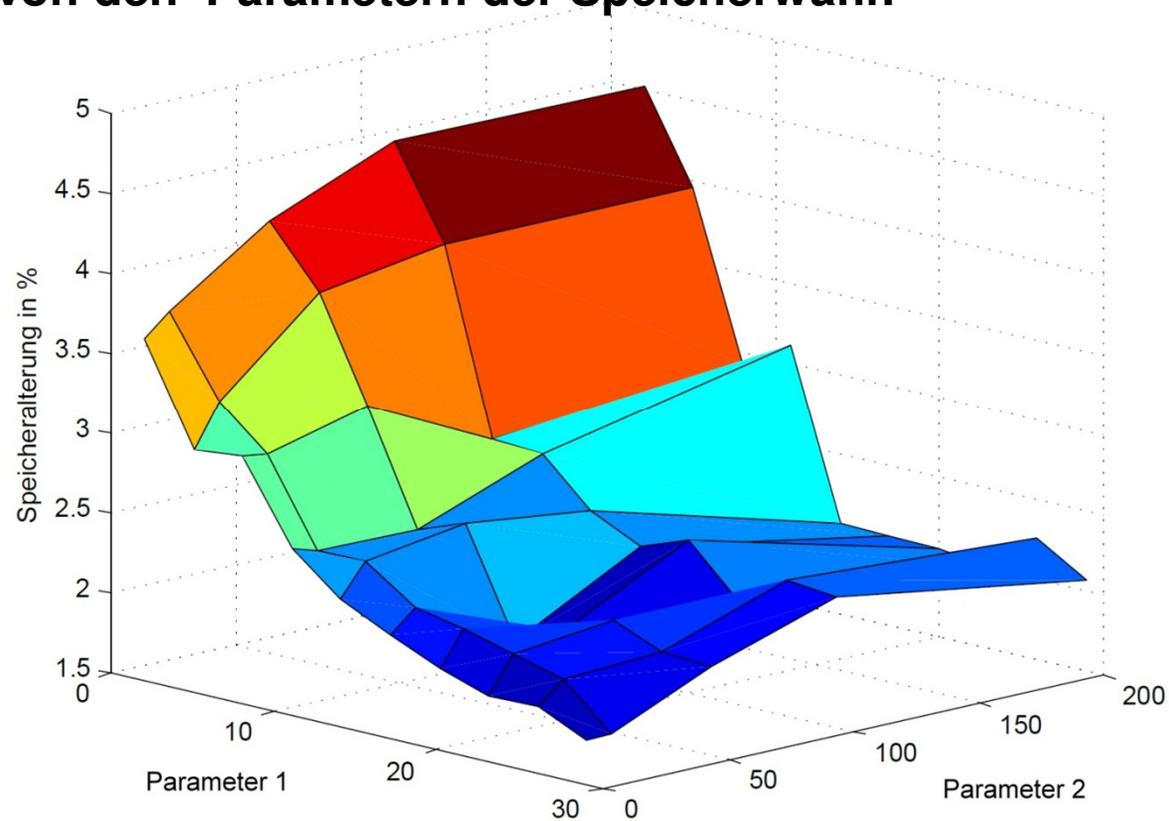
Ergebnisse: Speichergröße

Notwendige Speichergröße des Kurzzeitspeichers abhängig von den Parametern der Speicherwahl:



Ergebnisse: Alterung

**Vergleich der Alterung des Langzeitspeichers
abhängig von den Parametern der Speicherwahl:**



Ergebnisse: Alterung

Beispiel: Referenznetz Vorstadt

- PV-Anlagengröße: 8.7 kW
- Speicher:

	Kurzzeit-Speicher	Langzeit-Speicher	Vergleich: 1-Speicher-Modell
$W_{\text{benötigt}}$ pro Anlage [kWh]	0.70	12.79	12.82
$P_{\text{benötigt}}$ pro Anlage [kW]	5.71	4.87	5.13
Alterung [%]	-	0.98	2.06

→ Kapazitätsverlust durch Alterung um die Hälfte verringert



Fazit Hybrides Speichermodell

- Signifikante Reduktion der Alterung des Batteriespeichers durch hybrides Speichermodell möglich
- Wirksamkeit des hybriden Modells abhängig von Speicherbetriebsweise und Netzkonstellation
- Weitere Untersuchungen:
 - Alterungsverhalten der Doppelschichtkondensatoren
 - Vergleich der Investitionskosten und Optimierung der Wirtschaftlichkeit



Vielen Dank fürs Zuhören!

Dipl.-Ing. Martin Lödl

Technische Universität München
Fachgebiet Elektrische Energieversorgungsnetze
Arcisstraße 21, 80333 München, Deutschland

Tel.: +49.89.289.22005

Fax: +49.89.289.25089

Email: martin.loedl@tum.de

Web: www.een.ei.tum.de



Backup

Berechnung von Wirkungsgraden

• Wirkungsgrad Laden

- Gasungsverluste abhängig von Zellspannung \approx Ladezustand

$$P_{verl} = I * (U_{nom} - U_{akt})$$

$$u_{akt} = (SOC - 0,2) * 0,13 + 1$$

$$\eta = \frac{1}{u_{akt}}$$

- Wirkungsgrad \approx 99 % bei leerem Speicher / 90 % bei vollem

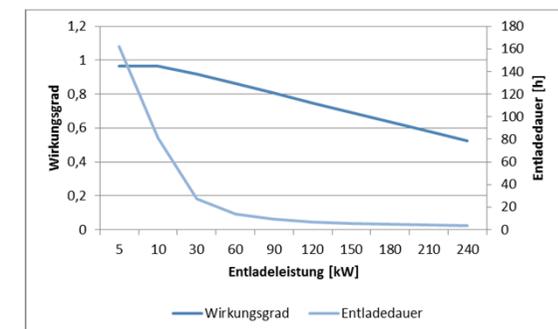
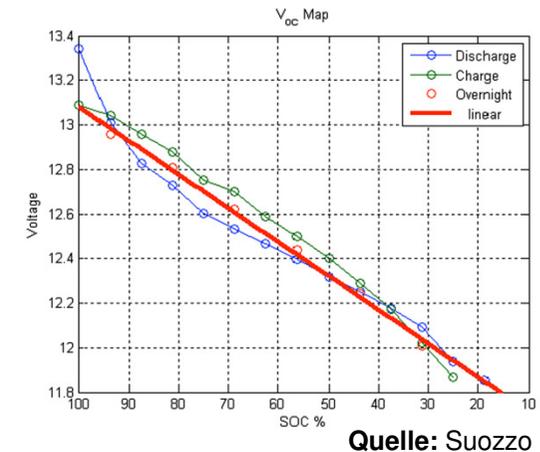
• Wirkungsgrad Entladen

- Grundlage: Peukert-Gleichung

$$\eta = \frac{C_{ver}}{C_{inf}}$$

- Kapazität abhängig von der Entladeleistung:

z.B. Wirkungsgrad \approx 50 % bei Entladung in ca. 0,5 h



Photovoltaik-Potential

- **Datengrundlage**
 - Digitalisierte Flurkarten
 - Siedlungskategorien
Vorstadt, Dorf und ländliches Gebiet
- **Ermittlung der Gebäudegrößen**



Mittleres PV-Potential	Land	Dorf	Vorstadt
Wohngebäude	13,7 kW _p	12,5 kW _p	8,7 kW _p
Landwirtschaften	53,9 kW _p	47,3 kW _p	-





Optimierung der Betriebsweise und Dimensionierung

Betriebsweise:

- **Blei-Säure-Technologie:**
 - Ladezustand immer hoch halten (ggf. durch Wettervorhersagen)
 - Entladeleistung so gering wie möglich halten
 - Mindestens eine Völlladung in 4 Wochen (Sulfatierung)
- **Lithium-Ionen-Technologie:**
 - Bedingungen für PV-Anwendung bereits weitestgehend optimal
 - Sollwerte unbedingt einhalten
- **Beide Technologien:**
 - Temperatur niedrig halten
 - Hohe Leistungen vermeiden

Optimierung der Betriebsweise und Dimensionierung

Beispiel mit Energiespeicher 1:

Variante	Größe	Lebensdauer	Kosten
1	50%	81%	68%
2	100%	100%	100%
3	200%	143%	138%



- Überdimensionierung bringt keine Vorteile in Bezug auf Alterung.
- Kapazität sollte so gering wie möglich gewählt werden
(ggf. Verluste bei vollgeladenem Speicher)