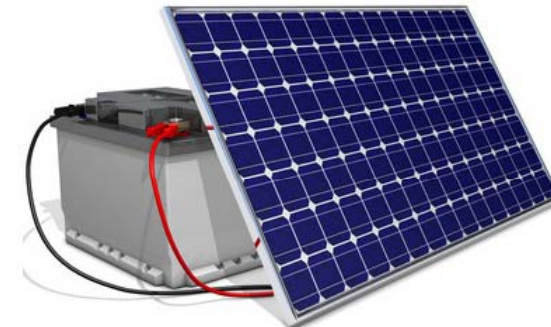
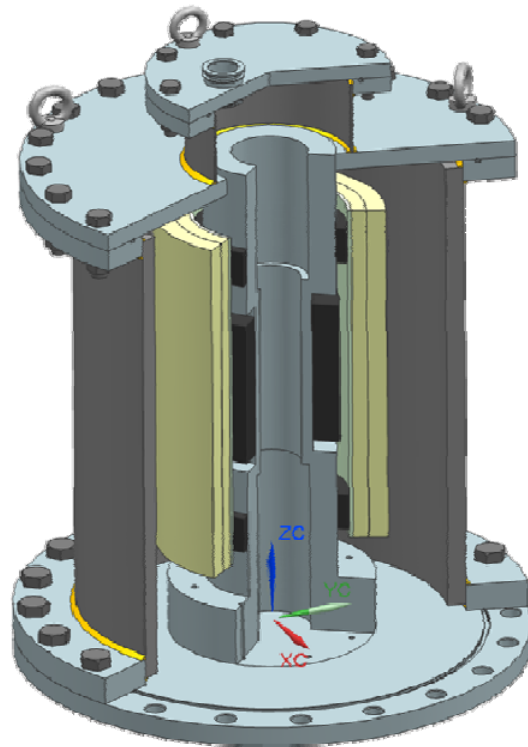


Elektrische Energiespeicher in Wohngebäuden

Nutzen, Auslegung, Technologie und Förderung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



© Thomas Jansa - Fotolia.com

Wer sind wir?

Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau



Mechatronische Systeme		Anwendung			
		Fahrzeugantriebe	Flugtriebwerke	Medizintechnik	Allgemeiner Maschinenbau
Systemintegration	Modellierung & Charakterisierung				
	Design & Synthese				
	Methodik & Organisation				



Kinetische Energiespeicher

Ein alter Hut?

Älteste Form der Energiespeicherung

- Antike Töpferscheibe
- Schwungräder in Pressen und Kraftmaschinen



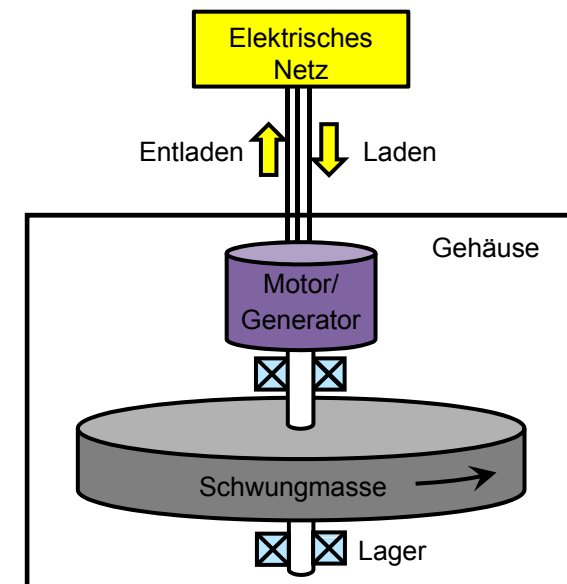
Quelle: Experimentelle Archäologie in Deutschland

Speichern von **elektrischer Energie** in der **Bewegungsenergie** eines Rotors

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \Theta \omega^2$$

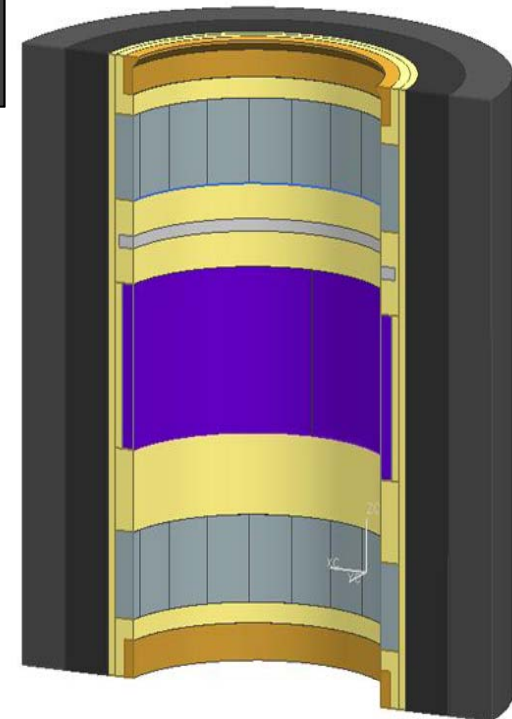
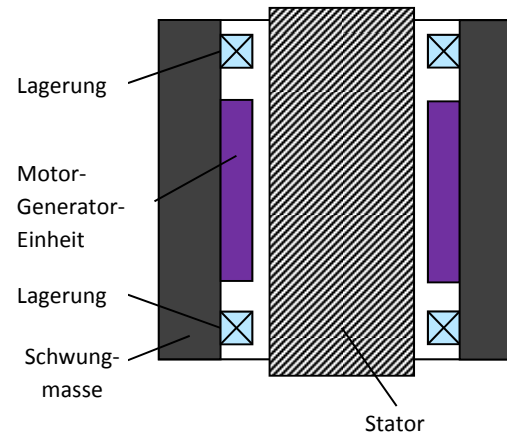
Technischer Fortschritt:

- Hohe Trägheit und hohe Drehzahlen
- Hochfeste Materialien
- Reibungsfreie Magnetlager
- Vakuum reduziert Luftreibung



Aktuelles Forschungsprojekt: Energieeffizienter, hoch integrierter Außenläufer

- Energie in Rotationsbewegung
 - 40.000 U/min
 - Innovative Bauform
- Verlustoptimierung
 - Feinvakuum 0,3 Pa
 - Berührungslose Magnetlager
- Hohe Leistung
 - Schnelle Reaktionszeit
 - Unabhängig von Kapazität



- Hohe Lebensdauer
- Keine Zyklen abhängige Alterung
- Standard Industriekomponenten

Methodischer Forschungsschwerpunkt: Dimensionierung und Betrieb von Energiespeichern



Starke Abhängigkeit von Zielsetzung

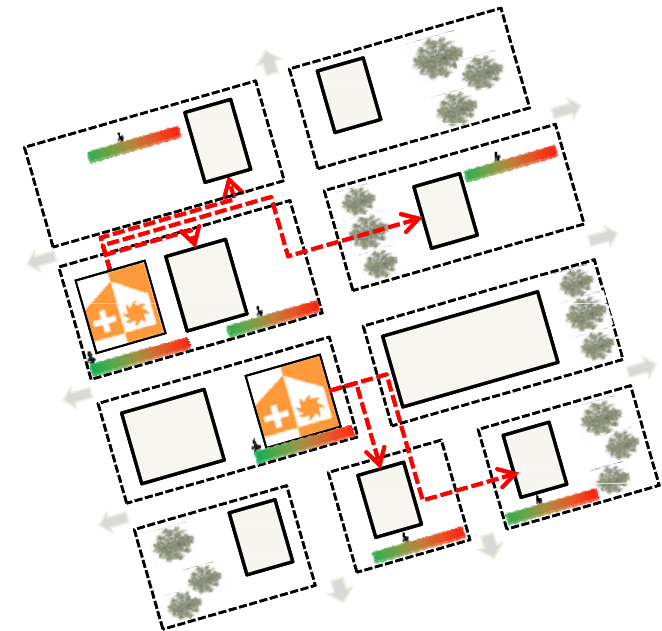
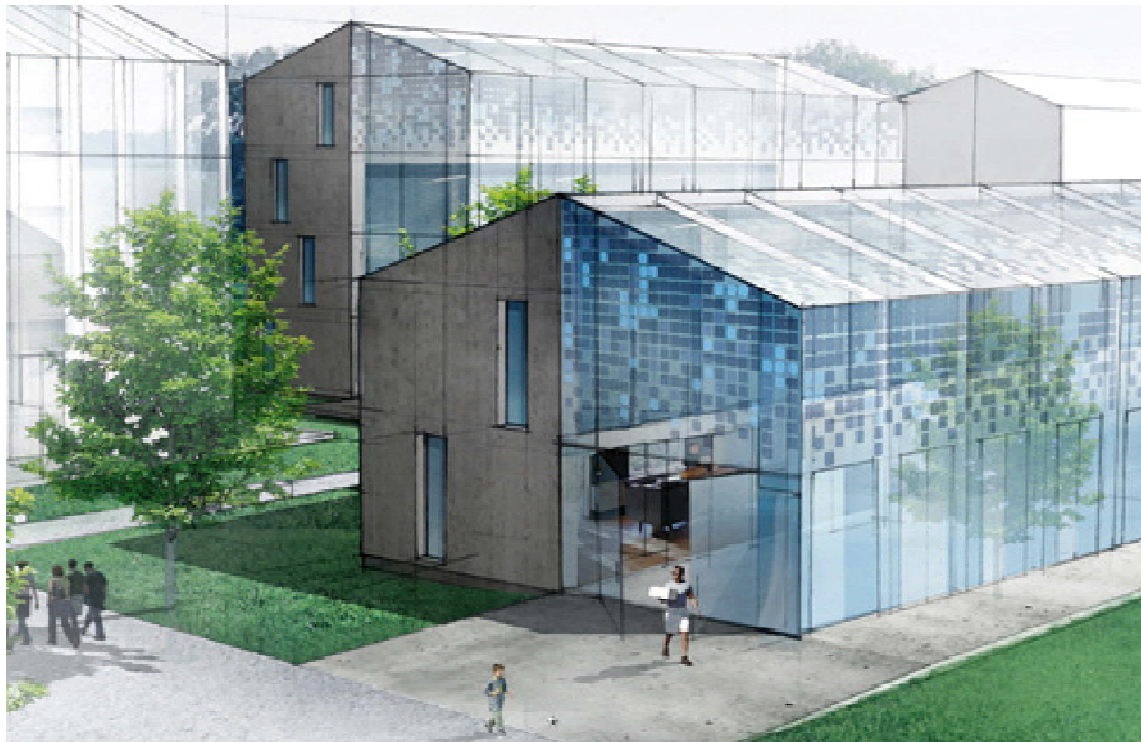
Mögliche Zielsetzungen	Besondere Anforderung
Autarkie (Inselbetrieb)	Hohe Kapazität
USV-Funktionalität	Hohe Zuverlässigkeit
Frequenzstabilisierung	Hohe Dynamik
Reduktion der Anschlussleistung von Industrieanlagen	Je nach Anwendung
Ausgleich von Prognosefehlern bei WEA	„Aktuelle Forschung“
Filterung von Lastspitzen in Verteilernetzen	Hohe Leistung
PV-Strom zwischenspeichern	Intelligente Betriebsweise

Nicht Vernachlässigbar:

- Wandlungs- und Standbyverluste
- Zyklische und kalendarische Alterung chem. Speicher
- Unterschiedliche Speichertechnologien werden unterschiedlich dimensioniert!

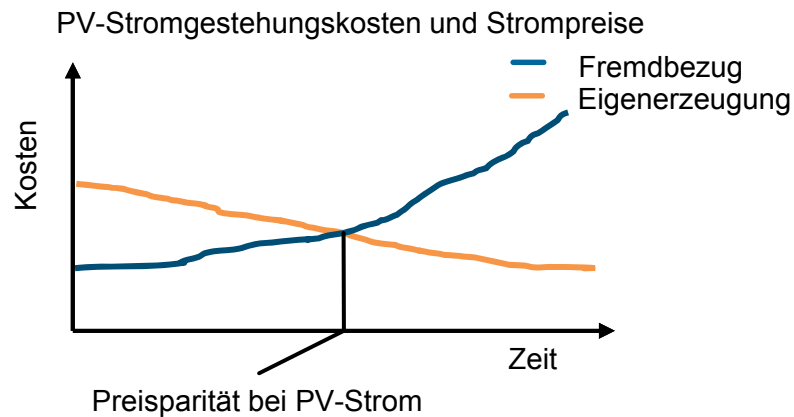
 **Wirtschaftliche Auswirkung**

Forschungsprojekt Plus-Energiehabitat



Energiespeicher in Wohngebäuden

Die Ausgangssituation

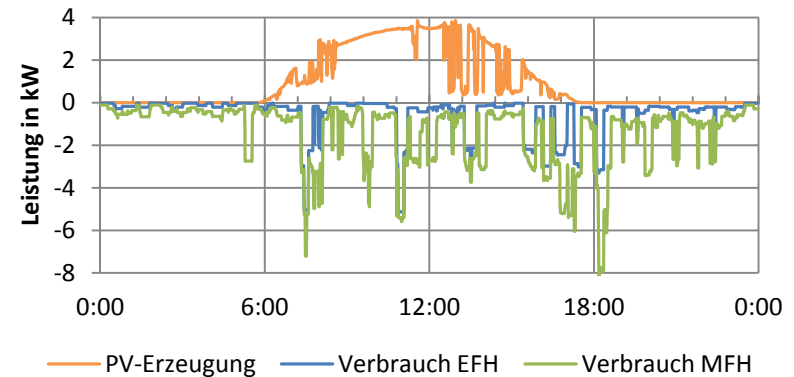


- Erneuerbare Energien sind volatil
- Verbrauch ist schwer planbar
- Eigenverbrauch ohne Speicher: ca. 20%

- Steigende Strompreise (2-4% p.a.)
- Fallende PV-Stromgestehungskosten
- Eigener Strom ist bereits heute billiger

Nutzen von elektrischen Speichern in Wohngebäuden

„Energiespeicher erhöhen die
Verträglichkeit von Erzeugung und
Verbrauch“



Speicher erhöhen **Eigenverbrauch**

Sinnvolle EV-Werte liegen bei 70-80%

- Abhängig von PV-Leistung, Nutzerprofil und Speichergröße
- Steigende Energiekosten werden durch Investkosten ersetzt

Vielerlei Nutzen:

- Erhöhung des **Autarkiegrads** (Ideeller Gewinn für Endverbraucher)
- Geringerer **Strombezug** (Endverbraucher)
- Reduktion von hohen **Einspeisespitzen** (Netzbetreiber)

Status Quo: 20% Eigenverbrauch - Geht da nicht mehr?

Erzeugeranlagen wie PV oder BHKWs erzeugen nicht bedarfsgerecht Strom

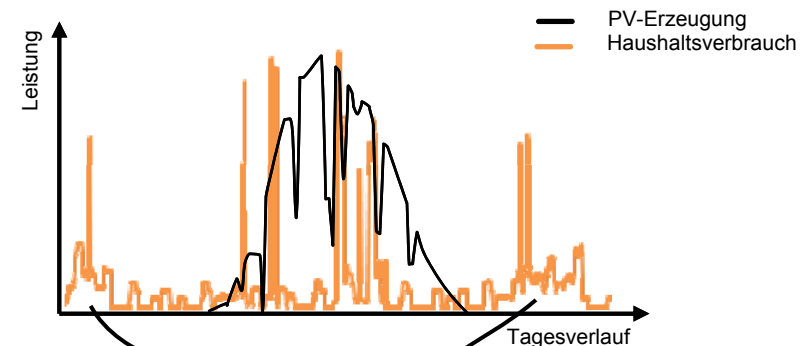
Besonders PV ist volatil und saisonal stark veränderlich

- Nicht selbst genutzter Strom wird eingespeist
- Teurer Strom muss eingekauft werden wenn kein eigener Strom vorhanden ist

➤ Niedriger Eigenverbrauch des günstigeren selbsterzeugten Stroms bei ca. 20%

➤ Ohne Speicher müsste das Verbraucherverhalten geändert werden

Leistung einer PV-Anlage mit Wolkendurchzug



PV ist nicht dann verfügbar wenn häufig hoher Strombedarf auftritt

Was kann mit Stromspeichern erreicht werden?

Nutzerorientierte Funktionen

- Verschieben der ungenutzten PV-Erzeugung in die Abendstunden
- Erhöhung des Eigenverbrauchs
- Reduktion des Strombezugs vom Netz



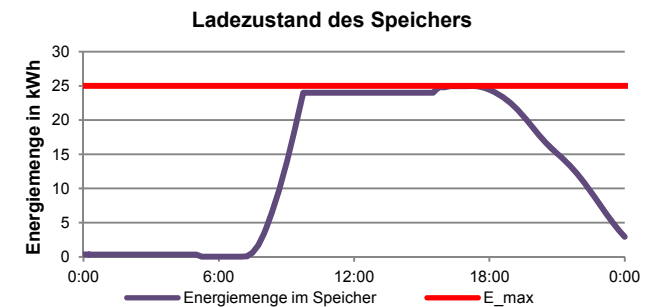
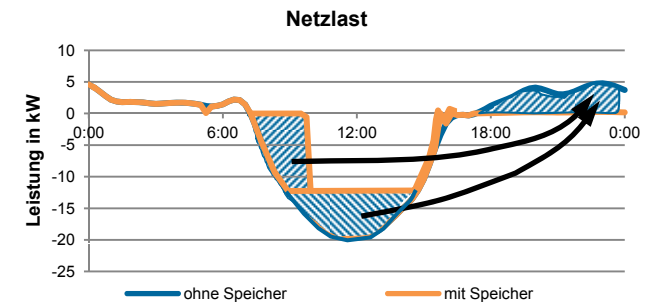
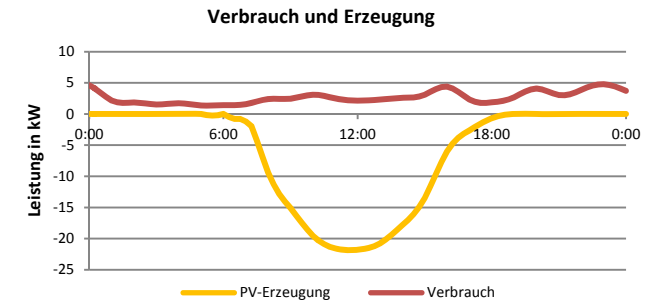
Kostenvorteile in Nutzungsphase

Netzdienliche Funktionen

- Glättung der Netzlast
- Vermeidung von Überspeisung des Mittelspannungsnetz
- Spannungshaltung



Erhöhung der Netz-Verträglichkeit von PV

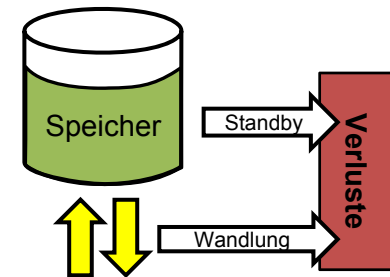


Nutzerorientierte Speichernutzung

Ermittlung der Speichergröße

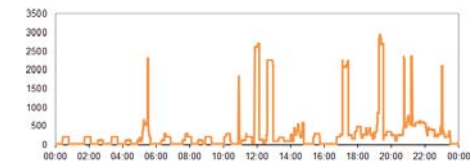
Problematik

- Speicher sind sehr teuer
- Überdimensionierung „vernichtet“ Strom durch unnötige Wandlung bei Rückspeisung und Standbyverluste



Herausforderung: Speicherdimensionierung

- Methodisches Vorgehen
- Hochaufgelöste, gemessene oder synthetisierte Lastprofile
- Keine Standard-Lastprofile!
- Hoher Einfluss von PV-Ertrag und Nutzerverhalten



E, P, €(t)

Unterschiedliche Zielsetzungen ergeben unterschiedliche Speichergrößen

Nutzerorientiert: z.B. Steigerung des Eigenverbrauchs → E ↓; P ↑

Netzorientiert: z.B. Kappen der Mittags-Peaks → E ↑; P ↓

Nutzorientierte Speichernutzung

Beispiel-Szenario

Mehrfamilien-Plusenergie-Haus in Frankfurt am Main

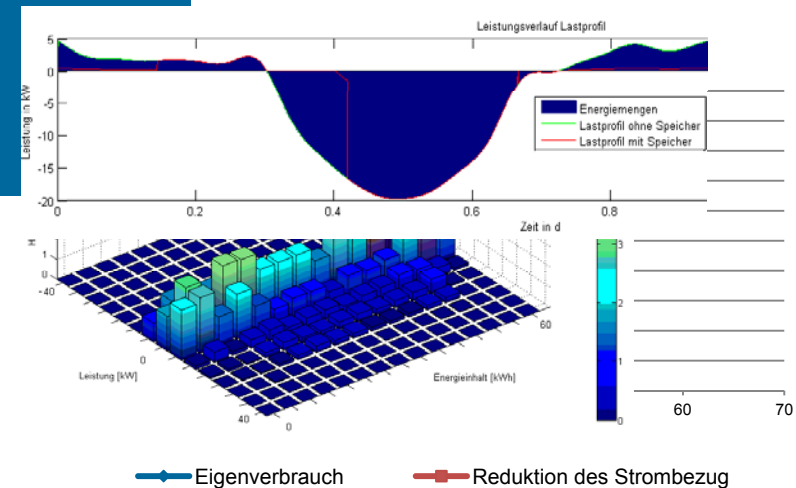
- 18 Parteien, ca. 39 Bewohner
- 6,7 kW_{el} BHKW (2200 Betriebsstunden)
- 30 kWp PV-Anlage „virtuell“ aufgesetzt
- Jahres Stromverbrauch: 25.000 kWh

Methodik bei gemessenen Lastgang:

- Erfassen der Energiemengen
- Häufigkeitsverteilungen
- Simulation

Methodik bei unbekanntem Lastgang

- Synthetische Lastprofile mit statistisch signifikanter Ähnlichkeit z.B. (Standardabweichung, Autokorrelation)



↓

Ziel: EV von ca. 80%
Führt zur Reduktion des Strombezugs um 56%

Nutzorientierte Speichernutzung

Beispiel-Szenario über 365 Tage

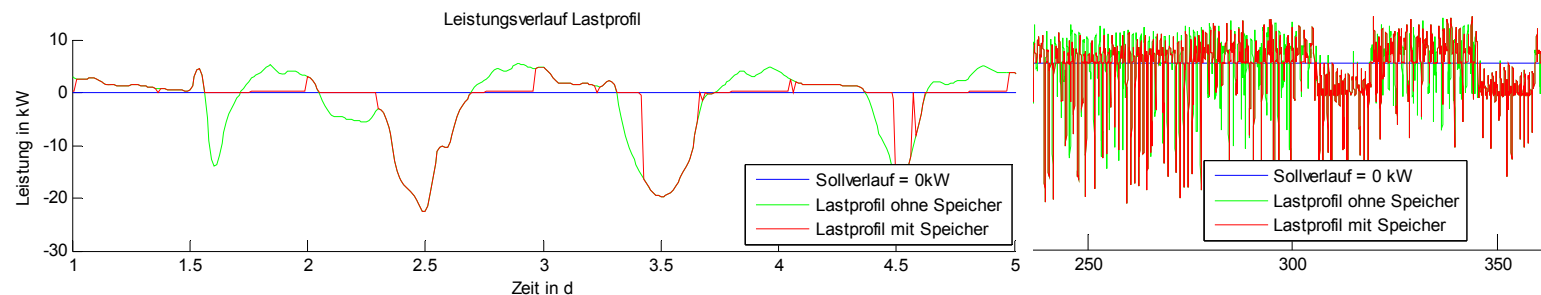
Netzbezug ohne Speicher: 11506.15 kWh

Netzbezug mit Speicher: **5116.38 kWh**

Reduktion des Netzbezugs : **56%**

Eigenverbrauchsquote mit (ohne) Speicher: **79% (53%)**

Reduktion der Einspeisung **26%**



Speicherdaten:

Speichergröße 25 kWh mit 15 kW Leistung

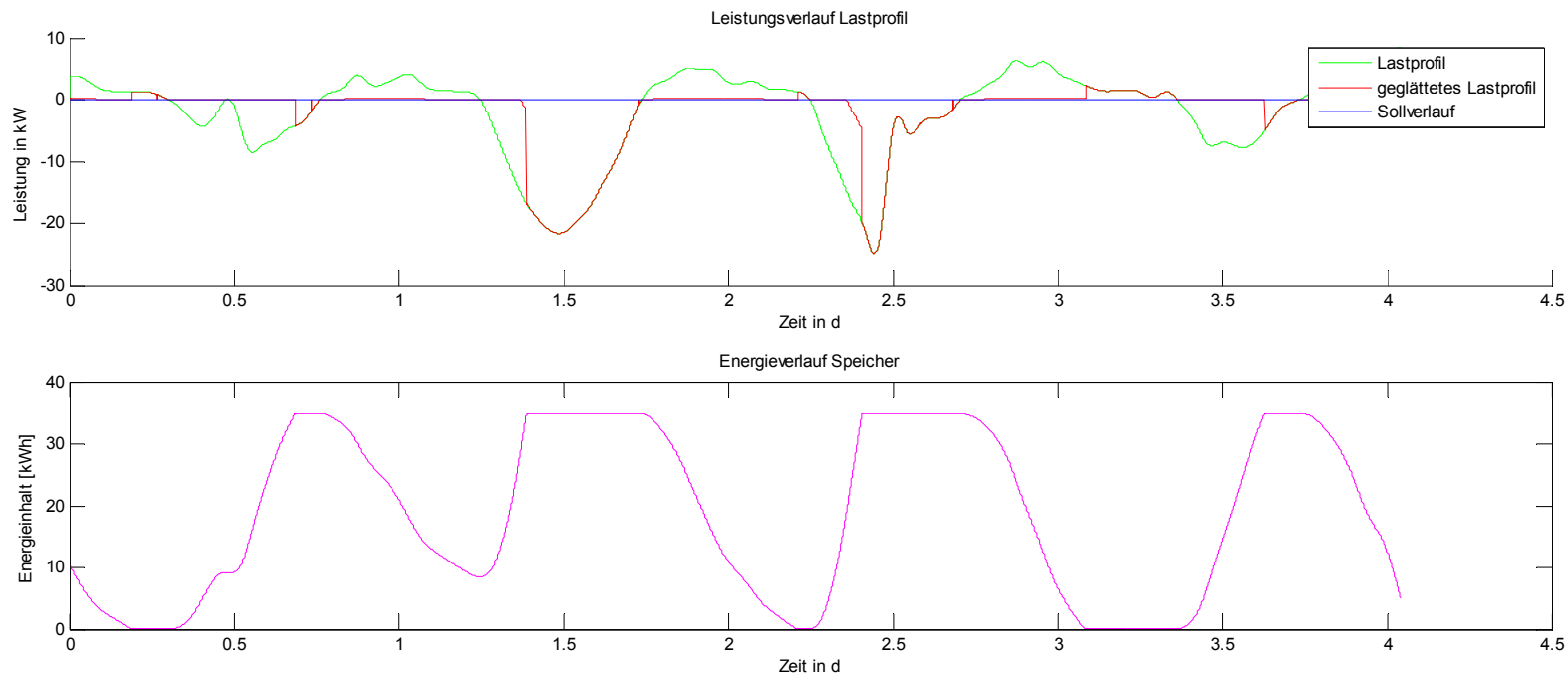
Wandlungs- und Standby-Verluste berücksichtigt

Netzdienliche Funktionalität

Warum Helfen „dumme“ Speicher nicht dem Netz?

PV-Anlagen: Sehr hohe Einspeise-Spitzen in den Mittagsstunden

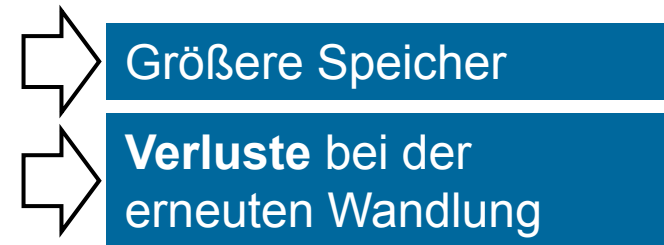
- Mittagsspitzen ergeben größere Energiemengen als abends verbraucht werden
- Speicher bereits um 10 Uhr geladen
- Mittagsspitze schlägt voll auf Netz durch



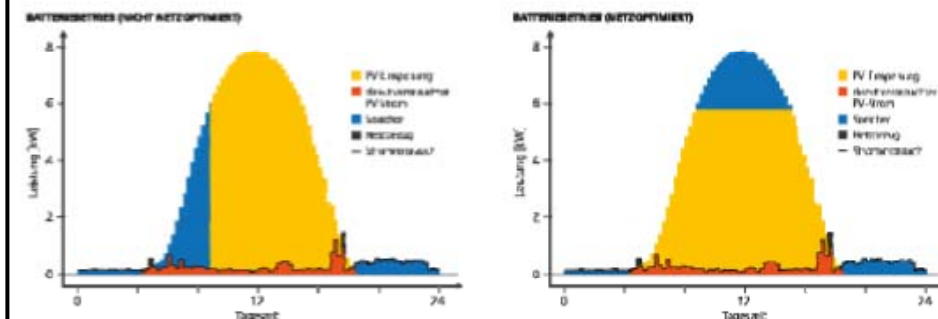
Netzdienliche Funktionalität Auf die Intelligenz kommt es an!

Betriebsstrategie ist für Netzdienlichkeit entscheidend

- Speicher muss Einspeisepeak begrenzen
- Je größer der Speicher ist desto besser
- **Netzeinspeisung aus dem Speicher** in den Abendstunden
- Bei **prognosebasierter Betriebsstrategie** kaum Absenkung des Eigenverbrauchs



Aktuelle Studie: Fraunhofer ISE, Speicherstudie 2013: Netzauswirkungen



- Reduktion der Mittagsspitze um 40%
- Bis zu 66 % mehr PV-Peakleistung möglich!

Was spricht gegen elektr. Speicher in Wohngebäuden? - Die Realität der Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit



Speichertechnologien sind teuer!

- Darum müssen sie möglichst lange halten
- Rentabilität erst nach 15 bis 20 Jahren
- fragwürdig bei vielen angebotenen Systemen

Bei chemischen Speichern hat die Betriebsweise große Auswirkungen auf **Lebensdauer** und damit die **Wirtschaftlichkeit**

Entladetiefe:

Es steht nicht die volle Kapazität der angegebenen Kapazität zu Verfügung um eine Tiefentladung zu vermeiden

SOH: State Of Health

Zyklische und kalendarische Degradation bei hochwertigen Li-Ionen-Akku-Systemen:

$12,9\% + 6,3\% = 19,2\%$ Verlust an Kapazität in 20 Jahren
(Angabe von: Bosch Powertec)

Förderung von PV-Batteriespeichern durch die Bundesregierung

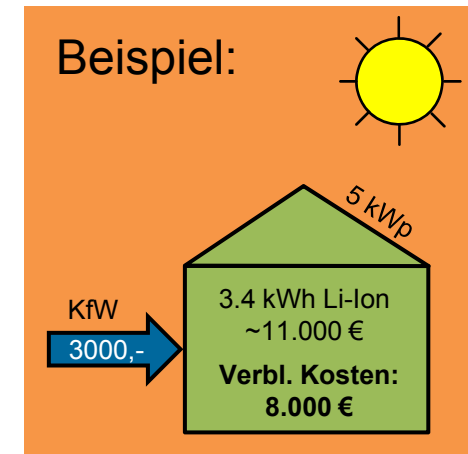
- Fördervolumen 50 Mio. €
- 600 - 660 €/kWp
- Über Tilgungszuschuss bei KfW-Kredit

- Beschränkt auf kleine Anlagen bis 30kWp

- Voraussetzungen
 - Neue Anlagen ab 2013
 - Schnittstellen zur „Fernsteuerung“
 - 7 Jahre Hersteller-Garantie des Zeitwerts

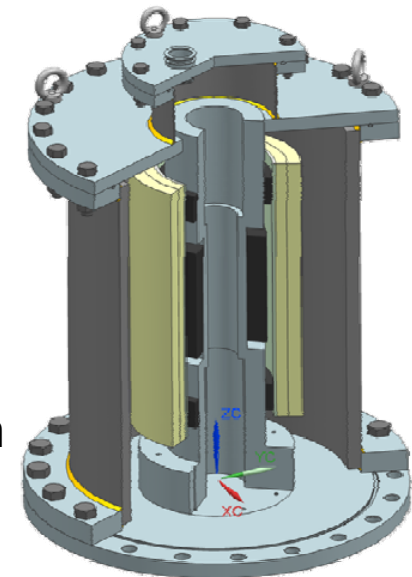
- Aktuell liegt keine Pflicht zu Netzdienlichkeit vor

Ca. 25.000 Speichersysteme



Fazit und Ausblick

- Speicher erhöhen den **Eigenverbrauch** erheblich
- Methodisches Vorgehen bei der **Dimensionierung**
 - Abhängig von Zielsetzung und Nutzerverhalten
 - Reduktion der System- und Betriebskosten
 - Simulation und statistische Auswertung
- **Betriebsstrategie** kann zur Netzstabilität beitragen
 - Fehlende Netzdienlichkeit behindert die PV-Integration
 - Bisher kein Anreiz/Pflicht zur Netzdienlichkeit für Kleinanlagen
 - Lebensdauer/Wirtschaftlichkeit noch fragwürdig
- Durch **Zyklenbeständigkeit** von kinetischen Energiespeichern kann die Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus verbessern



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

Was kann mit Stromspeichern erreicht werden?

Nutzerorientierte Funktionen

- Verschieben der ungenutzten PV-Erzeugung in die Abendstunden
- Erhöhung des Eigenverbrauchs
- Reduktion des Strombezugs vom Netz



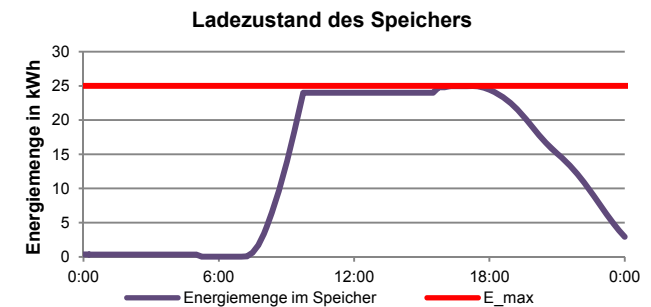
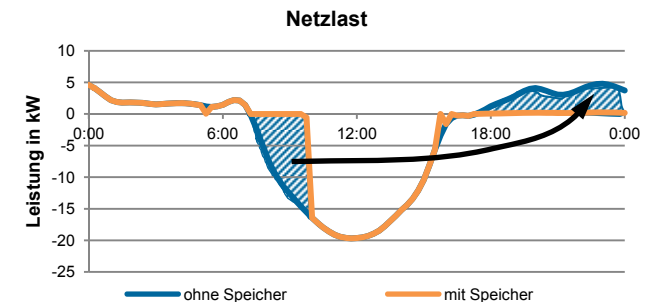
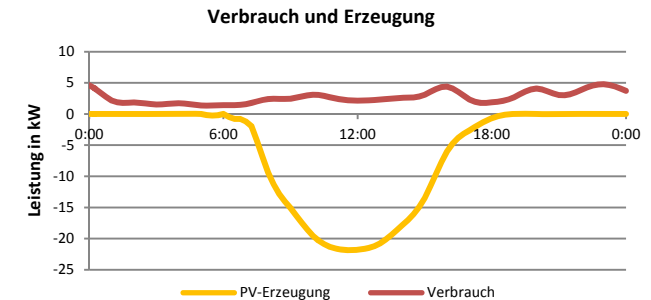
Kostenvorteile in Nutzungsphase

Netzdienliche Funktionen

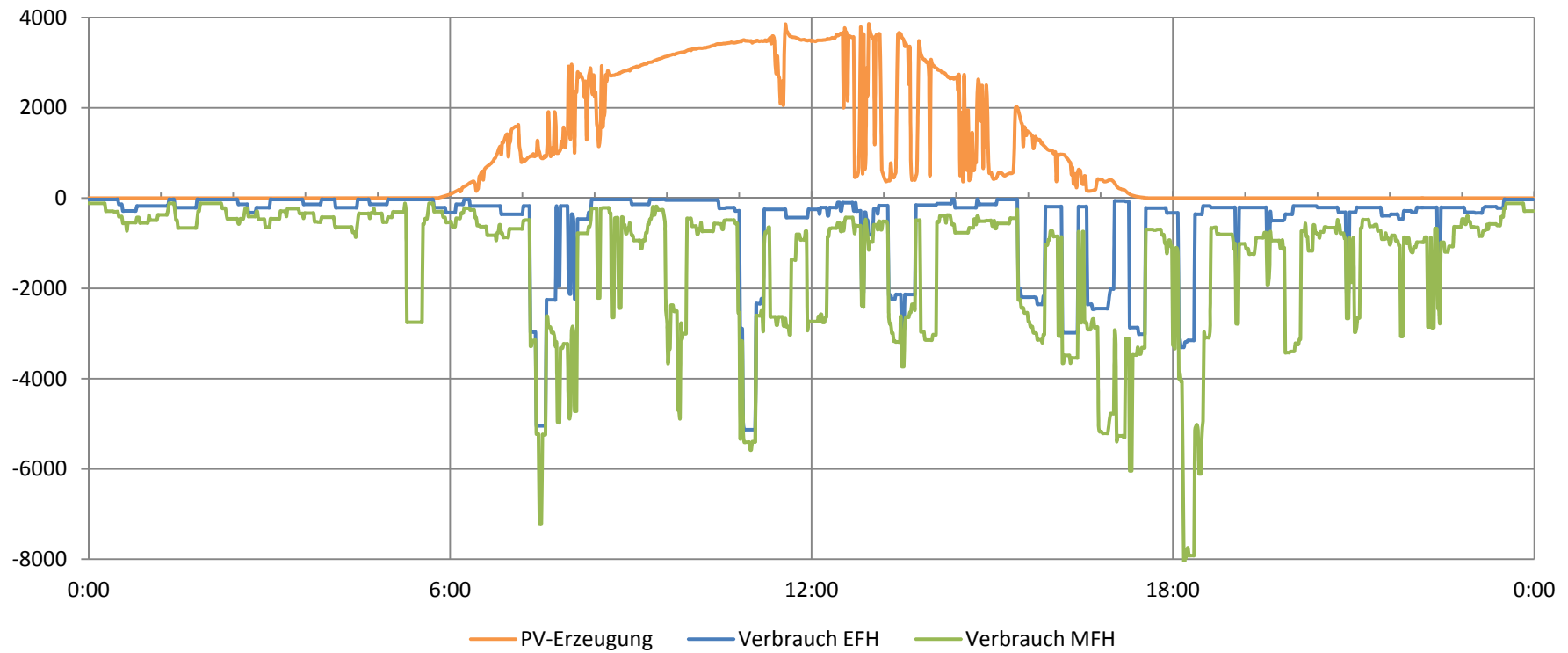
- Glättung der Netzlast
- Vermeidung von Überspeisung des Mittelspannungsnetz
- Spannungs- und Frequenzhaltung



Erhöhung der Netz-Verträglichkeit von PV



Reale Lastverläufe



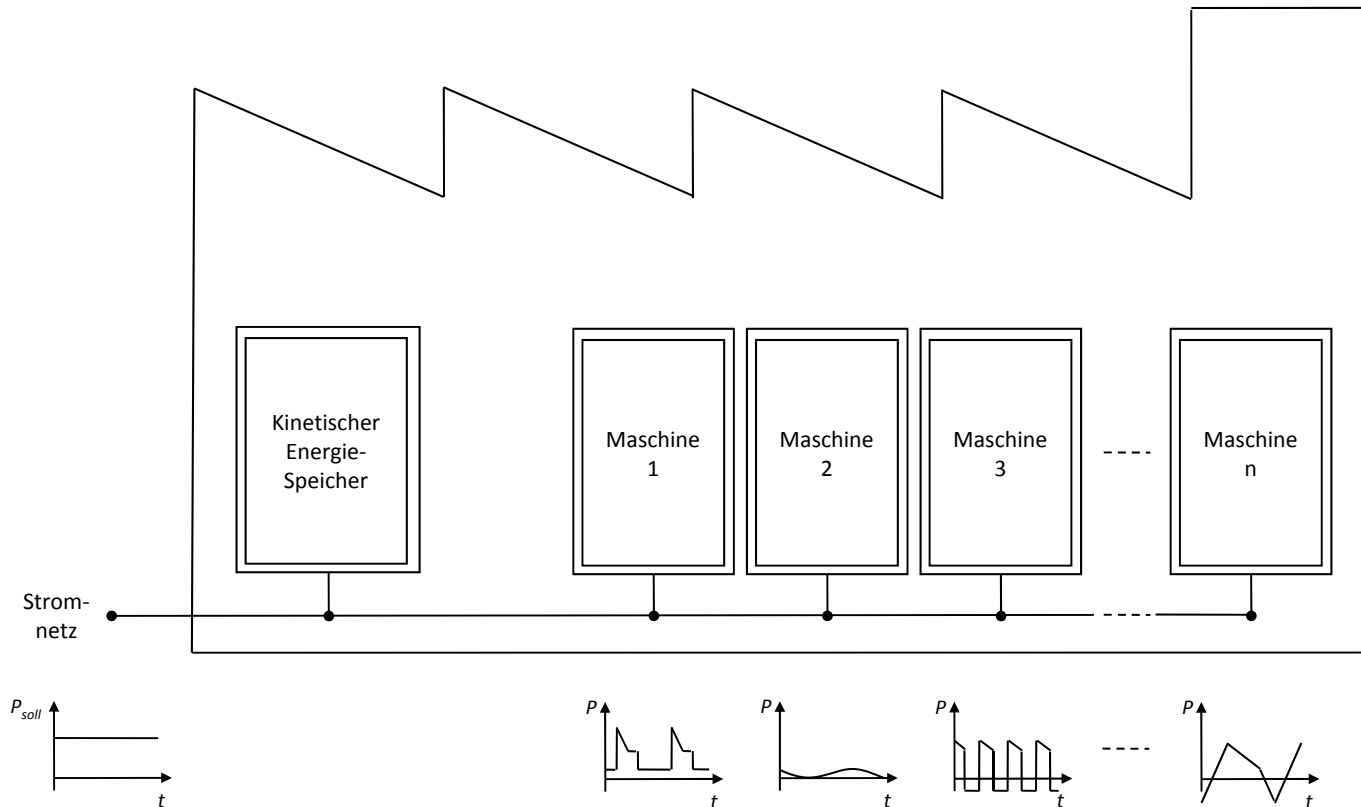
Verbrauch im Haushalt ist nur bedingt planbar



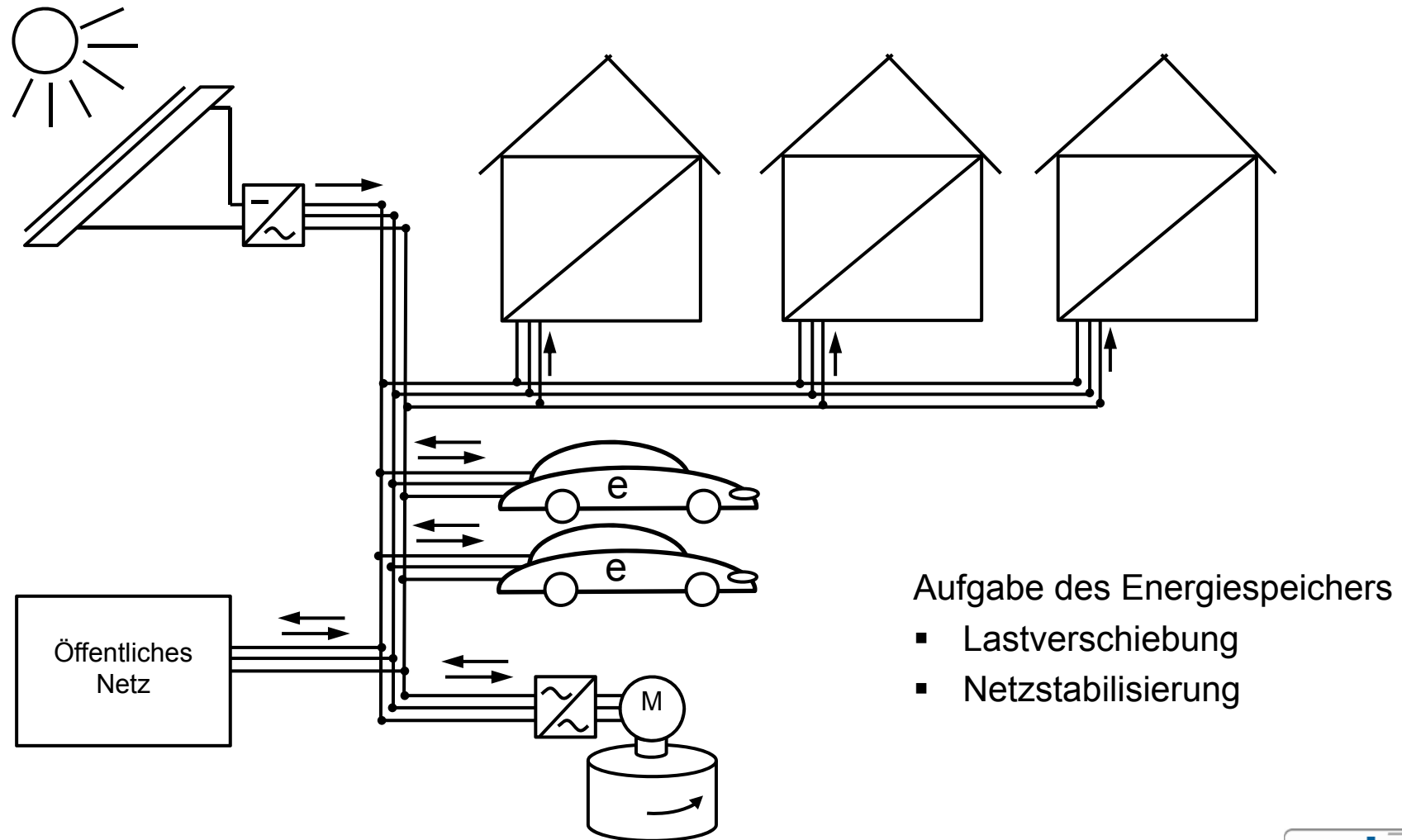
Anwendungsgebiet Produzierende Industrie

Aufgaben des Speichers:

- Glättung des Lastgangs (Peakshaving)
- Reduzierung der Anschlussleistung



Anwendungsgebiet Siedlung

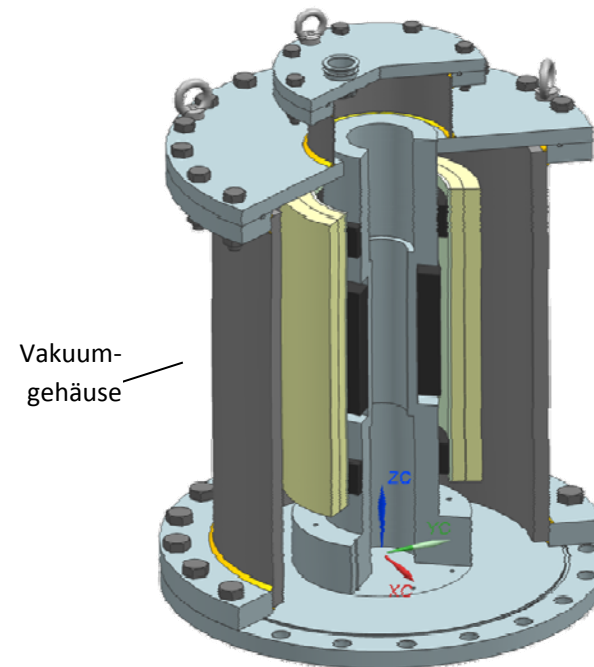
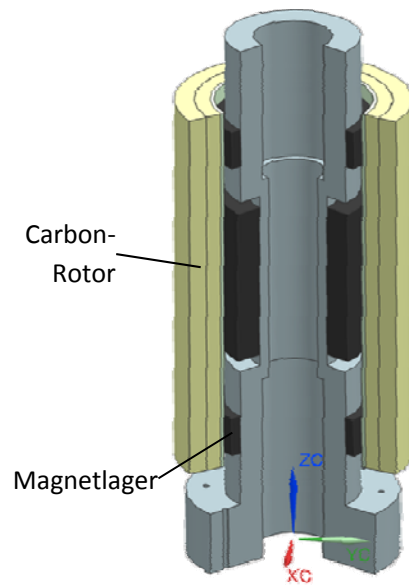


Aufgabe des Energiespeichers

- Lastverschiebung
- Netzstabilisierung

Kinetische Energiespeicher Innovation durch Engineering

Hohe Materialausnutzung durch Außenläuferkonzept
Verlustreduzierung durch



Was sind Vorteile? Technologie und Ökonomie



- Sehr gute Eignung als Kurzzeit- bzw. Leistungsspeicher
- Mehr Leistung
 - Hohe Drehzahlen
 - Effizienz
- Mehr Kapazität

- Zyklentest (Lebensdauer: ~ 20 Jahre)
 - Lebenszyklus

- Kleine bis mittlere Stückzahlen wirtschaftlich (≠ Batterien)

- Keine umweltschädlichen Chemikalien

Dimensionierung und Konfektionierung durch Modularität

- Energieinhalt
- Leistung
- Komponenten

Betriebsstrategie

- Wann speichern?
- Wie viel speichern?

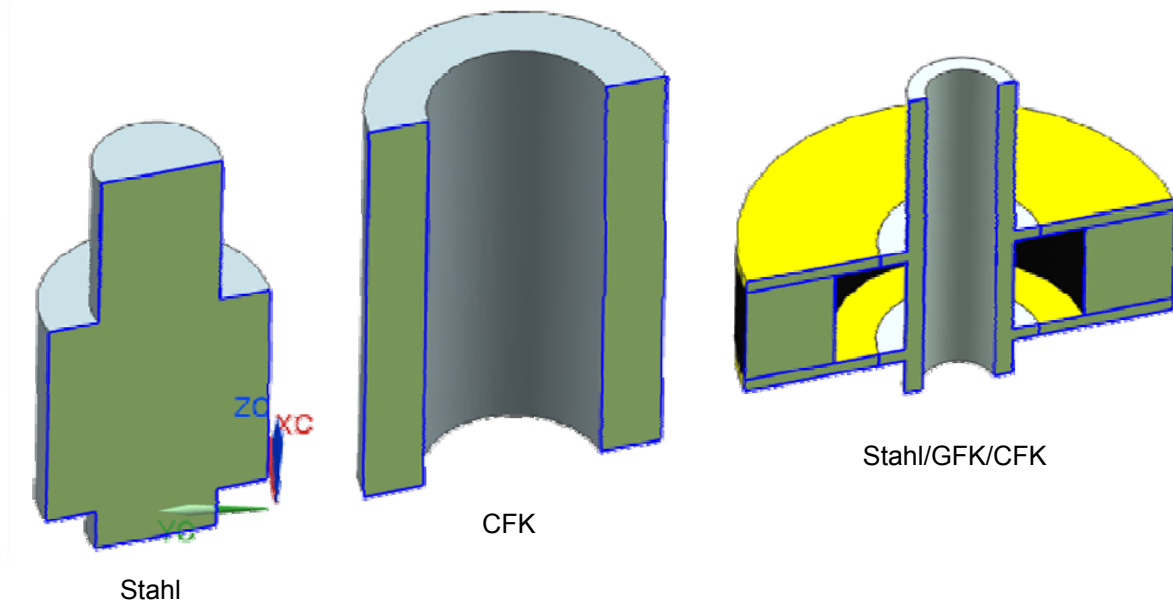


Abbildung: 3 Rotoren gleicher Trägheit

Verfügbare Speichertechnologien

Speicher	Eigenschaften
Chemische Speicher <ul style="list-style-type: none"> • Blei-Säure • Lithium-Ionen • Redox-Flow 	+ etabliert + geringe Anschaffungskosten -- Lebensdauer
Pumpspeicher	++ Große Kapazität -- Ausbaumöglichkeiten - Akzeptanz
Kondensatoren	++ Hohe Leistung - Hohe Kosten - Geringe Kapazität
Wasserstoff	+ Große Kapazität - Hoher Invest -- geringe Effizienz
Kinetische Energiespeicher	+ Hohe Leistung ++ Hohe Lebensdauer - Komplexes System



zentodone.eu

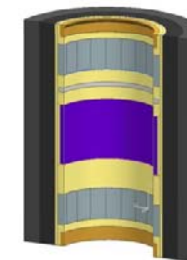


hydroprojekt.de



mouser.com

H₂



Reduktion der parasitären Verluste


- Luftreibung -> Betrieb im Feinvakuum bei ca. 1 Pa
- Lagerreibung -> Berührungslose magnetische Lagerung

Verlustoptimierung der Komponenten

- Energieeffiziente aktive Lagerbauformen
- Passive, permanentmagnetische Lagerung zur Gewichtsentlastung
- Antriebsauswahl je nach Einsatzgebiet

Zielkonflikt

Reduktion der Schleppverluste

Reluktanzmaschine  vs. 

Reduktion der Wandlungsverluste

PM-Synchronmaschine

Schlüsselfrage: Wie muss ein Speicher dimensioniert werden?



Vermeidung von Über- oder Untererfüllung

- Speicherleistung und -kapazität konfektionierbar
- Wirtschaftlichkeit
- Technologische Erfüllbarkeit

„Dimensionierung ist stark von Anwendungsgebiet abhängig und unterliegt individueller Anforderungen hinsichtlich der Zielsetzung.“

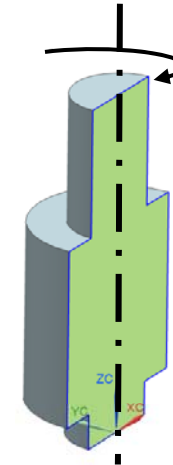
- Neue Bewertungs- und Dimensionierungsmethodik entwickelt
- Betriebsstrategien des Ladeverhaltens in Arbeit
 - Je nach Zielsetzung unterschiedliche Strategien
 - Korrelation mit Speicherauslegung

Wie sehen KES aus?

Rotorbauformen

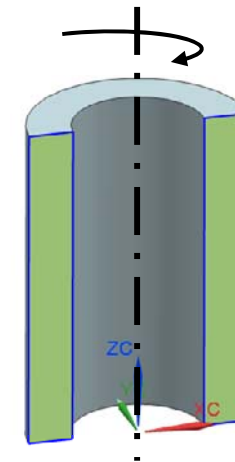
Konventionell: Innenläufer

- Systemeigenschaften gut bekannt
- Rotordynamik in Grenzen beherrschbar
- Einfache Konstruktion des Rotors
- Bandagierung Notwendig – große Luftspalte



Aktuell: Außenläufer

- Faser-Kunststoff-Verbund
- Starrer Rotor
- Funktionsintegration:
 - Schwungmasse bandagiert Einbauten
 - Hohe Energiedichte



- **Problem: Aufdehnung unter Fliehkraft!**

Wie sehen KES aus? Alternative Bauformen

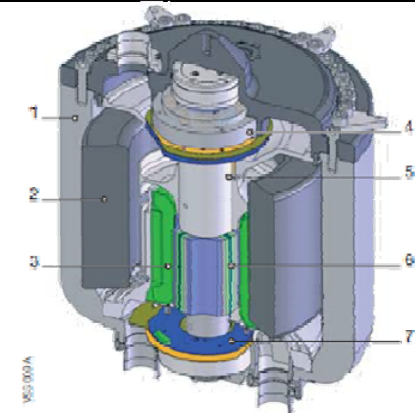
Alternative: Hybrid

- Innenlaufende Welle an hohle Schwungmasse angebunden
- Einzelne Systeme existieren bereits
- Probleme bei der **Festigkeit der Nabenanbindung**
 - Dehnungsunterschiede müssen überbrückt werden
 - Anbindung meist sehr weich -> Schwingungsrelevant

Vorteile: Das beste von beiden

- Keine Luftspaltaufweitung -> kompakte Aktorik
- Bekannte Regelstrategien
- Konventionelle Antriebskomponenten
- Beherrschbare Fanglagerung

Frage: Gibt es vielleicht doch eine technische Lösung eine außenlaufende Schwungmasse dauerhaft an eine Nabe zu binden?



1. Schutzwall
2. Kohlenstoff Schwungrad - Glasfaser
3. Magnet-Stator
4. Oberes Magnetlager
5. Vakuumsystem
6. Magnetrotor
7. Unteres Magnetlager

