

Elektrische Energiespeicherung beim Prosumer

Test von Systemen zum Energiemanagement

Andreas Hutter

A competence center with 100 researchers

Photovoltaic Research in Neuchâtel Switzerland



- Basic research
- Advanced devices



EPFL- PVLAB



- Applied research
- From lab to industry

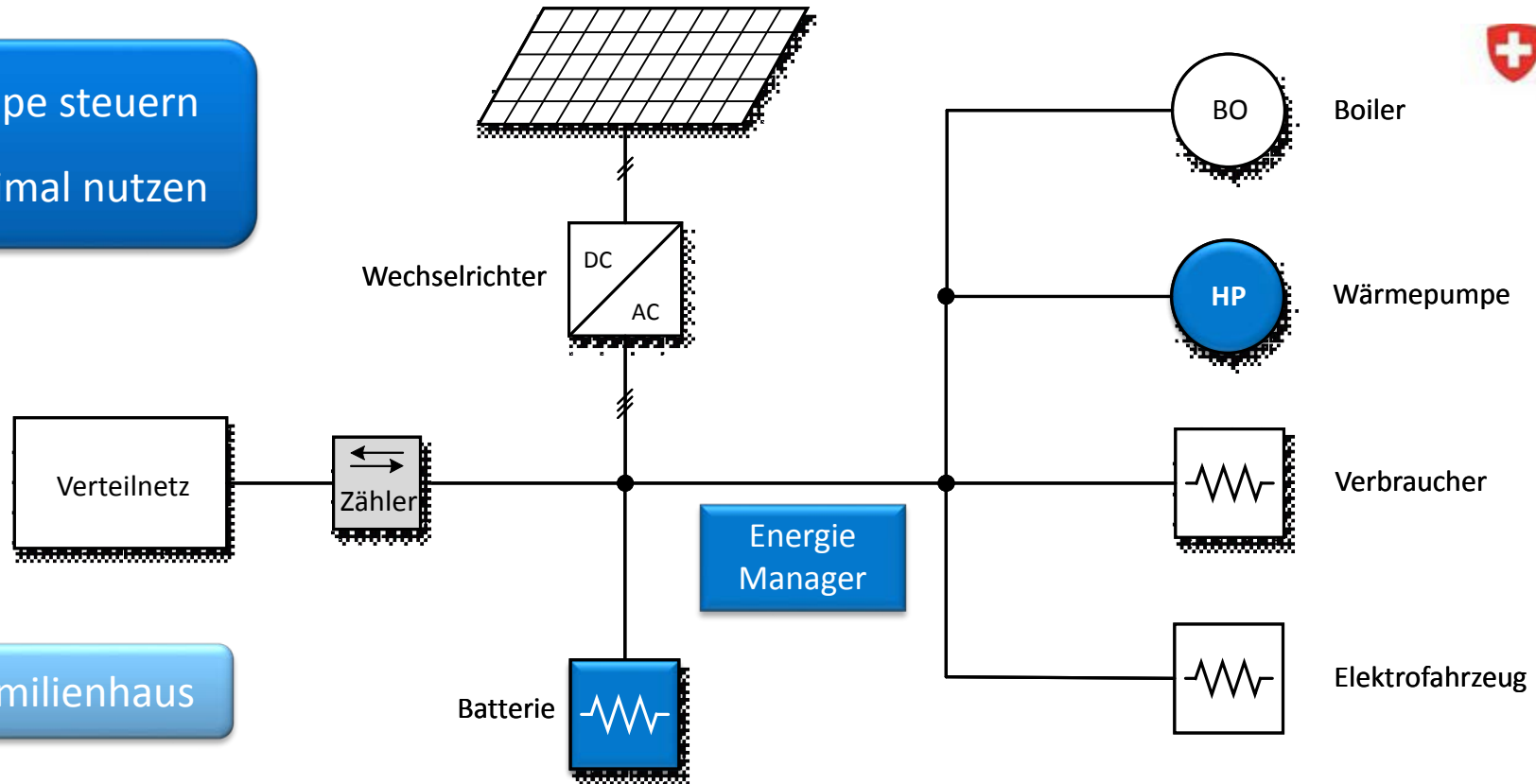


CSEM PV-center (since 2013)

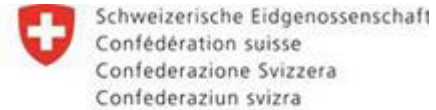
Prosumer-Lab *hardware-in-the-loop* Test Umgebung

Wärmepumpe steuern
Batterie optimal nutzen

Fokus Einfamilienhaus



Gefördert vom



Bundesamt für Energie BFE

Projektpartner



fact sheet "*Prosumer-Lab Test Bench – The smart home in the lab*", check out on www.esrec.swiss

Elektrische Speichermöglichkeiten

Thermische Wasserspeicher

Gebäudehülle

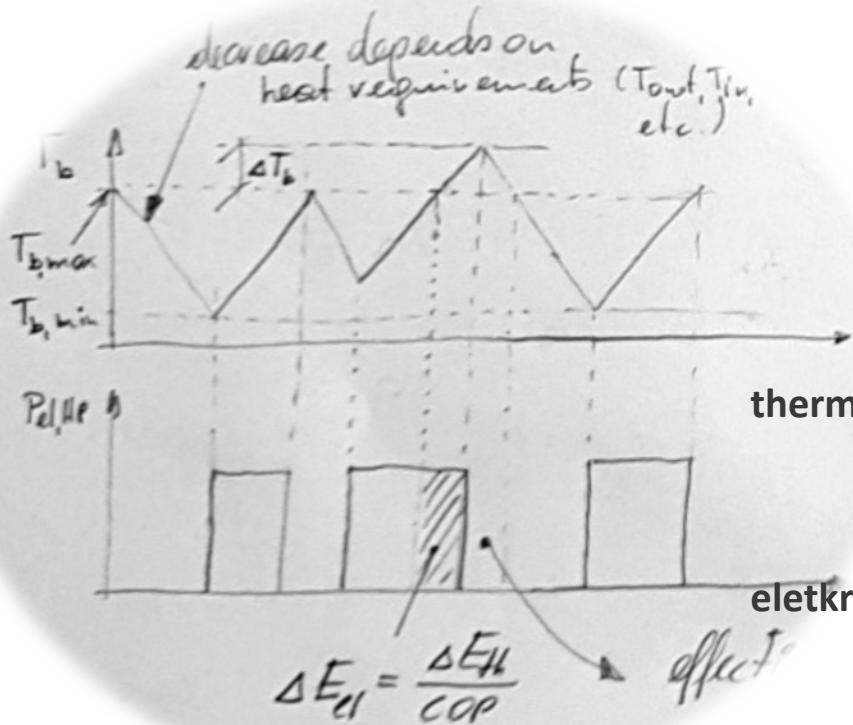
Hausbatterie

Autobatterie

Wasserspeicher

typische Konfiguration (EFH)

- WP mit ein/zwei Wärmespeicher 300 – 500l
- Fussboden- oder Radiatorheizung

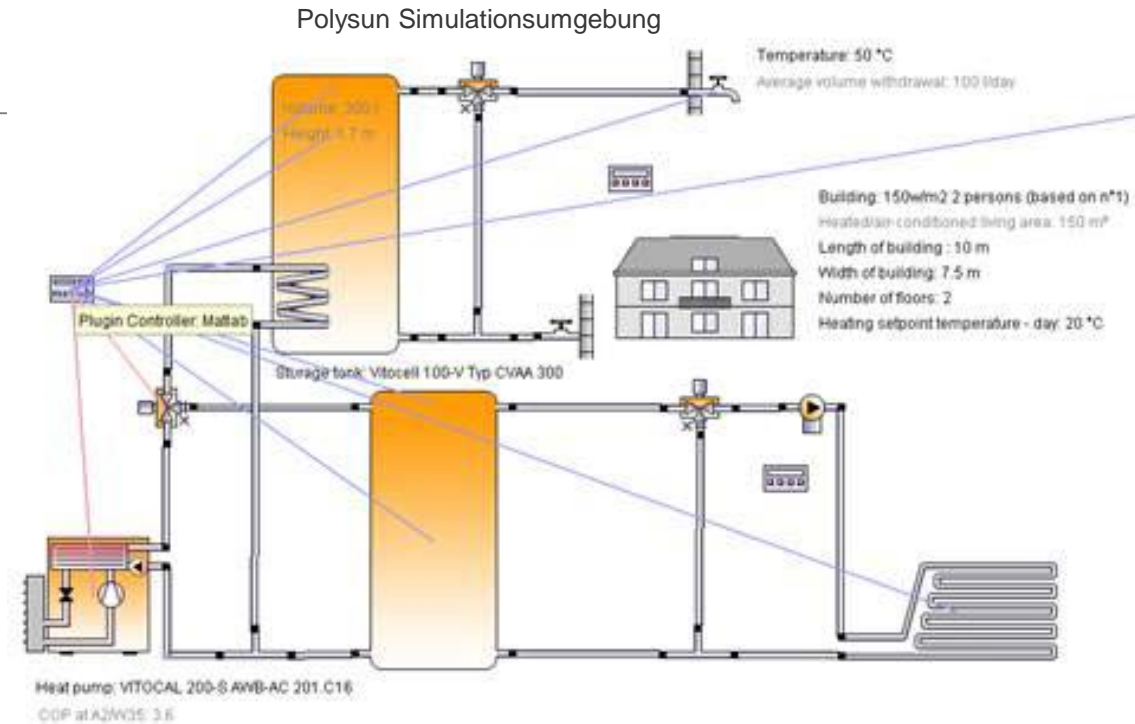


thermische Speicherkapazität

$$\Delta E_{th} = c_w \cdot m \cdot \Delta T$$

elektrische Speicherkapazität

$$\Delta E_{el} = \Delta E_{th} / AZ$$

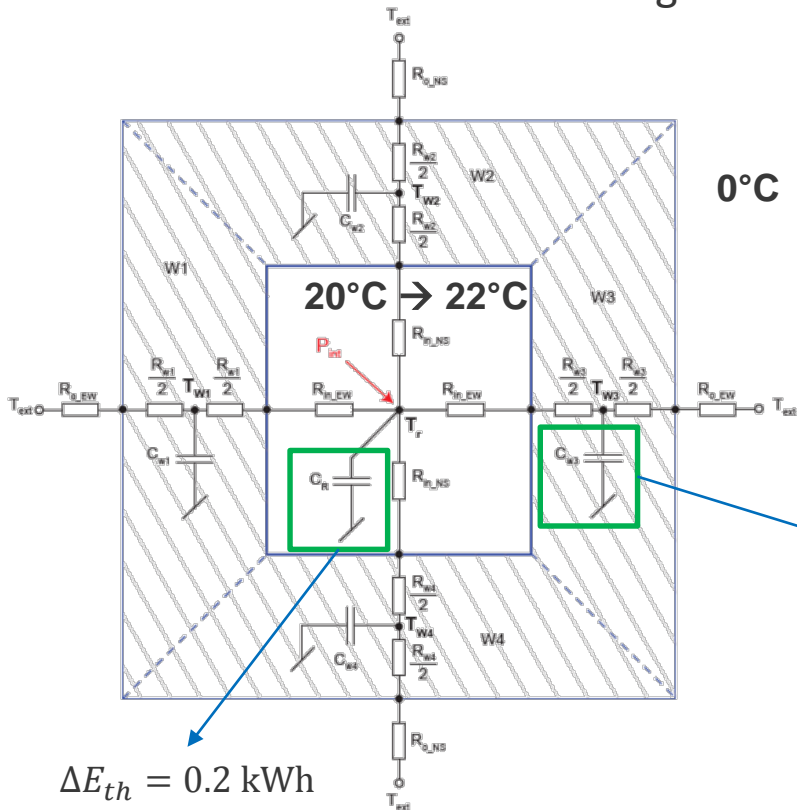


$\Delta T = 10^\circ\text{C}$	$V = 300\text{l}$	$V = 500\text{l}$
ΔE_{th}	~3.6 kWh	~6.0 kWh
$\Delta E_{el} @ AZ=3$	~1.2 kWh	~2.0 kWh

$$c_w = 4.182 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} = 1.16 \text{ Wh/kg}\cdot\text{K}$$

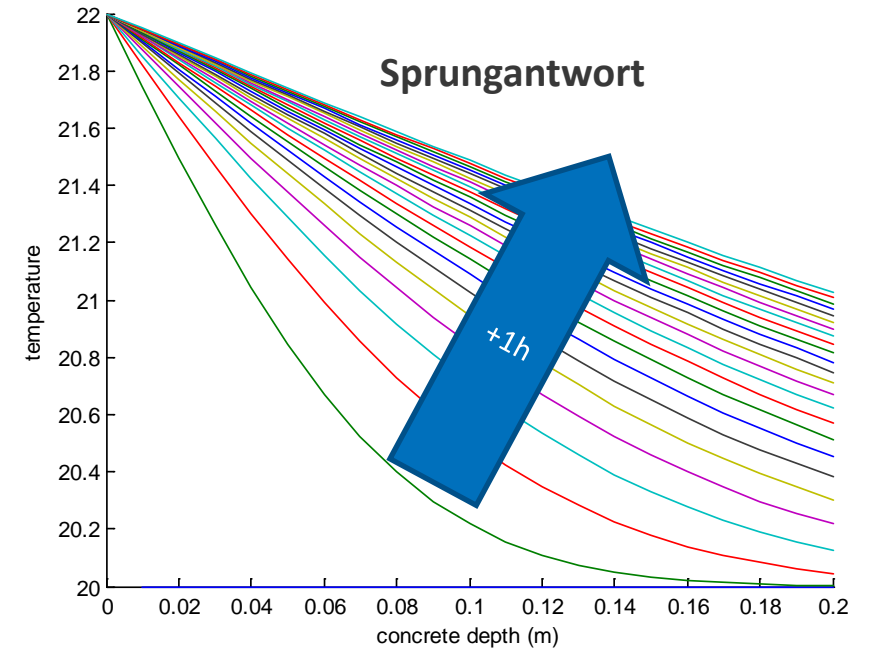
Gebäudehülle

- Wieviel Energie kann man durch Temperaturerhöhung speichern?
- Wie kann man diese Energie wieder zurückgewinnen?



Speicherkapazität

$\Delta T = 2^\circ\text{C}$	in Beton
ΔE_{th}	63 kWh
$\Delta E_{el} @ AZ=3$	21 kWh



Speicherung in der Gebäudehülle im Eigenheimbereich nur bedingt nutzbar.

Haus- und Autobatterien

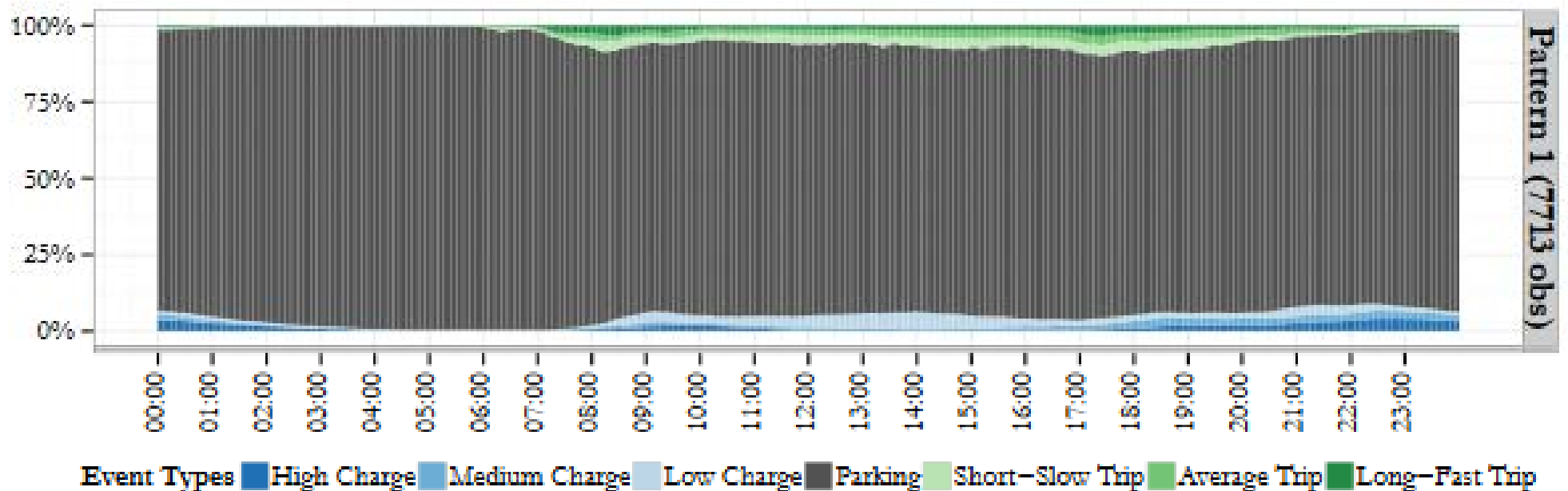
Batterien für den Eigenheimbereich sind typischerweise im Bereich zw. 5 und 10 kWh

Batteriespeicher für Elektrofahrzeuge

- haben grössere Speicher, typischerweise zwischen 30 und 100 kWh,
- sind aber meist nicht zu Hause wenn die Sonne scheint



Resultate aus dem Green eMotion Projekt



Übersicht elektrischer Speichermöglichkeiten beim Prosumer

Thermische Wasserspeicher

→ 300l Tank mit 10°C Überhitzung
~**1.2 kWh_{el}** Speicherkapazität pro Zyklus

Gebäudehülle

→ max. Überhitzung von 2°C
20-30 kWh_{el}, materialabhängig, langsam

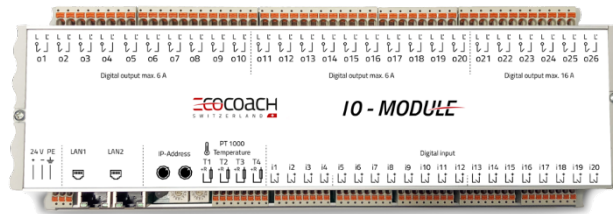
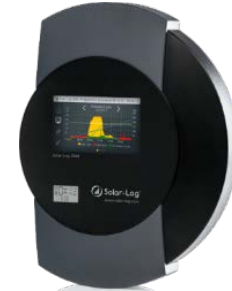
Hausbatterie

→ elektrochemischer Batteriespeicher
typischerweise zw. **5** und **10 kWh_{el}**

Autobatterie

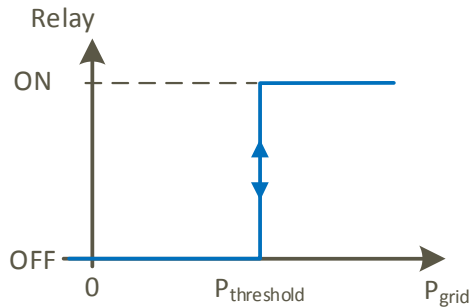
→ elektrochemischer Fahrzeugspeicher
zw. **30** und **100 kWh_{el}**, Verfügbarkeit

Energie Manager – eine Vielzahl von kommerziellen Lösungen



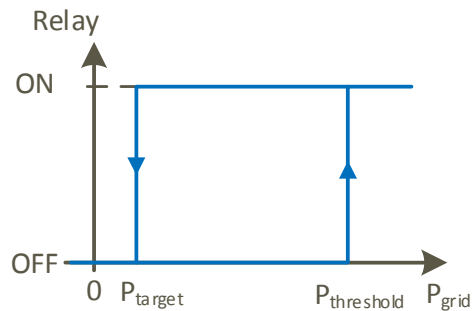
Arbeitsweise der untersuchten Systeme

Ansteuerung der Wärmepumpe via SG-Ready Signal



Schaltverhalten

- ON: $P_{grid} > P_{threshold}$, bleibt ON während mindestens T_{min}^{ON}
- OFF: $P_{grid} < P_{threshold}$, bleibt OFF während mindestens T_{min}^{OFF}



Schaltverhalten

- ON: $P_{grid} > P_{threshold}$, bleibt ON während mindestens T_{min}^{ON}
- OFF: $P_{grid} < P_{target}$, bleibt OFF während mindestens T_{min}^{OFF}

Verwendete Evaluierungsbeispiele

- Studierte Szenarien bzgl. Wärme- und Elektrizitätsverbrauch
 - S1: gut isoliertes Haus (EPV 35kWh/m²), Familie mit 2 Erwachsenen und 2 Kindern
 - S2: gut isoliertes Haus (EPV 35kWh/m²), arbeitendes Paar (working couple)
 - S5: schlecht isoliertes Haus (EPV 150kWh/m²), Familie mit 2 Erwachsenen und 2 Kindern
 - S6: schlecht isoliertes Haus (EPV 150kWh/m²), arbeitendes Paar (working couple)



LoadProfileGenerator

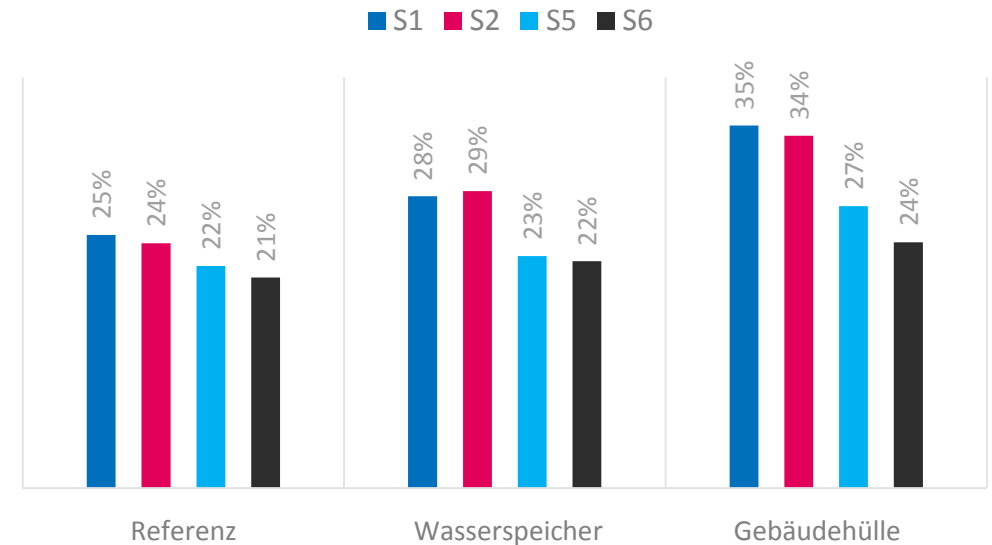
polysun[®]
SIMULATION
SOFTWARE

- **Überblick Verbrauch:**

Szenario	therm. Verbrauch	el. Verbrauch	PV Produktion
S1	8'170 kWh	7'329 kWh	7'756 kWh
S2	7'642 kWh	5'719 kWh	5'820 kWh
S3	21'332 kWh	11'106 kWh	11'635 kWh
S4	21'141 kWh	9'539 kWh	9'422 kWh

Eigenverbrauchserhöhung – Simulationsergebnisse zur Jahresanalyse

Szenario	Wasserspeicher		Gebäudehülle	
	Energie	Erhöhung	Energie	Erhöhung
S1	292 kWh	4%	829 kWh	11%
S2	296 kWh	5%	609 kWh	10%
S5	112 kWh	1%	679 kWh	6%
S6	148 kWh	2%	323 kWh	3%
Mittelwert	212 kWh	3%	610 kWh	8%



Analyse

- **Energieeinsparung** beim Wasserspeicher **gering** im Vergleich zum Geräteeigenverbrauch
- **Entscheidungs-basierte Steuerungen** in Kombination mit **SG-Ready Signal** sind für typische EFH **nicht effizient!**

Ökonomische Analyse – Simulationsergebnisse zur Jahresanalyse

Lokalität	Tarif (CHF/kWh)		Differenz (CHF/kWh)
	Kaufen	Verkaufen	
Koppigen	0.1550	0.1550	-
Bern	0.1869	0.1009	0.0860
Eggiwil	0.2197	0.0400	0.1797



Szenario	jährliche Kosten ohne EMS (CHF)		
	Koppigen	Bern	Eggiwil
S1	-66.2	422.7	956.2
S2	-15.8	362.1	774.0
S5	-82.0	685.1	1521.9
S6	18.1	665.7	1371.1

Bern

Szenario	Einsparung mit EMS (CHF)	
	Wasserspeicher	Gebäudehülle
S1	12.60	-66.10
S2	20.70	-50.00
S5	8.40	-40.10
S6	12.70	-29.20

Eggiwil

Szenario	Einsparung mit EMS (CHF)	
	Wasserspeicher	Gebäudehülle
S1	37.80	-12.50
S2	47.70	-10.80
S5	18.60	6.20
S6	26.60	-9.00

Der ökonomische Nutzen ist bei aktuellen Systemen nicht gegeben!

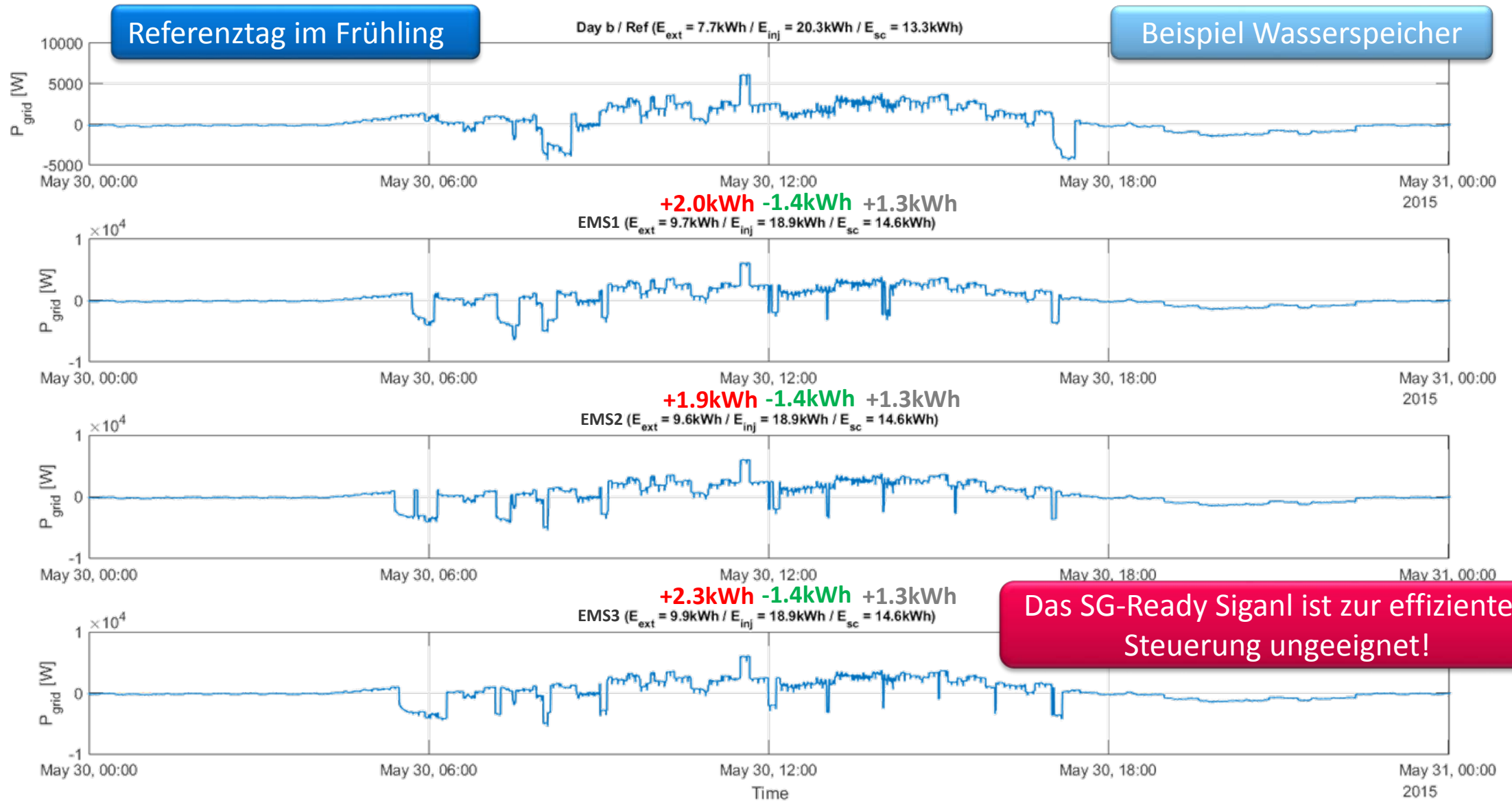
Evaluierung thermischer Speicher



Evaluierung thermischer Speicher

Referenztag im Frühling

Beispiel Wasserspeicher



Das SG-Ready Signal ist zur effizienten Steuerung ungeeignet!

SG-ready activation

Könnte man diese System verbessern?

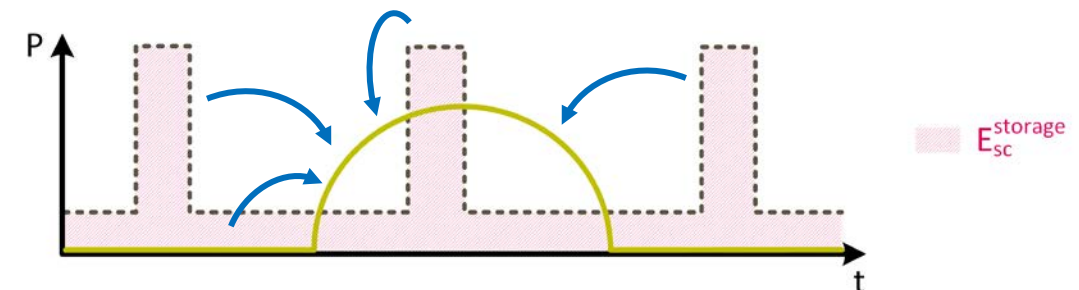
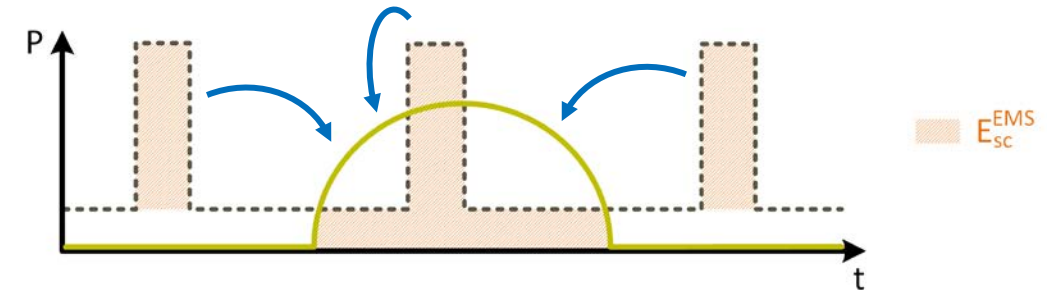
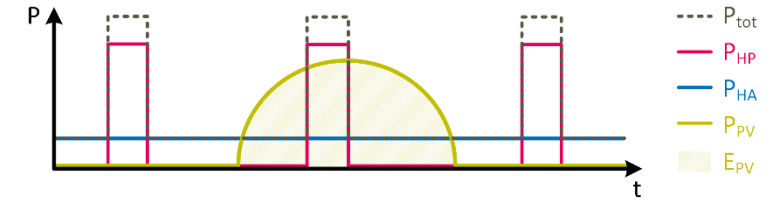
Zur Analyse der **theoretisch erreichbaren maximalen Eigenverbrauchsrate (SCR)** werden die folgenden Kennzahlen definiert:

Max. SCR für Wärmepumpen:

$$SCR_{max}^{EMS} = \frac{E_{sc}^{EMS}}{E_{PV}}$$

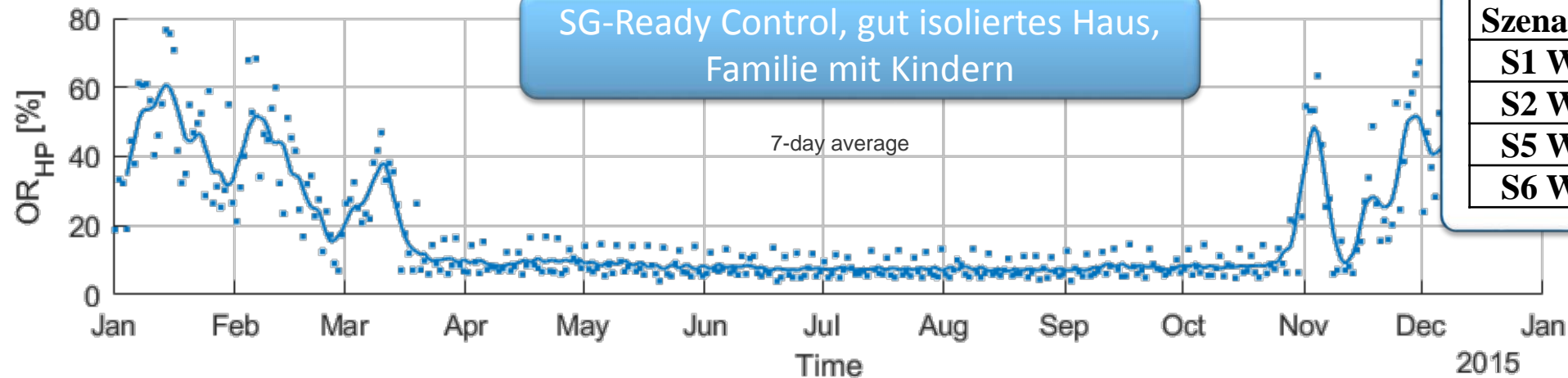
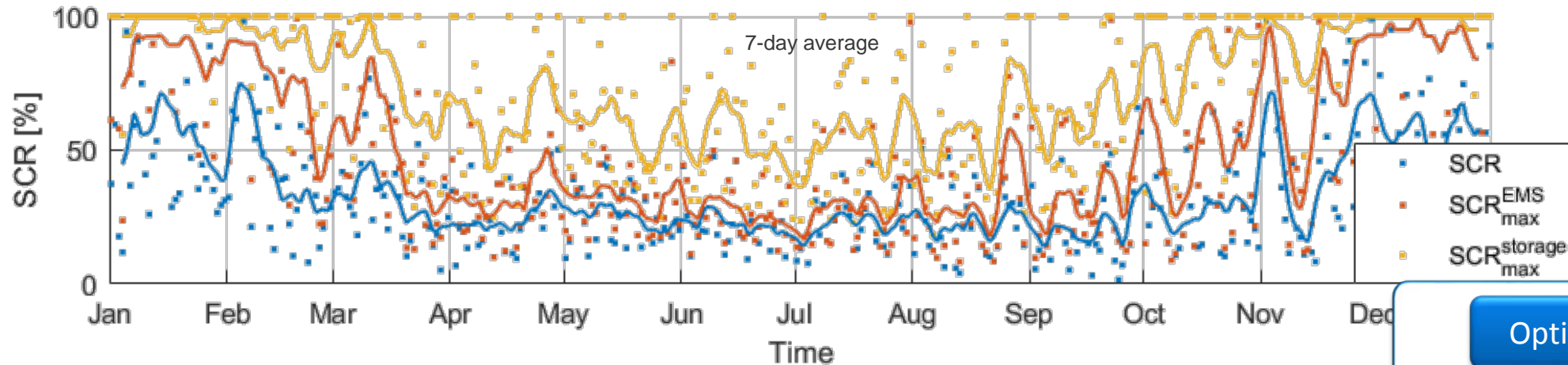
Max. SCR für el. Speicher:

$$SCR_{max}^{storage} = \frac{E_{sc}^{storage}}{E_{PV}}$$



theoretische Kennzahlen ohne Bezug zu realen Systemeinschränkungen

Könnte man diese System verbessern?



Optimierungspotential

Szenario	std. EMS	EMS max
S1 WS	25%	46%
S2 WS	24%	54%
S5 WS	22%	64%
S6 WS	21%	75%

Y. Stauffer, N. Koch, A. Hutter, and N. D. Pflugradt, "Quantifying the potential of smart heat-pump control to increase the self-consumption of photovoltaic electricity in buildings," 12th International conference on solar energy for buildings and industry (EuroSun 2018), Rapperswil, Switzerland, 2018.

Welche kommerziellen Lösungen existieren?

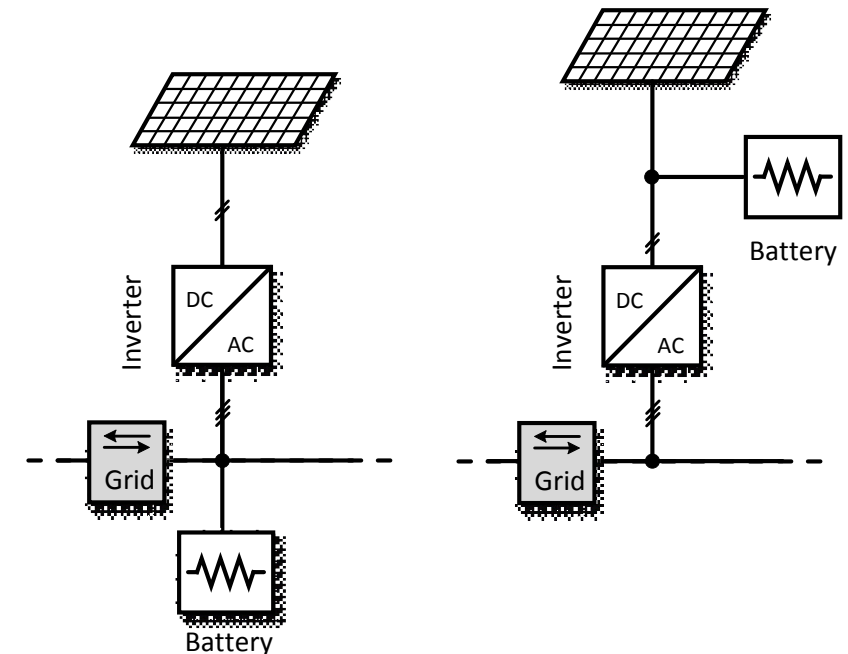
Breite Palette verschiedener Anbieter (Liste nicht vollständig)



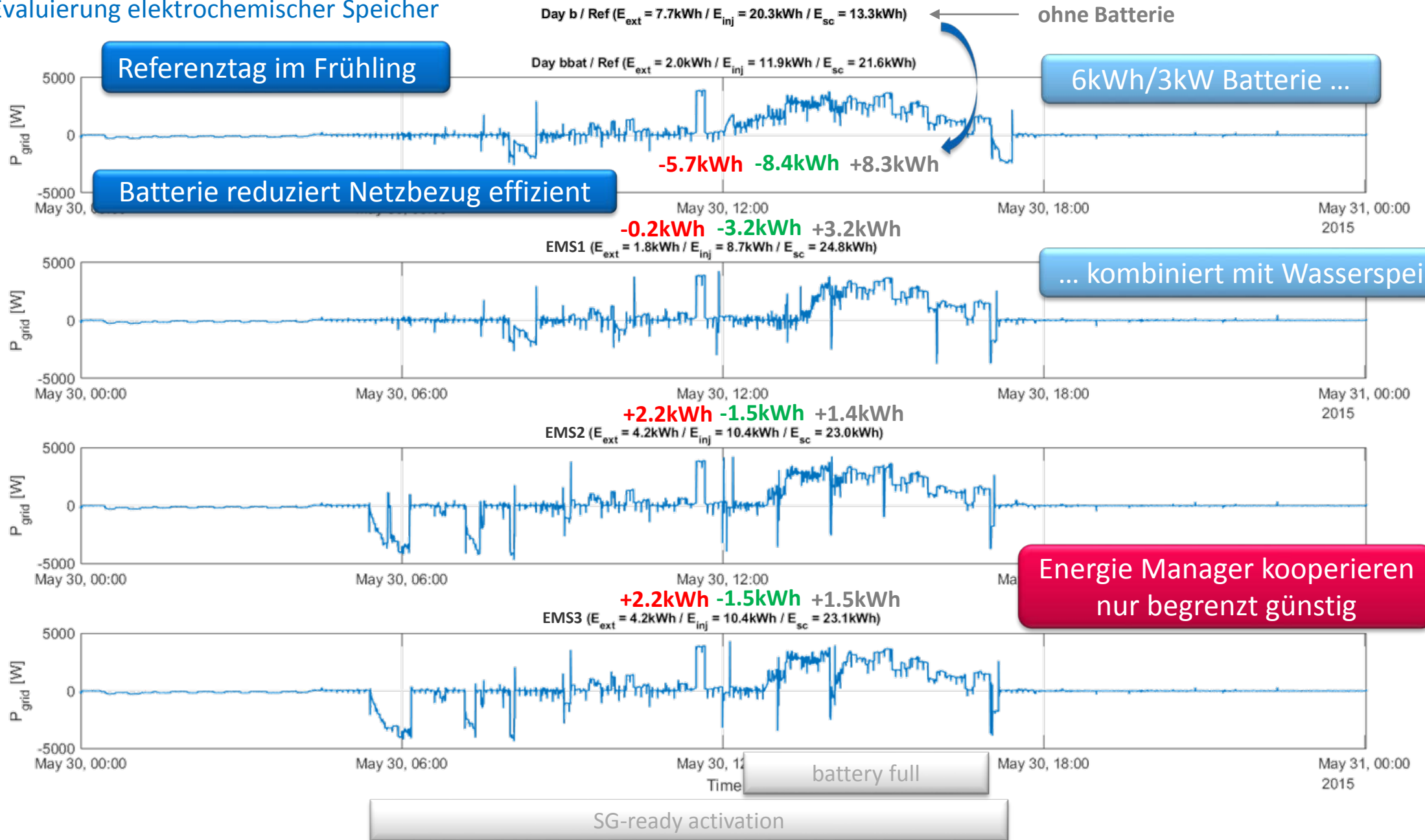
Meist AC-gekoppelte Systeme,
aber auch DC gekoppelte, integrierte Systeme

Steuerung und Koordination mit anderen Systemen

- Batterien nutzen P_{grid} als Steuersignal
- $P_{grid} > 0$: Batterie entladen
- $P_{grid} < 0$: Batterie laden
- meist: Leistungsanpassung mit Ziel $P_{grid} = 0$
- Übertragung State-of-Charge (SoC) via dig. Bus
- externe Steuerung nicht immer möglich

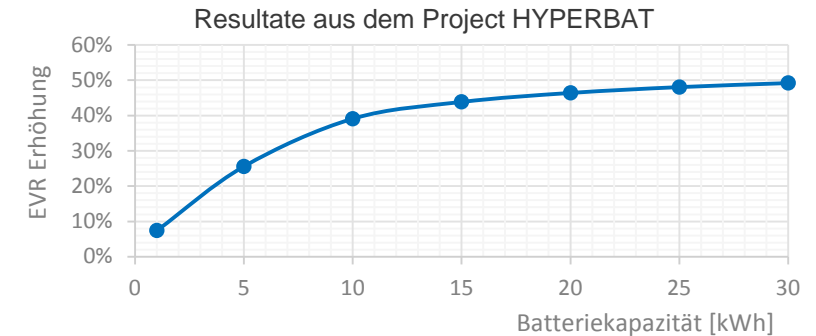


Evaluierung elektrochemischer Speicher



Eigenverbrauchserhöhung – Simulationsergebnisse zur Jahresanalyse

Szenario	Batterie mit 10 kWh		Batterie mit 100 kWh	
	Energie	Erhöhung	Energie	Erhöhung
S1	1'764 kWh	23%	2'931 kWh	38%
S2	1'332 kWh	23%	2'285 kWh	39%
S5	2'498 kWh	21%	3'469 kWh	30%
S6	1'724 kWh	18%	2'853 kWh	30%
Mittelwert	1'829 kWh	21%	2'884 kWh	34%



Analyse

- Batterien eignen sich **gut** um den **Eigenverbrauch** zu optimieren!
- **Effizienz** der Eigenverbrauchserhöhung nimmt bei **grösseren Batterien stark ab**

Ökonomische Analyse – Simulationsergebnisse zur Jahresanalyse

Lokalität	Tarif (CHF/kWh)		Differenz (CHF/kWh)
	Kaufen	Verkaufen	
Koppigen	0.1550	0.1550	-
Bern	0.1869	0.1009	0.0860
Eggiwil	0.2197	0.0400	0.1797



Szenario	jährliche Kosten ohne EMS (CHF)		
	Koppigen	Bern	Eggiwil
S1	-66.2	422.7	956.2
S2	-15.8	362.1	774.0
S5	-82.0	685.1	1521.9
S6	18.1	665.7	1371.1

Bern

Szenario	Einsparung mit BATT (CHF)	
	10 kWh	100 kWh
S1	61.00 (14%)	139.20 (33%)
S2	67.10 (19%)	108.30 (30%)
S5	126.20 (18%)	164.80 (24%)
S6	87.10 (13%)	135.40 (20%)

Eggiwil

Szenario	Einsparung mit BATT (CHF)	
	10 kWh	100 kWh
S1	281.00 (29%)	481.90 (50%)
S2	220.40 (28%)	375.70 (49%)
S5	413.60 (27%)	570.50 (37%)
S6	285.60 (21%)	468.90 (34%)

Einsparungen im zweistelligen Prozentbereich möglich!

Stromgestehungskosten für Speicher

	Lithium-Ionen Stromspeicher
Systemgrösse	6,7 kWh
Batteriekosten inkl. Leistungselektronik	\$ 3750 (\$ 600/kWh)
Lebensdauer	4000 Zyklen @ 75% DoD
Installationskosten	\$ 36/kWh
Transportkosten	\$ 50/kWh

Vezzini & Höckel, VSE Bulletin, 2016

erwartete Lebensdauer: $n = 11$ Jahre
 entladene Energie pro Jahr: $E_t = 1'834$ kWh



Abzinsung	LCOS
5%	27.2 ct/kWh

Levelized cost of storage (LCOS):

$$LCOS = \frac{\sum_{t=1}^n (I_t + M_t + C_t) \cdot (1 + r)^{-t}}{\sum_{t=1}^n E_t \cdot (1 + r)^{-t}}$$

- I_t ... Investitionen im Jahr t
- M_t ... Betrieb und Unterhalt im Jahr t
- C_t ... Ladekosten im Jahr t
- E_t ... entladene elektrische Energie im Jahr t
- n ... erwartete Lebensdauer der Batterie
- r ... Abzinsung

Batterien werden bei ca. 300 bis 400 CHF/kWh für untersuchte Prosumer ökonomisch interessant.

Zusammenfassung

Thermische Wärmespeicherung ist im Eigenheim nur begrenzt möglich (1-2 kWh pro Zyklus).

Aktuelle Energie Manager nützen thermische Speicher meist nur schlecht aus:

- SG-Ready ist als Steuersignal nur begrenzt geeignet,
- Adaptive Leistungsanpassung der Wärmepumpe wäre sehr vorteilhaft,
- Regel-basierte Steuerungsalgorithmen sind nur begrenzt wirksam.

Elektrochemische Speicher eignen sich gut zur Eigenverbrauchsoptimierung,

... sind aber im Eigenheimbereich noch nicht rentable ...

Thank you for your attention!

Follow us on



www.csem.ch