

29. November 2017

2. Herbstworkshop „Energiespeichersysteme“

Optimierende Auslegung autarker Energieversorgungssysteme mittels erweiterter Partikel-Schwarm-Algorithmus

Dipl.-Ing. Martin Paulitschke
Professur für Energiespeichersysteme

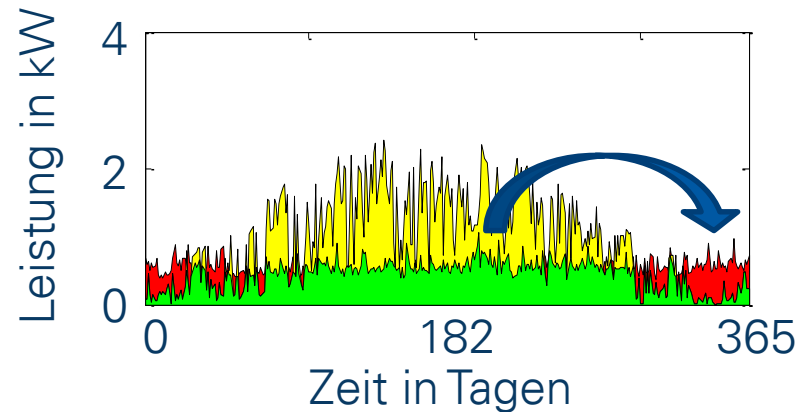
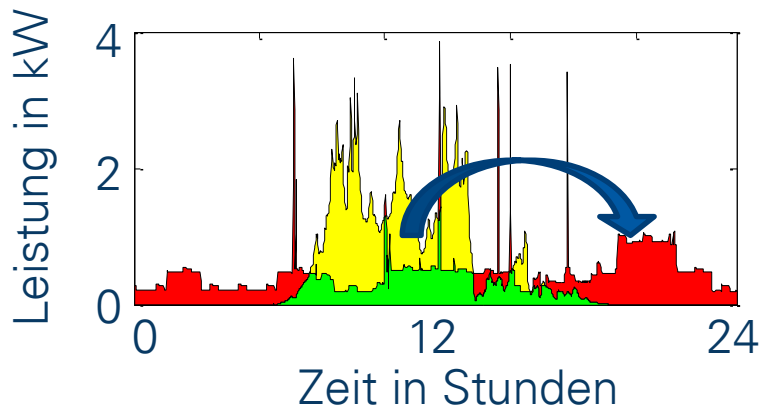
E-Mail: martin.paulitschke@tu-dresden.de Tel.: +49 351 463-40273



Agenda

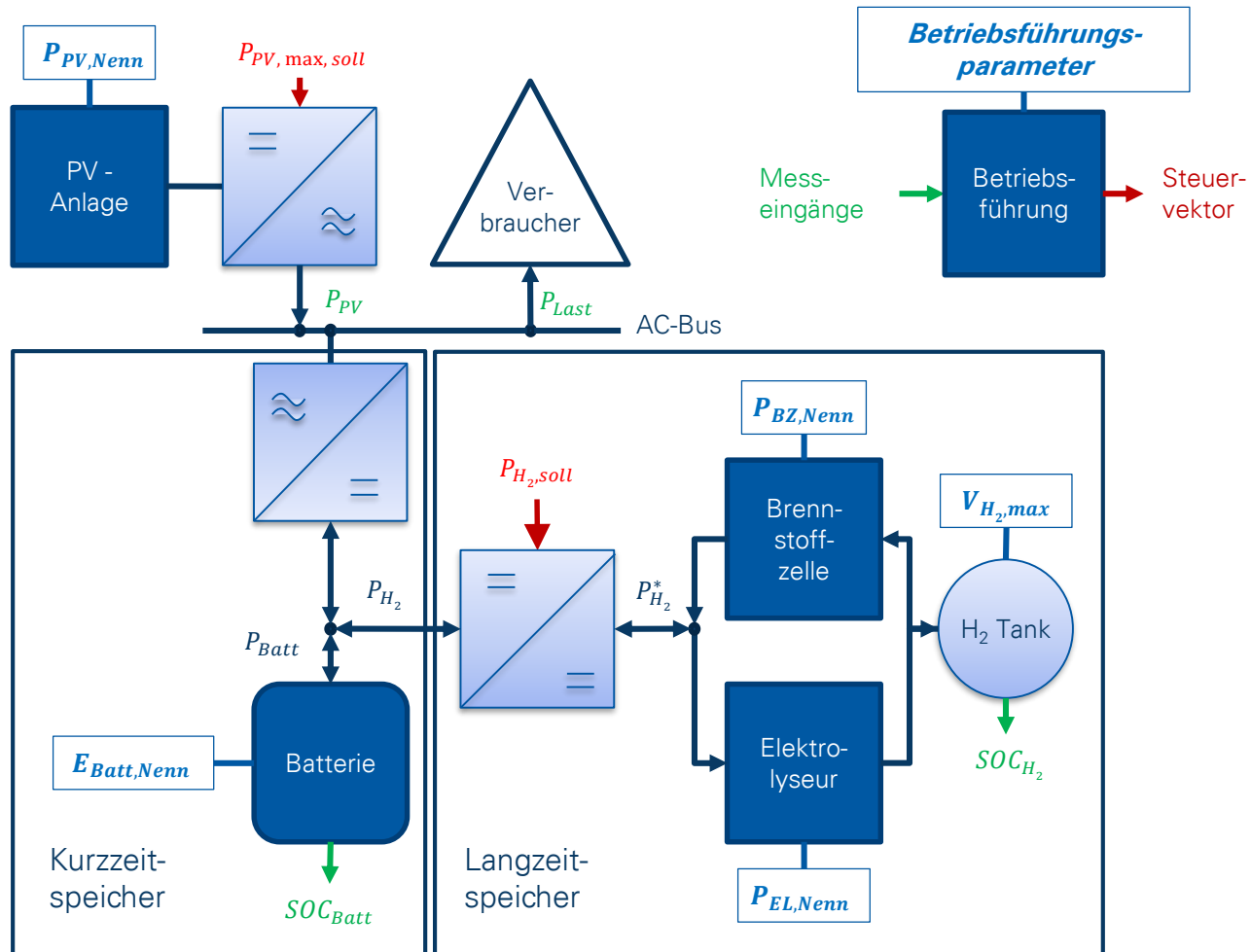
1. Motivation
2. autarke Energieversorgungseinheit
3. Auslegung mittels Partikel-Schwarm-Algorithmus
4. Auslegungsergebnis
5. Zusammenfassung

- **Versorgung** von netzfernen Verbrauchern mit fluktuierender regenerativer Energie (PV)
- **Ausgleich** von täglichen und saisonaler Leistungsdifferenzen



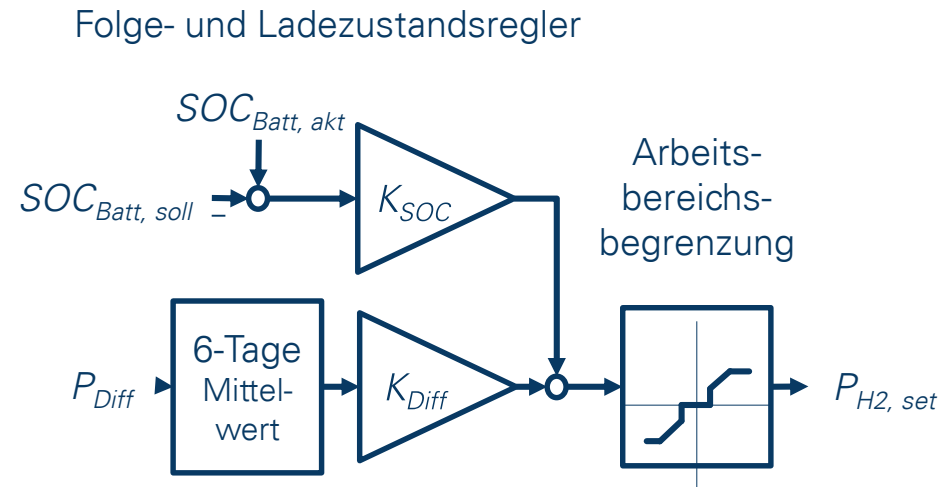
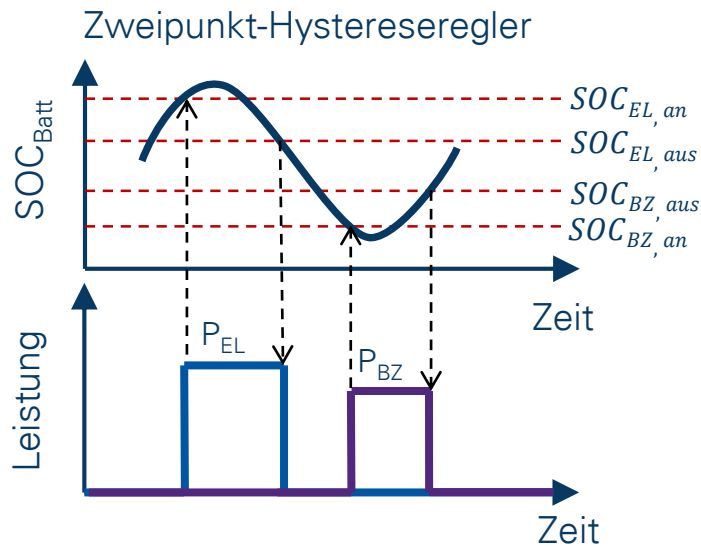
- **Entwurf** eines technisch und wirtschaftlich optimalen Energieversorgungssystems
- **Dimensionierung** der Komponenten
- **Einstellung** der Betriebsführung

Aufbau



Betriebsführung

- Aufteilung der Differenzlast auf beide Speicher
- Unterschiedliche Typen möglich (schaltend, kontinuierlich, optimierend, ...)



- Parameter der Betriebsführung haben entscheidenden Einfluss auf Verhalten des Systems und Lebensdauer der Komponenten
 → gleichzeitig mit Komponentengrößen optimieren

Kosten als Bewertungskriterien der autarken Energieversorgungseinheit

$$K = \frac{\text{spezifische Kosten} \cdot \text{Nenngröße}}{\text{Lebenszeit}}$$

$$T_{Batt} = \frac{Z_{Batt}}{Z_{Batt,max}}$$

$$T_{EL/BZ,S} = \frac{S_{EL/BZ}}{S_{EL/BZ,max}}$$

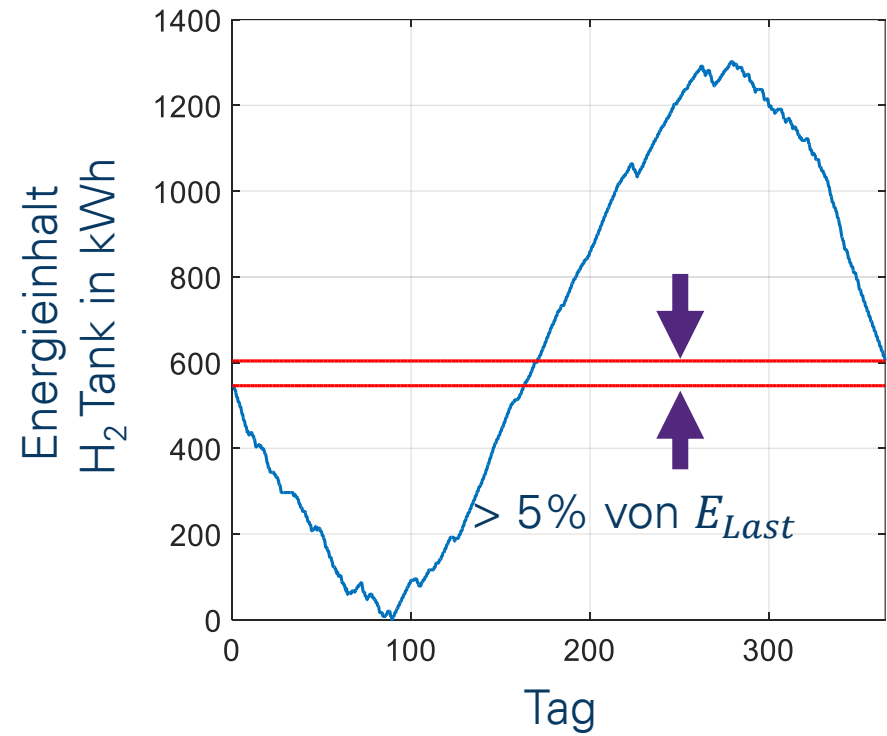
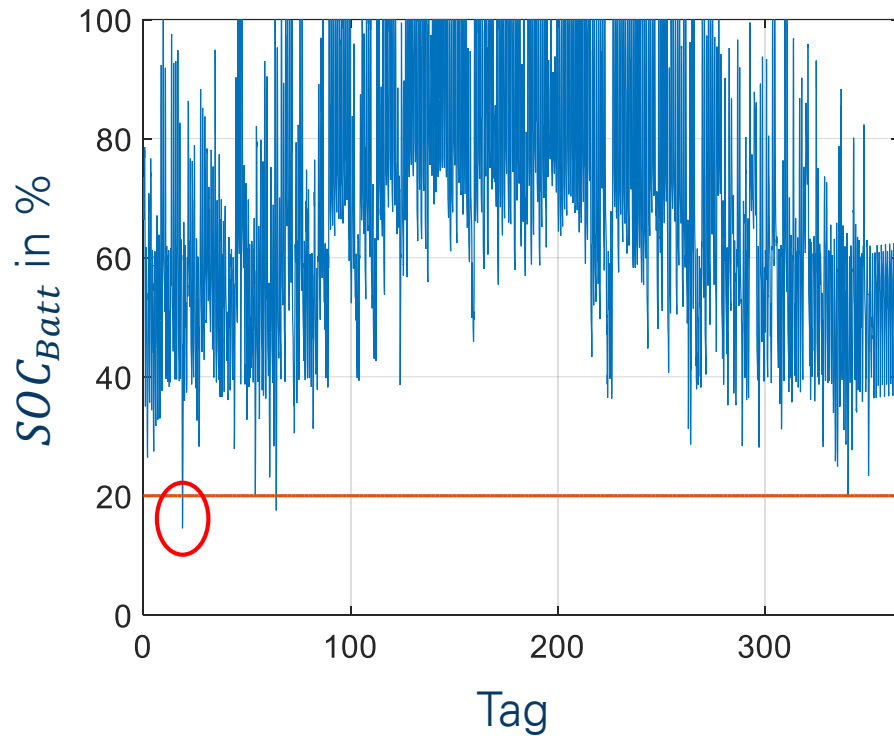
$$T_{EL/BZ,h} = \frac{h_{EL/BZ}}{h_{EL/BZ,max}}$$

$$T_{EL/BZ} = \min(T_{EL/BZ,S}, T_{EL/BZ,h})$$

$$K_{Inv} = K_{PV} + K_{Batt} + K_{BZ} + K_{Ele} + K_{Tank}$$

Komponente	Parameter	Wert
PV-Anlage	p_{PV}	1000 €/kW
	$T_{PV,kal}$	20 Jahre
Batterie	p_{Batt}	1000 €/kWh
	$Z_{Batt,max}$	5000
Brennstoffzelle	p_{BZ}	7000 €/kW
	$S_{BZ,max}$	200
	$h_{BZ,max}$	2000
Elektrolyseur	p_{EL}	9000 €/kW
	$S_{EL,max}$	2000
	$h_{EL,max}$	20000
H ₂ -Tank	p_{H_2}	30 €/Nm ³
	$T_{Tank,kal}$	20 Jahre

Versorgungssicherheit



$$K_{Batt,Sicher} = Batt_{Bestr} \cdot \left(1 - \frac{\min(SOC_{Batt})}{20\%} \right)$$

$$K_{H2,Sicher} = H2_{Bestr} \cdot \left(1 - \frac{(E_{H2}(t_N) - E_{H2}(t_1))}{5\% * E_{Last}} \right)$$

Gütwert: $G = K_{Inv} + K_{Batt,Sicher} + K_{H2,Sicher}$

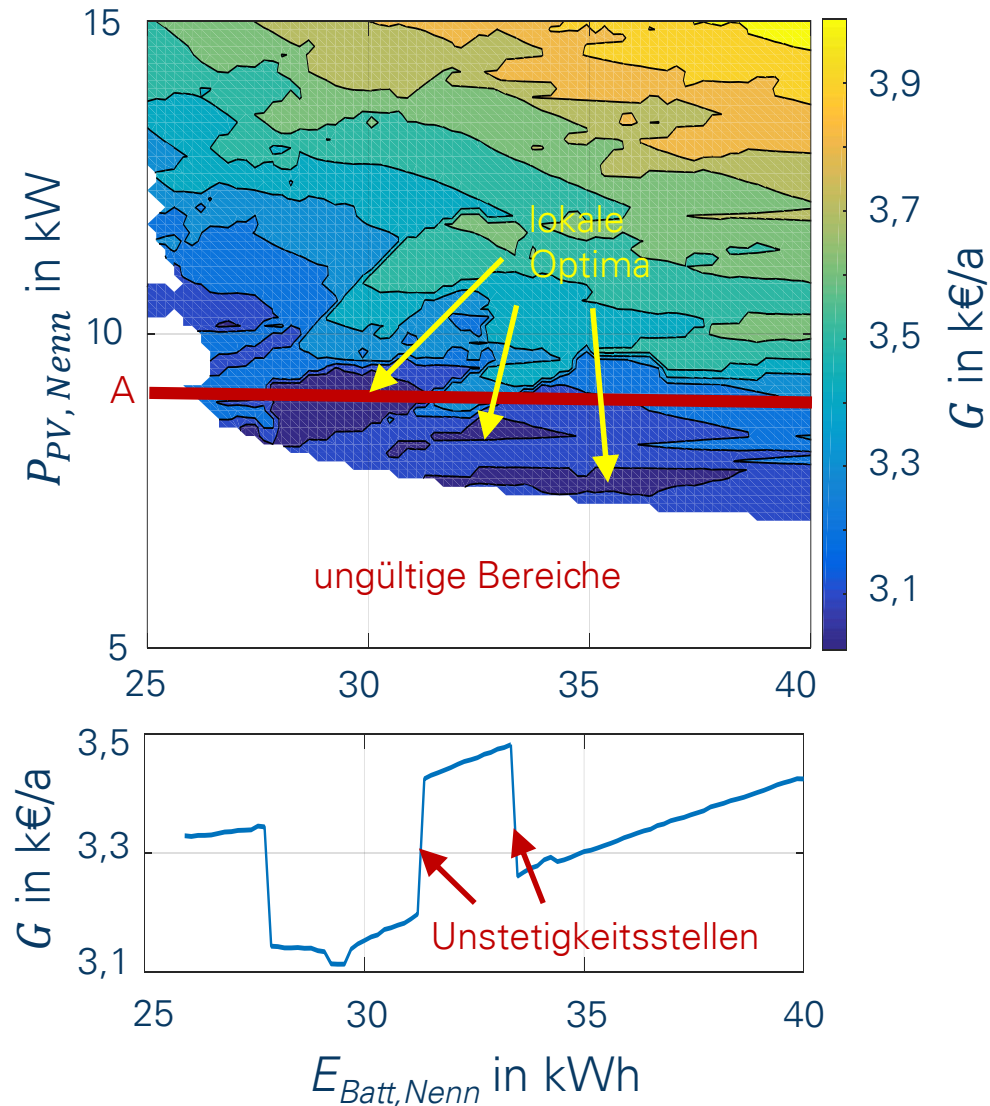
Finde optimale **Dimensionierung** der Einzelkomponenten und günstigste **Einstellung** der Betriebsführungsparameter

Eigenschaften der Zielfunktion:

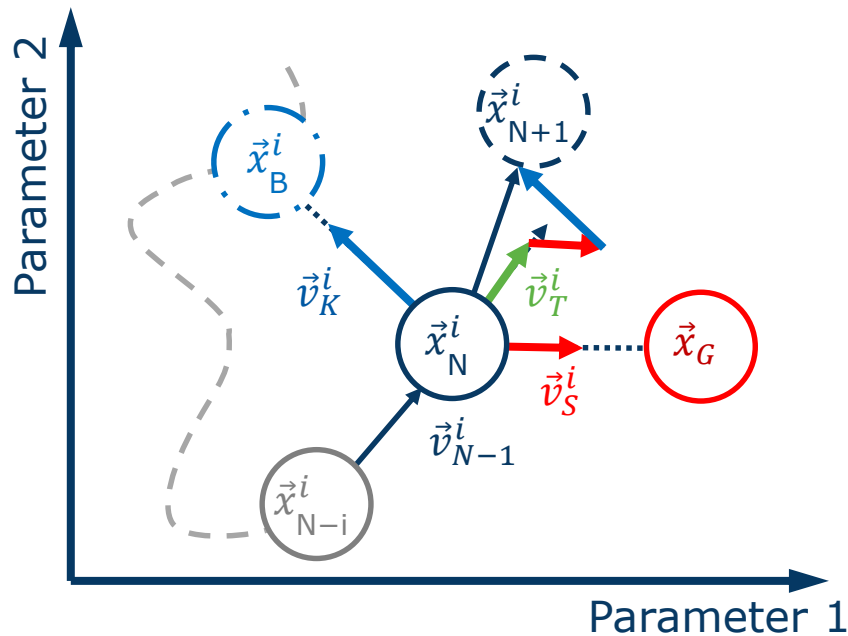
- hoch dimensional
- nicht konvex (lokale Optima)
- nicht linear
- unstetig
- ungünstige Bereiche (65%)

Mögliche Lösungsverfahren:

- Downhill-Simplex
- Evolutionäre Algorithmen
- Schwarmalgorithmen



Partikel-Schwarm-Algorithmus - Allgemein



entwickelt von Eberhardt und Kennedy
1995

iterative Bewegung der Partikel durch
Geschwindigkeitsvektor \vec{v}_n^i

Evaluation der aktuellen Position mit
eigener Erfahrung und Austausch mit
anderen Partikeln (Nachbarn im
Schwarm)

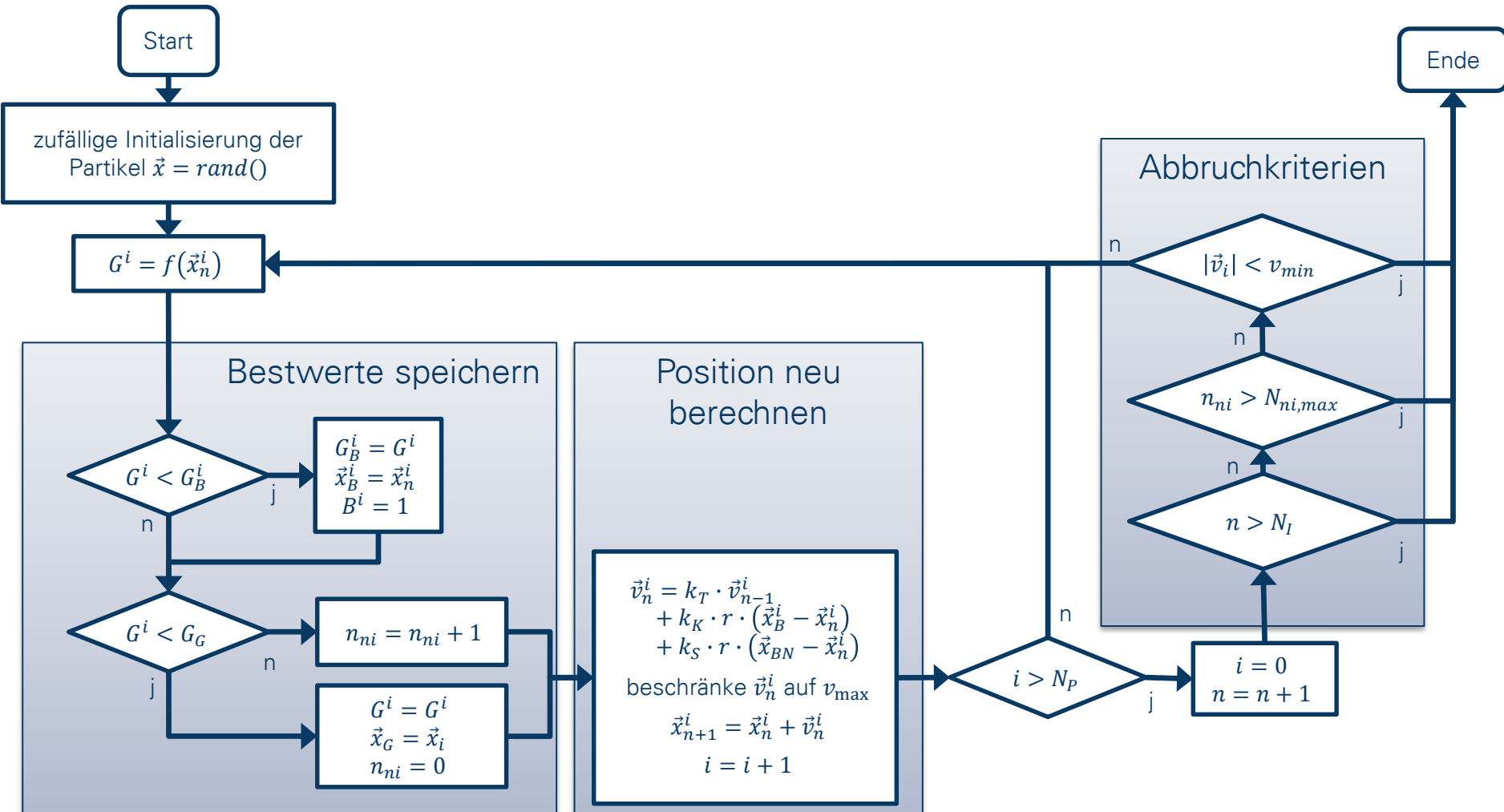
Beeinflussung der Bewegungsrichtung
durch:

- Trägheit \vec{v}_T^i (k_T)
- Kognition \vec{v}_K^i (k_K)
- Sozialverhalten \vec{v}_S^i (k_S)

$$\vec{x}_{n+1}^i = \vec{x}_n^i + \vec{v}_n^i$$

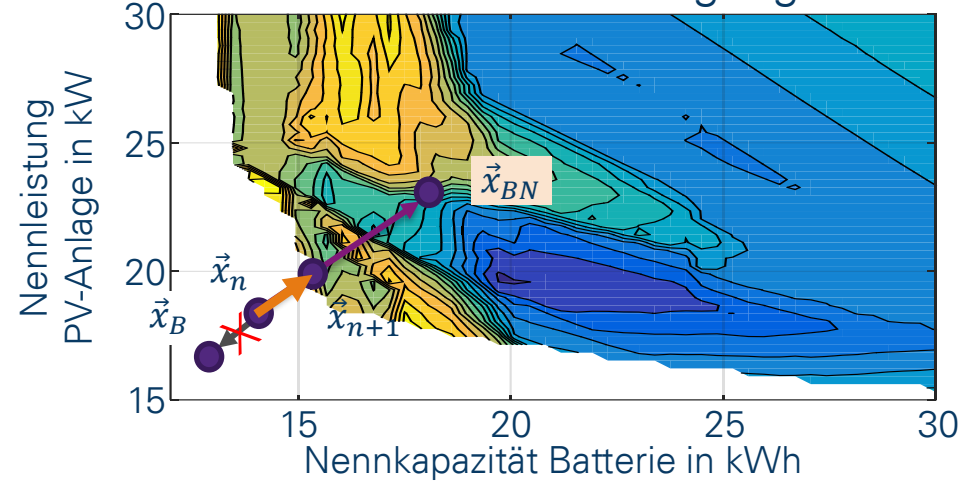
$$\begin{aligned} \vec{v}_n^i &= k_T \cdot \vec{v}_{n-1}^i \\ &+ k_K \cdot r \cdot (\vec{x}_B^i - \vec{x}_n^i) \\ &+ k_S \cdot r \cdot (\vec{x}_{BN}^i - \vec{x}_n^i) \end{aligned}$$

Partikel-Schwarm-Algorithmus - Ablaufplan

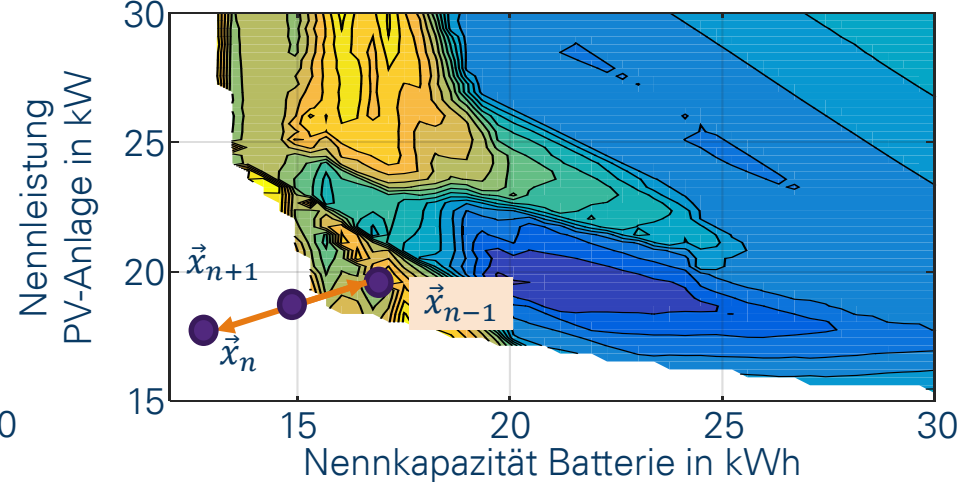


Erweiterungen

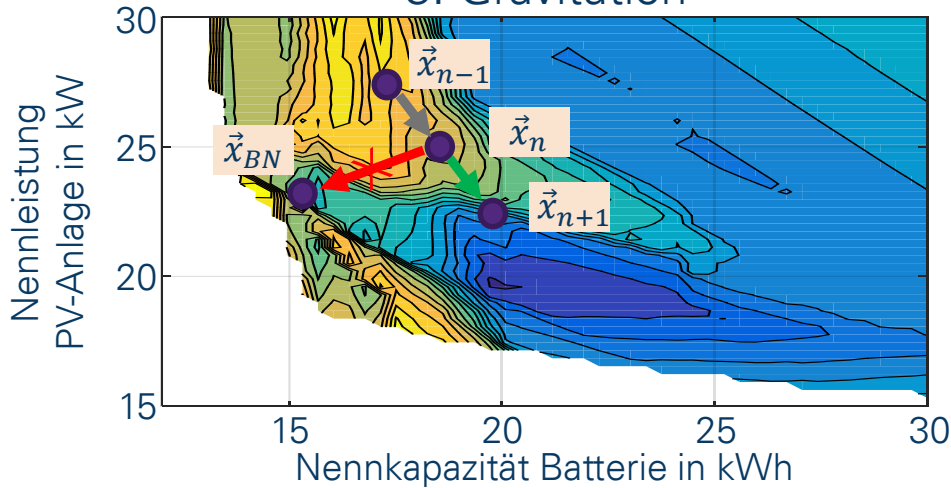
1: Startbeschleunigung



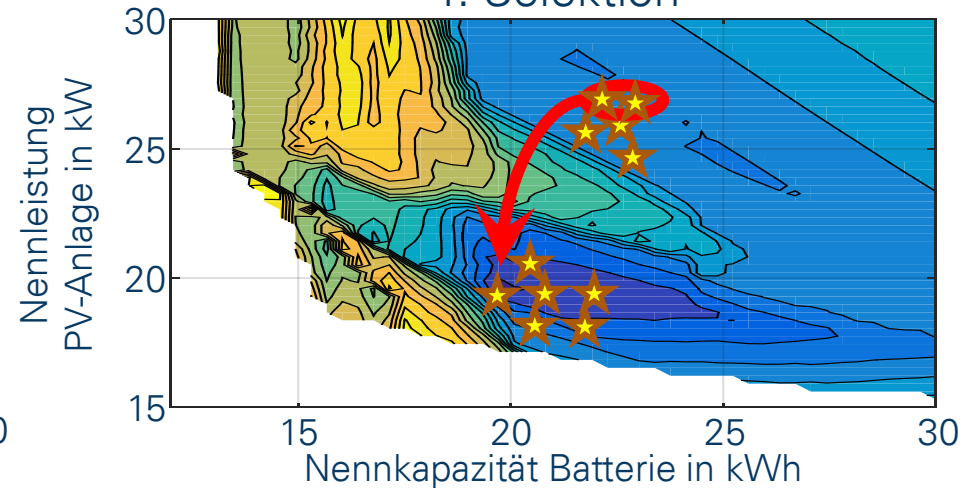
2: Reflexion



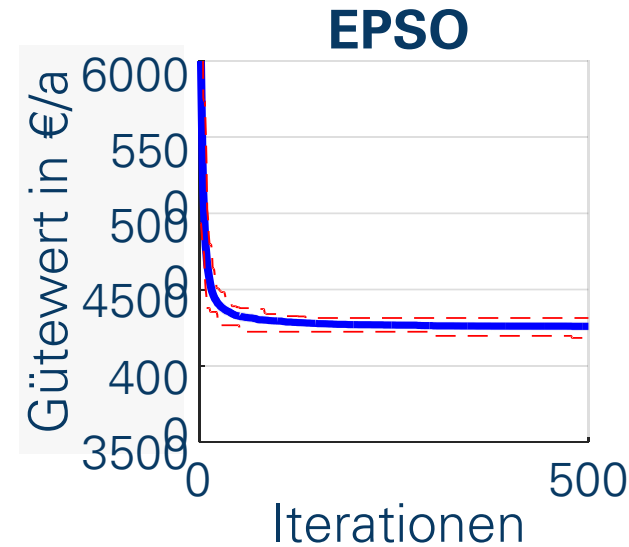
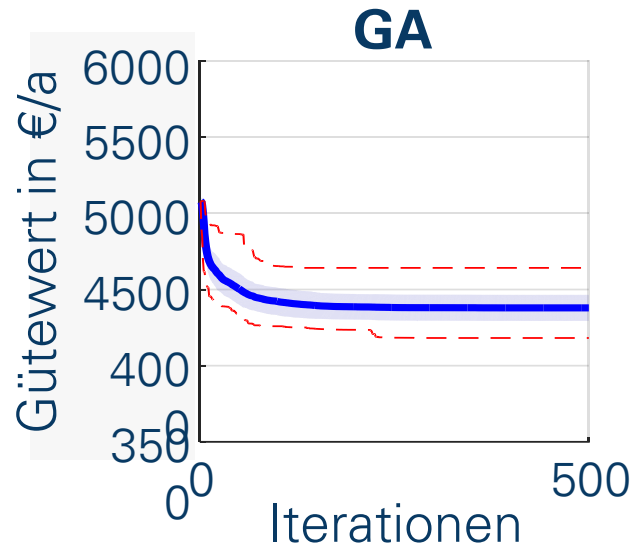
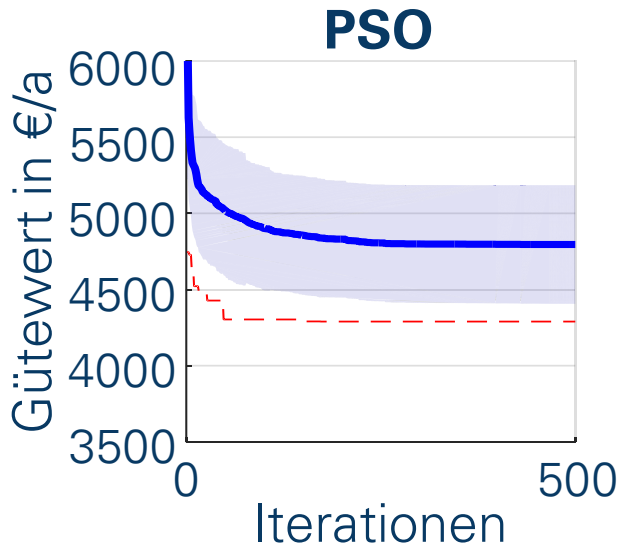
3: Gravitation



4: Selektion

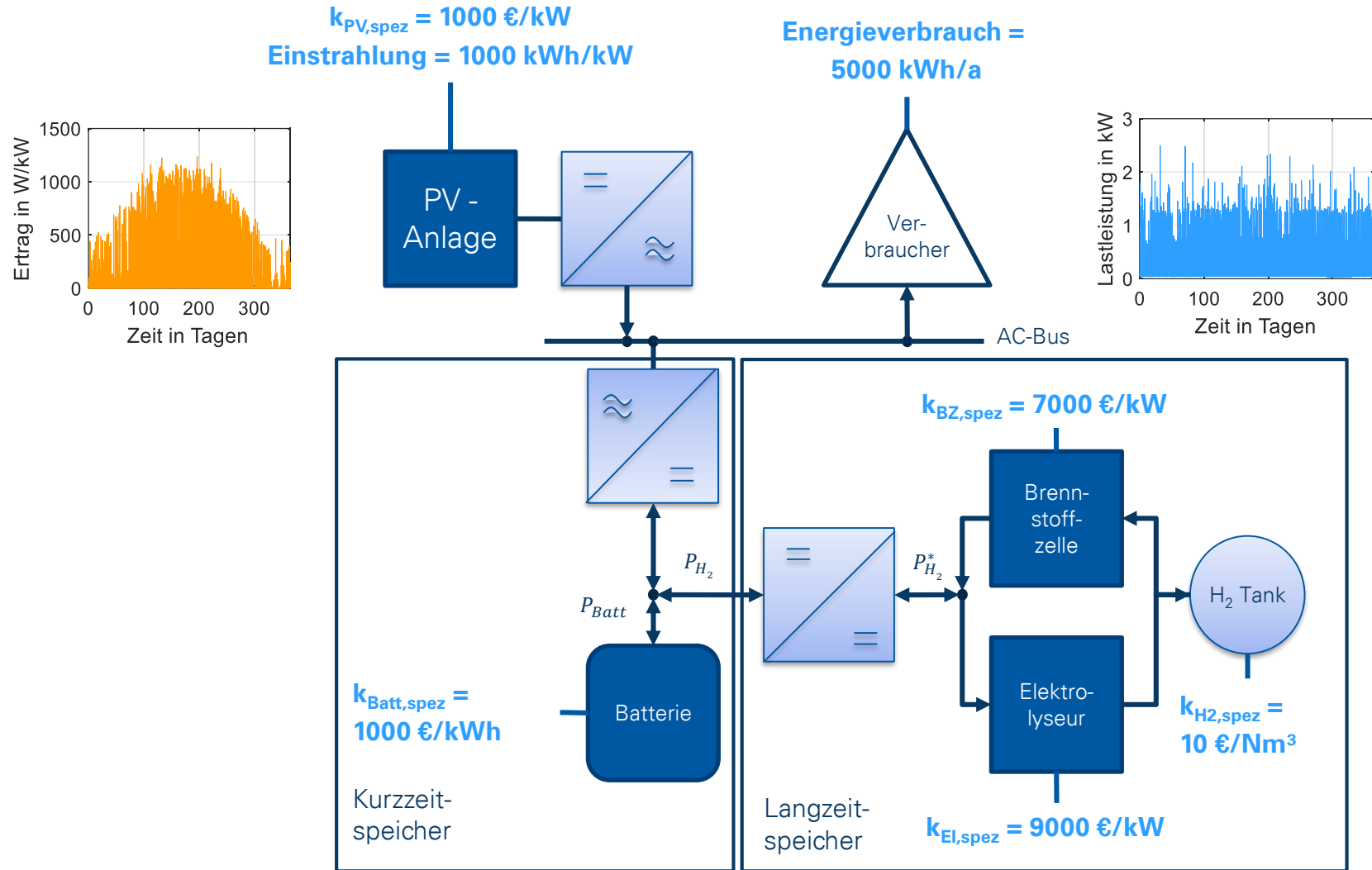


Vergleich PSO und GA



	Minimum	Maximum	$\overline{G_G}$	$\sigma(G_G)$	Iterationen
Standard PSO	4290	6507	4795	394	102 - 603
Genetischer Alg.	4182	4642	4379	87	171 - 508
Erweiterter PSO	4182	4313	4258	29	125 - 623

Ausgangslage

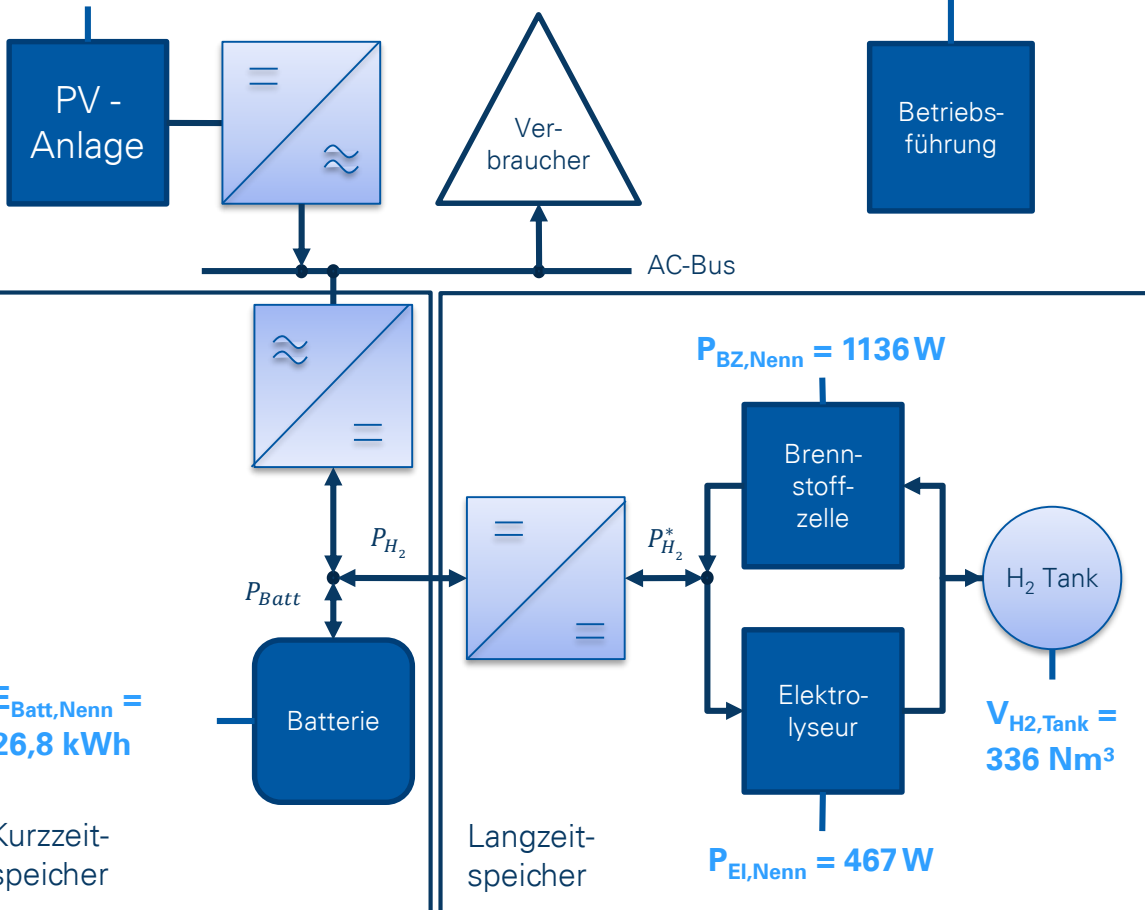


Optimierungsergebnis

$P_{PV,Nenn} = 35,1 \text{ kW}$

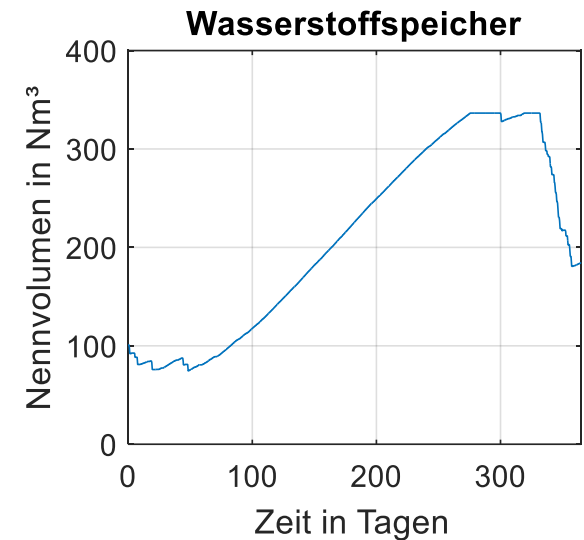
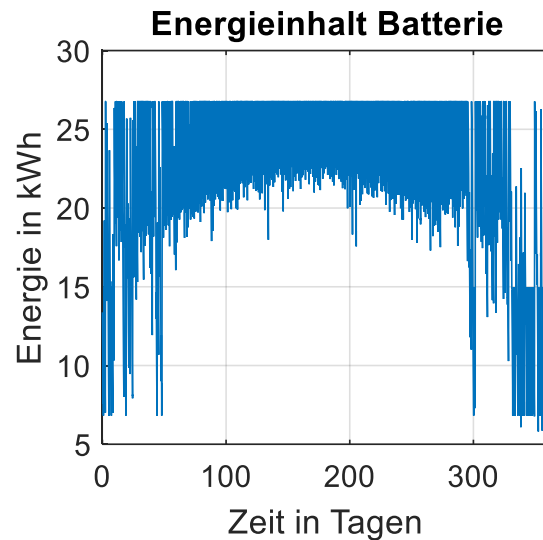
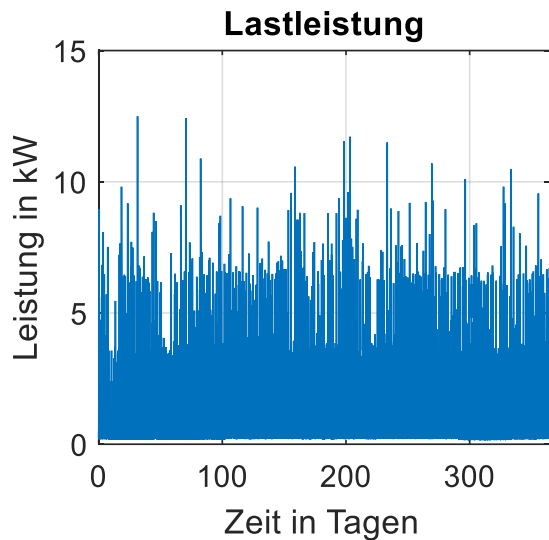
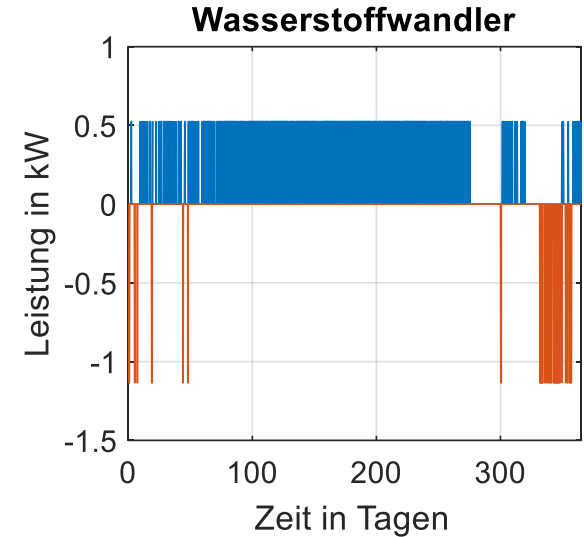
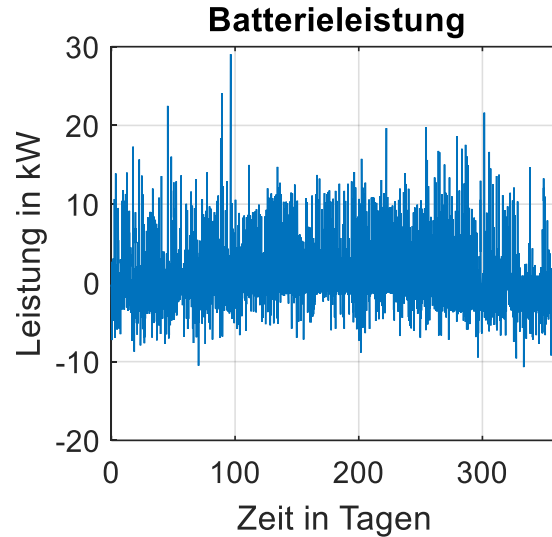
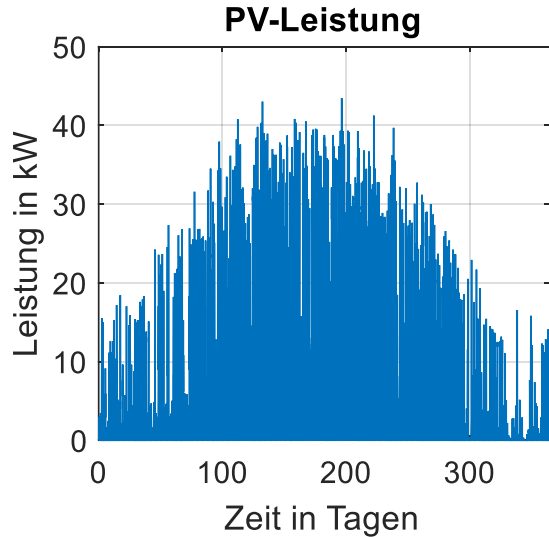
$SOC_{EL,an} = 94,9 \%$
 $SOC_{EL,aus} = 93,2 \%$

$SOC_{BZ,aus} = 55,9 \%$
 $SOC_{BZ,an} = 25,5 \%$



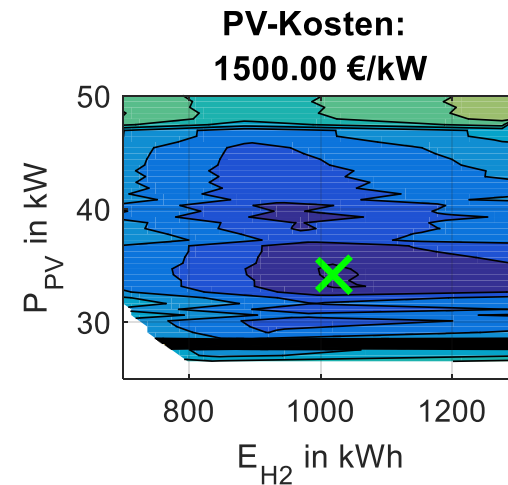
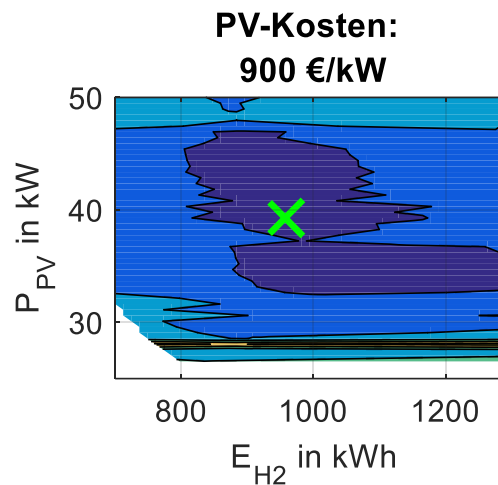
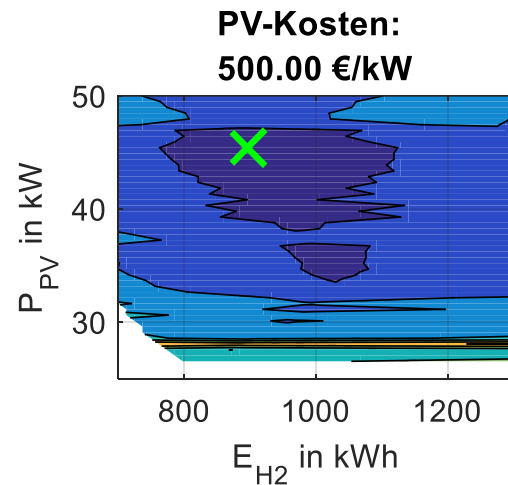
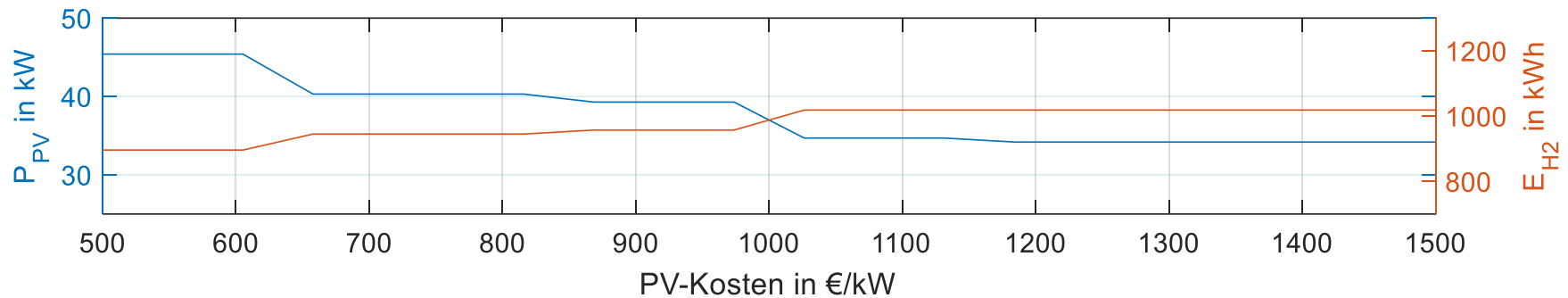
	Kosten in €	Lebenszeit in Jahren
PV-Anlage	52.640,60	20
Batterie	26.771,91	20
Brennstoffzelle	7.950,49	7
Elektrolyseur	4.201,73	7
H ₂ -Speicher	10.093,74	20
Gesamt	101.659,47	20

Optimierungsergebnis

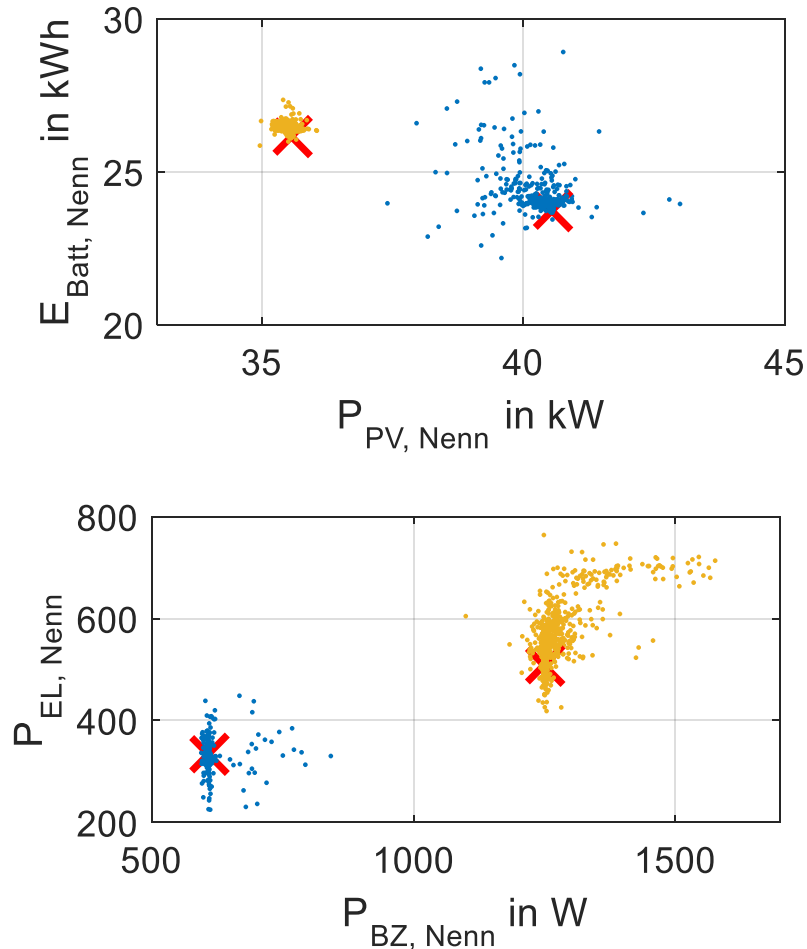


Sensitivität Optimum bei Änderung Randbedingungen

- PV-Anlagenkosten haben größten Einfluss
- Verschiebung Optimum um bis zu 10% bei 50% Änderung der Kosten
- Batteriekosten haben so gut wie keinen Einfluss



Lokale Optima durch Clustering der Partikelsuchpositionen



	Variante 1	Variante 2
$P_{\text{PV, Nenn}}$	40,54 kW	35,56 kW
$E_{\text{batt, Nenn}}$	23,73 kWh	26,15 kWh
$P_{\text{BZ, Nenn}}$	607,52 W	1249,31 W
$P_{\text{EL, Nenn}}$	333,69 W	508,42 W
$V_{\text{H2, max}}$	306 Nm ³	334 Nm ³
$\text{SOC}_{\text{Max, An}}$	91 %	97 %
$\text{SOC}_{\text{Max, Aus}}$	81 %	95 %
$\text{SOC}_{\text{Min, Aus}}$	38 %	62 %
$\text{SOC}_{\text{Min, An}}$	20 %	15 %
Gütwert	5354.03 €/a	5476.12 €/a

- erweiterter Partikel-Schwarm-Algorithmus geeignet zur Optimierung autarker Energieversorgungseinheiten
- Erweiterungen verbessern die Genauigkeit und Geschwindigkeit des Partikel-Schwarm-Algorithmus
- Sehr gute Ergebnisse auch im Vergleich mit Genetischen Algorithmus
- Installationskosten für PV-Kosten beeinflussen stark die Lokalität des Optimums
- Auslegungsvarianten über Clusteranalyse der Partikelpositionen auffindbar