

Institut für Energietechnik

Professur für Energiespeichersysteme

AUSLEGUNGSVERFAHREN FÜR AUTARKE PV-BATTERIE-WASSERSTOFF- HYBRIDSYSTEME MITTELS PARTIKEL-SCHWARM-OPTIMIERUNG

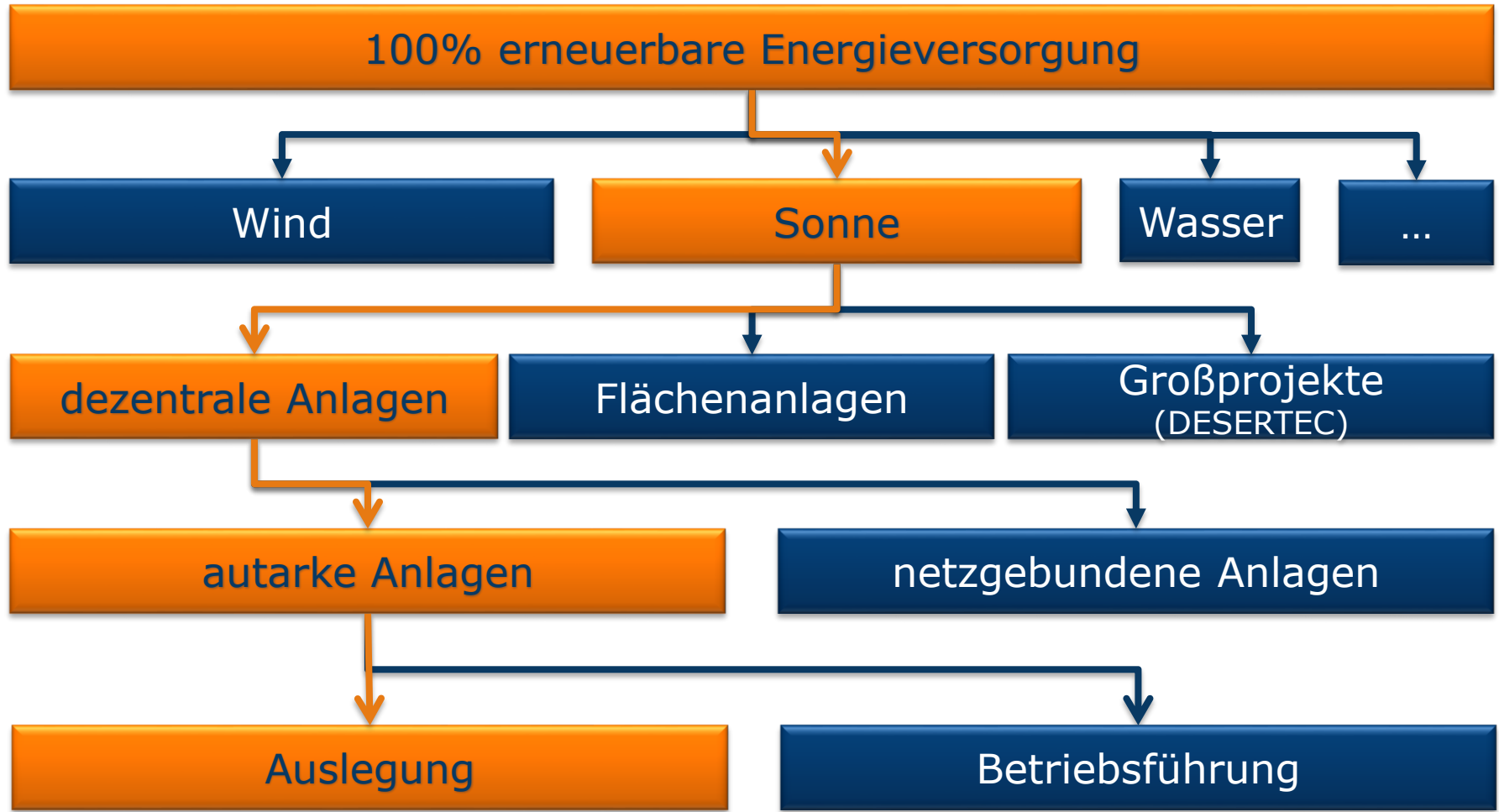
Martin Paulitschke

Dresden, 15. November 2016

Agenda

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

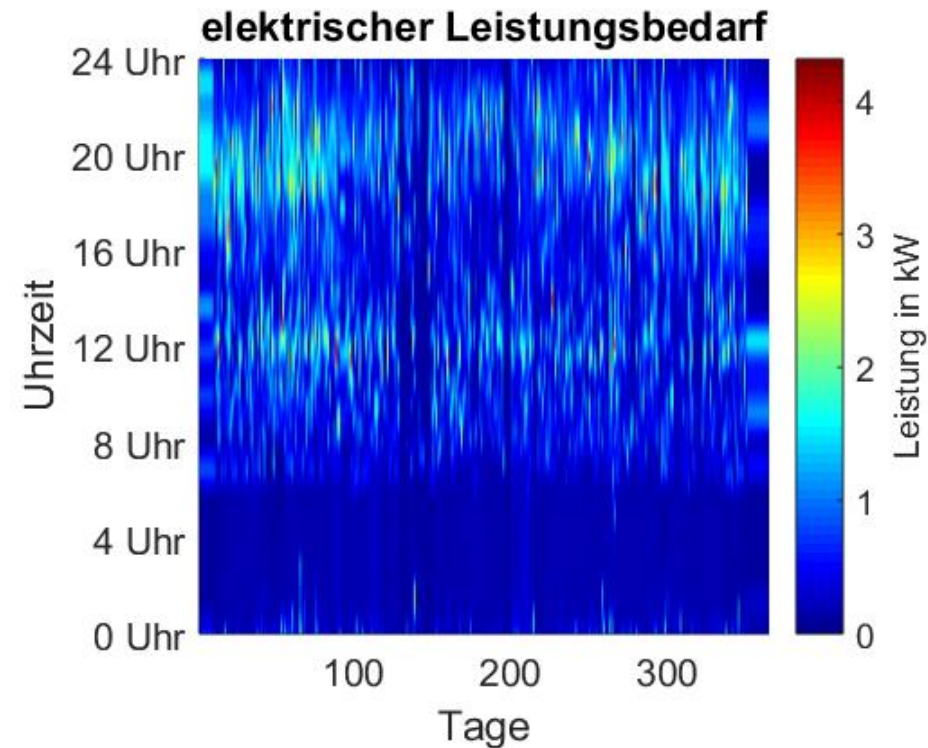
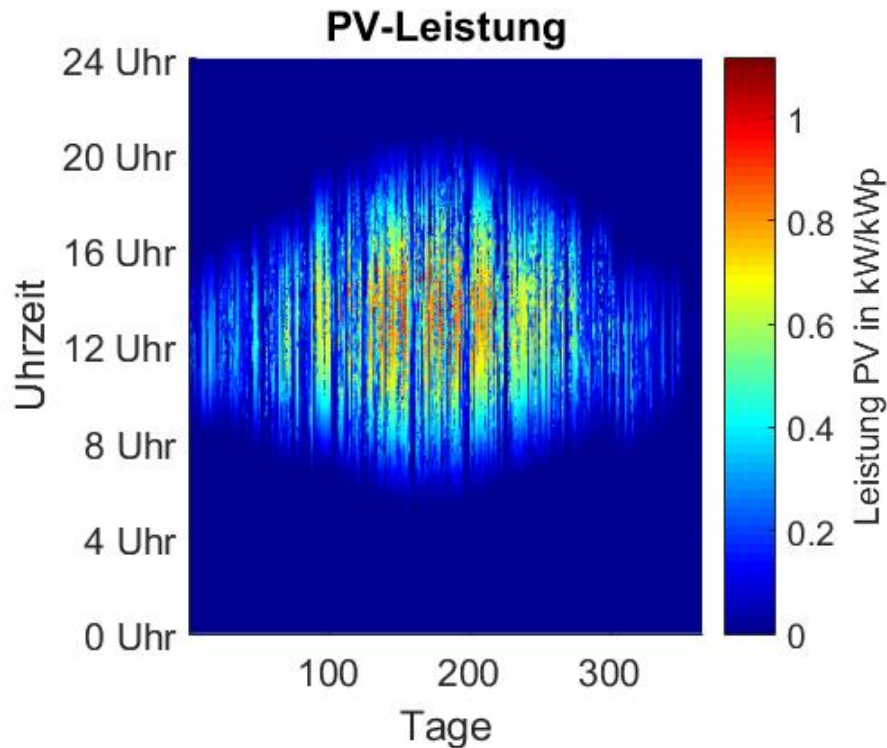
1. Motivation



2. autarke Energieversorgungseinheit

Beispielanwendung

- Beispiel für PV-Leistungsverlauf in gemäßigten Breiten
- typischer elektrischer Energiebedarf eines Privathaushaltes (5MWh/a)

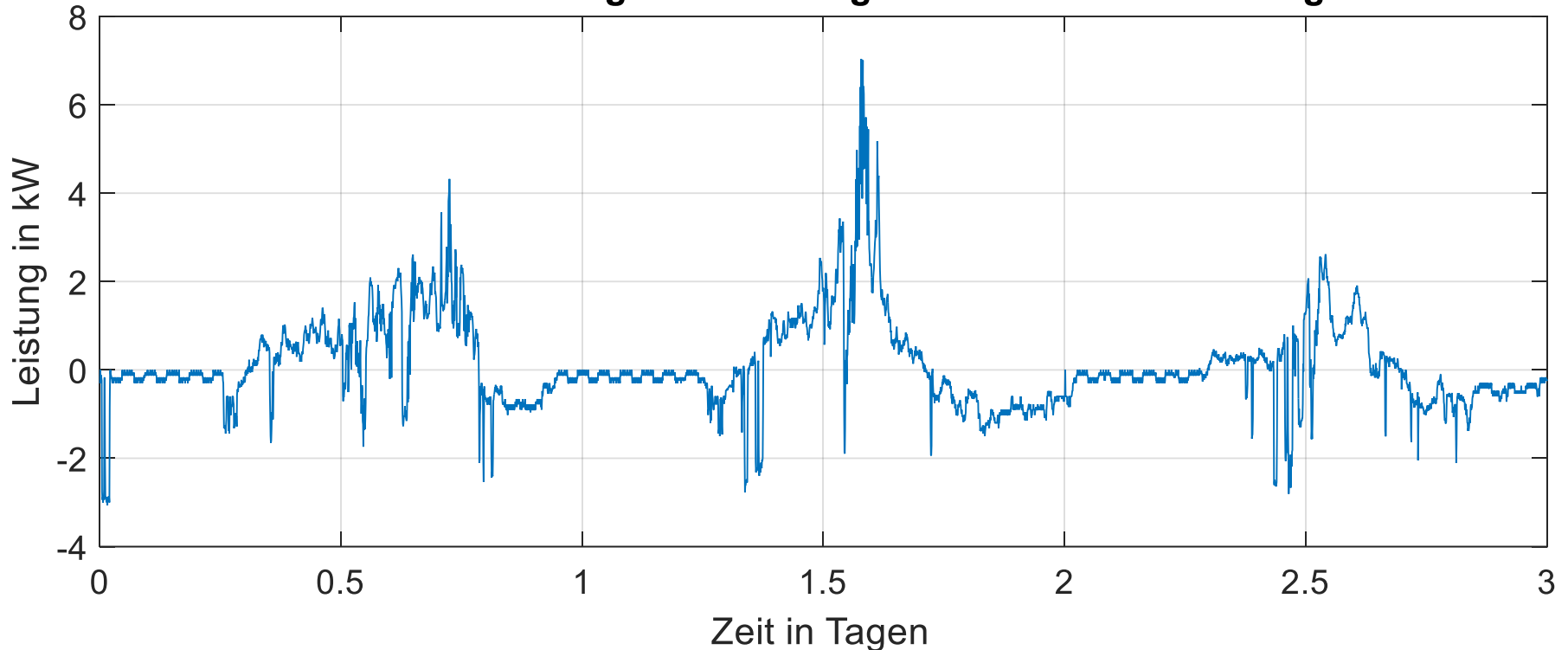


2. autarke Energieversorgungseinheit

Beispielanwendung

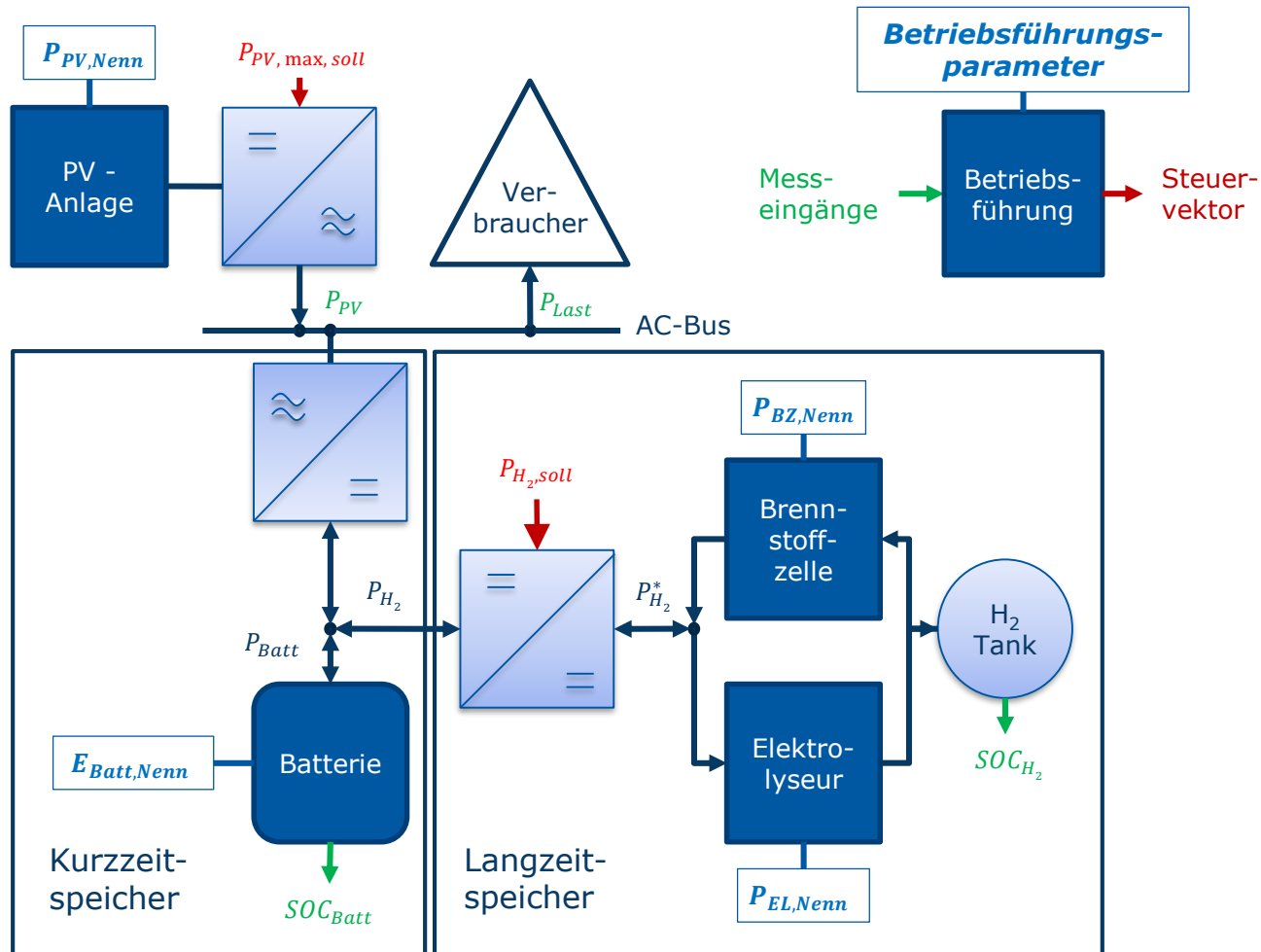
- Beispielverlauf der Differenzleistung über drei Tage im April
- $P_{Diff} = P_{PV} - P_{Last}$

Differenzleistung bei PV-Anlage mit 10kW Nennleistung



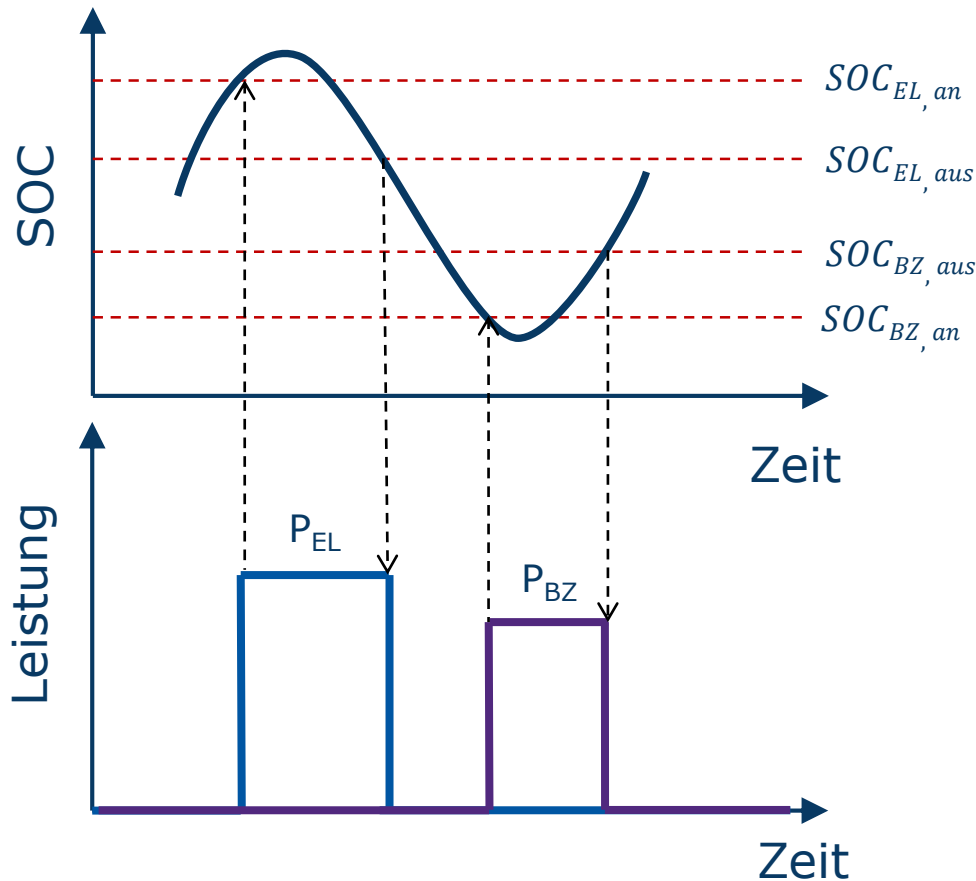
2. autarke Energieversorgungseinheit

Aufbau



2. autarke Energieversorgungseinheit

Betriebsführung



$$SOC_{EL,an} > SOC_{EL,aus} > SOC_{BZ,aus} > SOC_{BZ,an}$$

- Aufteilung der Differenzlast auf beide Speicher
- verschiedenste Verfahren möglich (Bocklisch, Böttiger)
- Entscheidung für einfachen Zwei-Punkt-Hysterese-Regler
- Batterie übernimmt zunächst die Differenzleistung
- Elektrolyseur schaltet bei hohem Batterieladezustand zu
- Brennstoffzelle wird bei niedrigem Ladezustand zugeschalten

2. autarke Energieversorgungseinheit

Kosten als Bewertungskriterien der autarken Energieversorgungseinheit

$$K_{PV} = \frac{p_{PV} * P_{PV,Nenn}}{T_{PV,kal}}$$

$$K_{Batt} = \frac{p_{Batt} * E_{Batt,Nenn}}{L_{Batt}}$$

$$K_{EL} = \frac{p_{EL} * P_{EL,Nenn}}{L_{EL}}$$

$$K_{BZ} = \frac{p_{BZ} * P_{BZ,Nenn}}{L_{BZ}}$$

$$K_{Tank} = \frac{p_{Tank} * V_{Tank}}{T_{Tank,kal}}$$

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

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

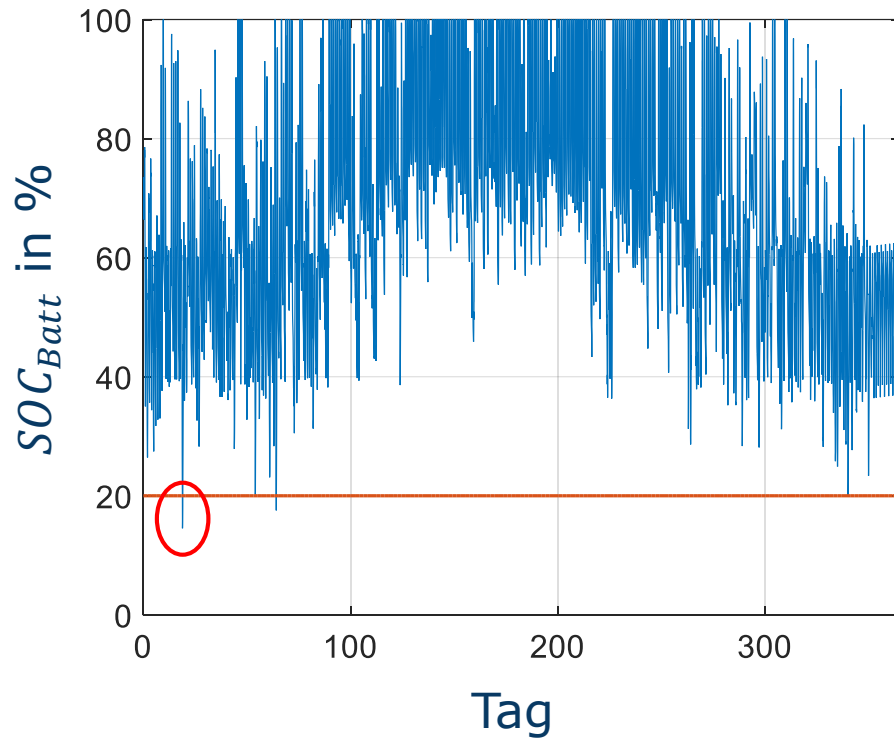
$$L_{EL} = \frac{S_{EL}}{S_{EL,max}}$$

$$L_{BZ} = \frac{S_{BZ}}{S_{BZ,max}}$$

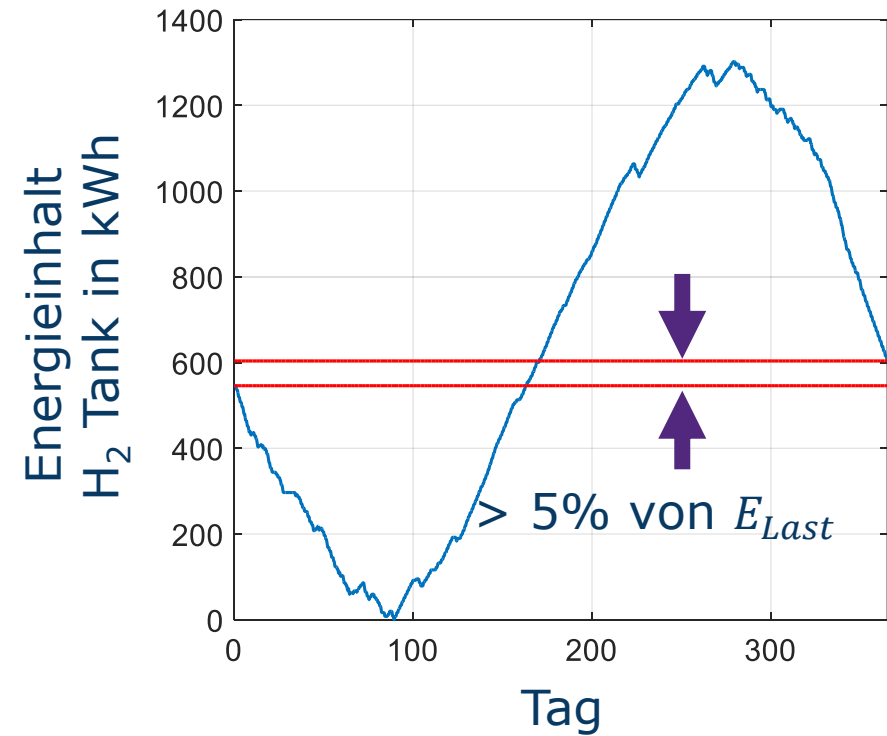
Komponente	Parameter	Wert
PV-Anlage	p_{PV}	1250 €/kW
	$T_{PV,kal}$	20 Jahre
Batterie	p_{Batt}	1000 €/kWh
	$Z_{Batt,max}$	5000
Brennstoffzelle	p_{BZ}	3000 €/kW
	$S_{BZ,max}$	2000
Elektrolyseur	p_{EL}	3000 €/kW
	$S_{EL,max}$	2000
H ₂ -Tank	p_{H_2}	30 €/Nm ³
	$T_{Tank,kal}$	20 Jahre

2. autarke Energieversorgungseinheit

Kriterien der Versorgungssicherheit



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



$$K_{H2,Sicher} = H_{2\ Bestr} \cdot \left(1 - \frac{(E_{H2}(t_N) - E_{H2}(t_1))}{5\% * E_{Last}} \right)$$

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

2. autarke Energieversorgungseinheit

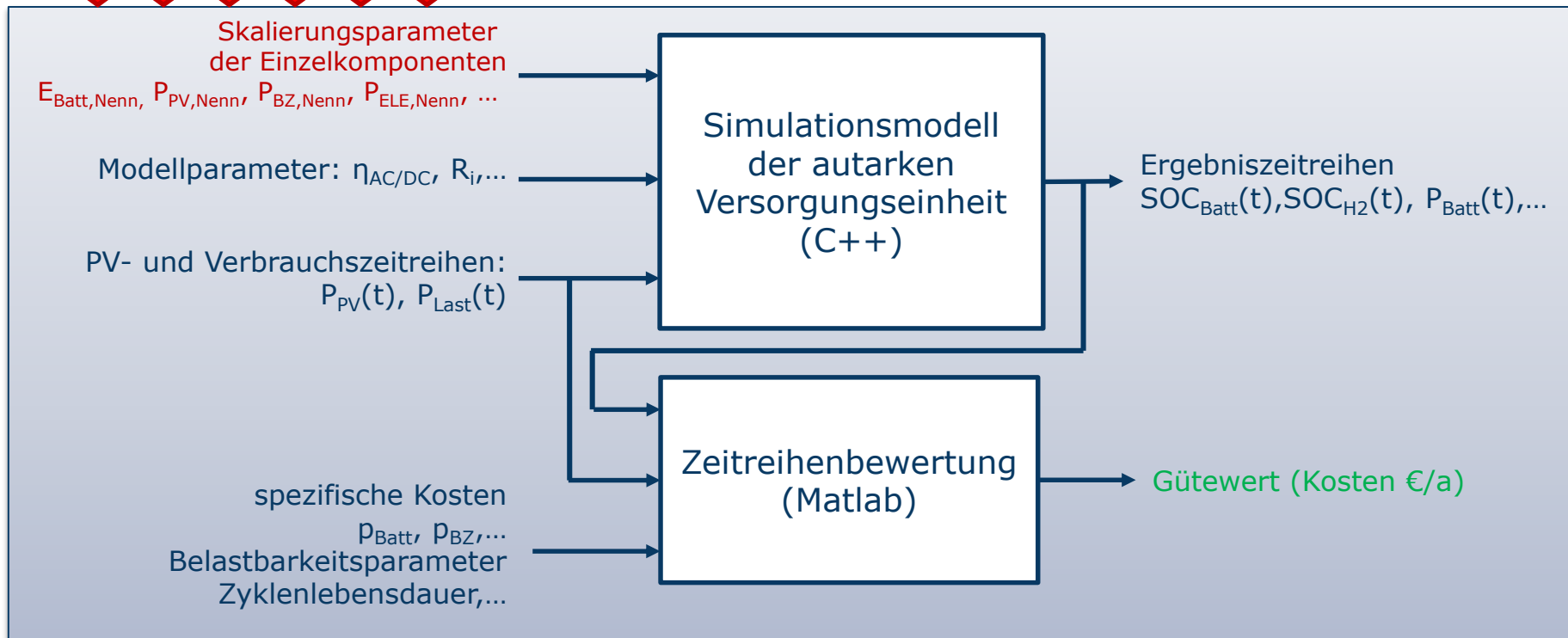
Simulationswerkzeug

vektorisierter Satz unterschiedlicher

Skalierungsparameter z.B.: $E_{\text{Batt,Nenn}} = 1\text{kWh}, 2\text{kWh}, 3\text{kWh}, \dots$



parallelisierte Berechnung



3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

Optimierungsproblem

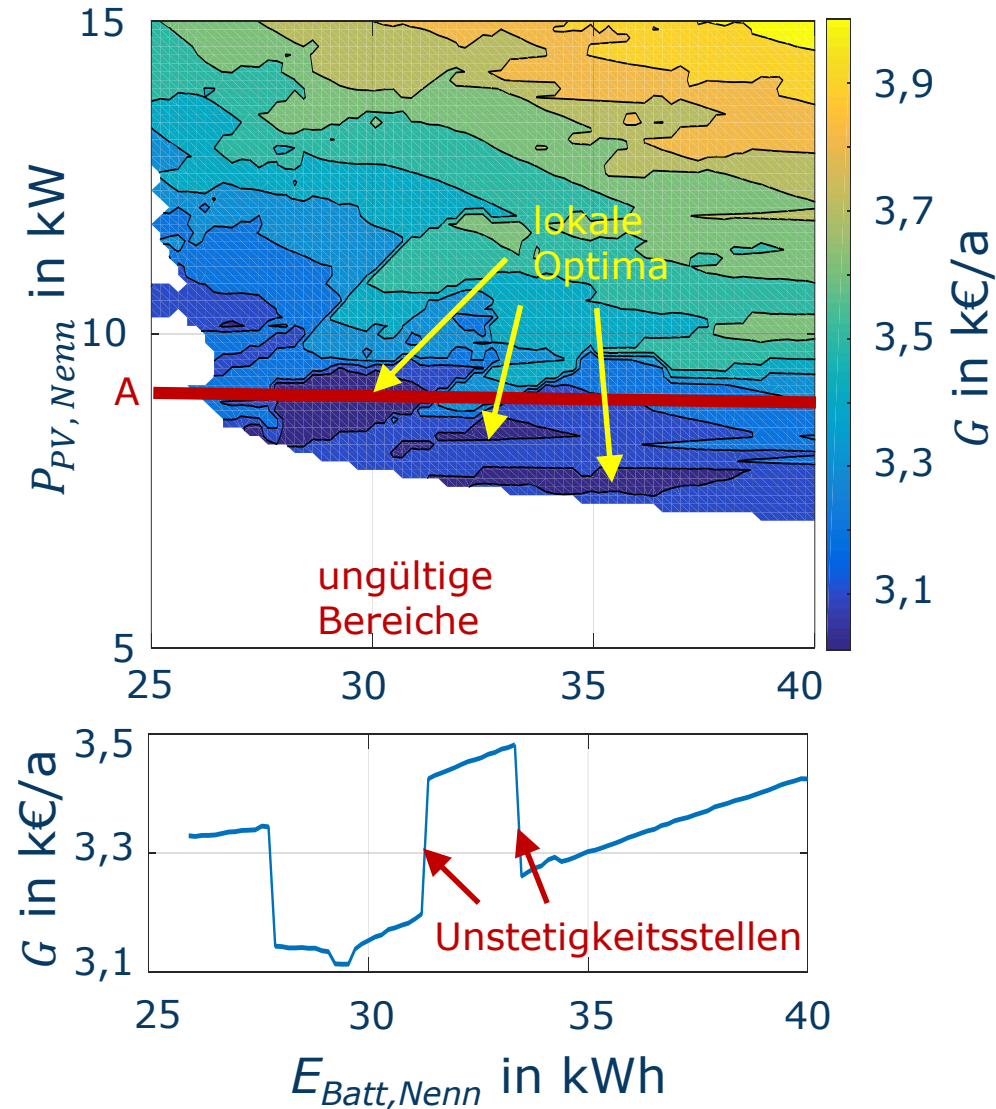
Finde optimale **Dimensionierung**
der Einzelkomponenten und
günstigste **Einstellung** der
Betriebsführungsparameter

Eigenschaften der Zielfunktion:

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

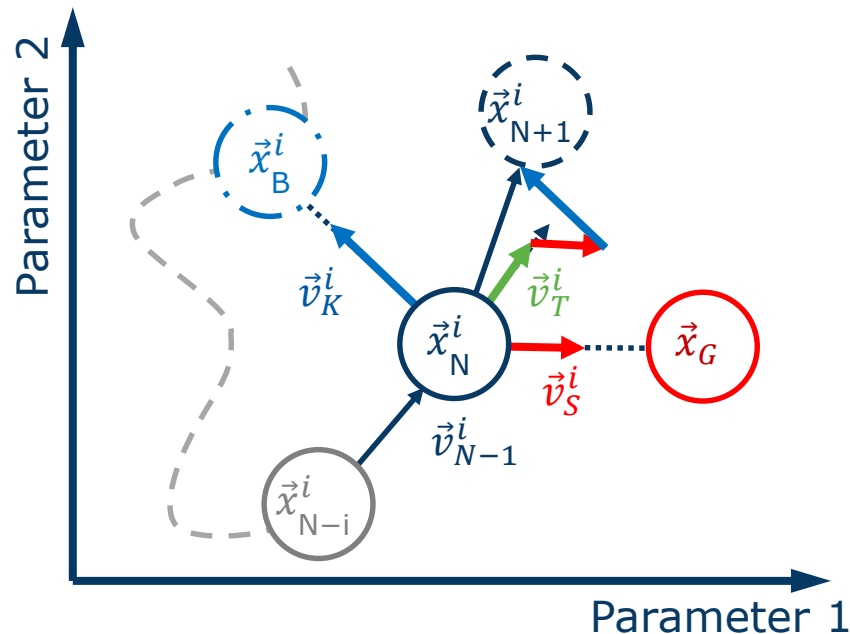
Mögliche Lösungsverfahren:

- Downhill-Simplex
- Evolutionäre Algorithmen
- Schwarmalgorithmen



3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

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:

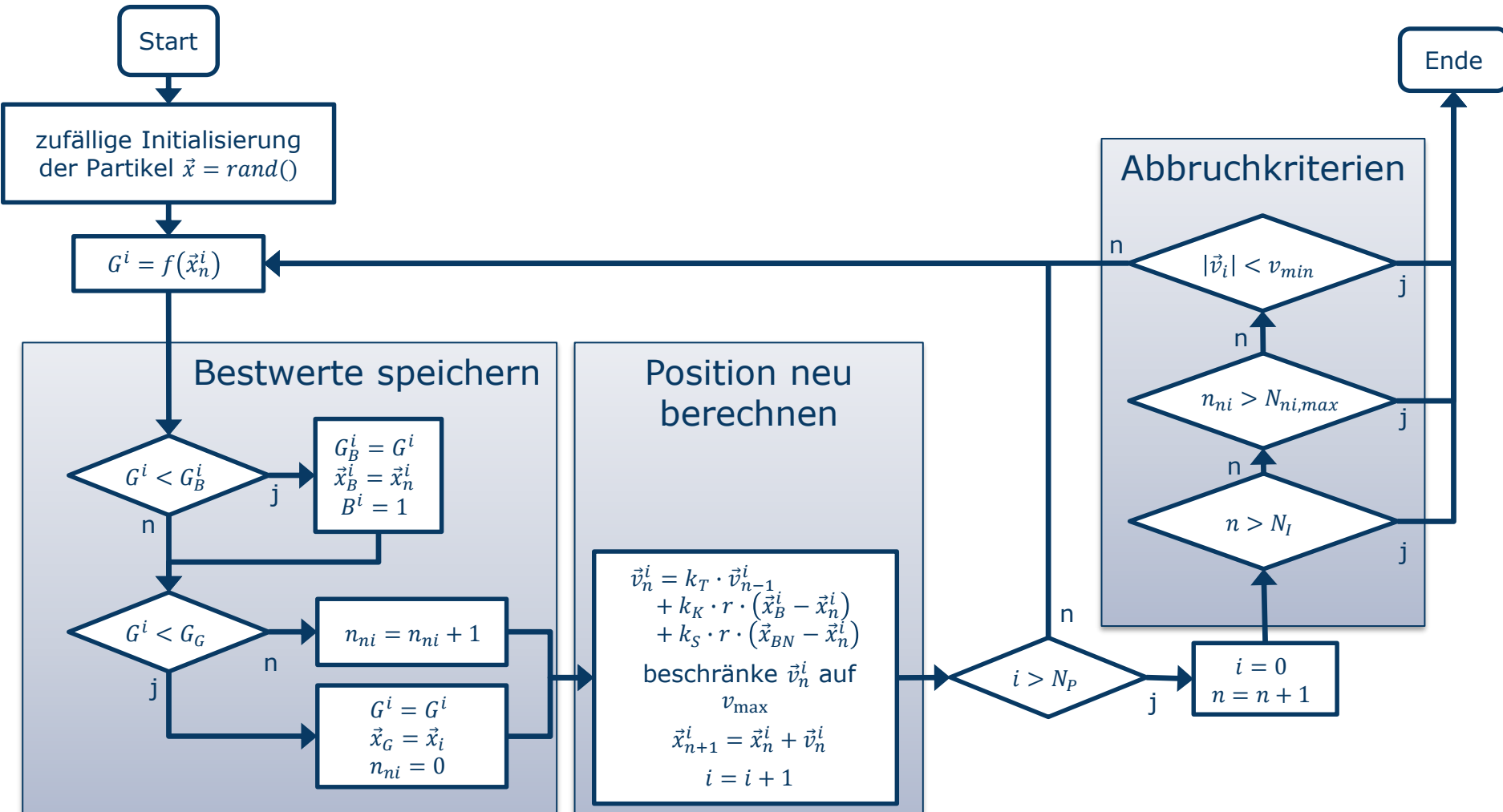
- Trägheit \vec{v}_T^i (k_T)
- Kognition \vec{v}_K^i (k_K)
- Sozialverhalten \vec{v}_S^i (k_S)

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

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

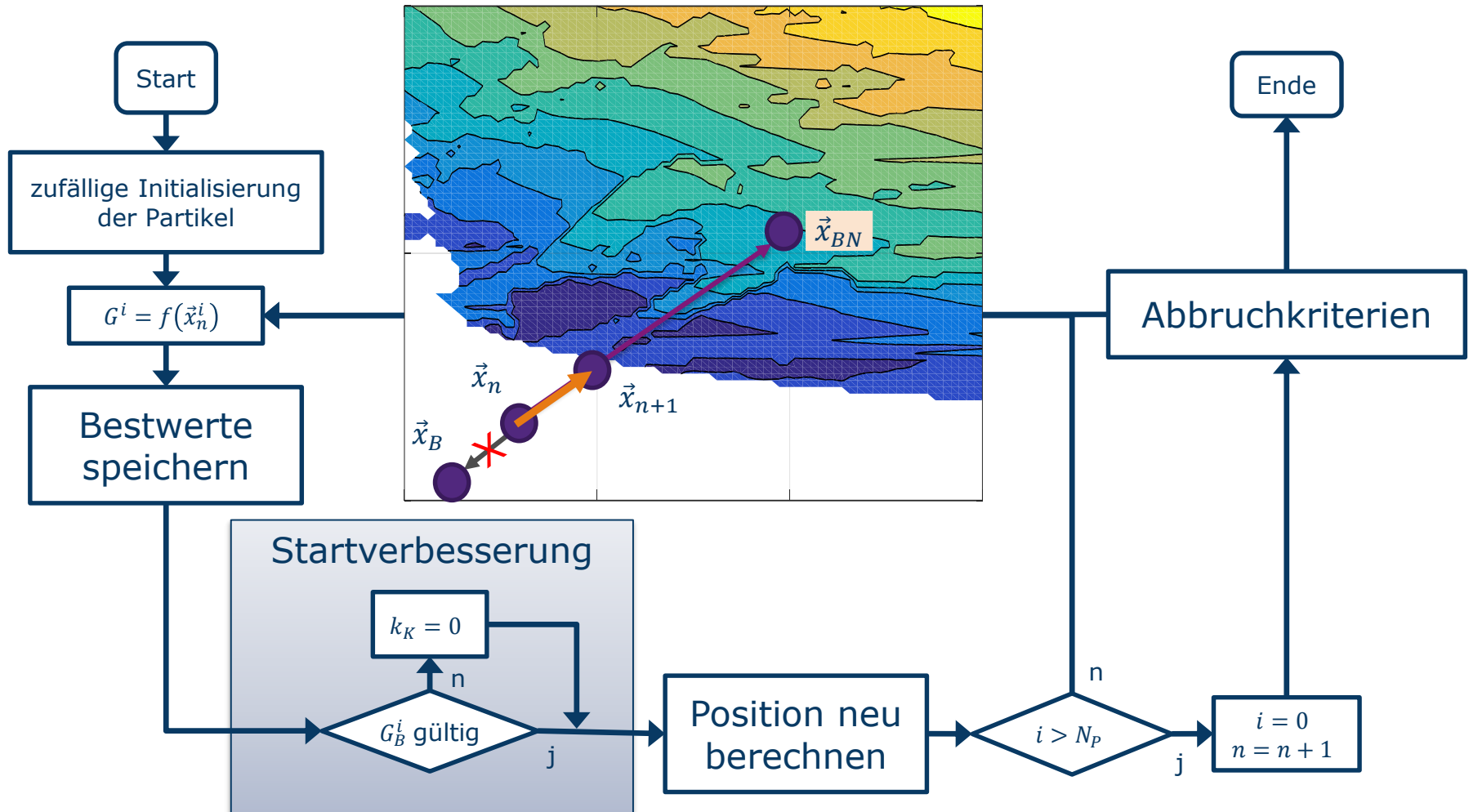
3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

Standard Partikel-Schwarm-Algorithmus - Ablaufplan



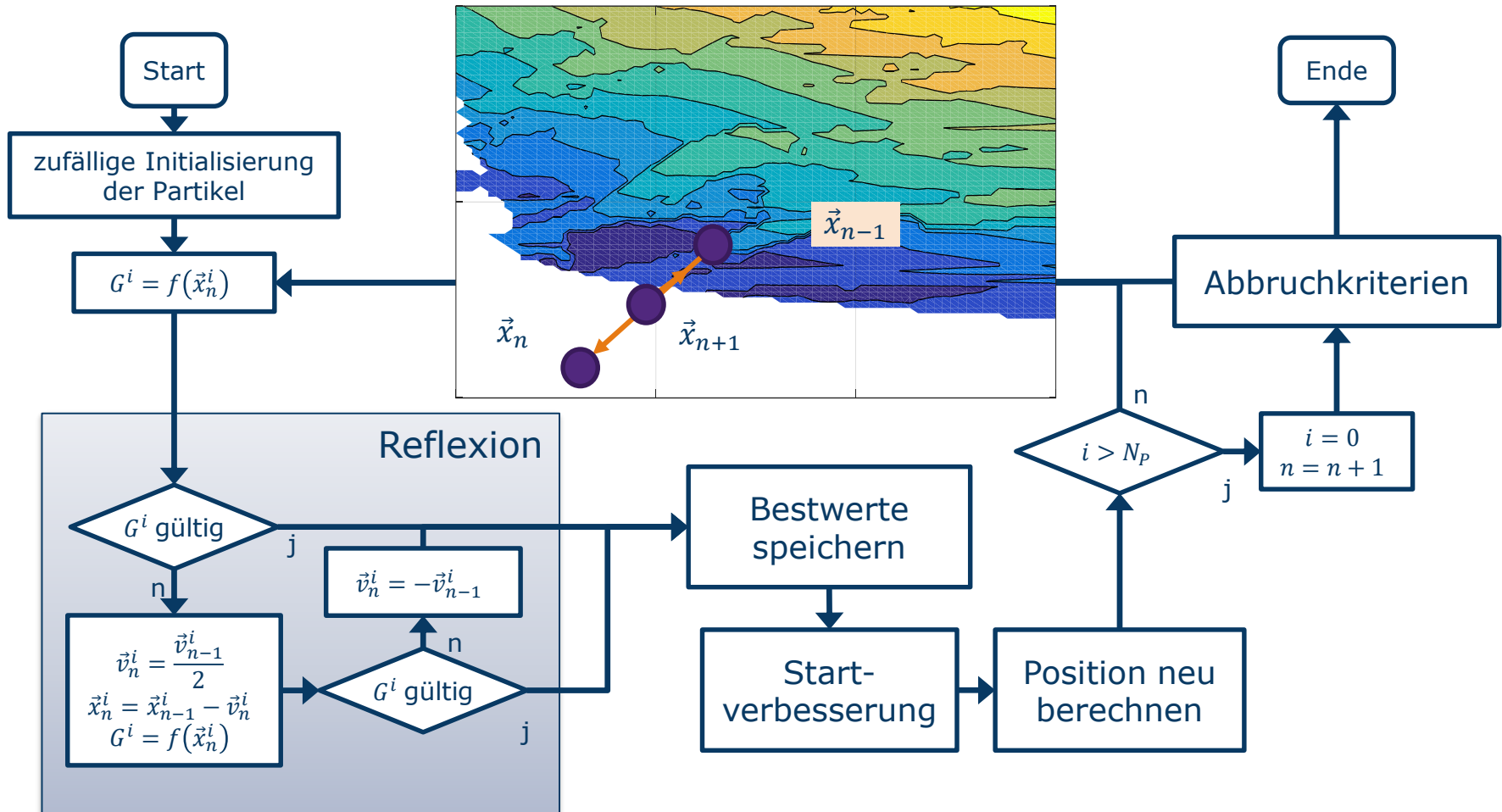
3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

Erweiterungen 1: Startverbesserung



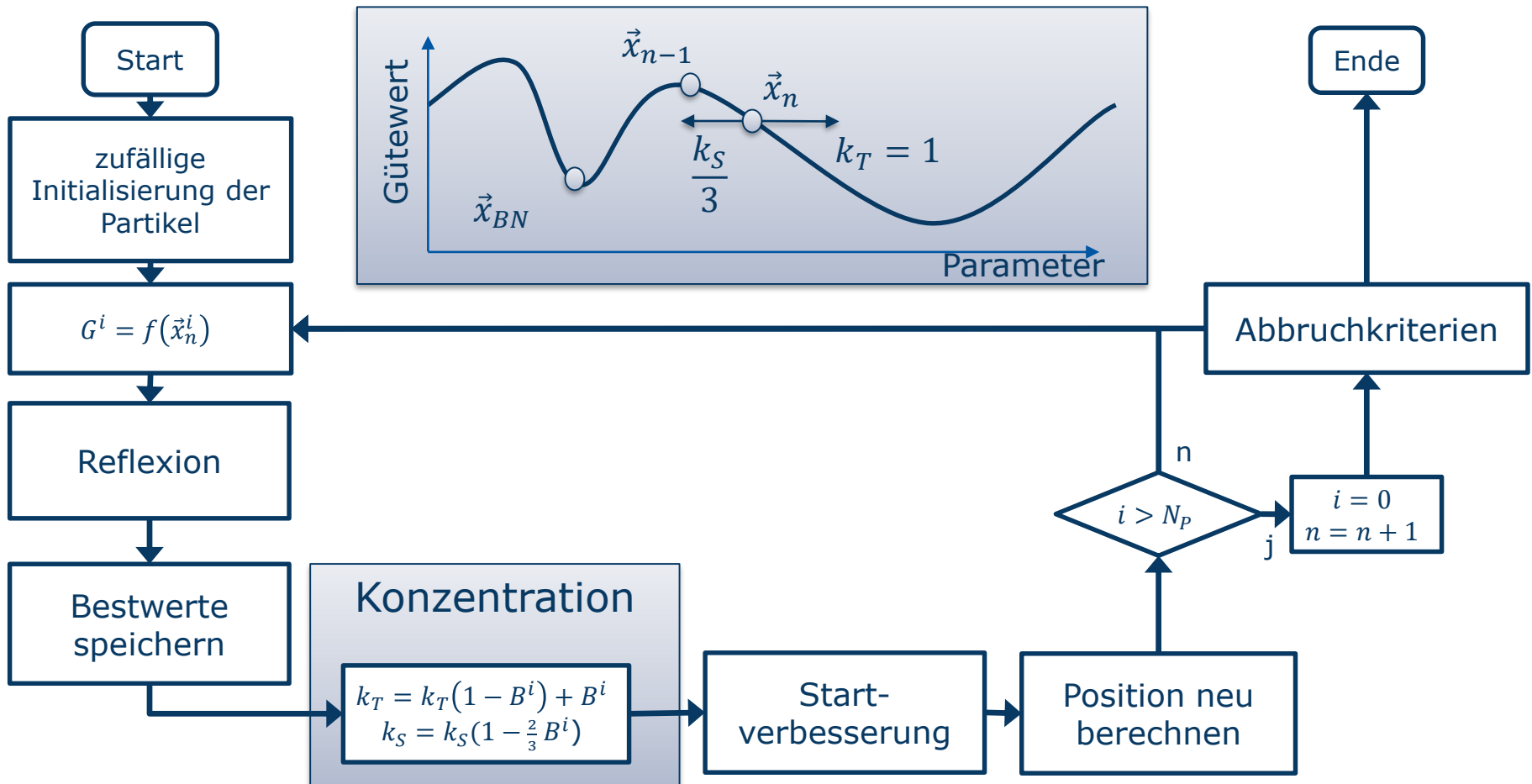
3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

Erweiterungen 2: Reflexion



3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

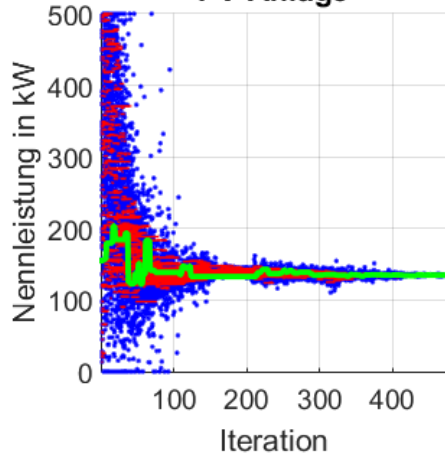
Erweiterungen 3: Konzentration auf Verbesserungsrichtung



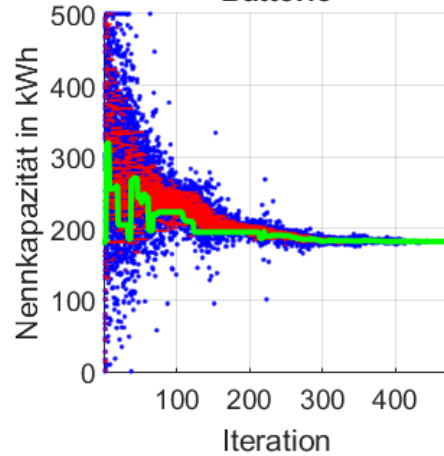
3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

Beispiel Optimierungslauf

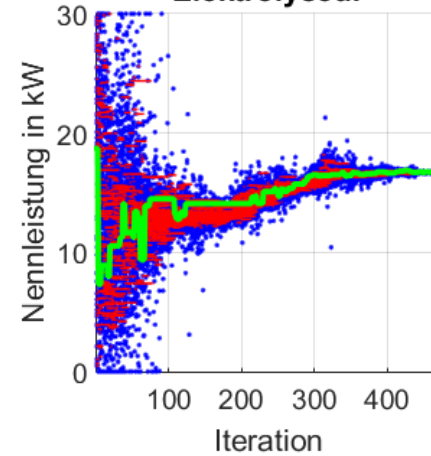
PV-Anlage



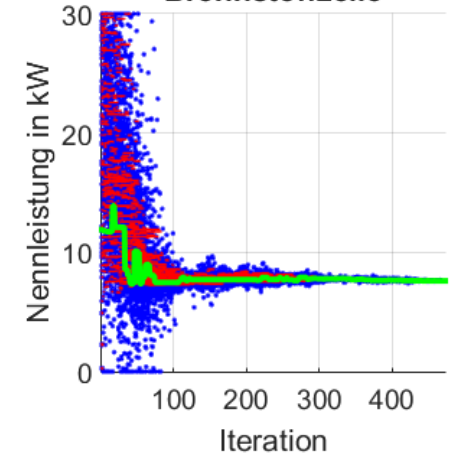
Batterie



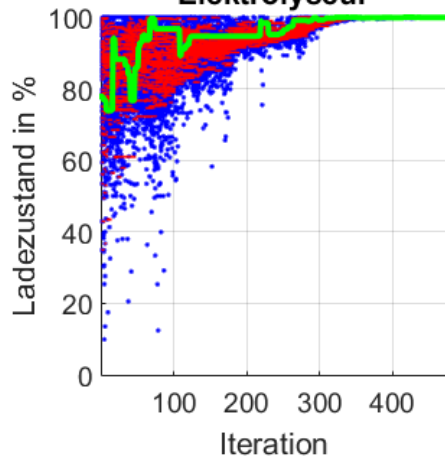
Elektrolyseur



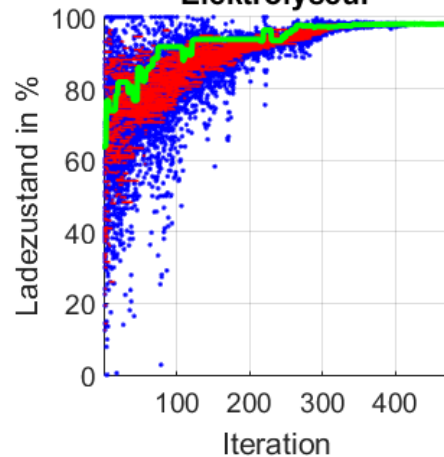
Brennstoffzelle



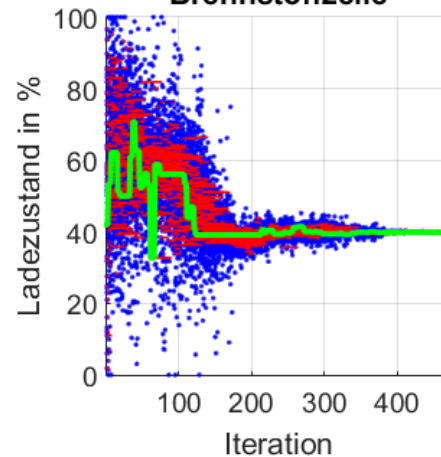
**Zuschaltsschwelle für
Elektrolyseur**



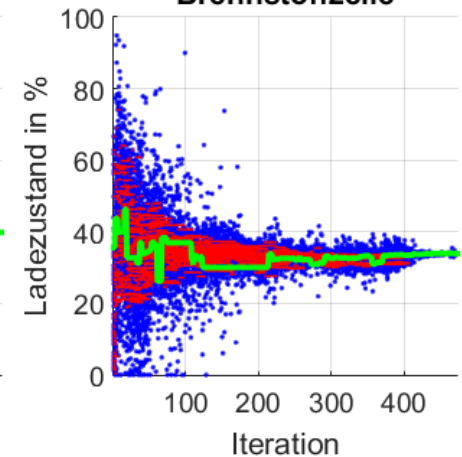
**Abschaltsschwelle für
Elektrolyseur**



**Abschaltsschwelle für
Brennstoffzelle**

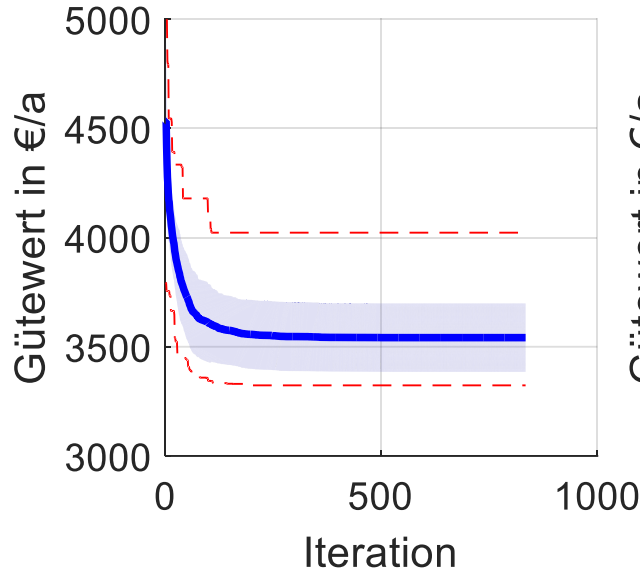
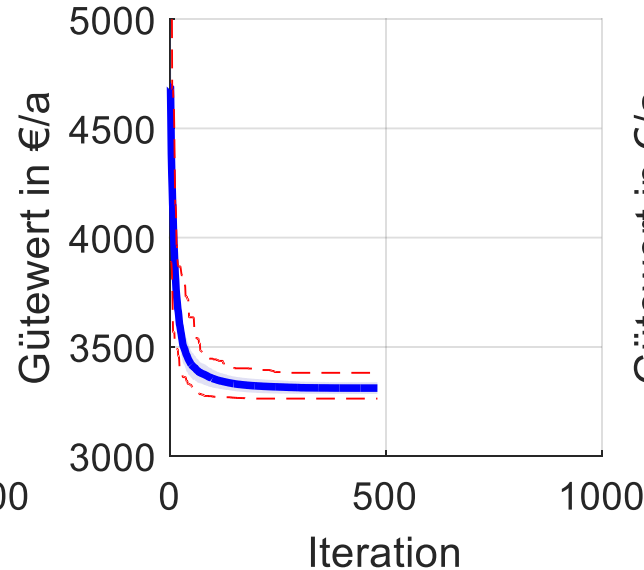
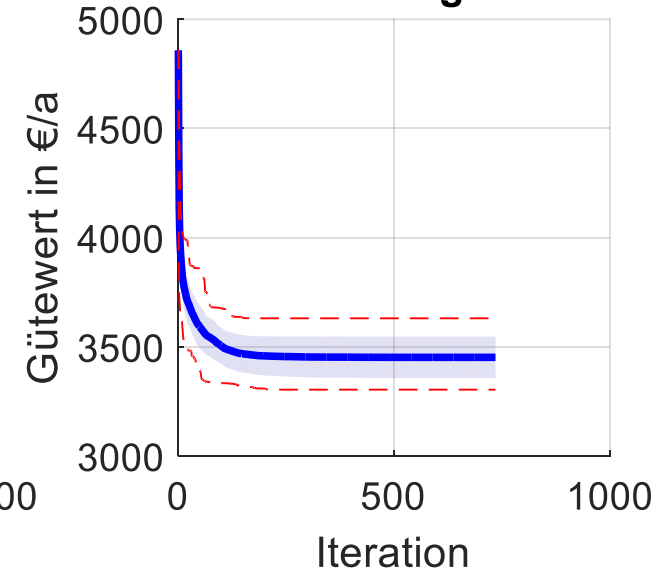


**Zuschaltsschwelle für
Brennstoffzelle**



3. Auslegung mit Partikel-Schwarm-Algorithmus

Vergleich PSO und GA

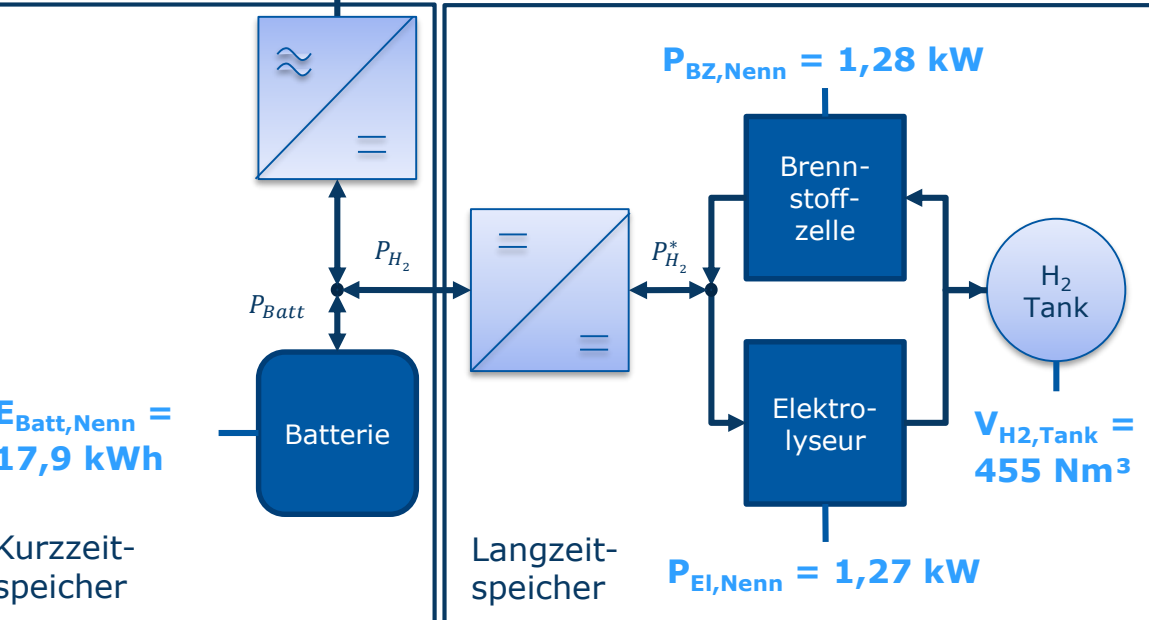
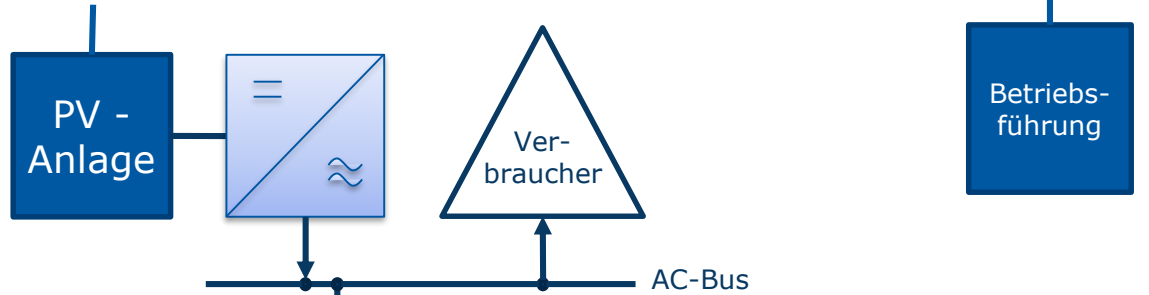
Standard PSO

Erweiterter PSO

Genetischer Algorithmus


	Minimum	Maximum	$\overline{G_G}$	$\sigma(G_G)$	Iterationen
Standard PSO	3323	4023	3542	158,5	109 - 834
Erweiterter PSO	3263	3381	3311	27,5	197 - 481
Genetischer Alg.	3304	3630	3452	95,8	183 - 735

4. Auslegungsergebnis

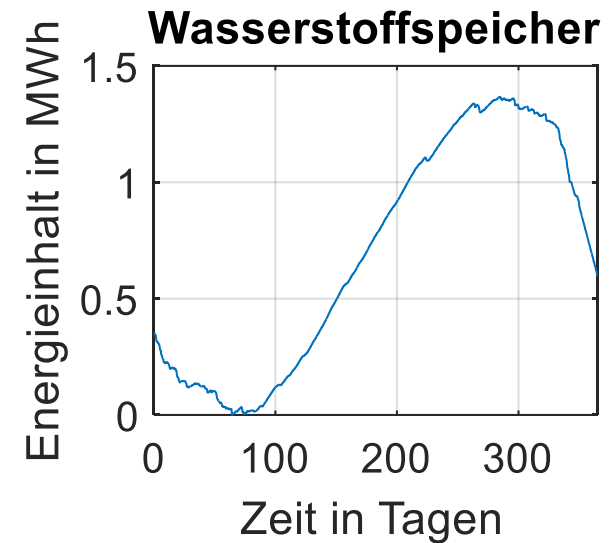
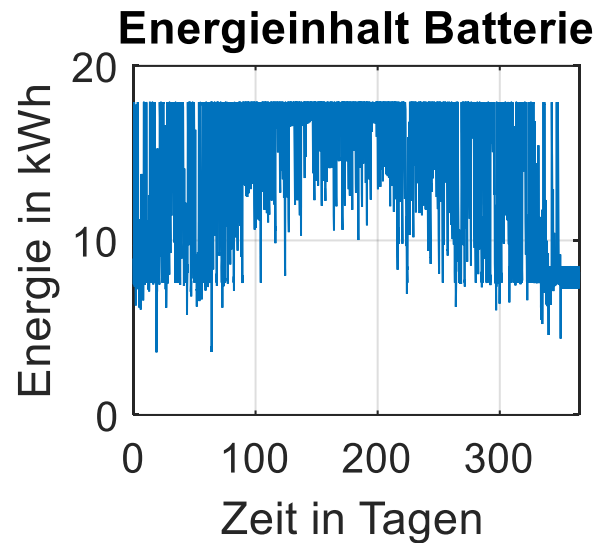
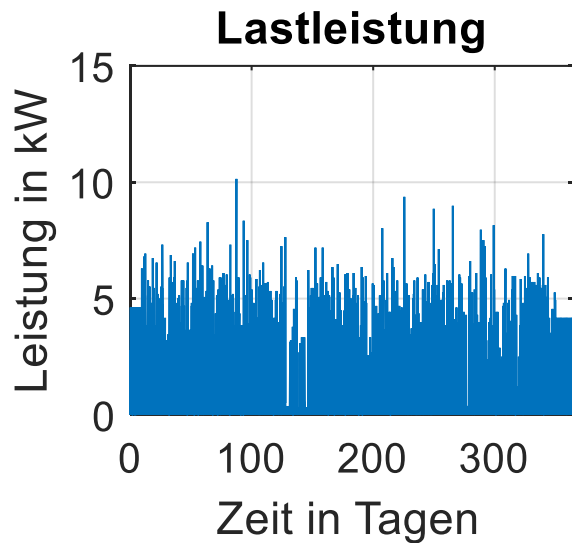
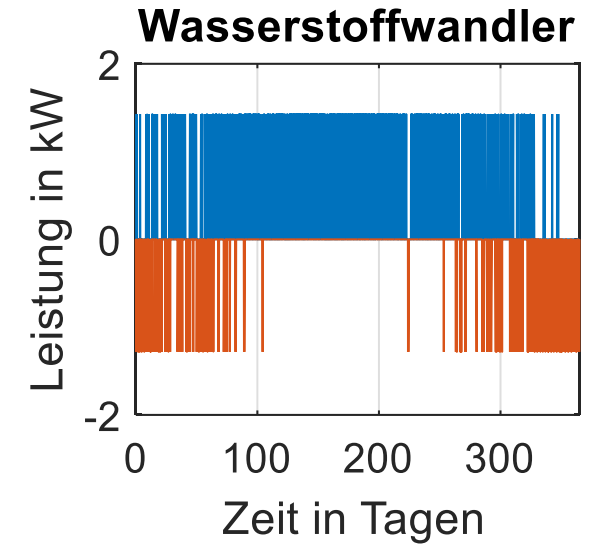
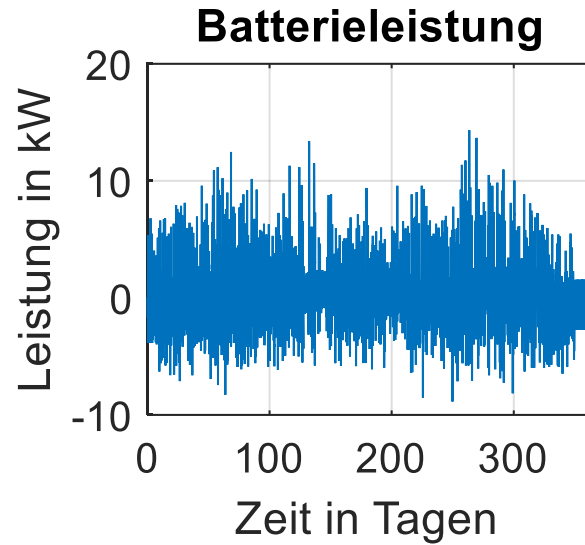
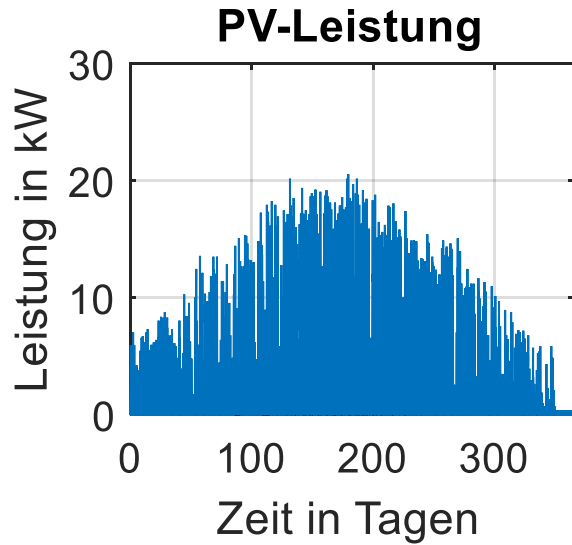
$P_{PV,Nenn} = 18,7 \text{ kW}$

$SOC_{EL,an} = 99,9 \%$ $SOC_{BZ,aus} = 47,3 \%$
 $SOC_{EL,aus} = 99,0 \%$ $SOC_{BZ,an} = 42,3 \%$



	Kosten in €	Lebenszeit in Jahren
PV-Anlage	27.708,75	20
Batterie	26.888,69	20
Brennstoffzelle	3.846,06	10
Elektrolyseur	3.806,91	7
H ₂ -Speicher	13.668,84	20
Gesamt	86.835,29	20

4. Auslegungsergebnis



Zusammenfassung

- 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

- Untersuchungen zu Sensitivitäten der Kostenparameter können durchgeführt werden
- Anwendung auch in weiteren Einsatzfeldern (Lastprofilen)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Institut für Energietechnik

Professur für Energiespeichersysteme

AUSLEGUNGSVERFAHREN FÜR AUTARKE PV-BATTERIE-WASSERSTOFF- HYBRIDSYSTEME MITTELS PARTIKEL-SCHWARM-OPTIMIERUNG

Martin Paulitschke

Dresden, 15. November 2016