

Probabilistisch optimierter Lastfluss (POPF)

Last- und erzeugungsbasierendes Kurzzeit-Engpassmanagement

Alexander Gaun, Georg Rechberger, Herwig Renner

Technische Universität Graz

Institut für Elektrische Anlagen

Probabilistisch?!

- Starklastfall und Schwachlastfall führen zu nicht aussagekräftigen Ergebnissen bei energetischen Betrachtungen eines Jahres.
Lösung: Probabilistisch können alle relevanten Situationen berücksichtigt werden.
- Stochastische Größen wie z.B. Windeinspeisung können modelliert werden.
- Zusätzliche Berücksichtigung von Planungsunsicherheiten
- Rechenzeitreduzierung durch analytische Berechnung gegenüber vergleichbaren Methoden wie sequentielle Monte Carlo Simulation, ...
- Neue Aussagen über Ergebnisse durch Kenntnis der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Szenarios.
- ...

Optimierter Lastfluss basierend auf DC-Load Flow

Optimaler Lastfluss für **(n-1)- Fälle**, um durch **Redispatch** und **Lastabschaltung** minimale Kosten für Weiterbetrieb des Netzes zu berechnen.

Formale Beschreibung:

$$\min_{\theta, P_{cur}} \sum_{i=1}^n C_{cur,i} \quad \text{mit} \quad C_{cur,i} = P_{cur,i} c_1 + P_{cur,i} c_2 t$$

Randbedingungen:

$$\mathbf{B}_{bus} \times \boldsymbol{\theta} = \mathbf{P}_g$$

Lastflussgleichung

$$P_{g,j}^{\min} \leq P_{g,j} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n_v$$

Grenze minimale Generatorleistung

$$P_{g,j} \leq P_{g,j}^{\max} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n_v$$

Grenze maximale Generatorleistung

$$\mathbf{B}_f \times \boldsymbol{\theta} \leq P_{nr,k} \quad \forall k = 1, 2, \dots, n_t$$

Grenzen Leitungsauslastung

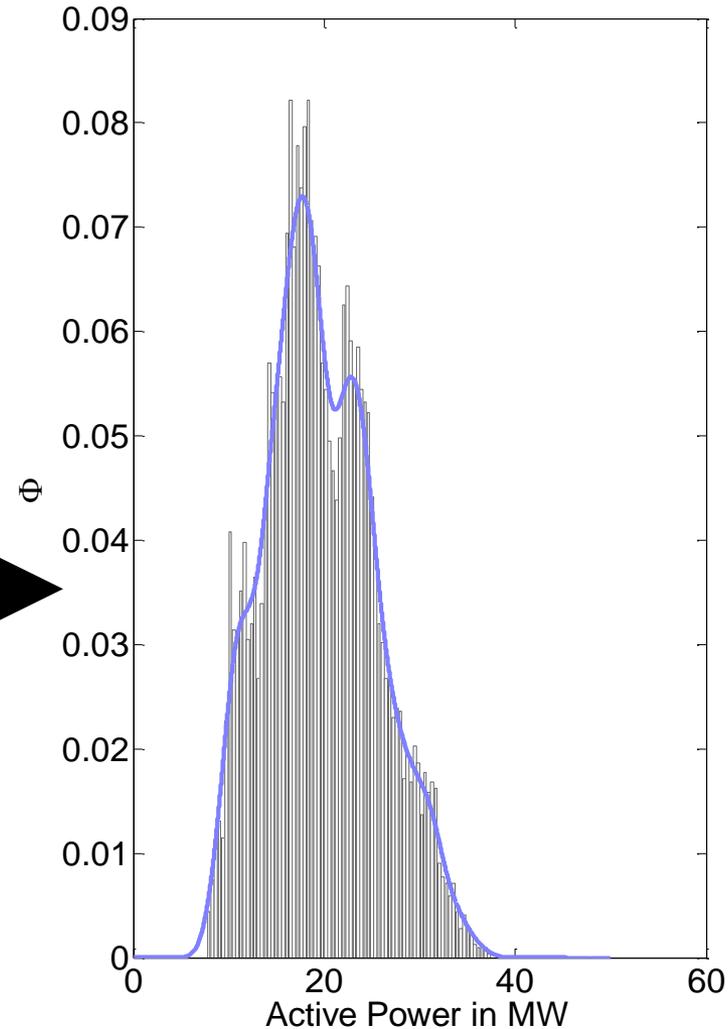
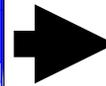
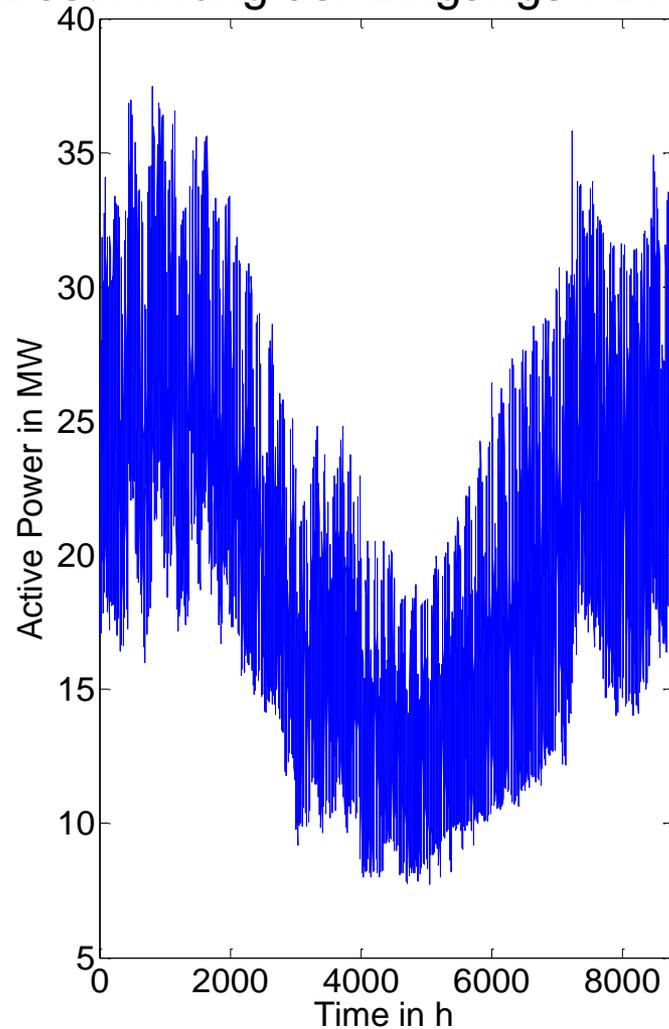
$$-\mathbf{B}_f \times \boldsymbol{\theta} \leq P_{nr,k}$$

Verwendete probabilistische optimierte Lastflussmethode

- Analytische Methode:
Punktbestimmungs-Methode (Point Estimate Method (PE))
 - Harr's Methode
 - 2m Schema
 - 2m+1 Schema
 - 4m+1 Schema } abgeleitet von Hong's Methode
m: Anzahl der Zufallsvariablen
- Beschreibung:
Mittels charakteristischer Eigenschaften ($\mu, \sigma, v, \beta, \dots$) der Eingangsverteilung werden über mathematische Methoden **Gewichte** und **diskrete Werte** der Eingangsverteilung berechnet. Diese diskreten Werte sind **Eingangswerte** für **diskrete Optimierungsrechnung**. Die erhaltenen Lösungen werden mittels der bestimmten Gewichte zu **Momenten (Kennwert für Verteilung)** der Lösungsverteilung summiert.
Vorteil: **Algorithmen mit diskrete Einganswerten können verwendet werden**
- Bestimmung der Lösungsverteilung aus Momenten:
Über Gram-Charlier-Expansion

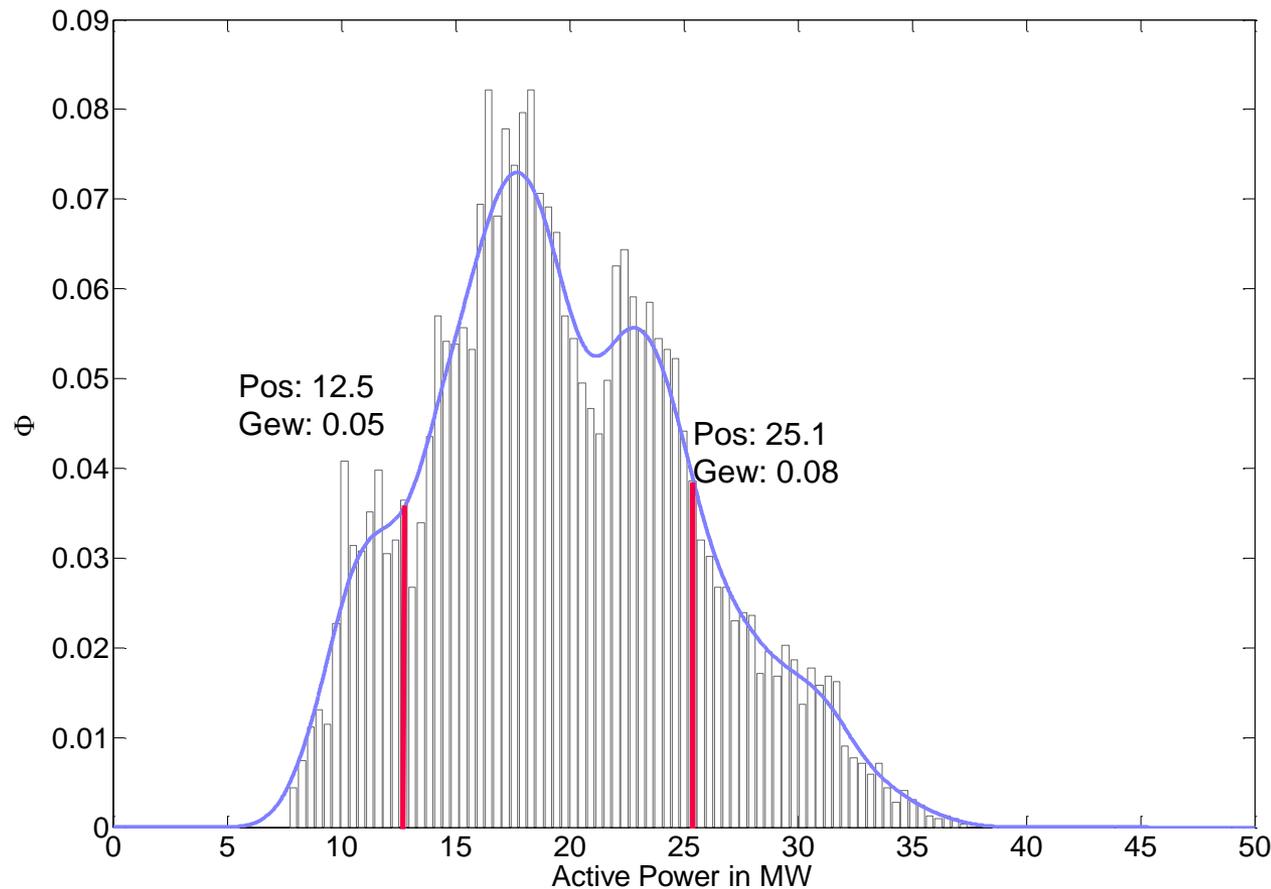
Berechnungsablauf I

1. Bestimmung der Eingangs PDF



Berechnungsablauf II

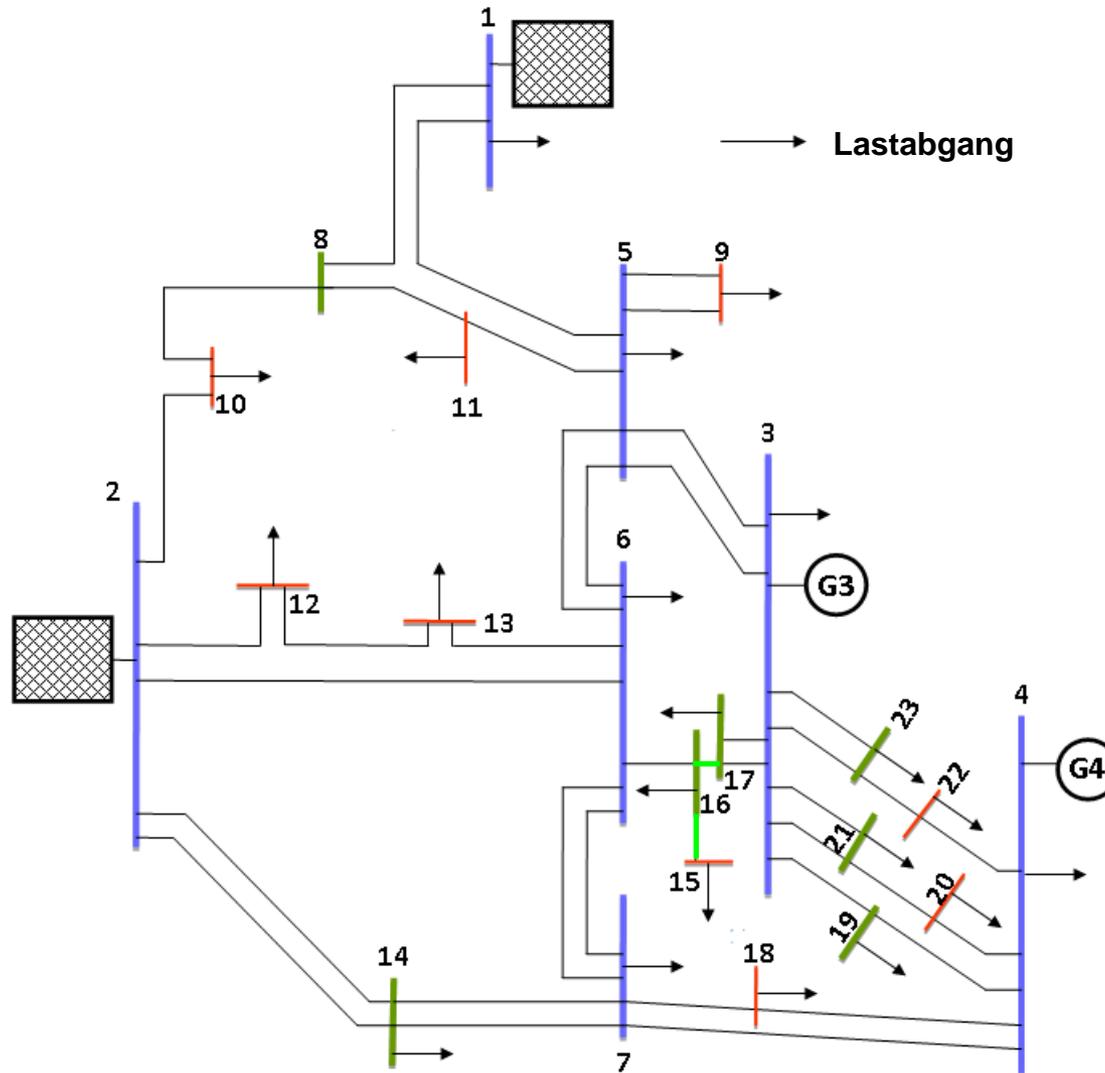
2. Eigenwerttransformation (Erzeugen von unkorrelierten Eingangsdaten)
3. Bestimmung der Positionen und Gewichte je Eingangsverteilung



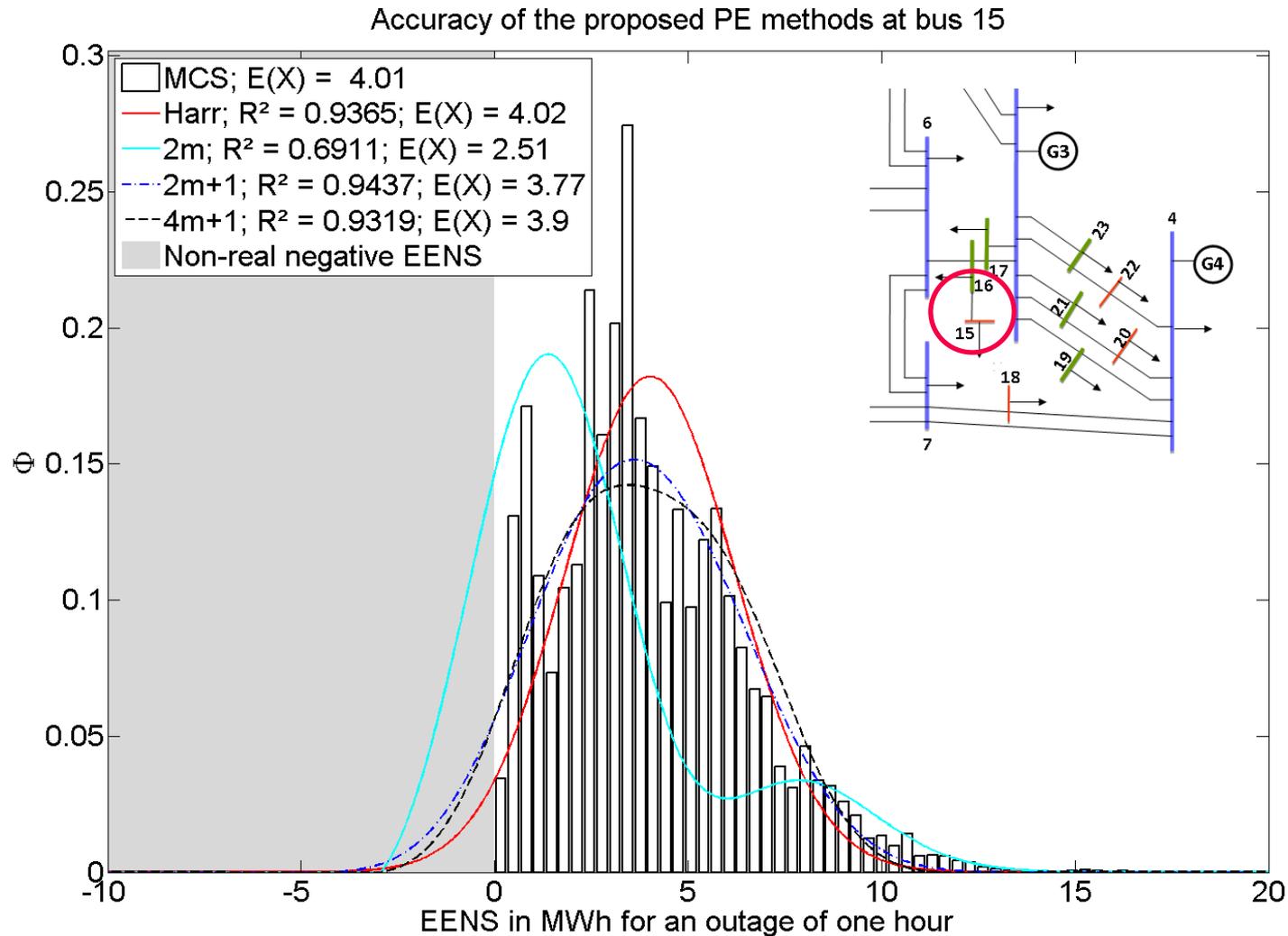
Berechnungsablauf III

4. Berechnung diskreter OPF, wobei je nach Methode die restlichen Eingangswerte entweder den Mittelwert der Verteilungen annehmen („Hong-Methode“) oder direkt über die Methode (Harr) berechnet werden
$$Z = F(X)$$
5. Ergebnisse zu Momenten addieren
$$\bar{\mu}_j = \bar{\mu}_j + Gew \cdot Z^j$$
6. Wiederhole Punkte 3-5 für alle restlichen Eingangsverteilungen
7. Berechne Gram Charlier Expansion für Resultate, d.h aus den Momenten die Verteilungsfunktion (PDF oder CDF) bestimmen

Beispiel mittels realem 110-kV-Übertragungsnetz

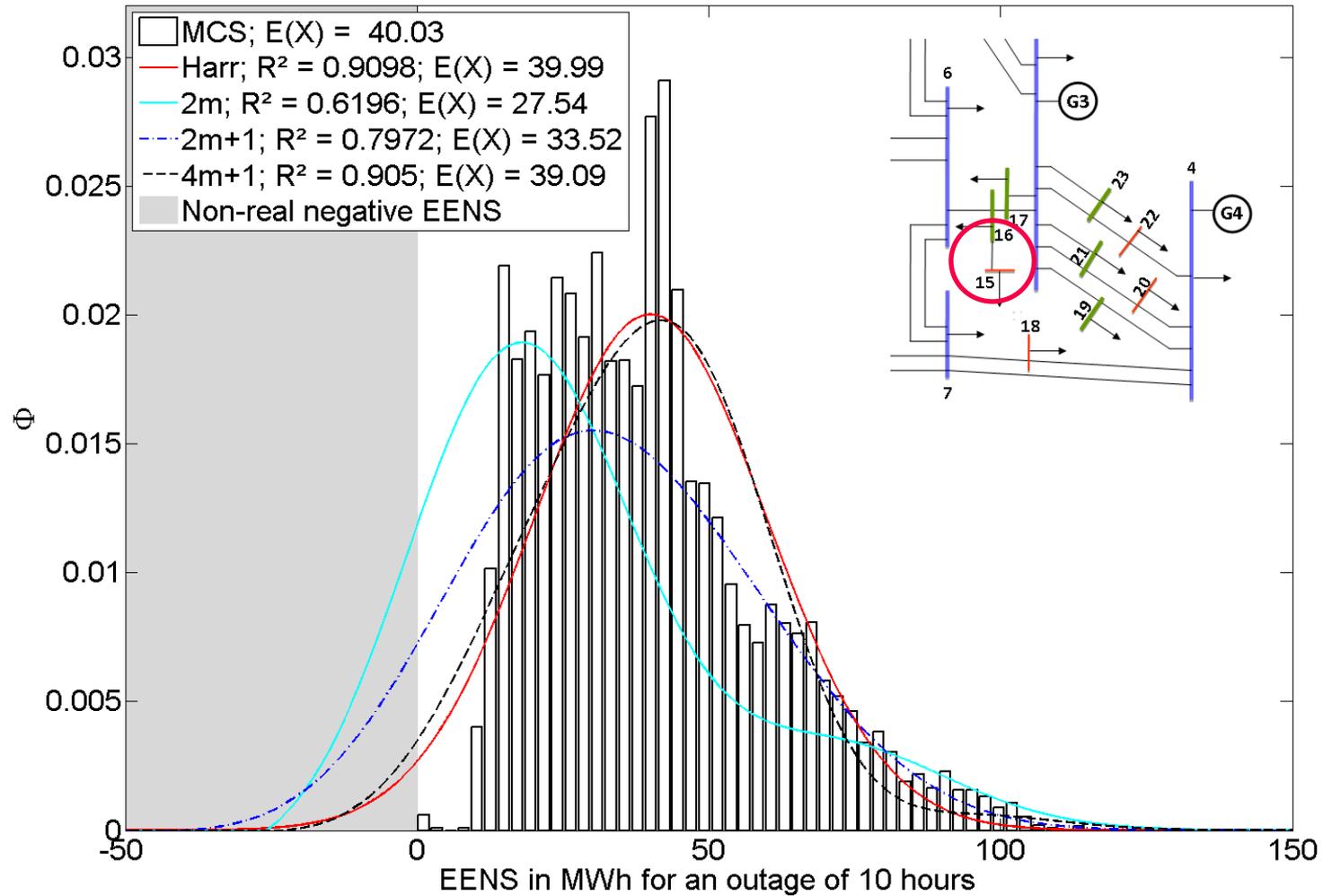


Ergebnisbeispiel I: Ausfall Leitung 15-16 für 1h



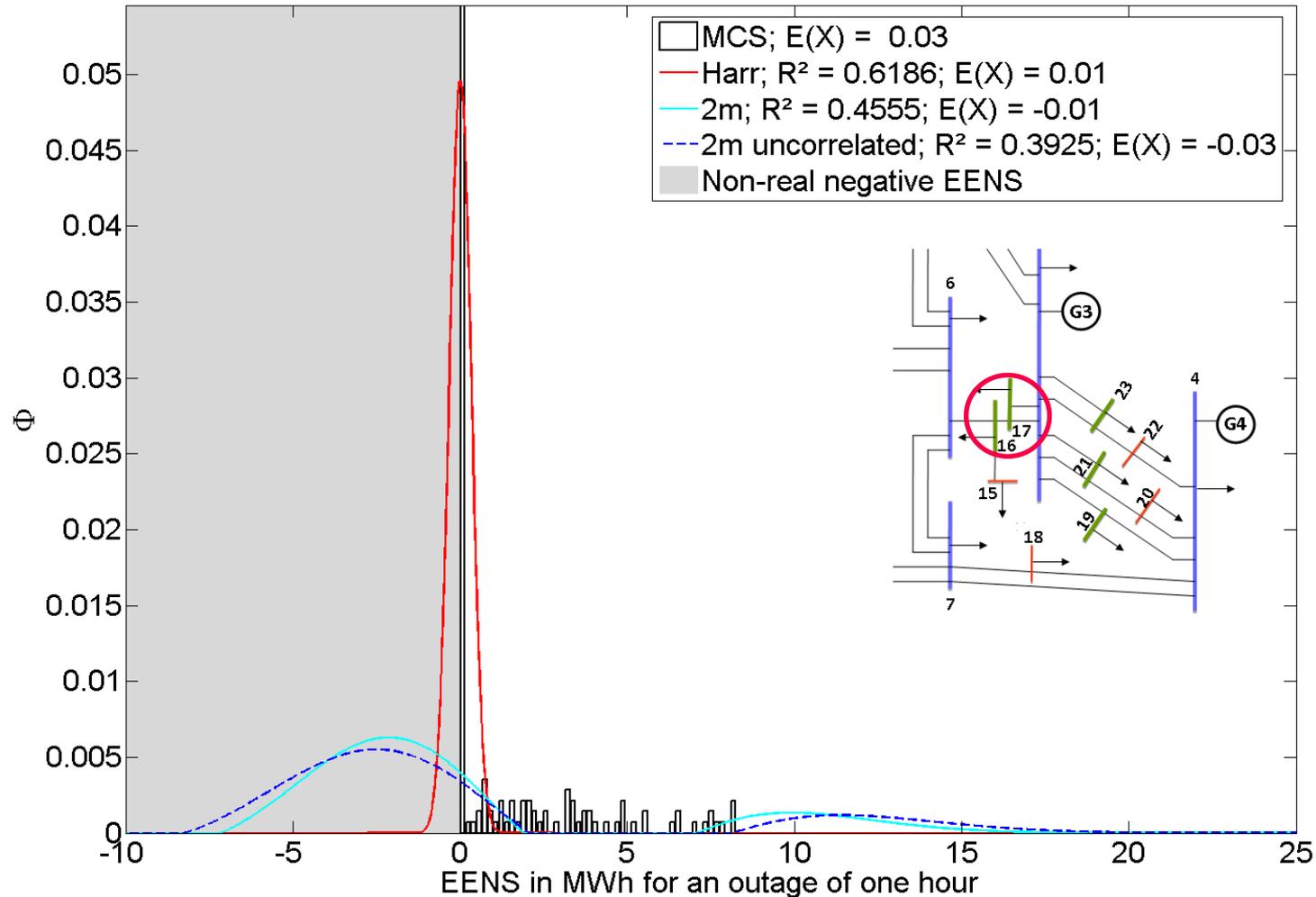
Ergebnisbeispiel II: Ausfall Leitung 15-16 für 10h

Accuracy of the proposed PE methods at bus 15



Ergebnisbeispiel III: Ausfall Leitung 16-17 für 1h

Accuracy of the proposed PE methods at bus 16



Benchmark Ergebnisse

Methode	Berechnungszeit	Genauigkeit der Berechnung		Problemanwendbarkeit
		R ²	E(X)	
Harr	2*m	++ ++ -	++ ++ +	<ul style="list-style-type: none"> gedacht f. sym. Zufallsvariablen Abhängig von m findet alle PDF
2m	2*m	+ + -	+ + -	<ul style="list-style-type: none"> Inkl. Schiefe Abhängig von m findet alle PDF
2m+1	2*m+1	++ + --	++ ++ --	<ul style="list-style-type: none"> Zusätzlich Wölbung Nichtreale Ergebnisse möglich findet nicht alle PDF
4m+1	4*m+1	++ ++ --	++ ++ --	<ul style="list-style-type: none"> Zusätzlich höhere Momente Nichtreale Ergebnisse möglich findet nicht alle PDF

Anwendungsgebiete der vorgestellten Methoden

In der Planung elektrischer Netze, zum Beispiel bei

- (n-1)-Analysen,
- Optimierung der Netzstruktur,
- ...

Im Betrieb, zum Beispiel bei

- Bestimmung von notwendigen Kraftwerksreserven unter Berücksichtigung von Unsicherheiten,
- Bestimmung von optimalen Engpassmanagementmaßnahmen unter Berücksichtigung von Unsicherheiten,
- Verlustminimierung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten
- ...

Probabilistisch optimierter Lastfluss (POPF)

Last- und erzeugungsbasierendes Kurzzeit-Engpassmanagement

Alexander Gaun, Georg Rechberger, Herwig Renner