

# ENTWICKLUNG UND VALIDIERUNG EINES OPTIMALEN PLATZIERUNGSGRUNDRISSALGORITHMUS FÜR $\mu$ PMUS IM NIEDERSPANNUNGSNETZ

**Michael Kelker**, Amina Berrada, Katrin Schulte, Jens Haubrock  
Fachhochschule Bielefeld  
Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik  
Institut für Technische Energie-Systeme (ITES)  
Bielefeld, Germany

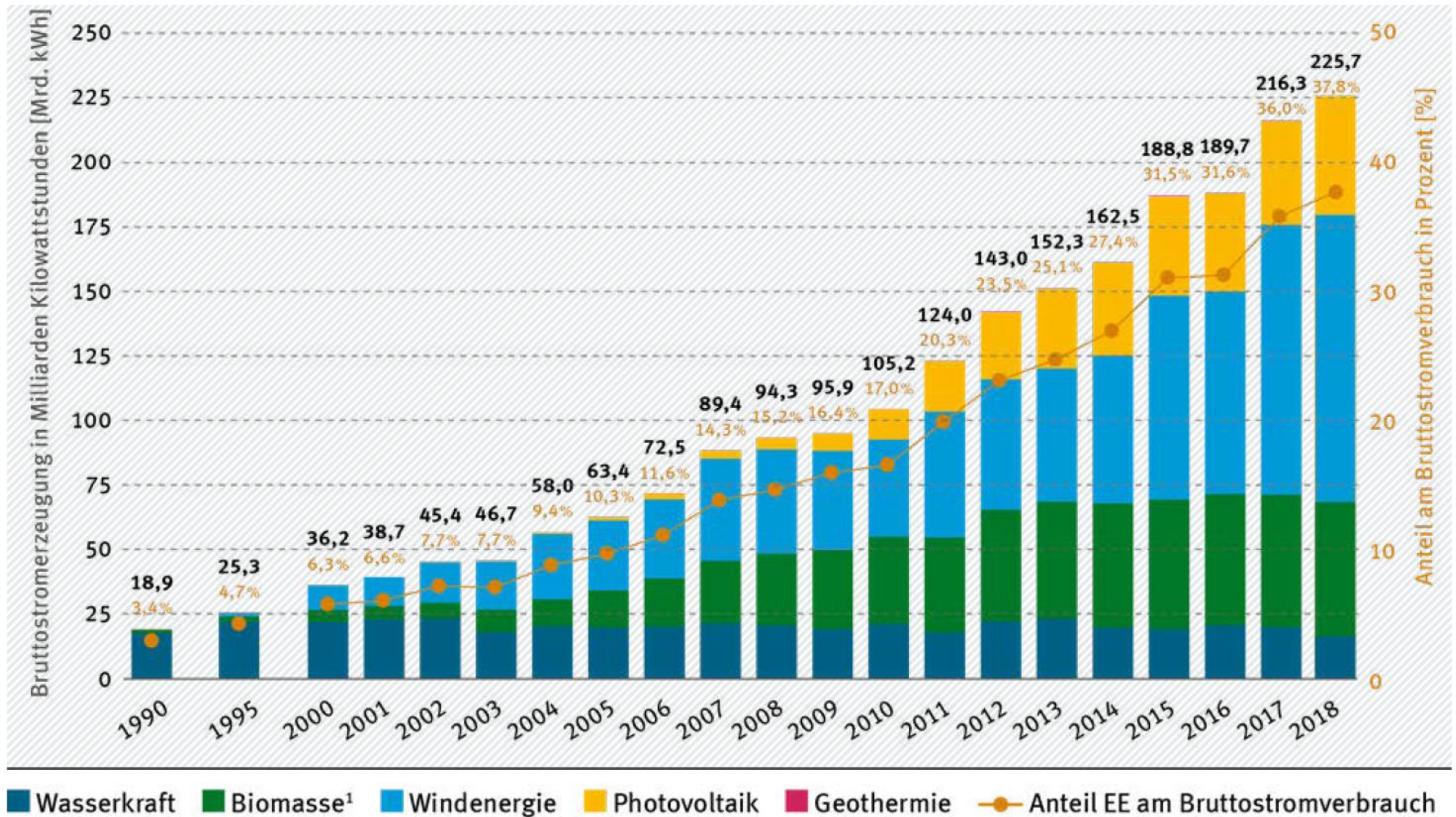
**FH Bielefeld**  
University of  
Applied Sciences



# Agenda

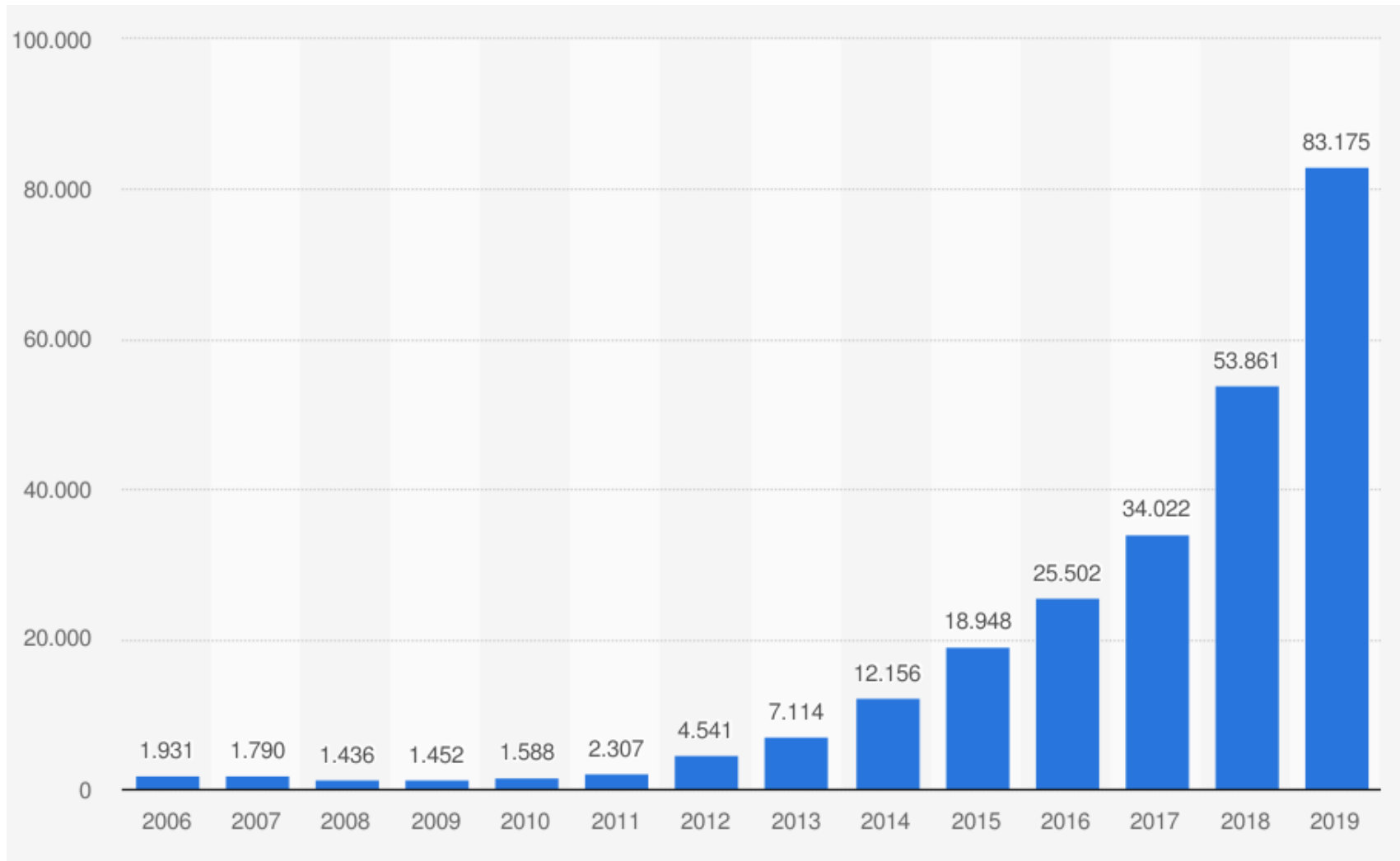
- Einleitung
- $\mu$ PMUs
- Optimaler Platzierungsalgorithmus  $\mu$ PMUs
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

# Entwicklung erneuerbare Energien in Deutschland



Quelle: Umweltbundesamt

# Entwicklung Elektrofahrzeuge in Deutschland



Quelle: Kraftfahrtbundesamt

# Aktuelle und zukünftige Herausforderungen des elektrischen Netz

- Steigende Anteile erneuerbare Energien und Elektrofahrzeuge
- Änderung vom klassischen vertikalen zu horizontalen Lastfluss
- Probleme Spannungsqualität zu erhalten
- Intelligente Kontrollalgorithmen benötigt zwischen volatile Erzeugung und hohen Lasten
- Keine Messdaten und Eingangsgrößen für Steuerungen auf Niederspannungsebene vorhanden

# $\mu$ -Phasor Measurement Units ( $\mu$ PMUs)

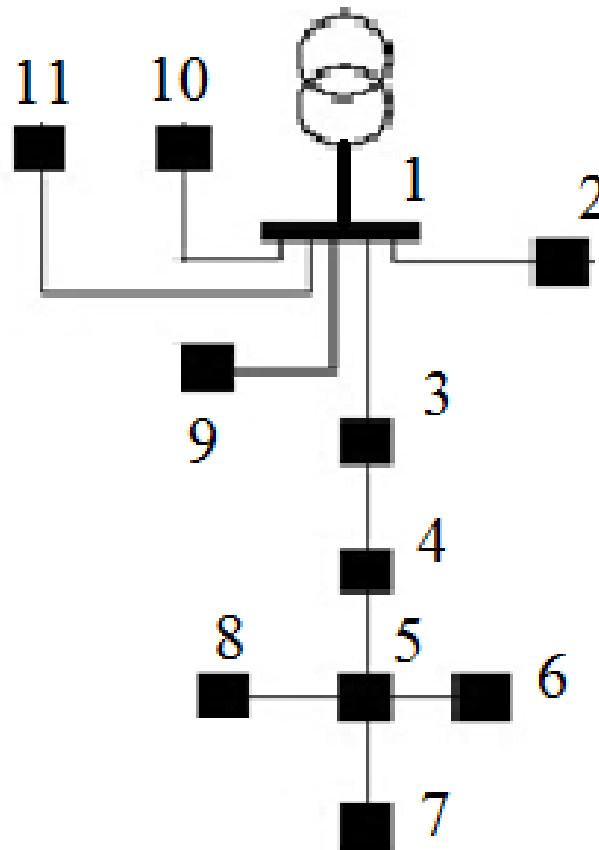
- Phasor-Measurement-Units (PMU) messen Strom- und Spannungszeiger in Größe und Phase
- Mittels GPS zeitliche Synchronisation der Messdaten von verschiedenen Messpunkten
  - Bildung von Synchrophasors
- $\mu$ PMUs sind für das Verteilnetz angepasste PMUs
  - Höhere Abtastrate
  - Günstiger
  - Kleiner

# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA)

## Anforderungen und Optimierungsansatz

- Wegen der Vielzahl an Netzknoten ist nicht gefordert jeden einzelnen Netzknoten Messtechnisch zu erfassen => Unwirtschaftlich
- $\mu$ PMUs messen Spannungszeiger am Knoten und Stromzeiger der angeschlossenen Leitungen
  - Mittels Leiterdaten wird die Spannung der benachbarten Knoten bestimmt
  - Kein Knoten soll doppelt gemessen werden
- Optimierungsansatz:
  - Mit gewählter Anzahl an  $\mu$ PMUs höchste Verhältnis von gemessenen Knoten zur Gesamtzahl an Netzknoten zu erreichen

# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA) Beispielnetz



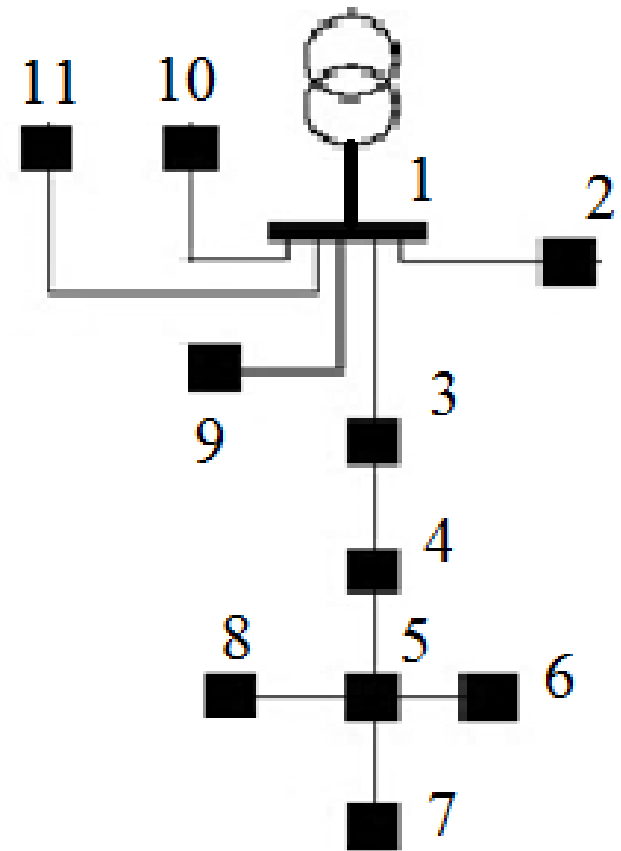


# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA)

## Beschreibung (1)

1. Generierung von Matrix  $(\zeta)_n$  mit  $k \times k$  Dimensionen zur Beschreibung der Knotenverbindungen im Testnetz

$$(\zeta)_n = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA)

## Beschreibung (2)

### 1. Iterationsschritt:

- Aufsummierung aller Spalten in  $(\zeta)_n$  und Generierung von  $(\sigma)_n$ 
  - $(\sigma)_n$  beschreibt die Anzahl an direkten Knotenverbindungen pro Netzknoten

$$(\sigma)_n = (6 \ 2 \ 3 \ 3 \ 5 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2)$$

- Auswahl des Knotens mit der höchsten Anzahl an Verbindungen (Hier Knoten 1) ->  $\mu$ PMU
- Löschen von Spalte und Zeile des gewählten Netzknoten in  $(\zeta)_n$

# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA)

## Beschreibung (3)

- Löschen von Spalte und Zeile des gewählten Netzknoten 1 in  $(\zeta)_n$

$$(\zeta)_{n-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA)

## Beschreibung (4)

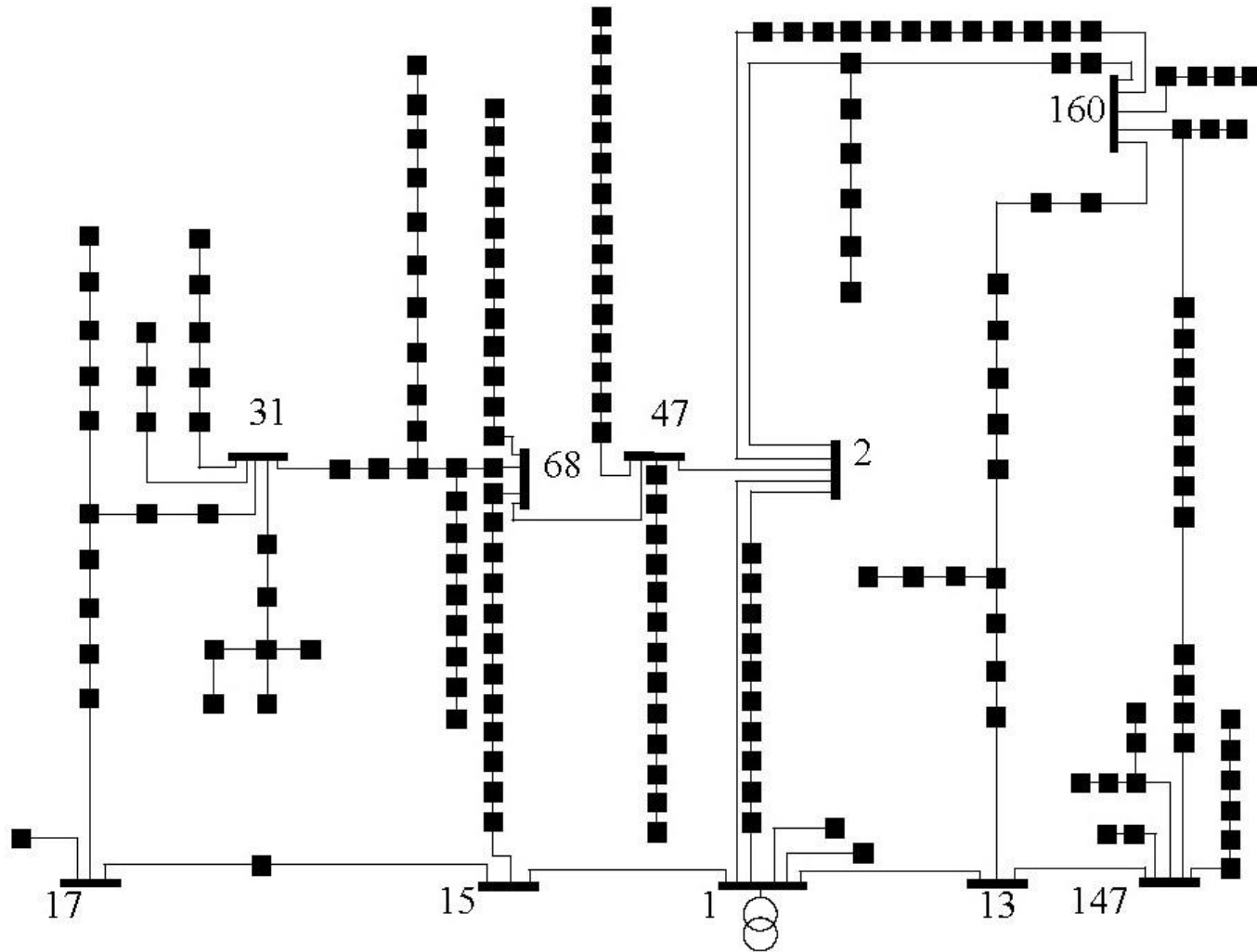
### 2. Iterationsschritt:

- Aufsummierung aller Spalten in  $(\zeta)_{n-1}$  und Generierung von  $(\sigma)_{n-1}$

$$(\sigma)_n = (1 \ 2 \ 3 \ 5 \ 2 \ 2 \ 2 \ 1 \ 1 \ 1)$$

- Wieder Auswahl des Knotens mit der höchsten Anzahl an Verbindungen (Hier Knoten 5)-> Nächste  $\mu$ PMU
- Ende des Algorithmus für Beispielnetz bei 2 eingesetzte  $\mu$ PMUs:
  - Platzierung der Messtechnik an Knoten 1 und 5

# Optimaler Platzierungsalgorithmus (OPA) Testnetz



# Ergebnisse Ungefiltert

Anzahl $\mu$ PMUs	Beobachtbarkeit [%]	Anzahl Auslegungsvarianten (A) <sub>m,max</sub>	Gewählte Netzknoten k
3	8,68	3	1;31;147
			1;31;160
			1;147;160
4	11,42	1	1;31;147;160
5	13,69	2	1;31;147;160;42
			1;31;147;160;68
6	15,99	1	1;31;147;160;42;68
7	17,35	6	1;31;147;160;2;42;68/
			1;31;147;160;42;47;17
			1;31;147;160;42;47;22
			...
8	19,18	5	1;31;147;160;2;42;68;17
			1;31;147;160;2;42;68;22
			1;31;147;160;2;42;68;81
			...
9	21,01	18	1;31;147;160;2;42;68;17;22
			1;31;147;160;2;42;68;17;81
			1;31;147;160;2;42;68;17;82
			...

# Ergebnisse

## Gefiltert

Sperrknoten	Bevorzugte Knoten	Auslegungsvariante (A) <sub>m,max</sub>	Beobachtbarkeit [%]
15 , 160	68 , 47 , 2	1;31;147;42;47;2;68	15,0685
147	17 , 68	1;160;31;42;2;68;17	16,4384
83 , 17	1 , 47 , 2	1;31;147;160;42;47;2	16,8950

# Zusammenfassung und Ausblick

- Es ist ein optimaler Platzierungsalgorithmus für  $\mu$ PMUs im Niederspannungsnetz entwickelt worden
- Der Algorithmus ist an einen 219-Knoten Netz, welches ein reales Netz darstellt validiert worden
- Der Algorithmus erstellt nach den Optimierungsansatz verschiedene Platzierungsvarianten, welche mittels manuelle Filteroptionen reduziert werden können
- Ausblickend werden zu den Algorithmus weitere Optimierungsansätze, wie zum Beispiel Genauigkeit der Zustandsabschätzung mittels künstliche Neuronale Netze implementiert



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Michael Kelker, M.Eng  
Fachhochschule Bielefeld  
Institut für Technische Energie-Systeme  
Interaktion 1  
33609, Bielefeld

Telefon: +49.521.106-70352

Mail: [michael.kelker@fh-bielefeld.de](mailto:michael.kelker@fh-bielefeld.de)