

# Zuordnung und Topologieerkennung von Sensor und Smart Meter auf Netz und Strangebene

EnInnov 2016 - Session E5: Load- and State-Estimation

12.2.2016 EnInnov (TU Graz)

*Matthias Stifter (AIT)*

*Rainer Stütz (AIT)*

*Konrad Diwold (Siemens)*

# Inhalt

- **Zuordnung auf Netzebene**
  - Kommunikationsaktivitäts-basierte Korrelationen
  
- **Zuordnung auf Strangebene**
  - Spannungsbasierte Korrelationen
  
- **Zuordnung innerhalb von Strängen**
  - Spannungsbasierte Korrelationen und hierarchisches Clustering
  
- **Zusammenfassung und Ausblick**

# Motivation

## Motivation

- **Sensor und Zähler basiertes Monitoring** zur Steigerung der Effizienz im Verteilernetzbetrieb bei der Integration von Erneuerbaren
- **Engineeringaufwand** und damit verbundenen Kosten gering halten; Automatisierte Erkennung und Zuordnung von Zählern (plug'n'automate)
- **Topologieerkennung** bei Umschaltungen für übergeordnete Prozesse im Netzbetrieb (Optimierung, Zustandsschätzung, etc.)

# Erfassung der Messwerte

## Erfassung der Messwerte

- **PLC basiertes Smart Meter System**
  - Siemens AMIS / Datenkonzentrator in Ortsnetzstation
- **Power Snap Shot Methode**
  - Synchronisierte Spannungswerte (und Leistungen) je Phase
  - 1 Sekunden Momentanwerte
  - Ausgelöst durch asynchrone Ereignisse – maximale und minimale Spannung im Netz innerhalb von 15 Minuten
  - Über 1 Million Snapshots aus ca. 40 Netzen
- **Express Grid Data Access**
  - Zyklisches Polling (1-3 Minuten) von Spannungen (5 Minuten gleitende Mittelwerte) bestimmter Zählern
  - Übertragung des Messwerts bei Änderungen größer Schwellwert

# Methodik

## Methodik

- Basierend auf den jeweiligen Beobachtungen, z.B.: Kommunikationsaktivität oder 1s RMS Spannungsmessungen (PSSA - Power SnapShot Analysis)
- Korrelationen der Beobachtungen zwischen den einzelnen Zählern basierend auf den Rang-Ordnungs-Korrelationskoeffizient nach Spearman

$$r_s = \frac{Cov(rg(x)rg(y))}{Srg_x Srg_y}$$

- Korrelationskoeffizienten-Matrix

$$K = \begin{pmatrix} r_{s11} & \cdots & r_{s1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{sn1} & \cdots & r_{snn} \end{pmatrix}$$

- Pivot Matrix zur Ordnung (Tausch Zeile/Reihe)

$$K' = P_{ij} \cdot K \cdot P_{ij}$$

# Zuordnung auf Netzebene

## Zuordnung auf Netzebene (1)

Basierend auf Kommunikationsaktivitäten bei der zyklischen Abfrage von Spannungen (EGDA – Express Grid Data Access)

- **Aktivität des Sensors** wird im Datenkonzentrator erfasst zum Zeitpunkt des Empfangs des Spannungswertes.
- **Asynchrone Zeitpunkte** (von Millisekunden bis Minuten Abstände)
- **Auswertung der Häufigkeit** einer Zähleraktivität (Übermittlung der Spannung) je Zeitintervall (z.B.: 10 Minute)

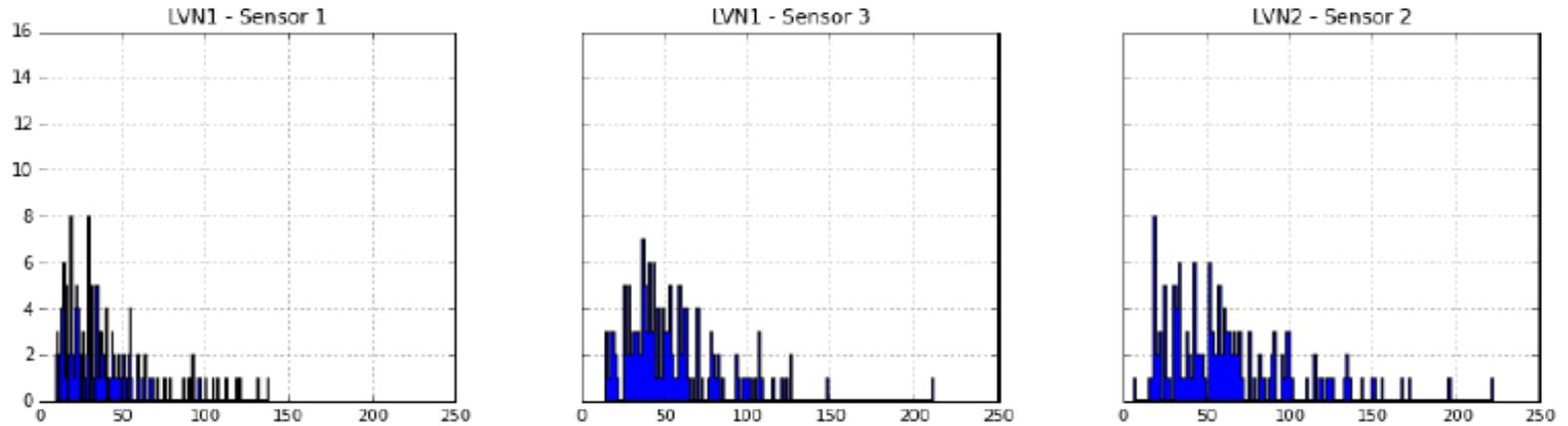
EGDA Rohdaten
....
meter14;egda.van;1410101422923;224.5
meter14;egda.vbn;1410101422923;225.1
meter14;egda.vcn;1410101422925;223.0
meter07;egda.van;1410101457200;224.7
meter07;egda.vbn;1410101457200;225.8
meter07;egda.vcn;1410101457200;227.3
meter13;egda.van;1410101527649;225.1
meter13;egda.vbn;1410101527650;230.6
....



Zeitintervall	Aktivität		
	Zähler 1	...	Zähler n
0:00 – 0:10	3	...	10
0:10 – 0:20	2	...	12
...	...	...	...
23:50 – 24:00	5	...	3

## Zuordnung auf Netzebene (2)

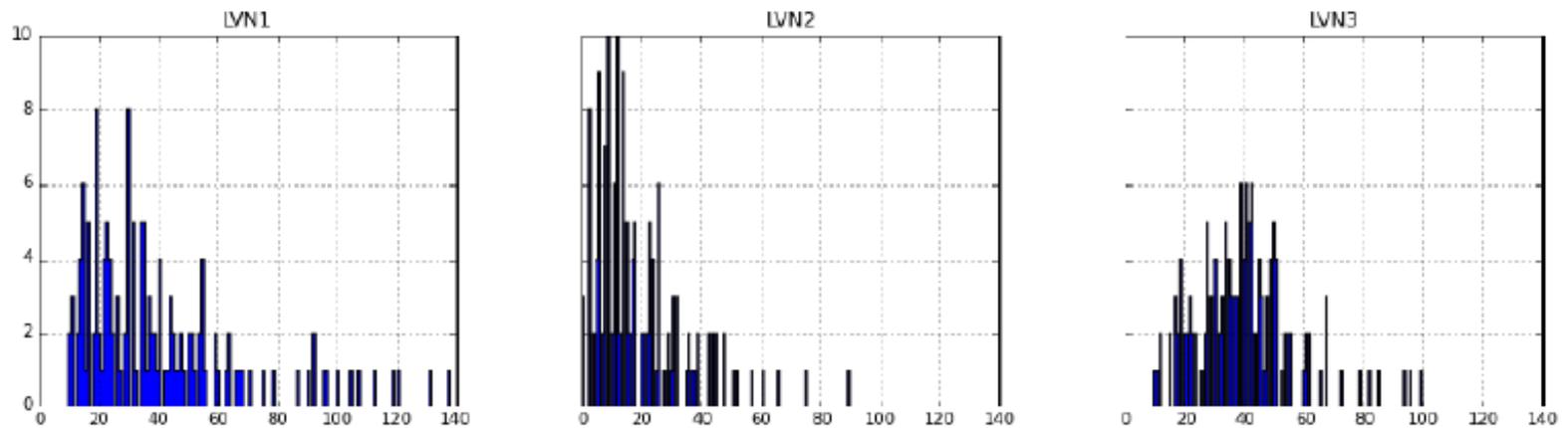
Aktivitäten von Zählern des gleichen Netzes



Aktivitätsmuster dreier Sensoren des selben Netzes für einen gesamten Tag (19.08.2014)

# Zuordnung auf Netzebene (3)

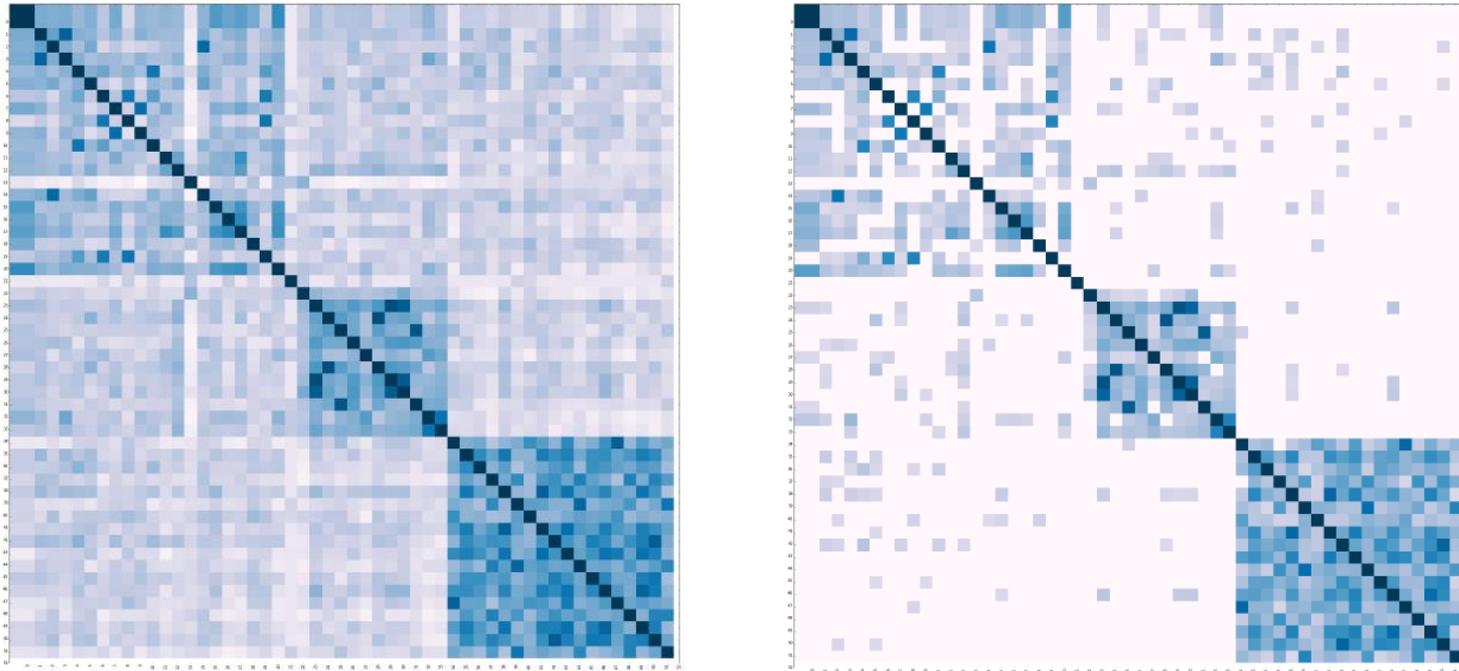
Aktivitäten von Zählern dreier unterschiedlicher Netze



Aktivitätsmuster dreier Sensoren unterschiedlicher Netze für einen gesamten Tag (19.08.2014)

## Zuordnung auf Netzebene (4)

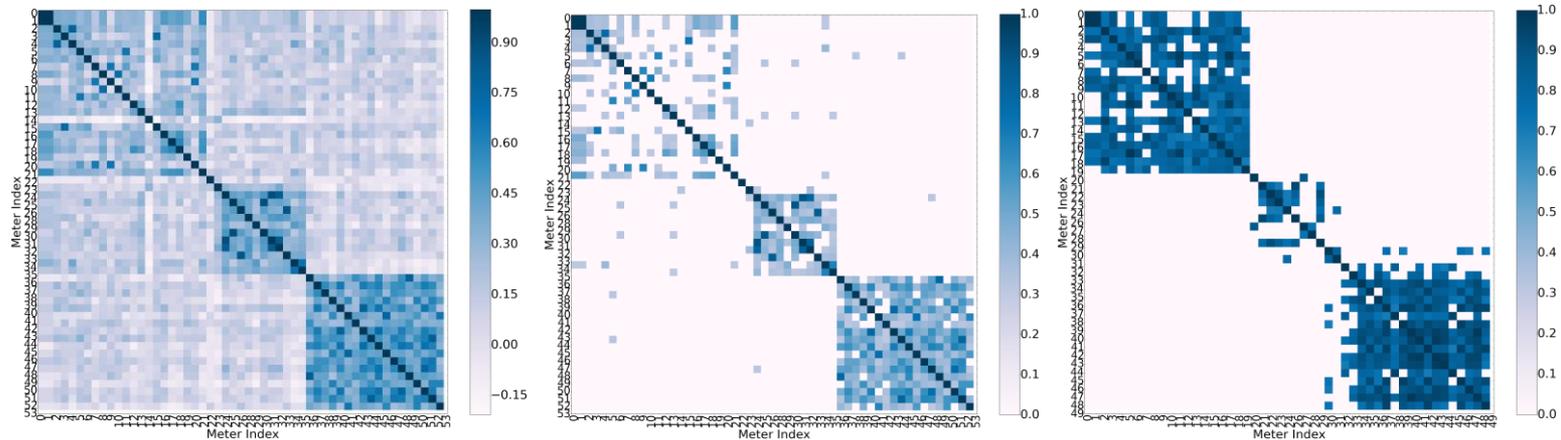
Korrelationskoeffizienten der Zähler Aktivitäten von 52 Zählern in drei unterschiedlichen Niederspannungsnetzen



Korrelationskoeffizienten der Aktivitätsmuster von 52 Sensoren aus unterschiedlichen Netzen für einen gesamten Tag (19.08.2014). Dunklere Farbe bedeutet höhere Korrelation, Im rechten Bild wurden alle Korrelationsswerte unter  $\rho = 0,3$  und  $p > 0,05$  wurden 0 gesetzt.

## Zuordnung auf Netzebene (5)

- Besondere Ereignisse** innerhalb eines Netzes – vor allem Änderung der Spannung durch Trafostufung (NS aber auch MS) – führen zu **signifikanten Aktivitätsmustern** innerhalb eines Netzes.



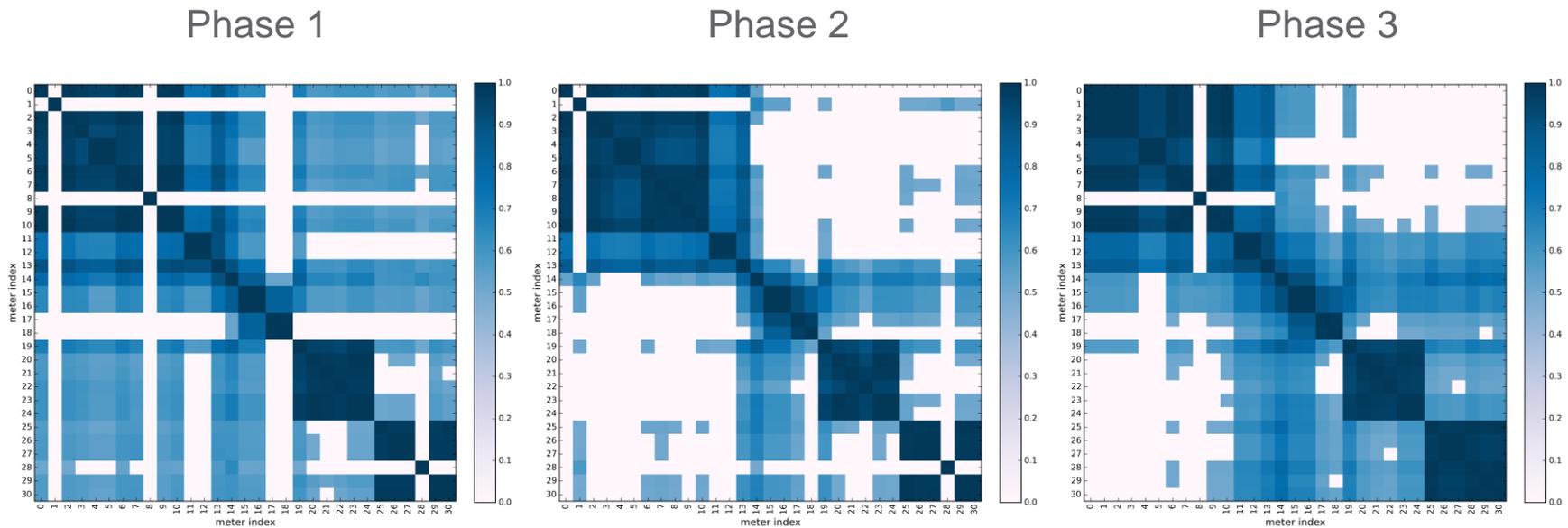
Filterung aller  
schwachen  
Korrelationen

Spannungssprung  
durch Trafostufung

# Zuordnung auf Strangebene

# Zuordnung basierend auf Strangebene (1)

- Korrelationskoeffizienten der **Spannungen je Phasen** aller Zähler



Korrelationen der Spannungen der einzelnen Phasen aller Zähler für ca.400 Beobachtungen (SnapShots)

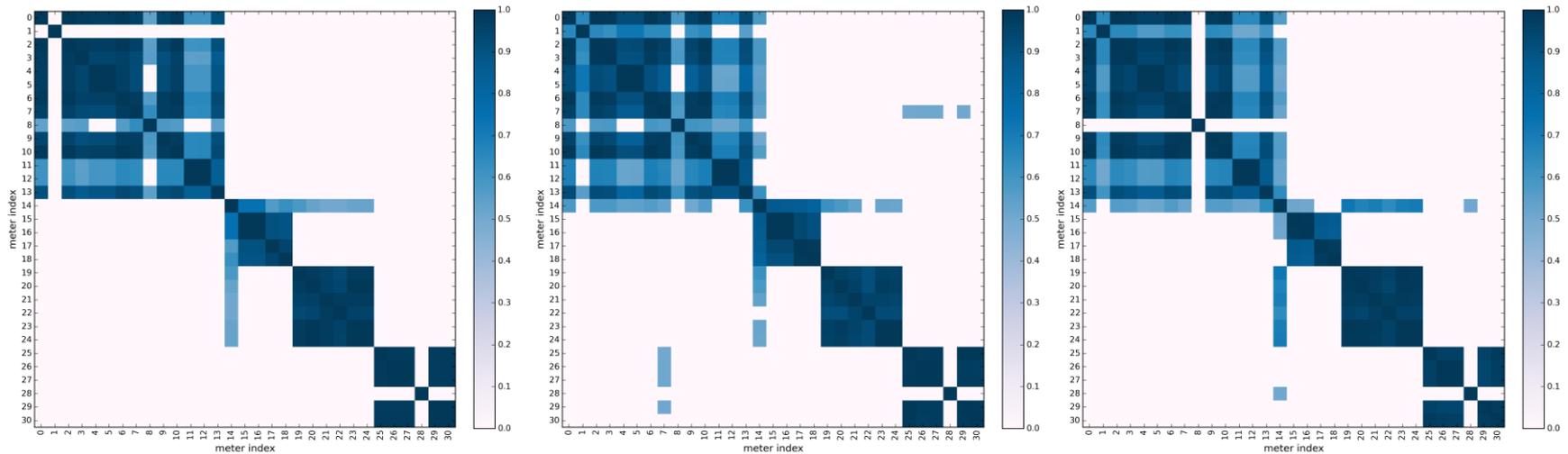
# Zuordnung basierend auf Strangebene (2)

- Korrelationskoeffizienten der **Differenzen zweier Phasen** aller Zähler

$\Delta U$  Phase 1-2

$\Delta U$  Phase 2-3

$\Delta U$  Phase 3-1

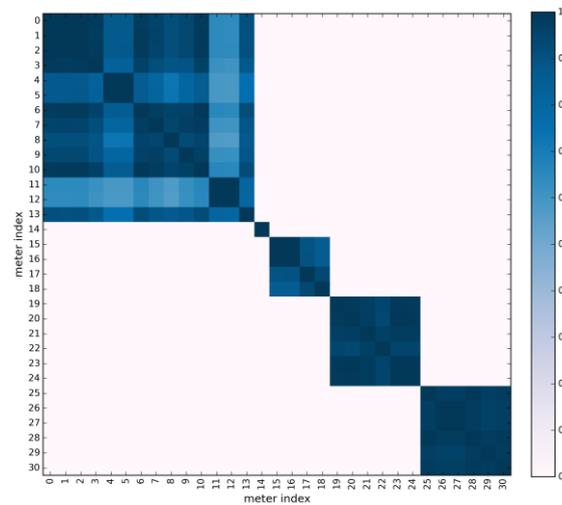


Korrelationen der Differenzen zweier Phasen aller Zähler für ca.400 Beobachtungen (SnapShots)

# Zuordnung basierend auf Strangebene (3)

- Korrelationskoeffizienten des modifizierten **Unsymmetrie-Faktors  $k$**  aller Zähler

Modifizierter Unsymmetriefaktor  $k$



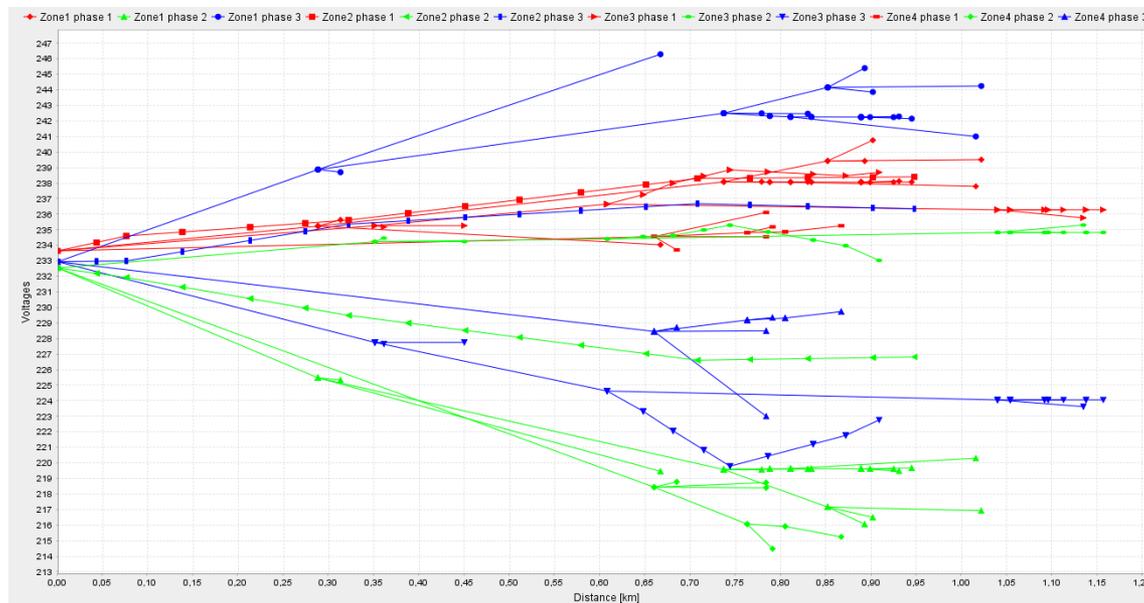
$$k_U = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

$$\beta = \frac{U_{1N}^4 + U_{2N}^4 + U_{3N}^4}{(U_{1N}^4 + U_{2N}^4 + U_{3N}^4)^2}$$

Korrelationen des modifizierten Unsymmetrie Faktors  $k$  aller Zähler für ca.400 Beobachtungen (SnapShots)

## Zuordnung basierend auf Strangebene (4)

- Illustration anhand des **Spannungsfalldiagramms** für 4 Stränge und der drei Phasen (rot, grün, blau)
- **Unsymmetrie ist entlang eines Stranges ausgeprägt** und unterschiedlich zwischen den Beobachtungen (SnapShots)

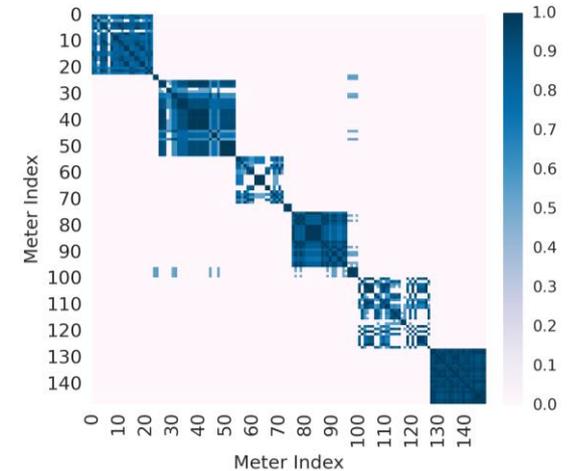
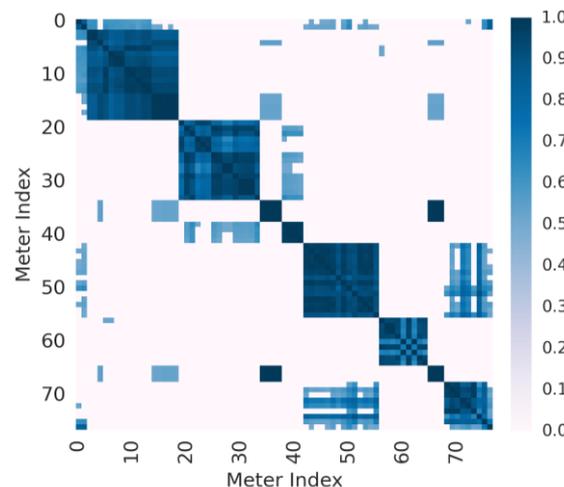
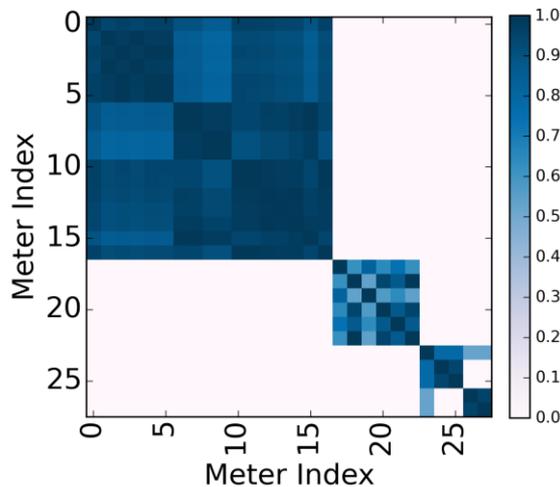


Spannungsfalldiagramm eines Netzes mit 4 Strängen für eine Beobachtung (SnapShot)

## Zuordnung basierend auf Strangebene (5)

- Ergebnisse abhängig von der **Anzahl** der betrachteten Beobachtungen aber auch von den Zeitpunkten
- Verschiedene Netze unterscheiden sich in der Stärke der Korrelationen

**Gleiche Anzahl (ca 400)**    **Unterschiedliche Anzahl (10/40)**    Mit / ohne 1 Phasigen Zählern

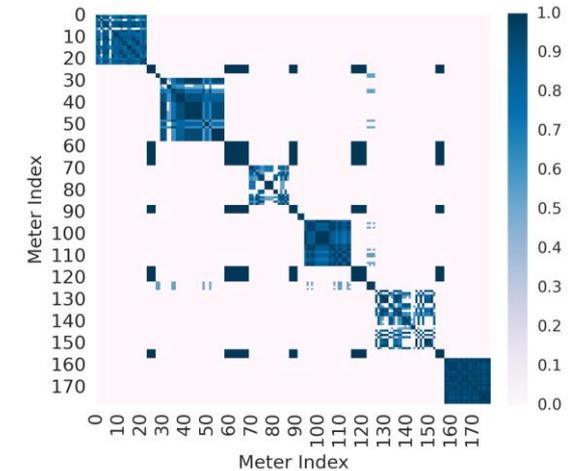
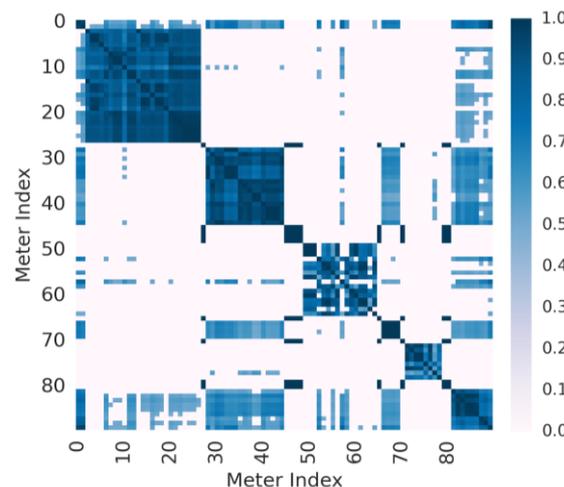
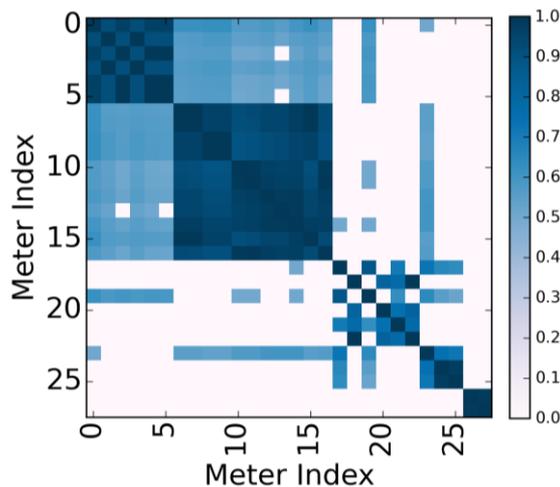


Korrelationen des modifizierten Unsymmetrie Faktors  $k$  aller Zähler für ca.400 Beobachtungen (SnapShots)

## Zuordnung basierend auf Strangebene (6)

- Ergebnisse abhängig von der **Anzahl** der betrachteten Beobachtungen aber auch von den Zeitpunkten
- Verschiedene Netze unterscheiden sich in der Stärke der Korrelationen

**Gleiche Anzahl (ca 400)**    **Unterschiedliche Anzahl (10/40)**    **Mit / ohne 1 Phasigen Zählern**



Korrelationen des modifizierten Unsymmetrie Faktors  $k$  aller Zähler für ca.400 Beobachtungen (SnapShots)

# Zuordnung innerhalb von Strängen

## Zuordnung innerhalb von Strängen (1)

- Ausgehend von den Korrelationskoeffizienten des Unsymmetrie Faktors wird ein **hierarchisches Clustering** durchgeführt
- Normierung der Korrelationsmatrix (Vergleich der Cluster)
- Korrelationen der Spannungen zwischen den einzelnen Zählern basierend auf den Rang-Ordnungs-Korrelationskoeffizient nach Spearman

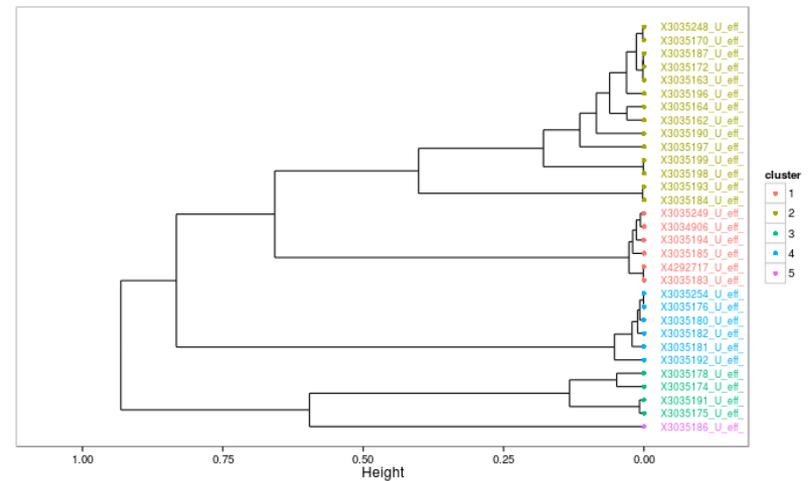
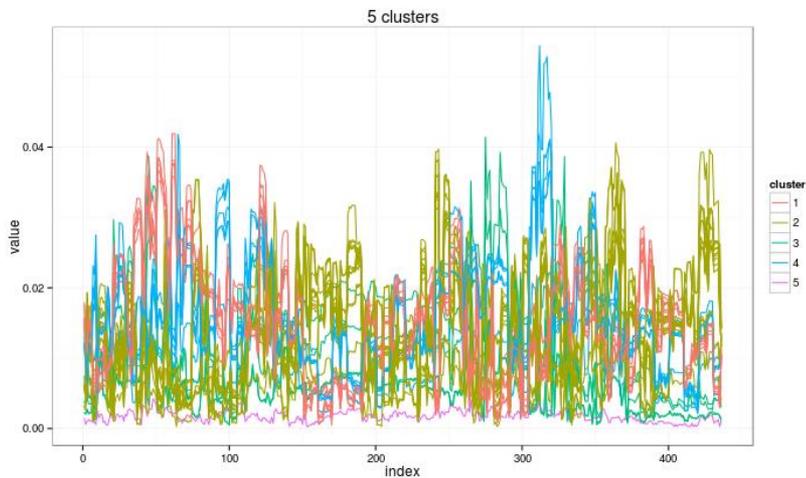
$$K_{norm} = \frac{K - \bar{K}}{var(K)}$$

- Ermittlung des Distanzmatrix (euklidischer Abstand) der Korrelationen

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

# Zuordnung innerhalb von Strängen (2)

- Darstellung der Cluster als Pseudo-Zeitreihe und als Dendrogramm für ein Netz mit 5 Strängen



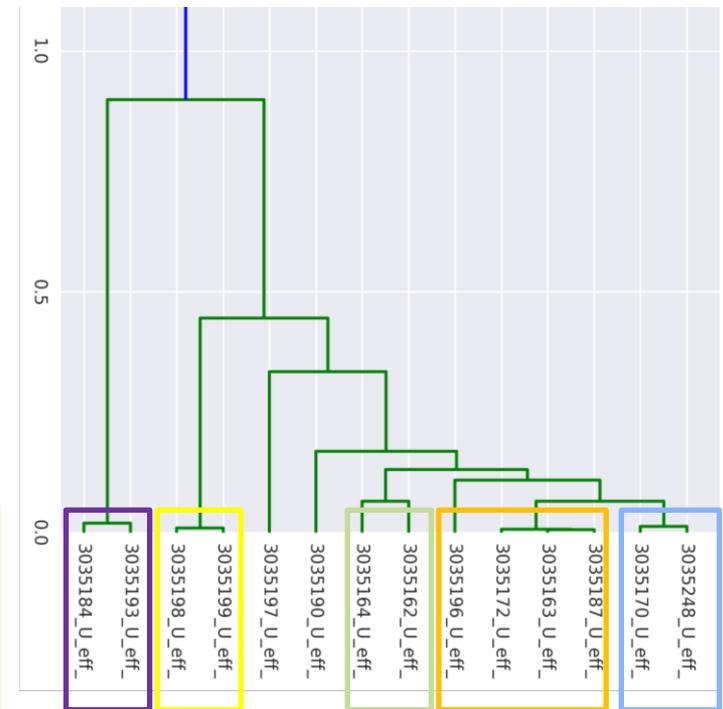
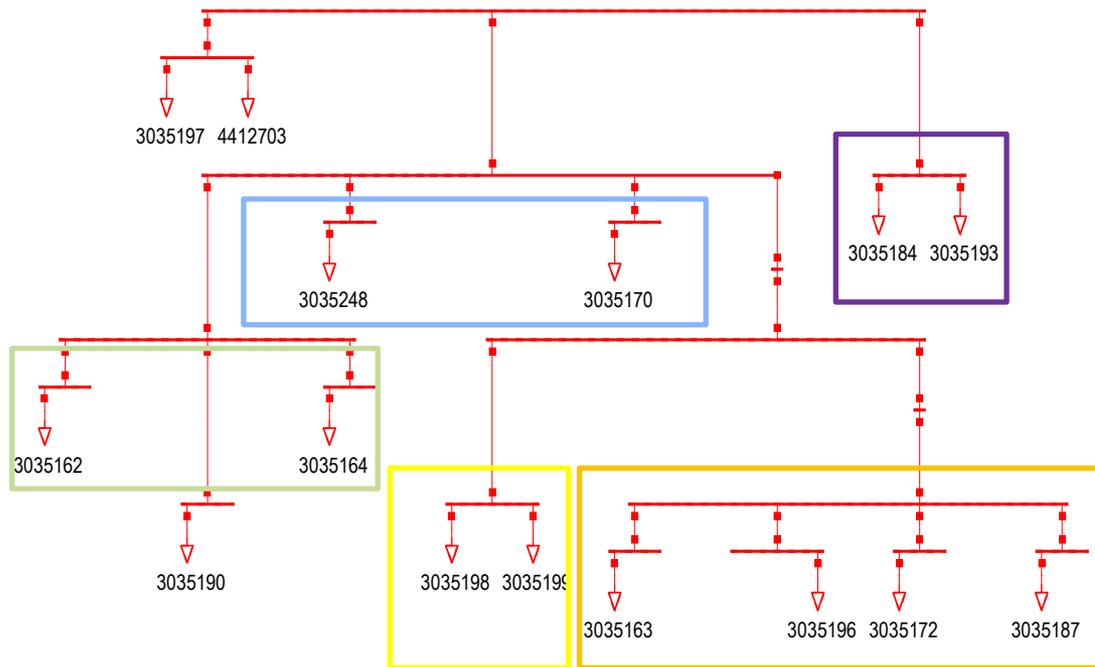
*Distanzen der Spannungskorrelationen zu jedem Messzeitpunkt als Pseudo-Zeitreihe dargestellt. Clustering der Korrelationen in 5 Cluster b) Hierarchie der Cluster als Dendrogramm dargestellt*



# Zuordnung innerhalb von Strängen (4)

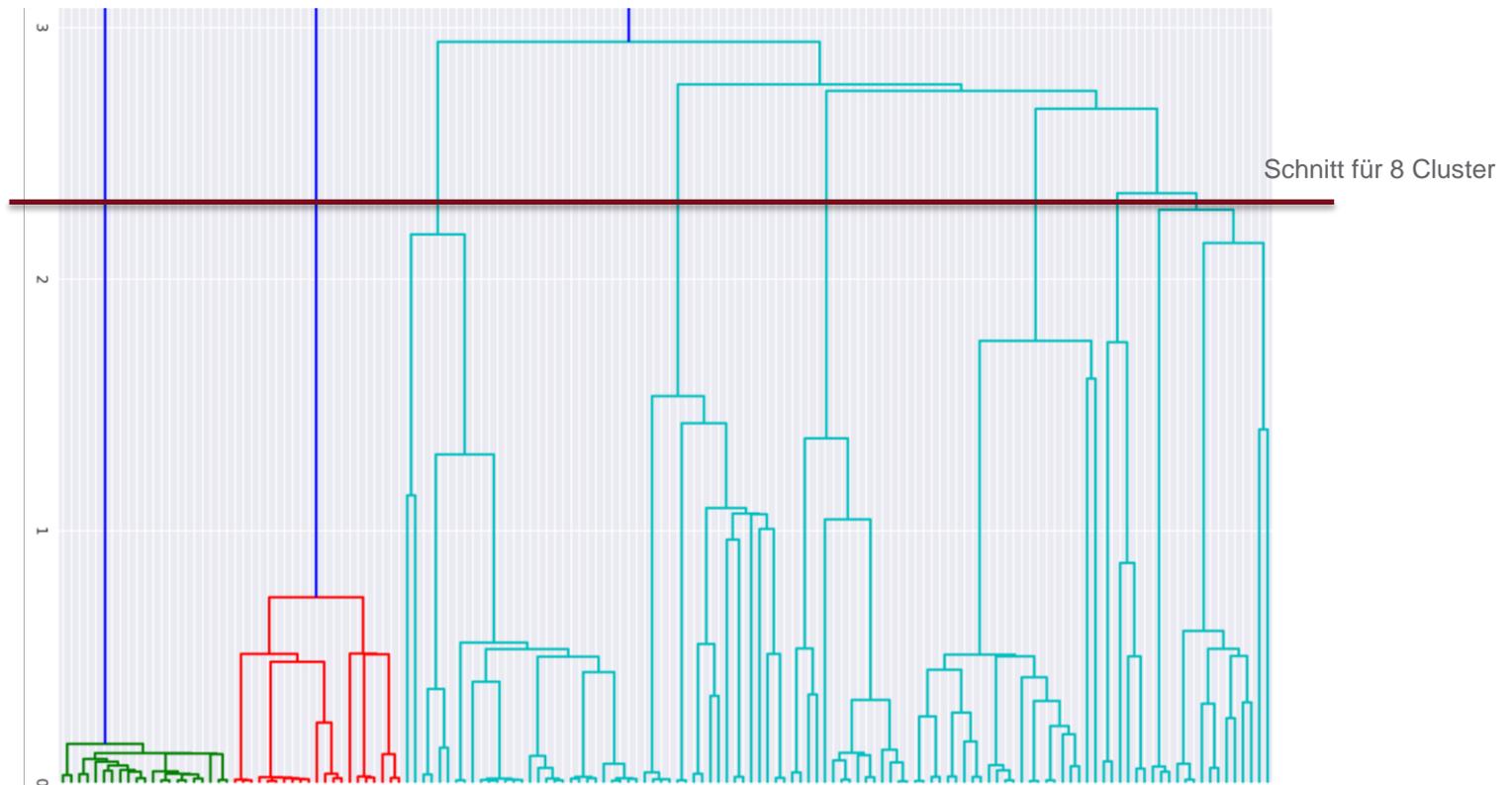
Vergleich Topologie des Netzes und der Cluster Ergebnisse:

- Zoom auf Strang 1



# Zuordnung innerhalb von Strängen (5)

- Netz mit 8 Strängen und ca. 180 Zählern



# Zusammenfassung und Ausblick

## Zusammenfassung und Ausblick

- Zuordnung auf **Netzebene** auf Basis von Kommunikationsaktivitäten
  - **Ereignisse** verbessern die Identifikation
  - Analyse mittels anderer Verfahren (Support Vektor Machines)
- Zuordnung auf **Strangebene** auf Basis von Spannungswerten
  - **Temporäre Abhängigkeiten** und auch **Umfang** der Beobachtungen beeinflusst die Korrelation und ist Gegenstand weiterer Untersuchungen (z.B.: verschlechtern Ausreiser das Ergebnis?)
  - **Umschaltungen** können erkannt werden (Änderung der Korrelationen)
- Zuordnung **innerhalb des Stranges** mittels hierarchischem Clustering
  - Topologie **nicht direkt** extrahierbar aber benachbarte Knoten
  - Information über **Nähe** bzw. **ähnliches Verhalten** als Grundlage für Zustandsschätzung und als Basis für a priori Wissen bedingter Wahrscheinlichkeit (Bayes)

# AIT Austrian Institute of Technology

your ingenious partner

**Matthias Stifter**

**Energy Department**

**Electric Energy Systems**



**AIT Austrian Institute of Technology**

Giefinggasse 2 | 1210 Vienna | Austria

T +43(0) 50550-6673 | M +43(0) 664 81 57 944 | F +43(0) 50550-6613

[matthias.stifter@ait.ac.at](mailto:matthias.stifter@ait.ac.at) | <http://www.ait.ac.at>