



# Lastflussmonitoring im Stromnetz mit künstlicher Intelligenz

**Alfons HABER<sup>1</sup>, Klaus NAGL<sup>2</sup>, Werner SCHÖFFER<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>HAW Landshut, Am Lurzenhof 1, D-84036 Landshut, +49 871-506 230, Fax + 49 (0)871-506 9230,  
Alfons.Haber@haw-landshut.de,  
www.haw-landshut.de,

<sup>2</sup>Consolinno Energy GmbH, Franz-Mayer-Straße 1, D-93053 Regensburg, +49 941 46297-521,  
k.nagl@consolinno.de, www.consolinno.de

<sup>3</sup>ARTEMES GmbH, Hauptplatz 105, A-8552 Eibiswald, Tel +43 3466 42071,  
werner.schoeffler@artemes.org, www.artemes.org



## Problemstellung

- Lastflüsse ändern sich... (Richtung, Zeit, Prognostizierbarkeit)
- Wie sind die Netze tatsächlich belastet?
- Welche Flexibilitäten haben wir?
- Wie kann das genutzt und umgesetzt werden?



## 1. Einleitung

- Versorgungssicherheit ist gefordert!
- Wir benötigen immer mehr die elektrische Energie mit einer hohen Versorgungszuverlässigkeit, Qualität und Stabilität!
- Verknüpfung von Informationen im Netz muss intelligent erfolgen!
- Monitoring der Lastflüsse ist erforderlich!



## 2. Lastflussmonitoring

- Der Lastfluss wird im Stromverteilnetz nur ganz **selten** bis nie gemessen.
- Bei bestehenden Störungs- und/oder Power-Quality-Messsystemen werden Lastflussrichtungen miterfasst, eine Übertragung solcher Werte in die Messwerte sind **selten**.
- Somit gilt es, bei neuen Systemen zum **Lastflussmonitoring** die Messwerterfassungen u.a. durch die Aggregation von Messpunkten, mit den zeitlichen Abstimmungen, aufzubauen.
- Hierdurch kann äußerst **schnell** auf Schwankungen reagiert werden, wodurch ebenfalls ein wesentlicher Beitrag zur Stabilität des Stromnetzes geliefert werden kann.
- Anhand der Messmethoden sollen wesentliche Parameter der Lastflüsse erfasst und zeitlich synchronisiert erfasst werden. Somit können auch auftretende **Engpässe** im Stromverteilnetz lokalisiert und in weiterer Folge behoben werden.
- Dies kann u.a. über die **Flexibilisierung** von Lasten und Speichern erzielt werden.



## 2. Lastflussmonitoring

- Obwohl es eigentlich sehr einfach wäre, wird die Leistung in ihrem zeitlichen Verlauf – dem sogenannten **Lastprofil**, kaum erfasst.

### Einfache Leistungsmessgeräte

- Bisher werden oft einfache Strommessgeräte in den Netzen eingesetzt. Da aber der gemessene Wert nur die Höhe des Stroms, nicht aber die **Richtung** des Energieflusses wiedergibt, reichen diese einfachen Messmittel in einem Energienetz, in welchem sich aufgrund von dezentralen Erzeugungseinheiten und Speichersystemen der Lastfluss in allen 4 Quadranten ausbilden kann, nicht mehr aus.





## 2. Lastflussmonitoring

### Einfache Leistungsmessgeräte

- Es gibt kostengünstige Datenverdichter (Datahub, Datenkonzentrator), welche mehrere Zähler zusammenfassen können und somit den Datenstrom **vereinfachen**.

### Serverlösung

- Ein zentraler Server erfasst zusätzlich alle Zähler und mit geeigneter Software können ungünstige Betriebszustände erkannt werden. Moderne Methoden des automatischen Lernens (**Machine Learning**) und in weiterer Folge mit der künstlichen Intelligenz könnten hier bereits in Energienetzen zur Früherkennung von Engpässen helfen Blackout-Gefahren im Stromnetz zu vermeiden.





## 2. Lastflussmonitoring

### Power Quality Relais

- Power Quality Relais, die mit **mehr Rechenleistung** ausgestattet sind und oft auch für mehrere Kanäle gebaut sind (z.B. mehrere Kanäle für die Erfassung von Stromnetzabzweigen), können neben den Energiewerten in den bereits genannten 4 Quadranten auch die gängigen Power Quality Parameter bestimmen.
- Neben den Oberschwingungen und der Unsymmetrie sind dies im wesentlichen Spannungsschwankungen samt Flicker und Einsenkungen - die Frequenz nicht zu vergessen.
- Moderne Power Quality Relais verfügen über **viele Kanäle** um mehrere Abzweige im Stromnetz gleichzeitig zu erfassen und somit die Basis für die künstliche Intelligenz zu schaffen.

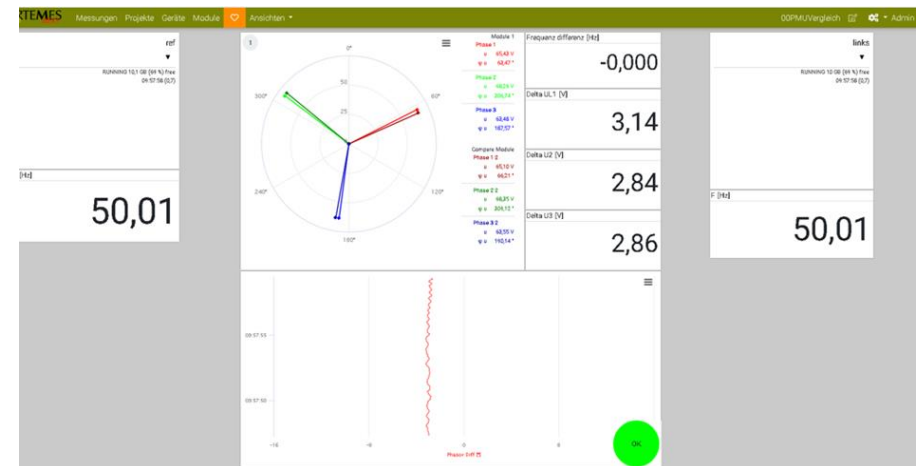




## 2. Lastflussmonitoring

### Phasor Measurement Unit (PMU) - Monitoring

- Um die **Ausbreitung** von störenden Effekten effizient zu bewerten, reicht eine Messung alleine nicht mehr aus. Man muss die Daten aus mehreren Messstellen zusammenführen können und hier stellt sich unmittelbar die Frage nach einem zeitlichen Zusammenhang.
- Hierfür sind **synchrone** Messwerverfassungen notwendig, welche meist mit GPS Signalen generiert werden.



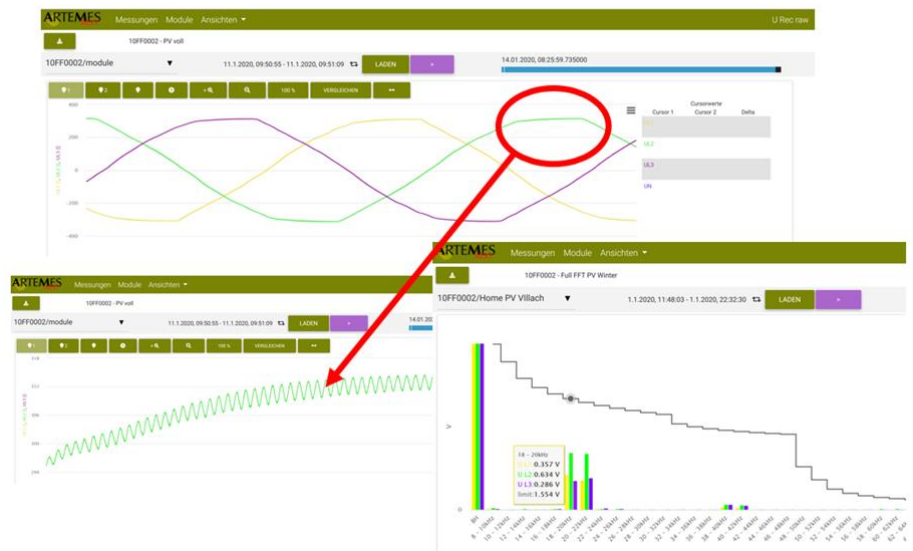




## 2. Lastflussmonitoring

### Höherfrequente Messungen

- Oberschwingungen nach der Netzqualitätsnorm EN 50160 [5] werden bis 1,25 kHz betrachtet. Die **Schaltfrequenzen** moderner leistungselektronischer Geräte bei Verbrauchsanlagen im Stromnetz sind aber bereits heute im Bereich von 20 kHz (SiC, GaN).





## 2. Lastflussmonitoring

### Höherfrequente Messungen

- Da die Datenflut bei der Messung im gesamten Frequenzbereich sehr hoch wird, sind auch hier entsprechende Algorithmen zur **Datenverdichtung** und Filterung bereits am Messsystem erforderlich. Eine Mischung aus Trenderkennung und Schnellaufzeichnung im Bedarfsfall ist hier zielführend.





## 2. Lastflussmonitoring

### Flexibilisierungssysteme

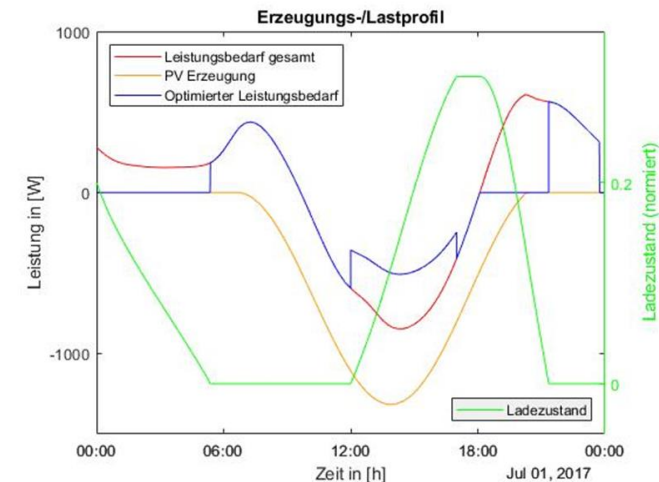
- Neben der Power Quality ist es entscheidend in der Energiewirtschaft und Netzwirtschaft, insbesondere in der Vermarktung, die Fahrplänen von Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen zu betrachten und in den Analysen zu den Stromnetzen zu berücksichtigen.
- Als Beispiel kann hier die Meldung eines Day Ahead Fahrplans an einen Direktvermarkter angeführt werden.
- Da die Anlagen in bestehende Prozesse eingebunden sind übernimmt die Koordination und Abstimmung mit den jeweiligen anderen Anforderungen, wie z.B. gesicherte Versorgung, sowie die Erzeugung der Flexibilitätsfahrpläne in weiterer Folge eine künstliche Intelligenz.
- Die Fahrpläne werden in einem rollierenden System aktualisiert und vor Erbringungszeit ständig aktualisiert zur Verfügung gestellt.
- Zudem findet eine Koordination zwischen den unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und Anforderungen statt (Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber).



## 2. Lastflussmonitoring

### Optimierungssysteme

- Als Beispiel für Lastflussänderungen im Stromnetz können auch Optimierungen von z.B. Speichern bei Netzknoten, z.B. Verbrauchern, in der künstlichen Intelligenz der Stromnetze zum Einsatz kommen. Erfolgt der Bezug von Energie aus dem Netz (netzgekoppelt), so wird dieser als *Einspeicherung* bezeichnet. Das Gegenteil davon, also die *Ausspeicherung* bedeutet die Einspeisung von Energie ins Netz, auch wieder netzgekoppelt.
- Als Beispiel wird hier eine zeitlich- und leistungsbegrenzte Speicherung von Akkumulatoren (Batterien) in Kombination mit PV-Anlagen dargestellt, welches über die Rückspeisung, also die Erzeugungsspitzen, das Netz entlasten soll.





### 3. Künstliche Intelligenz im Stromnetz

- Dynamische Systeme über eine künstliche Intelligenz (KI) verfügen. Es müssen verschiedenste Parameter analysiert und in Echtzeit Entscheidungen getroffen werden können. Wichtig ist hierbei, dass eine Systemreduktion stattfindet und das System stabil läuft und die Versorgungssicherheit gewährleistet ist.
- Um all diese Faktoren zu gewährleisten werden verschiedenste Techniken aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz eingesetzt, z.B. Vorhersagemodellen für die jeweiligen Erzeugungsanlagen und damit die Fahrpläne bis hin zu Machine Learning Prozessen.
- Eine Kombination dieser Techniken mit den entsprechenden Algorithmen gewährleisten ein entsprechend stabiles System.
- Dabei ist es wichtig verschiedene Planungshorizonte zu berücksichtigen, welche bis zur Leistungserbringung in Echtzeit reichen müssen.





### 3. Künstliche Intelligenz im Stromnetz

- Damit ein solches System der KI funktionieren kann ist es notwendig, die Daten zu standardisieren – was in sogenannten PreProcessing Systemen geschehen kann und die als zentrale Instanz vor notwendigen Optimierungs- und Analyseschritten stehen.
- Ein Einsatzbeispiel ist die börsenoptimierte Fahrweise eines (regionalen) Netzbereichs, Quartiers- oder Nahwärmenetzes.
  - Eigenverbrauch vor Ort, die Effizienz und Verteilverluste ist zu optimieren und eine optimierte Fahrweise in Abstimmung mit Strombörse zu gewährleisten.
  - Verschiedene Verfahren aus dem Bereich der KI kommen zum Einsatz.
    - Zum einen werden Prognosen für Preis, Wetter, sowie den Wärme- und Strombedarf unter Berücksichtigung der Future-Preise der jeweiligen Börse erstellt.
    - Zum anderen kommen spezielle Methoden der Datenanalyse, wie z.B. maschinelles Lernen, zum Einsatz.
  - Die Kombination der Datenaggregation, Analyse, Vorhersage und die Kopplung mit entsprechenden Optimierungsalgorithmen liefert eine funktionsfähige KI-basierte Steuerung der Anlagen.



## 4. Zusammenfassung

- Die Anforderungen im Stromnetz werden umfassender, die Herausforderungen größer.
- Damit ein solches System der künstlichen Intelligenz funktionieren kann ist es notwendig, die Daten zu standardisieren – was in sogenannten PreProcessing Systemen geschehen kann und die als zentrale Instanz vor notwendigen Optimierungs- und Analyseschritten stehen.
- Anhand der im Beitrag vorgestellten Werkzeuge können Lastflüsse im Netz, deren Richtungen, wesentliche technische Parameter sowie weiterführende Spannungsqualitätsparameter (PQ) zur Bewertung der Netzqualität zeitlich synchronisiert erfasst, mittels künstlicher Intelligenz evaluiert und effizient dargestellt werden.
- Es können auch auftretende Engpässe im Stromverteilnetz lokalisiert und in weiterer Folge behoben werden. Dies kann u.a. über die Flexibilisierung von Erzeugungsanlagen, Lasten und Speichern erzielt werden.
- Somit wird die Basis für die zukunftsweisende und optimierte Erfassung von wesentlichen Netzparametern gelegt, welche aufgrund der zeitnahen und umfassenden Auswertung einen wesentlichen zukünftigen Beitrag für den Betrieb und die Planung von Verteilnetzen liefert.



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**





## **Alfons HABER**

HAW Landshut, Am Lurzenhof 1, D-84036 Landshut, +49 871-506 230,  
Fax + 49 (0)871-506 9230, [Alfons.Haber@haw-landshut.de](mailto:Alfons.Haber@haw-landshut.de),  
[www.haw-landshut.de](http://www.haw-landshut.de)

## **Klaus NAGL**

Consolinno Energy GmbH, Franz-Mayer-Straße 1, D-93053 Regensburg, +49  
941 46297-521, [k.nagl@consolinno.de](mailto:k.nagl@consolinno.de), [www.consolinno.de](http://www.consolinno.de)

## **Werner SCHÖFFER**

ARTEMES GmbH, Hauptplatz 105, A-8552 Eibiswald, Tel +43 3466 42071,  
[werner.schoeffer@artemes.org](mailto:werner.schoeffer@artemes.org), [www.artemes.org](http://www.artemes.org)