

MONITORING IN NIEDERSPANNUNGSNETZEN MIT VERFAHREN DER KÜNSTLICHEN INTELLIGENZ – VALIDIERUNG DER METHODIK IN EINEM REALEN STROMNETZ

Andreas WINTER^{1*}, Selina PRINZ², Johannes DIEGLER², Michael IGEL¹,
Peter SCHEGNER³

Vorbemerkung

Diese Veröffentlichung basiert auf Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt „GridAnalysis – KI-basierte Systemanalyse im Normal- und Kurzschlussbetrieb“ [1], welches durch das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Fördermaßnahme „Innovationen für die Energiewende“ gefördert wird. (Förderkennzeichen: 03EI6034A)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Motivation und zentrale Fragestellungen

Motiviert durch die Dekarbonisierung des Stromsektors sehen sich Netzbetreiber mit dem weiteren Ausbau von dezentralen Erzeugungsanlagen, variablen und sektorgekoppelten Lasten und einem steigenden Stromverbrauch konfrontiert. Die Folgen sind eine zunehmende Volatilität von Stromeinspeisung und -bezug und eine damit einhergehende stärkere Auslastung der Verteilnetzebene mit häufigen Last- und Erzeugungsspitzen. Gerade in den Niederspannungsnetzen sind nur wenige Ortsnetzstationen überwacht. Nur in seltenen Fällen sind Messsysteme auch innerhalb der Stromnetze, z.B. in Kabelverteilerschränken, installiert. Der Zubau von weiteren Messsystemen, der für eine zuverlässige Erkennung von Betriebsmittelüberlastungen und Spannungsbandverletzungen erforderlich ist, lässt sich nur mit einem hohen wirtschaftlichen und technischen Aufwand umsetzen. Um die Beobachtbarkeit in den Stromnetzen trotzdem zu erhöhen, sind innovative Lösungen für das Monitoring bei geringer Anzahl an Messungen zu entwickeln. Vor dem Hintergrund des großen Potentials von Systemen der Künstlichen Intelligenz (KI) wird in dieser Arbeit eine KI-basierte Netzsimulation entwickelt, die die klassische Netzbeurteilung mit Verfahren des maschinellen Lernens kombiniert. Die zentrale Fragestellung lautet: Lässt sich der Netzzustand in Niederspannungsnetzen mit vielen Betriebsmitteln aber nur wenigen Messsystemen hoch performant analysieren?

Methodische Vorgehensweise

Die Plattform der KI-basierten Netzsimulation besteht aus drei Hauptkomponenten (Abbildung 1):

(A) Schnittstelle zu einem Geoinformationssystem (GIS): Mit einer Ausdehnung von ca. 1.354.600 km Leitungslänge [4] enthalten Niederspannungsnetze viel mehr Betriebsmittel als Mittel- und Hochspannungsnetze. Ein effizienter manueller Aufbau der Stromnetze in Netzberechnungsprogrammen ist nicht möglich. In der vorliegenden Arbeit werden Daten aus einem GIS exportiert, aufbereitet, automatisiert in ein Netzberechnungsprogramm importiert und verarbeitet. Mit nur geringen manuellen Anpassungen stehen somit eine große Anzahl von Niederspannungsnetzen als mathematisches physikalisches Netzmodell in der Netzberechnung für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

(B) Klassische Stromnetzberechnung zur Datengenerierung: Der gesamte Prozess beim Training von KI-Systemen hängt primär von der Qualität und Menge der Eingabedaten ab. Für das Training der KI-Modelle werden in einer klassischen Netzberechnung mit Hilfe eines Fallgenerators [3] eine Vielzahl relevanter Lastflusszenarien berechnet und in einer Datenbank gespeichert. Ein großer Vorteil der synthetischen Datengenerierung im Vergleich zu historischen Daten besteht darin, dass auch zukünftige

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Goebenstraße 40, 66117 Saarbrücken, +49 681 5867-356, +49 681 5867-122, andreas.winter@htwsaar.de, www.htwsaar.de

² VSE Verteilnetz GmbH, Heinrich-Böcking-Straße 10, 66121 Saarbrücken, +49 162 6981451, +49 681 4030-1229, selina.prinz@vse-verteilnetz.de, www.vse-verteilnetz.de

³ Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, +49 351 463-33202, +49 351 463-37036, peter.schegner@tu-dresden.de, www.tu-dresden.de

Entwicklungen in der Stromversorgung, z. B. die Elektromobilität oder Wärmepumpen, einbezogen werden können. In einem Vorverarbeitungsschritt für das Training der KI-Modelle werden diese Daten analysiert und aufbereitet.

(C) Framework für das Training neuronaler Netze: Das KI-Framework trainiert nun mit den Trainingsdaten verschiedene künstliche neuronale Netze (KNN) in PyTorch, einer Programmiersprache Python, mit einer Auswahl geeigneter Hyperparametersätze. Für die KI-basierte Schätzung (KI-SE) [2] und die KI-basierte Berechnung (KI-LF) [3] der unbekannt Netzzustände werden jeweils zwei KI-Modelle trainiert. Ein KI-Modell approximiert dabei Spannungsbeträge und ein weiteres KI-Modell Spannungswinkel. Als Eingabevariablen für die KI-SE dienen Abgangsmesswerte in der Ortsnetzstation und für die KI-LF Wirk- und Blindleistungswerte an allen Netzknoten.

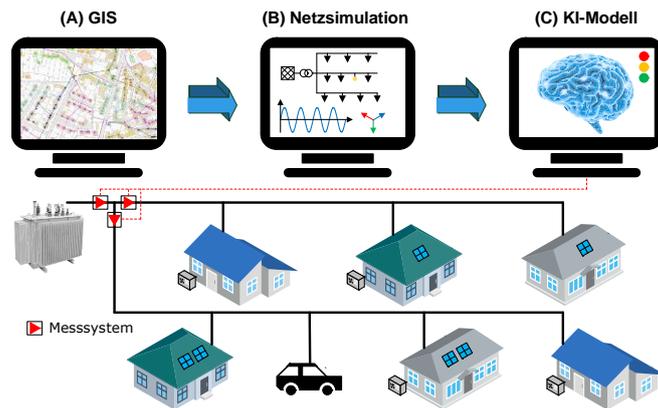


Abbildung 1: Gesamtsystem für das Monitoring in Niederspannungsnetzen

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Validierung der KI-basierten Netzsimulation erfolgt in einem realen Niederspannungsnetz. Die KI-Modelle schätzen basierend auf einer Abgangsmessung in einer Ortsnetzstation als Inputgrößen die elektrischen Variablen des überwachten Abgangs, sodass der geschätzte Netzzustand vollständig vorliegt. Ein weiteres KI-Modell bietet die Möglichkeit, die Lastflüsse im betrachteten Netzgebiet zu berechnen und z.B. Handlungsempfehlungen bei kritischen Netzzuständen zu validieren. Die daten- und rechenintensive Trainingsphase erfolgt offline, wohingegen im Onlinebetrieb die KI-basierten Systeme die Ergebnisse sehr schnell und robust gegenüber fehlenden Messdaten liefern. Die KI-Modelle lernen in der Trainingsphase die komplexen Zusammenhänge und Muster in den Trainingsdaten und können im Onlinebetrieb den Netzzustand auch bei geringer Anzahl an Messsystemen schätzen. Die KI-basierte Berechnung der Lastflüsse erfolgt im operativen Betrieb mit geringer Rechenzeit unabhängig von der Anzahl der Netzknoten. Um die Schätzgenauigkeit des Verfahrens zu überprüfen, werden die Ergebnisse der KI-basierten Netzsimulation mit Referenzmessungen, die sich innerhalb des Abgangs befinden, verglichen. Die Untersuchungen zeigen, dass KNN in der Lage sind, Netzzustände mit wenigen Eingangswerten zu schätzen und Lastflussberechnungen in großen Niederspannungsnetzen mit vielen Betriebsmitteln im operativen Betrieb, d. h. mit geringen Rechenzeiten, durchzuführen.

Referenzen

- [1] GridAnalysis – KI-basierte Systemanalyse von Stromverteilnetzen im Normal- und Kurzschlussbetrieb, www.gridanalysis.de
- [2] Winter, A.; Igel, M.; Schegner, P. (2021): Supervised Learning Approach for State Estimation in Distribution Systems with missing Input Data. Hg. v. 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe). Espoo, Finnland.
- [3] Winter, Andreas; Igel, Michael; Schegner, Peter (2020): Application of artificial intelligence in power grid state analysis and -diagnosis. In: Detlef Schulz (Hg.): NEIS 2020. Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems Hamburg, 14 - 15 September 2020. 1. Neuerscheinung. Berlin: VDE Verlag, S. 128–133.
- [4] Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt: „Monitoringbericht 2020,“ Bonn, 2020