

Netzbetrieb der Zukunft

Wie kann KI die Herausforderungen im Netzbetrieb lösen?

Methoden der künstlichen Intelligenz werden auch im Betrieb von Stromnetzen eine immer größere Rolle spielen. Wesentliche Aspekte dazu wurden im FGH-Forum »Netzbetrieb der Zukunft – Wie kann KI die Herausforderungen lösen?« diskutiert, das im Mai 2024 stattfand. Die Autoren fassen die wichtigsten Erkenntnisse zusammen.

Künstliche Intelligenz (KI) durchdringt zunehmend alle Lebensbereiche und hat auch in der elektrischen Energietechnik Einzug gehalten. Um ihren Mitgliedsunternehmen zu diesem wichtigen Thema einen Überblick zu geben und Fragen in einem kleinen Expertenkreis besprechen zu können, veranstaltete die Akademie der Forschungsgemeinschaft für Elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V. (FGH e.V.) am 28. Mai 2024 bei der Schneider Electric GmbH in Seligenstadt das Forum »Netzbetrieb der Zukunft – Wie kann KI die Herausforderungen lösen?«. Diskutiert wurden unter anderem folgende Fragen:

- Welche Lösungen existieren für die künftigen Herausforderungen der Netzbetriebsführung in Niederspannungsnetzen?
- Welche Lösungen im Bereich der KI sind aktuell schon vorhanden?
- Welche künftigen Ideen zum Einsatz von KI gibt es?
- Welche Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeiter ergeben sich aus diesen Lösungen und welche Maßnahmen sind zu treffen, um das Personal in den Unternehmen mitzunehmen?

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte des Forums zusammengefasst.

Netzbetrieb der Zukunft – Überblick und erste Ansätze für KI

Kernaufgabe des Netzbetriebs ist es, den Anschlussnehmern ein zuverlässiges Netz bereitzustellen. Bei dieser Aufgabe kommen seit vielen Jahren Softwaresysteme zum Einsatz. Der Digitalisierungsgrad hängt dabei unter anderem von der Spannungsebene ab. Im Bereich der Hochspannung erfolgt die Netzführung aus der zentralen Leitstelle mit hohem Automatisierungsgrad, in der Mittelspannung wird ebenfalls auf eine zentrale Leitstelle zurückgegriffen, wobei die Automatisierung hier vor allem in den Ortsnetzstationen überwiegend noch nicht voll ausgebaut ist. Die Netzführung der Niederspannung basiert auf einem sehr geringen Automatisierungsgrad mit überwiegend dezentraler Betriebsführung.

Die Energiewende, mit der Notwendigkeit erhöhter Steuerungseingriffe auf allen Netzebenen, führt zu einer deutlichen Steigerung der dem Netzbetrieb zur Verfügung stehenden Informationsmenge, die aber auch verarbeitet werden muss.

Künstliche Intelligenz bietet eine Chance, die steigende Zahl an Informationen zu managen und die Netzführung bei der Bewältigung der täglichen Aufgaben zu unterstützen. Mögliche Anwendungen von KI sind beispielsweise: Verbesserung von Vorhersagen, Kundeninformationen in Störungssituationen, Assistenzsysteme für Operatoren sowie detaillierte Analysen von Betriebssituationen.

Durch die Vielzahl der anstehenden Aufgaben, die allgemeine Digitalisierung, den Druck des Arbeitnehmermarktes und die innovativen Möglichkeiten, die künstliche Intelligenz bietet, wird sie eine immer größere Rolle im Netzbetrieb der Zukunft einnehmen.

Vom regulatorischen Rahmen zu technischen Möglichkeiten der KI im Netzbetrieb

Im Netzbetrieb entsteht durch neue regulatorische Anforderungen ein erheblicher Handlungsdruck. Aufgaben wie die Umsetzung von § 14a EnWG (netzdienliche Laststeuerung), die Weiterentwicklung von Redispatch 2.0 und der beschleunigte digitale Netzanschlussprozess sind nur mit umfassender Digitalisierung und Automatisierung zu bewältigen. Gleichzeitig ermöglicht die zunehmende Verfügbarkeit von künstlicher Intelligenz den Einsatz in unterstützenden Prozessen, und sie eröffnet neue Anwendungsfelder. Besonders rechenintensive und massenhaft anfallende Aufgaben können durch KI optimiert werden – vorausgesetzt, es existiert eine geeignete Datenarchitektur. Der Netzbetreiber sollte sich zum Einstieg mit Use Cases beschäftigen, die einen eher geringen Einführungsaufwand hervorrufen und hinsichtlich des Reifegrades der KI-Anwendung schon am Markt verfügbar sind. Die Bandbreite der Use Cases ist vielfältig und kann exemplarisch vom Einsatz bei der Predictive Maintenance über die Prüfung und Zuweisung von

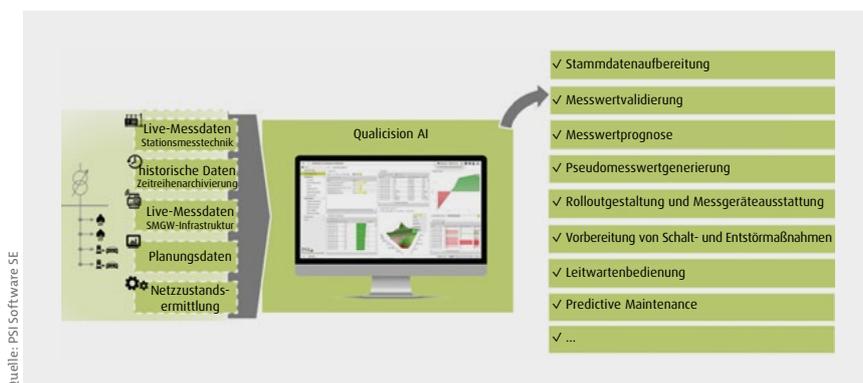


Bild 1. Qualicision AI der PSI Software SE als Enabler der Energiewirtschaft zur Nutzung von KI

Netzanschlusspunkten bis hin zur Fehlererkennung in unterschiedlichen Anwendungsfällen reichen. Ein durchdachter Umgang mit Daten in Bezug auf Umfang, Geschwindigkeit, Qualität und Verknüpfbarkeit erleichtert die Anwendung von KI.

Beim Einsatz von künstlicher Intelligenz sind jedoch regulatorische Vorgaben zu beachten. Der am 21. Mai 2024 verabschiedete EU AI-Act schafft weltweit erstmals einen regulatorischen Rahmen für den Einsatz von KI in Europa. Er unterteilt KI-Anwendungen in Risikokategorien und stellt Anforderungen an Konformität, Transparenz und Dokumentation. Der Einsatz von KI im Netzbetrieb fällt teilweise in die Hochrisiko-Kategorie, was zusätzliche Anforderungen an Genauigkeit, Robustheit und Cybersicherheit mit sich bringt. Die nationale Umsetzung des AI-Acts in Deutschland sowie die Benennung einer zuständigen Aufsichtsbehörde stehen noch aus.

Assistenzsysteme für die Niederspannungsebene

Diese Transformation stellt die heutige Energieversorgung mit Netzplanung, Netzbetrieb und Netzführung vor neue Herausforderungen. Daher müssen Netzbetreiber ihre Prozesse effizienter und flexibler gestalten. Auf Basis der Digitalisierung und von Datensammlungen auf Basis von KI kann diese Prozessgestaltung auf ein neues Level gehoben werden.

Ein Beispiel hierfür ist der digitale Zwilling, der ein virtuelles Abbild des physischen Stromnetzes bietet und Simulationen ermöglicht, um Änderungen ohne Risiko für das reale System zu testen. KI-gestützte Algorithmen identifizieren Muster in den Daten, was Vorhersagen über den Energiebedarf und die Netznutzung ermöglicht und somit die Effizienz steigert.

Durch moderne Softwarelösungen können Echtzeitdaten analysiert und fundierte Entscheidungen getroffen werden, um Engpässe zu vermeiden und die Netzstabilität zu sichern. Die Integration von Smart-Grid-Technologien schafft eine intelligente Vernetzung von Erzeugern und Verbrauchern und verbessert so die Ressourcennutzung. Mithilfe benutzerfreundlicher, intuitiver Dashboards und klarer Visualisierungen wird der Zugang zu relevanten Informationen erleichtert. Dadurch können Netzbetreiber proaktiv agieren und ihre Netze optimal steuern.

Insgesamt bieten diese Assistenzsysteme wertvolle Unterstützung für alle Akteure

und können sukzessive auf Basis von KI mit weiteren Funktionen ergänzt werden. Dies wird in **Bild 1** illustriert. Die Erweiterungen zeigen, dass nicht nur in der Netzführung Assistenzsysteme benötigt werden, sondern dass die Netzbewirtschaftung eine 360°-Betrachtung durch den Netzbetreiber erfordert und hier ein erhebliches Potenzial durch konsequente, KI-getriebene Digitalisierung entsteht.

KI-basierte Verfahren zur Überwachung und Optimierung von Stromverteilnetzen

KI-basierte Verfahren zur Überwachung und Optimierung von Stromverteilnetzen nutzen künstliche Intelligenz, um einen effizienten und zuverlässigen Betrieb von Stromnetzen zu ermöglichen. Durch die Kombination von mathematisch/ingenieurwissenschaftlichen Verfahren und Methoden der künstlichen Intelligenz können im Vergleich zu etablierten Verfahren präzisere Ergebnisse erzielt werden [3]. Zuerst generiert ein Falldatengenerator in einem Netzberechnungsprogramm (zum Beispiel ATPDesigner [2]) eine Vielzahl synthetischer Lastszenarien und speichert diese in einer Datenbank ab. Dann werden KI-Modelle als künstliche neuronale Netze mit den Lastszenarien trainiert und validiert, um Stromverteilnetze zu überwachen und zu optimieren. Nach erfolgreichem Training können die künstlichen neuronalen Netze im Netzbetrieb zur Netzzustandsüberwachung und -optimierung online eingesetzt werden. Für die Implementierung ist ein handelsüblicher, kostengünstiger Controller-Baustein ausreichend, der dezentral in eine Ortsnetzstation integriert werden kann (Edge-Computing). Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchungen ist, dass KI-Systeme auch in Stromnetzen mit geringem Digitalisierungsgrad, zum Beispiel beschränkt auf Ortsnetzstationen, einsetzbar sind.

Bild 2 zeigt die Teilsysteme der KI-basierten Netzzustandsüberwachung und -optimierung. Mit den Messungen erfolgt zunächst die KI-basierte Netzzustandschätzung (KI-SE) [5], um nicht-überwachte Knoten zu identifizieren. Mit der KI-basierten Lastflussberechnung (KI-LF) [6] können die Lastflüsse berechnet und mit der KI-basierten Netzzustandsoptimierung (KI-OPF) [7] optimiert werden.

Ein weiterer Aspekt, der künftig für die Netzsicherheit eine hohe Relevanz haben wird, ist die Fehlerortung und Kurzschlussstromberechnung. Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl

Wir laden ein zur
FGH Fachtagung

„KI in Netzplanung
und Netzbetrieb“

25. - 26.06.2025
in Mannheim

Information und
Anmeldung:



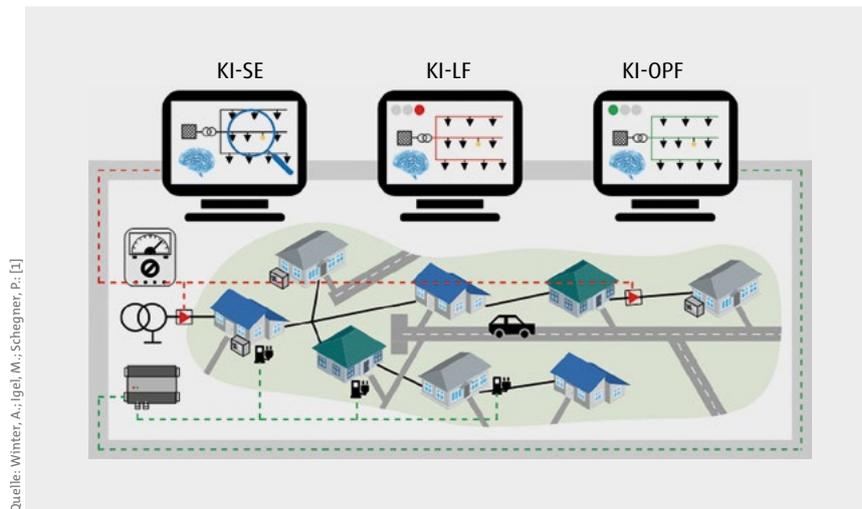


Bild 2. Teilsysteme der KI-basierten Netzzustandsidentifikation und -optimierung [1]

eine zentrale Kurzschlussortung als auch eine Erdschlussrichtungserfassung mittels KI-System umsetzbar sind [4].

KI im Netzbetrieb – eine Erweiterung des Werkzeugkastens

Die fortschreitende Digitalisierung und wachsende Komplexität der Stromnetze machen den Einsatz von künstlicher Intelligenz im Netzbetrieb zunehmend unverzichtbar. Netzbetreiber müssen immer größere Datenmengen in Echtzeit verarbeiten, um die Versorgungssicherheit und Effizienz zu gewährleisten. KI bietet hier enorme Vorteile, indem sie Muster erkennt, Prognosen erstellt und fundierte Entscheidungen ermöglicht, die herkömmliche Methoden übertreffen. So trägt sie zur Bewältigung steigender Anforderungen an Flexibilität und Reaktionsschnelligkeit im Netzbetrieb bei.

Ein zentraler Erfolgsfaktor bei der Rheinenergie AG ist die Etablierung einer KI-Community als Center of Excellence (CoE). Hier arbeiten IT- und Fachexperten crossfunktional zusammen, um maßgeschneiderte KI-Lösungen zu entwickeln. Diese Zusammenarbeit ermöglicht es, technologische Innovationen schnell zu integrieren und auf die spezifischen Anforderungen des Netzbetriebs einzugehen, was die Effizienz und Qualität der Prozesse erheblich steigert.

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von KI ist ein Pilotprojekt zur Erkennung von Schaltzuständen in der Niederspannung, das gemeinsam mit der Rheinischen Netzgesellschaft mbH und der Siemens AG umgesetzt wurde. Durch maschinelles Lernen ist es möglich, Schaltzustände in Kabelverteilerschränken schnell und präzise zu detektieren. Die Ergebnisse verdeutlichen das Poten-

zial von KI für den operativen Betrieb und zeigen ihren praktischen Nutzen.

Von Anfang an ist es entscheidend, Informationssicherheit und Datenschutz umfassend zu berücksichtigen. Der Schutz sensibler Daten und die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sichern Vertrauen und minimieren Risiken, während die Innovationskraft von KI voll genutzt werden kann. So gelingt die Balance zwischen Fortschritt und Sicherheit im Netzbetrieb.

Forschungsprojekte: Einsatz von KI-Verfahren zur Verarbeitung, Auswertung und Bewertung hochaufgelöster Messdaten

Bei vielen energietechnischen Anwendungen, vor allem bei Aspekten der Spannungsqualität, fallen große Mengen an Messdaten an, die entweder gespeichert oder übertragen werden müssen. Im Forschungsprojekt Quirinus Control [8] wird sich hierfür unter anderem mit der Frage beschäftigt, wie KI-Verfahren zur lokalen Messwertverarbeitung genutzt werden können, um bereits lokal »On-the-Edge« automatisiert die hochaufgelösten Messdaten der Spannungsqualitätsmessungen auszuwerten, aufzubereiten und für die Datenübermittlung an ein zentrales Wide-Area-Monitoring-System (WAMS) zu komprimieren. Im Zuge des FGH-Forums wurde ein im Quirinus-Projekt entwickelter Ansatz zur Komprimierung von Electromagnetic-Transient-(EMT)-Zeitreihen auf Basis eines Convolutional-Autoencoders (CAE) vorgestellt. Der CAE wurde dazu in einen überlagerten Komprimierungsalgorithmus eingebettet, um eine Komprimierung mit definierbarer Fehlertoleranz und noch weiter erhöhter Komprimierungsrate zu erreichen. Die präsentierten Ergebnisse zeigen, dass das entwickelte Verfahren in der Anwendung bereits im aktuellen Entwicklungsstand auch bei realen Messreihen signifikant höhere Komprimierungen erreicht als klassische Komprimierungsverfahren (zum Beispiel zfp, SZ3) [9]. Ebenfalls wurde ein Klassifizierungsalgorithmus auf Basis einer hybriden Methode aus CNN + LSTM [10] zur Bestimmung der Spannungsqualitätsstörklassen der Messreihen vorgestellt.

Erkenntnisse aus der Abschlussdiskussion und Ausblick

Wie häufig bei neuen komplexen Themen stellte sich zu Anfang die Frage der Definition von künstlicher Intelligenz und die Abgrenzung zu vorhandenen intelligenten Ansätzen und Lösungen. Hier konn-

ten Vortragende und Auditorium wesentliche Beiträge liefern. Einigkeit herrschte darin, dass dieses Thema dauerhaft als Basis für Veranstaltungen wie Seminare oder Tagungen dienen muss, um eine erforderliche Akzeptanz zu erreichen und möglichst viel Informations- und Erfahrungsaustausch anzubieten.

Alle Teilnehmer waren sich einig, dass die Anwendung und der Einsatz künstlicher Intelligenz wesentliche Chancen zur Vereinfachung von Prozessen eröffnen werden beziehungsweise bereits eröffnet haben. Um die sich ergebenden Risiken einzugrenzen und zu minimieren, ist neben einem maßvollen Umgang mit den Möglichkeiten auch eine weitgreifende Aus- und Weiterbildung der betroffenen Mitarbeiter in den Unternehmen notwendig. Die Zukunft hat hier unaufhaltsam begonnen.

Die FGH Akademie richtet zu dem Thema »KI in Netzplanung und Netzbetrieb« eine FGH-Fachtagung aus. Vom 25. bis 26. Juni 2025 stellen Netzbetreiber, Hersteller und Forschungsinstitute in zahlreichen Vorträgen und im Rahmen einer begleitenden Fachausstellung vor, wie der Einsatz von KI helfen kann, die zunehmende Komplexität des Energiesystems zu beherrschen und dieses auch in Zukunft effizient und sicher zu betreiben.

Weitere Informationen zur FGH-Fachtagung finden Sie auf der FGH-Website <https://www.fgh-ma.de/de/themen-expertise/akademie/veranstaltungsuebersicht/details/eventId/265>.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an den Gastgeber des diesjährigen FGH-Forums, die Schneider Electric GmbH, die mit ihren Räumlichkeiten in Seligenstadt und der Führung vor Ort einen idealen Rahmen für die Veranstaltung bot.

Literatur

- [1] Winter, A.; Igel, M.; Schegner, P.: Machine learning based grid optimization algorithm for real-time applications. In 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023). Institution of Engineering and Technology, 12–15 June 2023, S. 226–230.
- [2] FITT-Institut für Technologietransfer an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes gGmbH: ATPDesigner. 2024. <http://atpdesigner.de>
- [3] Winter, A.; Raß, P.; Igel, M.; Schegner, P.: Application of artificial neural networks for power system state estimation – Validation with a weighted least squares algorithm. ETG Kongress 2023, Kassel, Deutschland, 2023.
- [4] Winter, A.; Igel, M.: Anwendung innovativer maschineller Lernverfahren für KI-basierte Lösungen zur Erdschlusserfassung und Erdschlussortung. ETG Journal, Vol. 2023, Nr. 01/2023, S. 21–23.
- [5] Winter, A.; Igel, M.; Schegner, P.: Supervised Learning Approach for State Estimation in Distribution Systems with missing Input Data. In 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe). IEEE, 2021, S. 1–5.
- [6] Winter, A.; Igel, M.; Schegner, P.: Application of artificial intelligence in power grid state analysis and diagnosis. In NEIS 2020, D. Schulz, Hrsg., Berlin, VDE Verlag, 2020, S. 128–133.
- [7] Winter, A.; Igel, M.; Schegner, P.: Machine learning based grid optimization algorithm for real-time applications. In 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023). Institution of Engineering and Technology, 12–15 June 2023, S. 226–230.
- [8] Projekthomepage Quirinus-Control: www.quirinus-control.de
- [9] Stroot, M.; Seiler, S.; Ulbig, A., et al.: Comparative Analysis of Modern, AI-based Data Compression on Power Quality Disturbance Data. IEEE SmartGridComm 23, 2023.
- [10] Mohan, N.; Soman, K. P.; Vinayakumar, R.: Deep power: Deep learning architectures for power quality disturbances classification. In: 2017 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy). 2017, pp. 1–6.

>> Dr.-Ing. **Thomas Weber**,
Schneider Electric GmbH, Seligenstadt

Kai Schlabit,
Schneider Electric GmbH, Seligenstadt

Dr.-Ing. **Andreas Nolde**,
BET Büro für Energiewirtschaft und
technische Planung GmbH, Aachen

Dr.-Ing. **Philippe Steinbusch**,
PSI Software SE, Karlsruhe

Andreas Winter,
VSE Verteilnetz GmbH, Saarbrücken

Prof. Dr.-Ing. **Michael Igel**,
Institut für Elektrische Energiesysteme,
Hochschule für Technik und Wirtschaft
des Saarlandes, Saarbrücken

Dr.-Ing. **Tobias Kornrumpf**,
RheinEnergie AG, Köln

Alexander Vanselow,
FGH e.V., Aachen

Andrea Schröder,
FGH e.V., Mannheim

>> thomas.weber@se.com
kai.schlabit@se.com
andreas.nolde@bet-energie.de
psteinbusch@psi.de
andreas.winter@vse-verteilnetz.de
t.kornrumpf@rheinenergie.com
alexander.vanselow@fgh-ma.de
andrea.schroeder@fgh-ma.de

>> www.fgh-ma.de