

Künstliche Intelligenz (KI) in Stromverteilnetzen

KI-basierte Systemanalyse im Normal- und Kurzschlussbetrieb

Das vom BMWi geförderte Forschungsprojekt »GridAnalysis – KI-basierte Systemanalyse von Stromverteilnetzen im Normal- und Kurzschlussbetrieb« ist am 1. September 2020 mit einer dreijährigen Laufzeit gestartet. Der Konsortialführer Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlands arbeitet mit der Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, der VSE Verteilnetz GmbH und der Stadtwerke Saarlouis GmbH an der Entwicklung neuer Modelle und Methoden zur stationären und zeitreihenbasierten Simulation von Stromnetzen. Zur Anwendung kommt eine Kombination aus klassischer Netzberechnung und Verfahren des maschinellen Lernens. Die Autoren zeigen erste Lösungen einer KI-basierten Netzsimulation und eines KI-unterstützten Netzbetriebs.

Eine Kernaufgabe von Verteilnetzbetreibern, Stadt- und Gemeindewerken ist die Gewährleistung einer sicheren und bezahlbaren Stromversorgung. Getrieben durch die Dekarbonisierung des Stromsektors sehen sich Netzbetreiber mit dem weiteren Ausbau von Anlagen auf der Basis erneuerbarer Energien, variablen und sektorengelinkten Lasten und einem steigen-

den Stromverbrauch konfrontiert. Die Folgen davon sind eine zunehmende Volatilität von Stromeinspeisung und -bezug sowie eine damit einhergehende stärkere Auslastung der Verteilnetze mit häufigen Last- und Erzeugungsspitzen [1, 2]. Zur Gewährleistung einer hohen Versorgungsqualität [3] müssen die Netze an diese Herausforderungen angepasst werden. Netzverstärkung und

vor allem -ausbau sind nur mittelfristig umsetzbar, oft teuer und sollten gemäß dem Nova-Prinzip erst als letzte Maßnahme umgesetzt werden. Stattdessen kann auf Netzoptimierungen, netzdienliches Verhalten und, bei Bedarf, auf Regelungseingriffe bei Einspeise- und Bezugsanlagen zurückgegriffen werden [1, 4]. Eine Voraussetzung dafür ist eine IKT-Infrastruktur mit einer datentech-

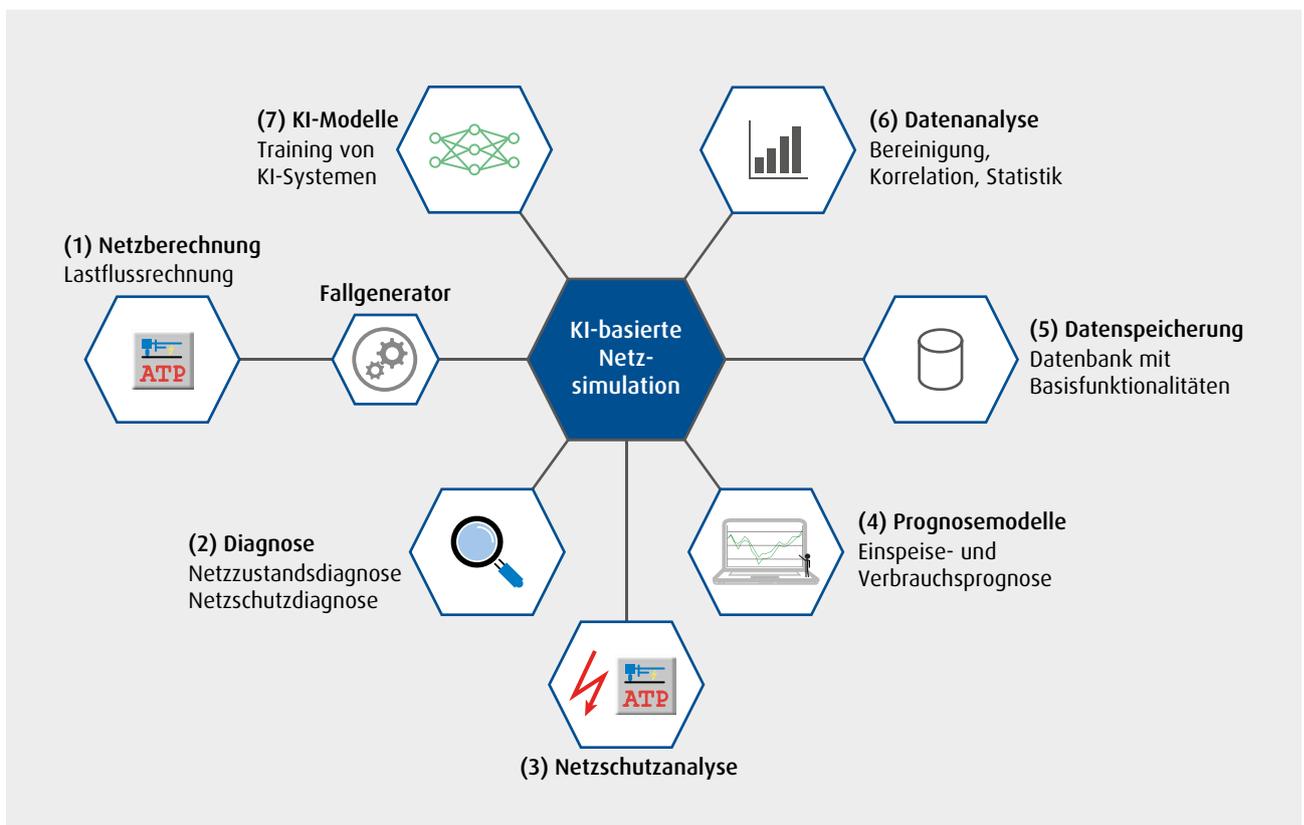


Bild 1. Plattform der KI-basierten Netzsimulation

nischen Anbindung der Betriebsmittel im Netz [2]. Darüber hinaus liefert der vermehrte Einsatz von Mess- und Regelungstechnik eine verbesserte Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit der Stromnetze und bildet zusammen mit den Stammdaten der Netzbetreiber die Datengrundlage für eine umfassende Netzzustandsüberwachung und -prognose. Vor dem Hintergrund des großen Potenzials von KI-Systemen [5] werden in GridAnalysis klassische Netzberechnung mit Verfahren des maschinellen Lernens kombiniert, um als datenbasierter Ansatz innovative Lösungen für Netzzustandsüberwachung und -prognose zu entwickeln und auf Praxistauglichkeit zu überprüfen.

Projektidee – GridAnalysis

Das Projekt GridAnalysis [6] adressiert die Berechnung, Analyse und Bewertung von Netzzustandsszenarien zur Erkennung kritischer Netzzustände unter Anwendung künstlicher Intelligenz. Die Kombination klassischer Netzberechnung mit Verfahren des maschinellen Lernens ermöglicht es, mit heute verfügbaren Rechnerkapazitäten die große Zahl von Netzzustandsszenarien in akzeptabler Zeit zu analysieren und zu bewerten.

Künftig ergeben sich große Herausforderungen an die Betriebsführung der Stromnetze, vor allem in den oft nur in geringem Maß überwachten MS- und NS-Netzen. GridAnalysis soll zeigen, dass die verfügbaren Standards (zum Beispiel Weighted Least Squares Algorithmus) für die Analyse von Stromnetzen mit geringer Beobachtbarkeit durch die Anwendung künstlicher Intelligenz deutlich erweitert und verbessert werden können. Des Weiteren sollen Anforderungen an die erforderliche Datenbasis bezüglich Umfang, Qualität und Verfügbarkeit untersucht, sowie Anforderungen an die Datenbereitstellung identifiziert werden. Netzzustandsszenarien, die historisch unbekannt sind oder kritische Betriebszustände darstellen würden, werden über eine synthetische Netzberechnung berücksichtigt.

Bei KI-Modellen, zum Beispiel bei neuronalen Netzen, ist es aktuell nur bedingt möglich, die interne Funktionsweise und Entscheidungsfindung in akzeptabler Zeit nachzuvollziehen. Die Partner entwickeln daher ein Assistenzsystem mit Visualisierungs- und Erklärungskomponente, um die Lösungsfin-

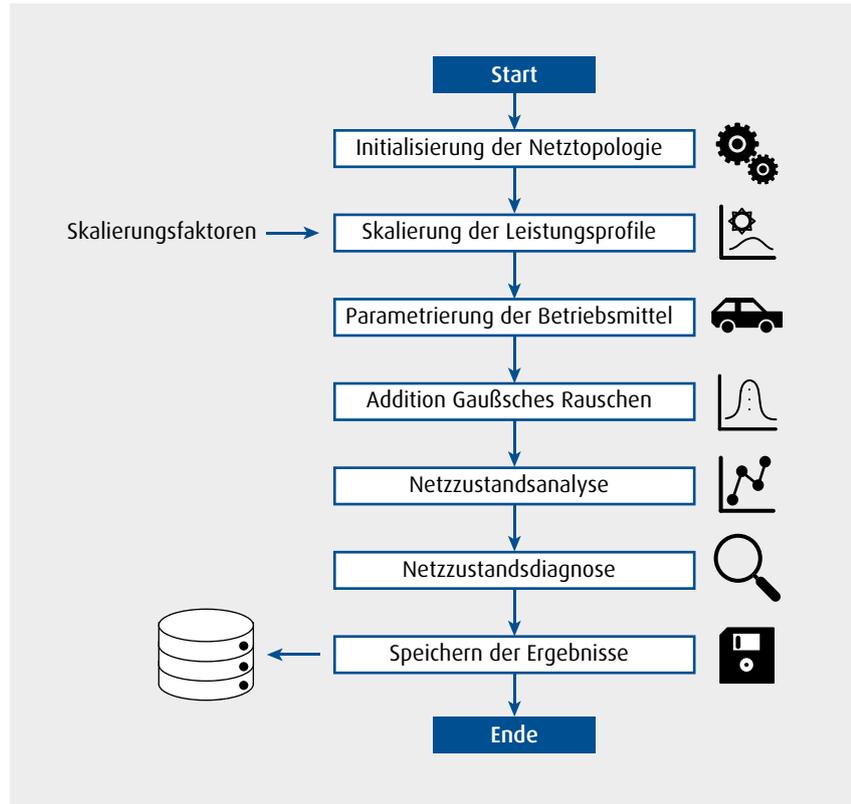


Bild 2. Fallgenerator zur Erstellung synthetischer Trainingsfälle

dung der KI-Systeme besser analysieren und nachvollziehen zu können.

Datengrundlage und Datenerhebung

Grundlage für jedes KI-System sind Daten, die hier in zwei Kategorien unterteilt werden können. Die erste Kategorie umfasst sämtliche Stammdaten zu Betriebsmitteln, Netztopologie und Netzschutz, die eher statisch sind und oft in verschiedenen Systemen/Datenbanken gespeichert werden; häufig sind Letztere noch auf manuelle Pflege und Bearbeitung ausgerichtet. Hier liegt die Herausforderung darin, die Daten durch geeignete Schnittstellen aus den verschiedenen Systemen zu aggregieren und in ein kohärentes und vom KI-System nutzbares Datenbanksystem zu übertragen. Der Aufwand dafür hängt von der individuellen Systemlandschaft der Netzbetreiber ab und kann vor allem für größere Netze initial beträchtliche Ausmaße annehmen – vor allem dann, wenn keine automatische Zuordnung von Daten aus verschiedenen Quellen möglich ist. In GridAnalysis werden Stammdaten in ein Netzberechnungssystem (ATPDesigner [7]) überführt und als Grundlage für die Netzzustandsanalyse und -bewertung herangezogen.

Die zweite Kategorie umfasst sämtliche Mess- und Zustandsdaten (zum Beispiel Strom, Spannung, Wirk- und Blindleistung sowie Schaltzustände), die üblicherweise in einer zentralen Netzleitstelle (ZNL) auflaufen und dort ausgewertet und gespeichert werden. Bestandssysteme in HS/MS-Umspannanlagen leiten häufig keine leiterselektiven Messwerte an die ZNL weiter, und Nachrüstungen werden hier schnell teuer. Aktuell wird in diesen Spannungsebenen von einer symmetrischen Belastung der drei Leiter im Normalbetrieb ausgegangen, sodass die leiterselektiven Werte näherungsweise berechnet werden können. Mit Blick auf die Datenqualität ist es aber ratsam, bei neuen Anlagen in Zukunft leiterselektive Messwerte mit Betrag und Phasenwinkel zu übertragen. Die Ortsnetzstationen (ONS) in den Mittelspannungs- und Niederspannungsnetzen sind klassischerweise nicht fernüberwacht, sodass hier oft keine Daten zur Verfügung stehen. Einzelne Netzbetreiber haben dieses Problem bereits früh erkannt und bestehende ONS mit Messtechnik nachgerüstet oder neue intelligente ONS aufgebaut, sodass in diesen Fällen die Datenlage in den MS- und NS-Ebenen vergleichbar gut und teilweise sogar besser ist als in den HS-Netzen.

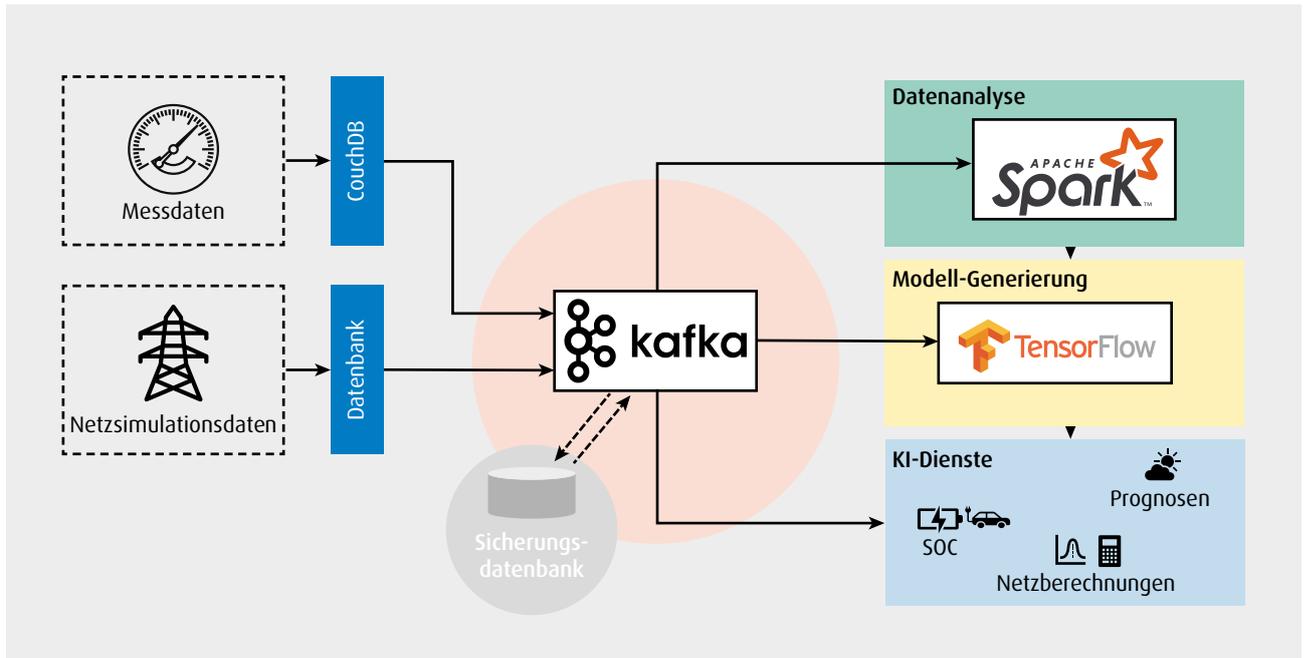


Bild 3. Datenpipeline für KI-Training und KI-Dienste

Es ist davon auszugehen, dass sich diese Instrumentierung der Stromnetze fortsetzen wird.

Auf Seiten der ZNL existiert darüber hinaus die Herausforderung, sämtliche erforderlichen Daten aus dem Netzleitsystem zu Drittsystemen auszuliefern. Oft sind hier aufgrund proprietärer Schnittstellen, Protokolle und Formate Sonderlösungen notwendig. Für GridAnalysis werden die Messdaten aus städtischen und ländlichen Feldtestgebieten in einem speziell entwickelten Workflow in einer CouchDB-Datenbank im JSON-Format gespeichert, wobei für jeden Zeitpunkt und Messort die Messdaten gespeichert werden. Auf die Daten in der CouchDB kann über eine REST-API zugegriffen werden.

Plattform der KI-basierten Netzsimulation

Die Komponenten zur Durchführung der Analyse und Bewertung von Netzzuständen lassen sich mithilfe der Plattform der KI-basierten Netzsimulation in **Bild 1** zusammenfassen.

Ausgehend von Einspeise- und Verbrauchsprognosen [8] (4) sowie zugehörigen Lastprofilen werden durch einen Fallgenerator relevante Netzzustandsszenarien im Normalbetrieb erstellt und im Netzberechnungsprogramm [7] (1) berechnet. Ein Diagnosemodell (2) bewertet diese Netzzustandsszenarien und vergleicht sie mit den Vorgaben

aus den relevanten Normen und speichert die Ergebnisse in einer Datenbank (5). In einem Vorverarbeitungsschritt für das Training der KI-Modelle (7) werden diese Daten analysiert und aufbereitet (6). Die Datenpipeline für das KI-Training und weitere KI-Dienste ist in **Bild 3** dargestellt. Die Validierung der KI-basierten Netzsimulation erfolgt zunächst für Netzzustandsszenarien in synthetischen Referenznetzmodellen und wird später in realen Feldtestgebieten auf Praxis-tauglichkeit überprüft.

KI-basierte Netzsimulation und Assistenzsystem

Die Erstellung der Trainingsfälle erfolgt mithilfe eines synthetischen Fallgenerators nach **Bild 2**. Nach Initialisierung der Netztopologie erfolgt die Modellierung der Einspeiseanlagen, der Verbraucherlasten und des Ladeverhaltens der Elektrofahrzeuge mittels skalierbarer Lastprofile [9]. Um eine Variabilität zwischen Anlagen gleichen Typs zu erreichen, wird ein gaußsches Rauschen den Lastprofilen überlagert.

Nach Zuordnung der Einspeise- und Bezugsleistungen erfolgen eine Netz-zustandsanalyse, eine Netzzustandsdiagnose [9] und die Speicherung der Ergebnisse in einer Datenbank.

Um die Aggregation der Mess- und Zustandsdaten zu optimieren, wird das Event-Streaming-Framework Kafka [10] benutzt. Kafka bietet ein breites Feld

von Schnittstellen, sodass eine Verbindung zu verschiedenen Datenquellen und Drittsystemen möglich ist. **Bild 3** zeigt den generellen Datenfluss, der im Folgenden beschrieben wird. Sobald neue Messdaten in der CouchDB vorliegen, kann das Kafka-System diese Daten über ein Dateninterface abfragen und speichern. Kafka erhält auf diese Weise auch die synthetisch erstellten Netzsimulationsdaten. Eine Sicherungsdatenbank dient zur Sicherung der Mess- und Simulationsdaten. Zur weiteren Verarbeitung werden die Daten einerseits an das Datenanalyse-Tool Spark [11] weitergeleitet, das besonders für die Analyse von großen Datensätzen entwickelt wurde. Zum anderen werden die Daten zum Modell-Training mithilfe des Machine Learning Frameworks TensorFlow [12] genutzt und an weitere KI-Dienste überführt, um Vorhersagen auf Grundlage neuer Daten anzubieten. Somit bildet das Kafka-Framework eine gute Lösung, um die Verfügbarkeit und Synchronität der Daten für verschiedene verteilte Anwendungsfälle zu garantieren.

Ausblick

Nach erfolgreicher Validierung der Einzelkomponenten erfolgt im weiteren Projektverlauf das Training der KI-Systeme und die Integration der KI-basierten Netzsimulation in die Systemlandschaft der Netzbetreiber. Abschließend werden Feldtests in städtischen und ländlichen

Feldtestgebieten durchgeführt. Die Ergebnisse der klassischen Verfahren der Netzsimulation werden mit den Ergebnissen der KI-basierten Netzsimulation verglichen und in einem Leitfaden für einen KI-unterstützten Netzbetrieb zusammengefasst.

Danksagung

Diese Arbeit ist im Rahmen des Projekts GridAnalysis entstanden. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03EI6034 gefördert.

Literatur

- [1] Acatech, Leopoldina, Akademienunion: Netzengpässe als Herausforderung für das Stromversorgungssystem: Optionen zur Weiterentwicklung des Marktdesigns. 2020.
- [2] Acatech, Leopoldina, Akademienunion: Resilienz digitalisierter Energiesysteme. Wie können Blackout-Risiken begrenzt werden? 2021.
- [3] VDE FNN: Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik, Berichtsjahr 2019. 2020.
- [4] Nova-Prinzip Netzentwicklungsplan. www.netzentwicklungsplan.de/de/nova-prinzip
- [5] Deru, M.; Ndiaye, A.: Deep Learning mit TensorFlow, Keras und TensorFlow.js. Rheinwerk Computing, 2. Auflage, 2020.
- [6] GridAnalysis – KI-basierte Systemanalyse von Stromverteilnetzen im Normal- und Kurzschlussbetrieb. www.gridanalysis.de
- [7] ATPDesigner www.atpdesigner.de

- [8] Brandherm, B.; Deru, M.; Ndiaye, A.; Kiefer, G.-L.; Baus, J.; Gampfer, R.: Integration erneuerbarer Energien – KI-basierte Vorhersageverfahren zur Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen. Angewandte Wirtschaftsinformatik. Springer Vieweg, 2021.
- [9] Winter, A.; Igel, M.; Schegner, P.: Application of artificial intelligence in power grid state analysis and -diagnosis. NEIS 2020 – Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems, VDE Verlag, 2020.
- [10] TensorFlow, www.tensorflow.org
- [11] Apache Spark, spark.apache.org
- [12] TensorFlow, www.tensorflow.org

>> **Andreas Winter** M.Sc.,
Wissenschaftlicher Mitarbeiter,
Hochschule für Technik und Wirtschaft
des Saarlandes, Saarbrücken

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

Gian-Luca Kiefer M.Sc.,
Researcher,
Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz GmbH, Saarbrücken

Dr. **Matthieu Deru**,
Senior Researcher,
Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz GmbH, Saarbrücken

Dr. **Alassane Ndiaye**,
Senior Researcher,
Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz GmbH, Saarbrücken

Dr. **Boris Brandherm**,
Senior Researcher,

Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz GmbH, Saarbrücken

Dr. **Jörg Baus**,
Senior Researcher,
Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz GmbH, Saarbrücken

Steven Rink M.Sc.,
Innovationsprojekte,
Stadtwerke Saarlouis GmbH, Saarlouis

Henri Oliveras,
Innovationsprojekte,
Stadtwerke Saarlouis GmbH, Saarlouis

Guillem Tänzler M.Eng.,
Innovationsprojekte,
Stadtwerke Saarlouis GmbH, Saarlouis

Dr. **Michael Deckarm**,
Sekundärtechnik,
VSE Verteilnetz GmbH, Saarbrücken

Markus Albert M.Sc.,
Sekundärtechnik,
VSE Verteilnetz GmbH, Saarbrücken

- >> andreas.winter@htwsaar.de
michael.igel@htwsaar.de
gian-luca.kiefer@dfki.de
matthieu.deru@dfki.de
alassane.ndiaye@dfki.de
boris.brandherm@dfki.de
joerg.baus@dfki.de
srink@swsls.de
oliveras@swsls.de
taenzer@swsls.de
ichael.deckarm@vse-verteilnetz.de
markus.albert@vse-verteilnetz.de

- >> www.powerengs.de
www.htwsaar.de
www.gridanalysis.de
www.dfki.de
www.swsls.de
www.vse-verteilnetz.de

Anzeige



So einfach wie ein Lichtschalter. Die I/O-Box zur Anlagenüberwachung.

- Modbus TCP/RTU / IEC 61850 / 60870-5-101/-104
- Grenzwertüberwachung analoger Eingänge
- Einfache Parametrierung via Webserver
- 8-192 Meldungen mit 6 einstellbaren Farben
- IT-Security gemäß BDEW-Whitepaper

Mehr Infos:
• www.ees-online.de




NEU! Jetzt mit Meldebuch

wachen
und
wirken