



bdew

Energie. Wasser. Leben.

Predictive Maintenance

Chatbots

Data Analytics

IoT

Churn Prediction

Tiefe Flexibilität

Wie Künstliche Intelligenz Verbraucher
und Erzeuger an den Markt führt

Autor: Professor Dr. Stefan Ulreich

Energie und Klimaschutz

Hochschule Biberach, Hochschule für angewandte Wissenschaften

Mitwirkende / Begleitgremium:

Damian Bartetzko (RheinEnergie Trading GmbH); Dr. Gunter Fischer (enercity AG); Karsten Gilbrich (badenova AG & Co. KG); Mataza Golzari (SEFE Marketing & Trading Ltd.); Alexander Haaf (enercity AG), Joachim Hurler (TenneT TSO GmbH); Dipl.-Ing. Michael Kranz (enercity AG); Peter Krümmel (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.); Dr. Thomas Menze (TEAG Thüringer Energie AG); Dr. Maximilian Rinck (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.); Steven Schönke (Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG); Jörg-Martin Stöckle (Stadtwerke Leipzig GmbH)

Zum Autor:

Prof. Dr. Stefan Ulreich arbeitete rund 20 Jahre bei der E.ON Gruppe in verschiedenen Positionen, darunter im Energiehandel. Als Professor für Energiewirtschaft an der Hochschule Biberach kümmert er sich unter anderem um die Themen Energiehandel und Digitalisierung. Dabei spielt das Thema Künstliche Intelligenz in seinen unterschiedlichen Facetten eine wesentliche Rolle.

Zum BDEW:

Der BDEW repräsentiert die gesamte Vielfalt der Unternehmen der Energie- und Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung in Deutschland und damit das gesamte fachliche Know-how. Der BDEW unterstützt seine Mitgliedsunternehmen aktiv dabei, die Chancen von Digitalisierung, neuen Technologien und neuen Geschäftsmodellen zu nutzen und stellt seine Expertise aber auch für den Austausch und die Beratung mit der Politik zur Verfügung. Der Text „Tiefe Flexibilität“ wurde von den BDEW-Gremien der Bereiche Handel und Vertrieb beauftragt und begleitet.



Dr. Kirsten Westphal
Mitglied der
BDEW-Hauptgeschäftsführung

Vorwort

Trends kommen und gehen. Manche Trends wirken sich nur kurzfristig aus, andere setzen dauerhafte Veränderungen in Gang. Der Trend zum Einsatz künstlicher Intelligenz wird sich schnell und dynamisch entwickeln. Künstliche Intelligenz hat das Potenzial die die Umbauprozesse in der Energiewirtschaft und damit auch die Energiewende nachhaltig mitzuprägen und zu beschleunigen. Es ist unmöglich, sich dieser Entwicklung zu entziehen. Die steigende Komplexität von Prozessen, Produkten und Kommunikation erfordert den Umgang mit und die Verarbeitung immer größeren Datenmengen. Der Einsatz künstlicher Intelligenz hilft, die Fäden zusammenzuführen und lässt sich für die neuen Herausforderungen weiterentwickeln.

Ein fast perfektes Beispiel dafür ist das Thema Management von Flexibilität in den Wertschöpfungsstufen Energievertrieb und Energiehandel bei Prognose und Bilanzierung. Der Wechsel von einer verbrauchsorientierten Energieerzeugung zu einem erzeugungsorientierten Verbrauch führt in immer kleinteiligeren Erzeugungs- und Abnahmemärkten vom flexiblen Haushalkunden bis

zum Industriebetrieb zur Notwendigkeit weitaus mehr Daten als bisher zu erheben und zu verarbeiten. KI-Systeme sind eine mögliche Lösung, um diese Datenmengen zu bewältigen.

Über Preissignale werden dynamische Tarife das Verbrauchsverhalten oder die Einspeisemengen beeinflussen. Schwer absehbar ist, wie sich die vielen einzelnen von Kunden oder über Home-Energy-Managementsysteme (HEMS) getroffenen Entscheidungen gegenseitig beeinflussen. Regulatorische Eingriffe zur Netzoptimierung wie Redispatch oder die Einbindung steuerbarer Verbrauchseinrichtungen müssen mit Marktsignalen gematcht werden. Externe Faktoren wie zum Beispiel Wetter oder Wirtschaftsindizes kommen dazu. Die zeitnahe Messung und Einschätzung von Verbrauchsprofilen aus unzähligen Daten und deren automatisierte Verarbeitung wird nur mit intelligenten IT-Systemen zu bewältigen sein.

Es ist keine Frage „ob“, sondern nur „wann“ Vertriebsportfolios von einer KI gemanagt werden. Um diese Entwicklung im Energievertrieb und -handel zu antizipieren, bedarf es bereits jetzt strategischer Weichenstellungen. Von der Unternehmensstruktur, der Entscheidung für IT-Systeme und deren Umfang und Einbindung, der weiteren Nutzung von Lastprofilen bis zum HR-Management und vielem mehr stellen sich konkrete Fragen für Mitarbeiter und Führungskräfte in EVU. Das vorliegende kleine Buch soll einen Überblick über die Möglichkeiten und Notwendigkeiten eines Einsatzes künstlicher Intelligenz im Energievertrieb und Energiehandel geben. Gemeinsam mit Praktikern aus den BDEW-Gremien wurden Grundlagen und erste Handlungsmöglichkeiten zusammengefasst. Ich hoffe, dass der BDEW damit einen wertvollen Beitrag zur Diskussion und zur Planung der ersten Schritte der KI-Nutzung in Ihrem Unternehmen liefert.

Viele spannende Einblicke und Spaß beim Lesen.

Inhalt

1. Einleitung	10
2. Künstliche Intelligenz als „enabler“ der Energiewende	12
3. Welche Begriffe sollten Sie kennen?	14
Regressionsmodelle	14
Was ist maschinelles Lernen?	14
Was ist Deep Learning?	15
Reinforcement Learning	15
4. Künstliche Intelligenz hebt Flexibilitätspotentiale	16
5. Mit KI die Zukunft besser verstehen: Prognosen im Einsatz	18
6. KI-Einsatz im Bilanzkreismanagement	20
Anpassung von Lastprofilen	22
Redispatch 2.0	23
Prozessautomatisierung für Messungen und Abrechnungen	24
Prosumer und Flexumer: Steuerbare Geräte	25
Benötigte Ressourcen	26
Vermarktung von Flexibilitäten	27
Sondersituation	28
Schnittstellen zu Netzthemen	30
7. Daten: Die Basis der Künstlichen Intelligenz	32
Technologische Infrastruktur	35

8. Anwendungsfälle Künstlicher Intelligenz	39
Spot-Preisprognose für den Handel und Portfolio-Optimierung	39
Automatisierter Handel	40
Optimierung von Großspeichern durch den Stromhandel	41
Primärregelleistung Container-Terminal Altenwerder	42
KASTEN: Optimierung von Prosumern und Flexumern	43
KI-basiertes Lastmanagement für das Aufladen von Elektrofahrzeugen	44
KASTEN: Industriebetriebe	45
Das Überwinden von Silos: Infrastrukturplanung mit KI ...	46
9. Notwendige Rahmenbedingungen	47
Cybersicherheit	47
Rechtliche Themen	47
Was sollte die Regulierung bereitstellen?	49
10. Wie können sich Unternehmen darauf vorbereiten?	50
Implementierung von KI-Systemen	50
Personalentwicklung	52
Typische Schritte	54
• Vision und Strategie	54
• Organisatorische Vorbereitung	54
• Personalentwicklung: Vorhandene KI-Kompetenz identifizieren	54
• Personalentwicklung: Erarbeitung von KI-Wissen	54
• Systematische Identifizierung relevanter Projekte	55
• Datenbasis erarbeiten	55
• Übersicht zu bekannten KI-Use-Cases in der Energiewirtschaft erstellen	56

1. Einleitung

Systeme auf Basis künstlicher Intelligenz (KI) werden zunehmend als ein weiterer Baustein der Energiewende begriffen, um die benötigte Flexibilität im zukünftigen Stromsystem in ausreichendem Ausmaß zu möglichst geringen Kosten anbieten und steuern zu können. In Kombination mit Automatisierung werden damit auch kleinteilige Verbraucher und Produzenten die Möglichkeit erhalten, an den Flexibilitätsmärkten teilzunehmen. Damit wird die Elektrifizierung von Mobilität und Wärme/Kälte leichter umsetzbar.

Die Zunahme kleinteiliger Erzeugung z. B. Photovoltaik (PV) und steuerbaren Verbrauchs z. B. Elektromobilität und Wärmepumpen machen Nutzung und Anforderungen dieser dezentralen Flexibilitätsquellen und -senken erforderlich – das System muss also tiefere Schichten der Flexibilität adressieren.

Für KI-basierte Lösungen sind Daten von entscheidender Bedeutung: Die Auswertung von Zeitreihen von Produktion und Verbrauch einzelner Anlagen, sowie Zeitreihen von Einflussfaktoren auf Produktion und Verbrauch wie z. B. Windgeschwindigkeiten und Temperatur werden von einem KI-System dazu genutzt, Zusammenhänge zu errechnen, die dann für Prognosen verwendet werden können. Damit gelingt es verlässlichere Prognosen für die Marktpreise zu erstellen, anhand derer das Gesamtsystem gesteuert wird. Die wesentlichen Daten zu Erzeugung und Verbrauch werden im Bilanzkreismanagement gebündelt – daher spielt diese Schnittstelle als Datenquelle auch eine entscheidende Rolle.

Der vorliegende Bericht will den Einsatz von KI in diesem Kontext aufzeigen und anhand von Beispielen illustrieren. Die stärkere Nutzung KI-basierter Lösungen wird dabei Unternehmen vor die

Frage stellen, was sie an KI-Kompetenzen im eigenen Haus aufbauen wollen, was über Kooperationen gelöst und was extern beschafft werden muss. Hier muss jedes Unternehmen eigene Antworten finden, abhängig von der strategischen Ausrichtung und den verfügbaren Ressourcen. Bei allen drei Optionen ist jedoch KI-Know-How im Unternehmen notwendig, um eine fundierte Entscheidung zu fällen. Der Wunsch nach stärkerer Nutzung von KI macht dabei u. U. bereits bestehende Mängel und Ressourcenknappheiten nochmals deutlicher.

Die Unternehmen in der Energiebranche stehen mit der Implementierung von KI-basierten Lösungen auch vor neuen Herausforderungen bei der Implementierung unter Beachtung der vorhandenen Rahmenbedingungen. Auch hier wird die Personalentwicklung bei angespannten Arbeitsmärkten bedeutsam werden. Umso bedeutender ist daher die Nutzung vorhandener KI- und Datenanalyse-Kompetenzen im Unternehmen.

Die stärkere Nutzung von KI-Verfahren sollte dabei nicht als klassische Einführung neuer Werkzeuge verstanden werden. KI kann vor allem dann Stärken entwickeln, wenn sie bereichsübergreifend eingesetzt werden kann – was aber u. U. neue organisatorische Aufstellungen erforderlich macht. Damit wird aber auch ein gewisser Bedarf an experimentieren mit dem neuen Werkzeug erforderlich sein.

Künstliche Intelligenz ermöglicht es am Ende, dass Handel und Vertrieb sich weiter entwickeln können: im Handel können durch Zugriff auf verbesserte Prognosen und Nutzung von Automatisierung neue Betätigungsfelder erschlossen werden, dem Vertrieb eröffnet KI die Möglichkeiten, individuellere Angebote für Kunden zu erstellen.

2. Künstliche Intelligenz als „enabler“ der Energiewende

Der Zubau intermittierender Erzeuger im Rahmen der Energiewende führt zu einem hohen Bedarf an Prognose und Steuerung. Gleichzeitig verändert sich die Rolle des Stromverbrauchers hin zu *Prosumern*¹ und *Flexumern*². Damit wächst die Menge an relevanten Daten bei Erzeugung und Verbrauch, um das System besser zu verstehen. Die raschen Änderungen im Gesamtsystem erfordern den Einsatz lernender Analysen, damit sich die Akteure an die permanent ändernden Gegebenheiten anpassen können. Flexibilität muss zudem schneller gesteuert werden, was bei kleinteiliger Erzeugung und Verbrauch nur mit stärkerer Automatisierung möglich ist. Ein strombasiertes System wird auch neue Risiken beherrschen müssen, wie z. B. eine Nachfragespitze bei Wärmepumpen bei einer Kältewelle.

Künstliche Intelligenz (KI) kann mittels Prognosen für Preise und Bedarf bei der Beschaffung unterstützen – Energieunternehmen für ihre Stromportfolien und Industrieunternehmen für den Verbrauch. Die Lernfähigkeit von KI kann bei diesen Prognosen wertvolle Dienste leisten und sogar Teile der Beschaffung automatisieren. Das wird im Hinblick auf die stark wetterabhängigen Schwankungen bei Angebot und Nachfrage von Strom zunächst vor allem auf den Systemdienstleistungs- und Kurzfristmärkten eine starke Rolle spielen.

KI ist für Handel und Vertrieb nicht nur ein notwendiges Werkzeug, um mit den stark wachsenden Datenmengen zurecht zu kommen, sondern auch ein Weg, effizienter zu werden. Das hilft zum einen die Transaktionskosten zu senken, im Idealfall aber auch mehr Freiraum

¹ Unter einem Prosumer verstehen wir einen Stromverbraucher, der am Verbrauchsort dezentral Strom erzeugt z. B. durch Solarmodule.

² Unter einem Flexumer verstehen wir einen Stromverbraucher, der seinen Verbrauch zeitlich anpassen kann, z. B. durch Batterien.

für die Mitarbeiter zu schaffen, da bestimmte Tätigkeiten durch die KI erledigt werden können. Das ist in Zeiten des Fachkräftemangels ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

Allerdings ist der Optimierungsfokus nicht der einzige Treiber. KI sollte auch als Werkzeug zur Umsetzung neuer Geschäftsmodelle verstanden werden und damit zu einem Innovationsvorteil führen. Handel und Vertrieb mit ihren Kundenkontakten stehen dabei vor besonders großen Chancen, da nun digitale Produkte in Handel und Vertrieb entwickelt werden können, welche die Konsequenzen der Energiewende zu Vorteilen für die Nutzer im Alltag transformieren. Mit lernfähigen Lösungen können die notwendigen Änderungen bei der Energiewende rascher und stabiler vorstattengehen. Mit KI kann auch der Spagat gelingen, kundenspezifische Produkte zu schaffen, die standardisiert abgewickelt werden können. Erkennt der Kunde in den digitalen Produkten einen permanenten Vorteil im Alltag, wird auf dieser Basis der Markt gestaltet, auf den das Unternehmen dann reagiert. Die Wertschöpfungskette dreht sich also in gewisser Weise um – und der höchste Beitrag zur Wertschöpfung entsteht in schöner Regelmäßigkeit an der Nutzerschnittstelle. Digitale Produkte haben generisch nur eine sehr begrenzte Nutzungsdauer – lernfähige Produkte haben allerdings das Potential einer längeren Nutzungsdauer. Die Energiewende als Projekt mit sehr langen Investitionszeiträumen kann zudem als „*messy transition*“³ aufgefasst werden. Konsequenterweise sind auch hier selbstlernende Systeme von großem Vorteil, da sie sich an neue Bedingungen sehr rasch anpassen können.

³Die Generalsekretärin des World Energy Council Angela Wilkinson prägte den Ausdruck in einem Interview mit New Power, WEC's Angela Wilkinson on the need for a „messy“ transition, 25 May 2023.

3. Welche Begriffe sollten Sie kennen?

Die internationale Organisation für Normung (ISO) definiert Künstliche Intelligenz wie folgt: „KI ist ein Zweig der Informatik, in dem Modelle und Systeme Aufgaben übernehmen, die normalerweise nur mit menschlicher Intelligenz zu bewältigen sind. Dazu gehören Argumentation, Lernen und eigenständige Entwicklung.“

Regressionsmodelle

Regressionsmodelle⁴ schätzen auf Basis unabhängiger Variablen (z. B. Temperatur, Tageszeit) eine bestimmte Zielgröße ab z. B. Stromverbrauch. Diese Modelle stellen meist einen ersten Schritt in Richtung KI dar – darüber hinaus kommt man mit sogenannten Klassifikationsmodellen, bei denen auf Basis eines Datensatzes, der für das Training verwendet wird, eingegebene Datenpunkte bestimmten Gruppen zugeordnet wird. Ein Beispiel für Klassifikation ist die Kreditwürdigkeit eines Kunden basierend auf dessen Transaktionshistorie.

Was ist maschinelles Lernen?

Maschinelles Lernen basiert auf Algorithmen, welche anhand von Daten trainiert werden. Die Algorithmen können lernen, Vorhersagen und Empfehlungen erstellen, indem sie Daten und Erfahrungen verarbeiten und nicht aufgrund expliziter Programmieranweisungen. Damit können sich die Algorithmen auch kontinuierlich an neue Daten und Erfahrungen anpassen und werden so stetig besser. Anwendungen im Stromsystem können damit den Änderungen bei Erzeugung (z. B. neue PV-Anlagen) und Verbrauch (z. B. Wärmepumpen) durch wiederholtes Lernen mit neuen Messdaten folgen. Die Software-Basis ist oft ein sogenanntes künstliches neuronales Netz (alternativ statistische Methoden).

⁴FFE, Vorhersagen in der Energiewirtschaft – Vergleich von konventionellen Machine Learning Methoden und Deep Learning, 23. Oktober 2023, <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/vorhersagen-in-der-energiewirtschaft-vergleich-von-konventionellen-machine-learning-methoden-und-deep-learning/>

Was ist Deep Learning?

Bei komplexeren künstlichen neuronalen Netzen spricht man gerne von Deep Learning. Damit kann ein breiteres Spektrum an Datenressourcen verarbeitet werden z. B. Text und Bild. Zumeist erfordert es weniger menschliches Eingreifen und liefert oft präzisere Ergebnisse.

Reinforcement Learning

Beim Reinforcement Learning beobachtet ein Agent die Umgebung und wählt eine Aktion, die er nach der Beobachtung der gegebenen Situation für angemessen hält. Die Umgebung schickt dann ein Feedbacksignal, das als Belohnung dient und diese Aktion mit einem Wert versieht. Es wird also durch Versuch und Irrtum gelernt. Im Gegensatz zu den üblichen KI-Verfahren sind hier zu Beginn keine Daten nötig, durch die Trainingsdurchläufe werden die benötigten Daten erzeugt und ausgewertet.

Interessante Anwendungsfälle für Künstliche Intelligenz erfüllen meist folgende Kriterien:

- › Hohe Fallzahlen: erfolgreiches Lernen bzw. Trainieren einer Künstlichen Intelligenz gelingt umso besser, wenn ausreichend Trainingsfälle vorhanden sind.
- › Datenbasiert: die Trainingsfälle können mit einer Datenbasis gut beschrieben werden und es stehen ausreichend Trainingsdaten zur Verfügung.
- › Hohe Kosten: KI ist ein interessanter Lösungsansatz für Prozesse, die hohe Kosten verursachen bzw. mit großem Transaktionsaufwand verbunden sind.
- › Komplexität: der Einfluss von Entscheidungsparametern ist nicht explizit definiert bzw. nur sehr wenig strukturiert (denn dann könnte man Regeln direkt programmieren).

4. Künstliche Intelligenz hebt Flexibilitätspotentiale

Die Energiewende mit ihrem Fokus auf dezentrale und erneuerbare Erzeugung führt zu einem komplexeren System mit höherem sofortigen Steuerungsbedarf. Während in konventionellen Systemen eine geringe Anzahl von Großkraftwerken die Stromproduktion bewerkstelligt, wird das künftige System durch Millionen von Wind- und PV-Anlagen gekennzeichnet sein. Die schiere Anzahl und die fluktuierende Einspeisung führen zu einem höheren Koordinationsaufwand, der nur noch mit einem hohen Maß an Automatisierung bewältigt werden kann. Die Komplexität auf Seiten der Verbraucher nimmt ebenso zu: die Elektrifizierung von Mobilität und Wärme/Kälte führt zu mehreren Millionen weiterer Verbraucher im System, deren relativ hoher Strombedarf ebenso koordiniert und mit dem fluktuierenden Stromdargebot in Einklang gebracht werden muss. Bei dieser komplexen Aufgabe in einem sich stetig wandelnden System eröffnet Künstliche Intelligenz einen neuen Lösungsansatz.

Ein Szenario des Thinktanks Agora Energiewende – das in Bezug auf Elektrifizierung und Ausbau an Infrastruktur recht optimistisch ist – geht davon aus, dass die Leistung der Heimspeicher und rückspeisefähigen Autobatterien in Deutschland bereits Ende der 2020er Jahre die Pumpspeicher-Leistung überflügeln wird. Zur Systemstabilität können diese Flexibilitäten jedoch nur beitragen, wenn sie gesteuert werden können, z. B. durch Marktpreise auf dem Regelleistungsmarkt. Damit dies ohne Komfortverlust für die Haushalte möglich ist, kann KI eine optimierte Nutzung der Flexibilität vorschlagen, welche dann durch Handel und Vertrieb umgesetzt wird.

Unternehmen der Energiebranche erwarten durch Nutzen von KI und Automatisierung Wettbewerbsvorteile durch Innovation, verbesserte Prognosen, bessere Marktintegration von Flexibilitäten und Warnhinweise bei Grenzwertverletzungen.

Der Bedarf an KI-basierten Lösungen wird dabei vor allem durch die Geschwindigkeit der Änderungen auf der Verbrauchsseite im Gesamtsystem getrieben z. B. der Ausbau von Wärmepumpen. Während Prognosen auf der Erzeugungsseite im Wesentlichen durch Wetterdaten und technische Parameter getrieben werden, kommt auf der Verbrauchsseite die Entscheidungsfreiheit der Kunden bei der Nutzung hinzu. Insofern kann erst durch Analyse des Verhaltens einer ausreichend großen Menge von Kunden gelernt werden, wie sich äußere Parameter z. B. Temperatur auf das Nutzerverhalten auswirkt – und durch weiteres Lernen, wie sich das Nutzerverhalten verändert z. B. als Reaktion auf Preissignale. Erreicht also die installierte Kapazität an Wärmepumpen und Elektroautos – als die typischen neuen Fälle für Flexibilitätpotentiale – eine relevante Größenordnung am Systemdienstleistungsmarkt, kommt man um Künstliche Intelligenz bei Prognosen nicht mehr umhin.

Die benötigte Reaktionsgeschwindigkeit auf dem Regelleistungsmarkt wird vor allem durch die sogenannte gate closure time (GCT)⁵ bestimmt. In Finnland wird seit geraumer Zeit mit einer GCT von null Minuten gearbeitet, statt bisher sechzig Minuten. Auch damit wächst der Druck, möglichst automatisierte Verfahren zu nutzen, um die Reaktionsgeschwindigkeit der Akteure auf dem Regelleistungsmarkt zu erhöhen.

⁵Bis zu diesem Zeitpunkt dürfen pro Prozessphase Fahrplanänderungen vom BKV gesendet werden. Der Abstimmprozess zwischen zwei Regelzonen beginnt mit der GCT.

5. Mit KI die Zukunft besser verstehen: Prognosen im Einsatz

KI-Anwendungen werden seit geraumer Zeit im Bereich der Prognosen untersucht z. B. für die Stromerzeugung aus Erneuerbaren oder für Marktpreise im Handel.⁶ Das ist auch bedingt durch eine gute Datenlage, da von Unternehmen betriebene Wind- und Solaranlagen dank SCADA mit Zeitreihen erfasst werden. Ebenso existieren dank lokaler Sensorik auch Zeitreihen zu Wetterdaten oder mittels intelligenter Messsysteme von Verbrauchsdaten. Somit gibt es bereits etliche Softwarelösungen, die vor allem zu einer besseren Marktintegration im day-ahead- und intraday-Markt führen. Für den Handel bedeutet das auch eine Verringerung des Regelenergiebedarfs, da die schwankende Produktion erneuerbaren Stroms sowohl genauer als auch mit größerem zeitlichem Vorlauf prognostiziert werden kann.

Für steuerbare Erzeugung oder für Speicher sind darüber hinaus noch Strompreisprognosen relevant, welche dem Handel einen optimierten Einsatz und automatisierte Umsetzung von Gebotsstrategien ermöglichen. Bei dargebotsabhängiger Erzeugung (z. B. Wind oder PV) kann die Abschaltung bei negativen Strompreisen erfolgen. Bei dargebotsunabhängiger Erzeugung z. B. konventioneller Kraftwerke kann der Anlagenbetrieb auf Basis der Preisprognose optimiert werden. Für diese Prognosen werden auf der Datenseite Zeitreihen zu Spotpreisen für Strom und Brennstoffen benötigt. Einfachere KI-Modelle basieren auf Regression und benötigen typischerweise weniger Trainingsdaten. Dank der sehr guten Datenlage werden jedoch zunehmend anspruchsvollere Verfahren, wie maschinelles Lernen, genutzt.

⁶ Frederik vom Scheidt et al., Data analytics in the electricity sector – A quantitative and qualitative literature review, Energy and AI 1 (2020) 100009

Im Zusammenhang mit automatisiertem Handel wird oft das Problem eines „Flash Crash“ adressiert, d. h. starke Preisschwankungen, die nur wenige Minuten andauern: gleiche Programme reagieren simultan auf gleiche Eingabedaten und lösen starke Preisbewegungen aus. Bei Flexibilitätsmärkten steht die physische Erfüllung im Vordergrund, insofern sind die Positionen in Bezug auf Angebot und Nachfrage limitiert, womit derartige Ereignisse nur sehr begrenzt durchschlagen würden. Auf Terminmärkten ist das Potential höher: einige Börsenplätze in den USA haben daher Handelsstopps als Konsequenz auf zu starke Preisbewegungen eingeführt.

Das Thema algorithmisch verstärkter Marktbewegungen sollte ernst genommen werden: KI-Systeme lernen aus historischen Daten, die überwiegend aus relativ ruhigen Marktsituationen stammen. Insofern sollte man nicht die Erwartung haben, dass ein KI-System bei einem enorm angespannten Markt oder in politischen und ökonomischen Stresssituationen besonders gut agieren und reagieren wird. Die Interaktion ähnlicher KI-Systeme, die in einem derartigen Marktumfeld aufeinandertreffen, kann zudem verstärkend wirken („negative Rückkopplung“). Ein Beispiel dafür waren die FICO-Scores als Maß für die Kreditwürdigkeit einer Person. In den Corona-Lockdowns kam es zu deutlichen Änderungen beim Kaufverhalten. Da die FICO-Scores auf historischen Daten aus relativ ruhigen Wirtschaftsperioden basieren, wurden die Änderungen im Ausgabeverhalten falsch gedeutet und führten zu Fehlinterpretationen bei der Kreditwürdigkeit. Daher müssen präventiv Leitlinien und Kriterien festgelegt werden, die die Risiken einer extremen Marktbewegung verhindern. Diese Kriterien müssen technisch umgesetzt werden, damit der KI Grenzen gesetzt sind. Schließlich müssen automatisierte Handelssysteme – wie auch jeder menschliche Händler – im Rahmen eines soliden Risikomanagements überwacht werden.

6. KI-Einsatz im Bilanzkreismanagement

Der Bilanzkreis als kleinste Einheit des Energiemarktmodells ist ein Energiemengenkonto. Auf diesem Konto soll sich eingespeister und ausgespeister Strom im Gleichgewicht befinden. Der Bilanzkreis erlaubt das Abwickeln von Handelsgeschäften. Die operative Umsetzung der Bewirtschaftung eines Bilanzkreises erfolgt durch das Fahrplanmanagement. Abweichungen zwischen ein- und ausgespeisten Energiemengen führen zu Ausgleichsenergiekosten, die so gering wie möglich zu halten sind. Typische Aufgaben umfassen:

- › Prognose von Ein- und Ausspeisung,
- › Abwicklung der Bilanzkreisregistrierung,
- › Bilanzkreisführung gemäß aller gültigen Richtlinien und Verordnungen,
- › Bilanzkreisabrechnung gemäß Marktregeln für die Durchführung der Bilanzkreisabrechnung Strom (MaBiS),
- › Energiedatenmanagement (EDM),
- › Dispatch und Redispatch,
- › Portfolio- und Residualprofilvermarktung.

Durch Automatisierung und mittels Künstlicher Intelligenz kann eine Software für das Bilanzkreismanagement möglichst präzise Prognosen für Verbrauch und Produktion erstellen, vor allem für den nächsten Lieferzeitraum von 15 Minuten. Benötigte Prognosen wären unter anderem Wettervorhersage, Last- und Strompreisprognosen, Einspeiseprognosen für Strom aus Sonne- und Windanlagen oder Prognosen zu variablen Stromspeichermöglichkeiten.

Sowohl zur Erfassung des Ist-Zustandes als auch für die Abrechnung werden Messdaten benötigt, die dann in ihrer Gesamtheit auch zu weiteren Trainings der KI genutzt werden können. Intelligente Messsysteme werden die Verbrauchsdaten liefern – sowohl von bestehenden privaten Haushalten als auch von neuen Verbrauchertypen z. B. Ladesäulen. Haushalte mit Eigenerzeugung werden mit ihren Messdaten auch zunehmend dem Gesamtsystem helfen einen guten Überblick über die vorhandenen Strommengen zu erhalten.

Der große Vorteil einer KI-basierten Lösung für das Bilanzkreismanagement ist die kontinuierliche Adaption: jeder Zubau an neuer Erzeugung oder an neuem Verbrauch, jede Verhaltensänderung von Nutzern führt zu einer Veränderung in den Messdaten. Trainiert man die KI nun mit den neuen Messdaten, werden alle diese Änderungen berücksichtigt. Informationen über zukünftige Änderungen, die (nahezu) sicher stattfinden z. B. Zubau kurz vor Fertigstellung, können in einem Training ebenso berücksichtigt werden. Sondersituationen z. B. Lockdowns können besser bewertet werden, wenn Messdaten aus einer bereits erlebten Krise genutzt werden können. Allerdings sind Abweichungen vom Normalzustand auch für eine KI schwer zu bewerten, wenn für diese Abweichung kein historischer Datenbestand existiert.

Für das Trainieren einer KI benötigt man alle Daten, welche Stromproduktion und -verbrauch beeinflussen. Zu Beginn kann man hier vor allem auf Wetterdaten, Feiertagskalender und Kraftwerksverfügbarkeiten zurückgreifen, mit zunehmender Verfeinerung werden auch Vorhersagen zur Bewölkung genutzt werden können. Dabei sollten die Zeitreihen einige Jahre abdecken, um eine ausreichende Datenbasis zu haben. Die Hinzunahme weiterer Datensätze z. B. Informationen zu Verbrauchern, kann die Prognosefähigkeit der KI verbessern – da diese in der Lage ist, auch sehr komplexe Zusammenhänge aufzudecken. Die Qualität der Datensätze ist dabei immer von großer Bedeutung: aus fehlerhaften Daten kann man nichts lernen.

Anpassung von Lastprofilen

Das vertriebliche Bilanzkreismanagement wird vor allem durch die beiden Risikofaktoren Prognosegüte und Ausgleichsenergie getrieben. Haushaltskunden und kleine bis mittelgroße Gewerbeunternehmen stellen in Bezug auf die Anzahl meistens den Löwenanteil an Energieabnehmern im Bilanzkreis. Allerdings sollen bis 2030 ca. 15,4 Millionen Einbaufälle für intelligente Messsysteme realisiert werden⁷. Damit besteht in den nächsten Jahren ein hohes Potential für eine ZSG⁸-Bilanzierung. Je mehr Einbaufälle für ein intelligentes Messsystem realisiert werden, desto größer wird daher das ZSG-Potential.

Vertriebe dürften sich in Zukunft verstärkt der Aufgabe widmen auf Basis ihrer Kundendaten eigene Lastprofile für bestimmte Segmente zu erstellen und das als Wettbewerbsvorteil zu begreifen – zumindest für die Kunden mit einer ZSG-basierten Abrechnung. Das Verbesserungspotential ist dabei beträchtlich: Die TU-Graz – in Österreich werden ebenso die Standardlastprofile (SLP) des VDEW genutzt – stellte bereits 2014 bei einer Analyse von 2.500 Smart-Meter Messungen bei Privathaushalten Abweichungen von über 50 % fest zwischen dem SLP und dem tatsächlichen Lastprofil. Die voranschreitende Elektrifizierung der Haushalte sowie weitere Änderungen im Nutzerverhalten dürften die Abweichungen nochmals verstärken z. B. mehr Single-Haushalte oder stärkere Nutzung von Home-Office. Dazu kommen externe Faktoren, welche in Zukunft die Lastprofile weiter verändern werden wie z. B. die Nutzung von Elektromobilität oder Wärmepumpen. Die SLP im Gewerbe haben ebenso in der Vergangenheit große Änderungen erfahren z. B. durch Änderungen der Ladenschlusszeiten. Die Nutzung von Energiemanagementsystemen als Folge strengerer Energieeffizienzanforderungen führen hier neben anderen Gründen zu Abweichungen vom tatsächlichen Lastgang.

⁷ Technische Eckpunkte für die Weiterentwicklung der Standards für die Digitalisierung der Energiewende – Entwurf Version 0.9. Berlin, Bonn: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2021

⁸ ZSG = Zählerstandsgangmessung: die Messung einer Reihe viertelstündig ermittelter Zählerstände von elektrischer Arbeit.

Eine Hauptschwierigkeit bei der Aktualisierung der SLP bestand lange Zeit im dafür benötigten Datenbedarf und der Datenbeschaffung. Durch den inzwischen begonnenen Rollout und der wachsenden Nutzung intelligenter Messsysteme hat sich die Situation diesbezüglich verbessert, wenn auch in unterschiedlichem Maße für typische Verbrauchsgruppen. Mit diesen nun verfügbaren Daten können KI-Systeme trainiert werden. Auf dieser Grundlage kann nun die Genauigkeit von Lastprofilen verbessert werden, was zu geringeren Kosten bei der Ausgleichsenergie führt. Da intelligente Messsysteme die Kosten der Datenbeschaffung deutlich reduzieren und die Datenverfügbarkeit deutlich wächst, können die Lastprofile der Kunden kontinuierlich aktualisiert werden, was bei raschem Aufwuchs strombasierter Lösungen wie Elektromobilität oder Wärmepumpen die Prognosequalität verbessern wird. Diese Lastprofile können dann auch für Kunden ohne intelligente Messsysteme genutzt werden.

Zeitlich dynamische Tarife sind als Datenquelle zur Bestimmung neuer Lastprofile ebenso relevant, zumal hier auch Informationen zu Preisreaktionen auf der Kundenseite enthalten sind. KI eröffnet dabei sogar noch erheblich weitere Verbesserungen: Einflussfaktoren wie Region, Wochentag, Abfolge von Feiertagen, Schulferien können mittels Machine Learning identifiziert und gewichtet werden. Die neuen Lastprofile werden damit um weitere Parameter ergänzt, was die Prognosegüte nochmals verbessert. Inwiefern sich dadurch tatsächliches Verbrauchverhalten ändert, bleibt abzuwarten.

Redispatch 2.0

Mit Redispatch 2.0 werden stärkere regulatorische Anforderungen an alle Akteure gestellt, die am Bilanzkreismanagement beteiligt sind. Eine bessere Prognosequalität bei der Last kann helfen, Redispatch in geringerem Maße aufzurufen, womit die Brücke zur künstlichen Intelligenz geschlagen ist. Die Datenlage auf Seiten der Erzeugung

und Netzelemente ist im Normalfall wesentlich besser als auf der Verbrauchsseite. Allerdings erfolgt zumindest bei Großverbrauchern die Messung des Stromverbrauchs im Viertelstundenraster, so dass bei vorhandener Lasthistorie eine KI-Prognose trainiert werden kann.

Damit einher geht auch eine Verlagerung und Erhöhung der anfallenden Datenmengen: Schätzungen gehen davon aus, dass im künftigen Energiesystem rund 90 % der Bruttostromerzeugung im Verteilnetz und dort aus dezentralen Erneuerbaren-Anlagen anfallen wird, während rund 10 % im Übertragungsnetz eingespeist wird.

Technische Voraussetzung auf der Anlagenseite müssen dafür geschaffen sein, z. B. benötigt seit April 2019 jede Erzeugungseinheit einen sogenannten Parkregler. Der Parkregler überwacht und regelt die Einspeisung aller BHKW-, PV-, und Wind-Energieanlagen am Netzanschlusspunkt. Bei Bedarf können Befehle an den Parkregler versendet werden, damit die Anlage einen Beitrag zur Spannungsstabilität im Netz leisten kann. Im Falle einer Netzüberlastung wird über den Parkregler als letztes Mittel die Einspeiseleistung begrenzt.

Prozessautomatisierung für Messungen und Abrechnungen

Der Messstellenbetrieb bietet ebenso wie Abrechnungen als wohldefinierter Standardprozess ein sehr hohes Potential zur Automatisierung. Datenschutzerfordernisse müssen dabei beachtet werden und Kundendaten damit gegen unbefugten Zugriff geschützt werden. Die wachsende Datenmenge als Folge des intelligenten Messsysteme-Rollouts wird zu einer deutlich steigenden Automatisierung bei den Messprozessen führen. Zugleich werden damit die Datenmengen gewonnen, welche für KI-Anwendungen wie intelligentes Laden von Elektrofahrzeugen oder Bereitstellung von Flexibilität benötigt werden.

Das zur Verfügung stellen von Daten muss allerdings vertraglich geregelt werden, damit die Datennutzung ermöglicht wird. Das kann u. U. zu Akzeptanzproblemen führen.

Prosumer und Flexumer: Steuerbare Geräte

Prosumer und Flexumer sind neue Rollen, die von Haushaltskunden in zunehmendem Maße wahrgenommen werden. Die zunehmende Elektrifizierung bei Mobilität und Wärme/Kälte wird zu einem weiteren Zuwachs an Bedeutung führen. Bislang sind steuerbare Geräte in diesem Kundensegment noch wenig verbreitet – wenn man von PV-Systemen mit Heimspeichern absieht. Der Zubau intelligenter Messsysteme wird hier Abhilfe schaffen. Bei Gewerbe, Handel und Dienstleistungen kann die Nutzung steuerbarer Geräte schneller erfolgen, da hier auch mit größeren ökonomischen Vorteilen gerechnet wird. KI kann zur Steuerung einzelner Geräte genutzt werden, z. B. zur Steigerung des Eigenverbrauchs oder zur Bereitstellung von Flexibilität basierend auf Preisprognosen.

Zur Umsetzung dieser Anwendung beim System PV/Heimspeicher sind kleinere Voraussetzungen zu Beginn nötig, wie das intelligente Messsystem, Sensoren zur Erfassung der Betriebszustände der steuerbaren Geräte, ggf. externe Daten wie Wetter. Unter Umständen sind auch Verträge nötig zur Datenübermittlung oder Datenverarbeitung. Als weiteren Ausgangspunkt benötigt man die historischen Bewegungsdaten des Haushalts und technische Spezifikationen von PV-Anlage und Speicher. Zudem muss noch ein Optimierungsziel festgelegt werden z. B. maximale Bereitstellung von Flexibilität, Maximierung des Eigenverbrauchs oder Kostenreduktion. Das Optimierungsziel ist eine sehr individuelle Entscheidung eines jeden Haushalts, welches von einer KI-basierten Lösung sehr flexibel und individuell erfasst wird. Ändern sich die Präferenzen in einem Haushalt im Laufe der Zeit

z. B. durch den Auszug eines Kindes, lernt die KI aus den veränderten Messdaten und passt sich an die neue Situation an.

Das KI-System lernt im Training den Zusammenhang zwischen der PV-Stromproduktion und den Wetterdaten und analysiert die Treiber bei den Verbrauchsdaten. Damit ist es nun für die Aufgabe gerüstet, das Be-/Entladen des Speichers optimal an den Stromverbrauch im Haushalt anzupassen. Werden bei den Trainings auch noch Preisinformationen berücksichtigt, kann bei der Ladeoptimierung auch noch die Flexibilitätsoptimierung berücksichtigt werden.

Vermarktung von Flexibilitäten

Erneuerbare werden u. a. mittels Lastfolge („demand response“) und Speichern zunehmend stärker in das Gesamtsystem integriert, wobei die Steuerung des komplexen Systems auf Basis von Marktpreissignalen erfolgen wird: im Jahr 2030 soll das Stromsystem erzeugungsseitig aus etwa 215 GW PV-Anlagen und 115 GW Windanlagen⁹ bestehen, verbrauchsseitig werden etwa 15 Mio. Elektrofahrzeuge¹⁰ und 6 Mio. Wärmepumpen¹¹ erwartet. Zeitlich dynamische Tarife können bei Haushalten zur Steuerung eingesetzt werden, müssen aber auch auf der Kundenseite auf Akzeptanz treffen.¹² Auf Großverbraucherseite und auch für Großspeicher werden die Marktpreissignale unmittelbar wirken. Bei kleineren Kunden geschieht die Vermarktung der Flexibilität durch Aggregatoren, welche aus kleinteiligen Flexibilitäten ein Portfolio bilden und den Zugang zum Großhandelsmarkt als Dienstleistung anbieten. Insbesondere leistungsstarke Anlagen wie Wärmepumpen oder Elektroautos könnten damit in Summe interessante Beiträge liefern. In Märkten mit hohen Anteilen dynamischer Tarife nutzen Haushalte diese Flexibilität¹³ als Reaktion auf Marktpreissignale.

⁹ Laut Ausbaupfad EEG 2023

¹⁰ Laut Koalitionsvertrag 2021

¹¹ Werkstattbericht des BMWK „Wohlstand klimaneutral erneuern“ vom 9. März 2023

¹² Ab dem 1. Januar 2025 sind Energieversorger verpflichtet, zeitvariable oder dynamische Tarife einzuführen.

¹³ Matthias Hofmann, Karen Byskov Lindberg, Evidence of households' demand flexibility in response to variable hourly electricity prices – Results from a comprehensive field experiment in Norway, Energy Policy, Volume 184, 2024, 113821, ISSN 0301-4215.

KI-basierte Lösungen können genutzt werden, um den Herausforderungen durch Gleichzeitigkeit bei den Verbrauchsrampen zu begegnen z. B. bei nahezu gleichzeitigem Einschalten von Wärmepumpen. Einen möglichen Ansatz bietet hier verteilte KI, d. h. die Kooperation mehrerer intelligenter Agenten, um dadurch auf das Gesamtsystem stabilisierend und schnell einzuwirken.

Öffentliche Ladestationen mit längeren Ladezeiten können mittels KI ebenso optimiert werden, wobei eine etwaige Nutzung von Flexibilität sehr unterschiedliche Formen annehmen kann. Bei einer Ladestation am Arbeitsplatz kann dabei mit deutlich längeren Standzeiten gerechnet werden als bei Parkgaragen in der Innenstadt. Darüber hinaus werden Lösungen hier auch von der Portfoliogröße an Ladestationen abhängen.

Für den Stromhandel kann KI damit bei der Preisprognose als auch bei der Prognose von Verbrauch und verfügbarer Flexibilität genutzt werden, um den Anlagenbetrieb wirtschaftlich zu optimieren.

Benötigte Ressourcen

Anhand der Prognosen-Erstellung für die Verbrauchsdaten kann man grob den Ressourcenbedarf vergleichen. Bei einer inhouse-Lösung (ggf. mit externer Beratung für Wetterprognosen etc.) wird die technologische Infrastruktur benötigt (Server) und Personal (Dateninfrastruktur, Datenanalyse, Fachleute für Prognosen). Neue Prozesse müssen aufgesetzt werden, damit Erfahrung gesammelt und darauf basierend optimiert werden kann. Bei einer Lösung, die stark auf externe Dienstleister setzt, sind die Aufgaben deutlich reduzierter: Bereitstellung historischer Daten und Überwachung der Erfordernisse des Datenschutzes. Operative Kosten fallen hier vor allem an in Bezug auf die erbrachten Dienstleistungen z. B. Prognosen.

Aus Unternehmenssicht wird die Entscheidung bezüglich der Ressourcen auch stark davon beeinflusst, ob bestimmte Themen zur Differenzierung im Wettbewerb dienen. Die deutschlandweite Prognose von PV- und Windstromproduktion dürfte hier nicht unbedingt dazu gehören, während Prognosen für Haushalte, Prosumer und Flexumer aus vertrieblicher und aus Handelssicht interessante Perspektiven eröffnen, sei es zur Senkung von Ausgleichsenergiekosten oder im Rahmen von Dienstleistungen für den Kunden.

In diesen Anwendungsfällen werden u. U. diverse KI-Systeme miteinander kommunizieren müssen, da der Verbrauch von einer KI des Haushalts gesteuert wird, während das System PV/Heimspeicher von einer Aggregator-KI im Stromhandel gesteuert werden kann, welche auch den Marktzugang ermöglicht.

Haushalte verbrauchen rund 28 % der Energie in Deutschland¹⁴, sind aber naturgemäß sehr unterschiedlich, so dass Standardansätze nicht immer zielführend sind. KI erlaubt aber, nutzerangepasste individualisierte Lösungen, die sich zudem immer wieder an neue Gegebenheiten anpassen können, z. B. Ladeprofile abhängig von Sonneneinstrahlung und Berufstätigkeit (Home-Office vs. Pendeln), Heizprofile (Home-Office, Schulferien), Erkennen von Mustern bei der Energienutzung und daraus folgend, automatisierte Einstellungen.

Sondersituationen

KI kann nicht nur bei Standardprozessen helfen, sondern auch bei Sondersituationen, die sich z. B. durch ein neues Gesetz ergeben. Die Neuregelung zur Integration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und steuerbaren Netzanschlüssen nach § 14a Energiewirtschaftsgesetz sieht vor, dass Netzanschlüsse für Verbrauchseinrichtungen vereinfacht und beschleunigt werden z. B. Wärmepumpen und Wallboxen. Dafür sollen reduzierte Netzentgelte angewendet werden. Im Gegenzug dafür müssen diese Anlagen eine temporäre

¹⁴ Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren, Daten für 2022, Umweltbundesamt vom 19.01.2024

Begrenzung ihrer Leistung bei hoher Netzauslastung zulassen, also steuerbar gemacht werden.

KI-Tools können nun zum einen auf Basis der bisherigen Zubaudaten eine Prognose über den künftigen Ausbau erstellen. Damit wird zumindest ein Lagebild erstellt, auf dessen Basis man weiterarbeiten kann. Ggf. kann es auch zu einer pro-aktiven Kundenansprache genutzt werden, um mit den Interessenten Anschlusszeitpunkte zu vereinbaren.

Das Verteilnetz steht in Deutschland generell vor großen Herausforderungen, da zunehmend mehr fluktuierende Erzeugung aus Wind und PV auf VNB-Ebene zugebaut wird, und gleichzeitig die Sektorenkopplung bei Haushalten zu höherem und saisonal stärker schwankendem Stromverbrauch führen wird. Damit wird eine gute Erfassung des Ist-Zustandes wesentlich.

In einer idealen Welt würden nun alle Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen mit Messgeräten ausgestattet werden, um stets eine vollständige Kenntnis über das Stromsystem zu erhalten. Das ist jedoch aus mehreren Gründen unrealistisch – zumindest für eine Übergangszeit: eine Nachrüstung bestehender Anlagen mit Sensorik ist mit hohem Aufwand verbunden, die dabei entstehenden Datenmengen sind schwer bewältigbar (und müssen auch transferiert werden können), und die Umrüstung erfordert eine gewisse Zeit. Während die ersten beiden Punkte im Laufe der Jahre durch Kostensenkung und technologischen Fortschritt weniger relevant werden, verbleibt der dritte Punkt als wesentliches operatives Hemmnis. Damit muss man für eine Periode ungewisser Länge mit Schätzungen der Produktions- und Verbrauchssituation auf Basis der vorhandenen Sensorik arbeiten. KI-Modelle sind auch mit dieser (imperfekten) Ausgangsbasis in der Lage, das Verhalten des Stromsystems zu prognostizieren. Mit einem stetigen Lernen

– basierend auf den täglich hinzugewonnenen Daten – werden die Veränderungen im Verteilnetz kontinuierlich mitgenommen und können mit Prognosen zum künftigen Anlagenausbau auch die perspektivische Entwicklung von Systemparametern abschätzen. Diese Informationen können vom Vertrieb genutzt werden, um den Zubau von Anlagen so infrastruktur- und netzschonend wie möglich zu gestalten und damit am Ende auch den Kunden die optimale Nutzung von Produktionsanlagen ermöglichen, weil der Bedarf an Netzabschaltungen verringert werden kann.

Künstliche Intelligenz kann auch bei der Erstellung digitaler Zwillinge helfen, d. h. bei interaktiven digitalen Modellen, welche eine bessere Planung ermöglichen. Damit können z. B. in einem Netzgebiet besonders geeignete Immobilienobjekte für Solarstromproduktion gefunden werden, um dann gezielt Kunden anzusprechen – bzw. auf Kundenwunsch hin, eine Evaluierung erfolgen, mit welchen Netzengpässen man ggf. rechnen muss. Der Vertrieb kann also dem Kunden eine wesentlich bessere Faktenlage präsentieren.

Am Ende wird Künstliche Intelligenz für das Bilanzkreismanagement eine wesentliche Unterstützung bedeuten, um die Ausgleichsenergiekosten nachhaltig zu senken und um die Flexibilität aus einer zunehmend kleinteiligeren Erzeugung besser adressieren zu können. Der letzte Punkt betrifft ebenso die wachsende Anzahl an Elektroautos und Wärmepumpen.

Schnittstellen zu Netzthemen

KI-Anwendungsfälle gibt es in allen Bereichen entlang der Wertschöpfungskette. Viele bereits beschriebene Anwendungsfelder (zum Beispiel Lastprognosen, Plausibilisierung, Anomalieerkennung¹⁵ etc.) sind auch im Netzbereich relevant. Dabei ist die Schnittstelle zwischen Handel/Vertrieb und den Netzen von besonders großem Interesse, weil sich hier Markt und Regulierung treffen.

¹⁵ Siehe die Abschnitte in diesem Kapitel und im vorigen Kapitel.

Bestimmte Anwendungen z. B. Last- und Verbrauchsprognosen werden in beiden Feldern benötigt, so dass sich hier theoretisch sogar Kooperationsmöglichkeiten ergeben könnten, wenn diese im Rahmen der Vorgaben zum Unbundling möglich sind. Damit könnten untertägige Betriebsoptimierungen im Netz besser abgebildet als auch Anomalien detektiert werden. Das Netz kann mittels KI bei der Betriebsoptimierung schneller auf verändertes Nutzerverhalten reagieren. Zwischen den Akteuren müssen dabei klare Regeln existieren, die definieren, wer welche Zugriffsmöglichkeiten auf bestimmte Daten hat. Bei der Abrechnung netzwirtschaftlicher Prozesse können KI-Systeme ebenfalls helfen, die Datenqualität der Messdaten zu überwachen. Darüber hinaus kann KI im Netzbereich auch bei Planung und Ausbau von Netzinfrastruktur eingesetzt werden.

Unterschiedliche Ziele bei der Optimierung von marktlichen KI-Systemen, die eher betriebswirtschaftlich orientiert sind, und netzwirtschaftlichen KI-Systemen mit ihrer volkswirtschaftlichen Ausrichtung führen dabei unter Umständen zu Konflikten. Diese potenziellen Konflikte müssen von der Regulierung adressiert werden, die Regulierung steht dabei aber vor der Herausforderung eines sehr dynamischen Umfeldes: KI-basierte Lösungen können sehr rasch Systeme an ihre technischen Grenzen führen.

Eine wirkungsvolle und zukunftsfähige Regulierung muss daher die Zuständigkeiten beim Datenzugriff klären und Zielkonflikte adressieren, dabei aber anpassungsfähig genug sein, um sich dem rasch und kontinuierlich ändernden System anzupassen. Ebenso müssen hier alle Akteure im Energiesystem stärker zusammenarbeiten, um die Chancen durch KI-Nutzung zu erfassen. Daher sind die Schnittstellen zwischen den Marktakteuren und dem Stromnetz ein besonders plastisches Beispiel dafür, dass KI-Ansätze nur dann erfolgreich sein werden, wenn das Silodenken hinter sich gelassen wird.

7. Daten: Die Basis der Künstlichen Intelligenz

KI basiert auf einer ausreichenden, guten und qualitativ hochwertigen Datenverfügbarkeit: Inputdaten werden von einer KI in einen Zusammenhang mit Outputdaten gebracht und führen zu Prognosen und Empfehlungen.

Dabei kann die Datenlage sehr unterschiedlich sein: In neu gebauten Smart-City-Quartieren können tausende physischer und digitaler Komponenten miteinander wechselwirken, wobei in diesen Fällen im Idealfall die Datenerfassung von Beginn an implementiert wurde. Neben der Optimierung leisten Sensorik und Steuerung auch entscheidende Beiträge zur Resilienz der Stromversorgung. Allerdings muss KI notgedrungen auch in einem cyber-physischen Energiesystem mit einer geringen Anzahl von Messpunkten und Sensoren funktionieren. In Bestandsgebäuden ist ein nachträglicher Einbau von Sensorik aus Kostengründen oft nicht einfach und rasch umsetzbar, allerdings hat man zumindest über intelligente Messsysteme aggregierte Verbrauchsdaten. KI erlaubt damit zunehmend bessere Prognosen und Hochrechnungen, die nicht nur auf Messdaten beruhen, sondern auf einer Abschätzung des Systemzustandes durch eine KI. Zudem wird die KI kontinuierlich mit weiteren Zeitreihen und ggf. Daten von neuen Messpunkten trainiert und verbessert.

Eine hohe Nutzbarkeit von Daten bedingt auch eine ausreichend gute Standardisierung der Datenformate, da dann dieselben Algorithmen genutzt werden können. Das ist in Anbetracht der unterschiedlichen Datenquellen keine triviale Aufgabe, nicht nur wegen unterschied-

licher Datenformate, sondern auch wegen Unterschieden in der Granularität der Messdaten z. B. 15 Minuten vs. täglich.

Zu den Daten sollte nach Möglichkeit ein dauerhafter Zugang gewährleistet sein, damit ein kontinuierlicher Ausbau der Datenbasis und damit auch ein Weiterführen des Trainings möglich wird. Hierbei sind öffentliche Daten meist besser zugänglich als private. Dabei müssen die Daten auch Qualitätsansprüchen genügen (richtig und verlässlich). Zudem werden Daten auch einer Plausibilisierung unterworfen (Aktualität, Aussagekraft).

Beispiele für benötigte Daten (und Quellen) sind: Wetterdaten bzw. Einspeiseprognosen (DWD, GSF, ECMWF); Gebäudedaten, Ladesäulenstandorte, Wallboxen (Katasteramt, Zensus); Daten zu Erzeugung und Verbrauch (Jahresverbrauch, Lastgang mit 15-Min-Granularität) und Marktpreisdaten (EEX, EPEX SPOT).

Der Erfolg der Entwicklung neuer daten- und kundenorientierter Produkte und Services z. B. Speicheroptimierung, Peer-to-Peer-Transaktionen oder Prosumer-/Flexumer-Tarife wird vor allem von der vorhandenen Datenbasis als Ausgangspunkt abhängen. Am Ende bedeutet dies aber auch, dass KI und Automatisierung dem Energievertrieb/-handel helfen, auf den Gebieten besser zu werden, wo sie bereits jetzt bestimmte Stärken haben – denn nur dort ist eine sehr gute Datenbasis zu erwarten. Auf Gebieten zu reüssieren, auf denen man bisher nicht tätig war, ist im Normalfall nur dann möglich, wenn es um ein völlig neues Thema geht, bei dem kein Wettbewerber auf eine existente Datenbasis zurückgreifen kann.

Die Datenabhängigkeit von KI ist dabei in Bezug auf Sensorfehler, fehlenden Daten oder gar manipulierten Daten genauso anfällig wie andere traditionelle Methoden. Allerdings wird KI in Situationen mit wesentlich größeren Datenmengen und oft weitgehend automati-

siert eingesetzt, so dass die Auswirkungen durch derartige Fehler größer sein können. Paradoxerweise wird dies vermutlich parallel mit einem wachsenden Vertrauen in KI-Methoden einhergehen¹⁶. Eine kontinuierliche – und am besten automatisierte – Überwachung von KI-Verfahren ist daher unerlässlich, vor allem in Bezug auf die Datengenauigkeit und -verlässlichkeit. Das wird vor allem in Bezug auf die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen relevant: bei komplexen KI-Systemen kann nur noch bedingt nachvollzogen werden, warum die Entscheidung gefällt wurde (vergleichbar mit menschlicher Intuition). Im Rahmen eines KI-Risikomanagements kann man mögliche negative Folgen dadurch begrenzen, wenn ein eng abgegrenzter Handlungsrahmen definiert wird.

Externe Daten z. B. Lastgänge von Kunden sind meist weniger gut verfügbar. Die zunehmende Digitalisierung im Messwesen wird die Lage verbessern, allerdings nicht bei allen Kundengruppen. Der Ausbau von Messinfrastruktur (IoT, Gateways) wird sich noch einige Jahre hinziehen, erlaubt aber auch jetzt schon die Nutzung gemessener Daten. Allerdings setzt der Datenschutz auch Hürden bei der Verwendung von unternehmens- oder personenbezogenen Daten. Auch hier kann KI einen Ausweg bieten, wenn der Nutzer der KI-Lösung mit den eigenen Daten das System trainiert. Damit würde das Energieunternehmen zu einem reinen Lösungsanbieter werden – ggf. mit Zugriffsmöglichkeiten auf die Trainingsergebnisse.

Die Datenaufbereitung erfolgt oft mittels statistischer Verfahren und Methoden des maschinellen Lernens. Um den Mangel an Datenwissenschaftlern zu begegnen, wird sogar KI-gestützte Datenaufbereitung genutzt, bei welchen Anwendungen Daten selbst erfassen und in bestehende Datensysteme integrieren.

Neben den technischen Voraussetzungen muss jedoch auch ausreichend Vertrauen vorhanden sein, damit die Verbraucher ihre

¹⁶Man spricht hier u. a. von automation bias, wenn, wenn zu hohes Vertrauen in die Entscheidung einer KI vorhanden ist, oder auch von automation complacency, wenn Nutzer davon ausgehen, dass die KI auftretende Probleme meldet.

Daten zur Analyse weitergeben, zumal KI von der Bevölkerung mit einer gewissen Skepsis gesehen wird¹⁷. Der gesetzliche Rahmen zum Datenschutz ist hier eine sehr starke Vorgabe, Unternehmen können zusätzlich durch ein Bekenntnis zum ethischen Umgang mit Künstlicher Intelligenz für Vertrauen werben¹⁸.

Technologische Infrastruktur

KI und die damit verbundenen Automatisierungsansätze verknüpfen – gerade auch im Bilanzkreismanagement – nahezu alle Elemente der Wertschöpfungskette. Insofern ist die Sensorik bei allen Elementen wesentlich, um die Messdaten zu erfassen, mit denen die KI arbeiten soll. Die KI wird diese Daten zentral verarbeiten und darauf basierend Vorschläge erstellen, auf deren Basis Menschen entscheiden können oder sogar die KI automatisiert in bestimmten Fällen entscheiden darf. Damit sind auch Steuerungselemente nötig, damit die KI ihre Ergebnisse auf Basis von aktuellen Messdaten umsetzen kann.

Für Unternehmen besteht dabei die große Herausforderung, ein KI-Ökosystem zu schaffen, in welchem die unterschiedlichen Anwendungen zusammenspielen. Die folgende Abbildung veranschaulicht beispielsweise drei entscheidende Komponenten auf der Nachfrageseite von Energiesystemen: Lastprognose, Erkennung von Anomalien und Lastfolge („demand response“). Jede dieser Komponenten folgt einem datengesteuerten Ansatz, der Daten aus verschiedenen Quellen wie Stromverteilungssysteme, frühere Vorhersage- bzw. Entscheidungsergebnisse, Märkte und historische Datensätze verarbeitet. Diese Daten dienen dann sowohl zum Trainieren der ausgewählten KI-Modelle als auch zum Steuern.

Alle Marktrollen sind in einer datenbasierten Energiewelt miteinander verknüpft und haben typische Anwendungsfälle (Prognose, Anomalie-Erkennung, Abrechnung). Insofern wird sich der Bedarf an

¹⁷ Civey-Umfrage im Auftrag von eco: 28 % denken, dass KI der Menschheit langfristig nützen werde. 42 % der Befragten rechnen damit, dass KI eher Schaden mit sich bringen werde (Pressemitteilung Verband eco, 09.11.23).

¹⁸ Ein Beispiel für Verhaltensregeln ist der ‚Oxford-Munich Code of Data Ethics‘.

(standardisiertem) Datenaustausch¹⁹ zwischen den Marktrollen deutlich erhöhen. Während das im Bereich der (zentralen) Erzeugung, Industriekunden und Netze meist auf eine gut vorhandene Dateninfrastruktur trifft, ist die Dateninfrastruktur aus der dezentralen Erzeugung und des Haushaltsverbrauchs (Prosumer/Flexumer) oft noch im Aufbau begriffen. Damit wird die Erfassung dieser Daten als Marktrolle in der nächsten Zeit eine besondere Bedeutung zukommen. Die Datennutzung über Silos hinweg wird zu einem wesentlichen Bestandteil einer datenorientierten Energiewirtschaft.

Eingabedaten

- › Stromproduktion
- › Umweltdaten z. B. Temperatur
- › Stromnachfrage
- › Zustand von Verbrauchsdaten
- › Zustand von Erzeugungsgeräten
- › Feiertage und Urlaub
- › Marktdaten
- › Importe/Exporte
- › CO₂-Emissionen
- › Regulatorischer Rahmen
- › ...

Datenverarbeitung

- Daten sammeln, standardisieren, bereinigen, analysieren
- Zusammenfassung mehrerer Variablen zu Gruppen („feature extraction“)
- Optimierung
- ...
- Weiteren Datenbedarf feststellen

¹⁹ Die BDEW-Festlegungen zur Marktkommunikation dienen hier als belastbare Grundlage.

Lastvorhersage und Erkennung von Anomalien sind eng miteinander verwoben. Diese Aufgaben sind daher nicht isoliert, sondern bedingen sich gegenseitig. Beide liefern wichtige Information für die Reaktion der Nachfrageseite, was sich wiederum auf den Energiemarkt auswirkt, und letztlich zukünftige Vorhersage- und Erkennungsergebnisse beeinflussen.

Lastprognose

Training

Prognose

Bewertung

Lastfolge

Training

Prognose

Bewertung

Anomalie Erkennung

Training

Prognose

Bewertung

Ergebnisse

- › Prognosen
- › Marktpreis-basierte Steuersignale
- › Technische Steuersignale
- › Pricing
- › Anomalie Erkennung

KI und Automatisierung werden aber nicht alles lösen können, sondern schaffen auch neue Herausforderungen. KI lernt aus vorhandenen Daten – damit besteht eine gewisse Voreingenommenheit beim Lernen, weil vor allem aus den dominierenden Normalfällen gelernt wird, weniger aus Ausnahmesituationen. Insofern muss bei der Nutzung von KI immer darauf geachtet werden, ob man sich in einer Ausnahmelage befindet, z. B. bei einer Grenzwertverletzung, in welcher die KI unbekanntes Terrain betritt und daher keine auf Empirie beruhenden Entscheidungen empfehlen oder gar treffen kann. Am Ende wird man also nicht umhinkommen, ein KI-System wie einen potenziell unzuverlässigen Mitarbeiter zu betrachten und keinen Vertrauensvorschuss zu gewähren: eingeschränkte Rechte und Zugriffsmöglichkeiten helfen daher, mögliche Schäden zu begrenzen. Das sollte im Rahmen eines soliden Risikomanagements im Bereich Bilanzkreismanagement ohnehin implementiert sein. Der typische Deming-Kreislauf „Planen – Umsetzen – Überprüfen – Handeln“ kann dazu genutzt werden, um stets manuelle Zugriff durch Mitarbeiter zu ermöglichen.

Nicht zuletzt können und werden neue datenbasierte Prozesse auch zu neuen Unternehmensstrukturen führen: Prozesse einer analogen Welt lassen sich üblicherweise nicht auf eine digitale datenbasierte Welt übertragen, sondern erfordern neue Ansätze.

8. Anwendungsfälle Künstlicher Intelligenz

Die Anwendungsfälle betreffen sowohl das direkte Agieren im Bilanzkreismanagement und im Handel als auch Anwendungen auf der Kundenseite, welche den Zugang zur kunden-seitigen Flexibilität erlauben.

Spot-Preisprognose für den Handel und Portfolio-Optimierung

Mit der Preisprognose kann man das typische Vorgehen bei der Nutzung KI-basierter Lösungen darstellen: Daten als Ausgangspunkt – Training der KI – Nutzung der KI.

Ausgangspunkt sind die für das Training benötigten Eingabe- und Ausgabedaten: Für eine Prognose der Marktpreise für Strom im Spotmarkt benötigt man die historischen Zeitreihen für Strom- und Brennstoffpreise, sowie Notierungen für Emissionsrechte und grünen Zertifikaten. Ebenso braucht man die fundamentalen Daten zur vorhandenen Erzeugung (Kraftwerkportfolio, erneuerbare Produktion, Grenzkapazitäten) und Verbrauch – und das idealerweise über mehrere Jahre hinweg. Nicht zuletzt werden auch Wetterdaten benötigt wie (lokale) Windgeschwindigkeiten, Tageshelligkeit etc., damit Wetterprognosedaten zur Prognose künftiger Stromproduktion genutzt werden kann. Betrachtet man Prognosen für Terminmärkte sind zudem noch Annahmen zur Weiterentwicklung des Kraftwerksparks nötig, ebenso wie Änderungen auf der Verbrauchsseite z. B. wegen zunehmender Sektorenkopplung.

Basierend auf diesen Daten kann das KI-System nun trainiert werden, um Zusammenhänge (im einfachsten Falle wären das Korrelationen)

auf Basis der historischen Daten zu erkennen. Das kann nun genutzt werden, um mit aktuellen Daten zu Wetter, Erzeugung und Last die Spotpreise für Strom zu prognostizieren. Diese Prognosen können dann im Handel auf den intraday- und day-ahead-Märkten genutzt werden. Der entscheidende Vorteil von KI bei derartigen Analysen liegt im Aufdecken komplizierter Zusammenhänge und komplexer Korrelationen bei einer Unmenge von Daten.

An diesem Beispiel sieht man den Vorteil KI-basierter Algorithmen: anstelle basierend auf der Analyse historischer Daten ein Programm zu schreiben, eröffnet KI die Möglichkeit, die Parameter und Muster neu zu lernen im Rahmen eines weiteren Trainings. So kann sich die Prognose immer anpassen an die Gegebenheiten im Bereich der Erzeugung, des internationalen Stromaustausches oder Änderungen auf der Verbrauchsseite. Ein rollierendes Training z.B. einmal im Quartal ermöglicht ein kontinuierliches Adaptieren.

Für internationale Windkraftportfolien wird eine bis zu 20 %-ige Wertsteigerung des erzeugten Stroms durch bessere Windprognosen und darauf basierende Optimierung genannt²⁰. Für PV-Portfolios – seien es eigene oder aggregierte Anlagen – ist die Prognose der Wolkenbewegungen z. B. basierend auf Satellitenbildern in Kombination mit Strahlungs- und Temperaturdaten eine relevante Information. Auch Sondersituationen wie Vulkanasche oder Saharastaub können inzwischen modelliert werden. Die bessere Prognose erlaubt eine Verringerung der Ausgleichsenergiekosten. Für beliebige Portfolios kann die KI das Zusammenspiel mehrerer Anlagen z. B. Power-To-Gas mit Windkraft und Speichern erfassen. Damit können auch komplexere Portfolios für den Flexibilitätsmarkt mittels KI bewertet werden.

Automatisierter Handel

Wetterbedingte Schwankungen der Erzeugung sind mit kleineren Zeitabständen zwischen Erzeugung und Lieferung genauer vorher-

²⁰ IEA; Vida Rozite, Jack Miller, Sungjin Oh; Why AI and energy are the new power couple, 2. November 2023

zusagen. Damit wird der vollautomatisierte Handel aufgrund der erforderlichen Reaktionszeiten im Intraday-Handel zunehmend interessanter, um dem Markt die Flexibilität vollumfänglich zur Verfügung zu stellen. Folglich kann der weitere Zubau von PV und Windkraft besser in das System integriert werden – ebenso wie die wetterbedingte Nachfrage durch Wärmepumpen²¹. Die Prognosen für Erzeugung, Verbrauch und Preise finden also in einem intensiver werdenden dynamischen Umfeld statt. Für die marktpreisgetriebene Echtzeit-Steuerung der Anlagen sind kontinuierliche Messdaten nötig.

Automatisierung verspricht neben einer Reduzierung möglicher Fehler im Intraday-Handel auch deutlich geringere Transaktionskosten, v. a. im Hinblick auf die nötige 24/7-Umsetzung des operativen Intraday-Handels. Die Börsen tragen dieser Entwicklung ebenso Rechnung und bieten möglichst performante und hochverfügbare Abwicklungssysteme an als auch die API-Schnittstellen zur Ansteuerung. Die finanziellen Risiken im Intraday-Handel sind wegen der begrenzten Volumina übersichtlich.

Das Projekt Deep Energy Trade von „Kognitive Energiesysteme“ (Fraunhofer IEE, Kassel) untersucht die Nutzung selbstlernender Agenten für den automatisierten Stromhandel. Dazu entwickelt der Agent effiziente Handelsstrategien basierend auf Deep Reinforcement Learning. Für Stromunternehmen besteht die Möglichkeit, den eigenen Handel zu unterstützen und in Zusammenarbeit mit dem Vertrieb Lösungen und Marktzugang für Kunden anzubieten.

Optimierung von Großspeichern durch den Stromhandel

Für die Bestimmung des optimalen Einsatzes und Füllstandes eines Stromspeichers sind Preisprognosen für die unterschiedlichen Vermarktungsmöglichkeiten nötig z. B. intra-day, day-ahead und Regelleistung. Zudem kann der Speicher in Bezug auf die prog-

²¹ vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, Strompreisprognose, 19. Juli 2023

nostizierte Wind- und PV-Stromproduktion optimiert werden, um z. B. möglichen Eigenverbrauch zu erhöhen oder günstige Ladezeitpunkte zu bestimmen. Technische Restriktionen wie Belade-/Entladegeschwindigkeit werden ebenso berücksichtigt.

In der Praxis ergeben sich für Großspeicher dabei bis zu 200 Handelsaktivitäten an einem Tag, was ohne Automatisierung kaum machbar ist. Die Handelsstrategien werden dabei auf das zugrundeliegende Gesamtportfolio z. B. erneuerbare Erzeugung und Speichervolumen angepasst. Das Beispiel illustriert zudem, dass das Zusammenspiel von KI und Automatisierung das Heben zusätzlicher Flexibilität ermöglicht.

Primärregelleistung Container-Terminal Altenwerder

Die Hamburger Hafen und Logistik AG betreibt am Container Terminal Altenwerder eine Flotte von rund 100 automatisierten und fahrerlosen Schwerlastfahrzeugen mit Batterieantrieb. Während die Fahrzeuge geladen werden oder sich in einer Warteposition befinden, können sie Primärregelleistung zur Verfügung stellen. Die Prognose, der für den Containerumschlag nötige Transportleistung ist die Basis für die Einsatz- und Standzeitprognosen der Fahrzeuge und erlauben damit Aussagen zum möglichen Angebot an Primärregelleistung. Die genannten Prognosen werden stetig verbessert. Die Flotte ist damit in der Lage, bis zu 4 MW symmetrische Flexibilität für die Frequenzhaltung zur Verfügung zu stellen.

Optimierung von Prosumern und Flexumern

Die Nutzung von KI kann auch auf Seiten der Verbraucher erfolgen. Bei vorhandener PV-Erzeugung stellen sich für das Energiemanagement eine Reihe möglicher Fragen in Bezug auf den optimalen Einsatz der Heizung für den gewünschten Wärmebedarf, dem Beladen des Elektroautos oder der Nutzung vorhandener Stromspeicher. KI-Algorithmen können die damit verbundene Optimierungsaufgabe lösen und dabei über 25 % Energie einsparen.²² Die typische PV-Produktion entspricht nicht den Hauptverbrauchszeiten berufstätiger Haushalte – insofern ist für den Abgleich von Produktion und Verbrauch eine Steuerung nötig. Diese kann über die Nutzung von Flexibilität aus dem Stromnetz erfolgen und/oder durch eine Steuerung der Anlagen eines Haushalts. Der KI-Algorithmus erlaubt dabei jedem Haushalt eine individuelle Lösung zu finden, welcher den Bedürfnissen der darin lebenden Menschen entspricht.

Dabei können Vorgaben durch die Nutzer gemacht werden, z. B. ein bestimmter Mindestfüllgrad des Elektroautos, um morgens zur Arbeit fahren zu können; Urlaubszeiten, bei denen der Verbrauch auf ein Mindestmaß gesenkt werden kann bzw. zur Rückkehr eine gewünschte Temperatur eingestellt werden kann. Nicht zuletzt helfen diese Komfortgewinne, auch die Akzeptanz der Technologie zu erhöhen, zumal es nicht unbedingt erforderlich ist, dass die internen Daten und Lernfortschritte den Haushalt verlassen müssen. Der Datensatz für die Lernphase des Algorithmus waren u. a. Wetterdaten und Stromtarife aus dem Vorjahr. Dieser erste Lernprozess erfolgte im Labor, um einen Ausgangspunkt für den Steueralgorithmus zu haben.

²² B. Svetozarevic et al., Data-driven control of room temperature and bidirectional EV charging using deep reinforcement learning: simulations and experiments, 17 Jun 2021, arXiv:2103.01886v2

Dann erfolgt die Anwendung in Haushalten. Im Unterschied zu regelbasierten Systemen, welche nach einer benötigten Analyse mit den erforderlichen Parametern programmiert werden müssen, passt sich die KI-Lösung durch weiteres Lernen an die spezifische Nutzung an, natürlich auch an Änderungen des Nutzerverhaltens z. B. bei stärkerer Nutzung von Homeoffice bzw. veränderten Gebrauchs des Elektroautos.

Herausforderungen für die Umsetzung bestehen in der Datenverfügbarkeit: idealerweise sollten z. B. Zeitreihen für Temperaturen in den Häusern vorhanden sein. Und in technischen Voraussetzungen: Elektroautos sollten idealerweise für bidirektionales Laden ausgelegt sein. Damit sollten Energiesysteme auch einen Überblick über die technischen Möglichkeiten der jeweiligen Komponenten haben z. B. Lademodus des Elektroautos (Turbo, Eco, ...), damit Steuerbefehle auch ausgeführt werden können. Empfehlungen, die noch eine Bestätigung des Nutzers erfordern, sollten zudem eine zeitliche Verfallsdauer haben, damit sie nicht zu verspäteten (und dann oft ungünstigen) Reaktionen führen, z. B. „Lade in zwei Stunden.“

Die digitale Lösung für Haushalte ermöglicht via Aggregator auch den Zugang zum Großhandelsmarkt. Auf dieser Basis gelingt die Integration kleinteiliger Flexibilitäten in den Markt, so dass die Preise auf den Spotmärkten und für Regelleistung eine Steuerung zum Wohle des Gesamtsystems erlauben.

KI-basiertes Lastmanagement für das Aufladen von Elektrofahrzeugen

Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz wird das Laden von Elektrofahrzeugen an einem Bürostandort schneller und einfacher. Auf Basis historischer Ladedaten werden Energiemengen und Standzeiten der Fahrzeuge durch ein künstliches, neuronales Netz ermittelt. Das intelligente dynamische Lastmanagementsystem bestimmt

basierend auf diesen Daten die Priorisierung der Ladeprozesse aller angeschlossenen Fahrzeuge und stellt sicher, dass jedes E-Auto pünktlich zur Abfahrt geladen ist. Für einen Bürostandort ist die Lage verhältnismäßig einfach, da die Standzeiten meist einige Stunden betragen und zudem eine große Menge an Elektroautos vorhanden sein kann – damit wird eine kritische Größe rasch erreicht.

Bei öffentlichen Ladestationen wird die Lage komplizierter, da hier auch mit kürzeren Ladezeiten zu rechnen ist und eine kritische Größe erst in einem ausreichend großen Portfolio erreicht werden kann. Nichtsdestotrotz kann mit statistischer Auslastung der Standorte gerechnet werden, basierend auf den Daten aus der Nutzungshistorie. Ein derart vernetzter Speicherschwarm kann als selbstorganisierender Agentenschwarm realisiert werden: jeder Speicher wird dabei als intelligenter Agent betrachtet, der mit gewissen Freiheitsgraden ausgestattet ist. Eine lernfähige Software steuert die Flexibilität der einzelnen Batteriespeicher und ermöglicht damit die Nutzung der gesamten Flexibilität der Speicherflotte. Derartige Lösungen sind vor allem auch interessant für Standorte, an denen ein dynamisches Lastmanagement notwendig ist.

Industriebetriebe

Industriebetriebe sind in Bezug auf Anwendungsfälle beim Thema KI sehr ähnlich aufgestellt wie der Großhandel. Preisprognosen können genutzt werden, um die Produktionsanlagen kostenoptimiert zu betreiben – sowohl bei der Planung für die nächsten Tage als auch in Reaktion auf kurzfristige Opportunitäten in den Regelleistungs- und Intraday-Märkten. Dabei können Unternehmen auf Energiehändler als Aggregatoren zurückgreifen oder ab einer bestimmten Größe auch selbst aktiv an den Märkten werden.

Das Überwinden von Silos: Infrastrukturplanung mit KI

Bei der regionalen und nationalen Modellierung des Energiesystems und der Infrastrukturplanung sollten die Planer die Rolle(n) berücksichtigen, die KI-gestützte, intelligent verteilte Energieressourcen spielen könnten. Bisher werden bei der Energiemodellierung die Verteilnetze häufig ignoriert und das Potenzial übersehen, welches sie als Quelle der Netzflexibilität und als wertvolle Teilnehmer am Netzmanagementprozess haben. Die Integration dieser Quellen und ein besseres Verständnis dafür, wie sie den Übergang unterstützen können, kann zu einer fundierteren Entscheidung über Infrastrukturinvestitionen wie Netzausbau und -modernisierung oder den Einsatz neuer, zentraler Stromerzeugungseinheiten führen.

9. Notwendige Rahmenbedingungen

Cybersicherheit

Cyberattacken stellen zunehmend eine Herausforderung für alle Akteure im Stromsystem. Da Teile sogenannter „kritischer Infrastruktur“ betroffen sind, ist ein Schutz gegen Cyberattacken von großer Bedeutung. Das betrifft Angriffe auf die operative Umsetzung des BKM aber auch der Schutz vor Manipulationen. Darüber hinaus verwenden die Unternehmen sensible Kundendaten, die dementsprechend gut geschützt werden müssen. Durch die starke Vernetzung im Stromsystem bieten sich potenziellen Angreifern sehr viele Angriffspunkte.

KI kann jedoch die Sicherheit gegenüber derartigen Attacken erhöhen²³. Findet eine KI auffällige Muster, kann ein möglicher Angriff erkannt werden und Maßnahmen einleiten, um den Angriff abzuwehren. Auch hier bietet das kontinuierliche Lernen der KI die Möglichkeit, geänderte Angriffe sofort zu erkennen und abzuwehren, womit das Sicherheitsniveau nochmals gesteigert wird. Adversarial Resilience Learning (ARL) ist ein weiterer vielversprechender Ansatz: Eine KI agiert als Angreifer einer anderen KI. Dabei sucht der Angreifer nach Schwachpunkten und der Verteidiger versucht Abwehrmechanismen zu lernen.

Rechtliche Themen

KI ist ein noch recht junges Feld, sodass eine rechtliche Bewertung immer vor der nahezu unlösbaren Schwierigkeit steht, in einem stark und schnell wandelnden Feld einen stabilen Rahmen zu setzen. KI bringt viele Möglichkeiten mit sich, z. B. die Ausführung

²³ Berman, Daniel et al. (2019). A Survey of Deep Learning Methods for Cyber Security. In: Information, 10 (2019), Nr. 4, S. 122. Ramanpreet Kaur, Dušan Gabrijelčič, Tomaž Klobučar, Artificial intelligence for cybersecurity: Literature review and future research directions, Information Fusion, Volume 97, 2023, 101804, ISSN 1566-2535.

komplexer Aufgaben in sehr kurzer Zeit, birgt aber auch Herausforderungen in Bezug auf Sicherheit und Haftung für Produkte, die mit einer solchen Technologie ausgestattet sind. Die Herausforderungen ergeben sich u. a. aus der Autonomie KI-gestützter Produkte – d. h., wenn KI-gestützte Produkte ihre Aufgaben ohne menschliche Aufsicht erfüllen, – und aus der Undurchsichtigkeit der KI-Entscheidungsfindung – d. h., wenn es schwierig oder sogar unmöglich ist, den Prozess zu verstehen, der zu einem bestimmten Ergebnis geführt hat.

Bei den KI-Anwendungen im eng gefassten Bereich des Bilanzkreismanagements wäre es im Sinne der erfolgreichen Umsetzung der Energiewende wünschenswert, dass Anwendungen hier nicht durch sehr allgemein und umfassend formulierte Gesetzgebung negativ beeinträchtigt wird. Beispielsweise erfordert der Umgang mit Daten gemäß der DSGVO eine Abgrenzung zwischen personenbezogenen und nicht-personenbezogenen Daten. Dabei ist es jedoch eine Interpretationssache, wie stark Daten z. B. Lastprofile anonymisiert werden müssen, um eine Rückverfolgbarkeit auszuschließen. Neben einer eindeutigen Definition können hier auch Prozesse zur Anonymisierung helfen.

Für den automatisierten Handel besteht über die MIFID II (Artikel 17) bereits eine rechtliche Vorgabe für finanzielle Instrumente und betrifft damit vor allem den Terminhandel.

Einen ersten EU-weiten Rahmen bietet der AI Act vom Dezember 2023. Für „risikoreiche“ KI-Anwendungen, wie z. B. in kritischer Infrastruktur sind verschärfte Vorgaben geplant. Hier soll u. a. ein Risikomanagementsystem vorgeschrieben werden. Der Nutzer eines KI-Systems muss zudem dokumentieren, wie das selbstlernende System funktioniert. Nach Meinung des BDI gefährden die neuen Regelungen die Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit der Unter-

nehmen und bieten nicht die benötigte Rechtssicherheit, da die Kriterien für die Regulierung als unausgereift angesehen werden.

Was sollte die Regulierung bereitstellen?

Die Regulatorik von KI ist dabei durchaus anspruchsvoll. Da KI selbstlernend ist, werden viele Anwendungen eine stark beschleunigte Entwicklung zeigen, da die zur Verfügung stehenden Datenmengen stark anwachsen. Zudem kann KI sehr autonom konzipiert werden, sodass die Entwicklung theoretisch auch ohne oder mit sehr geringen menschlichen Kontrollen erfolgen kann. Für die Regulierung von KI besteht daher der Spagat, nur sehr schwer abschätzen zu können, was alles an Entwicklungen geschehen wird, gleichzeitig aber das enorme Potenzial mit allen Chancen und Risiken zu erfassen²⁴. In einem derart dynamischen Umfeld ist ein sehr konservativer Regulierungsansatz nicht zielführend.

Regulierung sollte sich darauf konzentrieren, Vertrauen in die Technologie durch ausreichende Transparenz und der Klärung von Haftungsfragen zu schaffen. Dabei sind die großen privaten Akteure durchaus willens, an einem regulatorischen Rahmen mitzuwirken. Die Erfassung von Open-Source-Plattformen, die hier eine nicht unwesentliche Rolle spielen werden, ist allerdings nicht ganz trivial. Regulierung sollte dabei mögliche Risiken kontrollieren und bestimmte Rechte schützen, aber auch ausreichend Spielfeld für Anwendungen zulassen und hierfür ein Risikobewusstsein schaffen. Es sollte klare Regelungen für Energiedaten geben, welche auch sicherstellen, dass der Zugang zu den Daten gerecht und fair ist. Vor allem sollte die Regulierung von KI nicht zu hohen bürokratischem Aufwand führen.

Innovation kann durch sogenannte Sandbox-Umgebungen ermöglicht werden: unter eng gefassten Ausnahmeregelungen können KI-Projekte durchgeführt werden. Damit stellen rechtliche Unsicherheiten kein Entwicklungshemmnis dar.

²⁴ So musste der AI Act der EU nochmal stark nachgebessert, da sogenannte Foundation Modelle wie ChatGPT-4 nicht berücksichtigt wurden im Entwurf von Anfang 2023.

10. Wie können sich Unternehmen darauf vorbereiten?

Implementierung von KI-Systemen

Typische Hürden bei der Implementierung von KI-Systemen in Unternehmen sind fehlendes Fachpersonal, Datenqualität bzw. Datenerfassung und Sicherheitsbedenken. Bei der Datenverfügbarkeit sieht die Situation bei internen Daten und bei Verbrauchsdaten großer Abnehmer deutlich besser aus als bei Haushaltskunden und dort vor allem in Bezug auf flexible Lasten (Wärmepumpen, E-Mobilität), die noch nicht in ausreichender Datentiefe zur Verfügung stehen.

Kosten und Personalbedarf zur Implementierung eines KI-Systems sind schwer zu beziffern, da sie abhängig vom Anwendungsfall sind, der Software, ggf. Cloud-Infrastruktur – und vor allem von dem Vorhandensein an benötigten Trainingsdaten. Da am Ende die Trainingsdaten der wesentliche Engpass für die Nutzung von KI-Systemen darstellen wird, während die anderen benötigten Komponenten einem Wettbewerb ausgesetzt sind, kann man davon ausgehen, dass für Trainingsdaten die Kosten auf stabil hohem Niveau bleiben werden, zumal die Datenbeschaffung kaum ausgelagert werden kann.

Die Umsetzung kann mittels SaaS erfolgen (Software as a Service) oder als direkt integrierte erweiterte Funktionalität einer bestehenden Softwarelösung. In diesen beiden Fällen zielt der Bedarf an tiefergehenden KI-Kenntnissen im Unternehmen vor allem auf Anwendungen. Sollen dagegen Inhouse-Softwareentwicklungen angestrebt werden, kommt man um KI-Know-how auf der Pro-

grammierebene nicht herum, auch wenn Open-Source-Lösungen hier bereits einiges an Basisarbeit abnehmen. Kooperationen können nicht nur den Personalbedarf senken, sondern auch zu einer steileren Lernkurve führen bzw. durch den Perspektivwechsel auch zu neuen Lösungsansätzen. Realistischerweise kommt man kaum an Kooperationen bzw. Personalentwicklung vorbei: Im Juni 2022 wurden branchenübergreifend weltweit rund 22.000 KI-Spezialisten gezählt²⁵.

Für einfache KI-Anwendungen z. B. einen Chatbot kann man mit einem Personalbedarf von ein bis zwei Mitarbeitern rechnen für Wartung, Kontrollen, Analyse und Auswertungen. Einfache Chatbots können dabei in rund einer Woche fertiggestellt werden, komplexere benötigen ein paar Monate. Für komplexere Anwendungen im Bereich Bilanzkreismanagement ist mit einem höheren Personal- und Zeitbedarf zu rechnen, zumal hier auch meist ein bereichsübergreifendes Team zur Bearbeitung definiert werden muss.

Bei der Implementierung einer KI-Anwendung sollte sich vorher überlegt werden, an welcher Stelle die wettbewerblich interessanten Themen liegen. Das dürfte üblicherweise im Bereich der Datenanalyse bzw. der direkten Anwendung analysierter Daten liegen – weniger bei der KI-Software selbst. Kooperationen sind daher sinnvoll, solange es um KI-Infrastruktur geht – zumal sich hier die Lösungsansätze für alle Firmen im Energiebereich kaum differenzieren z. B. Analysetools generischer Datensätze wie Last- oder Produktionsprofile. Die Ergebnisse z. B. der zuletzt genannten Analysetools führen jedoch zu interessanten Differenzierungsmöglichkeiten zu den Wettbewerbern und sollten daher möglichst im Haus selbst abgearbeitet werden. Hierfür werden jedoch am Ende weniger tatsächliche KI-Spezialisten benötigt, sondern Mitarbeiter mit einem guten Datenverständnis.

²⁵ Deloitte, Skills gaps are slowing down AI-workforce integration (July, 13 2022)

Personalentwicklung

Implementierung und Anwendung von künstlicher Intelligenz benötigt geschultes Personal. Das bedeutet vor allem auch Mitarbeiter zu schulen bei der Nutzung der neuen Arbeitsmittel und bei der Einordnung der Ergebnisse. Typischerweise treten drei Befürchtungen in hohem Maße bei der Einführung KI-basierter Prozesse ein, welche im Rahmen einer Schulung in einer sachlichen Diskussion aufgegriffen werden:

- › Vorurteile seitens der Mitarbeiter z. B. Wegfall von Arbeitsplätzen (statt der tatsächlich stattfindenden Aufwertung von Tätigkeitsprofilen);
- › Vorurteile seitens der Führungskräfte z. B. Wegfall von Entscheidungsbefugnissen (statt der tatsächlich möglichen Fokussierung auf relevante Entscheidungen);
- › Überwinden der Durststrecke von den ersten Schritten mit KI zur Arbeitserleichterung durch KI.

Eine Strukturierung der Personalentwicklung kann zunächst Entwicklungsthemen nach Zielgruppen ordnen und dann inhaltlich ordnen nach Fach-, Führungs-, Sozial- und Methodenkompetenz. Dabei spielen nicht nur reine IT-Themen eine Rolle, sondern ebenso change management und Kommunikation. Auf dieser Basis werden dann Maßnahmen heruntergebrochen. Im Idealfall werden bereits dabei vorhandene Silos durchbrochen, um den übergreifenden Charakter von KI auf Unternehmensprozesse zu unterstreichen.

Programmierkenntnisse bzw. Programmierverständnis bei Mitarbeitern sind von großem Vorteil, wobei hier inzwischen auch KI unterstützen kann: Prototypen von Programmen können inzwischen mittels ChatGPT erstellt werden und erleichtern so den Einstieg.

Beispielhafte Entwicklungsthemen bei der Personalentwicklung KI und Automatisierung²⁶

Mitarbeiter	Einblick und Sensibilisierung für KI und Automatisierung
	Steigerung der Kompetenzen in Systemen, Prozessen, Projekten
	Befähigung zum Umgang mit Daten und Interpretation der Ergebnisse
	Verbesserung der Selbstführung und des Führens von Kollegen und Chefs durch Möglichkeiten von KI und Automatisierung
Führungskräfte	Steigerung der Fähigkeiten zum Heben aller Potenziale von KI/Automatisierung
	Ausbau der eigenen Kompetenz zur Entwicklung der Mitarbeiter für KI und Automatisierung (inkl. Veränderungsmanagement)
	Entwicklung der Kompetenzen zum Steuern von Schnittstellen und Projekten
Geschäftsfelder, Funktionen, Regionen	Kompetenzsteigerung in KI-Sachthemen von Geschäftsfeldern, Funktionen, Regionen, ...
	Nutzung von KI und Automatisierung zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit
	Entwicklung der organisatorischen Kompetenzen zur Überwindung struktureller Silos
Neue Mitarbeiter und Auszubildende	Aufstellung einer Einführungs-/Ausbildungsagenda anhand der KI-Kompetenzen
	Schnellerer Einsatz bzw. Wirksamkeit durch KI
	Gezielter Einsatz in KI-Projekten bzw. Umsetzungsthemen
Eigentümer und Unternehmensaufsicht	Kompetenzentwicklung zum Verständnis von KI und Automatisierung allgemein
	Grundverständnis für KI-Schlüsselthemen im Unternehmen
	Steigerung der Fähigkeiten zur KI-Nutzung für Aufsichtsfunktionen oder persönlich

²⁶ Siehe z. B. Roman Stöger, Digitalisierung umsetzen, Schaeffer-Pöschel (Stuttgart, 2019)

Typische Schritte

› Vision und Strategie

KI sollte eingebettet in die Unternehmens- und Technologiestrategie sein: damit können Leitplanken und Perspektiven für die erforderliche Datenbewirtschaftung definiert werden.

› Organisatorische Vorbereitung

Die Nutzung von KI im Energiebereich benötigt Personal, welches in den energiewirtschaftlichen Prozessen zuhause ist, aber auch eine datengetriebene Sichtweise hat. KI-Experten z. B. Dateningenieure können hier wesentliche Einsichten bieten. Die Nutzung von KI erfordert – stärker als andere Projekte – neue Wege und Ansätze („agile“ Projektentwicklung).

› Personalentwicklung: Vorhandene KI-Kompetenz identifizieren

In einigen Unternehmen wird KI schon in teilweise erheblichem Umfang genutzt bzw. es existierte eine ausgezeichnete Datenbasis als wesentliche Grundlage für KI-Anwendungen. Eine Bestandsaufnahme über KI-Nutzung und Datenkompetenzen ermöglicht eine präzise Identifizierung kurzfristig umsetzbarer KI-Projekte, welche dann auch direkt Werte generieren können.

› Personalentwicklung: Erarbeitung von KI-Wissen

Unternehmen werden KI-Kompetenzen in sehr unterschiedlichen Facetten benötigen. Firmen können auf ihren Bedarf hin Profile erstellen als Leitschnur für die interne Weiterbildung der Mitarbeiter und für Neueinstellungen. Eine wesentliche Fertigkeit im Umgang mit KI ist dabei die Fähigkeit von Mitarbeitern, Resultate einzuordnen und zu hinterfragen. KI erlaubt einen effizienteren Mitarbeiterereinsatz und den Erhalt des Wissens der Mitarbeiter im Unternehmen – und das in digitaler und damit reproduzierbarer

Form. Allerdings geht Letzteres oft auch einher mit einem Verlust an Historie, d. h. keiner weiß mehr genau, wie es zu dem Wissen kam.

› **Systematische Identifizierung relevanter Projekte**

Prozesse mit einem hohen Digitalisierungspotential eignen sich naturgemäß – allerdings sollten weitere Voraussetzungen gegeben sein z. B.:

- Ist eine sichere und zuverlässige Datenbeschaffung möglich (auch perspektivisch)?
- Wie komplex sind die verwendeten KI-Algorithmen (Training, Einsatz)?
- Welche Anforderungen werden personell gestellt (Anzahl, Befähigung)?
- Akzeptanz digitaler Delegation, d. h. wie hoch ist das Vertrauen in KI-Entscheidungen?

Die Entwicklung eines internen Anforderungskatalogs ist hier von hohem Nutzen.

› **Datenbasis erarbeiten**

Die Verfügbarkeit von Daten ist eine unabdingbare Voraussetzung zur Nutzung von KI. Bei unternehmensinternen Daten kann ein Überblick helfen, welche Abteilung über welche Datenbestände verfügt. Das erlaubt auch die Identifizierung von Datenlücken, d. h. die Firma kann mit neuer Sensorik zur Datenmessung reagieren. Ein derartiger Überblick hilft auch den Übergang von isolierter Arbeit zu interdisziplinärer Zusammenarbeit zu forcieren. Denn KI-Projekte sollten sich nicht auf einzelne Bereiche von Firmen beschränken. Vielmehr ist KI dann am effizientesten, wenn sie von verschiedenen Teams genutzt wird, um sicher zu stellen, dass KI breit gefächerte Geschäftsprioritäten anspricht.

Die zentrale Bedeutung von Daten sollte Unternehmen auch zu einer gewissen Zurückhaltung veranlassen beim Datenaustausch im Rahmen von Kooperationen oder mit externen Partnern. Daten erhalten eine zunehmend strategische Bedeutung und erlauben es gerade im Handel und Vertrieb sehr maßgeschneiderte Lösungen zu erstellen.

› **Übersicht zu bekannten KI-Use-Cases
in der Energiewirtschaft erstellen**

Aus diesen Beispielen²⁷ kann man Ideen zur Nutzung datenbasierter Entscheidungsfindung in der eigenen Firma gewinnen und in Bezug auf Anwendbarkeit und eigenen Kosten-Nutzen-Analysen bewerten. Ebenso können auch Anwendungsfälle aus anderen Sektoren wertvolle Einsichten liefern z. B. Finanzindustrie zur Risikobewertung, Betrugserkennung und im Kundenservice; Chiphersteller und Automobilfirmen beim automatisierten Fahren.

²⁷ Siehe z. B. BDEW, Künstliche Intelligenz für die Energiewirtschaft – Studie, Juni 2020

Checkliste

Themenfeld	Herausforderung	Lösungsansätze	Erledigt?
Strategie	Verknüpfung einer KI-Strategie mit der Unternehmens- und Technologiestrategie	Starkes Bekenntnis der Unternehmensführung zu KI	
		Entwicklung einer road map von Anwendungsfällen inkl. Zieldefinition	
		Kommunikation der Strategie	
		OECD-Richtlinien für verantwortungsvollen Umgang mit KI	
		Integration in vorhandenes Risikomanagement	
Organisation und Wissen	Aufbau von KI-Know-How	Perspektive für Werthaltigkeit entwickeln	
		Kooperationen und Partnerschaften	
		Kompetenzentwicklung, Schulung	
Daten und Technologie	Aufbau und Verbesserung der Datenbasis sowie Bereitstellung erforderlicher Technologien	Datenbasierte Produktentwicklung: zu Innovation ermutigen	
		Zentrale Rolle von Daten (und deren Qualität) betonen	
		Datenarchitektur entwickeln	
		Aufbau der benötigten Technologie-Infrastruktur	
Umsetzung und Skalierung	Interne Hürden überwinden	Nutzerfreundliche Datenanalyse	
		Mitarbeiter und Führung durch Umsetzung ins Boot holen	
		Intensivierung der Zusammenarbeit von IT und operativem Geschäft	
		Change Management Programme	
		Transparenz gegenüber den Kunden (Informationsmaterial, Ansprechpartner)	

Notizen

Herausgeber

BDEW Bundesverband der
Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
www.bdew.de

Telefon +49 30 300199-0

E-Mail info@bdew.de

www.bdew.de

Redaktion und Ansprechpartner BDEW

Peter Krümmel

E-Mail peter.kruemmel@bdew.de

Layout und Satz

pinx.design

www.pinx.design



Stand August 2024

Hier geht's zur Digitalversion