

**Future Energy**  
Lab

Bericht

# **Daten und KI für die Stromverteilnetze – eine Roadmap**

In Zusammenarbeit mit:

**bdew**  
Energie. Wasser. Leben.

**bitkom**

Ein Projekt der

**dena**

# Impressum

**Herausgeber:**

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Chausseestraße 128 a  
10115 Berlin

Tel: +49 30 66 777-0

E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de)

Internet: [www.dena.de](http://www.dena.de), [www.future-energy-lab.de](http://www.future-energy-lab.de)

**Das vorliegende Papier wurde im Rahmen des gemeinsam von dena, BDEW und Bitkom initiierten Branchenprozesses „Datenbasierte Anwendungen und KI im Stromnetz“ erstellt.**

**Autorinnen und Autoren:**

Mustafa Akgül, Consentec  
Max Wertenbruch, Consentec  
Sarrah Bouchkati, IAEW  
Farah Nasr, IAEW  
Ronja Steinfurth, IAEW

**Redaktion:**

Lorenz Kahle, dena  
Anna Sibirtceva, dena  
Jakob Schieder-Hestermann, dena  
Alexander R.D. Müller, dena  
Hendrik Zimmermann, dena  
Charlotte Szedlak, BDEW  
Lukas Knüsel, BDEW  
Emilie Hansmeyer, Bitkom

**Stand:**

10/2026

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

**KI Hinweis:**

Die Inhalte wurden von Menschen ausgearbeitet und geprüft. Bei der Erstellung dieser Publikation wurde für die folgenden Anwendungen KI verwendet: Recherche, sprachliches Optimieren.

**Bitte zitieren als:**

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2026): „Daten und KI für die Stromverteilnetze – eine Roadmap“. Berlin.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

# Inhalt

|          |                                                                                |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>                                                              | <b>7</b>  |
| 1.1      | Herausforderung für die Verteilnetzbetreiber                                   | 8         |
| 1.2      | Grundlagen von KI im Stromnetz                                                 | 9         |
| 1.3      | Regulatorische Rahmenbedingungen und Risikoanalyse                             | 10        |
| <b>2</b> | <b>Daten- und KI-basierte Anwendungsfälle im Stromnetz</b>                     | <b>12</b> |
| 2.1      | Einordnung relevanter Anwendungsfälle                                          | 13        |
| 2.2      | Clusterung der Daten- und KI- Anwendungsfälle im Stromnetz                     | 13        |
| 2.3      | Umsetzbarkeit und Nutzen der Daten und KI-Anwendungsfälle                      | 15        |
| <b>3</b> | <b>Steckbriefe der Anwendungsfälle</b>                                         | <b>17</b> |
| <b>4</b> | <b>Einführung von daten- und KI-basierten Anwendungen</b>                      | <b>25</b> |
| 4.1      | Handlungsfelder bei der Umsetzung von daten- und KI-basierten Anwendungsfällen | 25        |
| 4.2      | Entwicklungsschritte                                                           | 27        |
| 4.2.1    | Organisatorische Entwicklungsschritte                                          | 27        |
| 4.2.2    | KI-Entwicklungsprozess für einzelne Anwendungen                                | 28        |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                                   | <b>30</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis</b>                                                     | <b>31</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                    | <b>32</b> |
|          | <b>Abkürzungen</b>                                                             | <b>34</b> |
|          | <b>Glossar</b>                                                                 | <b>35</b> |

# Vorwort

Das Stromnetz befindet sich in einer tiefgreifenden und schnellen Transformation. Damit diese effizient und sicher gelingt, ist es von zentraler Bedeutung, dass die Digitalisierung der Netze und der Netzbetreiber zügig vorankommt. Denn nur wenn die Potenziale datenbasierter Anwendungen und von künstlicher Intelligenz gehoben werden, können Netzbetreiber ihren Auftrag im sich wandelnden Energiesystem adäquat und effizient erfüllen.

Die aktuelle Digital@EVU-Studie 2026 des BDEW zeigt, dass Datenanalysen und KI für Unternehmen immer wichtiger werden. Gleichzeitig bestehen bekannte zentrale Herausforderungen weiterhin und es gilt, diese schrittweise zu überwinden, um die bestehenden und umfangreicher werdenden Aufgaben heute und künftig bewältigen zu können. Erste Studien haben parallel damit begonnen, die Potenziale von KI-Nutzung zu beziffern und geben diesem Handlungsfeld damit zusätzliches Gewicht.

Die dena hat daher im Rahmen des Future Energy Labs gemeinsam mit den Verbänden BDEW und Bitkom den Branchenprozess „Daten und KI für die Stromverteilnetze“ ins Leben gerufen. Ziel des Prozesses ist es, Netzbetreibern Orientierung zu geben, in welchen Bereichen die größten Potenziale von datenbasierten Anwendungen und KI liegen, einen klaren Weg in Richtung intelligentes Stromnetz aufzuzeigen und den Wissensaustausch zwischen Netzbetreibern und Lösungsanbietern zu stärken. Fachlich begleitet wird der Prozess vom Beratungsunternehmen Consentec sowie dem IAEW der RWTH Aachen. Zusätzlich wurde eine Steuergruppe bestehend aus Netzbetreibern und Lösungsanbietern etabliert, die bei der Ausgestaltung und Umsetzung des Prozesses berät.

Die dena greift bei der Umsetzung des Prozesses auf zahlreiche Erfahrungen aus anderen Projekten des Future Energy Labs zurück. Beispiele hierfür sind die Projekte *Energieeffiziente KI*, *Data4Grid*, *KI in Fernwärme* und *Machine Learning in der Fernwärme*. Die Branchenverbände bringen ihre umfangreiche Expertise sowohl zum Stromnetz als auch zu digitalen Lösungen ein und tragen wesentlich zum Transfer der Erkenntnisse in die Praxis bei. So sind die besten Voraussetzungen gegeben, um den Einsatz datenbasierter Anwendungen und von KI für die Stromnetze voranzubringen.

Die vorliegende Roadmap und die sieben zugehörigen Factsheets zu ausgewählten Anwendungsfällen sollen

Netzbetreibern eine Orientierung geben, welche datenbasierten Anwendungen und KI-Methoden in verschiedenen Aufgabenbereichen besonders vielversprechend sind und wie sie umgesetzt werden können. Die Roadmap zeigt deutlich das Potenzial, das in einem zunehmend smarten Netz steckt. Denn in fast jedem Aufgabenbereich der Netzbetreiber ermöglichen valide Daten bessere, fundiertere und schnellere Entscheidungen.

Gemeinsame Grundlage für alle datenbasierten Anwendungen und KI-Methoden – und gleichzeitig die größte Herausforderung – ist der Aufbau einer geeigneten Datenbasis. Denn nur auf Basis qualitativ hochwertiger Daten kann zielgerichtet geplant, ausgebaut und ein sicherer Netzbetrieb gewährleistet werden. Dabei gilt es einerseits, mehr Daten zu erheben, andererseits geht es aber auch darum, die Datenqualität zu verbessern. Zentral ist jedoch die Integration verschiedenster Datenquellen.

Der Aufbau einer solchen qualitativ hochwertigen Datenbasis ist mit erheblichen initialen Aufwänden verbunden. Doch der Nutzen, der diesen Aufwänden gegenübersteht, ist hoch: Prozesse können beschleunigt, Netze besser analysiert, Netzanschlüsse schneller gewährt, nachhaltige Investitionsentscheidungen getroffen, und die Betriebsführung an die neuen Anforderungen angepasst werden. Der Aufbau einer qualitativ hochwertigen Datenbasis und die Implementierung von Anwendungen können schrittweise erfolgen. Entscheidend für Netzbetreiber ist, sich auf den Weg zu machen und die Digitalisierung der Netze konsequent voranzutreiben.

Mit den vorliegenden Dokumenten und den weiteren Aktivitäten des Branchenprozesses möchten wir Orientierung stiften und einen Impuls geben, den Weg in Richtung datenbasierter Anwendungen weiter voranzugehen.

Wir laden alle Leserinnen und Leser ein, die Digitalisierung der Netze voranzubringen und somit zum intelligenten Netz der Zukunft beizutragen.

**Alexander R. D. Müller**  
Teamleiter Stromnetze  
dena

**Emilie Hansmeyer**  
Referentin Energy & Smart Grids  
Bitkom

**Lukas Knüsel**  
Fachgebietsleiter  
BDEW

**Charlotte Szedlak**  
Fachgebietsleiterin  
BDEW

# Executive Summary

Datenbasierte Anwendungen und KI sind essenziell für sichere, effiziente und leistungsfähige Stromverteilnetze. Denn basierend auf einer hochwertigen Datengrundlage und unterstützt von innovativen Datenanalysen können Verteilnetzbetreiber bessere und schnellere Entscheidungen treffen. Insbesondere datenbasierte Anwendungen in den Bereichen planungs- und betriebsnahe Prognosen, Netzplanung, Zustandsbewertung, Echtzeit-Betriebsführung, Instandhaltung von Netzkomponenten, Cybersicherheit sowie organisatorischer und kommunikativer Prozesse können einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung heutiger und zukünftiger Herausforderungen von Verteilnetzbetreibern leisten. Wesentliche Voraussetzungen für die Umsetzung datenbasierter Anwendungen und KI bei Verteilnetzbetreibern sind eine belastbare Datenbasis, geeignete IT- und Systeminfrastrukturen, organisatorische und Analysekompetenzen sowie klare Governance-Strukturen. Diese Grundlagen gilt es so schnell wie möglich zu schaffen, um eine Umsetzung gewinnbringender Anwendungen zu ermöglichen und bereit für aktuelle und kommende Anforderungen zu sein. Ebenso müssen Schnittstellen, Prozesse und Verantwortlichkeiten so weiterentwickelt

werden, dass Datenanalysen und KI-Anwendungen schrittweise in die Arbeit der Verteilnetzbetreiber integriert werden können.

Ein Umsetzungspfad für Verteilnetzbetreiber führt, wie in Abbildung 1 veranschaulicht, von der Schaffung der grundlegenden Voraussetzungen über die Einführung erster Anwendungen bis hin zur Skalierung und weitergehenden Integration daten- und KI-basierter Lösungen. Die Schaffung der grundlegenden Voraussetzungen, insbesondere in Bezug auf Daten, Systeme, Infrastrukturen, Prozesse, Kompetenzen, Governance und regulatorische Einbettung, ist als erster Schritt bereits ab sofort anzugehen. Darauf aufbauend können mittelfristig erste datenbasierte Anwendungen mit zunächst eher niedrigem Automatisierungsgrad umgesetzt werden, um Erfahrungen zu sammeln, Nutzenpotenziale zu validieren und Kompetenzen schrittweise aufzubauen. Langfristig steht schließlich die Skalierung und umfassende Integration daten- und KI-basierter Lösungen in die Kernprozesse der Verteilnetzbetreiber im Vordergrund, wodurch zunehmend auch Anwendungen mit hohem Automatisierungsgrad möglich werden.

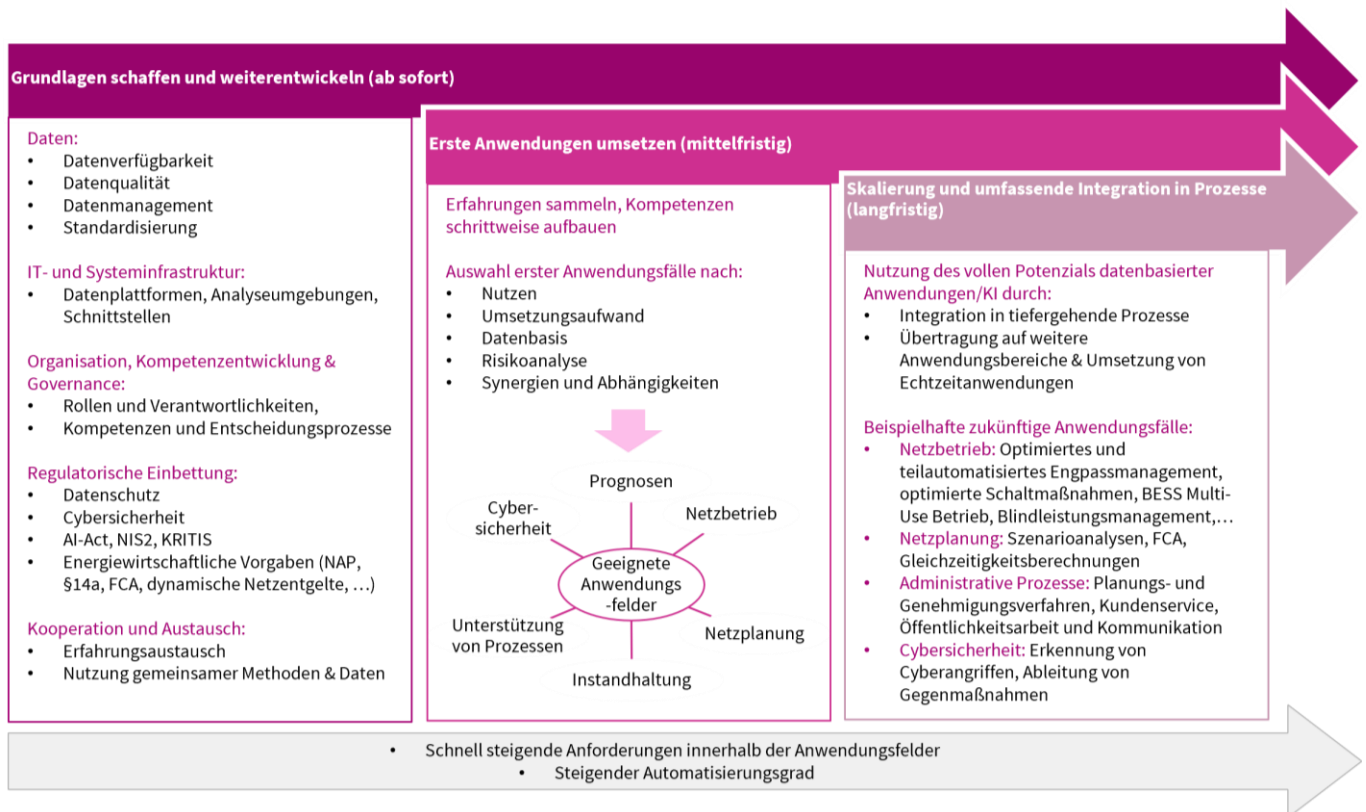


Abbildung 1: Umsetzungspfade KI- und datenbasierter Anwendungen

Anwendungen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Nutzenpotenzials, ihrer Datenanforderungen, ihrer technischen Umsetzbarkeit sowie ihrer regulatorischen Einordnung und erfordern daher unterschiedliche Kompetenzen hinsichtlich der Mensch-Maschine-Interaktion. Kurzfristig können insbesondere Analyse- und Prognoseanwendungen sowie Anwendungen im Wissensmanagement umgesetzt werden, die zum Beispiel Netzanschlussprozesse sowie Netzplanung und Wartung unterstützen. Diese Anwendungen basieren auf meist gut verfügbaren Daten und unterstützen bestehende Prozesse. Weiterführende Anwendungen mit direktem Einfluss auf den Netzbetrieb haben potenziell einen hohen Nutzen, aber auch höhere Anforderungen an Datenqualität, Systemintegration, Nachvollziehbarkeit, Folgenabschätzung und regulatorische Konformität. Hier liegen mittel- bis langfristige Entwicklungspotenziale. Darüber hinaus gewinnen Cybersicherheit, digitale Souveränität und die Berücksichtigung regulatorischer Anforderungen, insbesondere aus dem EU AI Act, der DSGVO und NIS2, an Bedeutung.

Die vorliegende Roadmap schafft einen praxistauglichen Orientierungsrahmen für Verteilnetzbetreiber. Sie zeigt, wie daten- und KI-basierte Anwendungen strukturiert bewertet und schrittweise in bestehende Prozesse integriert werden können, um die digitale Transformation der Stromverteilnetze gezielt voranzubringen.

### **Daten und KI für die Stromverteilnetze**

Diese Roadmap ist im Rahmen des Branchenprozesses „Daten und KI für die Stromnetze“ entstanden, den die dena im Rahmen des Future Energy Labs gemeinsam mit den Branchenverbänden BDEW und Bitkom durchführt.

Ziel des Prozesses ist es, Potenziale daten- und KI-basierter Anwendungen für Stromverteilnetze systematisch zu analysieren, Handlungsperspektiven für Netzbetreiber abzuleiten und Erfahrungen und Wissen in der Branche zu teilen.

Weitere Informationen zum Branchenprozess sowie ergänzende Materialien sind auf der Website <https://future-energy-lab.de/projects/daten-und-ki-fuer-die-stromnetze/> verfügbar.

# 1 Einführung

## Kernbotschaften

- Die Transformation des Energiesystems erhöht die Anforderungen an Planung und Betrieb von Stromverteilnetzen.
- Daten- und KI-basierte Anwendungen bieten Potenziale zur Unterstützung zentraler Aufgaben von Verteilnetzbetreibern.
- Die Einführung solcher Anwendungen erfordert neben technologischen Lösungen vor allem den Aufbau einer Datenbasis und das Schaffen organisatorischer und regulatorischer Voraussetzungen.
- Datenschutz, Cybersicherheit, digitale Souveränität und der EU AI Act bilden wichtige Rahmenbedingungen für die Umsetzung.

Die zunehmende Komplexität der Stromverteilnetze stellt Verteilnetzbetreiber (VNB) vor wachsende Herausforderungen in Planung, Betrieb und Weiterentwicklung ihrer Netze. Treiber dieser Entwicklung sind insbesondere die fortschreitende Integration erneuerbarer Energien, die weitere Elektrifizierung, insbesondere der Sektoren Wärme und Verkehr, sowie die steigende Anzahl flexibler Netznutzer in niedrigen Spannungsebenen. Diese Veränderungen führen zu einer höheren Dynamik und Gleichzeitig ist die Einführung solcher Anwendungen kein rein technologischer Schritt, sondern Teil eines umfassenden Transformationsprozesses. Dieser umfasst neben der Entwicklung und Implementierung konkreter Anwendungsfälle auch den Aufbau geeigneter Datenhaltung, die Anpassung organisatorischer Prozesse sowie die Berücksichtigung regulatorischer Rahmenbedingungen (VDE ETG, 2025). Besondere Bedeutung kommt dabei dem Aufbau einer soliden Daten- und KI-Governance zu: Datenqualität, Datenverfügbarkeit, Transparenz von Modellentscheidungen und der verantwortungsvolle Umgang mit sensiblen Betriebsdaten sind keine nachgelagerten Themen, sondern Grundvoraussetzungen für einen nachhaltigen und vertrauenswürdigen KI-Einsatz.

Die vorliegende Roadmap beschreibt diesen Transformationsprozess und entwickelt einen Orientierungsrahmen für die sukzessive Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen im Stromverteilnetz. Sie ist

Unsicherheit des Nutzungsverhaltens und der daraus resultierenden Netzbelastung. Hierdurch entsteht in großem Umfang der Bedarf für zusätzliche Netzkapazität sowie die Anforderung die bestehende oder neu geschaffene Kapazität möglichst optimiert auszunutzen. Klassische Ansätze, die auf vereinfachten Annahmen und statischen Planungsgrundlagen beruhen, stoßen zunehmend an ihre Grenzen. Gleichzeitig entstehen durch die fortschreitende Digitalisierung neue Möglichkeiten, diese Komplexität zu beherrschen.

KI- und datenbasierte Methoden eröffnen in diesem Kontext grundlegend neue Handlungsmöglichkeiten. Sie sind nicht lediglich ein weiteres technisches Werkzeug, sondern ein strategischer Enabler, der es Verteilnetzbetreibern erlaubt, die wachsende Komplexität aktiv zu beherrschen, anstatt ihr reaktiv zu begegnen (dena, 2026). Sie ermöglichen es, große Datenmengen systematisch auszuwerten, komplexe Zusammenhänge zu erkennen und

fundierte Entscheidungsgrundlagen bereitzustellen. Damit bieten sie ein erhebliches Potenzial zur Unterstützung zentraler Aufgaben von Verteilnetzbetreibern, etwa bei der Prognose von Last- und Einspeiseentwicklungen, der Bewertung von Netzsituationen oder der Optimierung von Planungs- und Betriebsprozessen (dena, 2023; Dobschinski, 2020). Entscheidend ist dabei, dass KI nicht isoliert eingesetzt wird, sondern in enger Verbindung mit dem Domänenwissen erfahrener Netzbetreiber. Das Zusammenspiel von menschlicher Expertise und datengestützter Analyse schafft dabei den eigentlichen Mehrwert.

so strukturiert, dass sie schrittweise von der Einordnung des Themas über die Analyse und Bewertung von Anwendungsfällen hin zu deren Operationalisierung führt. Sie richtet sich vorrangig an Verteilnetzbetreiber, aber auch an Akteure aus Politik, Regulierung, der weiter gefassten Energiewirtschaft sowie Lösungsanbieter und verbindet strategische Perspektiven mit konkreten Ansätzen zur Umsetzung.

Weiterhin dient sie als Grundlage für die weitere fachliche Vertiefung und praktische Konkretisierung einzelner Anwendungsfälle. Mit zunehmender Verfügbarkeit praktischer Erfahrungen, technologischer Entwicklungen sowie weiterer Erkenntnisse aus dem Austausch innerhalb der Branche kann die Roadmap schrittweise weiterentwickelt und ergänzt werden.

Die Einführung datenbasierter Anwendungen wird insbesondere durch die wichtigen energiewirtschaftlichen

Rahmenbedingungen geprägt. Dazu zählen insbesondere die spezifischen Herausforderungen für Verteilnetzbetreiber, grundlegende Aspekte von KI im Stromnetz sowie die relevanten regulatorischen Anforderungen. Diese Rahmenbedingungen bilden die Grundlage für die anschließende Ableitung eines strukturierten Vorgehens zur Identifikation, Bewertung und Umsetzung geeigneter Anwendungsfälle.

## 1.1 Herausforderung für die Verteilnetzbetreiber

Die Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen erfolgt vor dem Hintergrund eines sich tiefgreifend wandelnden Profils der Aufgaben von Verteilnetzbetreibern. Die Transformation des Energiesystems führt zu einer zunehmenden Komplexität in nahezu allen relevanten Tätigkeitsfeldern und erfordert neue Ansätze zur Planung, Steuerung und Optimierung der Netze, um Netzbetreiber in die Lage zu versetzen, auch zukünftig weiterhin zielgenaue, technisch und wirtschaftlich optimierte Entscheidungen treffen zu können. Die wesentlichen Herausforderungen im Kontext der Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Im Zentrum steht dabei weniger die Zunahme einzelner Einflussfaktoren als vielmehr deren zunehmendes gleichzeitiges Auftreten und die daraus resultierende höhere Dynamik und geringere Vorhersagbarkeit von Netzzuständen. Im Netzbetrieb bedeutet dies für Verteilnetzbetreiber, dass Entscheidungen zunehmend unter Unsicherheit getroffen werden müssen und gleichzeitig der Bedarf an zeitnahen, datenbasierten Analysen steigt. In der Netzplanung verschiebt sich der

Fokus von statischen Auslegungen hin zu stärker szenario- und datengetriebenen Ansätzen, um unterschiedliche Entwicklungspfade zu berücksichtigen.

Darüber hinaus gewinnt die Transparenz über den Netzzustand an Bedeutung. Insbesondere auf den unteren

Spannungsebenen sind Informationen über aktuelle Lastflüsse und sich ggf. daraus ergebende Netzengpässe häufig nur eingeschränkt verfügbar. Zwar werden im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung zunehmend Messwerte erfasst und die Beobachtbarkeit der Netze verbessert. Im Rahmen des Projektes Klimakommune.digital wurden beispielsweise alle Ortsnetzstationen in der Stadt Hagen mit Überwachungstechnik ausgestattet. Allerdings stellt die Verfügbarkeit von Daten allein noch keinen ausreichenden Mehrwert dar. Vielmehr kommt es entscheidend darauf an, diese Daten systematisch zu verarbeiten, auszuwerten und in operative sowie planerische Entscheidungsprozesse zu integrieren.

In der Praxis besteht hier häufig noch Handlungsbedarf, etwa im Hinblick auf die Datenaufbereitung, die Verknüpfung unterschiedlicher Datenquellen oder die Einbindung entsprechender Auswertungen in bestehende Prozesse. Datenlücken im Allgemeinen können sowohl operative Entscheidungen im Netzbetrieb behindern als auch langfristige Planungsprozesse erschweren und das Risiko von Unter- oder Überdimensionierungen der Netzinfrastruktur erhöhen.

Neben den technischen Herausforderungen spielen auch organisatorische und strukturelle Aspekte eine wichtige Rolle. Die Einführung datenbasierter Anwendungen erfordert neue Kompetenzen im Umgang mit Daten, Methoden und digitalen Technologien. Gleichzeitig müssen bestehende Prozesse angepasst und Schnittstellen zwischen Fachbereichen, IT und externen Partnern neugestaltet werden.

Schließlich sind Verteilnetzbetreiber in ein komplexes Umfeld aus regulatorischen Vorgaben und sicherheitsrelevanten Anforderungen eingebettet. Als Betreiber kritischer Infrastrukturen (KRITIS) (Next Kraftwerke GmbH, 2026) müssen sie sicherstellen, dass neue Technologien die Versorgungssicherheit nicht gefährden und gleichzeitig den geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen entsprechen.

Tabelle 1: Übersicht über wesentliche Herausforderungen für Verteilnetzbetreiber

|                                                    |                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Steigende Komplexität und Unsicherheit</b>   | Höhere Dynamik und geringere Vorhersagbarkeit von Netzzuständen sowie zukünftigen Netzentwicklungen                                                      |
| <b>1.1. Beobachtbarkeit</b>                        | Begrenzte Verfügbarkeit von Mess- und Zustandsdaten                                                                                                      |
| <b>1.2. Datenmanagement</b>                        | Aufbau geeigneter Daten- und IT-Architekturen sowie Sicherstellung von Datenqualität und Datenverfügbarkeit unter Berücksichtigung der Datensouveränität |
| <b>1.3. Kompetenzaufbau und Organisation</b>       | Aufbau von Know-how in den Bereichen Datenanalyse, KI und Digitalisierung sowie Integration neuer Arbeitsweisen                                          |
| <b>2. Regulatorische Anforderungen/ Compliance</b> | Anforderungen aus EU AI Act, DSGVO, NIS2, KRITIS und energiewirtschaftlichen Vorgaben                                                                    |

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern Teil eines umfassenden Transformationsprozesses ist, der technische, organisatorische, menschliche und regulatorische Dimensionen gleichermaßen umfasst.

## 1.2 Grundlagen von KI im Stromnetz

KI bildet eine zentrale Technologie für die Entwicklung datenbasierter Anwendungen im Stromverteilnetz. Die Definition und das Verständnis von Künstlicher Intelligenz sind dabei komplex und vielschichtig. Künstliche Intelligenz beschreibt die Fähigkeit von Maschinen, basierend auf Algorithmen Aufgaben autonom auszuführen und dabei die Problemlösungs- und Entscheidungsfähigkeiten des menschlichen Verstandes nachzuahmen. Die bis dato verbindlichste rechtliche Definition liefert der EU AI Act (Verordnung (EU) 2024/1689) (EU, 2024):

*„KI ist ein maschinengestütztes System, das so konzipiert ist, dass es mit unterschiedlichem Grad an Autonomie betrieben werden kann und nach seiner Einführung Anpassungsfähigkeit zeigt, und das für explizite oder implizite Ziele aus den Eingaben, die es erhält, ableitet, wie es Ausgaben wie Vorhersagen, Inhalte, Empfehlungen oder Entscheidungen generieren kann, die physische oder virtuelle Umgebungen beeinflussen können.“*

Die Autorinnen und Autoren dieser Roadmap betrachten KI als Teilgebiet der Informatik, in dem menschliche kognitive Fähigkeiten imitiert werden, indem es Informationen aus Eingabedaten erkennt und sortiert. Die hierfür erforderliche Intelligenz kann auf programmierten Abläufen basieren oder durch maschinelles Lernen erzeugt werden. Abbildung 2 veranschaulicht die Beziehung zwischen den zentralen Begriffen im Zusammenhang mit KI. KI bildet den weitesten Rahmen und umfasst alle Ansätze, bei denen Maschinen intelligentes Verhalten zeigen. Maschinelles Lernen (ML) ist ein Teilgebiet der KI, das sich auf das datenbasierte Erlernen von Mustern spezialisiert. Neuronale Netze wiederum sind eine spezifische Klasse von ML-Algorithmen, die sich an der Struktur biologischer Nervensysteme orientieren. Deep Learning bezeichnet neuronale Netze mit vielen Schichten, die besonders komplexe Zusammenhänge in großen Datenmengen erkennen können. Generative KI schließlich ist die derzeit bekannteste Anwendungsform des Deep Learning und umfasst Systeme, die eigenständig neue Inhalte, etwa Texte, Prognosen oder Berichte, erzeugen können (BSI, 2025; dena, 2023).

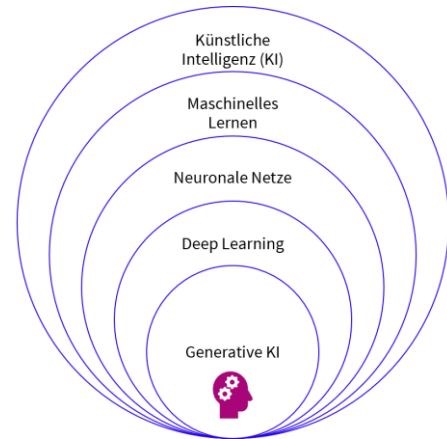


Abbildung 2: Grundbegriffe der Künstlichen Intelligenz

Dabei ist hervorzuheben, dass der Einsatz entsprechender Methoden im Stromnetz kein grundsätzlich neues Phänomen darstellt. Bereits heute kommen in einzelnen Anwendungsfeldern datenanalytische Verfahren und erste KI-Ansätze zum Einsatz, etwa bei der Prognose der Einspeisung oder der Auswertung von Messdaten (BDEW, 2020). Diese Anwendungen sind derzeit jedoch häufig punktuell umgesetzt und nur begrenzt in übergeordnete Prozesse integriert. Der sich aktuell in der Praxis vollziehende Entwicklungsschritt unterscheidet sich insbesondere durch eine zunehmende Verfügbarkeit von Daten, Fortschritte in den eingesetzten Methoden sowie die wachsende Notwendigkeit, komplexe und dynamische Netzsituationen umfassend abzubilden. Damit verschiebt sich der Fokus von isolierten Einzelanwendungen hin zu einer systematischen und breiteren Integration daten- und KI-basierter Ansätze in zentrale Prozesse von Netzplanung und Netzbetrieb.

Im Kontext des Stromnetzes umfasst dies insbesondere Verfahren der Datenanalyse, des maschinellen Lernens und der Optimierung, die in unterschiedlichen Anwendungsfeldern eingesetzt werden können. Dabei reicht das Spektrum von vergleichsweise einfachen statistischen Verfahren bis hin zu komplexen lernenden Systemen. Im Stromverteilnetz fallen entlang verschiedener Prozesse große Mengen an Daten an, beispielsweise aus Messsystemen, Netzmodellen oder betrieblichen Anwendungen. Diese Daten bilden die Grundlage für Analysen, Prognosen und Optimierungen und sind damit ein wesentlicher Treiber für die Weiterentwicklung von Planungs- und Betriebsprozessen.

Daneben spielen optimierungsbasierte Verfahren eine wichtige Rolle, etwa bei der Bestimmung effizienter Betriebsstrategien oder der Planung von Netzausbaumaßnahmen. Diese Verfahren zielen darauf ab, unter gegebenen Randbedingungen optimale Lösungen zu

finden, beispielsweise im Hinblick auf Kosten, Netzstabilität oder Ressourceneinsatz.

Ergänzend kommen deskriptive und explorative Analyseverfahren zum Einsatz, die dazu dienen, bestehende Datenbestände auszuwerten und ein besseres Verständnis für Zusammenhänge im Stromnetz zu entwickeln. Diese bilden häufig die Grundlage für weiterführende Anwendungen und unterstützen die Entscheidungsfindung durch transparente und nachvollziehbare Auswertungen.

Aus welcher dieser Verfahrenskategorien Methoden zur Anwendung kommen sollen, hängt dabei stark vom jeweiligen Anwendungsfall ab und wird insbesondere durch die verfügbaren Daten, die Zielsetzung der Anwendung sowie die Anforderungen an Genauigkeit und Nachvollziehbarkeit bestimmt. In vielen Fällen werden verschiedene Methoden kombiniert, um robuste und leistungsfähige Lösungen zu entwickeln.

### 1.3 Regulatorische Rahmenbedingungen und Risikoanalyse

Die Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen im Stromverteilnetz erfolgt innerhalb eines definierten regulatorischen Rahmens, der sowohl die Nutzung von Daten als auch den Einsatz digitaler Technologien maßgeblich beeinflusst.

Ein zentraler Aspekt ist der Umgang mit Daten und deren Schutz. Die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung von Daten unterliegt rechtlichen Vorgaben, insbesondere im Hinblick auf Datenschutz und Datensicherheit. Dies betrifft sowohl personenbezogene Daten als auch sensible Betriebsdaten, die für den sicheren Betrieb des Stromnetzes von Bedeutung sind. Entsprechend müssen datenbasierte Anwendungen so gestaltet werden, dass sie den geltenden Anforderungen an Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Daten gerecht werden. Insbesondere die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) (EU, 2016) sowie der EU Data Act (EU, 2023) stellen zentrale regulatorische Rahmenwerke dar, die den Einsatz von KI beeinflussen, indem sie Vorgaben für die Verarbeitung personenbezogener Daten sowie Regelungen zu automatisierten Entscheidungsprozessen festlegen.

Darüber hinaus spielen Anforderungen an die IT- und Systemsicherheit eine entscheidende Rolle. Als Teil kritischer Infrastrukturen unterliegen Stromverteilnetze besonderen Sicherheitsanforderungen, die auch bei der

Einführung neuer Technologien berücksichtigt werden müssen. Dies betrifft sowohl die Entwicklung und Implementierung von Anwendungen als auch deren Betrieb und Wartung. Neben klassischen Anforderungen gewinnt auch die digitale Souveränität zunehmend an Bedeutung. Insbesondere beim Einsatz cloudbasierter Plattformen oder von KI-Diensten stellt sich die Frage, wie die Kontrolle über kritische Daten, Modelle und Prozesse langfristig sichergestellt werden kann.

Auf nationaler und europäischer Ebene werden derzeit zunehmend Vorgaben entwickelt, die den Einsatz von KI-Systemen strukturieren und Anforderungen an Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Risikomanagement definieren. Diese Entwicklungen haben direkten Einfluss darauf, wie KI-Anwendungen im Stromnetz gestaltet und eingesetzt werden können. Orientierung zum Einsatz von KI-Methoden bieten hierzu beispielsweise die Standardisierungsroadmap KI (DIN, DKE, 2022) für die deutsche Industrie sowie die dena-Analyse zum Einsatz von KI im Energiesektor (dena, 2020).

Auf europäischer Ebene wird der Einsatz von KI in kritischen Infrastrukturen, zu denen auch das elektrische Stromnetz zählt, durch den EU AI Act reguliert. Ziel der Verordnung ist es, einen einheitlichen Rechtsrahmen für KI zu schaffen, der ein hohes Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Gesundheit und Grundrechte gewährleistet und gleichzeitig Vertrauen in den Einsatz von KI stärkt. Der EU AI Act verfolgt einen risikobasierten Ansatz und sieht für KI-Anwendungen ein vierstufiges Risikomodell vor, bestehend aus Anwendungen mit inakzeptablem, hohem, begrenztem und minimalem Risiko, wobei jede Kategorie mit spezifischen regulatorischen Anforderungen verbunden ist (siehe Abbildung 3).

Anwendungen im Betrieb kritischer Infrastrukturen kommen grundsätzlich für die Hochrisiko-Einstufung in Betracht. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie als sicherheitsrelevante Komponenten wirken und direkten Einfluss auf operative Entscheidungen oder die Versorgungssicherheit haben. Gleichzeitig sieht der EU AI Act eine differenzierte Betrachtung vor. Nicht jede KI-Anwendung im Kontext kritischer Infrastrukturen wird notwendigerweise automatisch als Hochrisiko eingestuft. Insbesondere dann, wenn eine Anwendung keinen sicherheitsrelevanten Einfluss auf den Betrieb hat, sondern beispielsweise rein unterstützende oder vorbereitende Funktionen erfüllt, kann sie von einer Hochrisiko-Einstufung ausgenommen sein (vgl. EU AI Act, Anhang III).



Abbildung 3: Risikoklassen gemäß dem EU AI Act (infometis, 2025)

Die Risikoeinstufung von KI-Anwendungen im Stromnetz hängt nicht allein von der technischen Ausgestaltung des Modells ab, sondern maßgeblich von dessen Einbindung in betriebliche Prozesse. So kann ein KI-gestütztes Prognosewerkzeug, das direkt in automatisierte Fahrplan- oder Netzbewertungsprozesse integriert ist, als Hochrisiko-Anwendung eingestuft werden. Wird dasselbe System hingegen ausschließlich zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen oder zur Situationsanalyse eingesetzt, kann es der Kategorie „begrenztes Risiko“ zugeordnet werden (VDE ETG, 2025). Erfolgt der Einsatz lediglich für Offline-Analysen ohne direkten operativen Einfluss, gilt die Anwendung in der Regel als minimal riskant. Diese kontextabhängige Einordnung verdeutlicht zugleich die Flexibilität des regulatorischen Rahmens: Identische KI-

Systeme können abhängig von ihrem konkreten Einsatzbereich unterschiedlichen Anforderungen unterliegen. Für Betreiber bietet dies die Möglichkeit, KI-Anwendungen gezielt und verantwortungsvoll in bestehende Prozesse zu integrieren und regulatorische Anforderungen frühzeitig bei der Systemgestaltung zu berücksichtigen.

Für die Entwicklung und den Einsatz von KI im Stromnetz bedeutet dies, dass sowohl die Funktion der Anwendung als auch deren Eingriffstiefe und potenzielle Auswirkungen auf den Netzbetrieb frühzeitig berücksichtigt werden müssen. Eine sorgfältige Einordnung entlang regulatorischer Anforderungen ist dabei eine zentrale Voraussetzung für eine sichere und rechtskonforme Implementierung. Neben diesen rechtlichen Anforderungen sind auch die ökonomischen und regulatorischen Anreize von Bedeutung, unter denen Verteilnetzbetreiber agieren. Diese beeinflussen maßgeblich, in welchem Umfang datenbasierte Anwendungen angeschafft und wie schnell neue Technologien in die Praxis überführt werden.

Insgesamt ergibt sich daraus ein Spannungsfeld zwischen Innovationspotenzial und regulatorischen Anforderungen. Die Roadmap berücksichtigt dieses Spannungsfeld, indem sie nicht nur technologische Entwicklungspfade beschreibt, sondern auch die Rahmenbedingungen einbezieht, unter denen eine Umsetzung realistisch erfolgen kann.

## 2 Daten- und KI-basierte Anwendungsfälle im Stromnetz

### Kernbotschaften

- Daten- und KI-basierte Anwendungsfälle decken ein breites Spektrum von Netzplanung und Netzbetrieb bis hin zu Assetmanagement und Cybersicherheit ab.
- Viele Anwendungsfälle basieren auf ähnlichen Datenstrukturen und können zu Clustern mit vergleichbaren Anforderungen zusammengefasst werden.
- Die Bewertung der KI-Anwendungsfälle schafft Transparenz über die Potenziale, Voraussetzungen und Umsetzungshemmnisse unterschiedlicher Anwendungsfälle und unterstützt deren Priorisierung.

Die zuvor beschriebenen Herausforderungen, technologischen Entwicklungen und regulatorischen Rahmenbedingungen verdeutlichen, dass daten- und KI-basierte Anwendungsfälle ein breites Einsatzpotenzial im Stromverteilnetz besitzen (European Commission, 2025). Gleichzeitig unterscheiden sich die möglichen Anwendungsfälle erheblich hinsichtlich ihres Nutzens, ihrer technischen Anforderungen sowie ihrer Umsetzbarkeit in der Praxis.

Für Verteilnetzbetreiber stellt sich daher die Frage, welche Anwendungsfälle unter den bestehenden Rahmenbedingungen prioritär umgesetzt werden können und welche Voraussetzungen hierfür geschaffen werden müssen. Zudem unterscheiden sich die Anforderungen und Rahmenbedingungen zwischen einzelnen Unternehmen, sodass erfolgreiche datenbasierte Anwendungen nicht ohne Weiteres übertragbar sind. Deshalb sollte vor der Einführung daten- und KI-basierter Verfahren stets eine unternehmensspezifische Kosten-Nutzen-Bewertung erfolgen. Dabei ist zunächst zu analysieren, wie effizient

bestehende Prozesse bereits arbeiten und in welchem Umfang tatsächlich Optimierungspotenzial vorhanden ist. Besteht ein solches Potenzial, ist anschließend technologieoffen zu prüfen, mit welchem Lösungsansatz dieses am sinnvollsten erschlossen werden kann und welchen Beitrag unter anderem daten- und KI-basierte Verfahren leisten können. Insbesondere bei bereits stark optimierten Abläufen kann der zusätzliche Nutzen durch daten- und KI-basierte Anwendungen geringer ausfallen. Selbst in Bereichen, die grundsätzlich als besonders geeignet für KI-Anwendungen gelten, kann der technische und organisatorische Aufwand einer Implementierung höher sein als der erreichbare Mehrwert durch marginale Effizienzsteigerungen.

Eine zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von datenbasierten Anwendungen ist zudem die Verfügbarkeit geeigneter Daten. Daher sollte frühzeitig geprüft werden, ob die vorhandene Datenbasis ausreichend ist, um Prozesse durch KI sinnvoll zu unterstützen, zu erweitern oder teilweise zu automatisieren. Gegebenenfalls kann es zielführender sein, zunächst die Quantität, Qualität, Verfügbarkeit und Struktur der Datenbasis im Unternehmen zu verbessern, bevor daten- und KI-gestützte Anwendungen eingeführt werden. Eine übergreifende Datenstrategie kann dabei helfen, Verantwortlichkeiten, Qualitätsanforderungen und Entwicklungspfade für die Datennutzung im Unternehmen zu definieren und so die Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz daten- und KI-basierter Anwendungen zu schaffen.

Die nachfolgende Einordnung und Bewertung der Anwendungsfälle schaffen hierfür eine strukturierte Grundlage (siehe Abbildung 4). Ziel ist es, relevante Einsatzbereiche systematisch zu analysieren, vergleichbar zu machen und daraus prioritäre Anwendungsfälle für die weitere Entwicklung und Umsetzung abzuleiten. Die benötigte Expertise lieferten dabei Teilnehmende von Lösungsanbietern, Verteilnetzbetreibern und Verbänden, welche sich in Workshops im Rahmen des Branchenprozesses beteiligt haben.

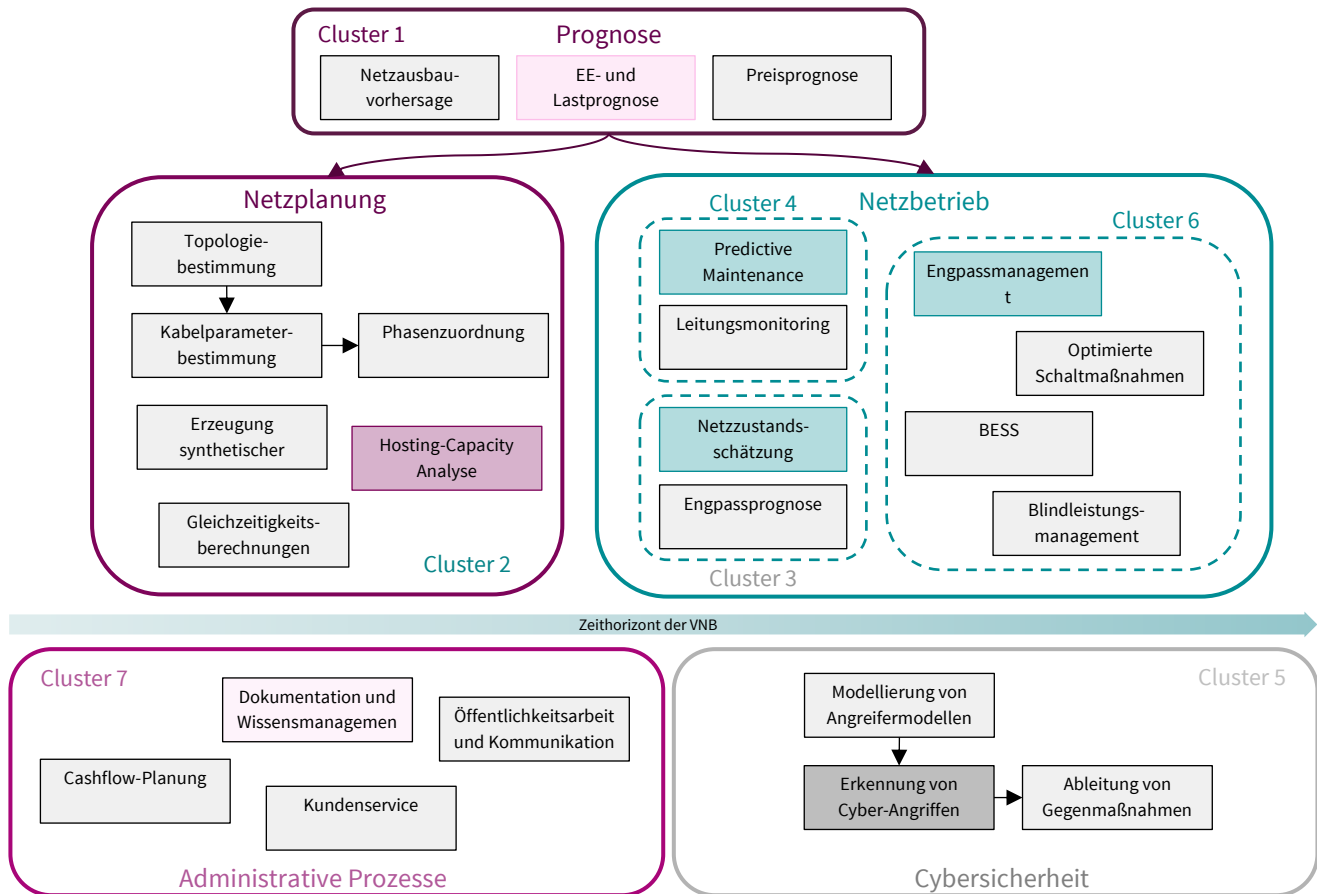


Abbildung 4: Übersicht relevanter daten- und KI-basierter Anwendungsfälle für Verteilnetzbetreiber (Input-Output Analyse)

## 2.1 Einordnung relevanter Anwendungsfälle

Daten- und KI-basierte Anwendungsfälle können entlang zahlreicher Prozesse und Aufgabenfelder von Verteilnetzbetreibern eingesetzt werden. Diese umfassen unter anderem die Netzplanung, den Netzbetrieb, den Bereich der Cybersicherheit sowie unterstützende und administrative Prozesse. Die Spannweite reicht dabei von unterstützenden Analyse- und Prognoseanwendungsfällen bis hin zu betriebsnahen Anwendungsfällen mit direktem Einfluss auf operative Entscheidungen. Um die unterschiedlichen Einsatzbereiche einordnen zu können, werden nachfolgend relevante Anwendungsfälle entlang zentraler Prozess- und Aufgabenfelder identifiziert und strukturiert gegenübergestellt. Abbildung 4 verdeutlicht sowohl die Vielfalt möglicher Anwendungsfälle als auch deren inhaltliche Zusammenhänge und Abhängigkeiten. Die Analyse der Datengrundlagen und Prozessabhängigkeiten verdeutlicht, dass viele Anwendungsfälle auf ähnlichen Datenstrukturen und funktionalen Anforderungen beruhen. Gleichzeitig bestehen enge Wechselwirkungen zwischen einzelnen Anwendungen, sodass eine isolierte Betrachtung häufig nicht zielführend

ist. Einzelne Anwendungsfälle fungieren hierbei als grundlegende Basis für eine Vielzahl weiterer Anwendungsfälle. Beispielsweise kann eine Engpassprognose auf Basis der Ergebnisse einer Netzzustandsschätzung erfolgen. Engpassmanagement-Maßnahmen können wiederum auf Basis der Engpassprognose abgeleitet werden. Vor diesem Hintergrund werden die identifizierten Anwendungsfälle zu Clustern mit vergleichbaren Eigenschaften zusammengefasst. Dadurch wird die Vielzahl an Einzelanwendungen auf eine überschaubare Anzahl repräsentativer Anwendungsfälle reduziert. Aufgrund der inhaltlichen Nähe innerhalb der Cluster lassen sich die Ergebnisse auf die jeweils zugehörigen Anwendungsfälle übertragen.

## 2.2 Clusterung der Daten- und KI-Anwendungsfälle im Stromnetz

Die Clusterung erfolgt nach drei Kriterien:

**Gemeinsame Datengrundlage:** Anwendungsfälle mit ähnlicher Datengrundlage, beispielsweise gemeinsam genutzten Lastgang-, SCADA- oder Wetterdaten, wurden zusammengefasst, um Dateninfrastrukturen und Aufbereitungsprozesse mehrfach nutzen zu können.

**Inhaltliche Verwandtschaft:** Anwendungsfälle mit inhaltlicher Nähe, wie z. B. Prognoseaufgaben, wurden zusammengefasst, da sie vergleichbare Modellarchitekturen und Validierungsansätze erfordern. Dadurch lassen sich aufgebaute Kompetenzen direkt übertragen.

**Methodische Zusammenhänge:** Anwendungsfälle, die methodisch aufeinander aufbauen wurden zusammengefasst. Bildet ein Anwendungsfall dabei die methodische Grundlage für weiterführende Anwendungen, wird dieser entsprechend früher in der Roadmap verortet.

### Cluster 1: Planungs- und betriebsnahe Prognosen

Das erste Cluster umfasst Prognosen für die Netzplanung und den Netzbetrieb. Dazu zählen bspw. Last-, Erzeugungs- und Preisprognosen. Dieses Cluster zeichnet sich dadurch aus, dass die hier zusammengefassten Anwendungsfälle Rohdaten wie Wetterdaten, Netztopologien und Anlagenstammdaten aufbereiten und daraus Prognosen erzeugen. Darüber hinaus bilden alle Anwendungsfälle des Clusters den Input für weitere Anwendungsfälle, weisen aufgrund ihrer zeitreihenbasierten Struktur vergleichbare Datenformate auf und können mit ähnlichen KI-Verfahren erzeugt werden. Als Cluster-Repräsentant wird der Use Case Einspeise- und Lastprognosen ausgewählt, da er einen zentralen Baustein planungs- und betriebsnaher Prozesse darstellt. Er weist zahlreiche Abhängigkeiten zu netzbetrieblichen Funktionen und Entscheidungsprozessen auf und verfügt neben seiner hohen Praxisrelevanz über einen entsprechend fortgeschrittenen Forschungsstand.

### Cluster 2: Netzplanung

Dieses Cluster repräsentiert alle Anwendungsfälle der Netzplanung. Ausgehend von synthetischen Last- und Einspeisezeitreihen werden Szenarioanalysen, die Generierung von Zukunftsszenarien, Gleichzeitigkeitsberechnungen, Hosting-Capacity-Analysen, Vorhersagen des Netzausbaubedarfs sowie Kosten-schätzungen zusammengefasst. Im Kern thematisiert das Cluster somit Zukunfts- und Kapazitätsbewertungen im Rahmen der Netzplanung, wobei alle Anwendungsfälle Zukunftszustände behandeln und strategischen Planungsentscheidungen dienen. Als Repräsentant wird die Hosting-Capacity-Analyse ausgewählt, weil sie in direktem Zusammenhang mit aktuellen Herausforderungen im Netzananschlussverfahren steht und planerisch hoch relevant ist, da sie die Grundlage für die Bestimmung des Netzausbaubedarfs bildet.

### Cluster 3: Zustandsbewertung

Im Cluster der Zustandsbewertung werden die Anwendungsfälle der Netzzustandsschätzung und -prognose, der Engpassprognose sowie der Erkennung von Störungen zusammengefasst. Die Zuordnung erfolgt dabei anhand der primären Funktion der Anwendungen: Während im Cluster Prognose insbesondere zukünftige Eingangsgrößen wie Last und Erzeugung im Fokus stehen, dienen die hier betrachteten Anwendungen der Bewertung des daraus resultierenden Netzzustands. Einzelne Anwendungsfälle weisen daher Überschneidungen zwischen den Clustern auf. Gemeinsam ist diesen Anwendungsfällen, dass sie der (vorausschauenden) Netzbewertung in Planung und Betrieb dienen und damit eine Entscheidungsgrundlage bilden. Jedoch bieten sie keine direkte Handlung oder Steuerung, sondern nur eine zustandsbasierte Entscheidungsunterstützung. Zudem stellen sämtliche Anwendungsfälle dieses Clusters die Datengrundlage für weiterführende Anwendungen dar und greifen ihrerseits auf die Prognosen aus Cluster 1 als Eingangsdaten zurück. Als Repräsentant wird die Netzzustandsermittlung ausgewählt, da sie eine zentrale Funktion im Netzbetrieb einnimmt. Gerade hier stoßen klassische Methoden an ihre Grenzen aufgrund der zunehmenden Systemkomplexität, welche mit KI-basierten Ansätzen wirksam begegnet werden kann.

### Cluster 4: Instandhaltung von Netzkomponenten

Das Cluster der Instandhaltung von Netzkomponenten fasst die Anwendungsfälle des Monitorings von Leitungen und der Predictive Maintenance zusammen. Beide Anwendungsfälle stellen (zustandsbasierte) Instandhaltungsmaßnahmen für Assets dar, wobei die Zielgröße jeweils der Zustand des Assets ist und beide auf langfristige Wirkungen anstelle kurzfristiger, reaktiver Eingriffe abzielen. Als Repräsentant wird die Predictive Maintenance betrachtet, da es sich um ein bereits in mehreren Branchen etabliertes KI-Anwendungsfeld handelt, das durch die Reduktion ungeplanter Ausfälle und der damit verbundenen Kosten einen hohen wirtschaftlichen Nutzen bietet.

### Cluster 5: Cybersicherheit

In diesem Cluster werden die Anwendungsfälle Erkennung von Schwachstellen, Datenmanipulationen und Cyber-Angriffen, Gegenmaßnahmen bei Cyber-Angriffen, Risikoanalyse sowie KI-basierte Angreifer-Modelle zusammengefasst. Es umfasst damit sämtliche Anwendungsfälle aus dem Bereich der Cybersicherheit und adressiert die Sicherheitsschicht für alle übrigen Cluster, von der Absicherung der (Roh-)Daten über die Modelle bis hin zu

den daraus abgeleiteten Entscheidungen. Mit zunehmendem Datenverkehr gewinnt dieser Bereich weiter an Bedeutung. Als Repräsentant wird die Erkennung von Cyber-Angriffen ausgewählt. Gründe hierfür sind die Sicherstellung der Datenintegrität für Betriebsentscheidungen sowie die zunehmende Digitalisierung und Automatisierung im Netzbetrieb mit den zeitgleich existierenden hohen Sicherheitsanforderungen.

### Cluster 6: Echtzeit-Betriebsführung

In der Übersicht aus Abbildung 4 besteht ein Block aus entscheidungsunterstützenden und/oder automatisierten Anwendungsfällen, die im Cluster der Echtzeit-Betriebsführung zusammengefasst werden. Sie bilden sowohl operative Maßnahmen als auch proaktive und reaktive Betriebsoptimierungsmaßnahmen ab und berücksichtigen dabei sowohl Human-in-the-Loop- als auch vollautomatisierte Verfahren. Als gemeinsame Zielgröße dient die Einhaltung technischer Netz- und Betriebsgrenzen. Zudem zeichnen sich die Anwendungsfälle durch hohe Datenanforderungen und hohe Eintrittshürden, zugleich aber auch durch einen großen Hebel für die Verteilnetzbetreiber aus. Als Repräsentant wird das Engpassmanagement ausgewählt. Dieser Anwendungsfall adressiert den hohen Druck zur Automatisierung und verdeutlicht zugleich die Relevanz und Dringlichkeit des wachsenden Bedarfs an kurzfristigen betrieblichen Maßnahmen. Diese Dringlichkeit wird zusätzlich durch einen wachsenden regulatorischen Druck verstärkt, etwa durch den §14a des Energiewirtschaftsgesetzes. Die Anwendungen dieses Clusters basieren auf den Ergebnissen aus Cluster 3, da die dort ermittelten Zustandsbewertungen als Grundlage für Betriebsführungsmaßnahmen dienen.

### Cluster 7: Unterstützung administrativer, organisatorischer und kommunikativer Prozesse

Als letztes Cluster werden alle administrativen und unterstützenden Anwendungen aus der Übersicht zusammengefasst. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sich daten- und KI-basierte Anwendungen in diesem Bereich einfacher einsetzen lassen, da es sich überwiegend um unterstützende und administrative Tätigkeiten handelt.

Zugleich besteht ein geringes Risiko, da keine steuernden Eingriffe vorgenommen werden, sodass durch die entlastende und unterstützende Wirkung der KI-Anwendungen mit hohen Effizienzgewinnen zu rechnen ist. Als Repräsentant wird der Anwendungsfall der Dokumentation und des Wissensmanagements gewählt, da dieser stellvertretend für jegliche unterstützende Tätigkeiten steht. Zudem ist er universell einsetzbar und lässt sich leicht auf verschiedenste Organisationseinheiten übertragen, mit dem Ziel, eine einheitliche Informationsbasis zu schaffen.

## 2.3 Umsetzbarkeit und Nutzen der Daten und KI-Anwendungsfälle

Die Bewertung der KI-Anwendungsfälle basiert auf Einschätzungen von den an dem Branchenprozess mitwirkenden Verteilnetzbetreibern und Lösungsanbietern und dient in erster Linie als Orientierung. Das tatsächliche Potenzial sowie die Umsetzungs- und Integrationskomplexität hängen in der Praxis von zahlreichen unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen ab und können entsprechend variieren.

Zur Bewertung der Umsetzbarkeit wurden Kriterien betrachtet, die insbesondere den Implementierungsaufwand, die technische Reife sowie die verfügbaren Rahmenbedingungen beschreiben. Dazu zählen unter anderem die Eingriffstiefe in bestehende Prozesse, der erforderliche Implementierungs-, Ressourcen- und Betriebsaufwand sowie die Erklärbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Methoden. Ergänzend wurden die technologische Reife, die Performance und Echtzeitfähigkeit, die Verfügbarkeit und Qualität der Daten, die Robustheit und Fehlertoleranz sowie Risiken in Bezug auf Sicherheit und Cybersicherheit berücksichtigt. Auch regulatorische Anforderungen flossen in die Bewertung ein.

Die Bewertung des Nutzens fokussierte sich auf die erwarteten Auswirkungen der Anwendungen auf betrieblicher, organisatorischer und gesellschaftlicher Ebene. Berücksichtigt wurden dabei insbesondere das Potenzial für kontinuierliche Verbesserungen sowie der betriebliche und der betriebswirtschaftliche Nutzen.

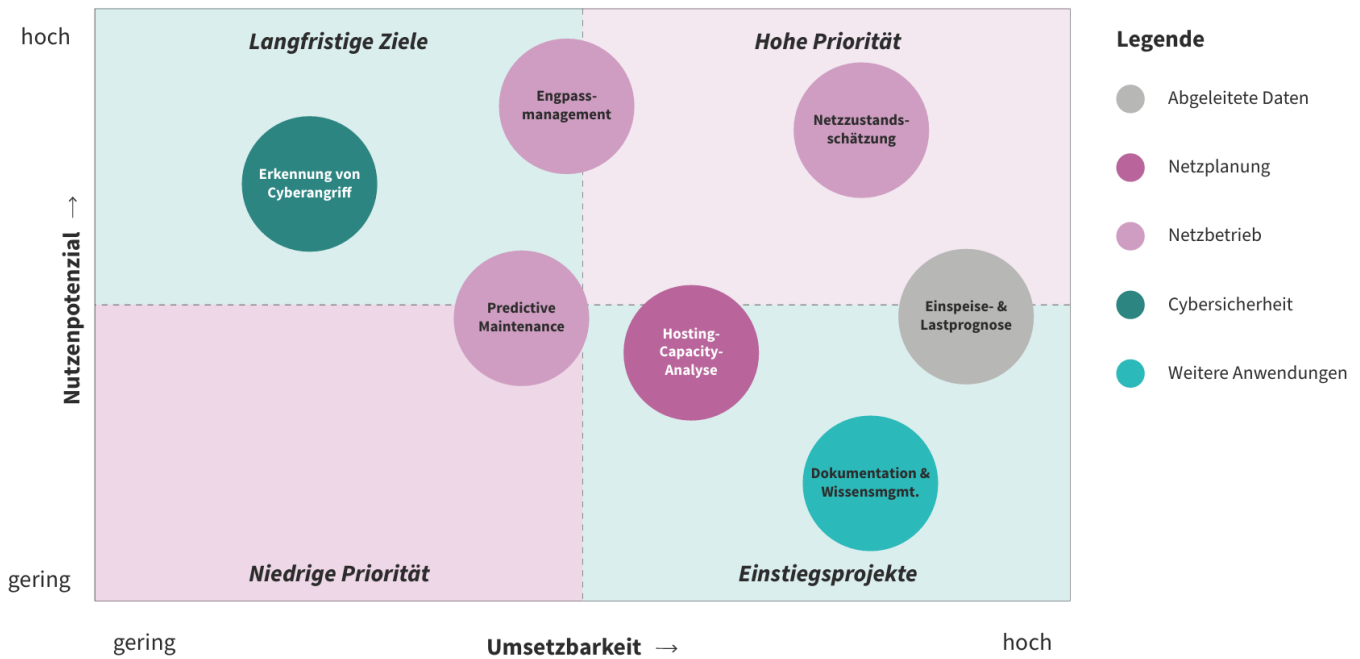


Abbildung 5: Gesamtbewertung der ausgewählten Anwendungsfälle.

Darüber hinaus wurden systemische Aspekte wie die Dringlichkeit der Anwendung bewertet.

Die zugrunde liegenden Bewertungskriterien wurden auf Basis von Rechercheergebnissen sowie Input der Steuergruppe ausgewählt. Sie wurden bewusst den zwei Dimensionen Umsetzbarkeit und Nutzenpotenzial zugeordnet. Priorisierung und Gewichtung der Kriterien erfolgten auf Grundlage von Einschätzungen einzelner Verteilnetzbetreiber aus der Steuerungsgruppe. Auf dieser Grundlage wurden die KI-Anwendungsfälle anhand der Kriterien bewertet. Dafür wurde eine fünfstufige Skala von sehr niedrig bis sehr hoch verwendet. Die Einordnung stützte sich auf Rechercheergebnisse sowie praktische Einblicke aus dem Branchenprozess. Die Trennlinien zwischen den Quadranten orientieren sich am neutralen Skalenwert. Sie stellen somit eine logische und keine statistisch abgeleitete Grenze dar.

Aus der Kombination der beiden Dimensionen ergeben sich vier Quadranten. Anwendungsfälle mit hoher Umsetzbarkeit und hohem Nutzenpotenzial gelten als hohe Priorität. Für sie wird eine zeitnahe Umsetzung empfohlen. Anwendungsfälle mit hohem Nutzenpotenzial, aber geringerer Umsetzbarkeit gelten als langfristige Ziele. Ihre

Realisierung hängt von der Weiterentwicklung technischer, organisatorischer oder regulatorischer Rahmenbedingungen ab. Anwendungsfälle mit hoher Umsetzbarkeit, aber geringerem Nutzenpotenzial eignen sich als Einstiegsprojekte. Sie ermöglichen es, erste praktische Erfahrungen zu sammeln. Anwendungsfälle mit geringer Umsetzbarkeit und geringem Nutzenpotenzial gelten als niedrige Priorität.

Die Ergebnisse des Bewertungsprozesses sind in Abbildung 5 dargestellt. Da die Bewertung auf einer begrenzten Anzahl an Einschätzungen beruht, repräsentieren die Ergebnisse nicht zwangsläufig die Position aller mitwirkenden Verteilnetzbetreiber und Lösungsanbieter. Die Ergebnisse liefern dennoch eine belastbare Orientierung hinsichtlich der Anwendungsfälle, die voraussichtlich einen besonders hohen Nettonutzen bieten können. Die jeweilige Einordnung und Bewertung der Anwendungsfälle werden zusätzlich in den zugehörigen Steckbriefen erläutert. In Kombination mit den individuellen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen eines Unternehmens können die Ergebnisse somit als Grundlage für eine eigene Priorisierung und Bewertung von KI-Anwendungen herangezogen werden.

## 3 Steckbriefe der Anwendungsfälle

### Kernbotschaften

- Die repräsentativen daten- und KI-basierten Anwendungsfälle werden in Steckbriefen entlang einheitlicher Bewertungskriterien beschrieben.
- Die Anwendungsfälle unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Voraussetzungen, Potenziale, Herausforderungen sowie ihres Reifegrads.
- Die Anwendungsfälle bauen teilweise auf gemeinsamen Daten- und Infrastrukturvoraussetzungen auf und können schrittweise auch aufeinander aufbauen.
- Die Steckbriefe dienen als Orientierungshilfe für die Priorisierung und Umsetzung konkreter Anwendungsfälle bei Verteilnetzbetreibern.

Im Folgenden sind die in Kapitel 3 identifizierten repräsentativen Anwendungsfälle in Form von Steckbriefen aufbereitet. Dadurch wird eine vergleichbare Darstellung der relevanten Voraussetzungen, Potenziale, Herausforderungen und der Reifegrade ermöglicht. Die Steckbriefe werden durch detaillierte, separate, durch das Future Energy Lab veröffentlichte Factsheets<sup>1</sup> ergänzt und liefern eine Grundlage, um die Umsetzbarkeit und Prioritäten einzelner Anwendungsfälle transparent einzuordnen.

Die verschiedenen dargestellten daten- und KI-basierten Anwendungen bieten sowohl kurzfristige Effizienz- als auch langfristige Transformationspotenziale für Verteilnetzbetreiber: Während unterstützende Anwendungen wie Wissensmanagement, Prognosen oder Predictive Maintenance bereits mit vergleichsweise geringen Eintrittshürden umgesetzt werden können, haben betriebsnahe Anwendungen wie Netzzustandsschätzung und Engpassmanagement deutlich höhere Anforderungen an Datenverfügbarkeit, Systemintegration, Sicherheit und regulatorische Einbettung. Die Steckbriefe und Factsheets sollen Netzbetreibern eine Grundlage liefern, um eigene Entwicklungspfade abzuleiten und die Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen schrittweise zu strukturieren.

---

<sup>1</sup> Zu den hier genannten sieben Anwendungsfällen wurden jeweils Factsheets erstellt, in denen die Kriterien umfangreicher analysiert wurden. Sie sind auf der Projektwebsite zu finden: <https://future-energy-lab.de/projects/daten-und-ki-fuer-die-stromnetze/>

## Einspeise- und Lastprognose

*Die Prognose von Lasten und Einspeisungen ist ein technologisch weit fortgeschrittener und praxisnaher Anwendungsfall. Sie bildet eine zentrale Grundlage für zahlreiche weitere Anwendungen, da belastbare Kurz- und Mittelfristprognosen sowohl für die Netzplanung als auch den Netzbetrieb eine wesentliche Entscheidungsbasis schaffen. Dabei ist zwischen kurzfristigen Prognosen und mittel- bis langfristigen Prognosen zu differenzieren, da sich Datenbedarf, Auflösung und Systemintegration unterscheiden.*

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* historische Last- und Einspeisedaten, Kontextdaten (Wetterdaten: Temperatur, Einstrahlung, etc.) & -prognosen, aktuelle Messwerte (optional)
- *Operative Daten für Kurzfristprognosen:* hoch aufgelöste und aktuelle Messdaten, Echtzeit-Netzdaten, kurzfristige Wetterprognosen, Flexibilitätsinformationen sowie operative Eingangsdaten aus SCADA-, Smart-Meter- oder Leitsystemen
- *Operative Daten für Mittel- und Langfristprognosen:* langfristige historische Zeitreihen, Netzmodelle, GIS- und Betriebsmitteldaten, Anschluss- und Stammdaten, Szenarien zur Entwicklung von PV, Wärmepumpen, E-Mobilität und Speichern sowie Struktur- und Gebietsdaten
- *Metadaten:* Verbrauchstyp, Erzeugungstyp, installierte Leistung, Netzanschlusspunkt und räumliche Zuordnung, Anlagenkonfigurationen
- *Modelle:* Regressionsmodelle (z. B. Gradient Boosting, Random Forest), Deep Learning
- Automatisierte und skalierbare Near-Real-Time-Prognosen mit robuster Verarbeitung volatiler, unvollständiger und heterogener Eingangsdaten sowie Ausreißerszenarien

### Potenziale

- Höhere Prognosegenauigkeit für Last und Erzeugung zur Sicherung eines zuverlässigen Netzbetriebs
- Schnellere und präzisere Kurzfristprognosen durch KI-Modelle ohne zusätzliche Sensorik
- Reduktion von Prognosefehlern und Ausgleichskosten sowie verbesserte Planbarkeit
- Erkennung komplexer, nichtlinearer und langfristiger Zusammenhänge durch Deep Learning und Nutzung umfangreicher historischer Daten
- Verbesserte Erkennung von Anomalien und Erzeugungsspitzen durch feinere zeitliche Auflösung

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* Anforderungen aus Redispatch 2.0 und §14a EnWG, DSGVO-konformer Umgang mit Verbrauchsdaten sowie mögliche Einstufung operativ genutzter Modelle als Hochrisiko-KI-Systeme abhängig vom Automatisierungsgrad
- *Risiken:* geringes direktes Sicherheitsrisiko, da Prognosefehler meist keine primären Sicherheitsfunktionen betreffen
- *Cybersecurity:* Prognosemodelle sind weniger direkt angreifbar

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* technologisch etabliert und praxisreif mit verfügbaren marktreifen Plattformen und Frameworks; kontinuierliche Optimierung durch Forschung
- *Operative Schnittstellen:* Datenquellen (Smart Meter, SCADA, GIS, Wetter), Datenintegration und Plattformen, Systemanbindung an Leitwarte und Netzbetrieb sowie Echtzeit- und Streaming-Verarbeitung
- Grundlage für weitere Anwendungen wie Netzzustandsschätzung; Systeme bereits praxisnah im Einsatz und kontinuierlich optimiert

## Hosting Capacity Analysen

*Die Hosting Capacity Analyse adressiert die zunehmenden Herausforderungen bei Netzanschlussprozessen und der Bewertung verfügbarer Netzkapazitäten. Daten- und KI-gestützte Verfahren können hier insbesondere durch beschleunigte Berechnungen und skalierbare Approximationen komplexer Lastflusszusammenhänge einen Mehrwert für die Netzplanung bieten.*

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* historische Last- und Einspeisedaten, Spannungsdaten, Netztopologie/Netzmodell
- *Operative Eingangsdaten:* Netztopologie, Betriebsmitteldaten, Anlagenbestand & Anschlussanfragen
- *Modelle:* Deep Learning (z. B. LSTM) sowie klassische Machine-Learning-Modelle (z. B. Random Forest, Boosting)
- Kein Echtzeitbetrieb erforderlich; Ausführung als periodischer Prozess (täglich/wöchentlich) oder On-Demand (z. B. bei Netzanschlussanfragen)

### Potenziale

- Deutliche Beschleunigung der Berechnungen (Sekunden statt Lastfluss-Simulationen) und beschleunigte oder automatisierte Bewertung im Anschlussprozess denkbar
- Reduzierter Datenbedarf bei gleichzeitig hoher Skalierbarkeit auch für große Netze
- Effiziente Approximation komplexer Netzzusammenhänge durch datengetriebene Modelle
- Kontinuierliche Qualitätssteigerung durch bessere Daten, höhere Auflösung und laufendes Retraining

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* die Anwendung ist indirekt durch §8 EEG und VDE-AR-N 4105/4110 eingebettet; gemäß EU AI Act voraussichtlich kein Hochrisiko-KI-System bei rein planerischer Nutzung; potenziell hochriskant bei automatisierten Anschlussentscheidungen
- *Risiken:* geringes Sicherheitsrisiko, da nur Planungsentscheidungen beeinflusst werden; mögliche Folgen sind suboptimale Netzanschlüsse oder ungenaue Kapazitätsbewertungen
- *Cybersecurity:* geringe Angriffsfläche ohne OT-Zugriff, Echtzeitkommunikation oder Anbindung an operative Systeme

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* technologisch ausgereifter KI-Anwendungsfall, wissenschaftlich gut etabliert durch Forschung zu KI-beschleunigten Lastflussverfahren und bereits in Teilen praktisch im Einsatz
- *Operative Schnittstellen:* Netzanschlussportal, Netzplanungstools und §14a-Steuerungssysteme sowie On-Demand-Integration bei Netzanschlussanfragen
- Hohe Übertragbarkeit auf neue Anwendungsfälle sowie Enabler für weitere regulatorische Anwendungen

## Netzzustandsermittlung

Die KI-gestützte Netzzustandsermittlung adressiert die geringe Beobachtbarkeit insbesondere in Niederspannungsnetzen und kann durch die Kombination vorhandener Messdaten, Netzdaten und historischer Betriebsinformationen eine verbesserte Einschätzung des aktuellen Netzzustands ermöglichen. Sie bildet damit eine wichtige Grundlage für weiterführende betriebliche Anwendungen wie Engpassmanagement oder automatisierte Netzführung.

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* historische Netzzustände, Smart-Meter-Zeitreihen, Versorgungsaufgabe (Lastzeitreihen), Netzmodell
- *Operative Eingangsdaten:* Netzmodell, Echtzeit-Netzzustand (ONS- und Abgangs-Messwerte, Schaltzustände, TAFIO Messwerte)
- *Technische Anforderungen:* Robustheit gegen asynchrone und fehlerhafte Messdaten, hohe Anforderungen an Echtzeitfähigkeit und Genauigkeit

### Potenziale

- Netzzustandsschätzung mit Messungen aus Ortsnetzstationen möglich, keine zusätzliche Messtechnik nötig: Übergangslösung, wenn keine Messtechnik vorhanden
- Geringe Beobachtbarkeit in Niederspannungsnetzen: KI-basierte Modelle bieten hier großes Potenzial zur Verbesserung
- Potenziale abhängig von Datenverfügbarkeit und Netzdokumentation
- Digitaler Zwilling als langfristiges Optimierungsziel

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* DSGVO-konforme Anonymisierung von Smart-Meter-Daten, BSI-Grundschutz (KRITIS) und ISO/IEC 62443; nach EU AI Act voraussichtlich kein Hochrisiko-KI-System (kein Sicherheitsbauteil)
- *Risiken:* Fehlschätzungen können zu falschen Steuerungsmaßnahmen führen; Absicherung durch Fallback auf klassische Methoden; Robustheitsprüfung gegenüber Sensor- und Übertragungsausfällen erforderlich
- *Cybersecurity:* IEC 62443 Level 3, Risiko von Data Poisoning-Angriffen

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* weit fortgeschritten; PoC (Proof-of-Concept) im Feld vorhanden, verfügbare Datensätze (probabilistische Zeitreihen, Smart-Meter- und PMU-Daten) sowie Open-Source-Code und vortrainierte Modelle verfügbar
- *Operative Schnittstellen:* Cloud-Schnittstellen zum Datenimport & Schnittstellen zu Steuerungsalgorithmen
- Grundlage für weitere Anwendungen (wie Engpassmanagement)

## Engpassmanagement

*Der Anwendungsfall Engpassmanagement besitzt ein besonders hohes Nutzenpotenzial, ist jedoch zugleich einer der komplexesten Anwendungsfälle. Aufgrund der direkten operativen Eingriffe in steuerbare Anlagen, hoher Echtzeitanforderungen und regulatorischer Vorgaben wie §14a EnWG bestehen hier besonders hohe Anforderungen an Datenqualität, Systemintegration, Robustheit, Nachvollziehbarkeit und Cybersicherheit.*

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* historische Mess-, Last- und Einspeisedaten sowie externe Daten (inkl. Last, Spannung, Grenzwerte, steuerbare Verbrauchseinrichtungen z. B. nach § 14a EnWG wie bspw. Wärmepumpen, PV-Anlagen sowie Wetter-, Kalender- und Anlagenregisterdaten)
- *Operative Eingangsdaten:* Echtzeit-Netzzustand (ONS- und Abgangs-Messwerte, Schaltzustände, TAF10 Messwerte), Verfügbarkeit steuerbarer Anlagen, Kurzfristprognosen (Last, PV, Wetter)
- *Modelle:* Prognosemodelle (Random Forest, Gradient Boosting, LSTM) sowie Steuerungsmodelle (Reinforcement Learning, Model Predictive Control)
- *Technische Anforderungen:* Engpassdefinition (Spannung/Auslastung), §14a-konforme Steuerlogik mit Reaktionszeiten im Sekunden-Minuten-Bereich (~3 min, §14a), hohe Verfügbarkeit, sichere Kommunikation, skalierbare & diskriminierungsfreie Entscheidungen

### Potenziale

- Zielgerichtete, adaptive Echtzeitsteuerung mit minimalen Eingriffen und reduzierter Kundenbelastung
- Effizienzsteigerung im Netzbetrieb durch weniger Engpässe und vermiedenen Redispatch sowie Verschiebung von Netzausbaukosten
- Automatisierte Umsetzung regulatorischer Anforderungen (z. B. §14a)
- Datengetriebene Optimierung durch Lernen aus historischen Daten, Mustererkennung und geregeltes Retraining
- Verbesserte Netztransparenz und Verständnis von Gleichzeitigkeiten zur Weiterentwicklung von Steuerungsstrategien

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* potenzielle Einstufung als Hochrisiko-KI-System nach EU AI Act; Umsetzung netzdienlicher Steuerung nach §14a EnWG, KRITIS-Anforderungen (BSI) bei automatisierter Steuerung (Eingriffstiefe entscheidend), Dokumentationspflichten von Steuerungseingriffen
- *Risiken:* fehlerhafte Steuereingriffe
- *Cybersecurity:* Schutz vor Manipulation von Steuerbefehlen durch End-to-End-Verschlüsselung und Authentifizierung aller Steuerboxen zur Verhinderung unbefugter Last- oder Einspeiseeingriffe

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* KI-basiertes Engpassmanagement befindet sich noch im Forschungs- und Pilotstadium
- *Operative Schnittstellen:* Datenerfassung (Netzzustand, Prognosen), Engpasserkennung (Analyse kritischer Situationen), Entscheidungsfindung (Auswahl von Maßnahmen), Steuerung steuerbarer Verbraucher und Erzeuger, Monitoring der Wirkung sowie Dokumentation für Betrieb und regulatorische Nachweise

## Predictive Maintenance

*Die Predictive Maintenance weist ein geringes operatives Risiko und einen hohen Reifegrad auf, da ähnliche Ansätze bereits in anderen Infrastrukturbereichen etabliert sind. Der Anwendungsfall kann dazu beitragen, Instandhaltungsmaßnahmen stärker zustandsbasiert auszurichten, Ausfälle zu reduzieren und Ressourcen effizienter einzusetzen.*

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* historische Betriebs-, Mess-, Asset- und Umgebungsdaten, insbesondere Betriebs- und Störungshistorien, Last- und Zustandsdaten sowie externe Einflussgrößen wie Wetter- oder Herstellerdaten
- *Operative Eingangsdaten:* Mess-, Zustands- und Planungsdaten, insbesondere Temperatur-, Last- und Spannungswerte, Betriebs- und Netzzustände, Wetter- und Inspektionsdaten sowie Informationen aus der Instandhaltungsplanung
- *Modelle:* Random Forests, Gradient-Boosting-Verfahren, Support Vector Machines (SVM) sowie neuronale Netze (NN)
- Aufbereitung unstrukturierter Wartungs- und Ausfalldaten sowie Integration heterogener Systeme und Datenquellen

### Potenziale

- Effizienzsteigerung durch zustandsbasierte Wartung, reduzierte Ausfälle und optimierte Ressourcenplanung
- Verbesserte Transparenz und Entscheidungsqualität durch kontinuierliche Zustandsbewertung
- Verlängerung der Lebensdauer und höhere Verfügbarkeit von Betriebsmitteln
- Kontinuierliche Modellverbesserung durch reale Felddaten und erweiterte Generalisierungsfähigkeit
- Frühere und robustere Erkennung auch unbekannter oder seltener Fehlerfälle

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* nach EU AI Act voraussichtlich kein Hochrisiko-KI-System bei rein zustandsbasierter Instandhaltungsunterstützung ohne automatisierte Sicherheitsentscheidung
- *Risiken:* geringes Risikoprofil, da keine direkten Eingriffe oder Echtzeitanforderungen bestehen
- *Cybersecurity:* Absicherung von IoT-Sensorik und Kommunikationswegen gegen manipulierte Sensordaten; aufgrund fehlender direkter OT-Eingriffe keine ausgeprägten OT-spezifischen Sicherheitsanforderungen

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* hoher Reifegrad durch etablierte Anwendungen und übertragbare Erfahrungen aus anderen Branchen wie Industrie, Bahn oder Telekommunikation
- *Operative Schnittstellen:* Instandhaltungs- und Asset-Management-Prozesse für Zustandsbewertung, Wartungsplanung sowie Rückfluss von Inspektions- und Wartungsdaten ins Modell

## Erkennung von Cyberangriffen

*Die Erkennung von Cyberangriffen gewinnt mit zunehmender Digitalisierung, Automatisierung und Vernetzung des Netzbetriebs deutlich an Bedeutung. Der Anwendungsfall ist systemrelevant, da die Integrität von Daten, Kommunikationssystemen und Betriebsentscheidungen eine zentrale Voraussetzung für alle weiteren daten- und KI-basierten Anwendungen ist.*

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* historische Betriebs-, Kommunikations- und Logdaten (inkl. SCADA, Netzwerktraffic, SIEM), bekannte Angriffsszenarien
- *Operative Eingangsdaten:* Live-SCADA-Daten, Kommunikationsdaten (z. B. Protokolle), Event-Logs aus SIEM-Systemen
- *Modelle:* Isolation Forest, Autoencoder und LSTM für Anomalie- und Zeitreihenanalyse ergänzt durch SVM/Ensemble-Ansätze sowie perspektivisch Graph Neural Networks & LLMs für Log- und Netzwerkanalyse
- *Technische Anforderungen:* echtzeitfähige, skalierbare und robuste Verarbeitung von Streaming-Daten mit hoher Verfügbarkeit und geringer Fehlalarmrate

### Potenziele

- Frühzeitige Angriffserkennung
- Gezielte Reaktion & Kostenreduktion: bessere Unterscheidung zwischen Störung und Angriff ermöglicht effizientere Maßnahmen
- Automatisierte Überwachung durch kontinuierliches Monitoring
- Lernen aus Angriffsmustern und kontinuierliche Anpassung an neue Bedrohungen
- Erkennung systematischer Schwachstellen durch wiederkehrende Muster
- Integration der Erkenntnisse in Sicherheitsprozesse und Schutzmaßnahmen

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* Verpflichtung zur Umsetzung wirksamer Angriffserkennung, Resilienzmaßnahmen und Meldepflichten (u. a. NIS2, KRITIS, BSI IT-Grundschutz/IEC 62443, § 8b BSIg); nach EU AI Act potenziell Hochrisiko-KI-System, abhängig von Einsatzkontext, Automatisierungsgrad und Bedeutung für kritische Betriebsprozesse
- *Risiken:* KI-Anwendung kann selbst zum Angriffsziel werden, keine Garantien für Genauigkeiten in der Erkennung, Fallbackabsicherung notwendig
- *Cybersecurity:* Schutz vor Daten- und Modellmanipulation sowie Sicherstellung von Integrität und sicherer Systemintegration

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* im IT-Bereich fortgeschritten; marktreife Produkte vorhanden
- Im SCADA-Umfeld und in der Energieinfrastruktur derzeit noch geringer ausgeprägter Reifegrad
- *Operative Schnittstellen:* SCADA-, Netzleit- und SIEM-Systeme (Schnittstellen zur Erfassung, Weiterleitung und Korrelation von Betriebs- und Sicherheitsdaten)
- Regulatorisch getriebene Investition mit hoher Systemrelevanz für sämtliche Prozesse und Anwendungen

## Dokumentation & Wissensmanagement

*Das Wissensmanagement und die Dokumentation sind ein vergleichsweise niedrighschwelliger Einstieg in daten- und KI-basierte Anwendungen. Durch den Einsatz vortrainierter Sprachmodelle und dokumenten-basierter Suchverfahren können interne Informationen effizienter genutzt, Dokumentationsprozesse verbessert und organisatorisches Wissen langfristig gesichert werden.*

### Voraussetzungen

- *Trainingsdaten:* kein Training im klassischen Sinne, da i. d. R. vortrainierte Modelle eingesetzt werden
- *Operative Eingangsdaten:* Einbindung unternehmensspezifischer Dokumente als Wissensbasis (z. B. Vertragsdokumente, interne Richtlinien und Normen)
- *Modelle:* Foundation Modelle (inkl. LLMs) sowie Retrieval-Augmented Generation (RAG) als Kombination aus Sprachmodellen und Dokumentensuche

### Potenziale

- Effizienzsteigerung durch schnelle Wissensrecherche
- Verbesserte Dokumentation durch höhere Qualität, Konsistenz und normen-konforme Erstellung
- Wissenssicherung durch Erhalt von Erfahrungswissen und Aufdeckung von Dokumentationslücken
- Kontinuierliche Verbesserung durch Nutzung und Feedback in der täglichen Anwendung
- Skalierbarkeit und Übertragbarkeit auf weitere Wissensdomänen und KI-Anwendungsfälle

### Herausforderungen

- *Regulatorischer Rahmen:* Verarbeitung personenbezogener Daten erfordert DSGVO-konforme Lösungen (z. B. Cloud-Verträge) oder On-Premises-Deployment für sensible Dokumente; nach EU AI Act kein Hochrisiko-KI-System
- *Risiken:* keine OT-Anbindung oder Echtzeitentscheidungen, Risiken primär rechtlicher Natur
- *Cybersecurity:* entspricht weitgehend den Standardanforderungen der IT-Sicherheit

### Reifegrad & Synergien

- *Stand der Technik:* technologisch reifster Anwendungsfall, marktreife Produkte und Plattformen bereits verfügbar
- *Niedriger Time-to-Value:* schneller Nutzen durch Nutzung bestehender Daten und vortrainierter Modelle ohne aufwendige Neuentwicklung oder lange Trainingsphasen
- *Operative Schnittstellen:* Schnittstellen zu Dokumentenmanagement-, Schriftverkehrs- und Kundenserviceplattformen

## 4 Einführung von daten- und KI-basierten Anwendungen

### Kernbotschaften

- Die erfolgreiche Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen erfordert geeignete Daten-, IT- und Organisationsstrukturen.
- Datenstrategie, Governance und Kompetenzaufbau sind zentrale Voraussetzung noch vor der Auswahl geeigneter Technologien für verschiedene Anwendungen.
- Anwendungen sollten schrittweise eingeführt und entlang ihres Reifegrads in bestehende Prozesse integriert werden.
- Ein strukturierter Umsetzungspfad unterstützt Verteilnetzbetreiber dabei, Potenziale systematisch zu erschließen und langfristig zu skalieren.

Die Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen im Stromverteilnetz erfordert ein strukturiertes und abgestimmtes Vorgehen, das über die reine Identifikation geeigneter Anwendungsfälle hinausgeht. Im Folgenden werden die zentralen Handlungsfelder sowie der grundlegende Umsetzungspfad beschrieben, die für eine erfolgreiche und nachhaltige Integration in die Praxis von Verteilnetzbetreibern erforderlich sind.

### 4.1 Handlungsfelder bei der Umsetzung von daten- und KI-basierten Anwendungsfällen

Die erfolgreiche Umsetzung von daten- und KI-basierten Anwendungen erfordert ein koordiniertes Vorgehen entlang mehrerer zentraler Handlungsfelder, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Diese bilden die Grundlage dafür, daten- und KI-basierte Anwendungen nicht nur punktuell zu entwickeln, sondern nachhaltig in den Strukturen und Prozessen von Verteilnetzbetreibern zu verankern.

Ein zentrales Handlungsfeld ist die **Datenbasis**. Daten sind die grundlegende Voraussetzung für alle weiteren Schritte und bestimmen maßgeblich die Qualität und Leistungsfähigkeit datenbasierter Anwendungen (Krebs & Hagenweiler, 2021). Für Anwendungsfälle im Verteilnetz liegt ein Großteil der benötigten Daten bei den Verteilnetzbetreibern selbst. Hierzu zählen beispielsweise Netzmodelle, Anlagendaten, Smart-Meter-Messwerte, ONS-Messdaten sowie weitere Sensorikdaten. Diese Daten können jedoch in unterschiedlichen Datenmodellen, Formaten und Systemen vorliegen. Netzmodelle können beispielsweise im CGMES-Format vorliegen. CGMES bezeichnet die „Common Grid Model Exchange Specification“, die auf dem Common Information Model (CIM), insbesondere den Standards der IEC-61970-Reihe, basiert und von ENTSO-E entwickelt wurde (ENTSO-E, 2015). Dieses Modell ist bereits für Übertragungsnetzbetreiber verpflichtend etabliert. Für Verteilnetze existiert mit dem CDPSM, dem „Common Distribution

Tabelle 2: Handlungsfelder bei der Einführung von Anwendungsfällen.

| Handlungsfelder                                          | Zentrale Schwerpunkte                                                                                             |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Daten</b>                                             | Datenverfügbarkeit, Datenqualität, Datenmanagement und Standardisierung                                           |
| <b>IT- und Systeminfrastruktur</b>                       | Datenplattformen, Analyseumgebungen sowie Schnittstellen                                                          |
| <b>Organisation, Kompetenzentwicklung und Governance</b> | Rollen und Verantwortlichkeiten, Kompetenzen und Entscheidungsprozesse                                            |
| <b>Regulatorische Einbettung</b>                         | U.a. Anforderungen aus Datenschutz, Cybersicherheit, EU AI Act, NIS2, KRITIS und energiewirtschaftlichen Vorgaben |
| <b>Kooperation und Austausch</b>                         | Erfahrungsaustausch, Nutzung von gemeinsamen Methoden oder Daten                                                  |

Power System Model“, ein Modell, das im Gegensatz zu CGMES zusätzliche Spezifika von Verteilnetzen abbildet (Lambert, 2011).

In der Praxis liegen jedoch nicht alle Netzmodelle bereits als digitale und standardisierte Modelle vor. Teilweise bestehen Netzmodelle nur in unvollständiger, uneinheitlicher oder nicht maschinenlesbarer Form. Die Digitalisierung dieser Daten sowie ihre Überführung in standardisierte Formate können daher mit erheblichem Aufwand verbunden sein. Auch bei Smart-Meter-Daten bestehen unterschiedliche Anforderungen an Datenumfang, Auflösung und Granularität. Tarifierungsfälle beschreiben dabei, welche Daten über das intelligente Messsystem übertragen werden, in welcher zeitlichen Auflösung sie bereitgestellt werden und mit welcher Granularität sie für verschiedene Anwendungen nutzbar sind.

Grundsätzlich existieren bereits standardisierte Schnittstellen und Formate. Eine detaillierte Übersicht dazu findet sich beispielsweise in der dena-Analyse „Schnittstellen und Standards für die Digitalisierung der Energiewende“ (dena, 2018). Die zentrale Herausforderung besteht jedoch weniger in der grundsätzlichen Existenz solcher Standards, sondern in der praktischen Umsetzung: Daten müssen in standardisierte Formate überführt, zwischen unterschiedlichen Systemen synchronisiert und fachlich korrekt zugeordnet werden. Beispielsweise können TAF-Werte mit unterschiedlichen Zeitstempeln vorliegen oder Abgangsmessungen fehlerhaft den jeweiligen Abgängen zugeordnet sein. Solche Inkonsistenzen erschweren die Datenintegration, die Fehlerbehebung und die Nutzung der Daten für daten- und KI-basierte Anwendungen im Verteilnetz.

Entsprechend ist es erforderlich, bestehende Datenquellen zu integrieren oder auch weitere zu erschließen, ihre Qualität zu prüfen und bei Bedarf gezielt zu verbessern und die Daten in geeigneter Form verfügbar zu machen. Dies umfasst sowohl technische Aspekte, etwa die Integration unterschiedlicher Datenquellen und Systeme, als auch organisatorische Fragestellungen, beispielsweise die klare Zuordnung von Verantwortlichkeiten für Datenpflege und -management. Darüber hinaus ist die Standardisierung von Datenstrukturen und Schnittstellen ein wesentlicher Erfolgsfaktor, um eine effiziente Nutzung und Weiterverarbeitung zu ermöglichen. Für Verteilnetzbetreiber empfiehlt es sich, zunächst Transparenz über bestehende Datenquellen, Datenqualität und Datenverfügbarkeit zu schaffen. Anwendungen mit hoher Relevanz für Netzplanung und Netzbetrieb erfordern insbesondere konsistente, ausreichend granulare und langfristig verfügbare Datengrundlagen. Gleichzeitig sollten frühzeitig

Standards für Datenstrukturen und Schnittstellen berücksichtigt werden, um spätere Skalierungshemmnisse zu vermeiden.

Eng damit verbunden ist das Handlungsfeld **IT- und Systeminfrastruktur**. Die Verarbeitung und Nutzung großer Datenmengen erfordert geeignete technische Plattformen, die eine flexible und skalierbare Umsetzung ermöglichen. Dazu zählen unter anderem Datenräume, Datenplattformen, Analyseumgebungen sowie Schnittstellen zu bestehenden Systemen im Netzbetrieb und in der Netzplanung. Gleichzeitig muss sichergestellt werden, dass neue Anwendungen zuverlässig in bestehende IT-Landschaften integriert werden können, ohne die Stabilität und Sicherheit der Systeme zu beeinträchtigen. In frühen Umsetzungsphasen bietet sich insbesondere die Einführung modularer und skalierbarer Systemarchitekturen an, die eine schrittweise Integration neuer Anwendungen ermöglichen. Gleichzeitig sollte darauf geachtet werden, dass daten- und KI-basierte Anwendungen möglichst über standardisierte Schnittstellen an bestehende Systeme angebunden werden können, um Integrationsaufwände langfristig zu reduzieren.

Ein weiteres zentrales Element ist die **Governance, Organisation und Kompetenzentwicklung**. Die Einführung datenbasierter Anwendungen verändert bestehende Arbeitsweisen und erfordert neue Fähigkeiten innerhalb der Organisation. Dazu gehört insbesondere der Aufbau von Kompetenzen im Bereich Datenanalyse, KI und Digitalisierung. Gleichzeitig müssen neue Rollen und Verantwortlichkeiten definiert werden, um die Entwicklung und den Betrieb entsprechender Anwendungen langfristig sicherzustellen. Die enge Zusammenarbeit zwischen Fach- und IT-Bereichen gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung. Während die fachlichen Anforderungen in den operativen Bereichen entstehen, erfolgt die technische Umsetzung, Integration und Skalierung in enger Abstimmung mit IT-seitigen Funktionen. Insbesondere in frühen Entwicklungsphasen empfiehlt sich der Aufbau interdisziplinärer Teams aus Fachbereichen, IT und Datenanalyse. Dadurch können fachliche Anforderungen, Datenverfügbarkeit und technische Umsetzung frühzeitig aufeinander abgestimmt werden. Parallel dazu gewinnt der Aufbau grundlegender Kompetenzen im Umgang mit Datenanalyse, KI-Methoden und digitalen Technologien zunehmend an Bedeutung.

Darüber hinaus spielt die **regulatorische Einbettung** eine entscheidende Rolle. Die Entwicklung und Nutzung datenbasierter Anwendungen müssen im Einklang mit bestehenden rechtlichen und regulatorischen Anforderungen erfolgen. Dies betrifft insbesondere den Umgang mit sensiblen Daten, die Gewährleistung von IT-

Sicherheit sowie die Einhaltung von Transparenz- und Nachvollziehbarkeitsanforderungen bei KI-Anwendungen. Gleichzeitig ist es notwendig, interne Governance-Strukturen zu etablieren, die eine klare Steuerung und Priorisierung entsprechender Aktivitäten ermöglichen. Anwendungen mit Einfluss auf operative Entscheidungen oder kritische Prozesse sollten frühzeitig hinsichtlich regulatorischer Anforderungen und potenzieller Risiken bewertet werden. Relevante Anforderungen ergeben sich dabei insbesondere aus dem EU AI Act, der DSGVO sowie Vorgaben zur IT- und Cybersicherheit, etwa im Kontext von NIS2 und KRITIS. Gleichzeitig gewinnen Anforderungen an Nachvollziehbarkeit, Transparenz und Verantwortlichkeiten bei KI-gestützten Entscheidungen zunehmend an Bedeutung.

Schließlich gewinnt auch das Handlungsfeld **Kooperation und Austausch** an Bedeutung. Viele Herausforderungen im Kontext datenbasierter Anwendungen lassen sich effizienter im Austausch mit anderen Akteuren adressieren, etwa durch die gemeinsame Nutzung von Erfahrungen, Methoden oder Daten. Kooperationen zwischen Verteilnetzbetreibern, Technologieanbietern und weiteren Akteuren können dazu beitragen, Synergien zu nutzen und die Entwicklung sowie Umsetzung entsprechender Anwendungen zu beschleunigen. Gerade bei datenintensiven oder methodisch vergleichbaren Anwendungen können gemeinsame Standards, Austauschformate und Kooperationen zwischen Verteilnetzbetreibern dazu beitragen, Entwicklungsaufwände zu reduzieren und Synergien besser zu nutzen. Gleichzeitig kann der Austausch von Erfahrungen die Übertragbarkeit erfolgreicher Anwendungen auf weitere Netzgebiete erleichtern.

## 4.2 Entwicklungsschritte

Der nachfolgend skizzierte Entwicklungs- und Umsetzungspfad beschreibt die schrittweise Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen bei Verteilnetzbetreibern. Er ist nicht als starre Abfolge von Maßnahmen zu verstehen, sondern als Orientierungsrahmen, der technische, organisatorische und regulatorische Entwicklungsschritte in eine konsistente Gesamtlogik einordnet. Zum anderen erfordert jede einzelne daten- oder KI-basierte Anwendung einen methodischen Entwicklungsprozess, der von der Problemdefinition über die Datenbeschaffung und Modellentwicklung bis hin zu Betrieb und Monitoring reicht.

Beide Perspektiven ergänzen sich: Der **organisatorische Umsetzungspfad** beschreibt die übergeordnete

Entwicklung des Unternehmens hin zu einer daten- und KI-gestützten Arbeitsweise. Der **KI-Entwicklungsprozess** konkretisiert hingegen, wie einzelne Anwendungen innerhalb dieses Pfades fachlich, technisch und organisatorisch umgesetzt werden. Während der Umsetzungspfad somit eine Reifegrad- und Transformationslogik abbildet, beschreibt der KI-Entwicklungsprozess den operativen Lebenszyklus einer konkreten Anwendung.

### 4.2.1 Organisatorische Entwicklungsschritte

Die einzelnen Entwicklungsschritte adressieren unterschiedliche Handlungsschwerpunkte und beteiligte Akteure. Während in frühen Phasen insbesondere Management, IT- und Datenverantwortliche beim Aufbau der erforderlichen Grundlagen gefordert sind, rücken in späteren Phasen die Fachbereiche beispielsweise aus Netzplanung und -betrieb stärker in den Fokus. Der Umsetzungspfad verdeutlicht damit nicht nur die zeitliche Abfolge zentraler Entwicklungsschritte, sondern auch die jeweils relevanten Maßnahmen und Verantwortlichkeiten. Die einzelnen Entwicklungsschritte sind in Abbildung 6 veranschaulicht.

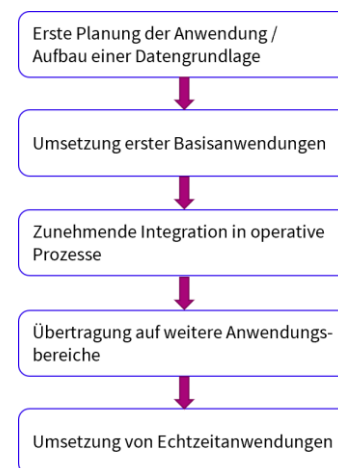


Abbildung 6: Orientierungsrahmen für die zeitliche Abfolge bei der Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen

Zu Beginn steht die Schaffung grundlegender Voraussetzungen. In dieser Phase liegt der Fokus auf dem Aufbau einer belastbaren Datenbasis sowie der Etablierung grundlegender Strukturen für die Nutzung von Daten. Dazu gehören insbesondere die Identifikation und Zusammenführung relevanter Datenquellen, die Verbesserung der Datenqualität sowie die Schaffung geeigneter Schnittstellen und Systeme zur Datenverarbeitung. In diesem Rahmen sollten Verteilnetzbetreiber eine Datenstrategie entwickeln,

Verantwortlichkeiten für Datenmanagement und Governance festlegen sowie Transparenz über verfügbare Datenbestände schaffen. Gleichzeitig sollten erste organisatorische Voraussetzungen, etwa durch den Aufbau von Kompetenzen im Bereich Datenanalyse und KI, geschaffen werden.

Darauf aufbauend folgt eine Phase, in der erste datenbasierte Anwendungen umgesetzt werden. Diese zeichnen sich in der Regel durch eine hohe Umsetzbarkeit und einen klar erkennbaren Nutzen aus. Im Vordergrund stehen insbesondere Anwendungen aus den Bereichen Prognosen, Wissensmanagement oder datenbasierte Analysen, die bestehende Prozesse unterstützen und erste Erfahrungen im Umgang mit daten- und KI-basierten Methoden ermöglichen. Ziel dieser Phase ist es, erste Erfahrungen zu sammeln, Vertrauen in datenbasierte Methoden aufzubauen und die Grundlage für weitergehende Anwendungen zu schaffen.

Im nächsten Schritt erfolgt die Integration datenbasierter Anwendungen in zentrale Prozesse. Während in der vorherigen Phase vor allem punktuelle Anwendungen im Vordergrund stehen, werden die entwickelten Lösungen nun stärker in bestehende Abläufe eingebunden. Dies betrifft insbesondere Prozesse in der Netzplanung und im Netzbetrieb, in denen datenbasierte Methoden zunehmend als Bestandteil von Entscheidungs- und Planungsprozessen genutzt werden. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Datenqualität, Systemintegration, Nachvollziehbarkeit sowie die Abstimmung zwischen verschiedenen Fachbereichen und der IT.

Darauf aufbauend wird die Skalierung und Weiterentwicklung der Anwendungen vorangetrieben. Ziel ist es, erfolgreiche Ansätze auf weitere Anwendungsbereiche zu übertragen und eine breitere Nutzung im Unternehmen zu ermöglichen. In dieser Phase gewinnen Aspekte wie Standardisierung, Wiederverwendbarkeit und Effizienz an Bedeutung. Für Verteilnetzbetreiber stehen hierbei

insbesondere die Standardisierung von Datenmodellen, Schnittstellen und Entwicklungsprozessen sowie die Übertragung erfolgreicher Anwendungen auf weitere Netzgebiete und Anwendungsbereiche im Vordergrund.

Langfristig kann schließlich eine weitergehende Automatisierung und Systemintegration erreicht werden. In dieser Phase werden daten- und KI-basierte Anwendungen nicht mehr nur unterstützend eingesetzt, sondern übernehmen zunehmend eigenständige Funktionen innerhalb von Prozessen. Dies kann beispielsweise die automatisierte Analyse von Netzsituationen oder die Ableitung von Handlungsempfehlungen umfassen. Voraussetzung hierfür sind robuste Daten- und Systemstrukturen sowie etablierte Governance-Mechanismen, die einen sicheren, nachvollziehbaren und regulatorisch konformen Einsatz automatisierter Funktionen gewährleisten.

Der dargestellte Umsetzungspfad verdeutlicht, dass die Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen als schrittweiser Entwicklungsprozess zu verstehen ist. Entscheidend ist dabei, dass die einzelnen Schritte aufeinander aufbauen und sowohl technische als auch organisatorische Voraussetzungen weiterentwickelt werden. Der Aufbau daten- und KI-basierter Anwendungen ist damit nicht als einmalige Technologieeinführung zu verstehen, sondern als langfristiger Entwicklungsprozess, der technische, organisatorische und regulatorische Weiterentwicklungen gleichermaßen umfasst.

## 4.2.2 KI-Entwicklungsprozess für einzelne Anwendungen

Ergänzend zum organisatorischen Umsetzungspfad beschreibt der in Abbildung 7 veranschaulichte KI-Entwicklungsprozess die konkrete Entwicklung einer einzelnen daten- oder KI-basierten Anwendung. Dieser

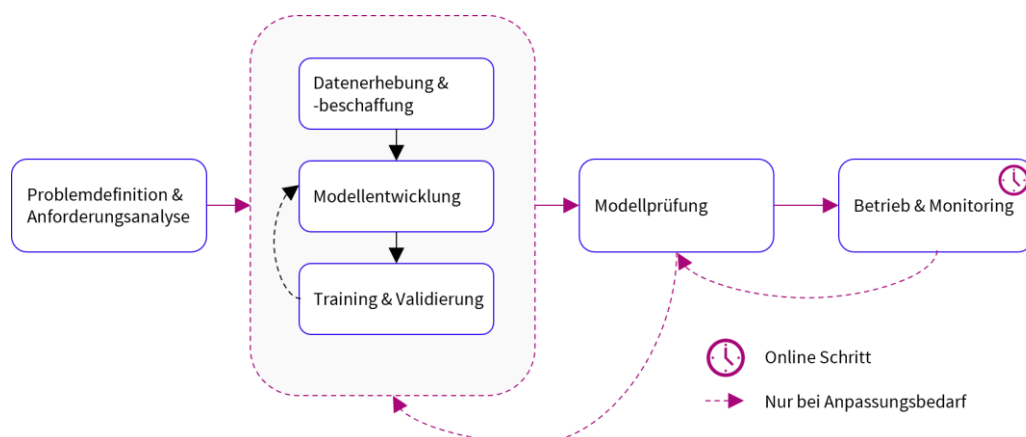


Abbildung 7: KI-Entwicklungsprozess einzelner Anwendungen (VDE ETG, 2025)

Prozess ist insbesondere für Anwendungen relevant, die über einfache Auswertungen hinausgehen und auf

datengetriebenen Modellen, maschinellem Lernen oder KI-Methoden beruhen. Er verbindet fachliche Anforderungen aus Netzplanung und Netzbetrieb mit methodischen Schritten der Datenanalyse und Modellentwicklung.

Am Anfang steht die **Problemdefinition und Anforderungsanalyse**. Dabei wird festgelegt, welches konkrete Problem durch die Anwendung gelöst werden soll, welche fachlichen Anforderungen bestehen und wie der Nutzen bewertet wird. Für ein datenbasiertes Engpassmanagement wäre beispielsweise zu klären, ob Engpässe lediglich erkannt und prognostiziert oder auch durch Handlungsempfehlungen adressiert werden sollen. Ebenso muss festgelegt werden, mit welchem zeitlichen Vorlauf Ergebnisse benötigt werden, welche Genauigkeit erforderlich ist und wer die Ergebnisse später wofür nutzt. Zusätzlich ist eine Risikobewertung erforderlich, in die die Kompetenzen von Modellentwickelnden, Verteilnetzbetreibern sowie gegebenenfalls juristischen Fachpersonen einfließen, um regulatorische Anforderungen und geeignete Validierungsmethoden festzulegen. Ein wichtiger Aspekt besteht darin, mögliche Fehlerfolgen und Eintrittswahrscheinlichkeiten mitzudenken und in die Validierungsmethoden einzubeziehen.

Darauf folgt die **Datenerhebung und -beschaffung**. In diesem Schritt werden die für den Anwendungsfall relevanten Datenquellen identifiziert und zusammengeführt. Dabei ist nicht nur entscheidend, ob Daten grundsätzlich vorhanden sind, sondern auch, ob sie in ausreichender Qualität, Auflösung und Aktualität verfügbar sind. Je nach Modellauswahl kann zudem ein Labeling-Schritt erforderlich sein (aws, 2026). Dabei werden die Daten mit beschreibenden Markierungen versehen.

Im Schritt der **Modellentwicklung** wird ein geeigneter methodischer Ansatz ausgewählt. Je nach Anwendungsfall können klassische Machine-Learning-Verfahren oder neuronale Netze eingesetzt werden. Die Auswahl des Modells bestimmt zudem die sogenannten Hyperparameter, die das Training und damit die Modellgüte beeinflussen können.

Anschließend erfolgen **Training und Validierung**. Das Modell wird mit historischen Daten trainiert und anhand

unabhängiger Daten überprüft. Für Engpassmanagement könnte z.B. bewertet werden, wie zuverlässig das Modell Engpässe erkennt, wie viele Fehlalarme entstehen und ob kritische Situationen ausreichend sicher identifiziert werden. Für Verteilnetzbetreiber ist dabei nicht nur die durchschnittliche Modellgüte relevant, sondern insbesondere das Verhalten in seltenen, aber betrieblich kritischen Situationen. Je nach Modell müssen die Werte der festgelegten Hyperparameter anhand einer gezielten Suche bestimmt werden (Franceschi, et al., 2025). Außerdem können Methoden angewendet werden, um die Interpretierbarkeit der Modelle zu erhöhen (Berrada, 2018; Machlev, 2022).

Vor dem produktiven Einsatz folgt die **Modellprüfung**. Sie umfasst die fachliche, technische und organisatorische Bewertung der Anwendung. Fachbereiche prüfen, ob die Ergebnisse plausibel und nutzbar sind; IT und Datenmanagement bewerten Systemintegration, Schnittstellen und Betriebskonzepte. Regulatorische und sicherheitsbezogene Anforderungen werden ebenfalls berücksichtigt. Ein mögliches Vorgehen ist ein Pilotbetrieb, in dem das Modell zunächst nur Empfehlungen oder Warnungen erzeugt, ohne direkt in operative Entscheidungen einzugreifen. Bei Erfüllung aller definierten Anforderungen kann das Modell operativ eingesetzt werden; andernfalls müssen die Modellentwicklung, das Training oder das Anforderungsprofil angepasst werden.

Nach erfolgreicher Prüfung wird die Anwendung in den **Betrieb** überführt. In dieser Online-Phase wird das Modell produktiv genutzt und in bestehende Abläufe integriert. Je nach Reifegrad kann die Anwendung zunächst rein informierend wirken oder später auch konkrete Handlungsempfehlungen unterstützen.

Der letzte Schritt ist das kontinuierliche **Monitoring**. Dabei werden Modellgüte, Datenqualität, Systemverfügbarkeit und fachliche Plausibilität der Ergebnisse dauerhaft überwacht. Dies ist besonders wichtig, da sich Verteilnetze durch neue Verbraucher, PV-Anlagen, Wärmepumpen oder Ladeinfrastruktur kontinuierlich verändern. Ein Modell, das zu einem bestimmten Zeitpunkt gute Ergebnisse liefert, kann im Zeitverlauf an Genauigkeit verlieren. Monitoring ist daher notwendig, um Retraining, Anpassungen oder eine erneute Modellprüfung rechtzeitig auszulösen.

# Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Umsetzungspfade KI- und datenbasierter Anwendungen .....                                                        | 5  |
| Abbildung 2: Grundbegriffe der Künstlichen Intelligenz .....                                                                 | 9  |
| Abbildung 3: Risikoklassen gemäß dem EU AI Act (infometis, 2025) .....                                                       | 11 |
| Abbildung 4: Übersicht relevanter daten- und KI-basierter Anwendungsfälle für Verteilnetzbetreiber (Input-Output Analyse) .. | 13 |
| Abbildung 5: Gesamtbewertung der ausgewählten Anwendungsfälle. ....                                                          | 16 |
| Abbildung 6: Orientierungsrahmen für die zeitliche Abfolge bei der Einführung daten- und KI-basierter Anwendungen .....      | 27 |
| Abbildung 7: KI-Entwicklungsprozess einzelner Anwendungen (VDE ETG, 2025) .....                                              | 28 |

# Tabellenverzeichnis

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Übersicht über wesentliche Herausforderungen für Verteilnetzbetreiber ..... | 8  |
| Tabelle 2: Handlungsfelder bei der Einführung von Anwendungsfällen. ....               | 25 |

# Literaturverzeichnis

Amazon Web Services (aws, 2026). *Was ist die Datenbeschriftung?* Abgerufen am 08. 06 2026 von <https://aws.amazon.com/what-is/data-labeling/>

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW, 2020). *Künstliche Intelligenz für die Energiewirtschaft.*

Berrada, A. A. (2018). *Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI).*

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI, 2025). *Generative KI-Modelle: Chancen und Risiken für Industrie und Behörden.*

Dahm, M.; Twesten, N. (2023). Was Sie über KI und den KI-Act wissen müssen. In *Der Artificial Intelligence Act als neuer Maßstab für künstliche Intelligenz. essentials.* Springer Gabler.

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2018). *Schnittstellen und Standards für die Digitalisierung der Energiewende. Übersicht, Status Quo und Handlungsbedarf.*

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2020). *Künstliche Intelligenz – vom Hype zur energiewirtschaftlichen Realität. Vertiefte Analyse von KI-Anwendungsfeldern.*

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2023a). *Datenanalysen und künstliche Intelligenz im Stromverteilnetz.*

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2023b). *Studie: Energieeffiziente künstliche Intelligenz für eine klimafreundliche Zukunft. Neue Erkenntnisse über Energieeinsparpotenziale bei KI-Anwendungen.*

Deutsche Energie-Agentur (dena, 2026). *Gemeinsam digitaler: Sechs Thesen und ein Branchenprozess zu datenbasierten Anwendungen und KI im Stromnetz.*

Deutsches Institut für Normung, Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DIN, DKE 2022). *Deutsche Normungsroadmap Künstliche Intelligenz (Ausgabe 2)*, URL: [www.din.de/go/normungsroadmapki](http://www.din.de/go/normungsroadmapki).

Dobschinski, J. (2020). *Prognosen für den Betrieb elektrischer Netze.*

ENTSO-E. (2015). *Common Information Model.* Von <https://www.entsoe.eu/digital/cim/> abgerufen

European Union (EU, 2016). *Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr (Datenschutz-Grundverordnung, DSGVO).*

European Union (EU, 2023). *Verordnung (EU) 2023/2854 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 2023 über harmonisierte Vorschriften für einen fairen Datenzugang und eine faire Datennutzung (Data Act).*

European Union (EU, 2024). *Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act.* Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>.

European Commission: European Climate, I. a., Cunha, L., v. d. Veen, A., Espinosa, B., Diran, D., Ruoff, D., . . . Chaves, J. (2025). *Unlocking the Potential of AI and Generative AI in European Smart Grids A Strategic Position Paper and Guide for Action.*

Franceschi, L., Donini, M., Perrone, V., Klein, A., Archambeau, C., Seeger, M., . . . Frasconi, P. (2025). *Hyperparameter Optimization in Machine Learning*.

infometis. (2025). *infometis.ch*. Das europäische KI-Gesetz AI Act: <https://www.infometis.ch/blog/das-europaische-ki-gesetz-ai-act>. Abgerufen am 06. 08 2026

Krebs, H.-A., & Hagenweiler, P. (2021). *Innovationen und künstliche Intelligenz entlang der energiewirtschaftlichen Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung der Datensicherheit und des Datenschutzes*.

Lambert, E. (2011). *CDPSM: Common distribution power system model: When, why, what, how, who?* IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition.

Machlev, R. (2022). *Explainable Artificial Intelligence (XAI) techniques for energy and power systems: Review, challenges and opportunities*. Energy AI, Bd. 9, S. 100169.

Next Kraftwerke GmbH. (2026). *Was sind Kritische Infrastrukturen (KRITIS) in der Energiewirtschaft?* Abgerufen am 08. 06 2026 von <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/kritis>

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE ETG, 2025): *Künstliche Intelligenz in der Netzleittechnik*.

# Abkürzungen

|                  |                                                         |
|------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>AI / KI</b>   | Artificial Intelligence / Künstliche Intelligenz        |
| <b>BSI</b>       | Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik     |
| <b>DSGVO</b>     | Datenschutz-Grundverordnung (EU) 2016/679               |
| <b>ENWG</b>      | Energiewirtschaftsgesetz                                |
| <b>EU AI Act</b> | Regulation (EU) 2024/1689 (Artificial Intelligence Act) |
| <b>IEC</b>       | International Electrotechnical Commission               |
| <b>ISO</b>       | International Organization for Standardization          |
| <b>KRITIS</b>    | Kritische Infrastruktur                                 |
| <b>LSTM</b>      | Long Short-Term Memory                                  |
| <b>NIS2</b>      | Network and Information Systems Directive 2             |
| <b>OT</b>        | Operational Technology                                  |
| <b>SCADA</b>     | Supervisory Control and Data Acquisition                |
| <b>SIEM</b>      | Security Information and Event Management               |
| <b>ÜNB</b>       | Übertragungsnetzbetreiber                               |
| <b>VNB</b>       | Verteilnetzbetreiber                                    |

# Glossar

| Begriff                      | Definition                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Autoencoder</b>           | Ein Autoencoder ist ein unüberwachtes Lernverfahren, das Eingabedaten zunächst in einen komprimierten Latent Space kodiert und diese anschließend wieder rekonstruiert. Er wird häufig zur Anomalieerkennung genutzt, da er Abweichungen von typischen Mustern effizient identifiziert.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Datenanalyse</b>          | Datenanalyse bezeichnet die systematische Auswertung und Strukturierung von Daten, um Muster, Trends und Zusammenhänge zu erkennen. Sie dient der Gewinnung von Erkenntnissen aus Rohdaten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Deep Learning</b>         | Deep Learning ist ein Teilbereich des maschinellen Lernens, der auf künstlichen neuronalen Netzen mit vielen Schichten basiert. Es eignet sich besonders zur Erkennung komplexer Muster in hochdimensionalen Daten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Digitale Souveränität</b> | <p>Digitale Souveränität bezeichnet die Fähigkeiten und Möglichkeiten von Menschen, Unternehmen und anderen Institutionen, im digitalen Raum jederzeit selbstbestimmt handeln und entscheiden zu können. Dafür sind eigene Kompetenzen in zentralen Technologiefeldern, Diensten und Plattformen essenziell. Digitale Souveränität setzt sich aus zahlreichen Facetten zusammen und lässt sich auf drei wesentlichen Ebenen differenzieren:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Fähigkeit von Individuen, selbst über die Nutzung digitaler Technologien für die Erreichung ihrer Ziele und den Umgang mit ihren Daten zu entscheiden. Hierzu gehört der ausreichende Zugang zu digitalen Ressourcen.</li><li>2. Fähigkeit von Unternehmen, Behörden und anderen Organisationen, ihre digitale Entwicklung selbst zu bestimmen und sensible Daten für den Erfolg der Institution zu schützen – zum Beispiel durch die Wahlfreiheit bei Infrastrukturen, Tools und Prozessen.</li><li>3. Fähigkeit der Gesamtgesellschaft, unabhängig von anderen Staaten oder marktbestimmenden Unternehmen Ziele, Normen und Regeln festzulegen und durchzusetzen, die die digitale Transformation steuern, sowie Individuen und Organisationen vor Eingriffen von außen zu schützen.</li></ol> |
| <b>DSGVO</b>                 | Die Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) regelt den rechtssicheren Umgang mit personenbezogenen Daten, insbesondere bei Mess- und Verbrauchsdaten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>EnWG</b>                  | Das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) bildet den rechtlich-regulatorischen Rahmen für den Betrieb von Energienetzen in Deutschland, einschließlich Digitalisierungsvorgaben.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>EU AI Act</b>             | Der EU AI Act klassifiziert KI-Systeme nach Risikostufen und legt Anforderungen an Transparenz, Risikomanagement und Dokumentation fest – besonders für Anwendungen mit Einfluss auf kritische Infrastruktur.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Generative KI</b>         | Generative KI umfasst KI-Techniken (z. B. Variational Autoencoders, GANs, LLMs), die neue Inhalte (Texte, Bilder, Prognosen) erzeugen, anstatt diese nur zu klassifizieren.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>GNN</b>                   | Graph Neural Networks (GNN) verarbeiten Graphstrukturen (Knoten- und Kantenbeziehungen), um Muster in netzwerkähnlichen Daten (z. B. Stromnetz-Topologien) zu erkennen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Gradient Boosting</b>     | Gradient Boosting ist ein Ensemble-Verfahren, das schwache Lernmodelle (z. B. Entscheidungsbäume) iterativ verbessert, um hohe Vorhersagegenauigkeit zu erreichen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

**Isolation Forest**

Isolation Forest ist eine Ensemble-Methode zur Anomalie-Erkennung, die Daten in zufällige Teilmengen („Isolation“) aufteilt. Es ist besonders geeignet für hochdimensionale Messdaten.

**KRITIS-Regulierung**

Die KRITIS-Regulierung definiert Standards zur Sicherheit und Resilienz kritischer Infrastrukturen.

**LLM**

Large Language Models (LLM) sind vortrainierte Sprachmodelle (z. B. GPT-4), die Texte generieren, verstehen und in RAG-Systemen (Retrieval Augmented Generation) einsetzbar sind.

**LSTM**

Long Short-Term Memory (LSTM) ist ein Typ rekurrenter neuronaler Netze (RNN), der mithilfe spezieller Speicher- und Forget-Gatter Langzeitabhängigkeiten in sequenziellen Daten (beispielsweise in Zeitreihen von Messwerten) lernen kann.

**Maschinelles Lernen**

Maschinelles Lernen umfasst Verfahren, bei denen Modelle aus historischen Daten Muster erkennen und Vorhersagen oder Klassifikationen ableiten.

**Model Predictive Control (MPC)**

Model Predictive Control (MPC) ist ein optimierungsbasiertes Regelungsverfahren, das zukünftige Systemzustände prognostiziert und anhand eines Kosten- und Nebenbedingungsmodells Steuerbefehle generiert.

**NIS2-Richtlinie**

Die NIS-2-Richtlinie ist eine EU-Richtlinie zur Verbesserung der Cybersicherheit, die unter anderem Anforderungen an die Cybersicherheit und das Risikomanagement von Betreibern kritischer Infrastrukturen festlegt.

**Optimierungsverfahren**

Optimierungsverfahren umfassen Methoden zur Bestimmung optimaler Entscheidungen oder Betriebsstrategien unter gegebenen Randbedingungen.

**RAG**

Retrieval-Augmented-Generation (RAG) kombiniert das gezielte Abrufen relevanter Informationen aus firmeneigenen Wissensdatenbanken mit der Generierung durch ein LLM, um faktenbasierte und kontextbezogene Antworten auf Basis unternehmensinterner Informationen zu erzeugen.

**Random Forest**

Random Forest ist ein Ensemble-Lernverfahren, das viele Entscheidungsbäume trainiert und deren Vorhersagen aggregiert. Es ist robust gegenüber Rauschen und wird häufig in Prognose- und Klassifikationsanwendungen eingesetzt.

**Reinforcement Learning**

Reinforcement Learning bezeichnet ein Lernparadigma des maschinellen Lernens, bei dem ein Agent durch Interaktion mit seiner Umgebung und anhand von Belohnungen schrittweise eine möglichst optimale Handlungsstrategie erlernt.

**RNN**

Recurrent Neural Networks (RNN) sind neuronale Netze, die Informationen aus vorherigen Zeitschritten weitergeben. Sie eignen sich für sequenzielle Daten wie Zeitreihen.

**Supervised Learning**

Supervised Learning bezeichnet Verfahren, bei denen Modelle mit gelabelten Trainingsdaten trainiert werden, um vorher definierte Zielgrößen vorherzusagen.

**Support Vector Machine (SVM)**

Support Vector Machines (SVM) sind Algorithmen für Klassifikation oder Regression, die durch optimale Trennhyperflächen Klassen voneinander trennen. Sie arbeiten gut bei kleinen bis mittleren Datensätzen.

**Unsupervised Learning**

Unsupervised Learning umfasst Verfahren zur Identifikation von Mustern oder Strukturen in Daten ohne vorgegebene Zielgrößen.

[www.dena.de](http://www.dena.de) [future-energy-lab.de](http://future-energy-lab.de)

Ein Projekt der

**dena**