

Implementierungsleitfaden

für den Einsatz von innovativen,
datengetriebenen Anwendungen im Stromnetz

Inhalt

1	Implementierungsleitfaden.....	3
1.1	Leitfaden für den Einsatz von innovativen, datengetriebenen Anwendungen im Stromnetz.....	6
1.2	Implementierungsleitfaden für drei ausgewählte Use Cases.....	13
1.2.1	Leitfaden für die Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen	14
1.2.2	Leitfaden für KI-basierte Verbrauchsprognosen.....	19
1.2.3	Leitfaden für ein KI-basiertes Frühwarnsystem für Störungen in Umspannwerken	24

1 Implementierungsleitfaden

Datenanalysen bis hin zu KI-Anwendungen spielen zunehmend auch im Stromverteilnetz eine bedeutendere Rolle. Der Bedarf an neuen Entwicklungen, die auf intelligenten Methoden aufbauen, ist groß, beispielsweise im Bereich der E-Mobilität oder im Rahmen von Smart Homes. Einige große Verteilnetzbetreiber haben bereits eigene Entwicklungsabteilungen aufgebaut, um an der Umsetzung von intelligenten Datenanalysemethoden zu arbeiten. Vor allem für kleinere Netzbetreiber gestaltet sich die Einführung solcher Anwendungen aber schwierig. Der vorliegende Leitfaden ist Teil des Gutachtens des Fraunhofer IEE zum Thema „Datenanalysen und Künstliche Intelligenz im Stromverteilernetz“, das im Rahmen des dena-Projekts Data4Grid erstellt wurde. Während der Netzbetreiber-Workshops, die im Rahmen der Gutachtenerstellung durchgeführt wurden, kristallisierte sich der Wunsch vieler Netzbetreiber nach einem Leitfaden für die Einführung von innovativen Anwendungen heraus. Als ein primäres Hindernis bei der Einführung von intelligenten Anwendungen wurde u.a. fehlendes Know-How genannt, sowohl in Bezug auf die Möglichkeiten von intelligenten Methoden selber als auch auf das Vorgehen, z.B. welche Aspekte bei der Einführung zu beachten sind. Um die Einführung von innovativen Anwendungen für Netzbetreiber zu erleichtern, soll dieser Leitfaden als grundlegende Orientierung dienen und die wesentlichen Schritte und Überlegungen abbilden, die über die verschiedenen Phasen einer Einführung von Datenanalysen im Unternehmen relevant sind. Zwei Fragen sollen damit adressiert werden:

1. *Was muss in der Planungs- und Vorbereitungsphase beachtet werden und welche Informationen sind hier relevant?*
2. *Wie kann die Durchführung aber auch nachhaltige Verwendung sichergestellt werden?*

Der Leitfaden gliedert sich daher in zwei Teile. Teil A beschreibt die ersten Schritte der Entscheidungsfindung mit dem Fokus auf die Datengrundlage sowie die Planung der Umsetzung und Durchführung. In Teil B wird die Umsetzung der Anwendung selbst behandelt sowie der Betrieb und eine nachhaltige Weiterentwicklung. Beide Teile des Leitfadens sind identisch aufgebaut und besitzen jeweils einen Zeitstrahl mit den Themenfeldern „Allgemein“, „Daten“, „Methode/Anwendung“ und „Regulatorischer Rahmen“. Überschneidungen zwischen den Feldern sind möglich. Bestimmte Schritte sind nur für Echtzeitanwendungen relevant, wie z.B. Netzzustandsschätzungen in Echtzeit, im Gegensatz zu Netzplanungsprojekten. Diese Boxen sind mit dem Symbol einer Uhr gekennzeichnet.

In Kapitel 1.1 werden die einzelnen Aspekte der jeweiligen Schritte u.a. anhand von definierten Leitfragen noch einmal detaillierter vorgestellt. Hierbei werden relevante Fragestellungen aufgegriffen, die vor dem Einsatz und während der Planung einer solchen Anwendung beantwortet werden sollten. Der Leitfaden ist zur Orientierung gedacht und gilt nicht als verbindliche Umsetzungsvorschrift. Je nach gewählter Art des Projektes, ist es z.B. ein Forschungsprojekt, handelt es sich um eine Pileteinführung oder soll eine bereits etablierte Anwendung eingeführt werden, sind weitere Differenzierungen des Leitfadens nötig, u.a. in Bezug auf die Verfügbarkeiten oder Grenzen der Systeme, die in zukünftigen Projekten ausgearbeitet werden könnten. In Kapitel 1.2 wird der Implementierungsleitfaden beispielhaft für drei ausgewählte Anwendungsfälle durchlaufen, um die Aspekte des Leitfadens anschaulich z.B. mit konkreten Angaben zu den Datenanforderungen darzustellen.

Implementierungsleitfaden für (KI-) Anwendungen, Teil A

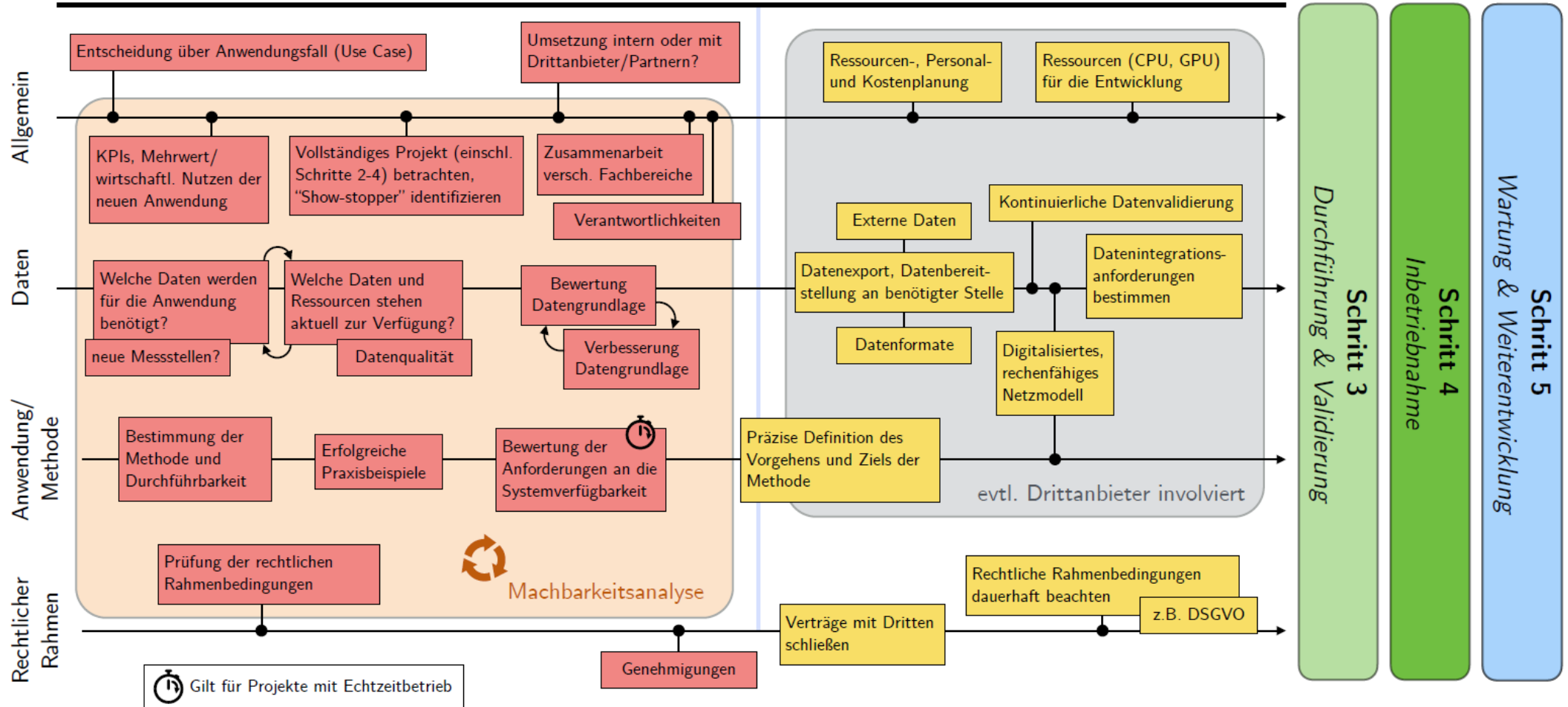
Schritt 1

Entscheidungspfade, Machbarkeitsanalyse & Mehrwert

Schritt 2

Planung

Teil B

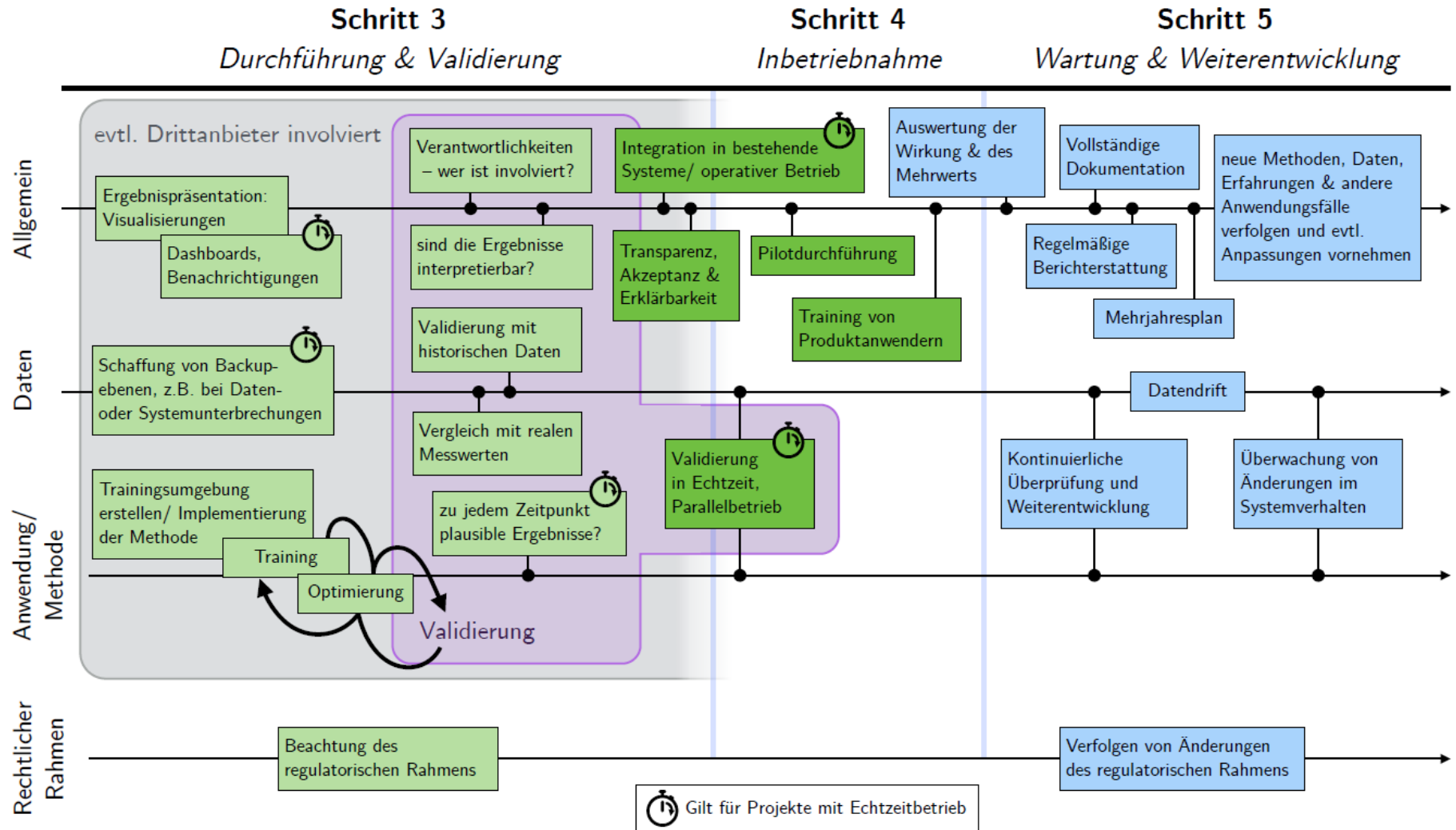


Implementierungsleitfaden für (KI-) Anwendungen, Teil B

Teil A

Schritt 1
Entscheidungspfade, Machbarkeitsanalyse & Mehrwert

Schritt 2
Planung



1.1 Leitfaden für den Einsatz von innovativen, datengetriebenen Anwendungen im Stromnetz

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schritte des Leitfadens, u.a. durch aufgestellte Leitfragen zu den einzelnen Punkten, die im Rahmen der Umsetzung als Orientierung dienen können, detaillierter aufgegriffen.

Schon zu Beginn sollten alle Schritte des Leitfadens Schritt für Schritt durchgespielt und durchdacht werden, um bereits im Vorfeld mögliche „Showstopper“ zu identifizieren und an kritischen Stellen Abbruchkriterien zu definieren.

Schritt 1: Entscheidungspfade, Machbarkeitsanalyse und Mehrwert

Entscheidung über den Anwendungsfall (Use Case)

An erster Stelle steht bei Schritt 1 die Auswahl des Anwendungsfalls. Eine Übersicht über eine Auswahl an möglichen Anwendungsfällen findet sich im Gesamtgutachten des Fraunhofer IEE zu Datenanalysen und Künstlicher Intelligenz im Stromverteilnetz. Ein wichtiges Entscheidungskriterium kann eine Machbarkeitsanalyse darstellen. In der folgenden Tabelle werden u.a. mögliche Aspekte und Leitfragen vorgestellt, die bei der Entscheidungsfindung unterstützen können.

Allgemein	Mehrwert der Anwendung - Welchen Mehrwert, insbesondere wirtschaftlichen Nutzen, liefert die Anwendung? - Welche KPIs lassen sich definieren?
	Definition von Verantwortlichkeiten im Unternehmen - Wer ist im Unternehmen involviert und bei wem liegen die Verantwortlichkeiten (Product Owner, Projektleiter, etc.)? - Für die erfolgreiche Umsetzung ist eine Zusammenarbeit von mehreren Fachbereichen notwendig (Asset Management, Netzplanung, IT, Techniker, etc.)!
	Bestimmung der Umsetzungsart - Soll die Umsetzung intern (eigene Entwicklung) oder durch Drittanbieter/ mit Partnern (Nutzung bereits vorhandener Entwicklungen sowie Expertenwissen) erfolgen? - Kann KI aus Forschungsvorhaben mit ähnlichen Zielen verwendet werden?
Daten	Bewertung der zur Verfügung stehenden Daten und Ressourcen - Welche Daten werden aktuell gespeichert und aus welchem System kommen welche Informationen? - Wie ist die vorhandene Datengrundlage sowohl qualitativ als auch quantitativ zu bewerten? - Ist die zeitliche Auflösung der Daten und ist das Zugriffsintervall von Messdaten ausreichend? - Kann oder muss die Datengrundlage verbessert werden?

Daten	Anforderungen an die Datenerfassung - Welche Datenarten werden für die Anwendung benötigt (Kundendaten, Anlagendaten, externe Daten, ...)? - Müssen neue Messstellen oder Sensorik eingerichtet werden? - Erfordert der beabsichtigte Use Case eine Datenerfassung in Echtzeit?
Anwendung/ Methode	Bewertung der Anforderungen an die Systemverfügbarkeit - Welche Auswirkungen hat eine Systemunterbrechung? - Würde eine kritische Situation entstehen, wenn das System offline gehen würde?
	Bestimmung der Methode und ihrer Durchführbarkeit - Wie ist der Entwicklungsstand zu dem Use Case? - Gibt es bereits erfolgreiche Praxisbeispiele?
Regulatorischer Rahmen	Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen - Welche rechtlichen Rahmenbedingungen muss man in diesem Anwendungsfall beachten? - Kann man vorhandene Daten uneingeschränkt nutzen? ➤ Werden personenbezogene Daten genutzt? Müssen Daten anonymisiert werden? ▪ Beachtung der DSGVO - Müssen Genehmigungen eingeholt werden? - Müssen besondere Regelungen bei der Nutzung von KI beachtet werden?

Tabelle 1: Schritt 1 des Implementierungsleitfadens.

Nach Schritt 1 sollte die Entscheidung über den Anwendungsfall gefallen sein und dessen Mehrwert für das Unternehmen feststehen. Auch die Durchführbarkeit des Projekts sollte bestätigt und eine erste Projektskizze erstellt werden. Dafür sollten Kenntnisse über die Datengrundlage vorhanden sein, z.B. welche Daten aus welchem System kommen und aktuell zur Verfügung stehen. Ebenso sollten wichtige Verantwortungsfragen, wer welche Rolle übernimmt, innerhalb des Unternehmens beantwortet sein. Insbesondere sollten Fragen zum Datenbedarf und deren Verfügbarkeit mit den jeweils relevanten Personen geklärt worden sein. Auch die relevanten rechtlichen Aspekte sollten nach dieser Phase evaluiert und berücksichtigt worden sein. Gerade für den Fall, dass es intern noch keine weitreichende Erfahrung mit diesen Themen gibt, empfiehlt es sich externe Expertise hinzuzuziehen.

Schritt 2: Planung

In Schritt 2 soll eine ausführliche Planung zur Umsetzung der ausgewählten Anwendung erfolgen. Hierzu zählen die Ressourcen, Personal- und Kostenplanung sowie eine präzise Definition des Vorgehens und des Ziels der Anwendung. Auch die konkreten Anforderungen an die benötigten Daten müssen festgelegt werden.

Allgemein	Ressourcen-, Personal- und Kostenplanung + Wie viel Personal wird für die Umsetzung der Anwendung benötigt? + Welche Kosten müssen für das Personal während der Entwicklung, Inbetriebnahme und Wartung kalkuliert werden? + Entstehen Kosten durch Drittanbieter? Wenn ja wie hoch und gibt es Folgekosten? + Welche Ressourcen werden für das Auf- und Umsetzen der Methoden und Anwendungen benötigt (Hardware/ Software/ Lizenzen, ...)? In welcher Form werden diese benötigt? + Entstehen Kosten durch die Nutzung externer Daten, z. B. Wetterdaten? Und wenn ja, fallen mögliche Folgekosten an? + Entstehen Kosten für zusätzlich benötigte Infrastruktur, Software, Cloud-Computing, Server, etc.? Und wenn ja, fallen mögliche Folgekosten an?
Daten	Präzise Festlegung der konkreten Datenanforderungen <i>Eine kontinuierliche Datenvalidierung ist unerlässlich, um die Daten erfolgreich nutzen zu können.</i> + Welche Daten werden benötigt? ➤ In welchem Format werden die Daten jeweils benötigt? ➤ Über welchen Zeitraum werden welche Daten benötigt (z.B. jahreszeitabhängig)? ➤ Müssen zur Aufnahme benötigter Daten neue Messstellen eingerichtet werden? + Wie ist die Datenqualität? ➤ Gibt es Lücken in den Daten? Wie können diese gefüllt werden? + Liegt ein digitalisiertes, rechenfähiges Netzmodell vor, z.B. in Siemens PSS Sincal, CIM, DlgSILEND PowerFactory, NEPLAN, etc.? Prüfung der Möglichkeiten zur Datenbereitstellung an benötigter Stelle + Können die Daten aus den vorhandenen Systemen exportiert werden? + Gibt es einen zentralen Speicherort für alle Daten? ➤ Nutzung von Datenbanken, Cloudspeichern, etc.? + Gibt es eine Anbindungsumgebung, in der die Daten zusammengefügt werden können?

Anwendung/ Methode	Präzise Definition des Vorgehens und des Ziels der Methode ✚ Welche Meilensteine und Ziele sollen definiert werden? ✚ Erstellung einer präzisen Beschreibung der zu verwendenden Methode ➤ Ist die Methode z.B. eine komplette Blackbox oder kann sie Zwischen- oder Modulergebnisse liefern, die überprüfbar sind?
Regulatorischer Rahmen	Erstellung von Verträgen, detaillierte Prüfung der Rechtsabteilung ✚ Müssen Verträge mit Dritten geschlossen werden? (Sollten Partner oder Drittanbieter involviert sein) ➤ Gibt es z.B. Geheimhaltungsverpflichtungen? ✚ Sind alle ISMS Maßnahmen erfüllt? ➤ Müssen evtl. externe Dienstleister eine Selbstauskunft ausfüllen? ➤ Gibt es technisch organisatorische Maßnahmen (TOMs) zu beachten? ✚ Sind alle Daten, die benutzt werden müssen, auch frei zur Weitergabe an externe Dienstleister? (z.B. Prognosen eines externen Anbieters)

Tabelle 2: Schritt 2 des Implementierungsleitfadens.

Spätestens nach Schritt 2 sollten die konkreten Datenanforderungen feststehen, die für die Umsetzung der Anwendung essenziell sind und an geeigneter Stelle bereitgestellt werden können. Für viele Anwendungen ist ein rechenfähiges Netzmodell erforderlich, das nach diesem Schritt ebenfalls vorliegen sollte. Auch der Rahmen für die Kosten des Personals und der benötigten Ressourcen sollte abgegrenzt worden sein. Der Projektablauf sollte detailliert beschrieben sein, um das Vorgehen erfolgreich zu starten. Hinzu kommt die Vorabklärung des rechtlichen Rahmens. Hier ist insbesondere sicherzustellen, dass die zu verwendenden Daten frei sind von Rechten Dritter und auch keine personalisierten Informationen enthalten. Außerdem muss der Umgang der Daten mit potenziellen externen Dienstleistern geklärt werden, sowie die Integration und Beschreibung der neuen Prozesse in das eigene ISMS geklärt und sichergestellt werden.

Schritt 3: Durchführung & Validierung

Schritt 3 widmet sich der Durchführung bzw. Implementierung der Anwendung und der Validierung der Ergebnisse, die einen besonders wichtigen Punkt in dieser Phase ausmacht. Neben der Entwicklung der Anwendung sollte bereits an die Ergebnisdarstellung gedacht werden, um die Ergebnisse dem jeweiligen Anwender in geeigneter Form zu präsentieren. Hierbei sollten relevante Informationen herausgestellt werden, um den Entscheidungsprozess, z.B. für das Personal einer Leitwarte, zu vereinfachen.

Allgemein	Validierung der Ergebnisse ✚ Wer ist für die Ergebnisvalidierung zuständig/ geeignet? ➤ Können die Entwickler die Ergebnisse selber deuten und validieren? ➤ Kann internes Personal die Ergebnisse interpretieren und validieren? Ergebnisdarstellung ✚ Sind Visualisierungen (z.B. Dashboards) sinnvoll? Wenn ja, in welcher Form? ✚ Können automatisierte Benachrichtigungen einen Mehrwert bieten (z.B. per Mail oder SMS, wenn die Anwendung einen kritischen Zustand erkennt)? ➤ im Echtzeitbetrieb empfehlenswert
Daten & Anwendung/ Methode	Entwicklung, Training & Optimierung ✚ Was wird zur Implementierung der Methode benötigt? ✚ Ist die Erstellung einer Trainingsumgebung notwendig? ✚ Treten in der Trainings- und Entwicklungsphase inklusive Optimierung Fehler auf, die noch behoben werden müssen? ✚ Müssen Backup-Ebenen, z.B. bei Daten- oder Systemunterbrechungen, geschaffen werden? Validierung ✚ Welche Validierung kommt für die Anwendung in Frage? ➤ Validierung anhand von realen (historischen) Messungen? ➤ Validierung in Echtzeit (z.B. Parallelbetrieb)? ✚ Sind die Ergebnisse zu allen Zeitpunkten plausibel und interpretierbar? ✚ Ist die erzielte Ergebnislösung höher als bei alternativen Methoden/Ansätzen?
Regulat. Rahmen	Beachtung des regulatorischen Rahmens ✚ Sind während der Umsetzungsphase bestimmte Regelungen zu beachten (z.B. bei dem Einsatz von KI-Methoden)?

Tabelle 3: Schritt 3 des Implementierungsleitfadens.

In Schritt 3 erfolgt nach der Entwicklungsphase die erste (prototypische) Implementierung der Anwendung. Um zu prüfen, ob die entwickelte Anwendung fehlerfrei läuft und plausible Ergebnisse liefert, ist eine Validierungsphase unerlässlich. In den meisten Fällen entsteht eine sich wiederholende Schleife zwischen Validierung und Optimierung der Anwendung, wobei in der Optimierungsphase identifizierte Fehler korrigiert werden. Wenn die Prozesse aus Schritt 3 erfolgreich durchgeführt wurden, steht am Ende eine erfolgreich validierte Anwendung, deren Ergebnisse für die späteren Nutzer so dargestellt werden können, dass sie einfach zu verstehen sind und der Mehrwert der Anwendung erkennbar ist.

Schritt 4: Inbetriebnahme

In Schritt 4 erfolgt die Inbetriebnahme der entwickelten Anwendung. Hierzu gehört die Integration in die bestehenden Systeme sowie die Einführung innerhalb der betroffenen Bereiche des Unternehmens, z.B. beim operativen oder planerischen Personal. Um einen wirklichen Erfolg zu verzeichnen, ist es essentiell, dass die Anwendung innerhalb des Unternehmens auf Akzeptanz stößt. Eine frühzeitige Erkennbarkeit des Mehrwerts kann die Bereitschaft zur Anwendung neuer Methoden steigern. Beim Personal, dass die Methodik anwenden soll, muss sich der Mehrwert durch die Nutzung ergeben, sodass auch ein Mehrwert für das Unternehmen generiert wird.

Allgemein	Integration in bestehende Systeme und den operativen Betrieb - Wie lässt sich die Anwendung am besten integrieren? - Vor allem Anwendungen, die extern entwickelt wurden, stellen oftmals zusätzliche Herausforderungen an die Systemintegration
	Transparenz & Akzeptanz im Unternehmen schaffen <i>Erfolgsenerlebnisse sind ein wichtiger Faktor!</i> - Sind die Ergebnisse der entwickelten Anwendung für den Anwender leicht verständlich und einfach zu nutzen? - Visualisierung relevanter Ergebnisse beispielsweise via Dashboards - Benachrichtigungen beispielsweise mit Handlungsempfehlungen - Ist eine Schulung von Nutzern sinnvoll, damit alle entwickelten Funktionalitäten bekannt sind und eingesetzt werden können? - Kann eine demonstrative Pilotdurchführung zur Sichtbarkeit und dem Erfolg beitragen?
Daten & Anwendung/ Methode	Einführung der Anwendung - Ist ein Parallelbetrieb möglich und sinnvoll, um Vertrauen aufzubauen? - Lassen sich die Eingangs- und Ausgangsdaten im Echtzeitbetrieb bereitstellen und verwerten? - Gibt es Performanceprobleme aufgrund zu hoher Auslastung der Hardware? - Gibt es Rückfallprozesse im Falle von Datenausfällen, -fehlern oder Systemabstürzen?
Regulat. Rahmen	Beachtung des regulatorischen Rahmens Sind während der Inbetriebnahme bestimmte Regelungen zu beachten (z.B. bei dem Einsatz von KI-Methoden)?

Tabelle 4: Schritt 4 des Implementierungsleitfadens.

Nach Schritt 4 ist das Ziel größtenteils erreicht! Eine funktionierende Anwendung ist entwickelt und konnte in die bestehenden Systeme integriert werden. Durch geeignete Maßnahmen, wie z.B. einen Parallelbetrieb zu vorhandenen Anwendungen, kann das Vertrauen in die Ergebnisse der Anwendung gestärkt werden. Besonders im Bereich von kritischen Prozessen ist zunächst ein Parallelbetrieb empfehlenswert, um die Ergebnisse der Anwendung über einen längeren Zeitraum überprüfen zu können und eine Vertrauensbasis in die Anwendung und deren Ergebnisse aufzubauen. Schulungen für das Personal können ebenfalls dazu beitragen, dass alle Funktionalitäten der neuen Anwendung bekannt sind und eingesetzt werden können, um Prozesse zu verbessern oder bei Entscheidungen zu unterstützen.

Schritt 5: Wartung & Weiterentwicklung

Schritt 5 ist der letzte Schritt des Leitfadens, jedoch sollte ab hier eine kontinuierliche Wartung und Weiterentwicklung stattfinden.

Allgemein	Vollständige Dokumentation während des gesamten Projekts <i>Eine vollständige Dokumentation während des gesamten Projekts ist unerlässlich, falls später Anpassungen notwendig sind und z.B. die Personen, die die Anwendung entwickelt haben, nicht mehr im Unternehmen tätig sind!</i>
	Auswertung der Wirkung und des Mehrwerts der Anwendung Wurden die zu Beginn definierten Ziele erreicht?
	Regelmäßige Berichterstattung Können Mehrjahrespläne (z.B. 5-Jahres-Plan, etc.) definiert werden?
	Kontinuierliche Überprüfung und Weiterentwicklung - Gibt es neue Methoden, Erfahrungen oder andere Anwendungsfälle, die miteinbezogen werden können und evtl. Anpassungen nötig machen? - Überwachung von Änderungen im Systemverhalten - Wie kann das Verfahren weiterhin robust gegenüber häufigen Fehlern gemacht werden?
Daten & Anwendung/ Methode	Kontinuierliche Überwachung der Daten - Ist die Sicherung der Datenqualität gewahrt? - Können die Daten auch weiterhin zur Verfügung gestellt werden? Sind Änderungen z.B. in den Datenmodellen zu erwarten? - Gibt es vielleicht mittlerweile besser geeignete Datenquellen, die zukünftig (mit) verwendet werden sollten?

Daten & Anwendung/ Methode	Datendrift identifizieren und reagieren ✚ Werden Methoden genutzt, die Anpassungen erfordern? ➤ bei NN z.B. müssen die Netze nachtrainiert werden ✚ Gibt es Änderungen in der Netztopologie? ➤ Netzmodelle müssen aktuell gehalten werden ✚ Gibt es Änderungen in verwendeten repräsentativen Daten? ➤ Standardlastprofile verändern sich
Regulat. Rahmen	Gibt es Änderungen des regulatorischen Rahmens, die Einfluss auf die Anwendung nehmen? ✚ Wurden z.B. neue Regelungen zum Einsatz von KI getroffen, die beachtet werden müssen?

Tabelle 5: Schritt 5 des Implementierungsleitfadens.

1.2 Implementierungsleitfaden für drei ausgewählte Use Cases

In diesem Kapitel wird der Implementierungsleitfaden beispielhaft für drei konkrete Use Cases durchlaufen. Hierbei werden die oben beschriebenen grundlegenden Aspekte der Schritte 1 bis 5 des Leitfadens behandelt, individuelle Anpassungen je nach Methode und Unternehmen werden aber notwendig sein und können nicht immer mit einbezogen werden.

Die hier dargestellten Anwendungsfälle wurden unter verschiedenen Kriterien ausgewählt. Ein Kriterium für die Auswahl war die aktuelle und zukünftige Relevanz des Anwendungsfalls für die Verteilnetzbetreiber. Hierzu wurden innerhalb der im Gutachten durchgeführten Netzbetreiberworkshops Umfragen durchgeführt, worin mehrheitlich die fehlende Netztransparenz in der Mittelspannung als Herausforderung identifiziert wurde. Um der Forderung nach mehr Sichtbarkeit zu begegnen, steht als Use Case die MS-Netzzustandsbestimmung an erster Stelle. Für die MS- und NS-Netzzustandsbestimmung laufen aktuell diverse Forschungsprojekte, wie z.B. das Projekt Redispatch 3.0¹. Besonders vielversprechend erweist sich dabei die Netzzustandsbestimmung mittels künstlicher neuronaler Netze, die in Kapitel 1.2.1 als erster Use Case beispielhaft durchlaufen wird. Neben der MS-Netzzustandsbestimmung nehmen Energie-Prognosen eine entscheidende Rolle ein. Akkurate Einspeise- und Verbrauchsprognosen dienen vielfach als Grundlage für weiterführende Anwendungen, wie z.B. Hochrechnungen, Redispatch2.0 und insbesondere auch für die Netzzustandsbestimmung, welche dann zu einer Netzzustandsprognose wird. Während Erzeuger, speziell Wind und PV als gut prognostizierbar gelten, sind Verbrauchsprognosen deutlich schwieriger zu erstellen und wurden von den Netzbetreibern als eine Herausforderung beschrieben, in der sie Forschungsbedarf sehen. Als zweiter Anwendungsfall, für den beispielhaft der Leitfaden durchlaufen wird, wurde daher der Anwendungsfall aus Challenge 3 des praktischen Data4Grid-Projektteils gewählt: KI-gestützte Verbrauchsprognosen auf Basis von Smart-Meter-Daten. Hierbei wurde untersucht inwieweit sich präzise Verbrauchsprognosen auf Basis von Smart-

¹ <https://www.offis.de/offis/projekt/rd30.html>

Meter Daten ableiten lassen (siehe auch *Challenge 3: KI-gestützte Verbrauchsprognosen auf Basis von Smart-Meter-Daten* im Data4Grid Projektbericht).

Die ersten beiden Use Cases befinden sich aktuell noch in der Forschungsphase, weshalb als dritter Anwendungsfall ein Beispiel gewählt wurde, das bereits erfolgreich in der Praxis umgesetzt wurde und konkrete Antworten auf viele der definierten Leitfragen geben kann. Die Wahl fiel auf die von MITNETZ STROM entwickelte und im Rahmen der Workshops vorgestellte Anwendung des Frühwarnsystems für Störungen in Umspannwerken, das auf Künstlicher Intelligenz basiert.

1.2.1 Leitfaden für die Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen

Mittelspannungsnetze besitzen aufgrund ihrer historisch gewachsenen Struktur nur eine geringe Anzahl an Messeinrichtungen für die Erfassung von sicherheitsrelevanten Variablen. Meist werden lediglich an den HS/MS-Umspannstationen sowie an vereinzelter MS/NS-Ortsnetzstationen Systemgrößen wie Leistungsstrom, Spannungsbetrag, Wirk-, und Blindleistung erfasst. Außerhalb dieser gemessenen Werte ist der Zustand des Stromnetzes unbekannt. Dies führt in Verbindung mit dem voranschreitenden Ausbau dezentraler Erzeugungsanlagen dazu, dass mögliche Grenzwertverletzungen, wie Unter- oder Überschreitungen des zulässigen Spannungsbandes oder Betriebsmittelüberlastungen durch zu hohe Ströme, nicht vollständig identifiziert und lokalisiert werden können. Neben analytischen Verfahren zur Zustandsschätzung (WLS, LP) können Methoden, die mithilfe künstlicher neuronaler Netze die elektrischen Variablen schätzen, zur Erhöhung der Transparenz in der Mittelspannungsebene beitragen. Hierdurch wird bspw. die Möglichkeit geschaffen, dass Betriebsmittel näher an ihren Grenzen betrieben werden können, um kostenintensiven Netzausbaumaßnahmen entgegenzuwirken. Im Folgenden wird der Leitfaden beispielhaft für die Netzzustandsbestimmung mittels künstlicher neuronaler Netze durchlaufen.

Schritt 1: Entscheidungspfade, Machbarkeitsanalyse und Mehrwert

Allgemein	Mehrwert der Anwendung - Bestimmung des vollständigen Netzzustands, wodurch Netztransparenz generiert wird - Erkennung und Vermeidung von Grenzwertverletzungen - Nutzung zur Netzwiederversorgung z.B. nach Kurzschlüssen - Ermittlung von Flexibilitäten, die z.B. für die Verwendung von Optimierungen eingesetzt werden können - Geringere Investitionen in zusätzliche Messinfrastruktur
	Definition von Verantwortlichkeiten im Unternehmen & Bestimmung der Umsetzungsart Fragen zur Art der Umsetzung (intern/ extern) und Verantwortlichkeiten müssen unternehmensspezifisch beantwortet werden. Die im Leitfaden definierten Fragen können hierbei als Hilfe dienen.

Daten	Bewertung der zur Verfügung stehenden Daten und Ressourcen
	Welche Daten und Ressourcen aktuell zur Verfügung stehen unterscheiden sich je nach Unternehmen und müssen vor Ort evaluiert werden.
	Welche Datenarten werden für die Anwendung benötigt?
	- Ein rechenfähiges Netzmodell - Last- und Erzeugungsdaten - Historische Messzeitreihen
	Müssen neue Messstellen oder Sensorik eingerichtet werden?
	- Messstellendichte für geforderte Schätzgenauigkeit ausreichend? - Optimale Messstellenplatzierung: Wo werden neue Messstellen platziert?
Anwendung/ Methode	Erfordert der beabsichtigte Use Case eine Datenerfassung in Echtzeit?
	Bereitstellung der Messdaten in Echtzeit (Zeitliche Auflösung der Echtzeitdaten z.B. 5 min, 15 min)
	Bewertung der Anforderungen an die Systemverfügbarkeit
Regulat. Rahmen	Hohe Systemverfügbarkeit von Echtzeitmessdaten aus SCADA System erforderlich.
	Bestimmung der Methode und ihrer Durchführbarkeit
Regulat. Rahmen	Die Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen wird bereits in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht und an Netzabschnitten beispielhaft getestet
	Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen
Regulat. Rahmen	Bei der Nutzung von Kundendaten für Lastprofile muss der Datenschutz beachtet werden.

Tabelle 6: Schritt 1 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen.

Schritt 2: Planung

Allgemein	Ressourcen-, Personal- und Kostenplanung
	Die Ressourcen-, Personal- und Kostenplanung muss unternehmensspezifisch erfolgen.
Daten	Präzise Festlegung der konkreten Datenanforderungen
	Vollständig rechenfähiges Netzmodell mit Geokoordinaten Mögliche Datenmodelle: Siemens PSS Sincal, DlgSILEND PowerFactory, CIM, pandapower.

Bestehend aus:

- Topologischen Daten
- Daten der Betriebsmittel (Leitungsimpedanzen, Transformatoren usw.)
- EEG/DEA Anlagen (Nennleistung, Anschlusspunkt, Typ)
- Konventionellen Erzeugungsanlagen (Nennleistung, Anschlusspunkt, Typ)
- Lasten/Verbraucher (Nennleistung, Anschlusspunkt, Typ)

Historische Messzeitreihen

- Datenformat: z.B. MS Excel, CSV, TXT, JSON
- Zeitliche Auflösung: max. 15 min (empfohlen: 5 min, 10 min)
- Länge der Zeitreihen: mind. 1 Jahr (empfohlen: 2-4 Jahre)

Einspeisezeitreihen

- PV: Einspeiseleistung von Referenzanlage(n)
- Wind: Einspeiseleistung von Referenzanlage(n)
- Biogas: Einspeiseleistung von Referenzanlage(n)
- Sonstige: Einspeiseleistung von z.B. konventionellen Erzeugern/Kraftwerken

Lastzeitreihen

- Messdaten aus dem HS/MS Umspannwerk (UW)
- Messungen der MS Sammelschienenabgänge
- Messungen der HS/MS Transformatoren
- Messdaten aus Ortsnetzstationen (MS/NS)
- Messdaten von Kundenlasten (z.B. Lastgänge von Großkunden)

Lastprofile (falls keine historischen Messdaten verfügbar):

- Annahmen für Lastprofile (z.B. Standardlastprofile H0, G0, Wärmepumpen usw.)

Daten der Messgeräte

- Typ der Messung*
- Ort/Platzierung der Messung*
- Messrauschen bzw. Genauigkeitsklasse (Herstellerdatenblatt)

Schalterstellungen

- Schalterstellungen der MS-Abgänge im HS/MS Umspannwerk (UW)
- Schalterstellungen der Sammelschienen im UW
- Schalterstellungen von Trennstellen im Netzgebiet an Ortsnetzstationen (ONS) und Kabelverteilerschränken (KVS)
- Position des Trafostufenstellers der HS/MS Transformatoren im UW
- Position der Trafostufensteller der MS/NS Transformatoren in der ONS (z.B. bei RONTs)

**Zuordnung von Platzierung und Typ der Messung im Netzmodell kann auch über die Angaben in den historischen Messzeitreihen erfolgen.*

Anwendung/ Methode	Präzise Definition des Vorgehens und des Ziels der Methode ➤ Ziel: Zustandsschätzung des gesamten MS/NS Netzgebiets (unter Nutzung vorhandener Messstellen). ➤ Methodik: Künstliche Neuronale Netze 1. Erzeugung von Trainingsdaten. 2. Training künstlicher neuronaler Netze. 3. Schätzung des Netzzustands auf Basis von Echtzeit-Messungen
Regulat. Rahmen	Erstellung von Verträgen, detaillierte Prüfung der Rechtsabteilung ➤ Sollte die Durchführung mit Drittanbietern oder Partnern stattfinden, müssen entsprechende Verträge geschlossen werden.

Tabelle 7: Schritt 2 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen.

Schritt 3: Durchführung & Validierung

Allgemein	Ergebnisdarstellung ➤ Für die Netzzustandsbestimmung könnten Benachrichtigungen denkbar sein, die auf drohende Grenzwertverletzungen hindeuten sowie die farbige Darstellung der Ergebnisse über eine Einfärbung der Netztopologie.
Daten & Anwendung/ Methode	Entwicklung, Training & Optimierung ➤ Zur Netzzustandsbestimmung sind bereits verschiedene Methoden vorhanden, je nach Methode unterscheidet sich das Training. Validierung ➤ Für die Netzzustandsbestimmung eignet sich die Validierung anhand von realen Messungen, wenn für das Training nicht alle vorhandenen Messstellen genutzt wurden und die geschätzten Ergebnisse mit den Messwerten der ungenutzten Messstellen verglichen werden können.
Regulat. Rahmen	Beachtung des regulatorischen Rahmens ➤ Speziell bei dem Einsatz von KI-Methoden sollten sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen verfolgt und eingehalten werden.

Tabelle 8: Schritt 3 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen.

Schritt 4: Inbetriebnahme

Allgemein	Integration in bestehende Systeme und den operativen Betrieb Die Anwendung für die Netzzustandsbestimmung muss in die Leitwarte integriert werden. Auf den Rechnern/Clouds in der Leitwarte werden lokal neuronale Netze liegen (auch schon in der Validierungsphase), die die Messdaten empfangen und eine Schätzung generieren.
	Transparenz & Akzeptanz im Unternehmen schaffen Eine Schulung des Personals ist wichtig, damit es mit der Ergebnisdarstellung umgehen kann.
Daten & Anwendung/ Methode	Einführung der Anwendung Abhängig von verschiedenen Faktoren, z.B. je nach eingesetzten Systemen und Software, können die Herausforderungen bei der Inbetriebnahme je nach Unternehmen stark variieren, sodass hier keine konkreten Angaben erfolgen können.
Regulat. Rahmen	Beachtung des regulatorischen Rahmens Speziell bei dem Einsatz von KI-Methoden sollten sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen verfolgt und eingehalten werden.

Tabelle 9: Schritt 4 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen.

Schritt 5: Wartung und Weiterentwicklung

Allgemein	Auswertung der Wirkung und des Mehrwerts der Anwendung - Konnte die angestrebte Schätzgenauigkeit durch Validierungsmessungen über einen langen Zeitraum sichergestellt werden? - Wurden Kosteneinsparungen durch die Anwendung der Methodik erzielt? - Feedback der Anwender: Wurden durch die Sichtbarkeit der Schätzergebnisse vorbeugende Schalthandlungen durchgeführt? Ist der Mehrwert für das Personal ersichtlich geworden?
	Datendrift identifizieren und reagieren - Neue, unbekannte Zustände können nicht geschätzt werden. Die neuronalen Netze müssen kontinuierlich nachtrainiert werden, um auch neue Zustände schätzen zu können - Standardlastprofile verändern sich, sodass diese aktuell gehalten werden müssen, z.B. durch entsprechende KI-Methoden, die automatische Anpassungen ermöglichen

Gibt es Änderungen des regulatorischen Rahmens, die Einfluss auf die Anwendung nehmen?

- Speziell bei dem Einsatz von KI-Methoden sollten sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen verfolgt und eingehalten werden.

Tabelle 10: Schritt 5 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Netzzustandsbestimmung mit neuronalen Netzen.

Die Netzzustandsschätzung mittels künstlicher neuronaler Netze ist ein vielversprechender Ansatz zur Schaffung von Transparenz in der Mittelspannungsebene. Bisherige Testphasen hierzu haben gezeigt, dass die geschätzten elektrischen Variablen (Leistungsstrom, Wirkleistungsfluss, Spannung) im überwiegenden Teil des Testzeitraums nur eine geringe Abweichung zu den realen Messreihen aufweisen. Besondere Aufmerksamkeit liegt auf der Erstellung der Trainingsdaten, hier muss eine möglichst präzise Abbildung von Industrielasten und dezentralen Erzeugungsanlagen anhand ihrer individuellen Zeitreihen erfolgen, um möglichst genaue Ergebnisse zu erhalten. Werden alle Kriterien berücksichtigt, erhalten Netzbetreiber nach einem erfolgreichen Durchlauf der beschriebenen fünf Schritte eine Anwendung, die zur Sichtbarkeit in ihrem Netzbereich verhilft und neben der Erkennung und Vermeidung von Grenzwertverletzungen weiteres Potential bietet, z.B. bei der Netzwiederversorgung nach Kurzschlüssen. Weiterhin sind Kosteneinsparungen durch den vermiedenen Zubau von Messinfrastruktur sowie Netzausbaumaßnahmen durch die Anwendung eines Verfahrens zur Zustandsschätzung möglich.

1.2.2 Leitfaden für KI-basierte Verbrauchsprognosen

Zur Vorhersage des Stromverbrauchs von kleinen und mittleren Verbrauchern werden bisher vor allem Standardlastprofile verwendet. Allerdings verändert sich das Verbrauchsverhalten durch die Nutzung von selbst erzeugtem Strom und neuartigen Verbräuchen wie E-Kfz und Wärmepumpen derzeit dramatisch. Dieses veränderte Verbrauchsverhalten kann durch Standardlastprofile nicht mehr ausreichend genau modelliert werden. Akkurate Prognosen des Stromverbrauchs von Haushalten und Gewerbebetrieben sowie von Ladestationen für Elektroautos und weiteren Verbrauchern werden daher in Zukunft ein elementarer Baustein sein, um auch bei schwankenden Einspeiseleistungen einen stabilen Netzzustand garantieren zu können. Mit der vermehrten Installation von Smart Metern steigt die verfügbare Datenmenge kontinuierlich, wodurch, insbesondere durch die hohe Granularität der Daten, eine gute Basis für Lastprognosen in Verteilnetzen geschaffen werden kann. Im Folgenden wird der Leitfaden beispielhaft für eine Methode durchlaufen, die Verbrauchsprognosen auf Basis von Smart Meter-Daten mithilfe von KI-Verfahren erstellt.

Schritt 1: Entscheidungspfade, Machbarkeitsanalyse und Mehrwert

Allgemein	Mehrwert der Anwendung - Deutliche Verbesserung gegenüber Standardlastprofilen, da individuelle Prognosen erstellt werden und kein Durchschnitt einer Verbrauchergruppe prognostiziert wird - Wesentlicher Input für Netzzustandsbestimmungen bzw. Prognosen - Ermöglicht proaktiven Netzbetrieb (z.B. Abschaltung von Verbrauchern)
	Definition von Verantwortlichkeiten im Unternehmen & Bestimmung der Umsetzungsart Fragen zur Art der Umsetzung (intern/ extern) und Verantwortlichkeiten müssen unternehmensspezifisch beantwortet werden. Die im Leitfaden definierten Fragen können hierbei als Hilfe dienen.
Daten	Bewertung der zur Verfügung stehenden Daten und Ressourcen Welche Daten und Ressourcen aktuell zur Verfügung stehen unterscheiden sich je nach Unternehmen und müssen vor Ort evaluiert werden.
	Anforderungen an die Datenerfassung: Welche Datenarten werden für die Anwendung benötigt? - Historische Messzeitreihen der zu prognostizierenden Verbraucher (zum Training der KI-Modelle und ggfs. zur Evaluierung) - Live-Messwerte der zu prognostizierenden Verbraucher als Eingangsgröße für die KI-Modelle (nicht zwingend notwendig, erhöht jedoch die Prognosegüte) - Weitere Eingangsgrößen bzw. erklärende Variablen für die KI-Modelle (abhängig von der Art des Verbrauchs), z.B. Zeit- und Kalenderinformationen (Tageszeit, Wochentag, Feiertag, etc. → können durch Prognosesystem selbst erzeugt werden), Wetterprognosen (z.B. Temperatur, solare Einstrahlung: je nach Wettermodell kostenpflichtig oder kostenfrei: ICON vom Deutschen Wetterdienst DWD) ➤ Entscheidend für die Erstellung von Verbrauchsprognosen basierend auf KI-Modellen ist das Vorhandensein von historischen Messzeitreihen als Trainingsgrundlage. Meist basieren diese Messzeitreihen auf RLM- oder Smart-Meter-Messungen.
Anwendung/ Methode	Bewertung der Anforderungen an die Systemverfügbarkeit - Zur Sicherstellung der durchgängigen Systemverfügbarkeit bietet es sich an, redundante Systeme zu verwenden. - Um jederzeit Verbrauchsprognosen erzeugen zu können, muss eine Ersatzwertbildung für fehlenden Eingangsdaten gewährleistet sein bzw. können Ersatzmodelle verwendet werden, die zum Einsatz kommen, wenn bestimmte Eingangsgrößen wie z.B. Messungen nicht zur Verfügung stehen.

Anwendung/ Methode	Bestimmung der Methode und ihrer Durchführbarkeit - Die Erstellung von Leistungsprognosen (z.B. für Windenergie und PV) basierend auf KI-Modellen ist State-of-the-Art und seit vielen Jahren etabliert. Auch Verbrauchsprognosen werden seit einigen Jahren auf diese Art erzeugt. - Je nach Anwendungsfall können unterschiedliche KI-Modelle verwendet werden. Geht es vor allem um Leistungsspitzen einzelner Verbraucher müssen andere Methoden verwendet werden als bei der Prognose des Verbrauchs einer größeren Verbraucherguppe.
Regulat. Rahmen	Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen Bei der Nutzung von Verbrauchsmessungen handelt es sich oft um personenbezogene Daten, daher müssen Datenschutz und Datensicherheit in besonderem Maße beachtet werden.

Tabelle 11: Schritt 1 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung für KI-basierte Verbrauchsprognosen.

Schritt 2: Planung

Allgemein	Ressourcen-, Personal- und Kostenplanung - Die Ressourcen-, Personal- und Kostenplanung ist vor allem von der Entscheidung abhängig, welche der folgenden beiden Optionen gewählt wird: - Option 1: Interne Erstellung der Prognosen evtl. durch externe Unterstützung. Infrastruktur muss geschaffen werden (z.B. Server), Personal mit Kenntnissen in Data-Analysis und Erfahrung in der Prognoseerstellung wird benötigt, Prozesse müssen aufgesetzt werden. Hoher Aufwand, insbesondere, wenn ähnliche Prozesse (noch) nicht im Unternehmen existieren. - Option 2: Externe Erstellung der Prognosen durch Prognoseanbieter. Der Aufwand beschränkt sich auf die Bereitstellung der historischen Messwerte sowie Stammdaten. Beachtung der erhöhten Datenschutzanforderungen, geringere Kontrolle für die Daten, geringer interner Aufwand. Kosten abhängig von Anzahl der Prognosen und Art der benötigten Prognose (z.B. Short-Term, Day-Ahead). - Es werden wenige externe Daten benötigt, Wetterprognosen können kostenlos vom Deutschen Wetterdienst beschafft werden.
Daten	Präzise Festlegung der konkreten Datenanforderungen - Historische (und ggfs. live-) Messzeitreihen des Verbrauchs, zeitliche Auflösung 15 Minuten, je nach Anwendungsfall auch höher (z.B. 1 Minute). - Einheitlicher Export oder Bereitstellung via Schnittstelle. - Falls verfügbar und mit DSGVO vereinbar: Metadaten zur Verbrauchsstelle, z.B. Art des Verbrauchers (Haushalt, Industriebetrieb, Büro...), Elektroauto oder Wärmepumpe vorhanden, etc.

Daten	✚ Datenbereinigung: Erkennung und Bereinigung von konstanten Werten („Datenhänger“), Ausreißern, etc. ✚ Diverse Eingangsgrößen (abhängig von Verbrauchstyp) für die KI-Modelle in zu prognostizierender zeitlicher Auflösung.
Anwendung/ Methode	Präzise Definition des Vorgehens und Ziels der Methode ✚ Ziel: Prognose des Stromverbrauchs bestimmter Verbraucher auf Basis von historischen Messungen für die nächsten Stunden und Tage. ✚ Methodik: Training von Machine-Learning-Modellen auf historischen Daten und Anwendung dieser Modelle auf Eingangsdaten zur Erzeugung von Prognosen.
Regulatorischer Rahmen	Erstellung von Verträgen, detaillierte Prüfung der Rechtsabteilung ✚ Beachtung der DSGVO, insbesondere in Bezug auf personenbezogene Verbrauchsmesszeitreihen. ✚ Sollte die Durchführung mit Drittanbietern oder Partnern stattfinden, müssen entsprechende Verträge geschlossen werden.

Tabelle 12: Schritt 2 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung für KI-basierte Verbrauchsprognosen.

Schritt 3: Durchführung & Validierung

Allgemein	Ergebnisdarstellung ✚ Die Verbrauchsprognosen liegen in der Regel nach Erstellung als Zeitreihen beispielsweise für die nächsten 96 Viertelstunden vor in einem definierten Format an einer Schnittstelle oder in Form einer Datei vor. ✚ Falls für den Anwender hilfreich kann auch eine grafische Darstellung der Prognosen realisiert werden (s. Option 2, Validierung).
Daten & Anwendung/ Methode	Entwicklung, Training & Optimierung ✚ Für die Prognoseerstellung existieren verschiedene Methoden. In der Regel findet ein Training der Modelle auf historischen Daten statt, das regelmäßig wiederholt wird. Die automatisierte Prognoseerstellung (Prognosen für neue Prognoseobjekte) sowie ein kontinuierliches Training der Modelle werden immer häufiger. ✚ Messwerte als Eingangsgrößen für die Machine-Learning-Modelle erhöhen die Prognosequalität sind jedoch auch mit der höchsten Wahrscheinlichkeit nicht verfügbar. Hier ist es möglich, entweder Ersatzwerte zu bilden oder ein Back-Up-Modell zu verwenden, das keine Messwerte als Eingangsgröße verwendet.

Daten & Anwendung/ Methode	Validierung ✚ Zur Validierung der Prognosegüte gibt es vor allem 2 Optionen: ➤ Option 1: Berechnung von Fehlermaßen (z.B. des quadratischen Fehlers RMSE). Diese Option bieten einen guten Überblick – insbesondere bei einer großen Anzahl an Prognosen ➤ Option 2: Darstellung der Prognosen gegenüber der Messung. Diese Option bietet die Option zur vertieften Analyse der Prognosegüte.
----------------------------	---

Tabelle 13: Schritt 3 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung für KI-basierte Verbrauchsprognosen.

Schritt 4: Inbetriebnahme

Allgemein	Integration in bestehende Systeme und den operativen Betrieb ✚ Für die Inbetriebnahme ist entscheidend, dass ein ausgereiftes Datenmanagement vorhanden ist, das notwendige Daten, insbesondere die historischen Messzeitreihen, in definierten Schnittstellen für die Anwendung bereitstellt.
	Transparenz & Akzeptanz im Unternehmen schaffen ✚ Eine Schulung des Personals ist wichtig, damit diese im Umgang mit Prognosen – in Bezug auf die Erstellung aber auch auf die Verwendung – vertraut sind.
Daten & Anwendung/ Methode	Einführung der Anwendung ✚ Abhängig von verschiedenen Faktoren, z.B. je nach eingesetzten Systemen und Software, können die Herausforderungen bei der Inbetriebnahme je nach Unternehmen stark variieren, sodass hier keine konkreten Angaben erfolgen können.
Regulat. Rahmen	Beachtung des regulatorischen Rahmens ✚ Speziell bei dem Einsatz von KI-Methoden sollten sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen verfolgt und eingehalten werden.

Tabelle 14: Schritt 4 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung für KI-basierte Verbrauchsprognosen.

Schritt 5: Wartung & Weiterentwicklung

Allgemein	Auswertung der Wirkung und des Mehrwerts der Anwendung ✚ Der Vorteil der Verbrauchsprognosen zeigt sich insbesondere im Vergleich zu bisher verwendeten Methoden wie Standardlastprofilen. Der Mehrwert zeigt sich in den Anwendungen, die auf den Verbrauchsprognosen aufbauen, wie z.B. Netzzustandsschätzungen. Hierbei können beispielsweise im Vorhinein erkannte Überlastungen von Betriebsmitteln etc. bewertet werden.
-----------	--

Daten & Anwendung/ Methode	Datendrift identifizieren und reagieren Die Anzahl der vermessenen Verbraucher wird in den nächsten Jahren ständig anwachsen, daher ist die Aufnahme neuer Prognoseobjekte sowie regelmäßiges Nachtraining unerlässlich. Zudem muss die Skalierbarkeit des Systems berücksichtigt werden.
Regulat. Rahmen	Gibt es Änderungen des regulatorischen Rahmens, die Einfluss auf die Anwendung nehmen? Speziell bei dem Einsatz von KI-Methoden sollten sich ändernde rechtliche Rahmenbedingungen verfolgt und eingehalten werden.

Tabelle 15: Schritt 5 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung für KI-basierte Verbrauchsprognosen.

Prognosen für die Erzeugung, den Verbrauch und Leistungsflüsse sind ein wichtiger Baustein für mehr Transparenz im Verteilnetz. Präzise Prognosen bilden zudem die Grundlage für etliche weitere Anwendungen wie beispielsweise die Netzzustandsschätzung (siehe Kapitel 1.2.1). In dem zuvor beschriebenen Use Case konnten auf der Grundlage von Smart Meter Daten Verbrauchsprognosen erstellt werden, die das individuelle Verhalten der Verbraucher deutlich realistischer abbilden als dies durch Standardlastprofile möglich ist. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich eine Veränderung der Standardlastprofile abzeichnet. So kommt es u.a. bereits zu Verschiebungen der Spitzenlasten oder zur Bildung neuer Peaks. Es ist lohnenswert für Netzbetreiber Smart Meter Daten zu nutzen und z.B. die Schritte zur Umsetzung dieses Use Cases zu durchlaufen. In Verbindung mit weiteren Datensätzen, z.B. zu exogenen Einflüssen, können Netzbetreiber schließlich eine Anwendung erhalten, die auch die schwer vorhersagbaren Spitzenlasten besser prognostizieren kann.

1.2.3 Leitfaden für ein KI-basiertes Frühwarnsystem für Störungen in Umspannwerken

Die Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH (MITNETZ STROM) hat als erster Netzbetreiber in Deutschland ein KI-basiertes Frühwarnsystem für Störungen in Umspannwerken entwickelt. Ein Grund für die Entwicklung einer solchen Anwendung waren mehrere schwere Schäden an Umspannwerken, die Kosten in Millionenhöhe zur Folge hatten. Mehrere tausend Kunden waren über Stunden ohne Strom. Vor diesem Hintergrund kam die Frage auf, ob Vorsorgemaßnahmen ergriffen werden können, um schwere Schäden und Versorgungsausfälle in Folge verhindern zu können, beispielsweise durch eine frühzeitige Erkennung.

Für die Anwendung werden verschiedene Daten, u.a. Netzdaten und Betriebsmittelzustände, mit der Fehlerhistorie von Umspannwerken verknüpft, um Hinweise auf eventuell eintretende Störungen zu erhalten. Die Ergebnisse der Analyse werden als Monatsberichte an das Anlagen-Management und den Netzbetrieb gesendet. Werden Komponenten als auffällig gekennzeichnet, kann eine frühzeitige Prüfung und ggf. schnelle Instandsetzung durchgeführt werden. In der folgenden Tabelle werden die einzelnen Schritte des Leitfadens beispielhaft für die Entwicklung des Frühwarnsystems von MITNETZ STROM durchlaufen, um die konkrete Vorgehensweise praxisnah zu beschreiben.

Schritt 1: Entscheidungspfade, Machbarkeitsanalyse und Mehrwert

Allgemein	Mehrwert der Anwendung - Frühzeitige Erkennung von möglichen Schäden an Umspannwerken. - Gezielte bedarfsorientierte Planung und schnelle Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen. - Vermeidung von Schäden an Umspannwerken und daraus resultierenden Versorgungsausfällen. - Kosteneinsparungen!
	Definition von Verantwortlichkeiten im Unternehmen - MITNETZ STROM besitzt eine eigene Abteilung zur Entwicklung von innovativen Anwendungen. An der Entwicklung der Anwendung beteiligt sind das Asset-Management, die IT-Systementwicklung und interne Data Scientists. - Im Rahmen der Entwicklung wurden u.a. die Rollen des Product Owners, Stakeholder (z.B. Bereichsleiter, CEO, Asset Management Kollegen) und Entwickler (Data Scientists), vergeben.
	Bestimmung der Umsetzungsart Das Projekt wird intern bei MITNETZ STROM durchgeführt, bei der Daten-Analyse wird mit der Unternehmensberatung McKinsey zusammengearbeitet.
Daten	Bewertung der zur Verfügung stehenden Daten und Ressourcen MITNETZ STROM verfügt über einen großen Datenschatz und hat eine moderne Dateninfrastruktur aufgebaut, die für Analysen zur Verfügung steht.
	Anforderungen an die Datenerfassung Für die Anwendung sind Netzdaten, Betriebsmitteldaten, Fehlerhistorien und externe Wetterdaten notwendig, die miteinander verknüpft werden müssen.
Anwendung/ Methode	Bewertung der Anforderungen an die Systemverfügbarkeit Eine Systemunterbrechung kann zu einem hohen technischen/ monetären Schaden führen, der „Good Will“ gegenüber Kunden sinkt
Regulatorischer Rahmen	Prüfung der rechtlichen Rahmenbedingungen - Genehmigungen müssen in folgenden Bereichen eingeholt werden: - Datensicherheit (Cloud wird genutzt) - Datenschutz (Personenbeziehbare Informationen) - Betriebsrat zur Information

Tabelle 16: Schritt 1 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung zur KI-basierten Früherkennung von Störungen in Umspannwerken.

Schritt 2: Planung

Allgemein	Ressourcen-, Personal- und Kostenplanung ✚ Personaleinsatz: ca. 10 Personen Vollzeit für 4 Wochen ✚ Personalkosten: Wenn nötig sind externe Ressourcen je nach Consulting zu betrachten. ✚ Sonstige Kosten: Kosten für die Cloud (kommt auf den Use Case an), (https://azure.microsoft.com/de-de/pricing/) ✚ Benötigte Ressourcen: Klein starten, bei Bedarf erhöhen der CPU-Kerne, des RAM, etc., Lizenzen für Tableau/ Power BI, alternativ Open Source Lösungen (R-Shiny, Dash, etc.) ✚ Kosten für externe Daten: ca. 2000€ p.a.
Daten	Datenanforderungen und Datenbereitstellung ✚ Bereitstellung historischer Daten. ✚ In die Analyse einbezogen werden: • Anlagendaten, die Informationen zu Standort, Baujahr und Typ einer Schaltanlage geben • Messdaten für die Spannung und Leistung • Betriebsprotokolle (Schalthandlungen) • Daten zu Wartungs- und Instandhaltungsprozessen • Ereignisdaten • Externe Wetterdaten ✚ Die einzelnen Daten stammen u.a. aus Systemen wie ACOS, GNet und ProNet. ✚ Die Zusammenlegung und Verknüpfung der Daten in einer Datenbank erfolgt als erster Schritt.
Anwendung/ Methode	Präzise Definition des Vorgehens und des Ziels der Methode ✚ Ziel ist es, ein Vorhersagemodell zu entwickeln, das den Zustand der Anlagen voraussagt, um potentiellen Fehlerereignissen vorzubeugen. ✚ Auf Basis der Entwicklung soll nicht mehr ereignisorientiert gehandelt werden, d.h. reagiert werden, wenn eine Störung auftritt, sondern mit Hilfe von analytischen Modellen vorausschauend zu agieren. ✚ Im Rahmen der Entwicklung sollen die Daten der vorhandenen internen Systeme verarbeitet und zu einer Datenbank zusammengeführt werden, die anschließend mit Hilfe eines Explorationswerkzeug visualisiert werden können.

Tabelle 17: Schritt 2 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung zur KI-basierten Früherkennung von Störungen in Umspannwerken.

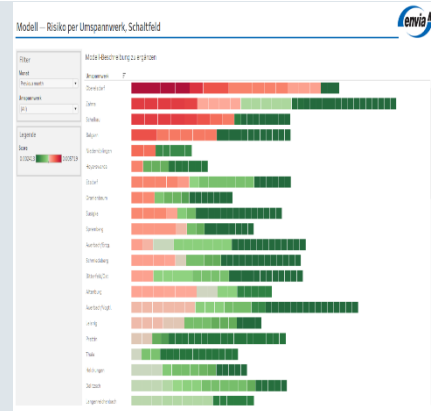
Schritt 3: Durchführung & Validierung

Validierung

- Für die Validierung ist das Asset Management in Form des Forensik Tools (Tableau Dashboard) zuständig.

Ergebnisdarstellung

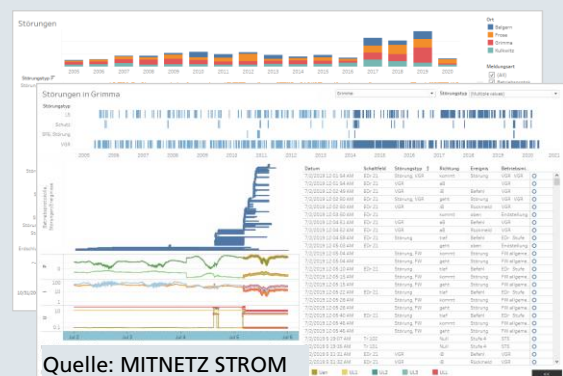
- Ein Dashboard mit Risikoübersicht sowie automatisch generierte E-Mails, in der die riskantesten Schaltfelder und die riskantesten Umspannwerke aufgeschlüsselt werden.
- Ein Link in der E-Mail führt zu einem Analysetool, das die Risikoauflösung zeigt und die Analyse und Maßnahmenableitung ermöglicht.



Quelle: MITNETZ STROM

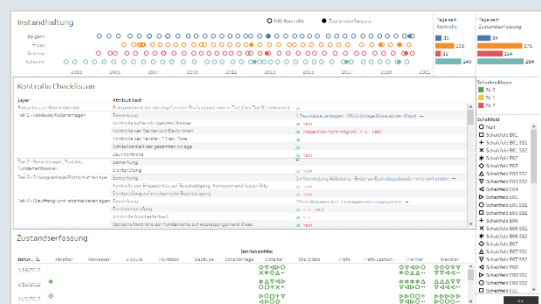
- Mithilfe des Analysetools können die Daten zusätzlich visualisiert werden:

- **Zeitreihenanalyse für Störungsforensik:** Integrierte Darstellung der Messwerte sowie aller relevanten Datenquellen rund um ein ausgewähltes Ereignis für die Analysen. Manuelle Extraktion und Filterung werden hierdurch ersetzt.



Quelle: MITNETZ STROM

- **Kontroll-Protokolle und Zustandserfassungen zur Planung von Instandhaltungsmaßnahmen:** Interaktiver Abruf zeitlicher Abfolgen und der Protokolle bisheriger Maßnahmen im gleichen Werkzeug.



Quelle: MITNETZ STROM

Allgemein

- **Asset Management mit grafischen Filtermethoden:** Übersicht des Störungsrisikos auf Basis des integrierten analytischen Modells sowie Auswahl des Umspannwerks und der Schaltfelder anhand grafischer Übersichtskarten zum Einblick in die letzten Störungen.

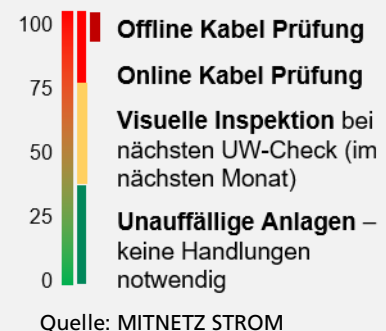


Quelle: MITNETZ STROM

Daten & Anwendung/ Methode

Entwicklung, Training & Optimierung

1. **Daten:** Nach der Datenverknüpfung erfolgt eine Datenbereinigung und Modellentwicklung auf Abgangsebene und monatsscharf.
2. **Modell:** Das entwickelte Modell soll Muster zu Ereignissen in den Daten finden. Es erfolgt ein Anlernen der Muster zwischen der Datenbasis und den historischen Schäden. Anschließend die Extrahierung der Erkenntnisse und das Validieren von technischen Hintergründen in den gefundenen Beziehungen.
3. **Anwendung:** auf der Grundlage der Ergebnisse des Modells werden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Auf Basis des Risikowertes wird die passende Handlung abgeleitet und beauftragt.



Validierung

- ✚ Expertenwissen des Fachbereichs, Methodische Validierung (AUC/ROC/Var Imp/ SHAP/ etc.).

Tabelle 18: Schritt 3 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung zur KI-basierten Früherkennung von Störungen in Umspannwerken.

Schritt 4: Inbetriebnahme

Allgemein

Integration in bestehende Systeme und den operativen Betrieb

- ✚ Das Modell generiert eine Bewertung für alle in Betrieb befindlichen SF6 Schaltfelder.
- ✚ Es ist frei wählbar für welchen Zeitraum in der Zukunft das Modell Störungen vorhersagen soll – je zeitnaher, desto genauer → Das System schaut 1 Jahr nach vorn. Es ist davon abzuraten, diesen Zeitraum zu ändern/ verkürzen (im Zweifel nicht genug Signal in den Daten)

Allgemein

- Aktuell läuft die Risikokalkulation Anfang des Monats, d.h. 7 Tage vor Monatsbeginn wird das Modell ausgeführt und Risikoinformationen extrahiert.
- Der Fachbereich nutzt neben dem Forensik Tool ebenfalls eine interne Reporting Lösung, in der die Ergebnisse bereitgestellt werden (niedrigschwellige Bereitstellung der Daten).

Tabelle 19: Schritt 4 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung zur KI-basierten Früherkennung von Störungen in Umspannwerken.

Schritt 5: Wartung & Weiterentwicklung

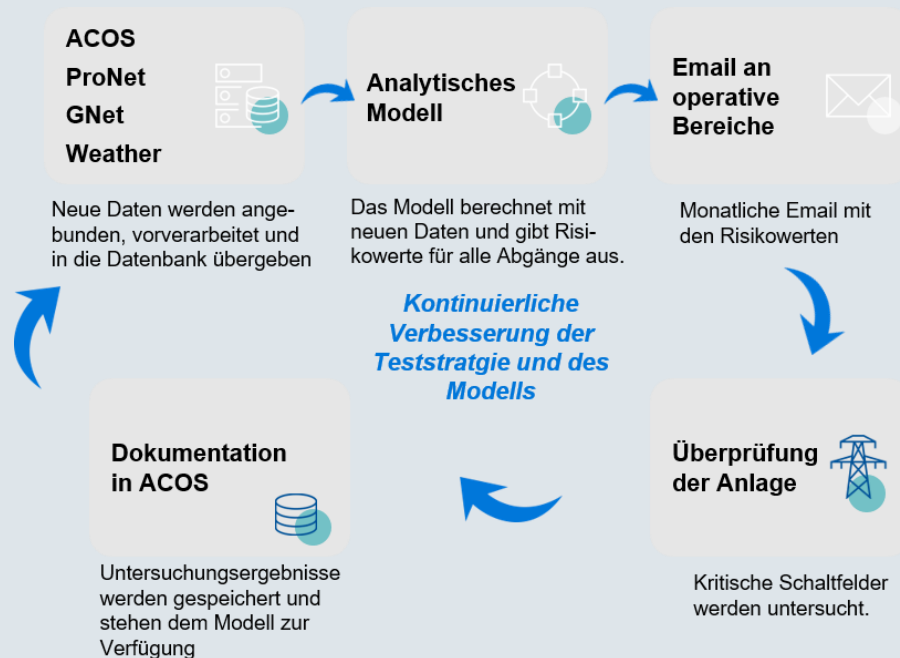
Allgemein

Auswertung der Wirkung und des Mehrwerts der Anwendung

- Das Modell ist sehr vorausschauend und erhöht die Transparenz bei riskanten Vermögenswerten deutlich.
- Das Explorationswerkzeug kann die Bearbeitungsdauer relevanter Anwendungsfälle erheblich reduzieren. → Ermöglicht neue Use Cases, wenn den Kollegen etwas auffällt.

Kontinuierliche Überprüfung und Weiterentwicklung

- Es muss eine kontinuierliche Weiterentwicklung des analytischen Modells durch Etablierung eines Prozesses erfolgen. → Hier werden Metriken aus dem PdM Model genutzt. In dem Moment, in dem sich die AUC verringert, wird eine Neumodellierung empfohlen.
- Die Weiterentwicklung des analytischen Modells erfolgt in Form einer kontinuierlichen Rückkopplungsschleife:



Quelle: MITNETZ STROM

Tabelle 20: Schritt 5 des Implementierungsleitfadens am Beispiel der Anwendung zur KI-basierten Früherkennung von Störungen in Umspannwerken.

Das von MITNETZ STROM entwickelte Frühwarnsystem ist in der Lage mögliche Störungen an Schaltanlagen in den fast 200 Umspannwerken des Unternehmens zu erkennen. Die Anwendung befindet sich bereits in einer erfolgreichen Produktionsphase. Nächste Schritte sind die Umsetzung im Betrieb sowie die Nutzung des Explorationswerkzeugs bei der Risikobewertung im Assetmanagement. Für die ersten sechs Monate sind Online- und Offline-Prüfungen für alle Hochrisiko-Schaltfelder vorgesehen. Die Ergebnisse dieser Tests sollen anschließend ausgewertet werden und ein zukünftiger Testansatz definiert werden.

Impressum

Herausgeber

Fraunhofer IEE
Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und
Energiesystemtechnik

Joseph-Beuys-Straße 8
34117 Kassel

www.iee.fraunhofer.de

Autorinnen und Autoren:

Kristina Jurczyk
Dr. Sebastian Wende-von Berg
Dr. Kurt Brendlinger

Bildnachweis:

ktsdesign | stock.adobe.com

Stand:

August/2022