

KI-basierte Kurzschlussstromberechnung und KI-basierte Zentrale Kurzschlussortung

Vorstellung eines KI-Demonstrators

Prof. Dr.-Ing. Michael Igel
Hochschule für Technik und Wirtschaft
des Saarlandes, htw saar

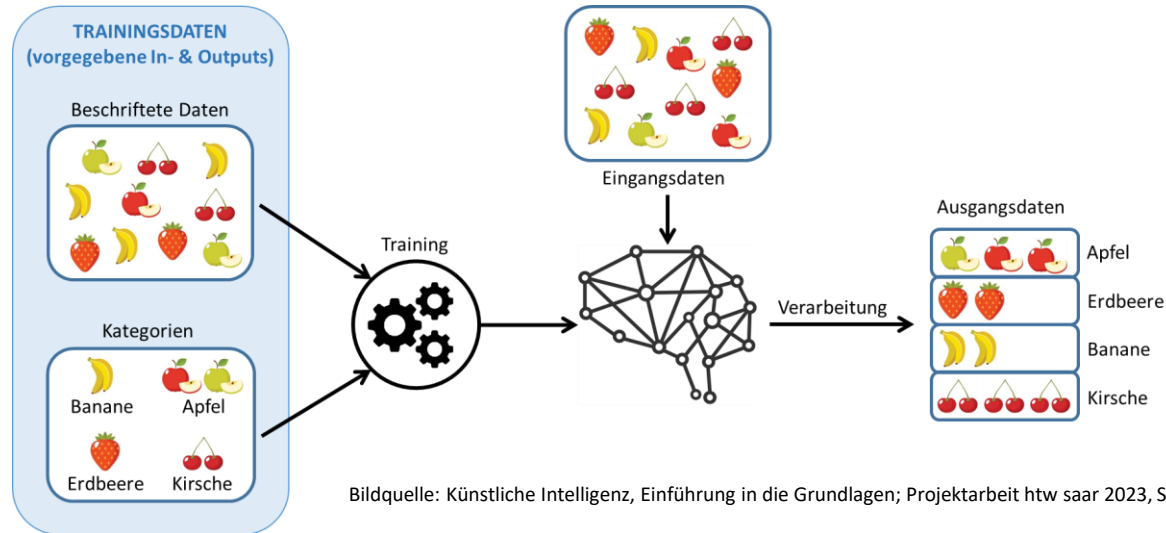
Andreas Winter
VSE Verteilnetz GmbH
Leipzig, 05.03.2024

Was ist Künstliche Intelligenz ?

„Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Teilgebiet der Informatik. Sie imitiert menschliche kognitive Fähigkeiten, indem sie Informationen aus Eingabedaten erkennt und sortiert.“ <https://www.iks.fraunhofer.de/de/themen/kuenstliche-intelligenz.html>

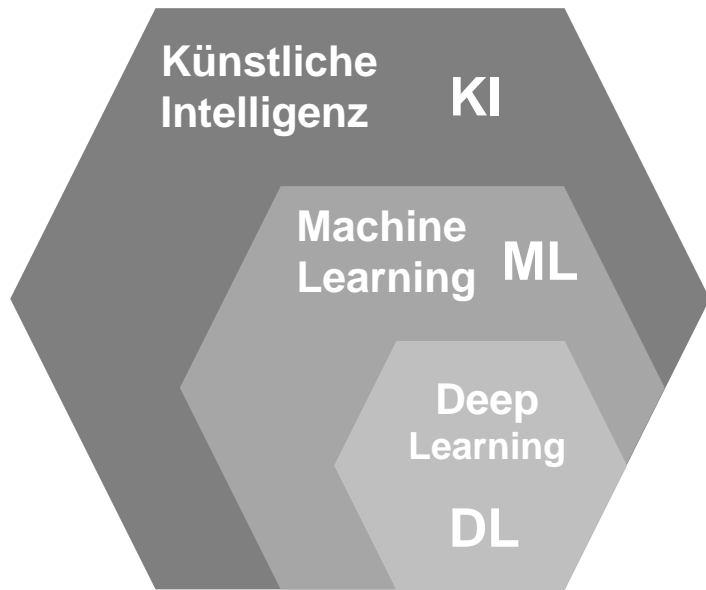
Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS

Ein Beispiel



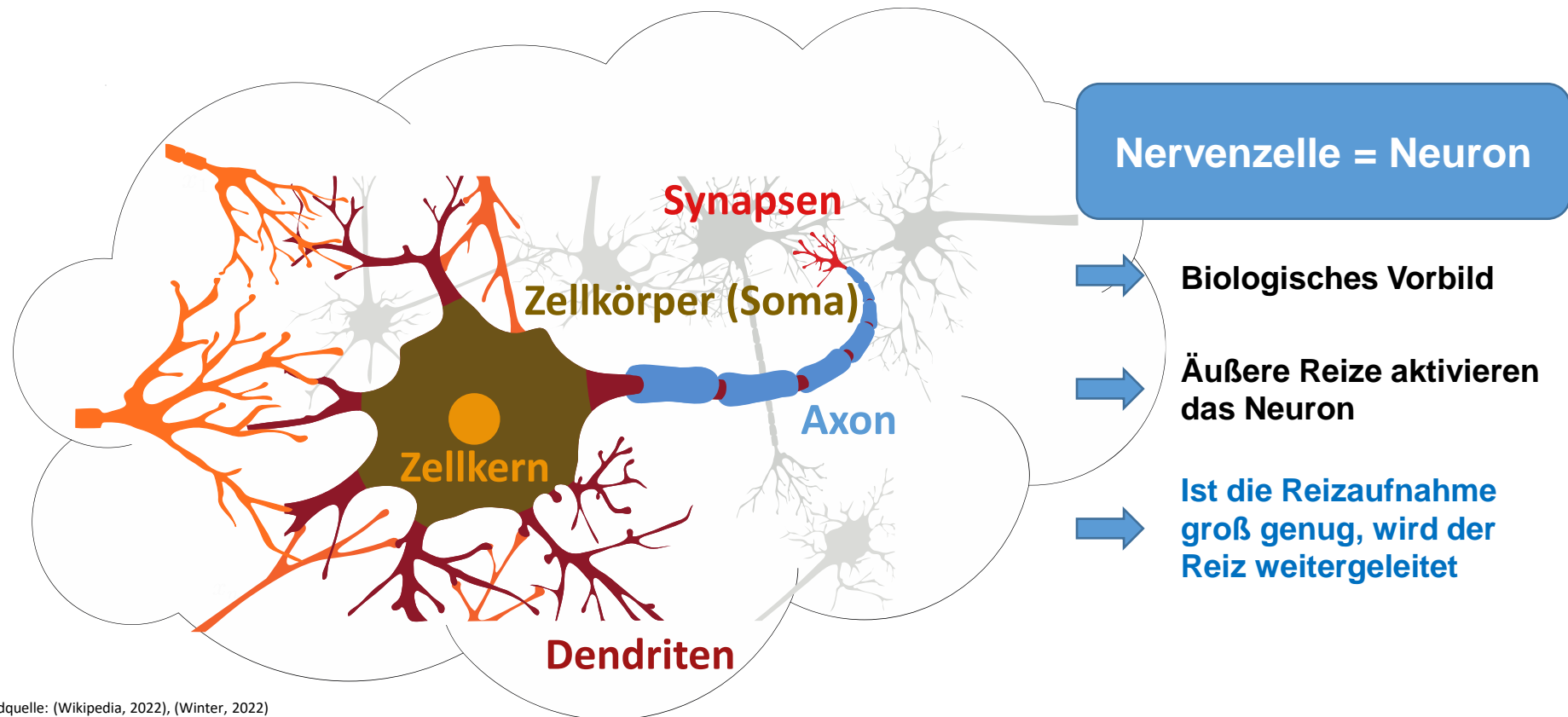
Bildquelle: Künstliche Intelligenz, Einführung in die Grundlagen; Projektarbeit htw saar 2023, Sonja Hauer, M.Sc.

Was ist Künstliche Intelligenz ?

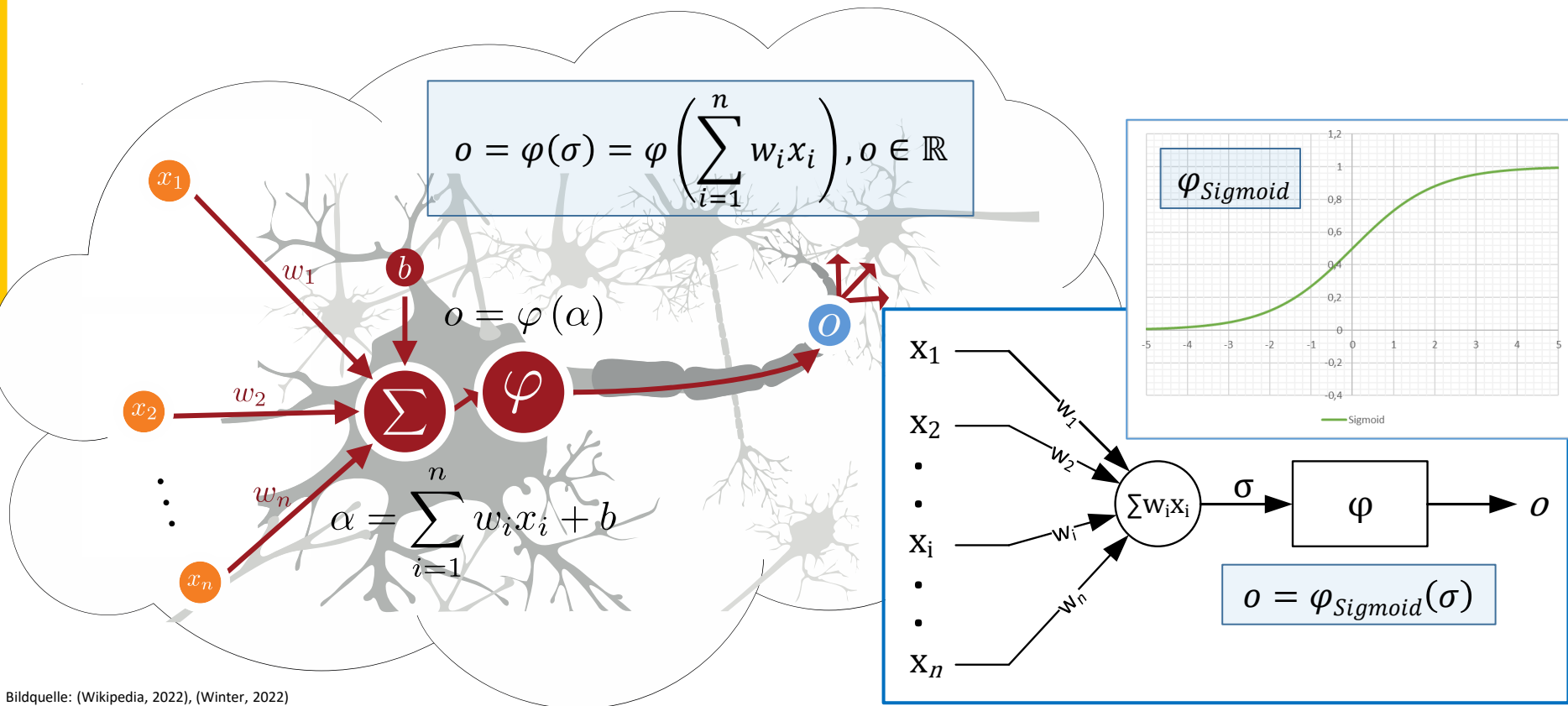


- Die **KI** ist ein **Teilgebiet der Informatik** und verfolgt das Ziel bestimmte **intelligente Entscheidungsstrukturen von Menschen automatisiert nachzubilden**.
- **Machine Learning** ist ein Oberbegriff für die **maschinelle Generierung von Wissen** aus bereits vorliegenden Daten und Erfahrungen.
- **Deep Learning** ist eine Methode des **Machine Learning**, die an der **Funktionsweise des menschlichen Gehirns** inspiriert ist.

Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

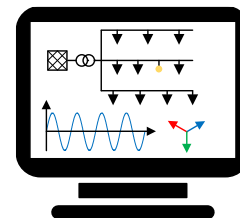
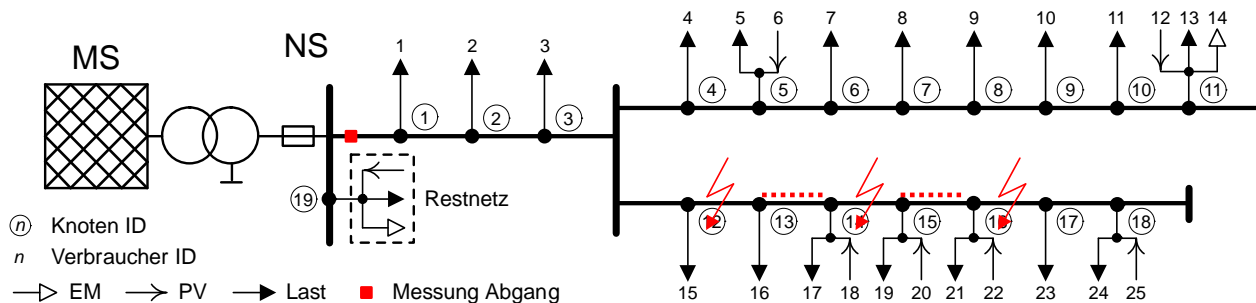


Grundlagen der Künstlichen Intelligenz

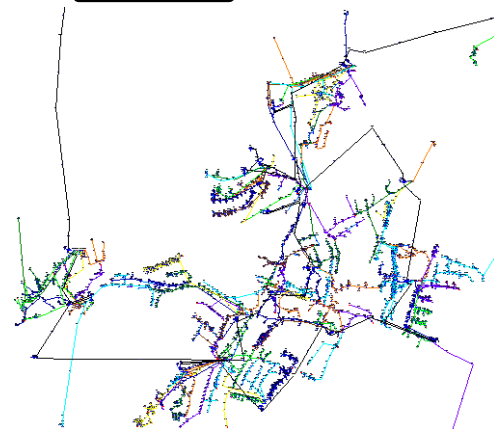


Vorbereitung : Trainingsdaten des KI-Systems

→ Generierung Falldaten



Stromnetz-
berechnung



SimBench
www.simbench.de

Falldaten = Grundlage für das Training des KI-Systems

- Kurzschlussstrom-Berechnungen mit variablen Kurzschluss-Szenarien
 - Variation des Fehlerortes **FO** = je Leitung in 0,1%-Schritten
 - Variation der Fehlerart **FA** = 3p, 2p, 2pE, 1pE
 - Variation des Fehlerübergangswiderstandes **RF** = 0..5Ω, ΔR=0,5 Ω

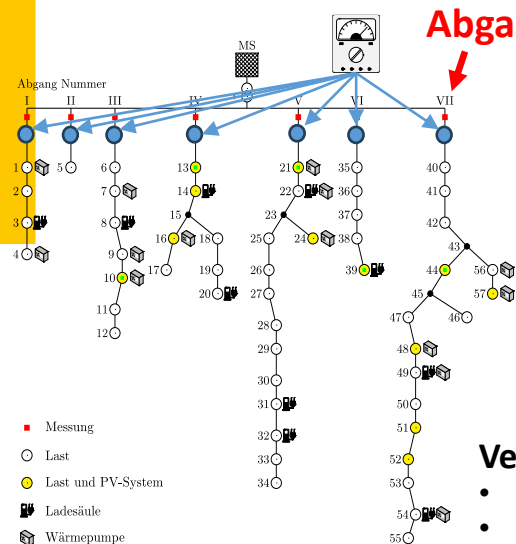


Beispiel: 3 Leitungen · (1000 **FO**) · 4 **FA** · 10 **RF** = 120.000 **KS-Berechnungen**

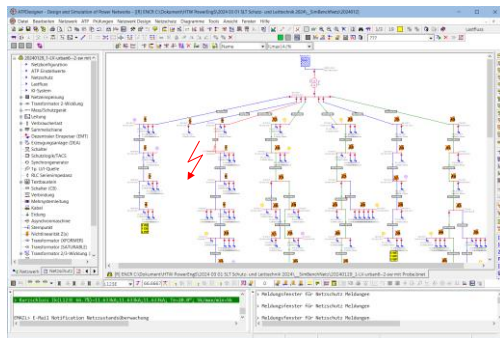
Datenpipeline : Trainingsdaten des KI-Systems

Netzberechnungsprogramm ATPDesigner
Synthetische KS-Berechnung

Automatisierte Kurzschluss-Berechnung,
Kurzschluss-Analyse, Netzschutz-Analyse

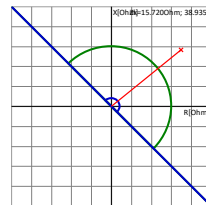


Abgang 7

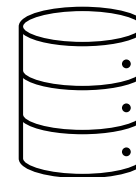


Verteilnetz $U_n = 400V$

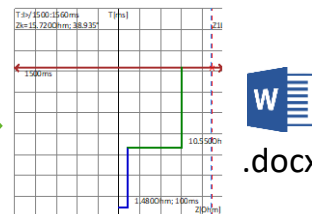
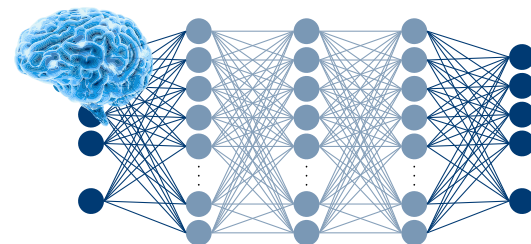
- 9 E-Mobile
- 57 Verbraucherlasten
- 12 PV-Systeme
- 13 Wärmepumpen
- **60 Leitungen**, $\Sigma=1,1km$, $\varnothing = 19 m$



SQL-Datenbank
KS-Szenarien

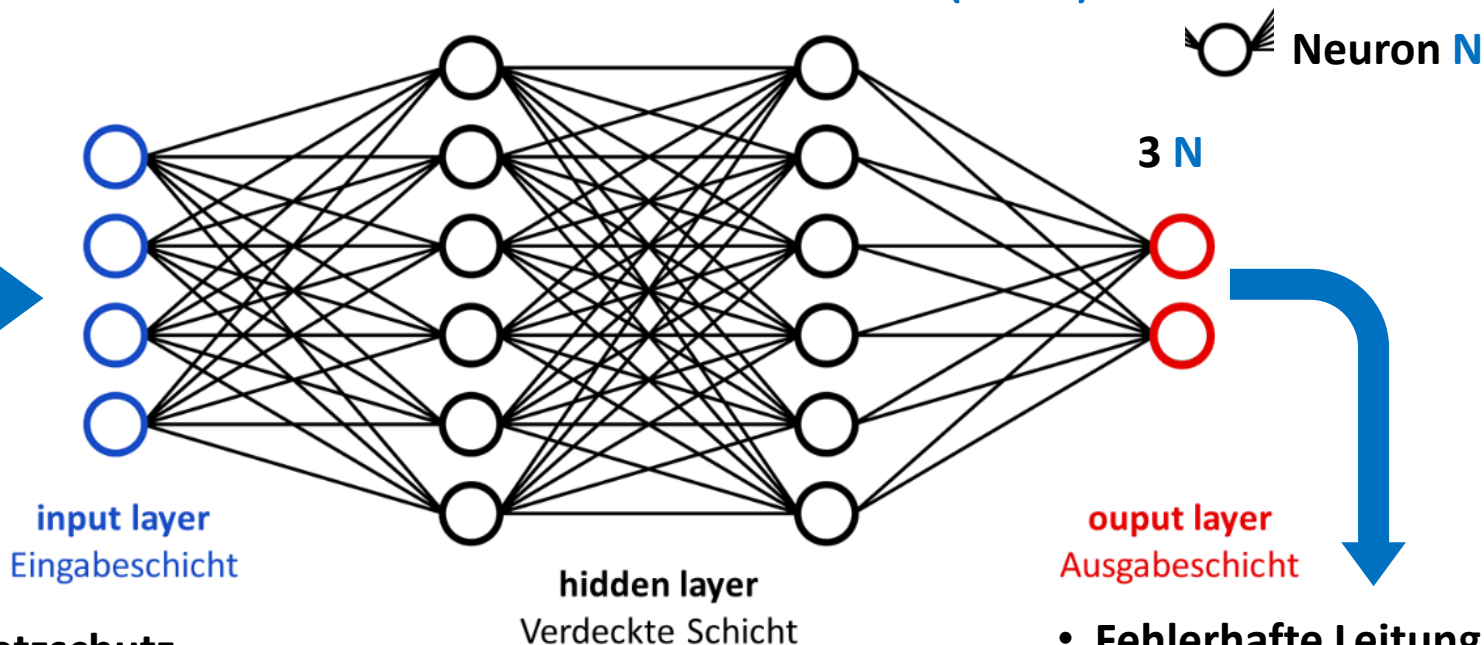


Training KI-System



Design der KI-Modelle

→ Struktur eines Künstlich Neuronales Netzes (KNN)



Messgrößen Netzschutz

- $\underline{U}_{L1}, \underline{U}_{L2}, \underline{U}_{L3}$
- $\underline{I}_{L1}, \underline{I}_{L2}, \underline{I}_{L3}$

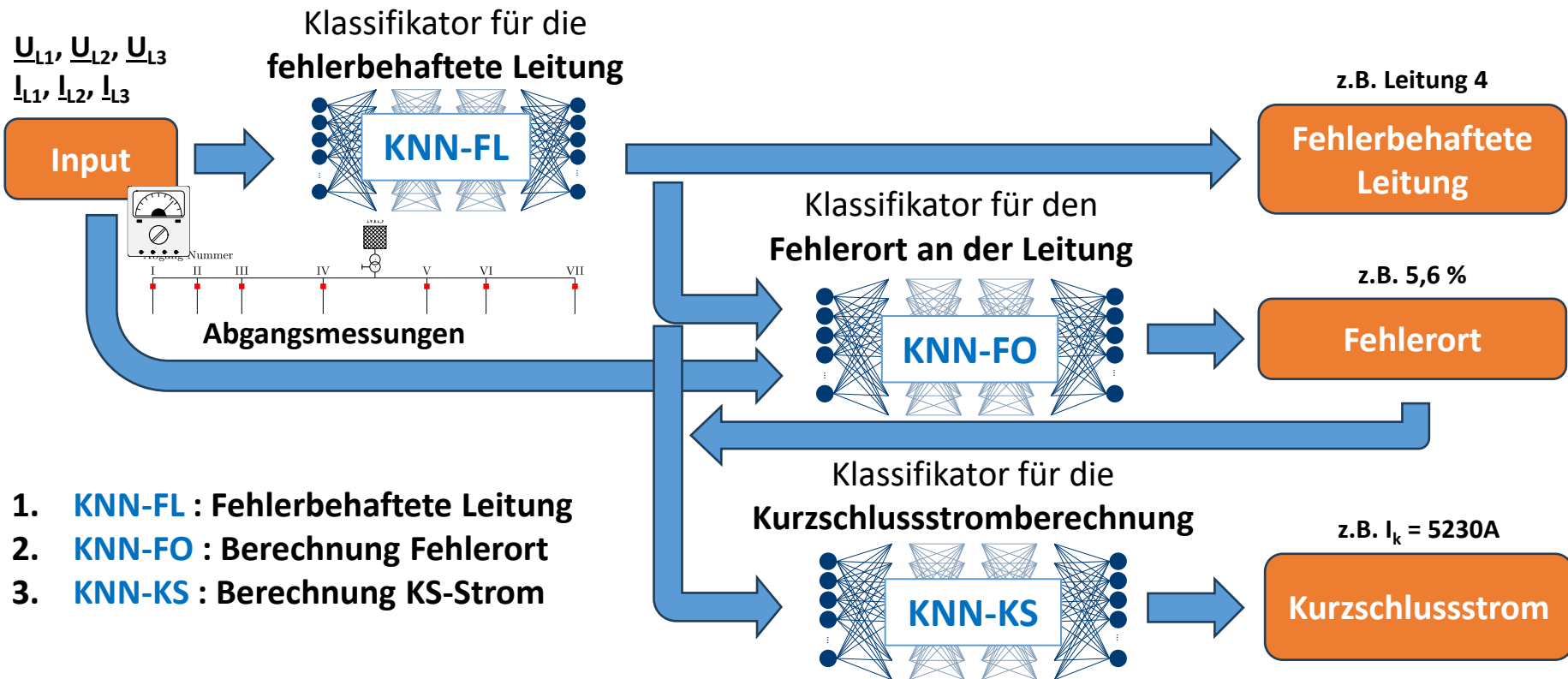
12 N

$$m_{\text{hidden}} = \frac{2}{3} m_{\text{in}} + m_{\text{out}} \quad 11 \text{ N}$$

- Fehlerhafte Leitung **FL**
- Fehlerort **FO**
- Kurzschlussstrom **KS**

Design der KI-Modelle

→ 3 Künstliche Neuronale Netze: **KNN-FL**, **KNN-FO**, **KNN-KS**



1. **KNN-FL** : Fehlerbehaftete Leitung
2. **KNN-FO** : Berechnung Fehlerort
3. **KNN-KS** : Berechnung KS-Strom

Training der KI-Systeme : Preprocessing

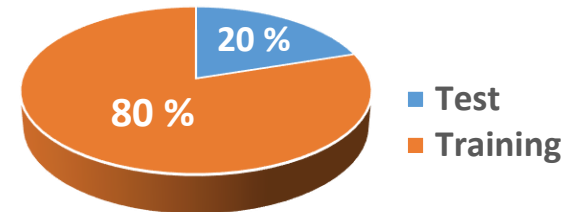
→ Falldaten zum Training KNN-KS, KNN-FL, KNN-FO

- Aufbereitung der **KS-Szenarien** aus der **SQL-Datenbank** für Trainingsalgorithmus → **Trainingsdaten**
- Beispiel: **Aufbereitung für Leitungen**
 - Bezeichner der **fehlerbehafteten Leitung** ist als **Label** verfügbar
 - Bezeichner wird als binäre Zahl codiert → **1 Bit = 1 Neuron (N)**
- **Anzahl der Output Neuronen in KNN-FL = 2^N** , N = Anzahl Leitungen im Stromnetz

Fehlerbetroffene Leitung : Binäre Codierung

N6	N5	N4	N3	N2	N1	Label
0	0	0	0	0	1	Ltg. 1
0	0	0	0	1	0	Ltg. 2
0	0	0	0	1	1	Ltg. 3
0	0	0	1	0	0	Ltg. 4
...

- Aufteilung der KS-Szenarien in 80% **Trainingsdaten** und 20% **Testdaten**:



- Alle weiteren Features werden mit **Min-Max-Skalierung** normalisiert:

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

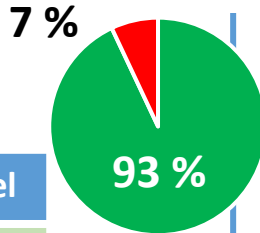
KI-basierte Kurzschlussortung

offline

→ Validierung der KNN mit 20% Testdaten (Soll) im Labor

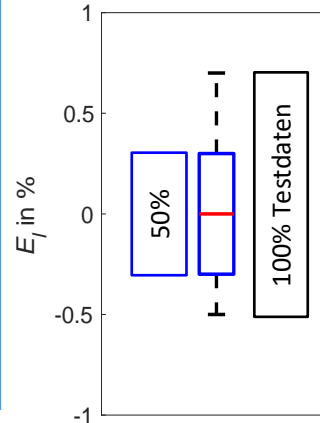
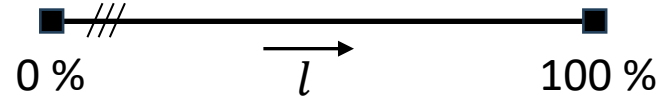
KNN-FL : Leitung

N6	N5	N4	N3	N2	N1	Label
0	0	0	0	0	1	Ltg. 1
0	0	0	0	1	0	Ltg. 2
0	0	0	0	1	1	Ltg. 3
0	1	0	1	0	0	Ltg. 4
...



- **93 %** der mit den Testdaten durchgeführten Klassifikationen sind **erfolgreich**.
- **7 %** der Klassifikationen sind **nicht erfolgreich**.

KNN-FO : Fehlerort



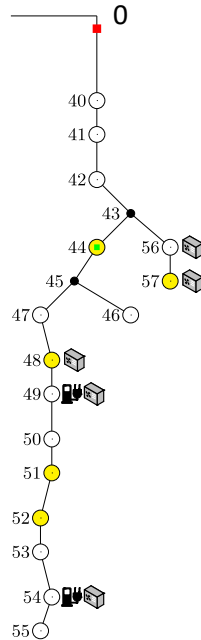
Absoluter Fehler:

$$E_l = l_{KNN} - l_{Soll}$$

$$E_l < 0,7 \%$$

$$E_l > -0,5 \%$$

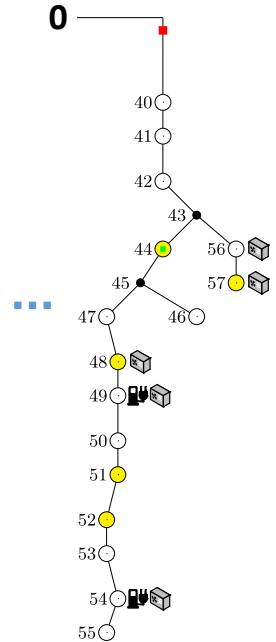
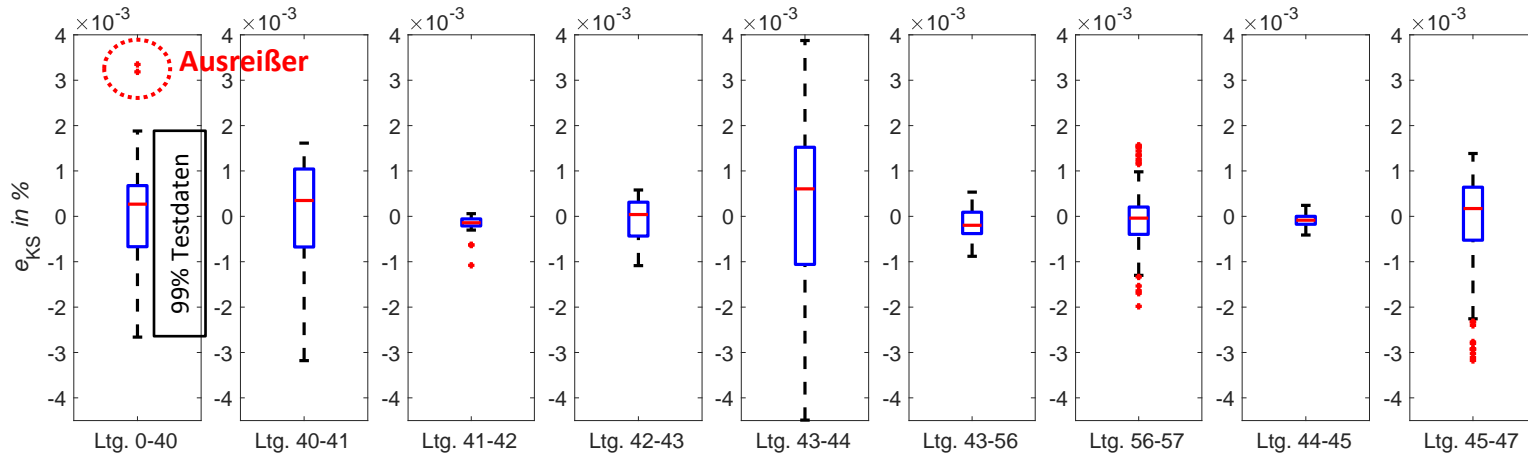
Abgang 7



KI-basierte KS-Stromberechnung

→ Validierung der KNN mit 20% Testdaten (Soll) im Labor

offline



$$e_{KS} = \frac{I_{KS\ KNN} - I_{KS\ Soll}}{I_{KS\ Soll}}$$



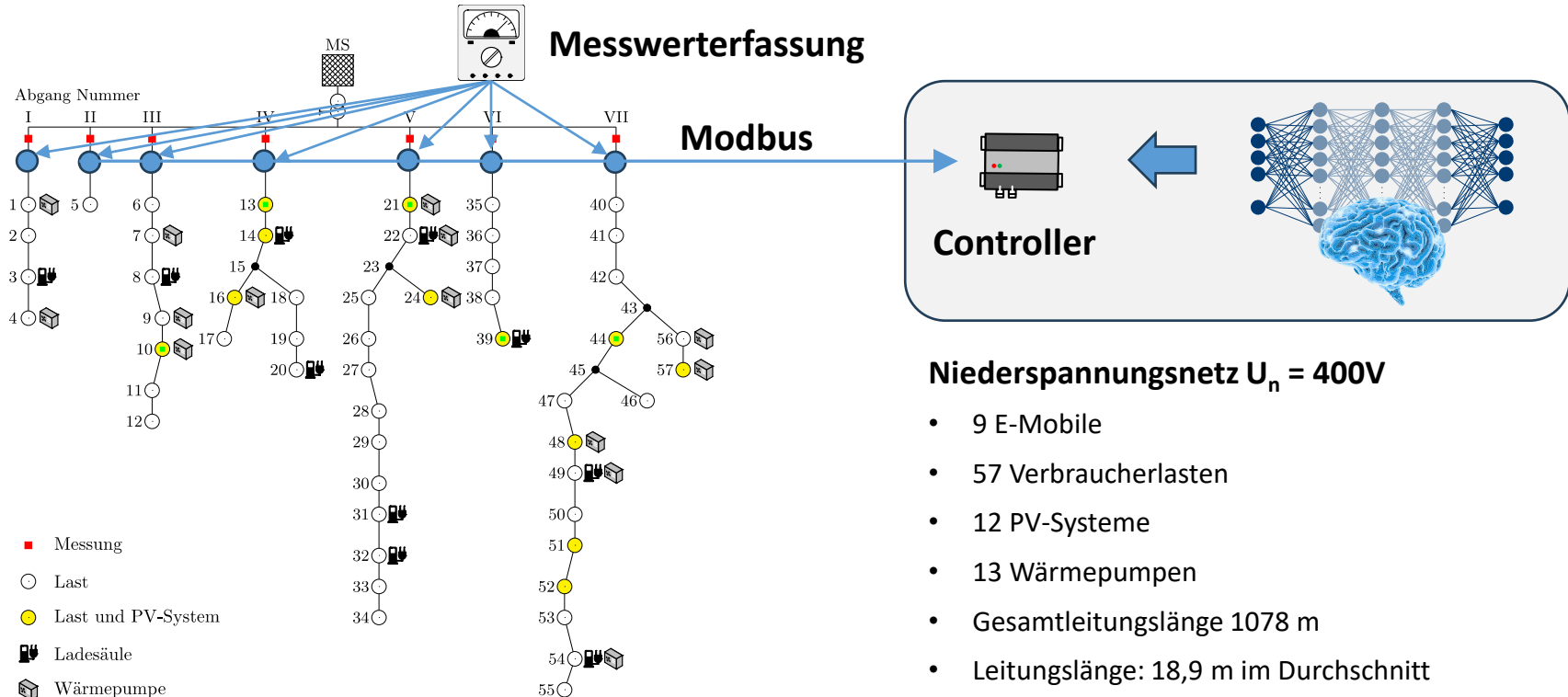
Berechnung der Kurzschlussströme
mit einer hohen Genauigkeit

$$e_{KS} < 5\%$$

KNN-KS : Kurzschlussstrom I_k

SimBench Referenznetz

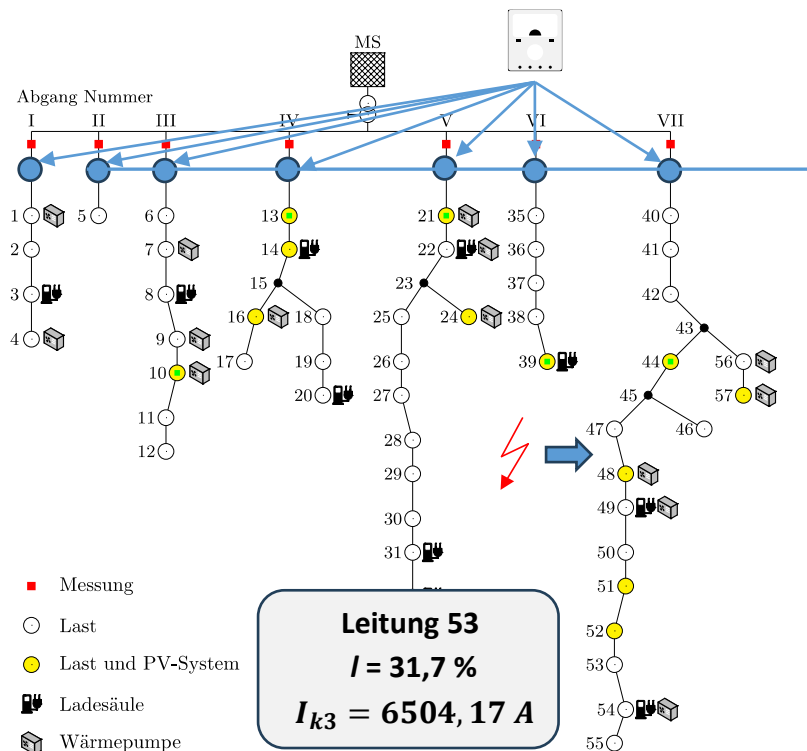
→ Einsatz des KI-Systems im Netzbetrieb



KI-basierte Zentrale Kurzschlussortung

online

→ Einsatz des KI-Systems im Netzbetrieb



KNN-FL : Leitung

1,0000 ; 0,9998 ; -0,0022 ; 0,9223 ; 0,0784 ; 1,0006
1 1 0 1 0 1 → **Leitung 53**

KNN-FO : Fehlerort

31,582 %

KNN-KS : Kurzschlussstrom I_k

$I_{k3} = 6505,53 A$

Plattform für KNN-FL, KNN-FO, KNN-KS

→ Basis für Labor und Netzbetrieb

Beispiel eines Controllers für die Messwertanalyse und Ausführung der KNN-Modelle



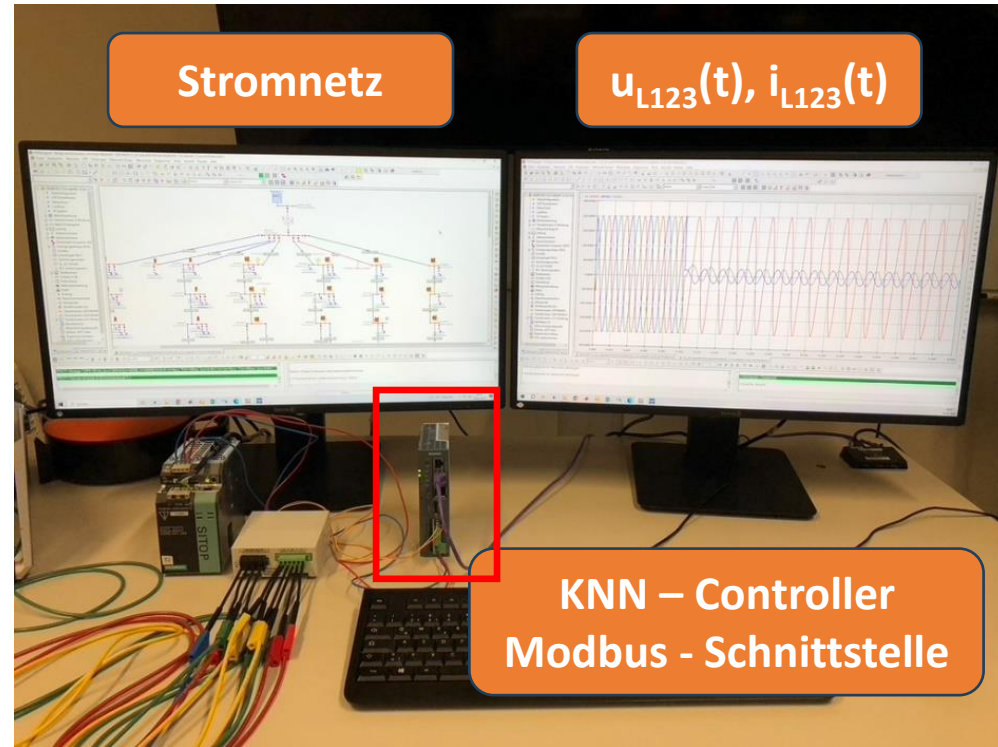
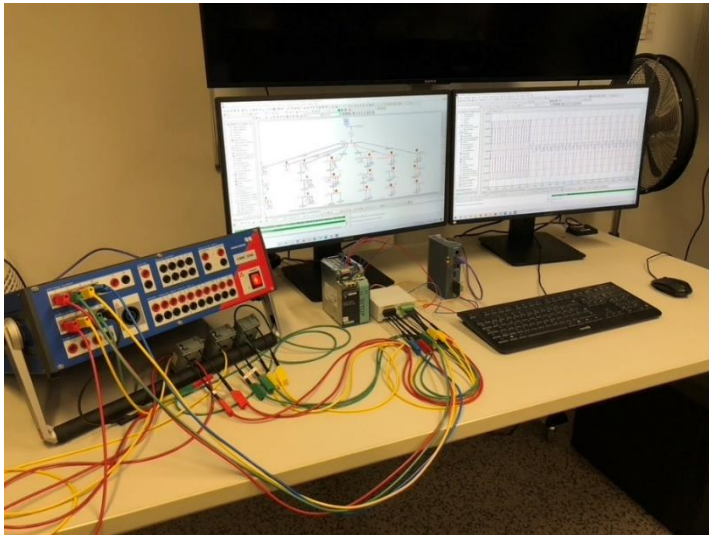
Siemens IOT2050

- Hohe Robustheit – Anwendung im industriellen Bereich
- Kompakte Bauweise
- Externe RS232/RS422/RS485-, Ethernet-, DP- und USB-Schnittstellen
- Interne Schnittstellen für Arduino Shield und Mini PCIe-Karte für Funkkarten
- Frei programmierbare Schnittstellen
- **Anbindung an Firmennetzwerke, z.B. über LTE möglich**
- Wartungsfrei

Typprüfung der KNN-Software

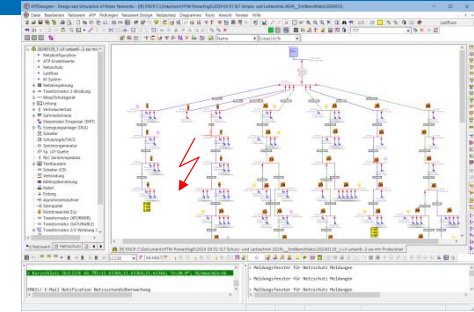
→ Typprüfung des KI-Systems im Labor

Berechnung dynamischer Netzvorgänge
 $u_{L123}(t)$ und $i_{L123}(t)$ erforderlich



Typprüfung der KNN-Software

→ Typprüfung des KI-Systems im Labor



Stromnetz mit Netzberechnung

Netzberechnungssoftware
ATPDesigner

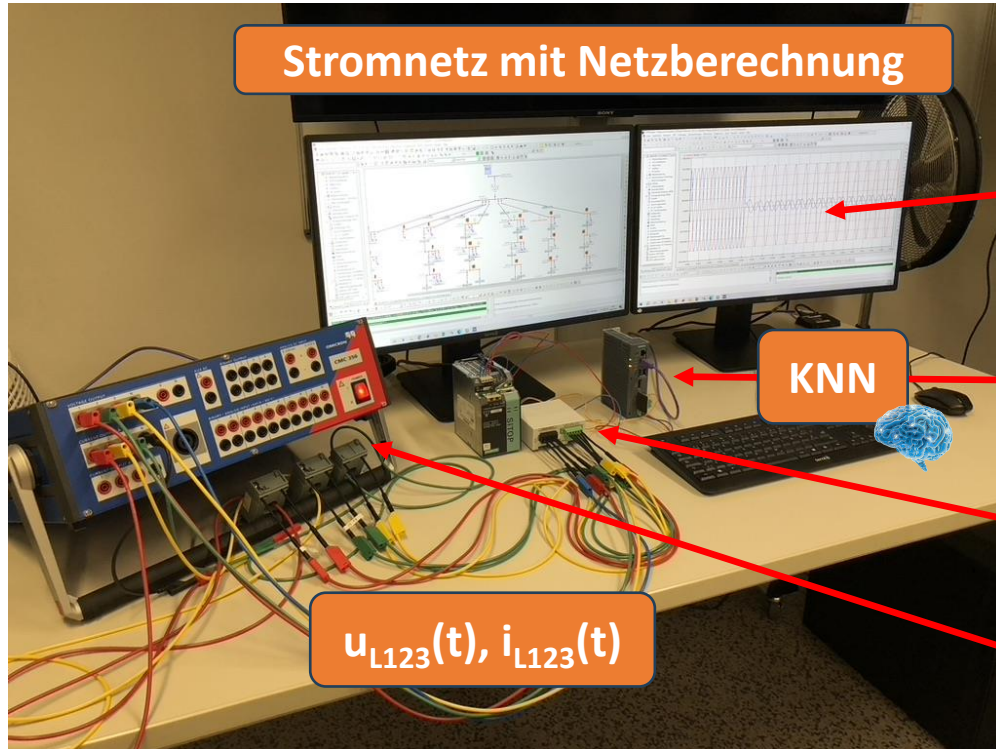
KNN

Controller mit KNN-KS,
KNN-FL und KNN-FO

Messwerterfassungsmodul

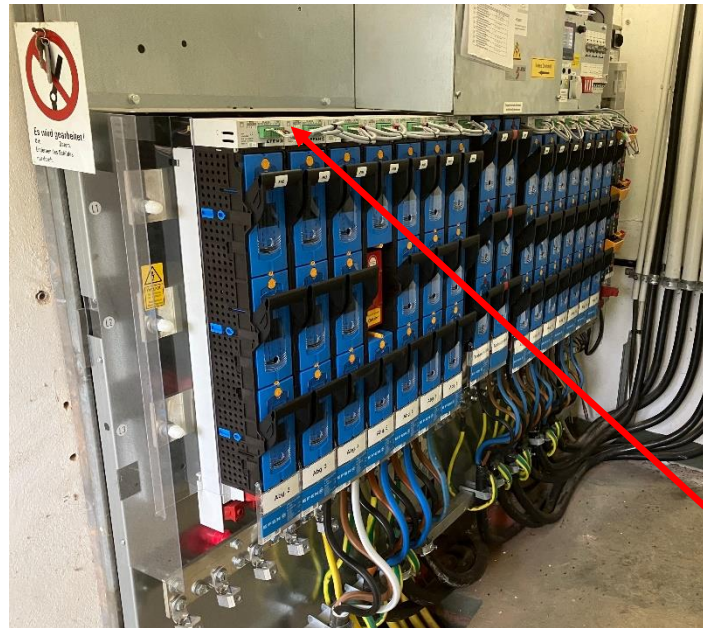
$u_{L123}(t), i_{L123}(t)$

Sekundärprüfeinrichtung



Aus dem Labor in den Netzbetrieb

→ KI-System im Feldtest in einem Niederspannungsnetz

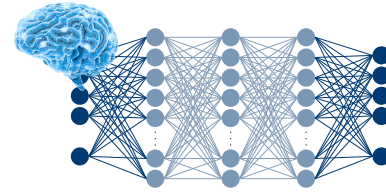


Messwerverfassungsmodul

Controller mit KI-System für Netzmonitoring : Erweiterung für Zentrale KS-Ortung in Arbeit

KI-basierte Zentrale Kurzschlussortung

→ Zusammenfassung



- KI-System verwendet 3 Künstliche Neuronale Netze **KNN-FL,-FO,-KS**
- **KNN-FL,-FO,-KS** werden mit (sehr vielen) synthetischen KS-Berechnungen trainiert
 - 80% / 20% KS-Berechnungen für Training / Validierung
 - **Quantitative Kennwerte für Genauigkeit** vorhanden
- Fähigkeiten der KI-Systeme sind nur durch die Trainingsdaten begrenzt
→ **Erweiterung der Fähigkeiten** mit neuen Trainingsdaten möglich
- Trainierte **Software der KI-Systeme ist unveränderlich** wie für Schutzgeräte
- **Typprüfung des KI-Systems** im Labor mit Standard-Testsystemen wie für Schutzgeräte
- Kostengünstige Plattformen für KI-System mit 3 KNN **KNN-FL,-FO,-KS** vorhanden
- Zentrale KS-Ortung verwendet nur Messwerte aus der Ortsnetzstation

➔ **KI-Systeme werden in Zukunft klassischen Netzschutz (besser) ersetzen**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ihre Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Michael Igel

Institutsleiter

Hochschule für Technik und
Wirtschaft des Saarlandes

michael.igel@htwsaar.de

Andreas Winter

Referent Asset Management

VSE Verteilnetz GmbH

andreas.winter@vse-verteilnetz.de

Referenzen

- Wikipedia: Complete neuron cell diagramm de.svg, [online]
https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Complete_neuron_cell_diagram_de.svg [abgerufen am 12.02.2022].
- A. Winter, B. Brandherm, M. Igel, P. Schegner, „Klassische Stromnetzrechnung in Kombination mit künstlicher Intelligenz zur Analyse und Diagnose von Stromverteilnetzen“, in Tutorial Schutz- und Leittechnik: Online Preview 2022, Berlin, 2022.