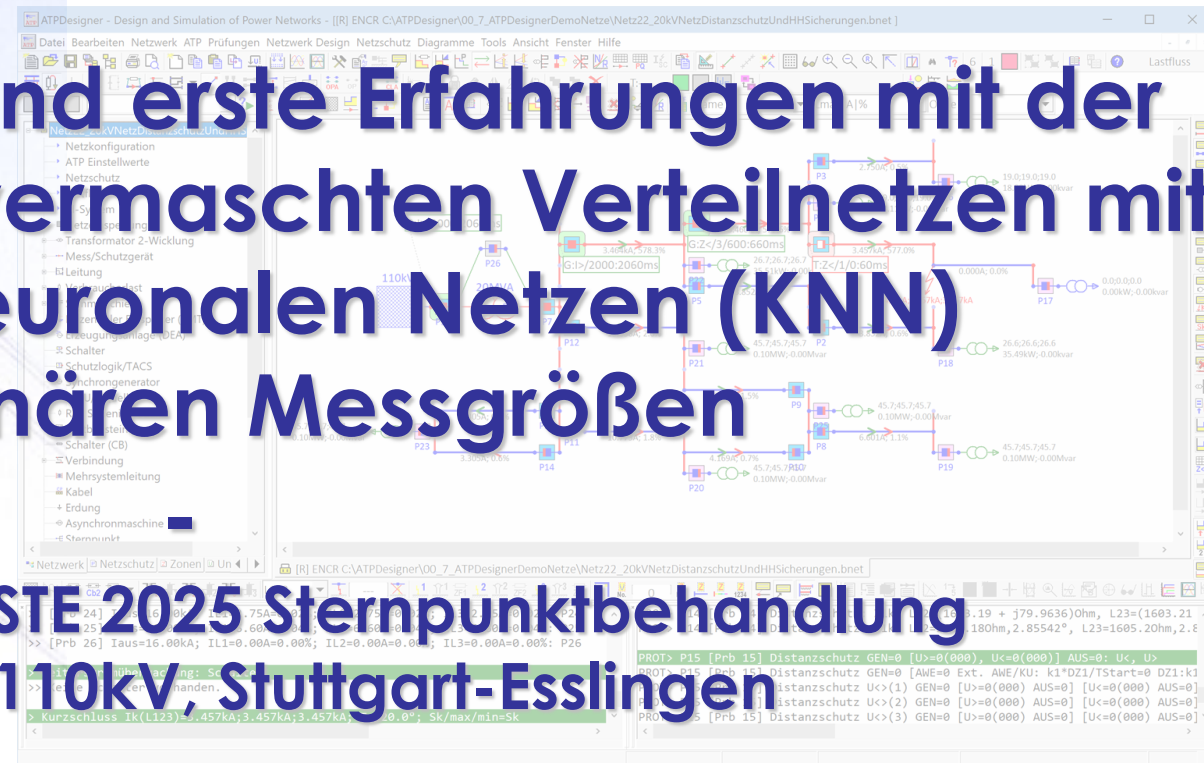


# Konzept, Prototyp und erste Erfahrungen mit der Erdschlusssortung in vermaschten Verteilnetzen mit Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) mit stationären Messgrößen

## 8. ETG Fachtagung STE 2025 Sternpunktbehandlung in Netzen bis 110kV, Stuttgart-Esslingen



Prof. Dr.-Ing. Michael Igel, Institut für elektrische Energiesysteme, htw saar

Dr.-Ing. Andreas Winter, energis-Netzgesellschaft mbH

## „KI markiert eine Epochenwende

*Die Anwendungsmöglichkeiten der KI sind nahezu unbegrenzt. Überall dort, wo große Datenmengen verarbeitet werden, kann KI zum Einsatz kommen und einen enormen Nutzen bringen. Die technologische Tragweite der KI hat epochalen Charakter.“*

Quelle: Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt <https://ki.thws.de/thematik/anwendungsbereiche-der-ki>

➔ **Anforderung:** Zahlen sollen mit einer „Maschine“ multipliziert werden

## Mathematisch-algorithmische Lösung

- Die Lösung wird durch Mathematik beschrieben.

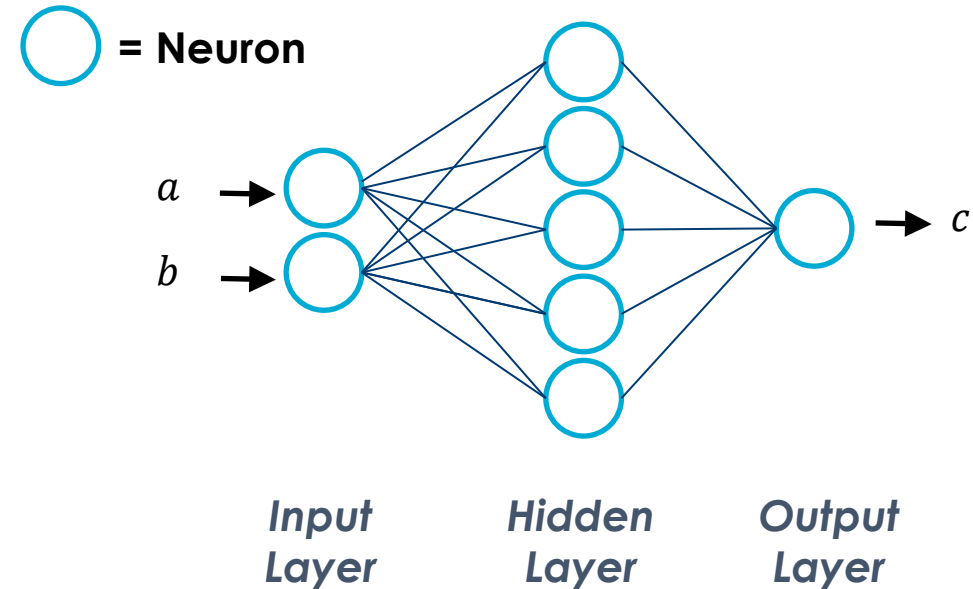
$$c = a \cdot b$$

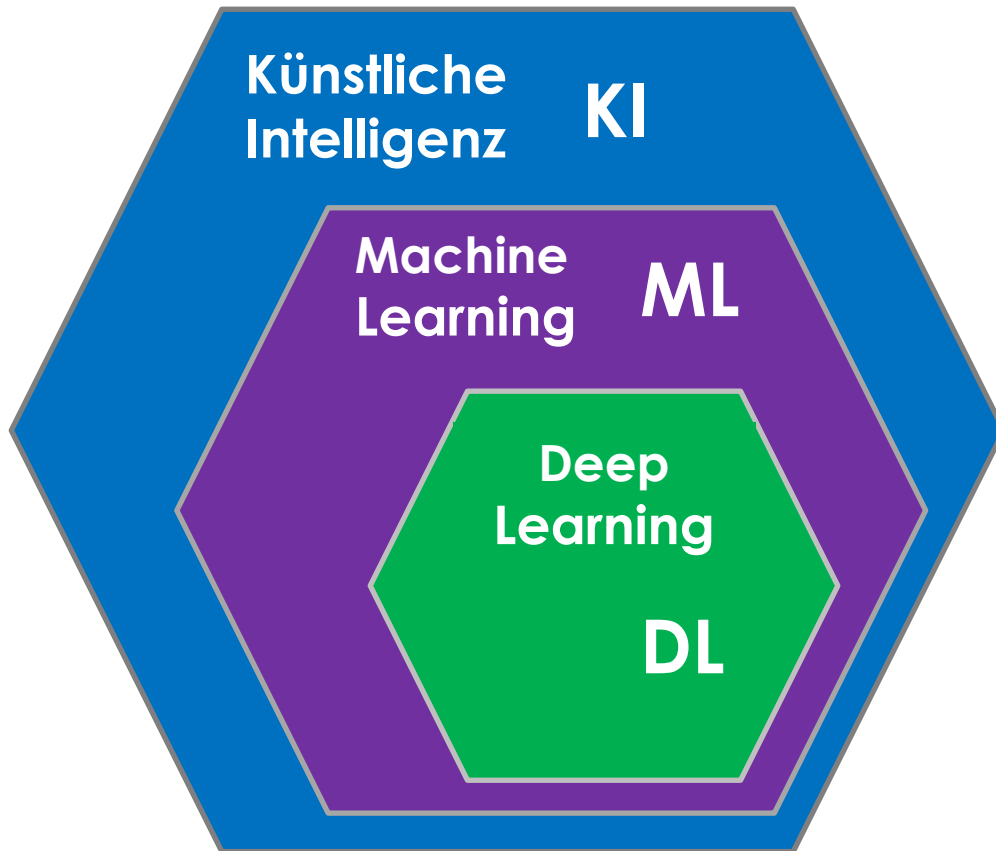
- Ein Algorithmus wird mit Hilfe einer Programmiersprache implementiert.

```
double a = 5;
double b = 3;
double c = a * b;
printf ("c = %f", c);
```

## Datenbasierte Lösung

- Die Lösung erfolgt durch ein **Künstliches Neuronales Netz**.





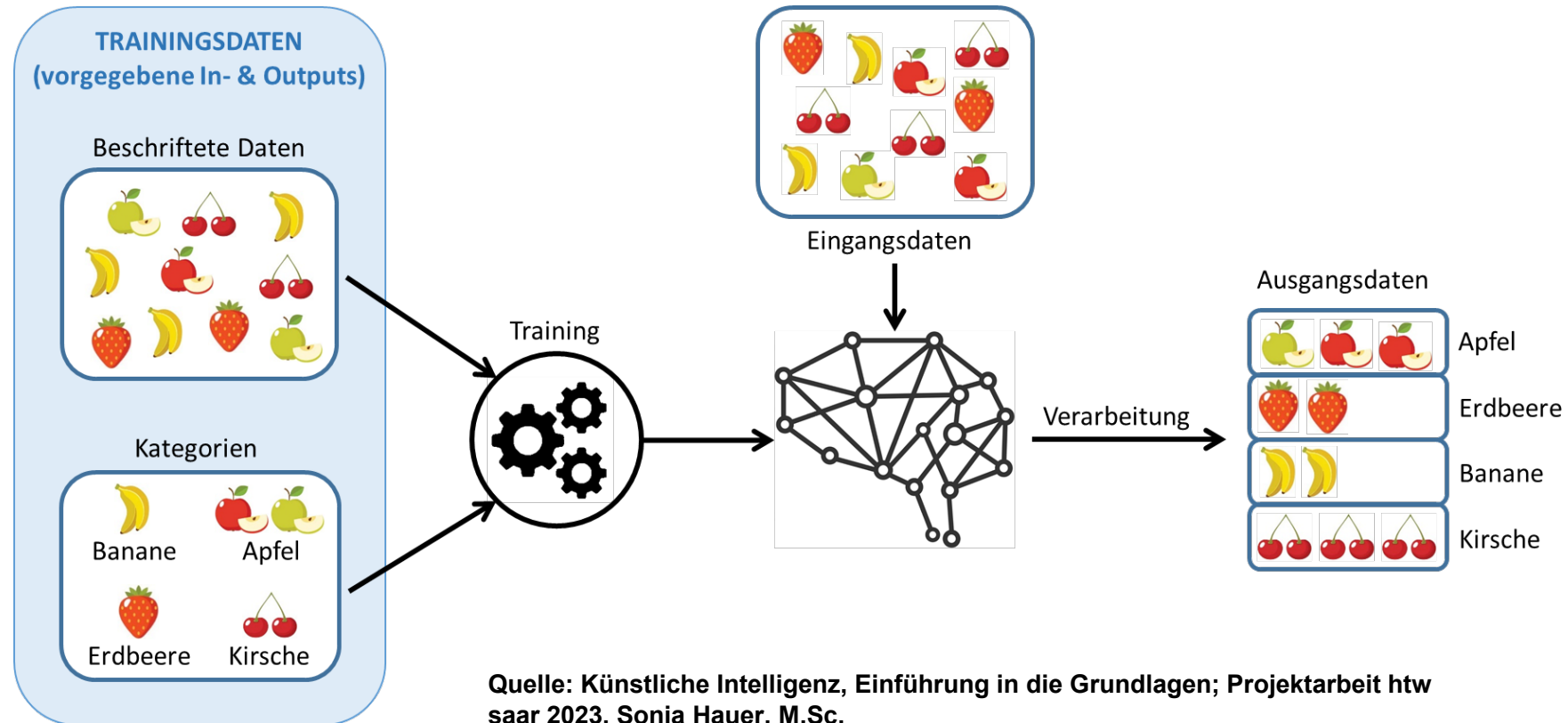
- Die **Künstliche Intelligenz (KI)** ist ein Teilgebiet der Informatik und verfolgt das Ziel bestimmte intelligente Entscheidungsstrukturen von Menschen automatisiert nachzubilden.
- Das **Machine Learning (ML)** ist ein Oberbegriff für die maschinelle Generierung von Wissen aus bereits vorliegenden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

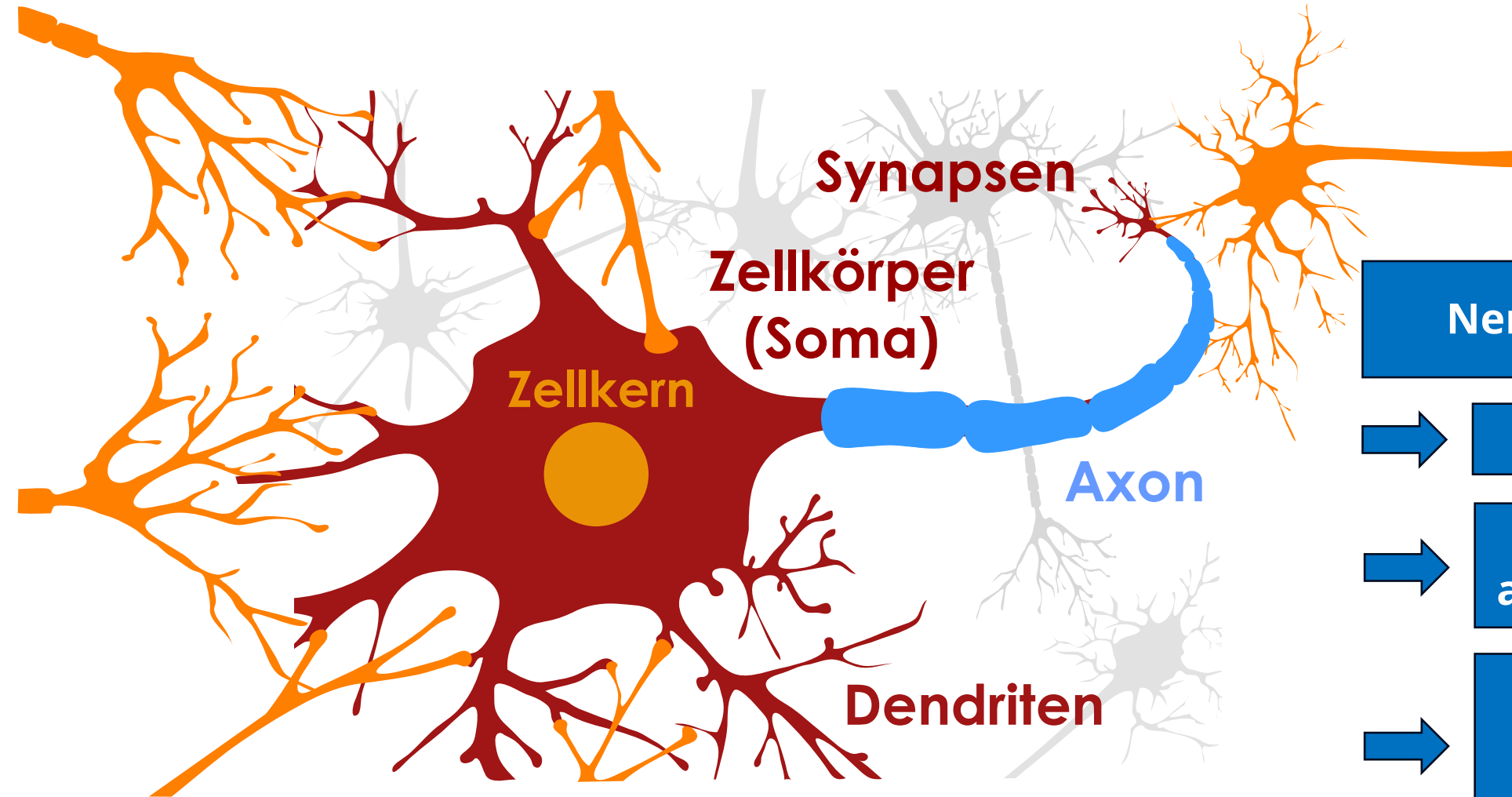
## Überwachtes Lernen

Das Lernen erfolgt mit **Trainingsdaten**, deren **Output zu jedem Input vorgegeben ist**.

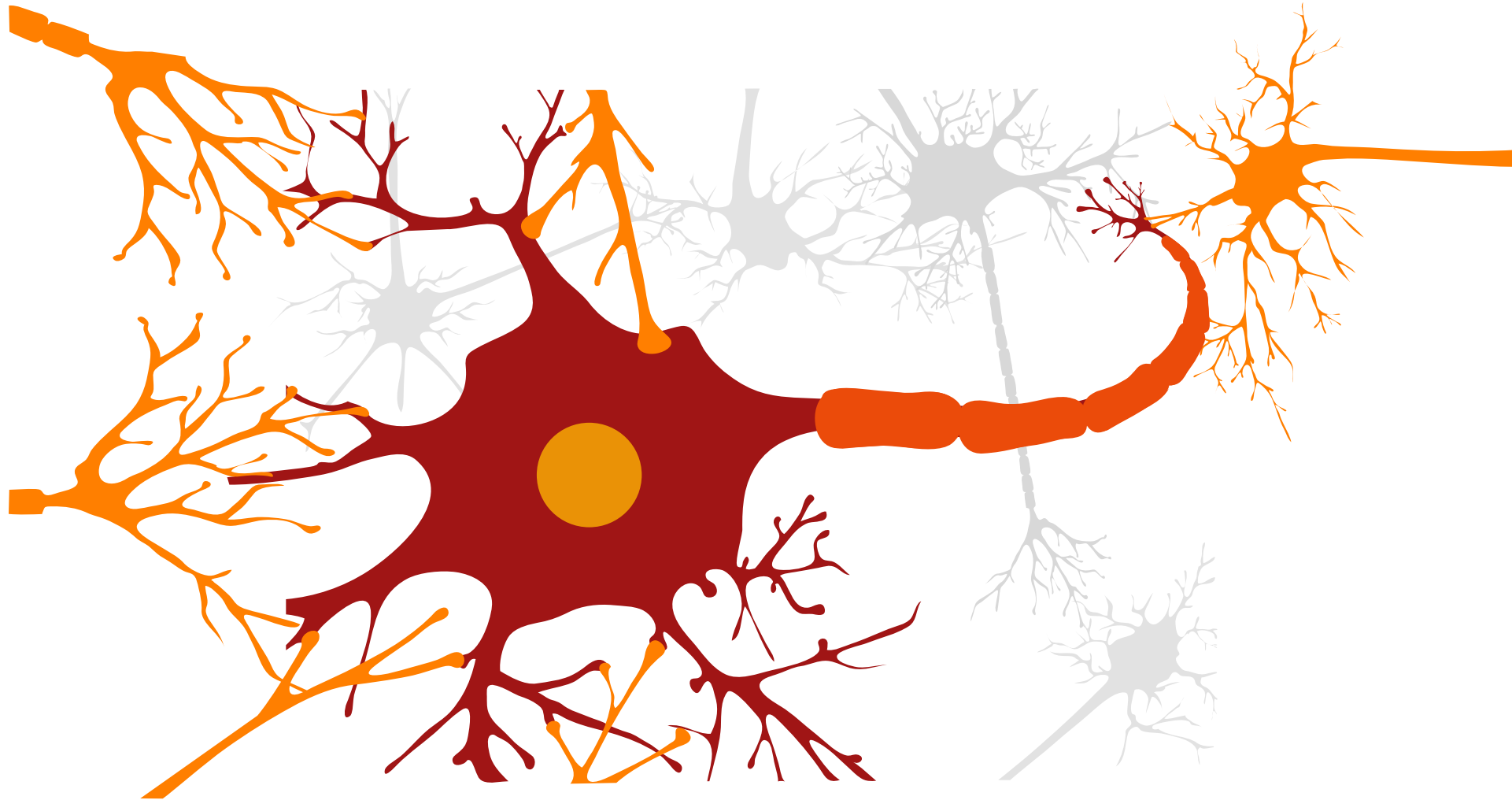
1. Trainingsdaten werden **Offline generiert**
2. Trainingsdaten werden **Offline klassifiziert**, d.h. der **Output zu jedem Input vorgegeben**.

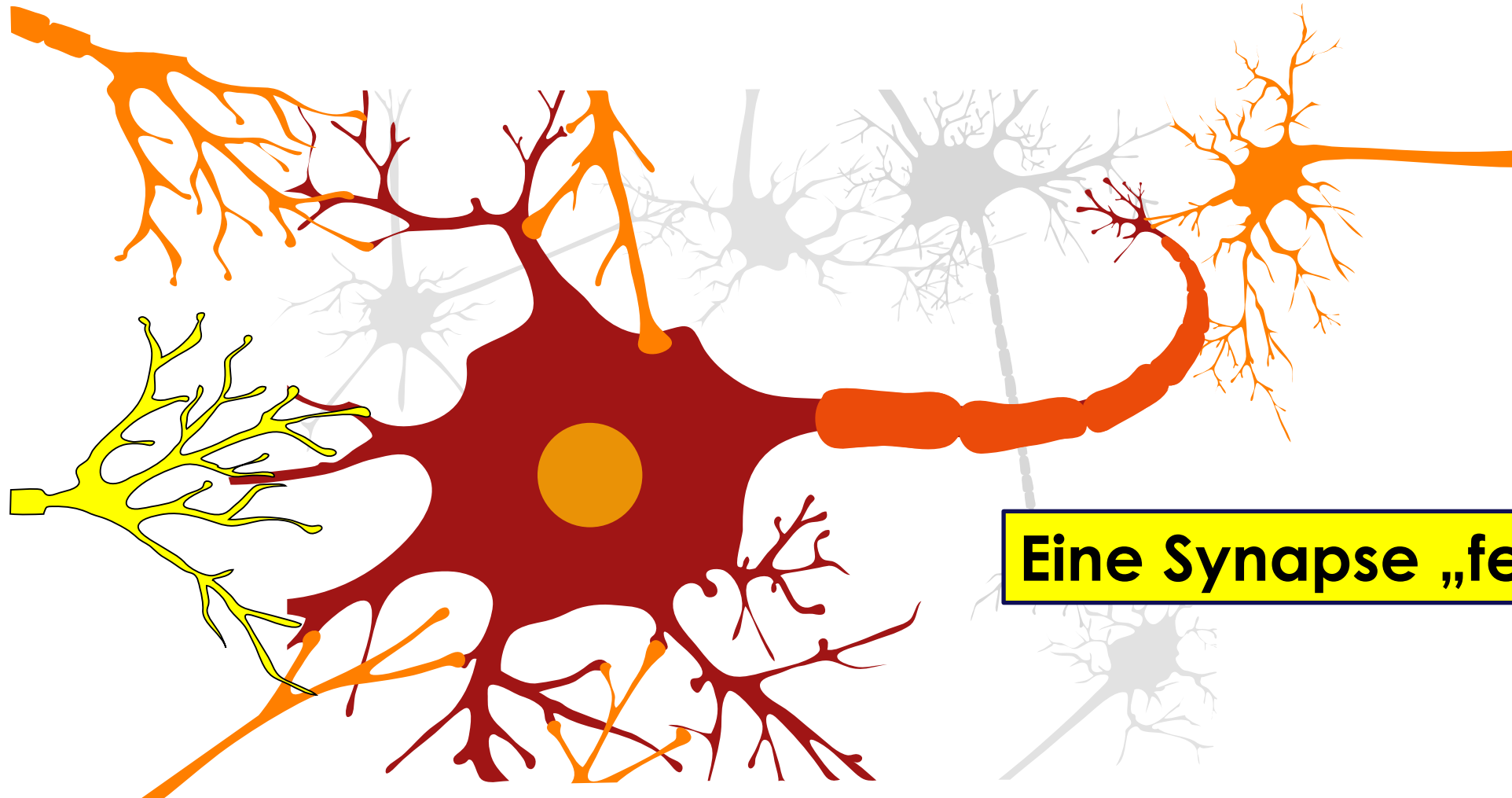
➔ **Fachwissen ist für die Generierung der Trainingsdaten zwingend erforderlich.**

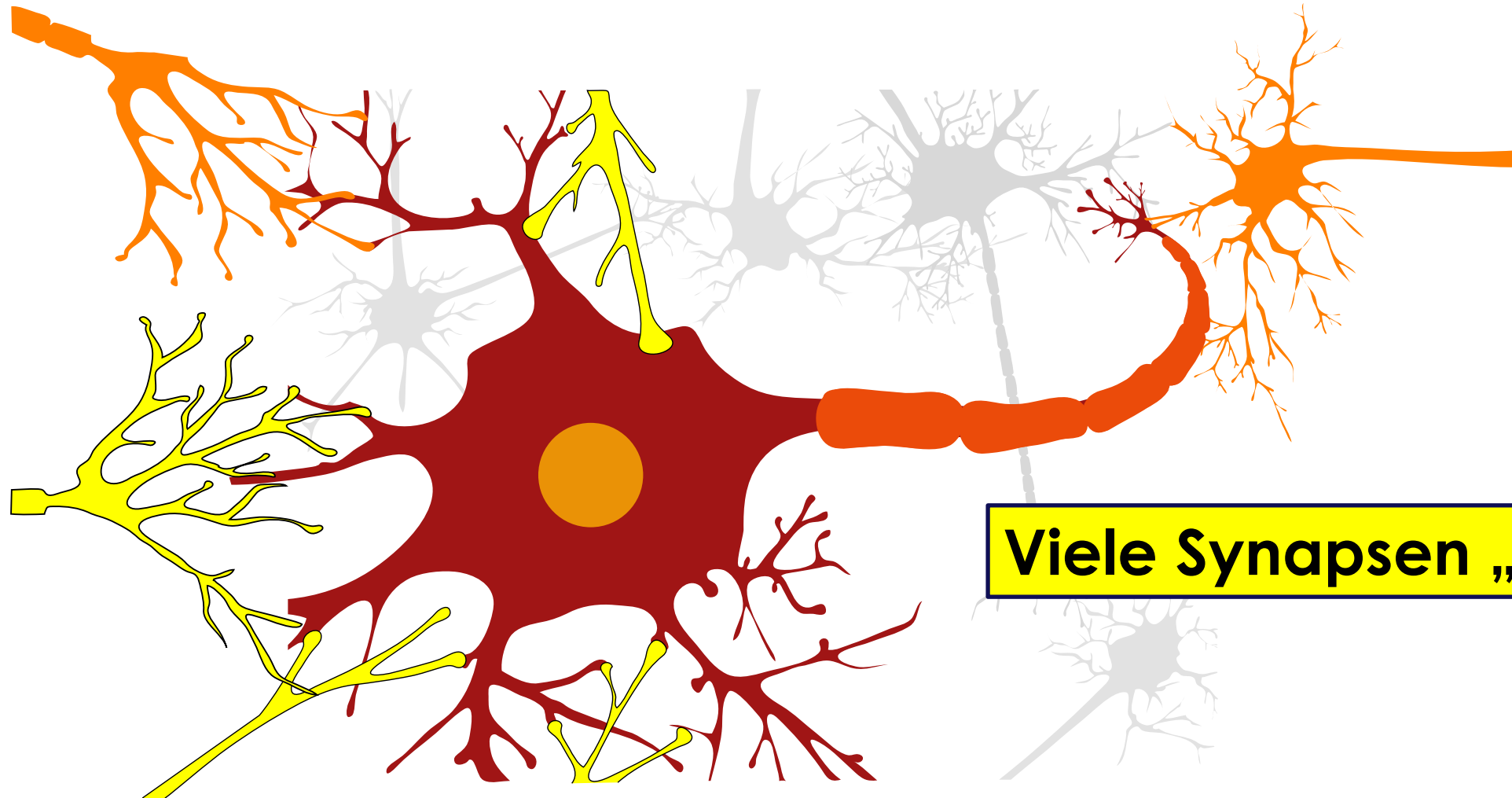




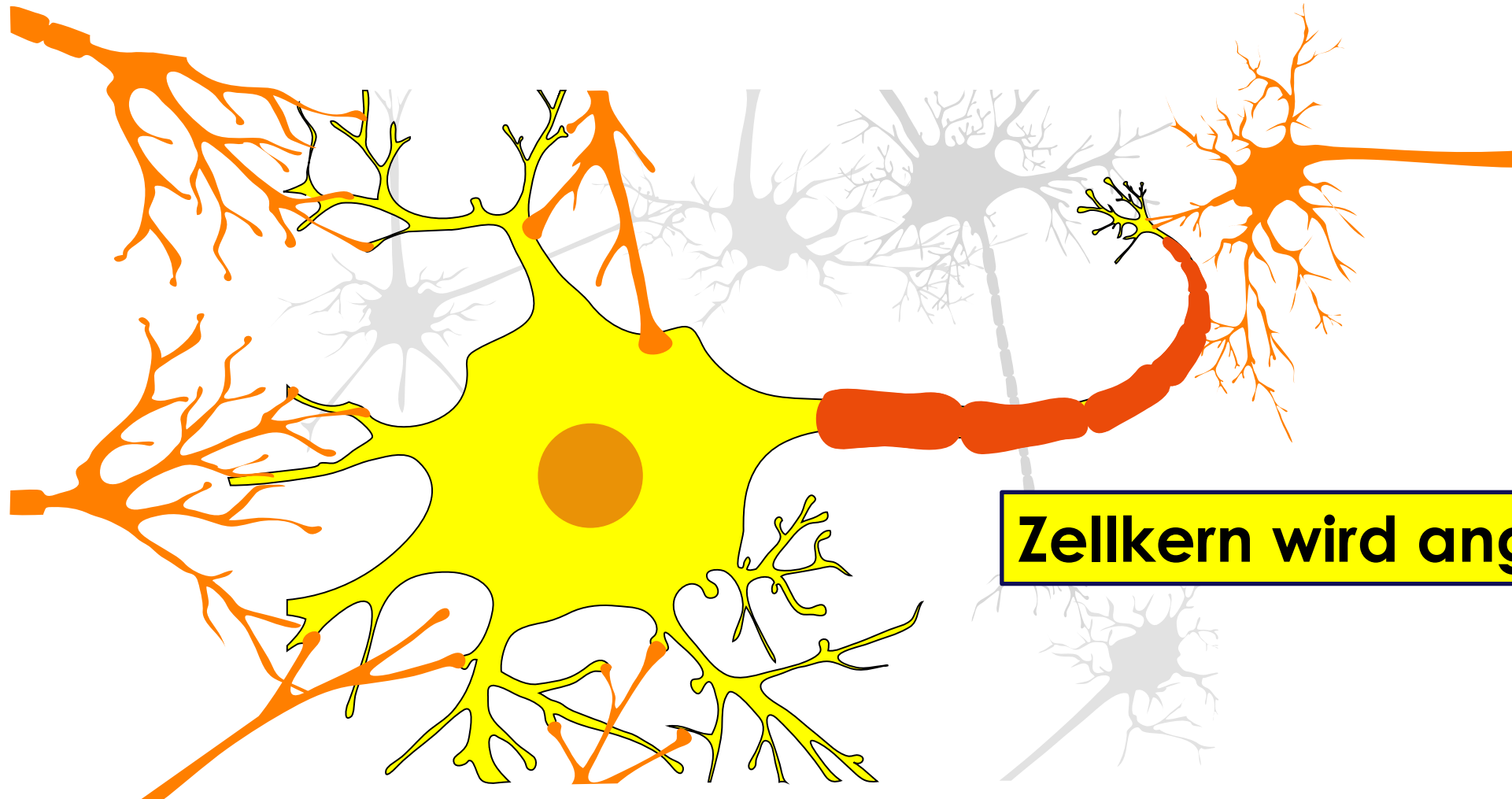
- Nervenzelle = Neuron**
- ➔ **Biologisches Vorbild**
- ➔ **Äußere Reize aktivieren das Neuron**
- ➔ **Ist die Reizaufnahme groß genug, wird der Reiz weitergeleitet**



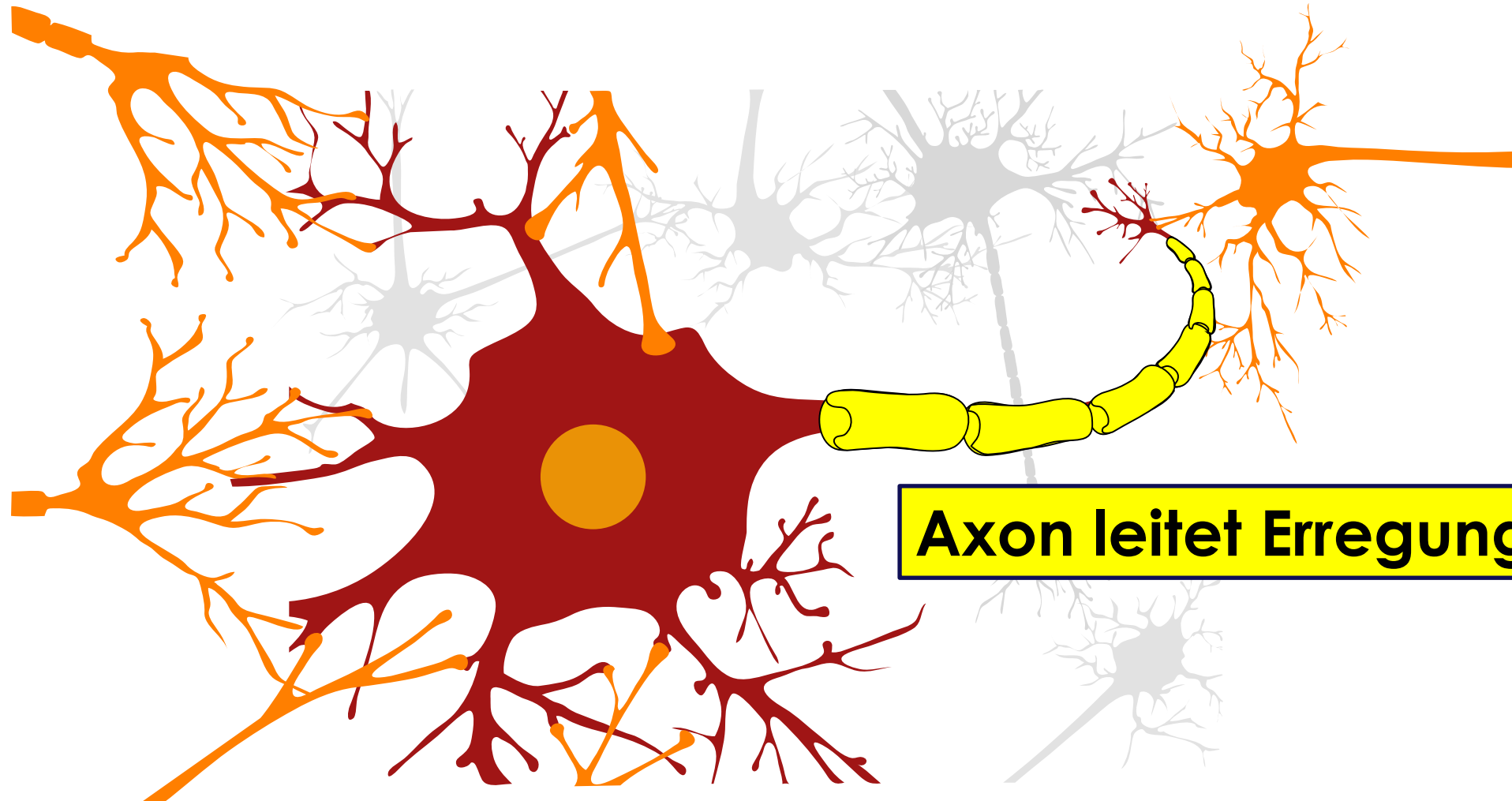




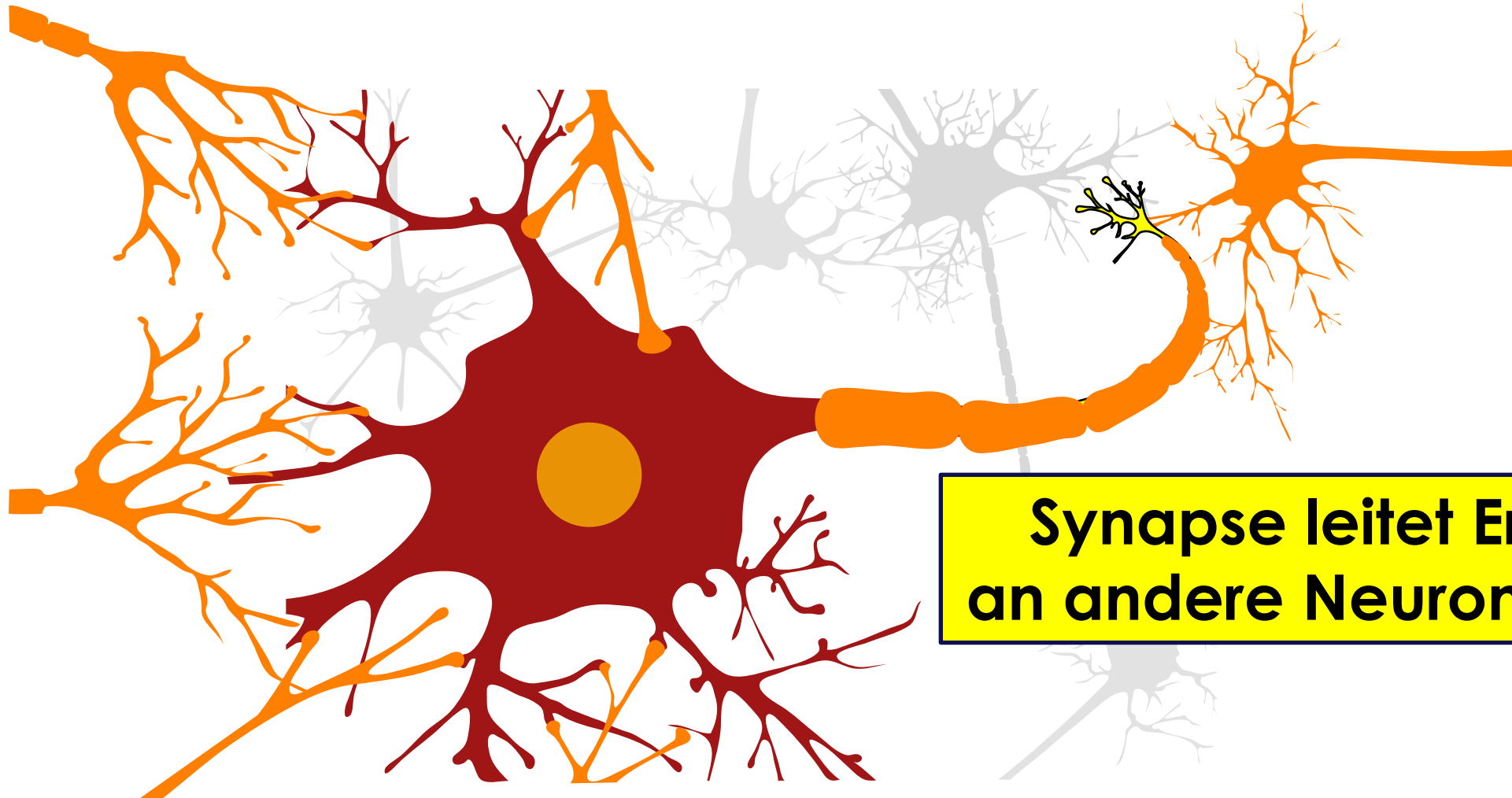
**Viele Synapsen „feuern“**



**Zellkern wird angeregt**



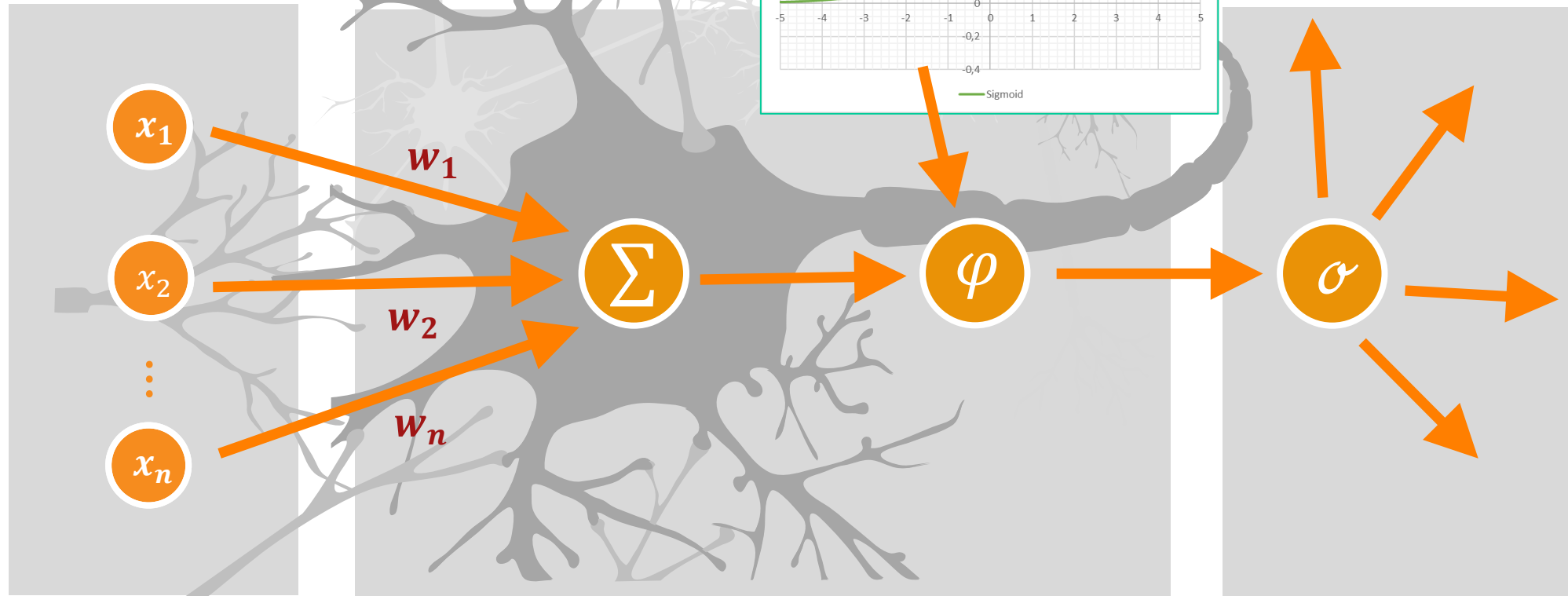
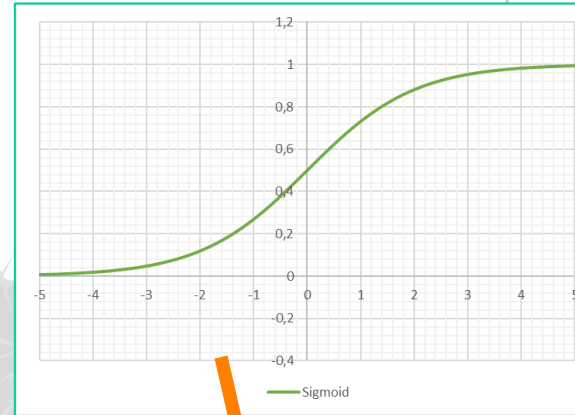
**Axon leitet Erregung weiter**

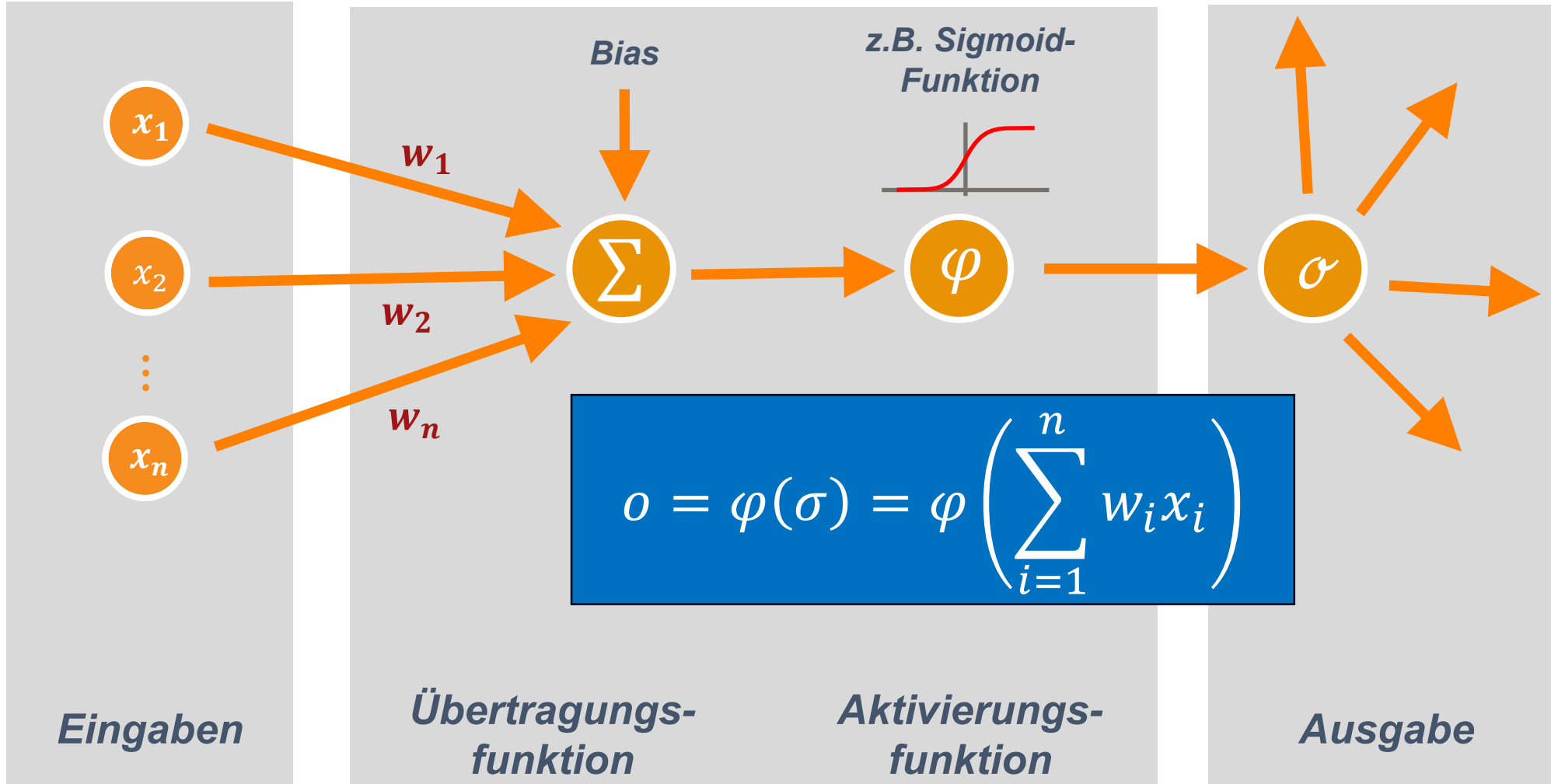


**Synapse leitet Erregung  
an andere Neuronen weiter**

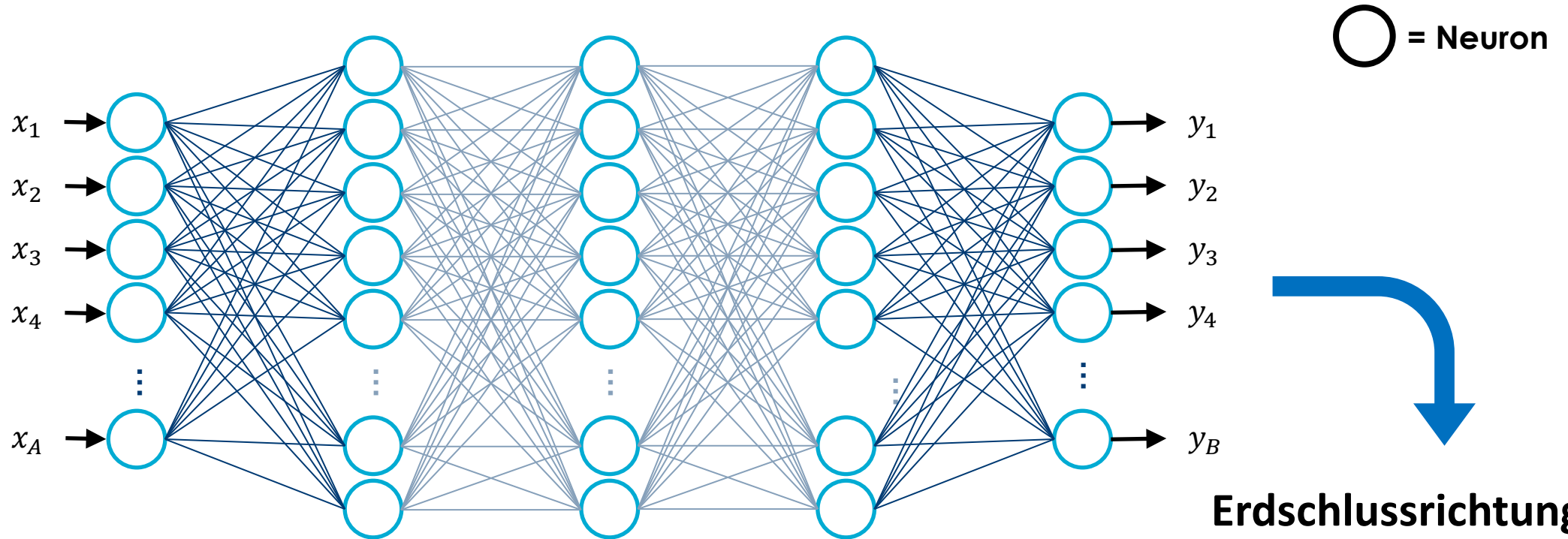
## Schwellwertfunktion

- Aktionspotential einer Nervenzelle
- Sigmoid - Funktion





## Künstliches Neuronales Netz (KNN)



**Messgrößen je Abgang**

- $\underline{U}_{L1}, \underline{U}_{L2}, \underline{U}_{L3}$
- $\underline{I}_{L1}, \underline{I}_{L2}, \underline{I}_{L3}$
- $\underline{U}_0, \underline{I}_E$

Eingabe Schicht  
 $x$

Verborgene Schicht  
 $h_1$

Verborgene Schicht  
 $h_{v-1}$

Verborgene Schicht  
 $h_v$

Ausgabe-schicht  
 $y$

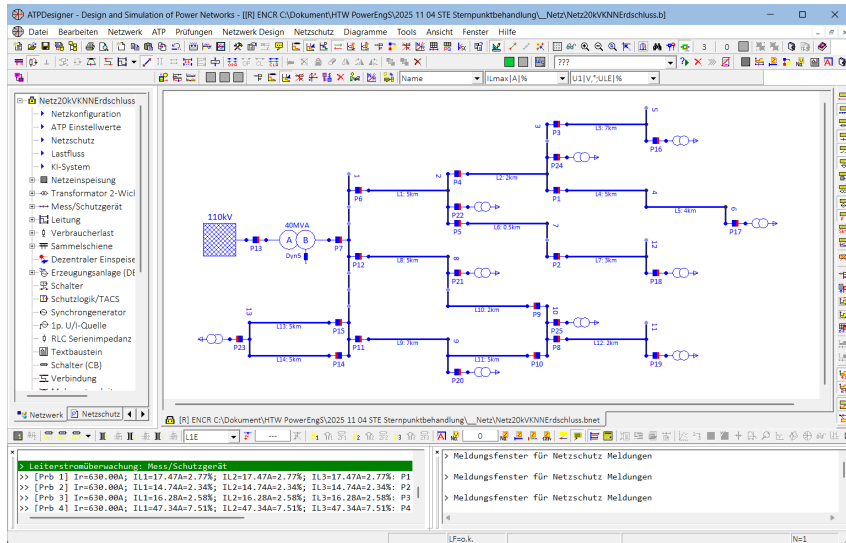
**Erdschlussrichtung**

- Richtung **VORWÄRTS**
- Richtung **RÜCKWÄRTS**

## Netzberechnungsprogramm

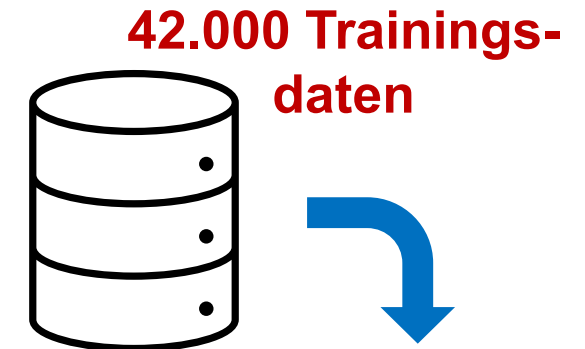
## Modell Stromnetz

## Fallgenerator



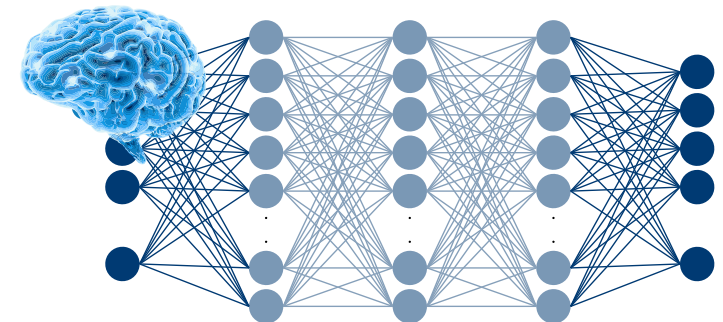
ATPDesigner [www.atpdesigner.de](http://www.atpdesigner.de)

## Erdschluss-Szenarien



SQL-Datenbank  
Trainingsdaten

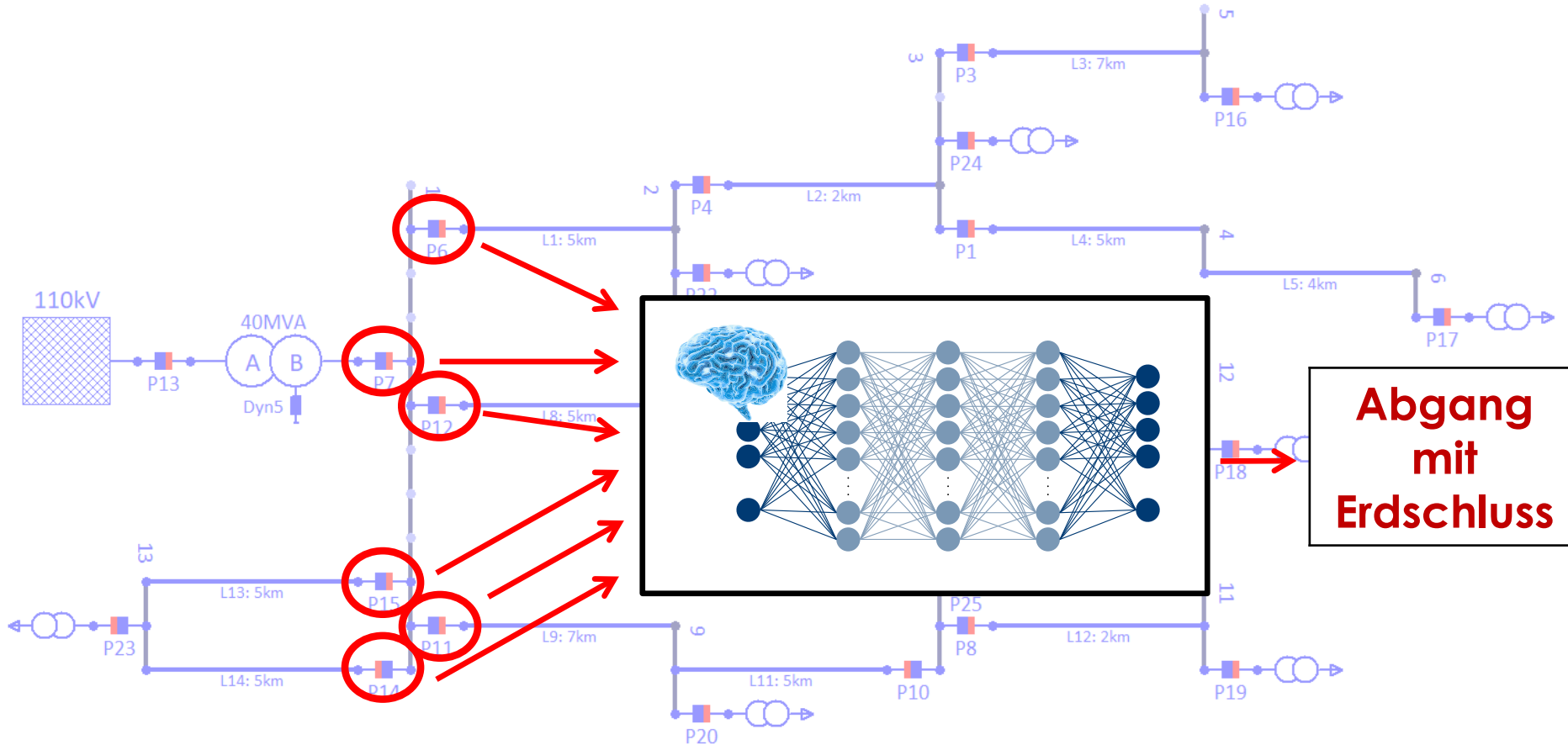
Training KI-System



- 0,1% Schrittweite je Leitung = 1000 Fehlerorte je Leitung
  - Fehlerwiderstand  $R_F = 0\Omega, 5\Omega, 10\Omega$
- ➡ In Summe für 14 Leitungen: 42.000 Trainingsdaten

Anzahl Trainingsfälle beliebig erweiterbar

[www.powerengs.de](http://www.powerengs.de)



## Design des KNN

- 3 verborgene Schichten
- 9 Neuronen je Schicht

## Eingabe Schicht

- 6 Abgänge:  $\underline{U}_{LE}$ ,  $I_L$
- ➔ 72 Neuronen

## Ausgabe Schicht

- Abgang mit Erdschluss
- ➔ 1 Neuron

**Trainingsdaten:** 42.000 Erdschlusszenarien

**Trainingsfälle:** 80% = 33.600

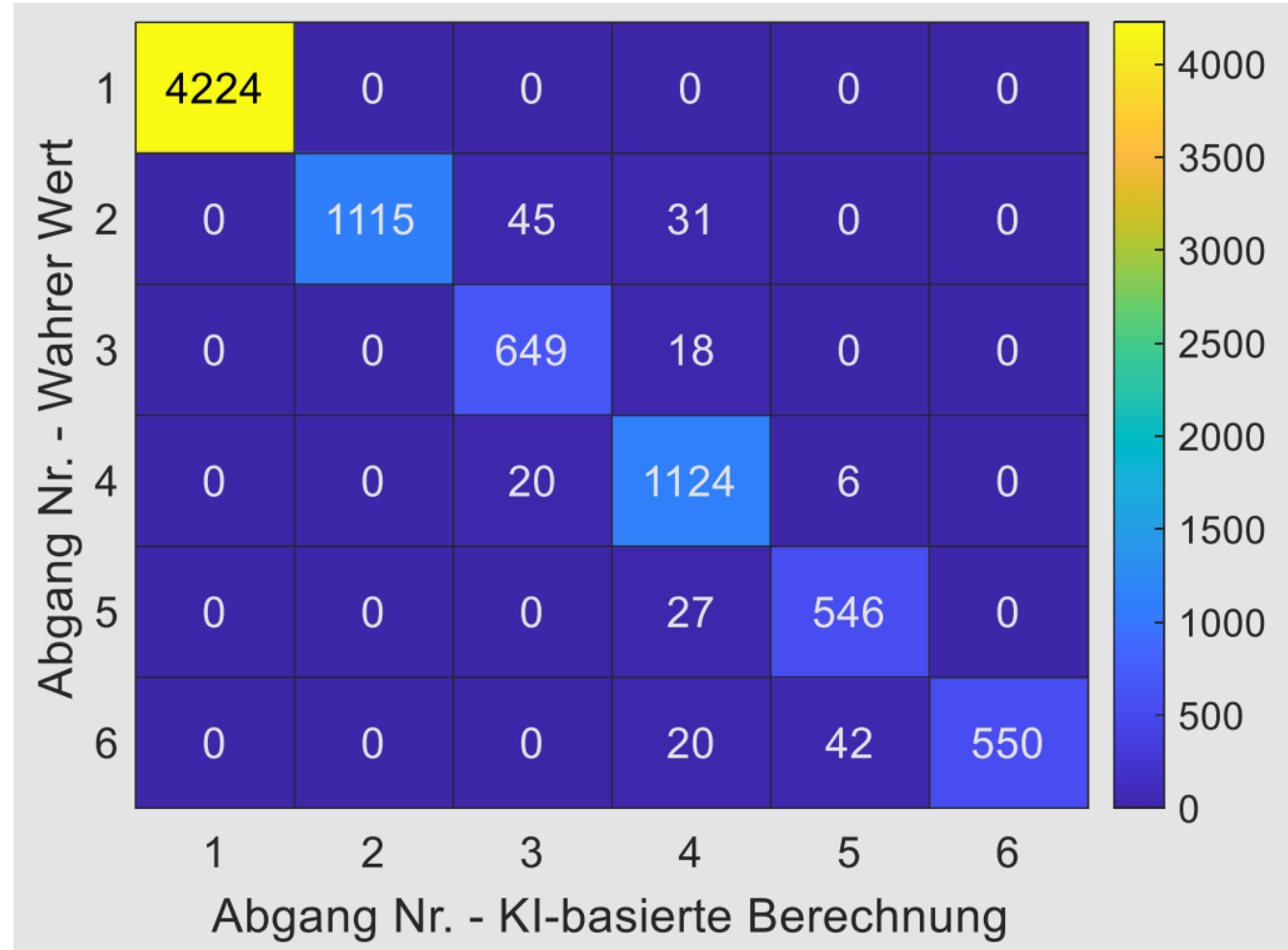
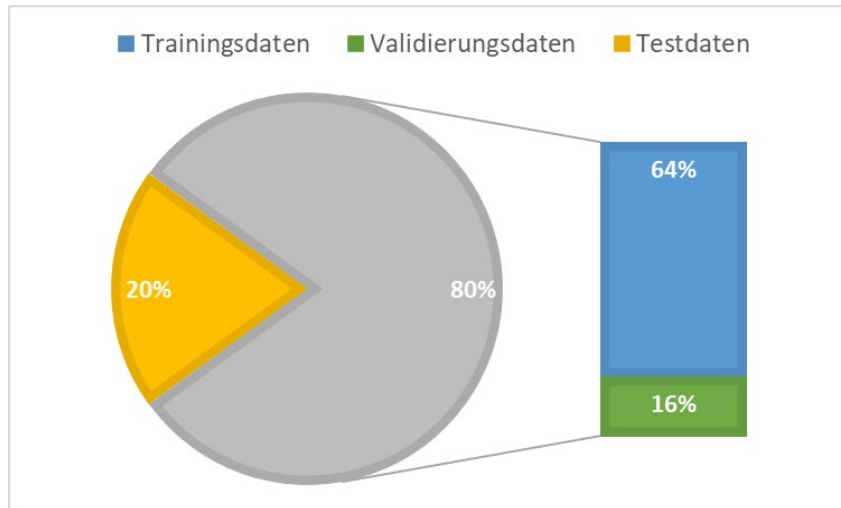
- Anpassung der Gewichtung  $w_{1...n}$

**Validierungsdaten:** 16% = 6.720

- Überwachung des Trainingsprozesses

**Testdaten:** 20% = 8.400

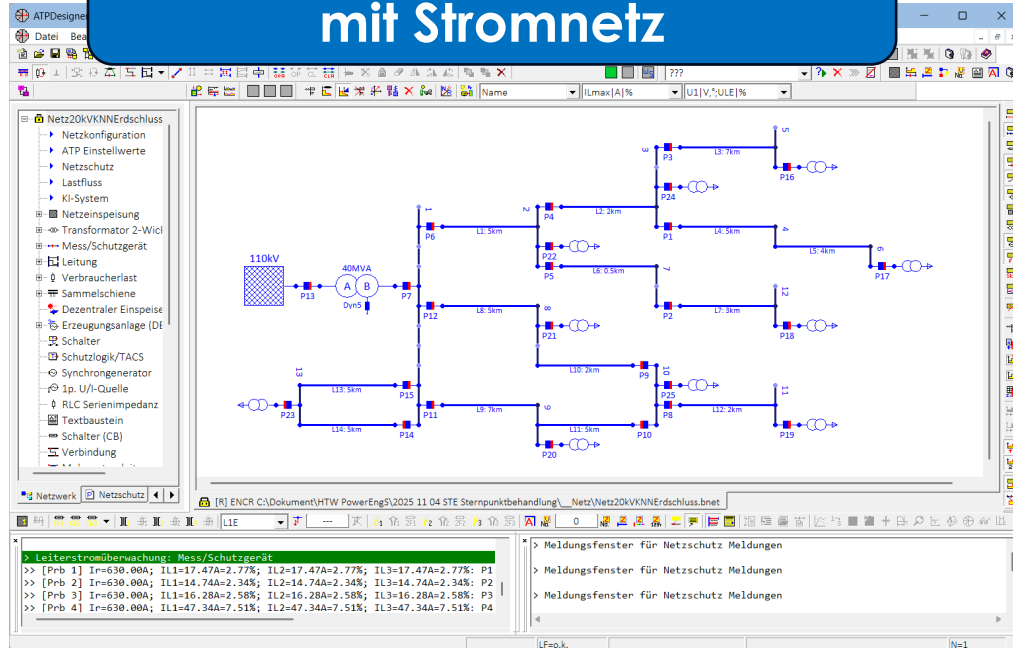
➔ **Performancedaten nach dem Training**



## Simulation von Erdschluss Szenarien mit einem Netzberechnungsprogramm

- $\underline{U}_{L123}$ ,  $\underline{I}_{L123}$ ,  $P$ ,  $Q$ , ... als Referenz (= "Wahrer Wert")
- Typprüfung mit bewährten mathematisch-algorithmischen Verfahren
- geringer Aufwand, beliebig viele Messorte möglich, kein Prüfverstärker erforderlich

### Netzberechnungsprogramm mit Stromnetz

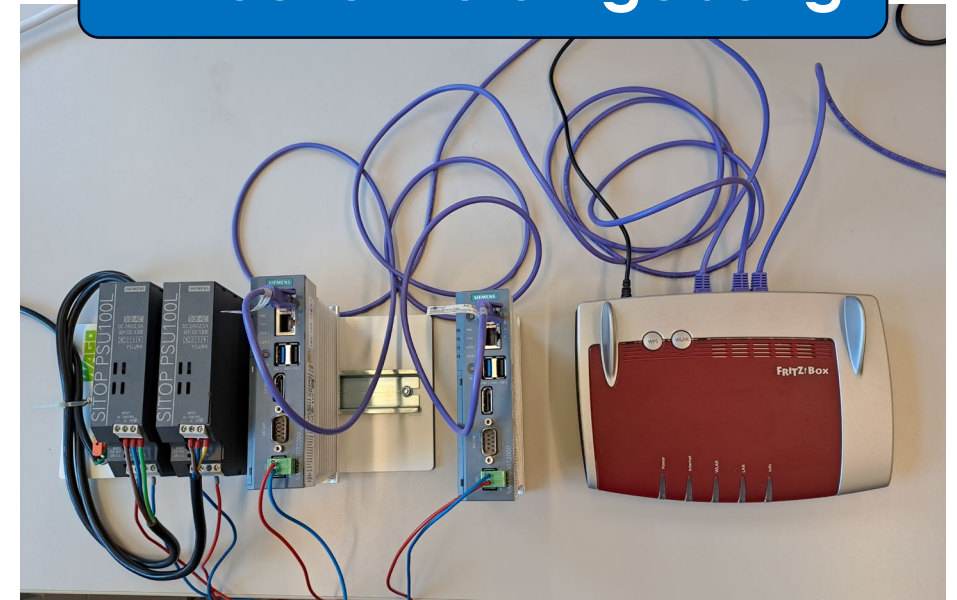


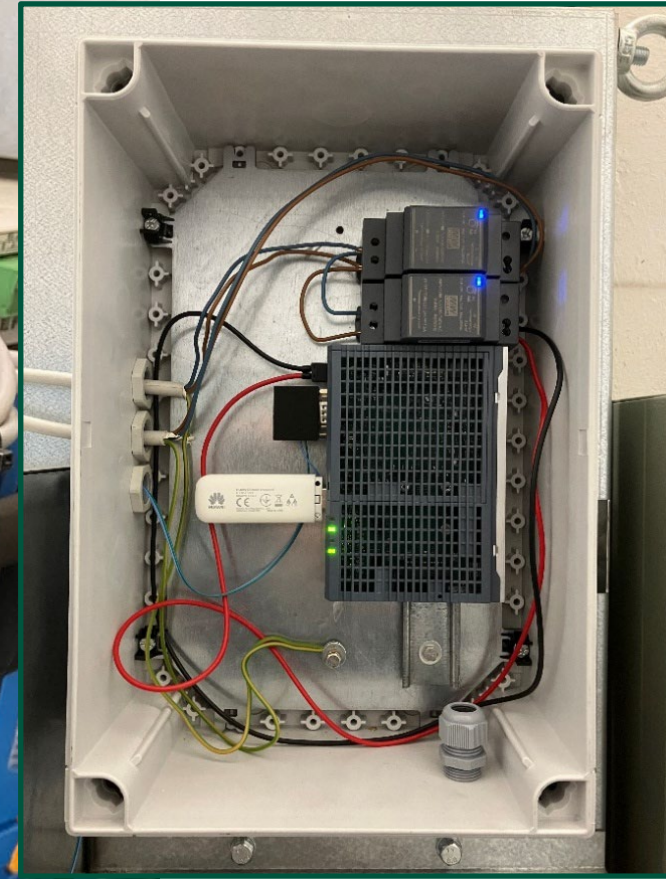
IP-basierte Kommunikation



Netzwerk

### Virtuelle Prüfumgebung





- **KI-basierte Verfahren können Erdschlüsse erkennen und die Erdschlussrichtung detektieren.**
  - Künstliche Neuronale Netze (KNN) werden mit überwachtem Lernen trainiert.
  - Die Fähigkeiten der KNN wird durch die Szenarien der Trainingsdaten bestimmt.
  - Der Trainingsvorgang liefert Performancedaten zur Bewertung der KNN.
  - Die Prüfung kann mit bekannten und bewährten Prüfmethoden und Prüfumgebungen der Netzschutztechnik erfolgen.
- ➔ **Konzept, Design und Einsatz von KNN in der Netzschutztechnik erfordert unbedingt das Fachwissen der Netzschutztechniker**



**Dr.-Ing. Andreas Winter**

Teamleiter Anschlusswesen / Verbandsarbeit  
+49 (0) 681 4030 2341  
andreas.winter@energis-netzgesellschaft.de



**Prof. Dr.-Ing. Michael Igel**

Institutsleiter  
+49 (0) 1756452194  
michael.igel@htwsaar.de

energienetz<sup>7</sup>  
saar  
Teil der VSE