

Zustandsschätzung der Spannungsqualität im Microgrid mithilfe eines digitalen Zwillings und neuronaler Netze

Kontakt

Markus de Koster

Technische Hochschule Köln
markus.de_koster@th-koeln.de

Weitere Autoren:

Patrick Mack, Patrick Lehnen,
Eberhard Waffenschmidt, Ingo Stadler

Grundlagen

Nicht-lineare Lasten und Wechselrichter verursachen Spannungsqualitätsprobleme

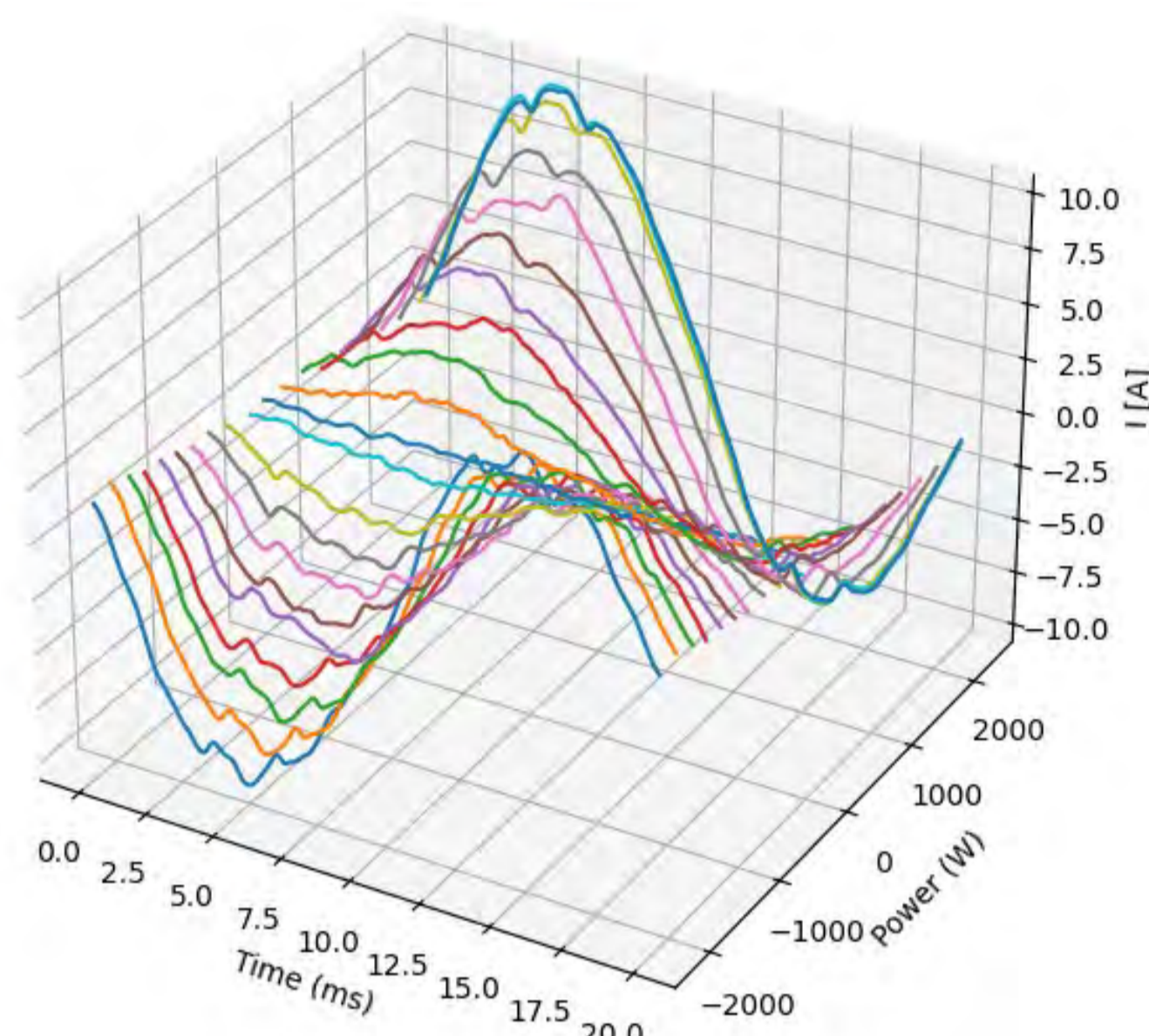


Bild 1: Stromkurve eines Wechselrichters in verschiedenen Lastzuständen

- Klassische Zustandsschätzung der Spannungsqualität benötigt viele Messgeräte
- Diese sind teuer und können nicht überall eingebaut werden
- Neue datenbasierte Methoden (Neuronale Netze) schätzen mit wenigen Messgeräten den Zustand ab
- Verifizierung bislang oft nur in der Simulation

Wir verifizieren mit echten Daten aus dem Labor

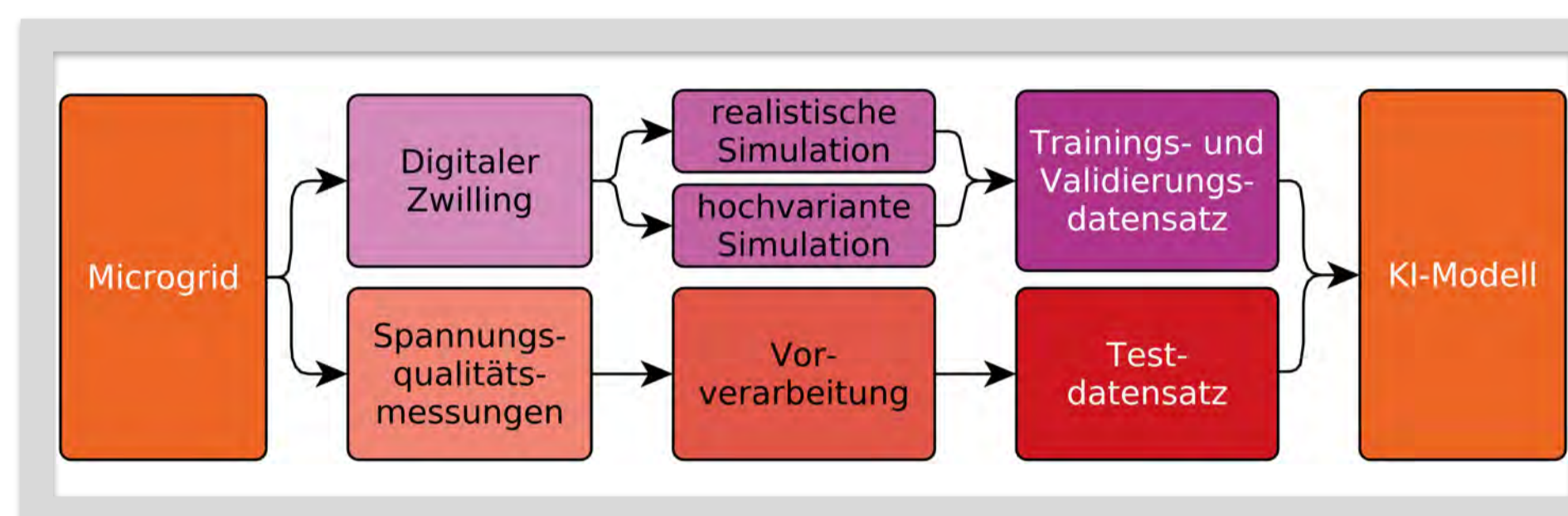


Bild 2: Ablauf der Simulation, des Trainings der Modelle und der Verifizierung der Zustandsschätzung

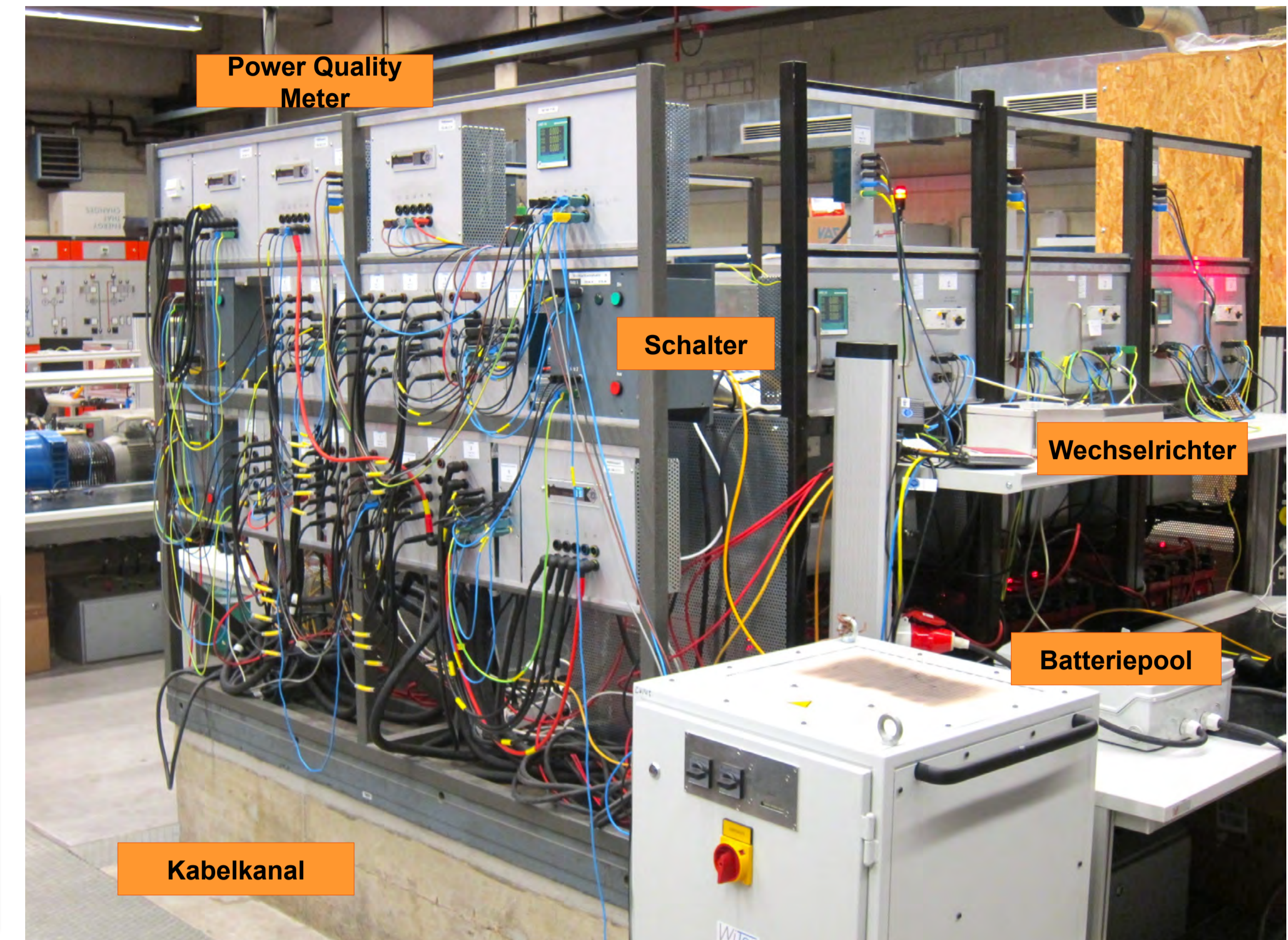
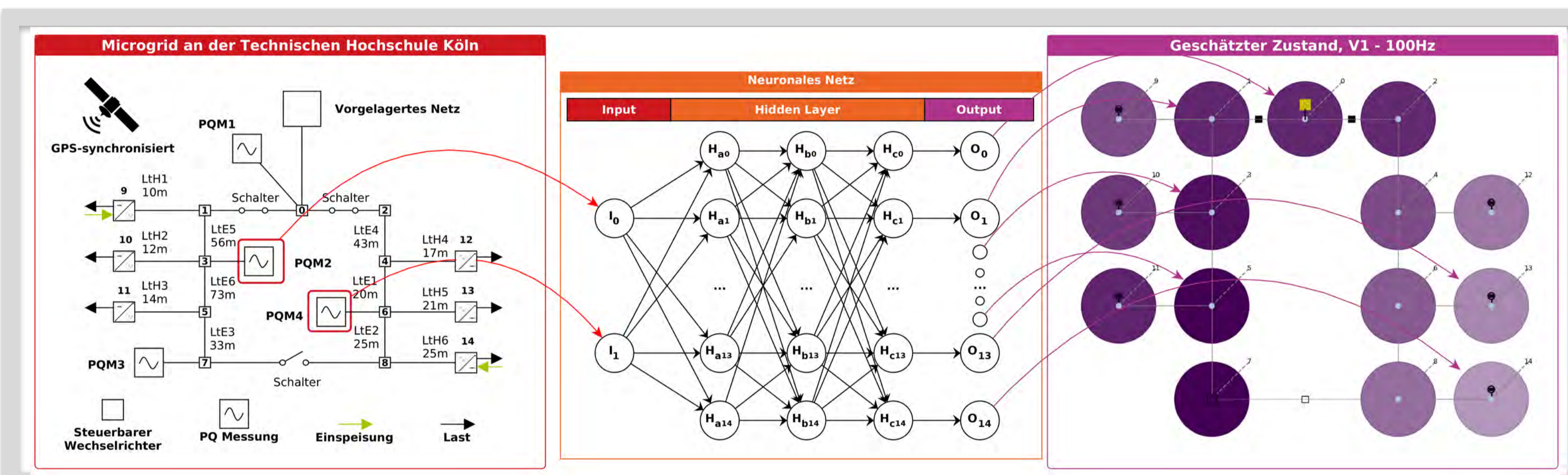


Bild 3: Microgrid an der TH Köln mit steuerbaren Wechselrichtern, Batteriepool und in einem Kabelkanal verlegten Leitungen (links) Spezifikationen: A-Eberle Pqi-DA smart, 12V Bleibatterien, FEGmbH Sontime E-S UfE-Sinuswechselrichter

Zustandsschätzung

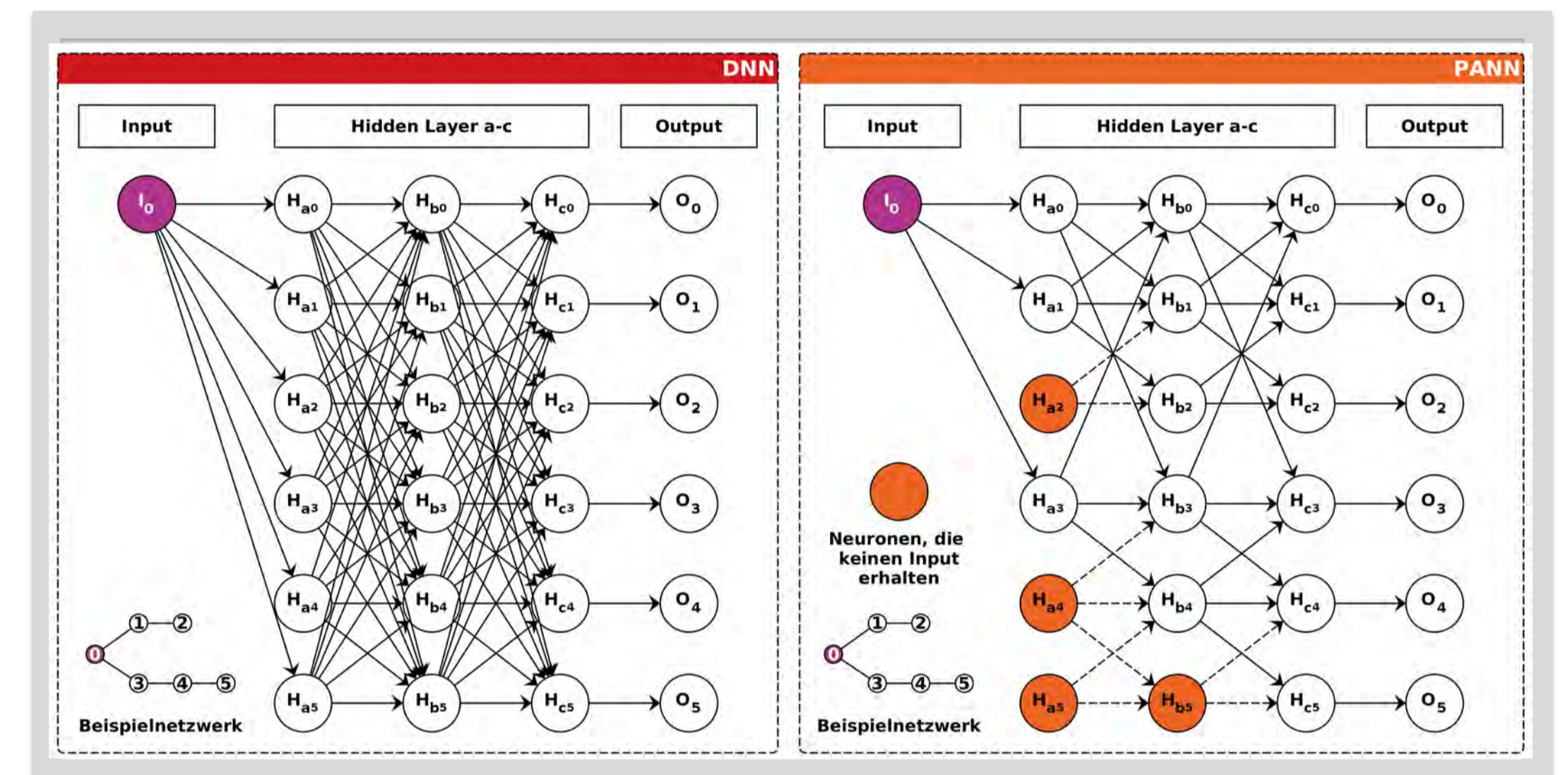


- **Eingangswerte**
- GPS-synchronisierte Messungen
- Spannungsqualitätsdaten
- Von zwei Messgeräten

- **Neuronales Netz**
- Im Training wurden die Gewichte der Neuronen so gesetzt, dass das Modell einen möglichst geringen Fehler bei der Abschätzung erreicht
- Trainingsdaten aus Simulation des digitalen Zwillings

- **Ausgangswerte**
- Spannungen an jedem Knoten
- 1. - 20. Harmonische Oberschwingung
- Aktuell noch einphasig

Neuronale Netze



- **Dense Neural Network (DNN)**
- Neuronen einer Schicht sind mit allen Neuronen der nächsten Schicht verbunden
- Standardmodell

- **Physics-Aware Neural Network (PANN)**
- Neuronen einer Schicht sind nur mit Neuronen verbunden, deren Äquivalent auch im Stromnetz verbunden ist
- Nachrichten breiten sich so aus wie Strom im Netz

Ergebnisse

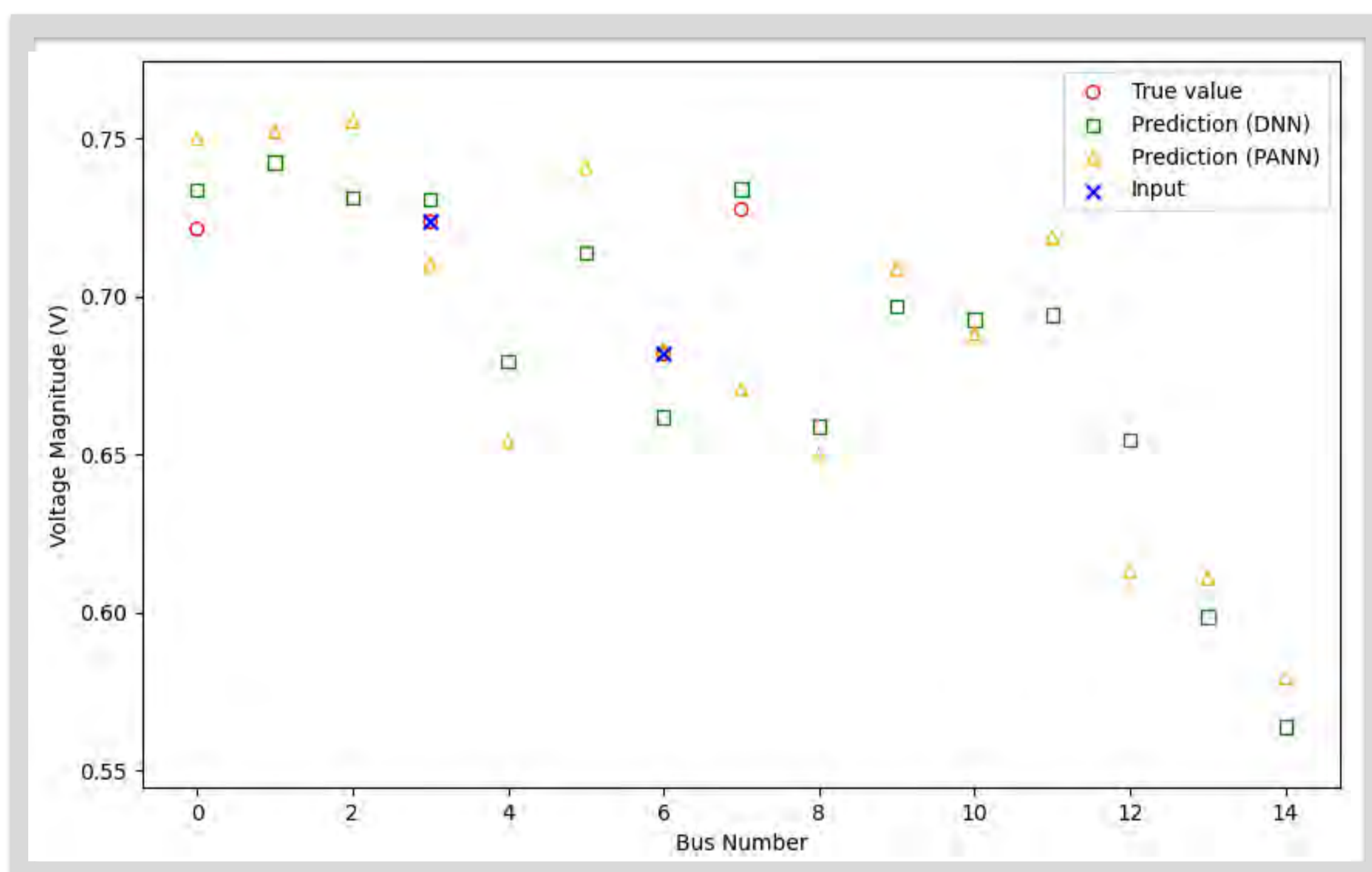


Bild 4: Abgeschätzter Zustand der 7. harmonischen Oberwelle (350Hz) zu einem Zeitpunkt (Data Point 6) Ausgehend von den zwei Messpunkten (blaues Kreuz) werden alle Knoten abgeschätzt und mit den weiteren Messungen (roter Kreis) verifiziert.

- **Nach folgendem Training**
- 2 Hidden Layer (DNN)
- 6 Hidden Layer (PANN)
- 7000 Epochen

- **Mittlerer Quadratischer Fehler (MSE)**

Modell	Bus 0	Bus 3	Bus 6	Bus 7
DNN	2.36 $\times 10^{-5}$	1.27 $\times 10^{-6}$	1.36 $\times 10^{-6}$	1.8 $\times 10^{-5}$
PANN	2.29 $\times 10^{-5}$	2.95 $\times 10^{-6}$	2.4 $\times 10^{-6}$	2.13 $\times 10^{-5}$

Tabelle 1: Mittlerer quadratischer Fehler (MSE) über alle Frequenzanteile im Vergleich zwischen Physics-Aware-Neural Network (PANN) und Dense Neural Network (DNN). Knoten 3 und 6 zeigen als Eingangswerte in die Schätzung einen geringeren Fehler als die dem Netzwerk unbekannt Knoten 0 und 7.

Zustand der Spannungsqualität wird mit neuronalen Netzen sehr genau abgeschätzt!

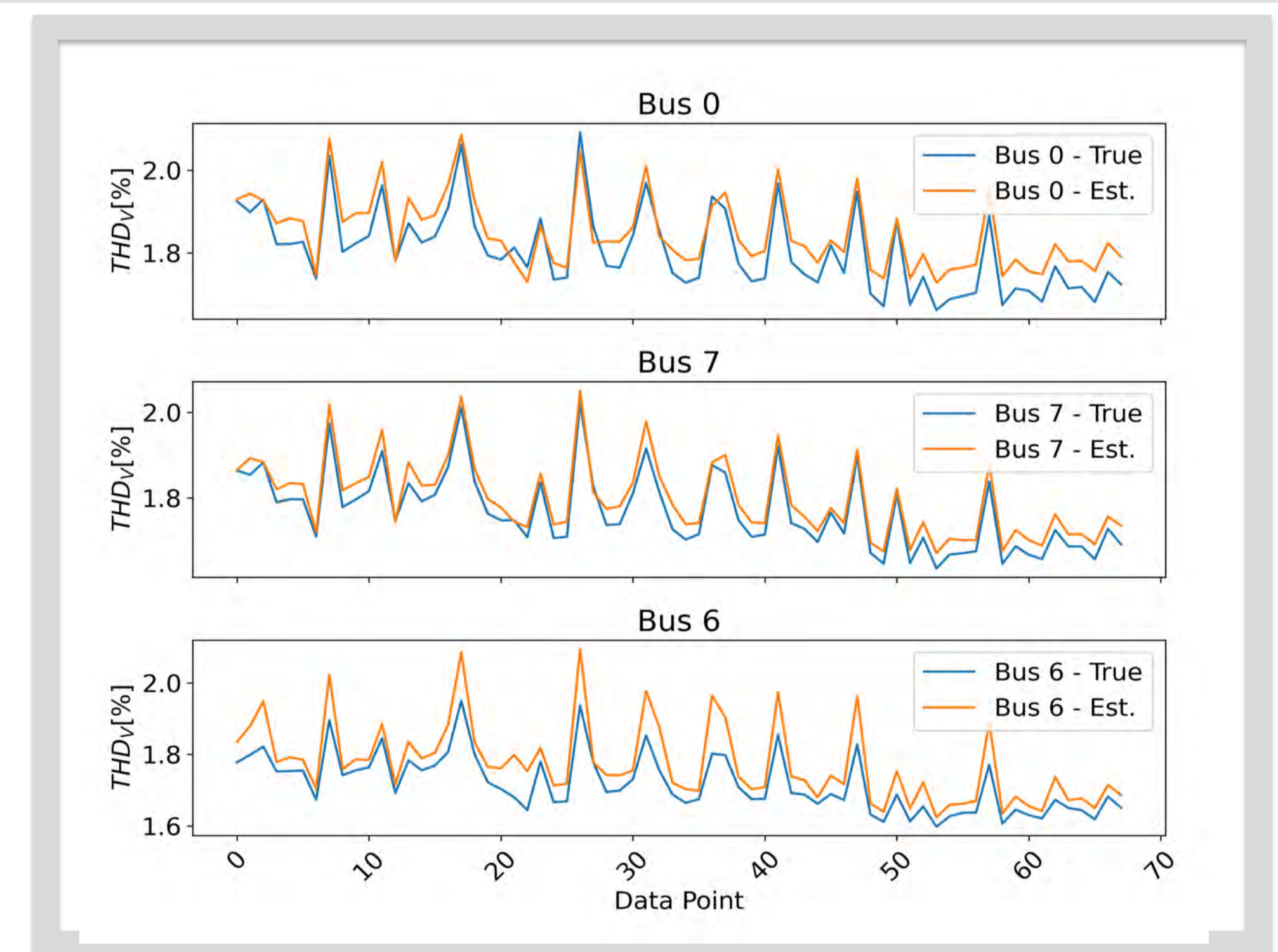


Bild 5: Die Oberschwingungssumme (Total Harmonic Distortion, THD) wird durch das Modell sowohl an dem Inputknoten 6 als auch an den dem Netzwerk unbekannt Validierungsknoten 0 und 7 gut nachgebildet und insgesamt leicht überschätzt.