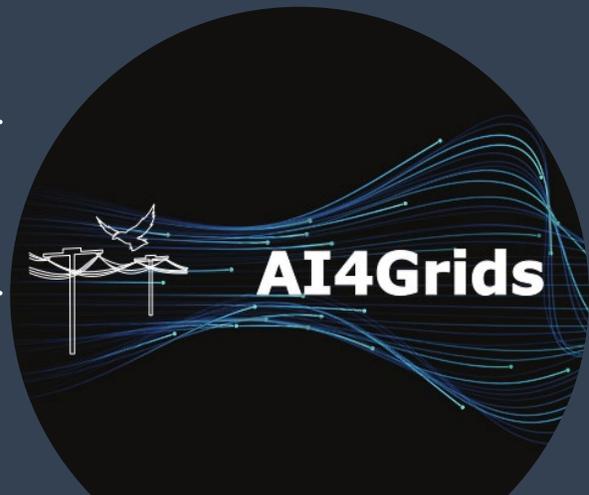


H
T
W
G

Hochschule Konstanz
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Anwendung von KI zur sicheren und effizienten Energieversorgung

Manuela Linke



Motivation

Herausforderungen der Energiewende

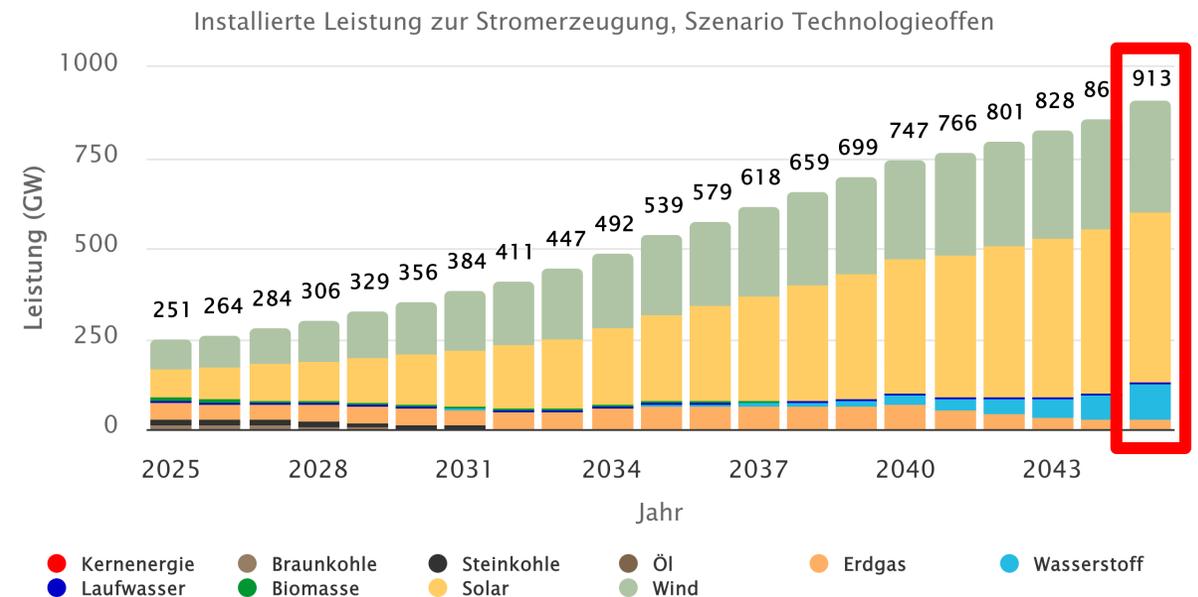
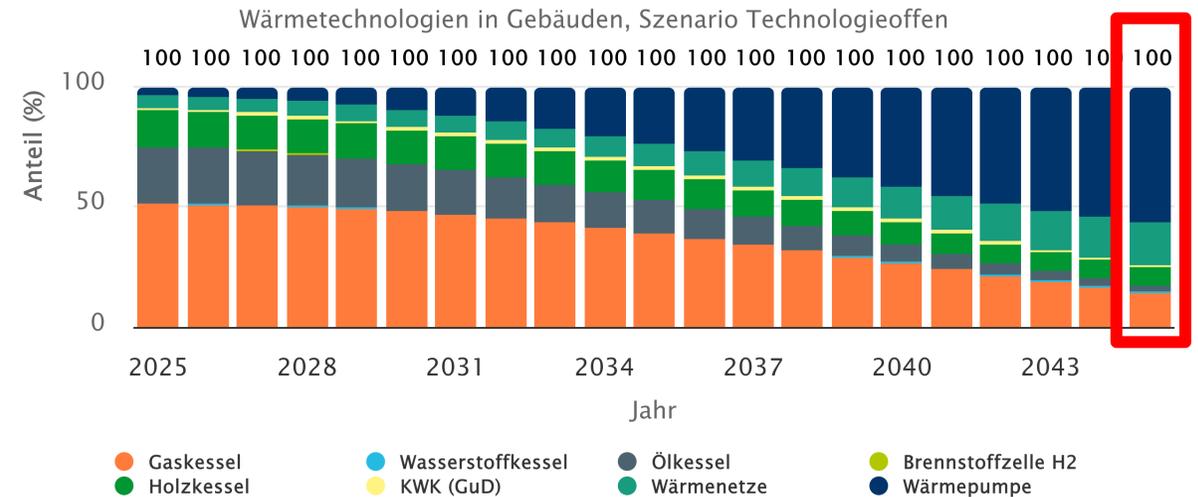
Elektrifizierung des Verbrauchssektors bis 2045

- Anteil installierter Wärmepumpen > 50%
- Anzahl Elektrofahrzeuge bis zu 35 Mio.

Erhebliche Steigerung der übertragenen Energiemenge

- Installierte PV-Kapazität > 400 GW
- Installierte Windkapazität > 300 GW

Quelle: www.energy-charts.info; Datenquelle: Fraunhofer ISE; Letztes Update: 14.11.2024, 7:57 MEZ



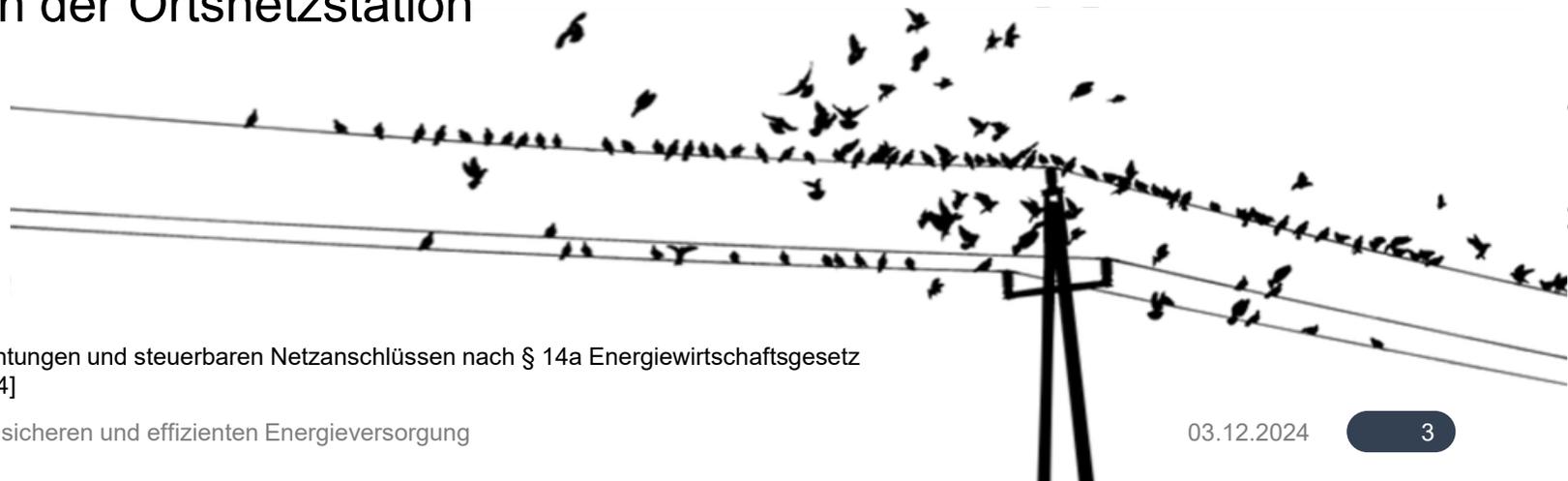
Die neuen Anforderungen des § 14a EnWG*

Engpassmanagement durch die Abregelung steuerbarer Verbrauchseinheiten

- Netzorientierte Steuerung
 - Rein kurative Maßnahmen
 - Reaktionszeit 5 Minuten
- Präventive Steuerung
 - Erlaubt bis Ende 2028, solange netzorientierte Steuerung nicht möglich ist

Basis für Entscheidungen

- Netzzustandsermittlung durch Vermessung von mind. 15% aller Netzanschlüsse oder 7% plus Abgangsmessungen an der Ortsnetzstation
- Planerische Netzbewertung



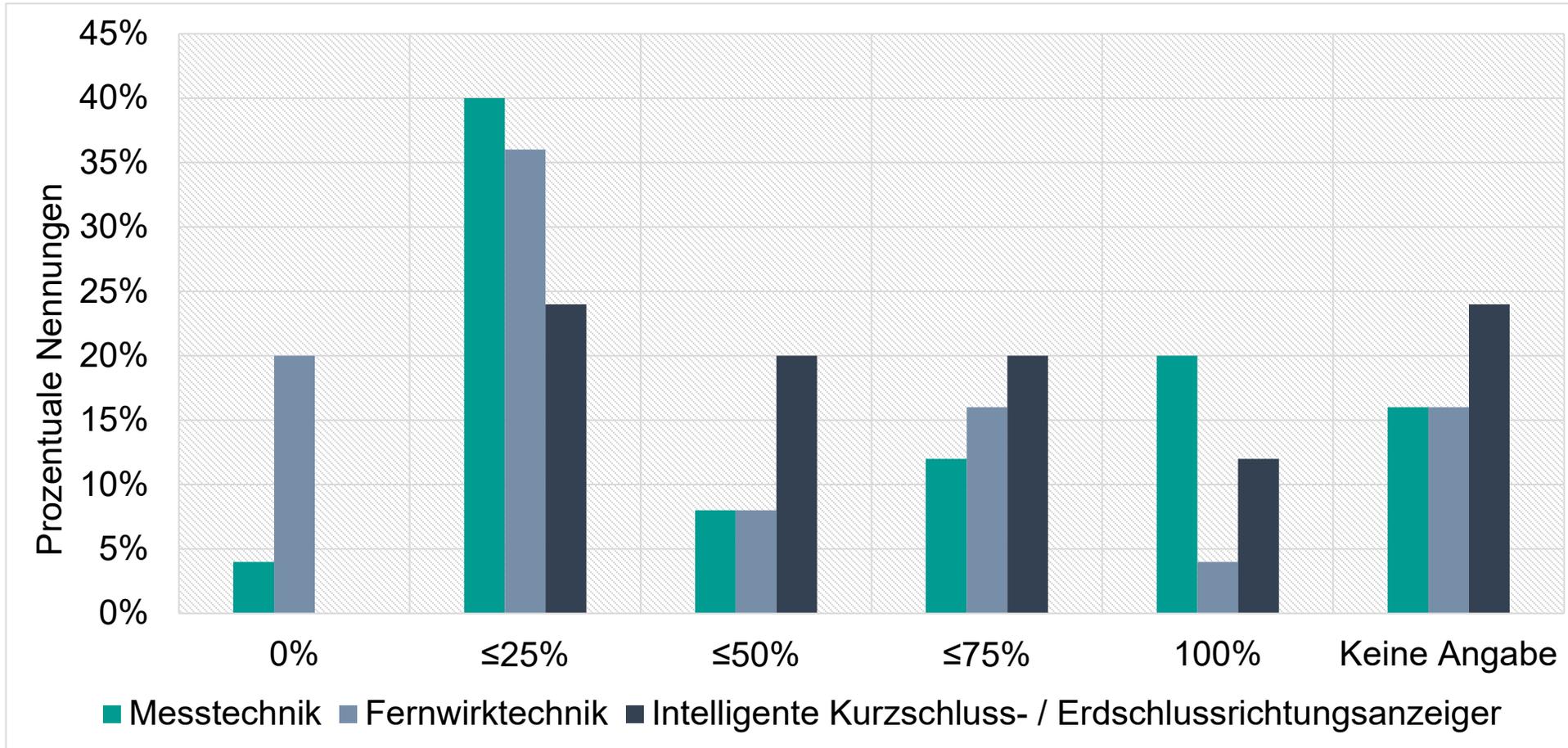
*Festlegungsverfahren zur Integration von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und steuerbaren Netzanschlüssen nach § 14a Energiewirtschaftsgesetz
<https://www.bundesnetzagentur.de/990754> [Letzter Zugriff am 24.11.2024]

Ergebnisse Umfrage



Stand Juni 2023

Frage: Wie viel Prozent Ihrer bestehenden Ortsnetzstationen MS/NS sind mit folgenden Lösungen ausgestattet?



Dargestellt sind jeweils die prozentualen Nennungen in Bezug auf all die Personen, die die Frage beantwortet haben (n=25).

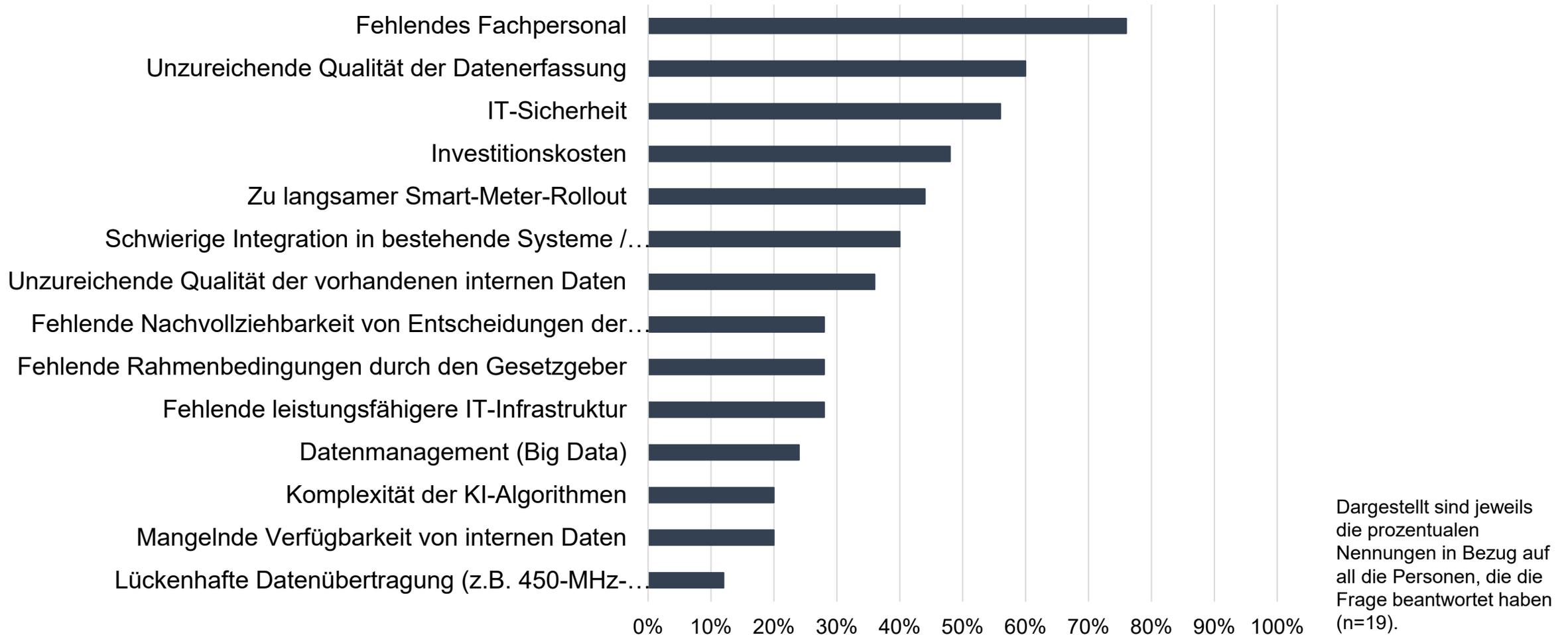
Gestellt wurde diese Frage nur an „**Stromnetzbetreiber:in**“.

Ergebnisse Umfrage



Stand Juni 2023

Frage: Worin sehen Sie in Ihrem Unternehmen die größten Hürden für den Einsatz von KI-basierten Algorithmen zur Stromnetzbetriebsführung auf Verteilnetzebene?



Umfrage „Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials von KI-basierten Algorithmen zur Betriebsführung und -planung von Stromverteilnetzen in Deutschland“, David Bengone, Juni 2023

KI-basierte Stromnetzbetriebsführung

Sicherstellung des ordnungsgemäßen Betriebs von elektrischen Anlagen:

- Schaltzustandsänderung an Transformatoren und Leitungen
- Steuerung der Produktion von PV-Anlagen
- Kontrolle der Ladevorgänge von Elektroautos
- Minimale Überwachung notwendig

```
# CLASS DEFINITIONS #####
class GNNGridControl(AbstractModel):
    def __init__(self, checkpoint_path, config_path, **kwargs):
        super().__init__(**kwargs)
        self.model = GraphLevelGNN.load_from_checkpoint(checkpoint_path)
        self.model.eval()

        with open(config_path) as config_file:
            self.config = yaml.safe_load(config_file)
            logging.debug(self.config)

    def __call__(self, time: pd.Timestamp, grid: Network):
        logging.debug(f"Entering {self.__class__.__name__}")

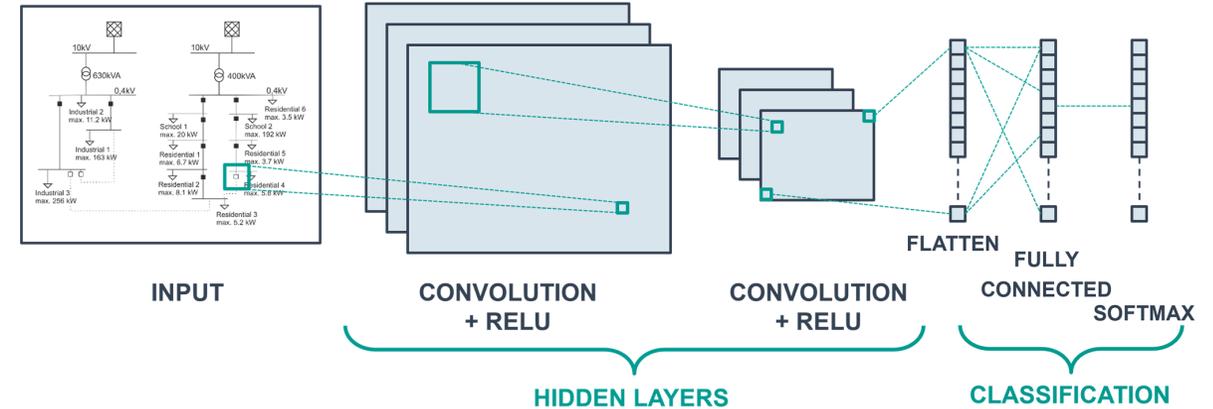
        graph = prepare_input_for_model(grid, **self.config)
        with torch.no_grad():
            y = self.model(graph)
            grid = apply_control(grid, y)

        return grid
```

KI-basierte Stromnetzbetriebsführung

Convolutional Neural Networks

- Zwei Ansätze für die Implementierung der Eingangsdaten untersucht
- Anwendung an einem virtuellem Netz getestet
- Automatisierte Erzeugung der Eingangsmatrizen
- Sehr hohe Vorhersagegenauigkeiten >99%
- Nachteil: Änderungen der Topologie führt zu neuem Trainingsbedarf

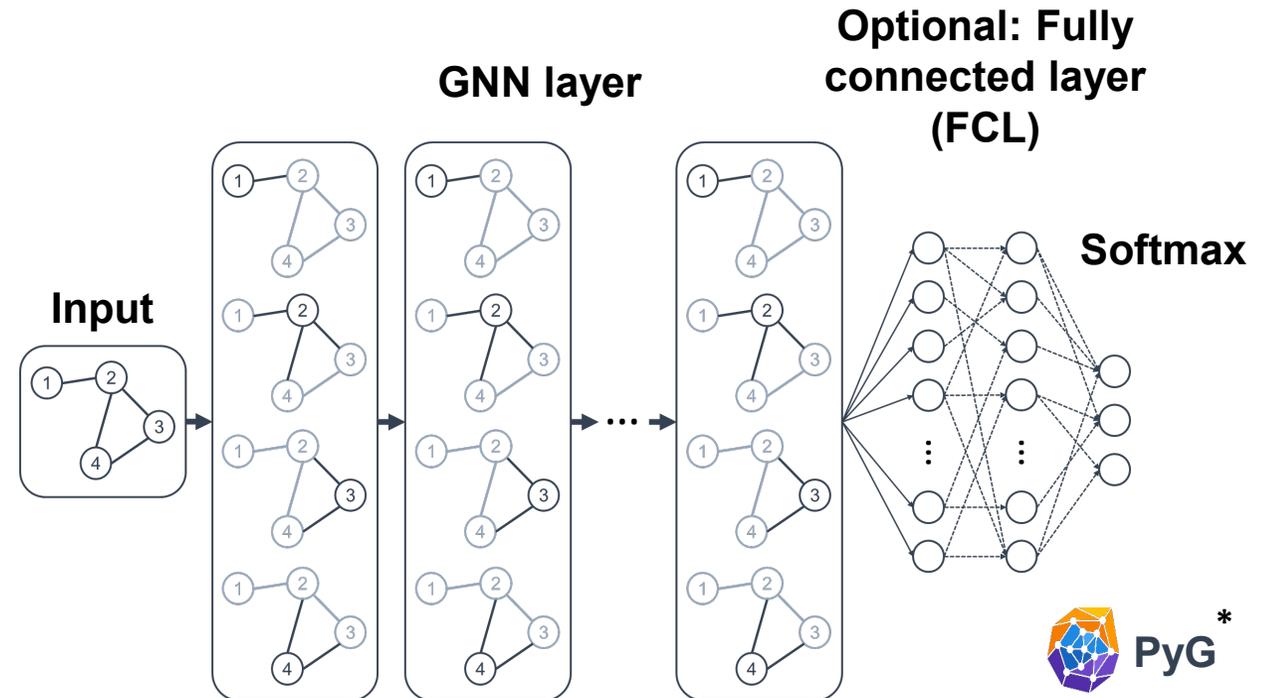


Metric	Precision	Recall	F1-Score
Macro Avg	0.96	0.97	0.96
Weighted Avg	0.99	0.99	0.99

KI-basierte Stromnetzbetriebsführung

Graph Neural Networks

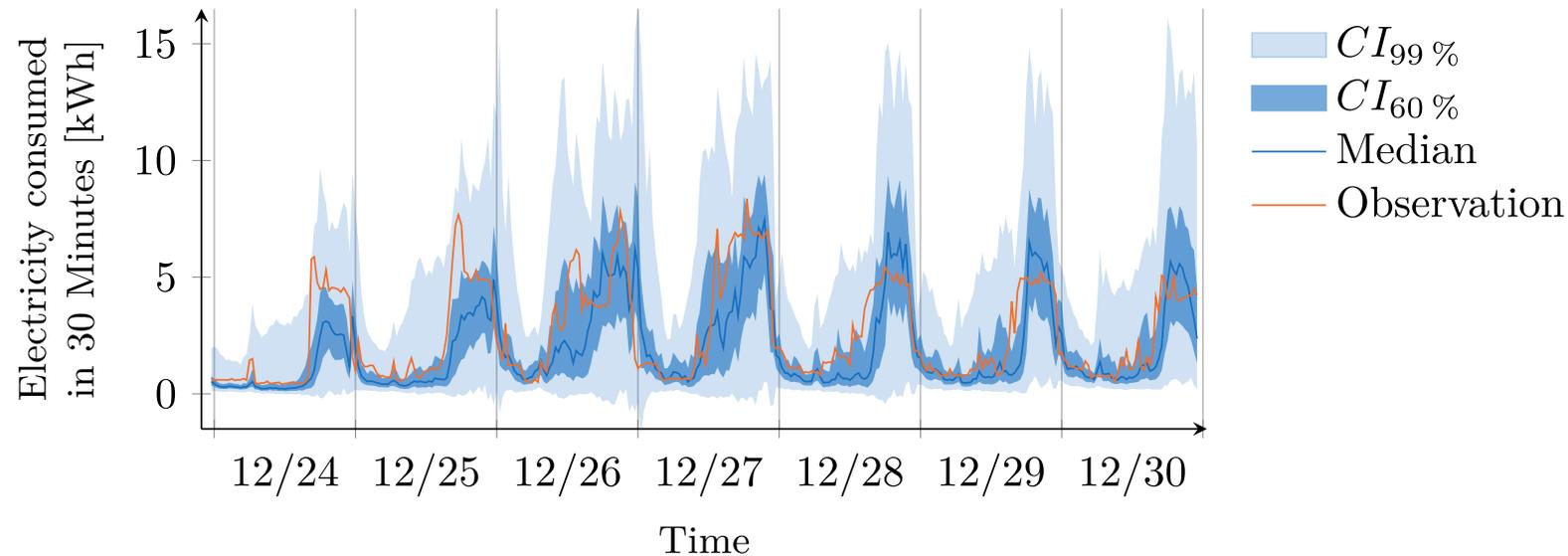
- Topologie des Netzes wird für das Training verwendet
- Modellarchitektur ist unabhängig von der Größe des Eingangnetzes und permutationsinvariant
- Das trainierte GNN kann auch auf neue Topologien angewendet werden
- Sehr gute Vorhersagewahrscheinlichkeiten von >94%



M. Linke et al., „Distribution Grid Management with Graph Neural Networks”, <https://www.zee-uni-freiburg.de/wp-content/uploads/2023/11/Poster-12-Distribution-grid-management-with-graph-neural-networks.pdf>

* M. Fey, J. E. Lenssen, Fast Graph Representation Learning with PyTorch Geometric, 2019, ICLR 2019 (RLGM Workshop), <https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.02428>

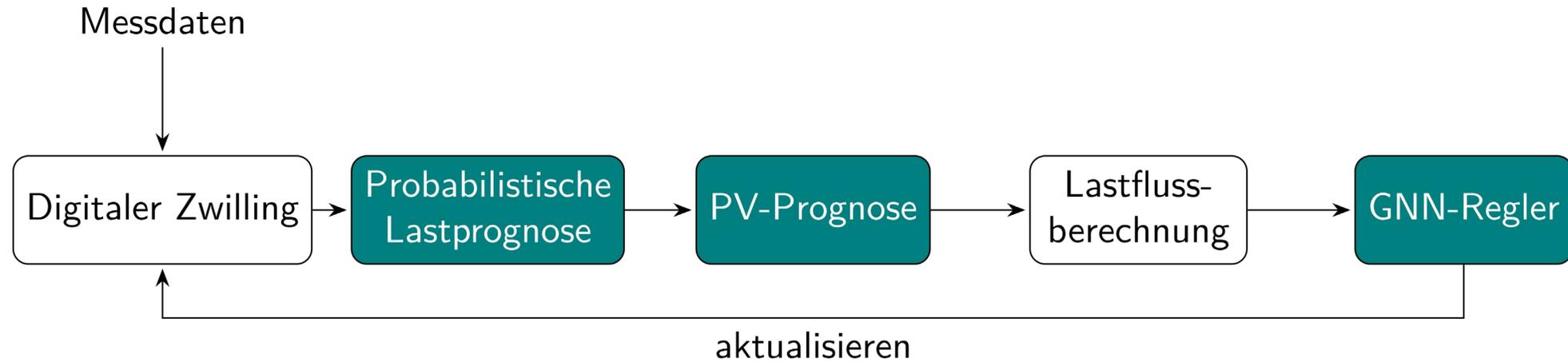
Probabilistische Vorhersagen



Problem: Für fehlende Messungen werden Prognosen benötigt, welche durch stochastische Prozesse erheblich beeinflusst werden.

- Bernstein Normalizing Flows können natürliche Schwankung und damit verbundene **Unsicherheiten sehr gut abbilden**
- Mögliche Anwendungen sind **Netzzustandsschätzung**, **Fehlererkennung** sowie **zeitreihen-gestützte Netzplanung**

Gesamtalgorithmus im Projekt AI4Grids



Kombination von **KI-Modellen** und klassischer Lastflussanalyse ermöglicht echtzeitfähige Betriebsführung von Verteilnetzen mit einem hohen Anteil an EE und Elektrofahrzeugen

Test im Digital Grid Lab @ Fraunhofer ISE



Webseite

www.digital-grid-lab.de

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Hausmann

Head of Grid Operation and Planning
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg, Germany

Phone +49 761 4588 5443

Mobil +49 173 2353936

bernhard.wille-hausmann@ise.fraunhofer.de



Demonstration Gesamtalgorithmus am Beispielnetz



Aktuelle Untersuchungen

Erklärbarkeit der Untersuchten GNN-Betriebsführung

Ziel:

- Entscheidungen der „Black Box“ KI nachvollziehbar machen
- Erfüllung der spezifischen Anforderungen für kritische Infrastruktur des EU AI Acts*

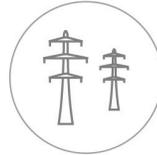
Energy storage systems



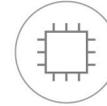
PV modules



Main electrical network



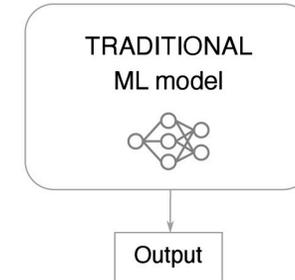
Power electronics



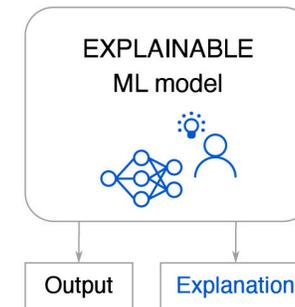
Wind turbines



Distributed loads



Why the model did this	?
Should I trust it	?
Can I correct an error	?



I understand why the model did this	!
I trust the model	!
I know how to correct an error	!



* Verordnung (EU) 2024/1689 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz und zur Änderung der Verordnungen (EG) Abb. Aus <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100169>

Transferstrategie



Software

- free and open Source Software
- Managed API



Consulting

- AI consulting
- Software Trainings
- Tailored Solutions



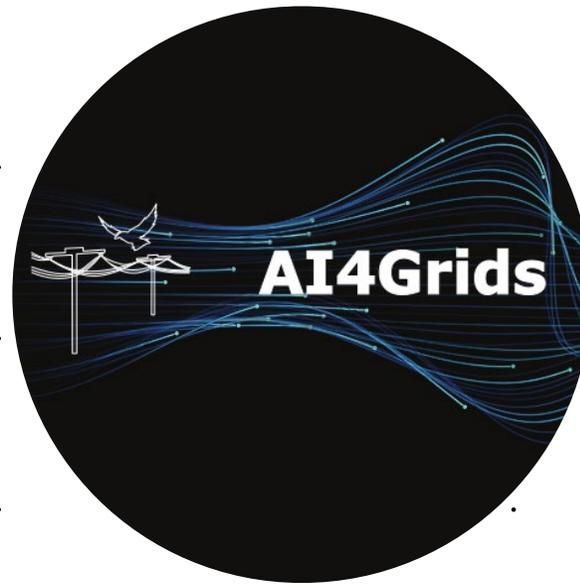
Enterprise

- Customized license models
- Maintenance
 - Extended Support



info@flowgrids.de

HTWG



Hochschule Konstanz
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Kontakt:

manuela.linke@htwg-konstanz.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages