

# Forschungsprojekt AI4Grids

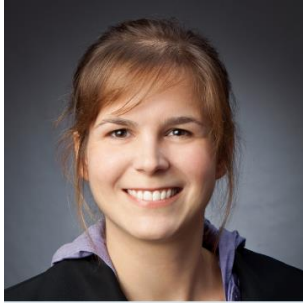
**KI – basierte Planung und Betriebsführung von  
Verteilnetzen und Microgrids zur optimalen Integration  
regenerativer Erzeuger und fluktuierender Lasten im  
Rahmen der Energiewende**

**IOS-Brownbag 26.11.2020**

# Team HTWG

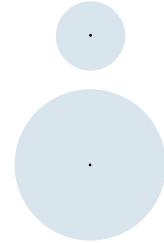
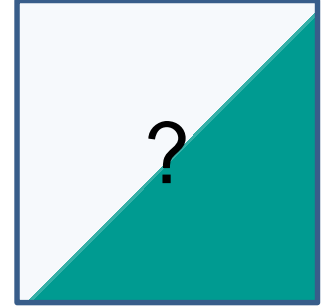


**Prof. Dr. Gunnar  
Schubert**



**Manuela Linke**

**Hiwis: Jan Weccard  
und Bashar Alkhatib**



# Projektdaten

Partner:



Projektlaufzeit: 09/2020 – 08/2023

Fördersumme: 2.530.830,76 Euro

Projektträger: Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH

Förderprogramm: KI-Leuchttürme für Umwelt, Klima, Natur und Ressourcen



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



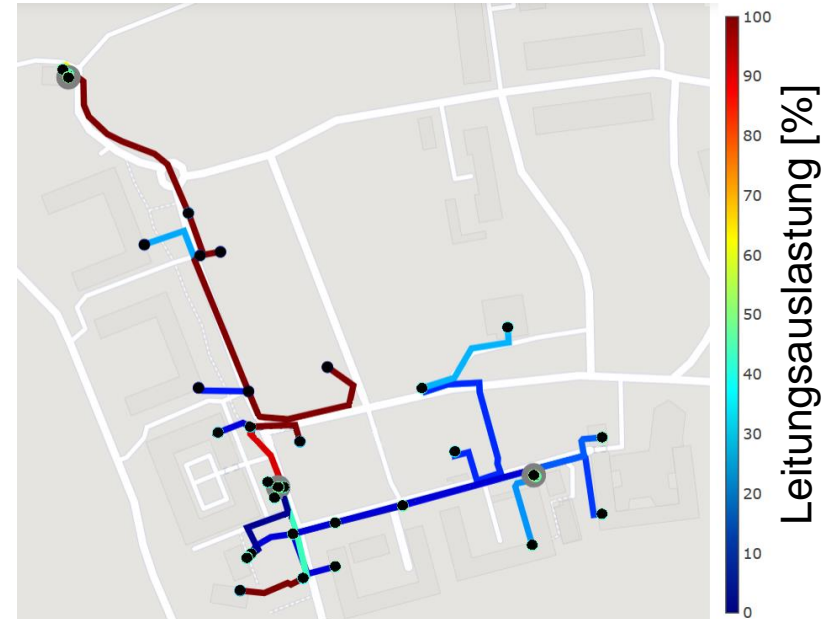
# Wie erreichen wir ein CO<sub>2</sub>-freies Energiesystem?



# Aktuelle Situation

## Wie wird das Verteilnetz gemanaged?

- Konventionelle Optimierung fokussiert auf einzelne Aufgaben
- Lange Rechenzeiten



Leitungsauslastung in einem Niederspannungsnetz.

# Forschungsvorhaben

## KI als Schlüsseltechnologie für die Optimierung der Verteilnetze

- Intelligente Vernetzung von Erzeugern und Verbrauchern
- Berücksichtigung von Flexibilitäten
- Handlungsfähig bei kurzfristig auftretende Überlastungen im Netz
- Reduzierung von Netzverstärkungs- und -ausbaumaßnahmen

# Stand der Forschung

## Einsatz von KI in Stromnetzen



Last- und  
Erzeugungsprognose<sup>1</sup>  
Transport- und Verteilnetz

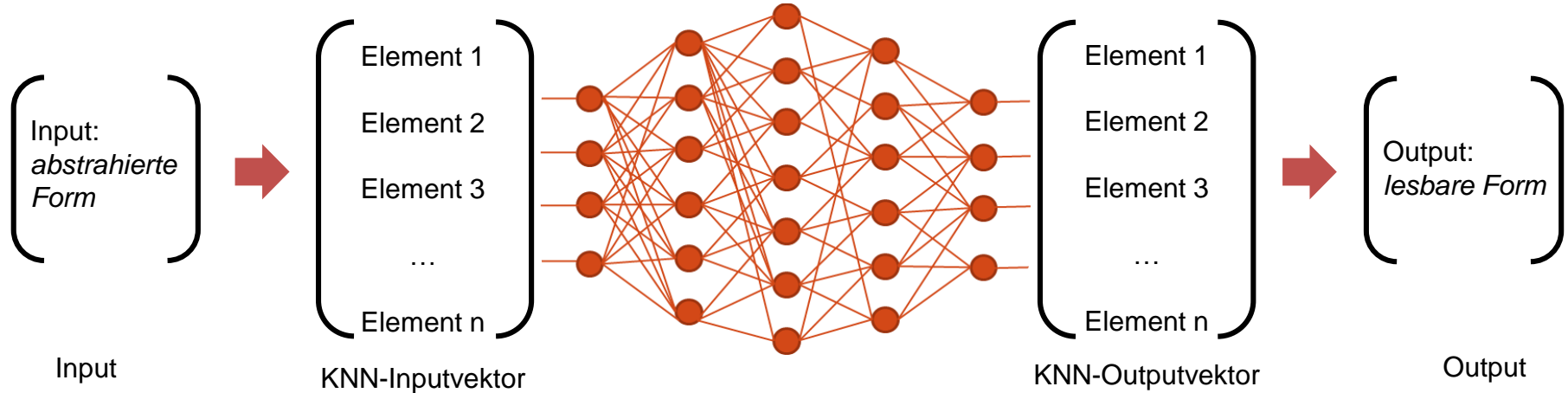


Netzregelung<sup>2</sup>  
Transportnetz



Netzzustandsüberwachung<sup>3-6</sup>  
Transport- und Verteilnetz

# KNN-Regler zur Betriebsführung



## Betrachtete Störfälle im Netz:

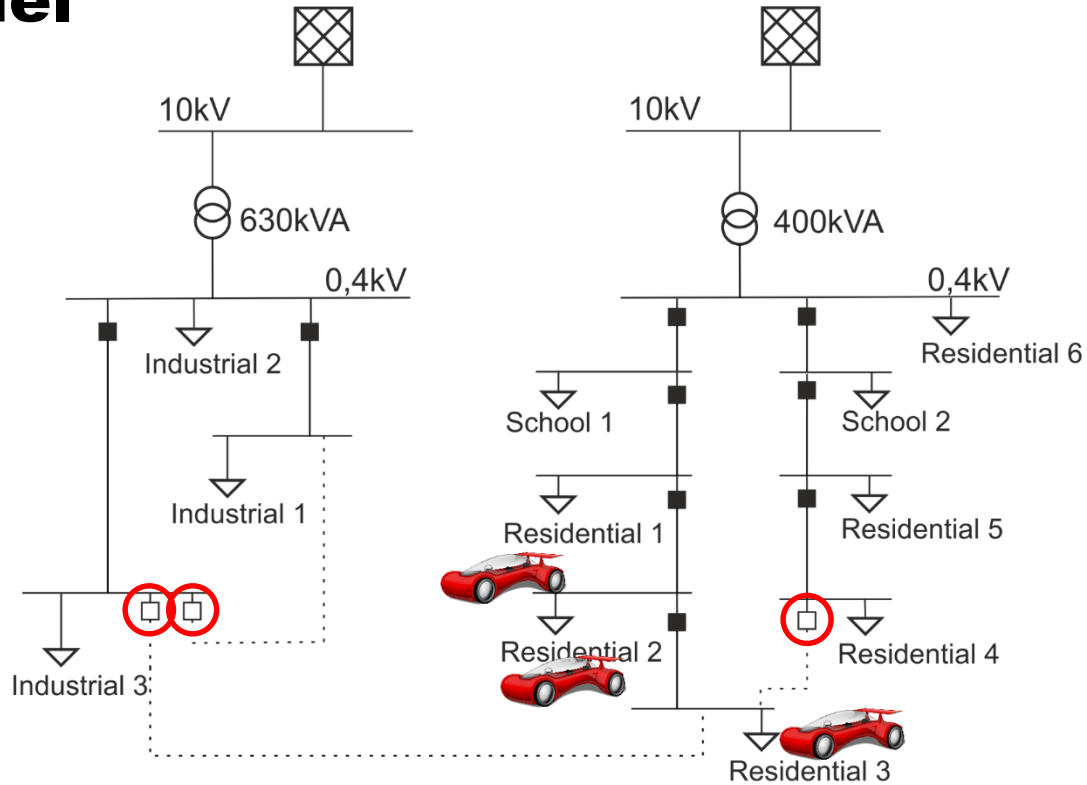
- Spannungsabweichung  $\geq 3$  Prozent
- Leitung oder Transformator überlastet

## Wahrscheinlichkeit für Lösung:

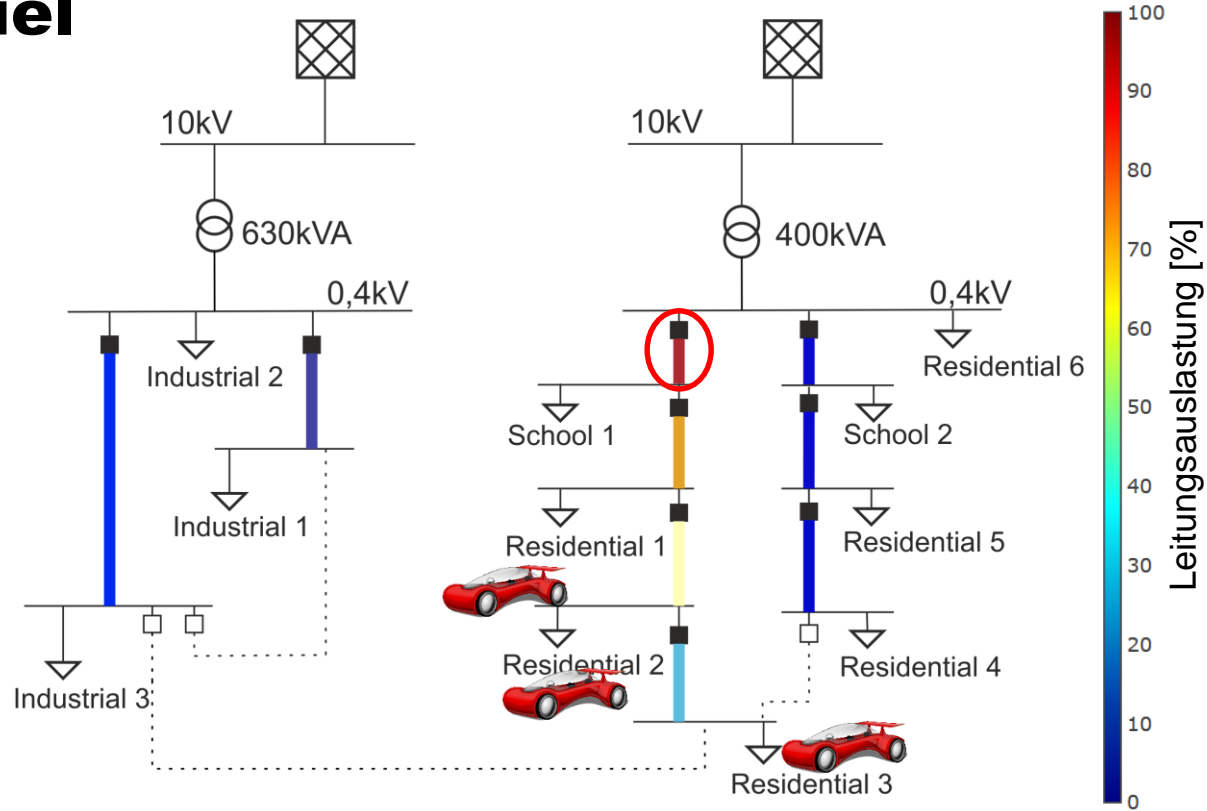
- Stufensteller der Transformatoren
- Fernsteuerbare Schalter
- Abregelung von Erzeugung / Verbrauch



# Beispiel



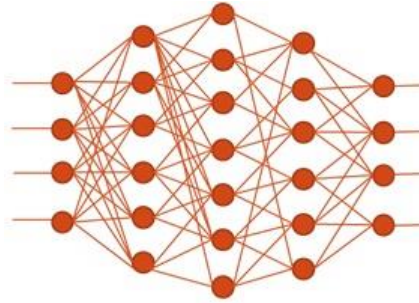
# Beispiel



# Beispiel

Inputvektor

$$\begin{pmatrix} Last1 \\ Last2 \\ Last3 \\ Last4 \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix}$$



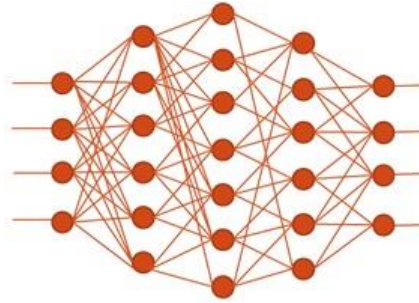
Outputvektor

$$\begin{pmatrix} Lösung1 \\ Lösung2 \\ Lösung3 \\ Lösung4 \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix}$$

# Beispiel

Inputvektor

$$\begin{pmatrix} Last1 \\ Last2 \\ Last3 \\ Last4 \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix}$$

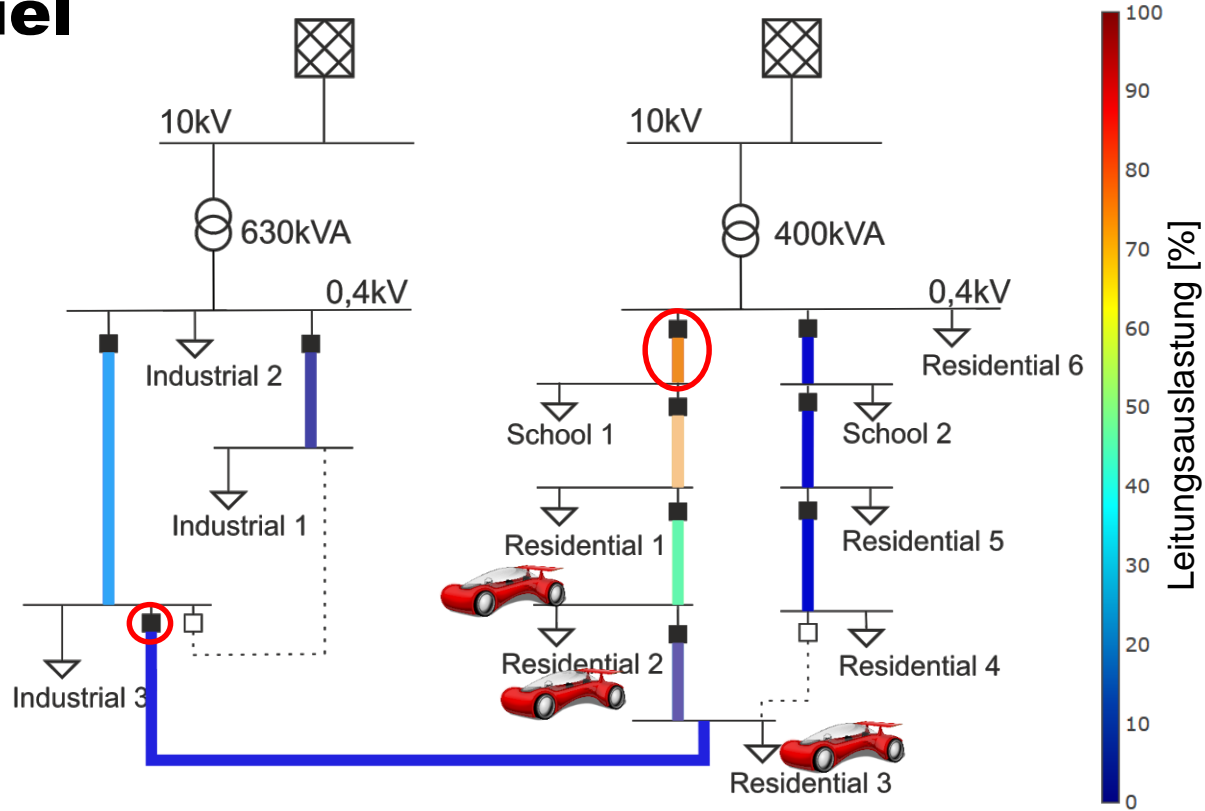


Outputvektor

$$\begin{pmatrix} 0.002 \\ 0.05 \\ \text{0.8} \\ 0.001 \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix}$$

➡ **Schließe Schalter 6!**

# Beispiel



# Ergebnisse IT-Grid-Design

**Zeitraum:** 01.04.2017 – 31.03.2020, verlängert bis 30.06.2020 (39 Monate)

**Projektpartner:** HTWG Konstanz, Fraunhofer ISE, ISC Konstanz

**Assoziierte Partner:** Stadtwerk am See, Siemens AG, DHBW Ravensburg

**Forschungsprogramm:** BWPLUS



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

# Netzbetriebsführung

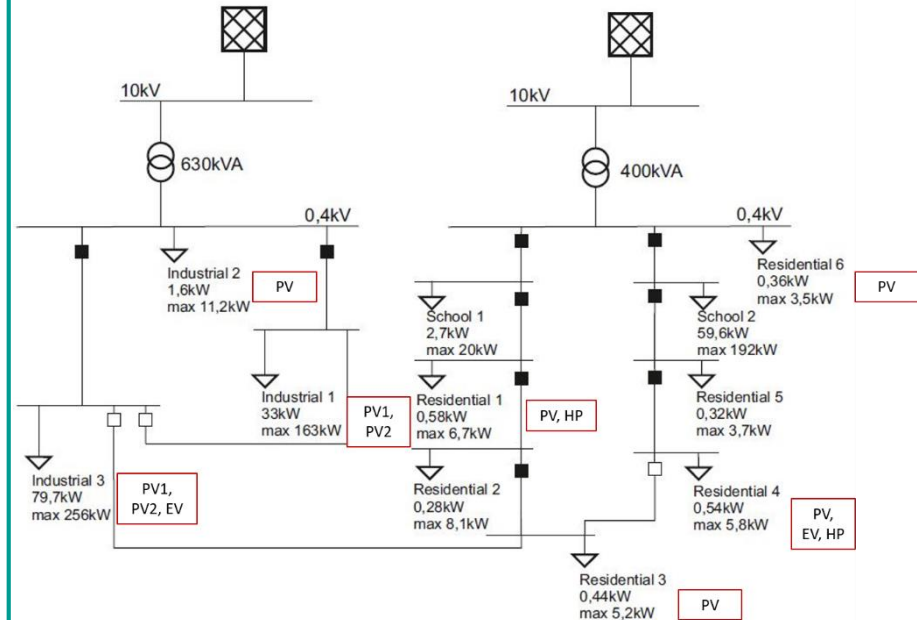
## Virtuelles Stromnetz für Cossmic-Daten (ISC Konstanz):

- 12 Knoten (3 Industrie, 6 Privat, 2 Schulen)
- 12 Leitungen
- 12 Schalter  $\rightarrow 2^{12}$
- 2 Trafos  $\rightarrow 5^2$

Von 4096 Schalterkombinationen  
sind 156 zulässig

Trafos: nur  $\pm 0$  und  $+ 2.5\%$

➡ 624 Netzkonfigurationen

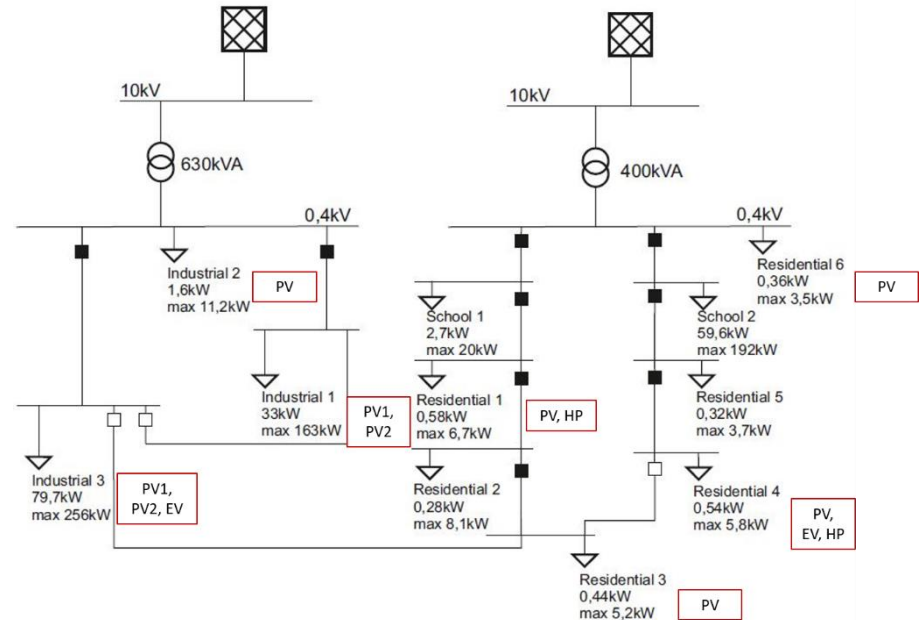


# Trainingsdatensatz

**Data:** CoSSMic-Project

**Szenario:** 3 Netzknoten konsumieren das 2-3 fache der maximalen gemessenen Last

➔ 8160 Störfälle + Lösungen





# Ergebnisse

## Vorhersagewahrscheinlichkeit der verschiedenen Netzbetriebsstrategien in Prozent

Minimierung der Verlustleistung in den Leitungen	88,3
Minimierung der Summe der Abweichungen von der Nennspannung	88,2
Minimierung der Anzahl an Steuerungshandlungen	91,4

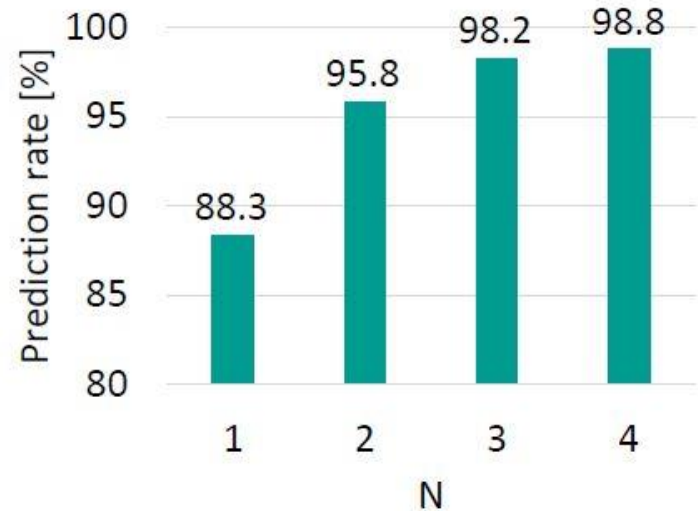
# N-best

## Vorhersagewahrscheinlichkeit der verschiedenen Netzbetriebsstrategien in Prozent

Minimierung der Verlustleistung in den Leitungen	88,3
--	------

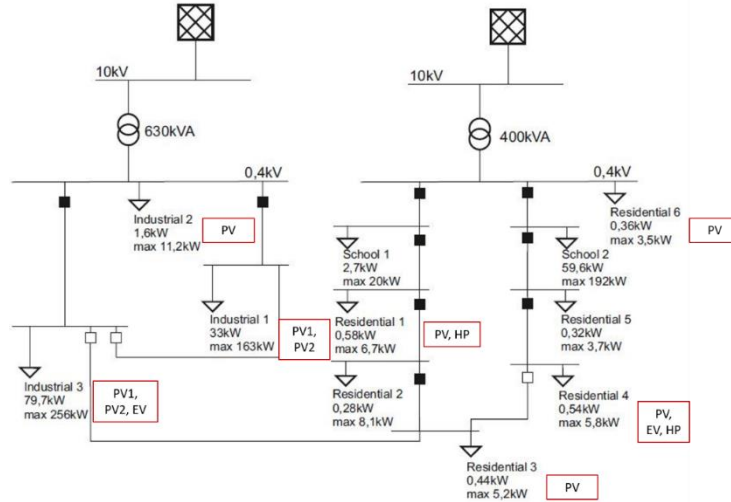
**Einschließlich der N am  
höchsten bewerteten  
Lösungen:**

Zusätzliche Rechenzeit auf unserem  
Simulationsrechner: 0.1 s  
(statt 10 s für alle 624 Kombinationen)



# Convolutional Neural Network (CNN)

## Netz: Cossmic-Netz



0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	Residential 6	0
0	0	0	0	School 1	0	School 2
0	0	0	0	Residential 1	0	Residential 5
0	Industrial 2	0	0	Residential 2	0	Residential 4
Industrial 3	0	Industrial 1	0	Residential 3	0	0
0	0	0	0	0	0	0

a)

Residential 6	School 2	Residential 5	Residential 4	0
School 1	0	0	0	0
Residential 1	0	0	0	0
Residential 2	0	0	Industrial 2	Industrial 1
Residential 3	0	0	Industrial 3	0

b)

0	Residential 3
0	Residential 2
0	Residential 1
Industrial 1	School 1
Industrial 2	Residential 6
Industrial 3	School 2
0	Residential 5
0	Residential 4

c)

Industrial 1
Industrial 2
Industrial 3
Residential 3
Residential 2
Residential 1
School 1
Residential 6
School 2
Residential 5
Residential 4

d)

Industrial 1
Industrial 2
Industrial 3
0
Residential 3
Residential 2
Residential 1
School 1
Residential 6
School 2
Residential 5
Residential 4

e)

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	Residential 6	0
0	0	0	0	School 1	0	School 2
0	0	0	0	Residential 1	0	Residential 5
0	Industrial 2	0	0	Residential 2	0	Residential 4
Industrial 3	0	Industrial 1	0	Residential 3	0	0
0	0	0	0	0	0	0

a)

Residential 6	School 2	Residential 5	Residential 4	0
School 1	0	0	0	0
Residential 1	0	0	0	0
Residential 2	0	0	Industrial 2	Industrial 1
Residential 3	0	0	Industrial 3	0

b)

0	Residential 3
0	Residential 2
0	Residential 1
Industrial 1	School 1
Industrial 2	Residential 6
Industrial 3	School 2
0	Residential 5
0	Residential 4

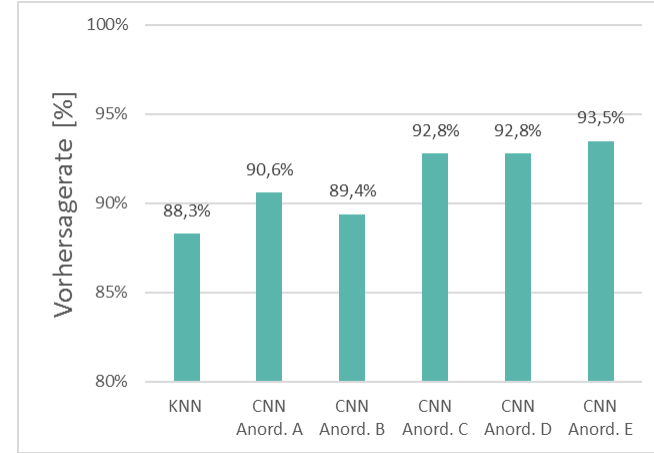
c)

Industrial 1
Industrial 2
Industrial 3
Residential 3
Residential 2
Residential 1
School 1
Residential 6
School 2
Residential 5
Residential 4

d)

Industrial 1
Industrial 2
Industrial 3
0
Residential 3
Residential 2
Residential 1
School 1
Residential 6
School 2
Residential 5
Residential 4

e)



## Fazit:

CNN – Ansatz funktioniert, allerdings:

- Pixel-Anordnung in der Form nicht optimal geeignet für unsere Anwendung
- Vielversprechende Alternative: Graph Neural Networks<sup>7,8</sup>

# KI Netzbetriebsführung

Erste Erfahrungen und Ergebnisse aus IT-Grid Design vielversprechend

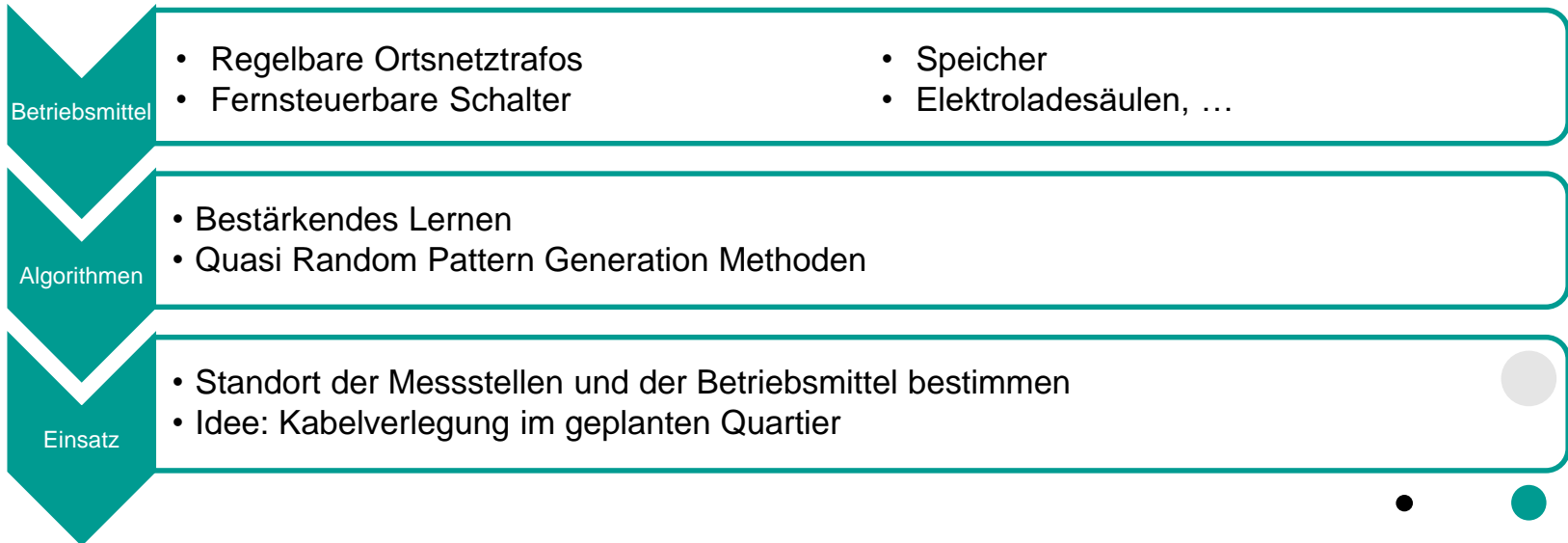
## Ziel in AI4Grids: KNN-Regler als selbstlernendes System zur Betriebsführung von Niederspannungsnetzen

- Bessere Trainingsdaten → Bessere Datengrundlage
- Flexibilitäten integrieren
- Optimierte KNN-Algorithmen

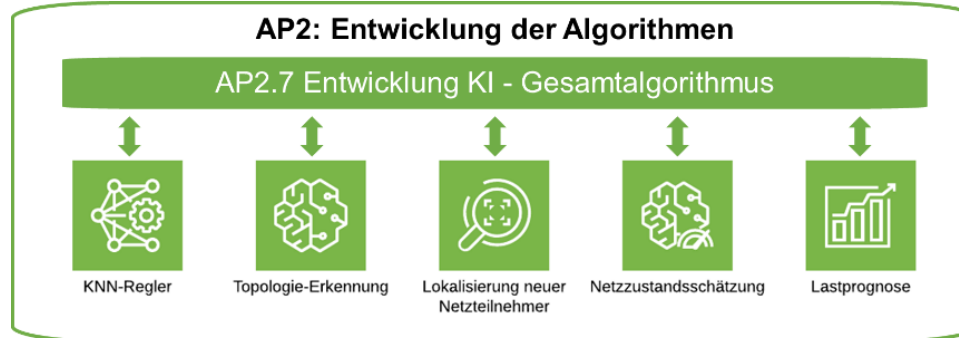
## Methoden:

- Convolutional Neural Networks & Graph Neural Networks
- Decision Trees, Support Vector Machines

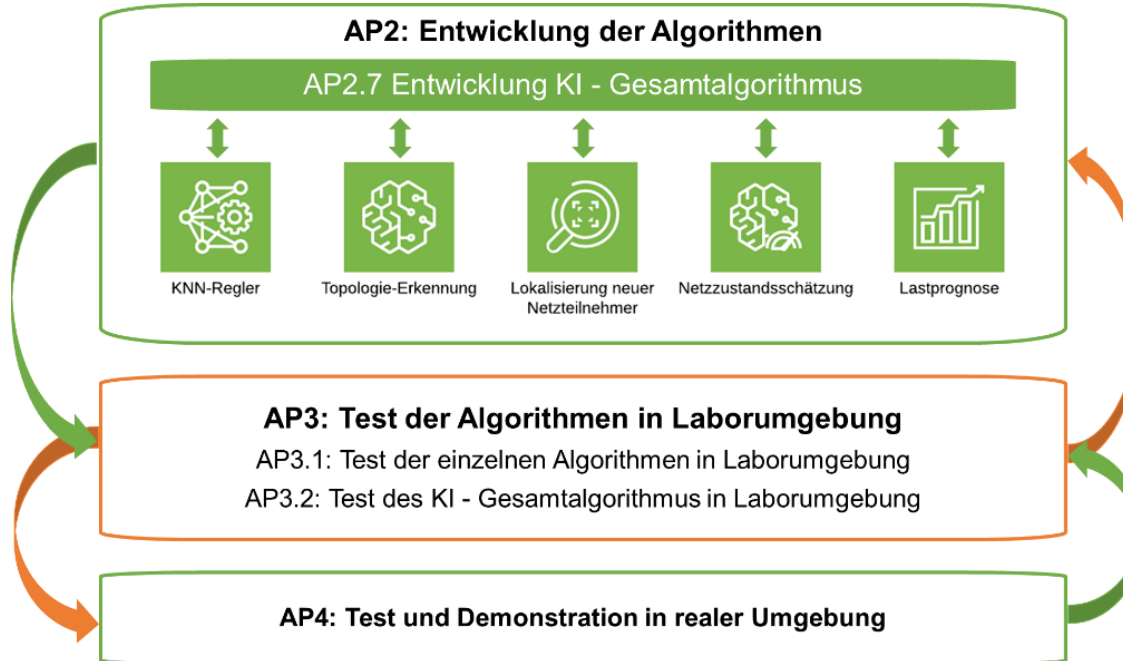
# KI zur Planung von Anzahl und Standorten von Betriebsmitteln und Messgeräten



# Projektplan



# Projektplan





# Projektplan

## AP3: Test der Algorithmen in Laborumgebung

AP3.1: Test der einzelnen Algorithmen in Laborumgebung

AP3.2: Test des KI - Gesamtalgorithmus in Laborumgebung



© Fraunhofer ISE

Leitwarte im Digital Grid Lab des Fraunhofer ISE als zentrale Schaltstelle für den Netzbetrieb mit KI-Verfahren.



# Reallabore

AP4: Test und Demonstration in realer Umgebung

## Quartier in Friedrichshafen:

Messungen an 10

Kabelverteilerstationen und

Transformatoren

## PlusEnergie Klimahäuser<sup>[1]</sup>:



## Wohnquartier in Allensbach:



# **Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Kontakt:  
[mlinke@htwg-konstanz.de](mailto:mlinke@htwg-konstanz.de)

# Literatur

- 1 D. Riley und G. Venayagamoorthy, „Characterization and modeling of a grid connected photovoltaic system using a recurrent neural network,“ in *Proc. IEEE Int. Joint Conf. Neural Networks*, 2011.
- 2 DynaGridCenter research project . [Online]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/topics/dyna-grid-center.html>. [Zugriff am 18 06 2020].
- 3 B. Donnot, I. Guyon, M. Schoenauer, A. Marot und P. Panciatici, „Fast Power system security analysis with Guided Dropout,“ 2018.
- 4 B. Donnot, I. Guyon, M. Schoenauer, A. Marot und P. Panciatici, „Anticipating contingencies in power grids using fast neural net screening,“ in *Proc. IEEE Int. Joint Conf. Neural Networks (IEEE WCCI)*, 2018.
- 5 „Gridhound - Smart Solutions for smart Grids,“ [Online]. Available: <https://www.gridhound.de/>. [Zugriff am 16 07 2020].
- 6 „Windnode - Das Schauenfenster für intelligente Energie aus dem Nordosten Deutschlands,“ [Online]. Available: <https://www.windnode.de/>. [Zugriff am 07 2020].
- 7 F. Diehl, „Warm-Starting AC Optimal Power Flow with GraphNeural Networks,“ in *33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)*, 2019.
- 8 F. Diehl, „Applying Graph Neural Networks on Heterogeneous Nodes and Edge Features,“ in *33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)*.

# Anhang

# KNN-Regler zur Betriebsführung

## Bewertungskriterien

- Rechenaufwand / Ressourcen
- Führt der Einsatz des KI-Reglers zu geringeren Netzausbaukosten?
- Können zusätzliche Energieerzeugungsanlagen und Verbraucher integriert werden?
- Vergleich mit konventionellen Betriebsführungsalgorithmen
- Vorhersagegenauigkeit der untersuchten KI-Algorithmen
- Robustheit