

Netzzustandsschätzung und Leistungsvorhersage mit KI



Netzzustand
Leistungsvorhersage
Zustandsschätzung



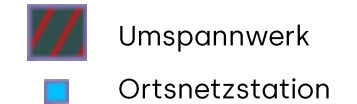
Netzzustandsschätzung

Definition

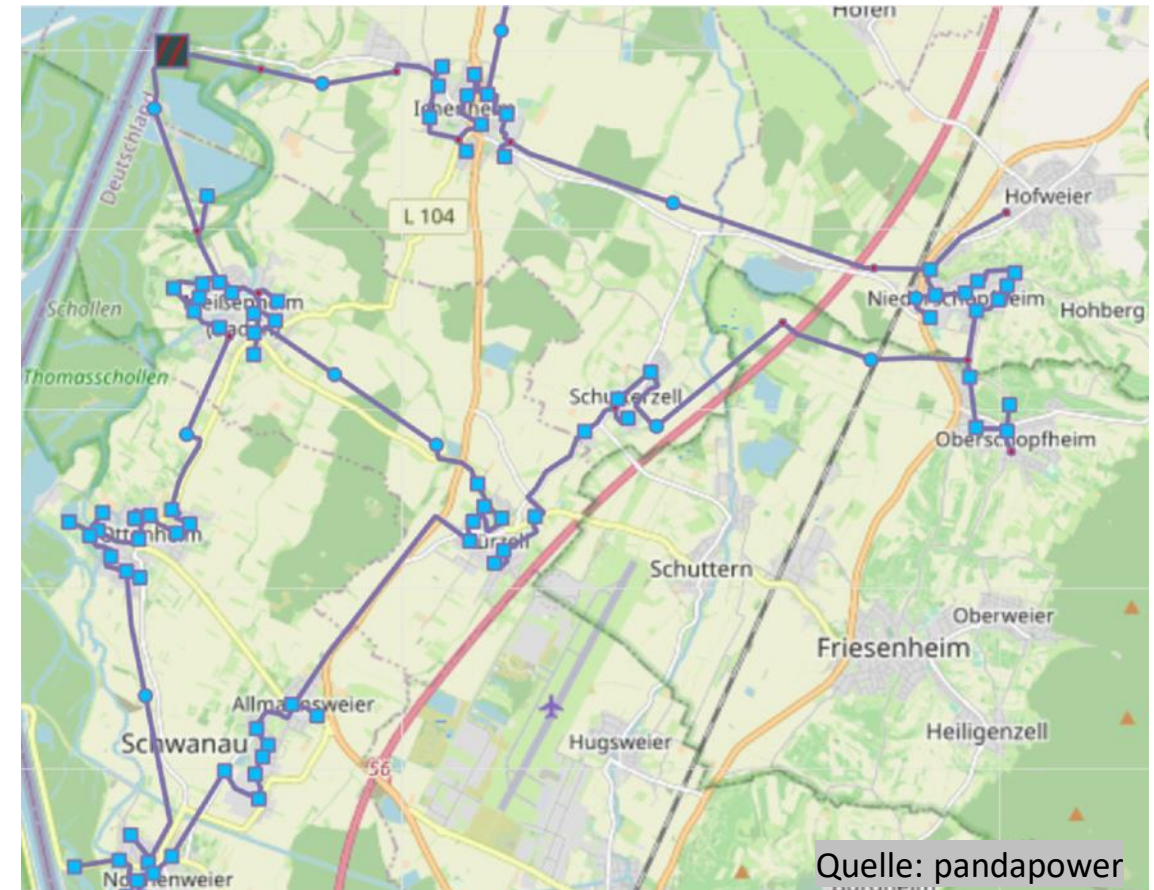
Ermittlung des vollständigen und möglichst genauen elektrischen Betriebszustands eines elektrischen Netzes

Ermöglicht:

- Vollständigen digitalen Zwilling
- höhere Planungssicherheit durch faktenbasierte Netzausbauplanung (z. B. Anschlussbegehren)
- höhere Durchdringung mit Erneuerbaren und E-Mobilität für CO2-Einsparung
- Aktiver, effizienter und stabiler Betrieb von Verteilnetzen mit hoher Dynamik



Teilnetz Oberrhein (Mittelspannung)



Quelle: pandapower

Netzzustand

Ein nach dem Ohmschen Gesetz modellierter Netzzustand erfüllt die folgende Gleichung:

$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2N} \\ \vdots & \ddots & \cdots & \vdots \\ Y_{NN} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{pmatrix} \quad Y_{ij}, V_i, I_i, S_i \in \mathbb{C}$$

- V_i Spannung am Knoten i
- I_i Strom, der am Knoten i erzeugt oder abgeführt wird
- $S_i = V_i I_i^*$ am Knoten i generierte/verbrauchte Leistung
- Y_{ij} Admittanz zwischen den Knoten

Netzzustand

Ziel der Netzzustandsschätzung: Bestimme alle V_i und I_i , bzw. die komplexen Leistungen S_i .

Herausforderung: Einbau von Messtechnik ist sehr teuer, entsprechend wenige Knoten werden vermessen.

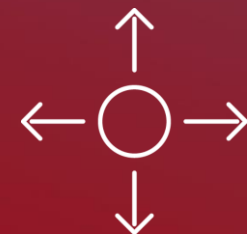
$$\begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2N} \\ \vdots & \ddots & \cdots & \vdots \\ Y_{NN} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{pmatrix}$$

} Unbekannt

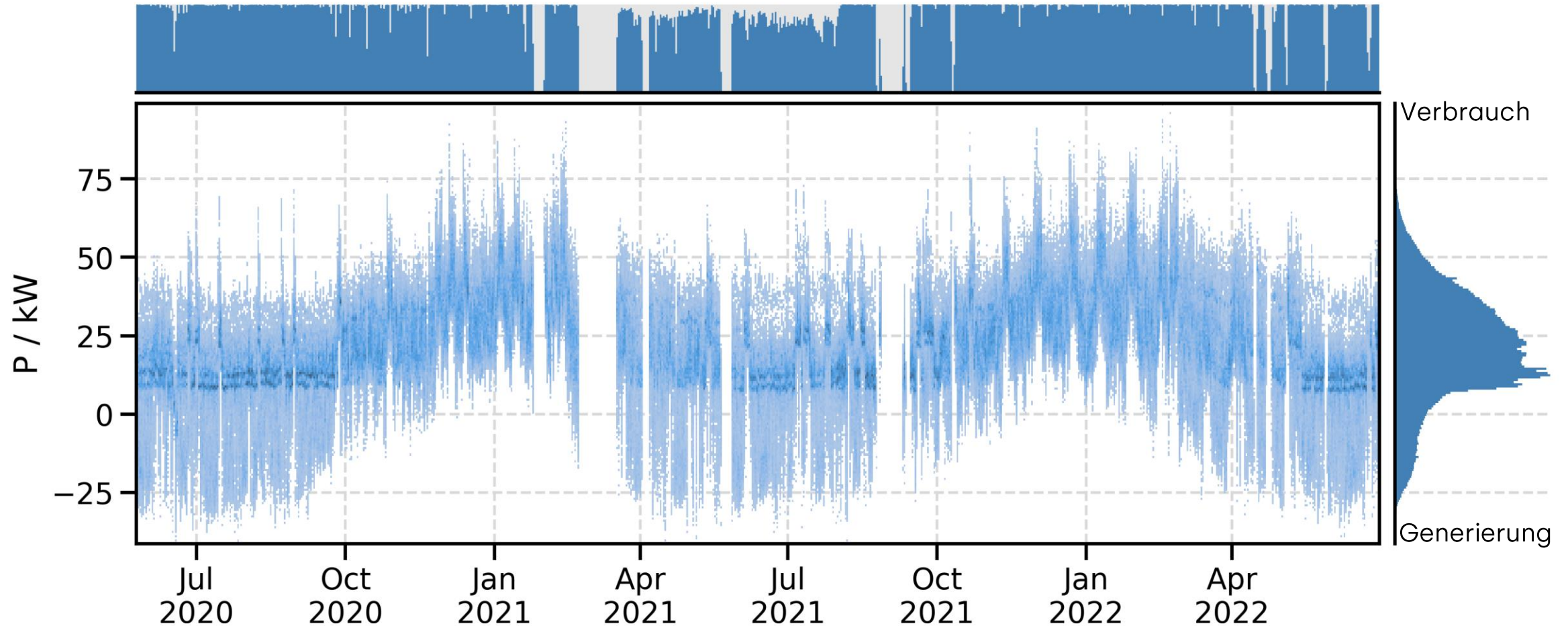
Das Gleichungssystem ist extrem unterbesetzt und analytisch unlösbar!

KI - Leistungsvorhersage

Einschränkung des Lösungsraums der Lastflussgleichung



Beispiel einer Leistungsmessung

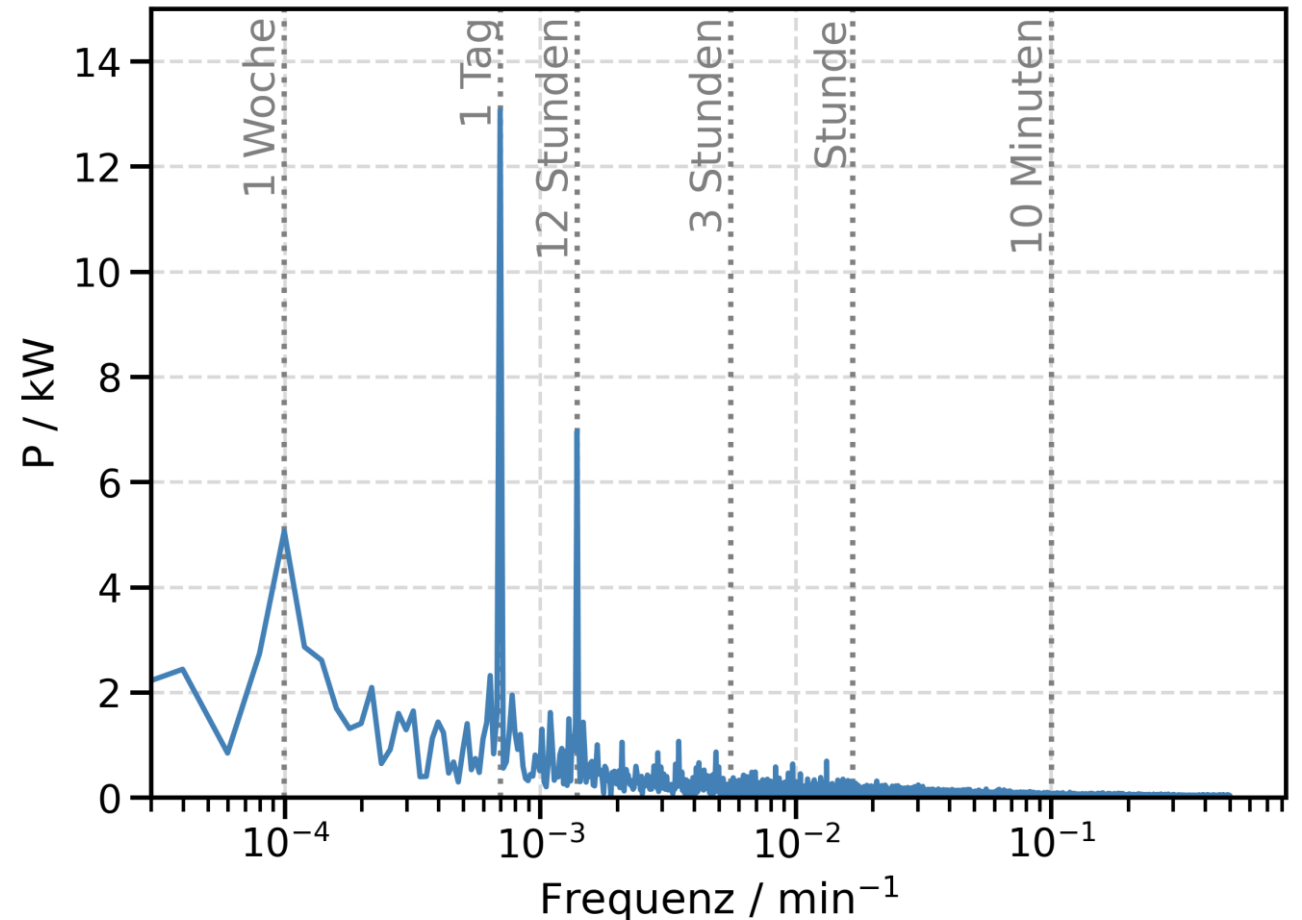


Leistungsspektrum (FFT)

Wenn die Messreihe in ihre Frequenzanteile aufgeteilt wird, wie man es primär aus der Audiovisualisierung kennt, zeigt das Spektrum deutliche Peaks.

Diese Peaks spiegeln eine Periodizität der Messdaten mit den Intervallen halber Tag, ganzer Tag und eine Woche.

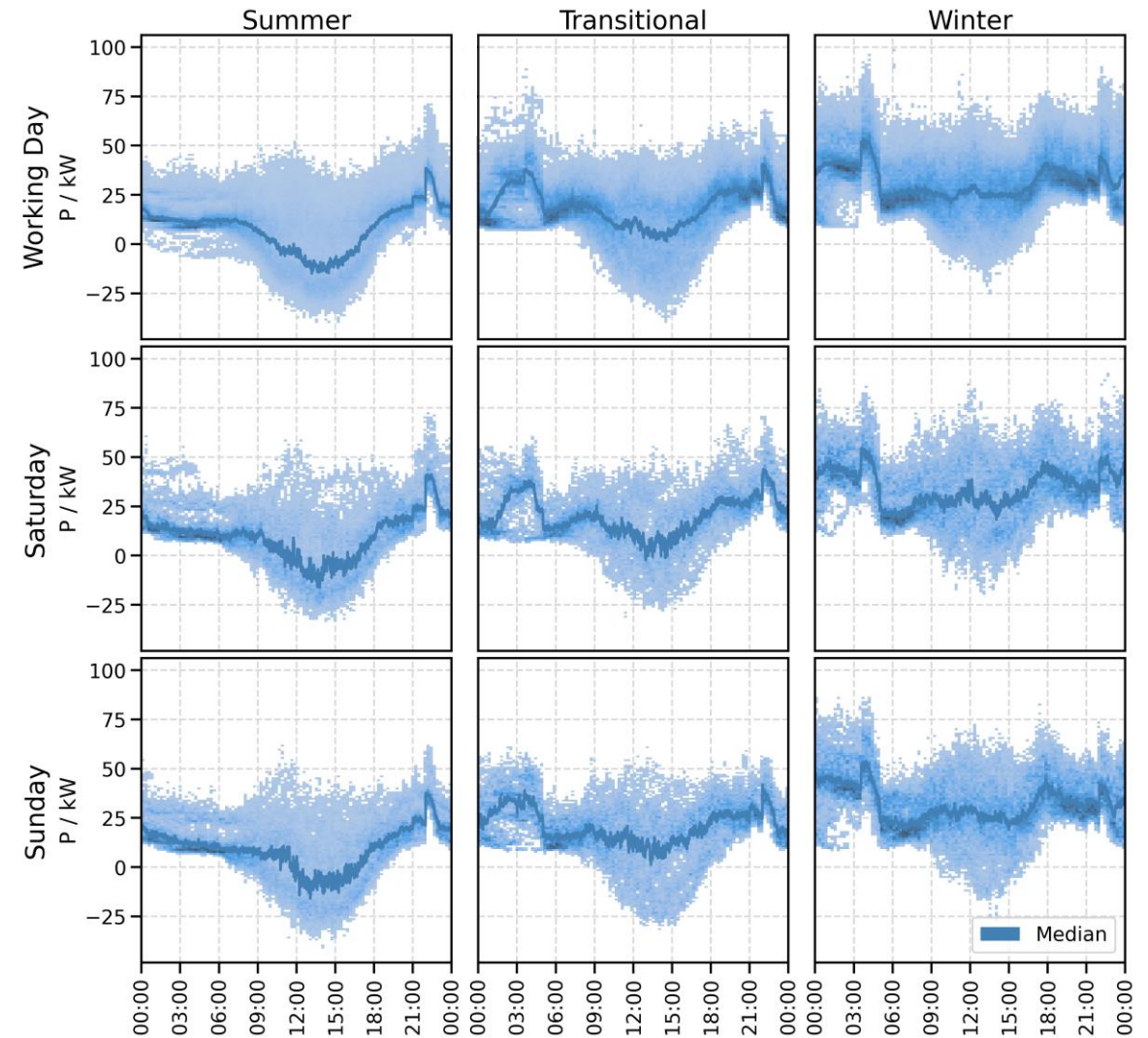
Neben den Peaks gibt es ein Rauschen. Das weist darauf hin, dass die Messdaten aperiodischen Einflüssen ausgesetzt sind.



Leistungsprofil

Messreihe ist aufgeteilt nach Jahreszeit und Tag analog zum klassischen Ansatz mit SLP-Kurven.

- Die Transition zwischen Winter und Sommer ist deutlich.
- Typ-Tage spielen in dieser Messreihe eine kleine Rolle, aber werden mit Gewerbelasten enorm wichtig.
- Abweichung einer Einzelmessung vom idealen SLP kann sehr groß ausfallen.
 - Wetter als Einfluss wird nicht beachtet!



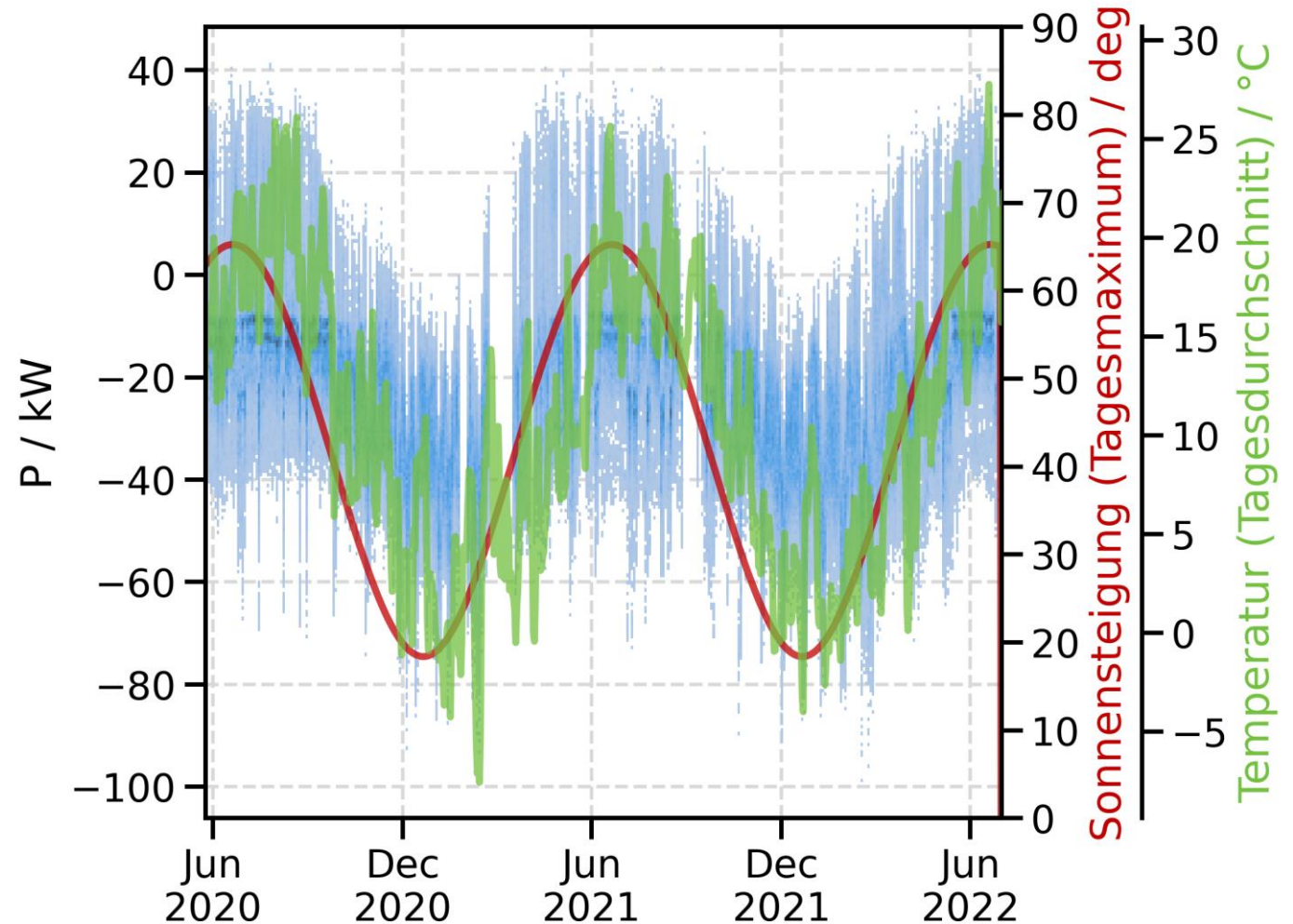
Temperatur und Sonnenstand

Die Leistungsmessung folgt dem generellen Verlauf von Temperatur, aber auch dem Sonnenwinkel.

Wenn die Sonne steil einfällt, generieren die PV Anlagen mehr Energie.

Wenn die Temperatur fällt, werden Heizanlagen zugeschaltet.

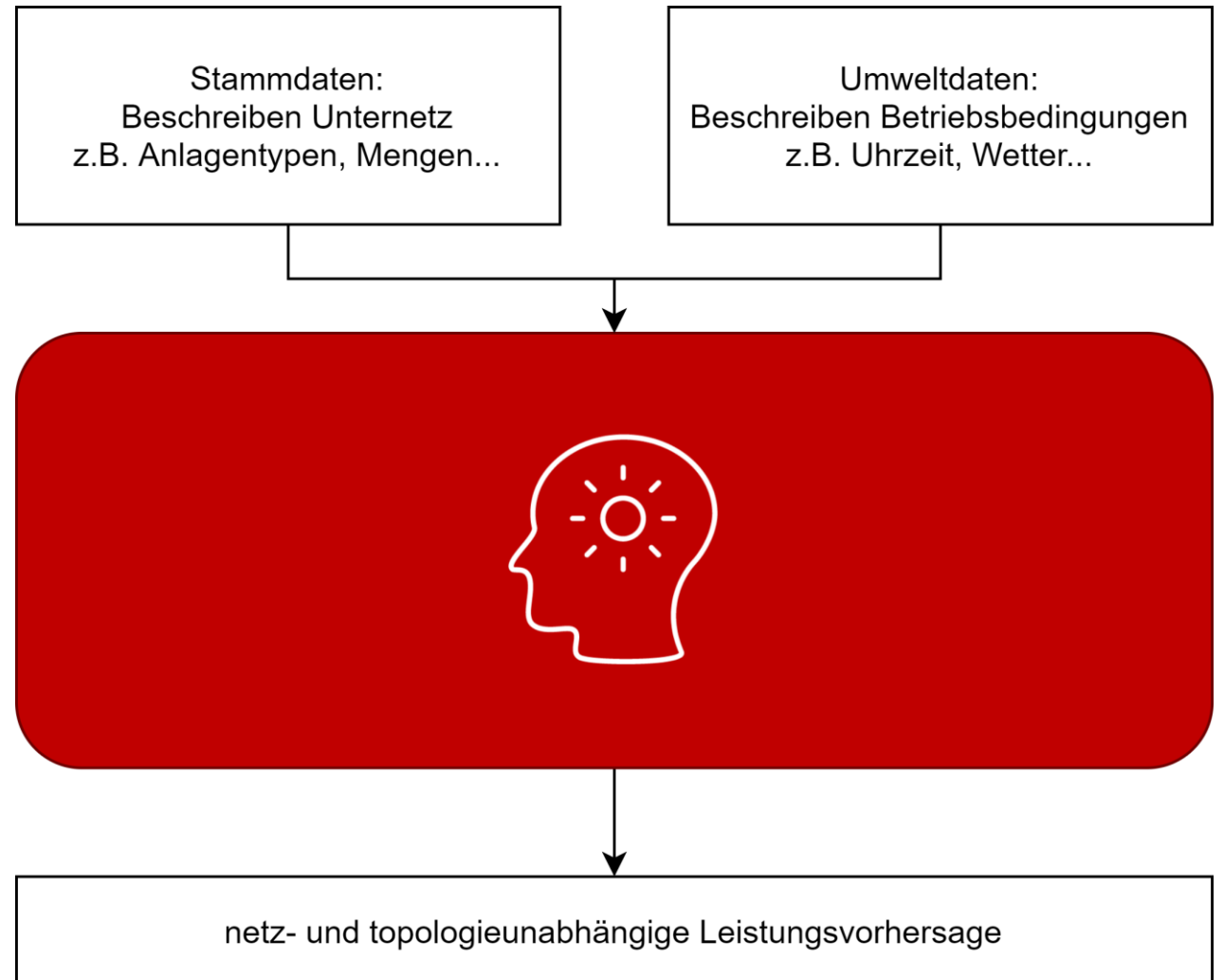
Anmerkung: Vorzeichen von P ist vertauscht.



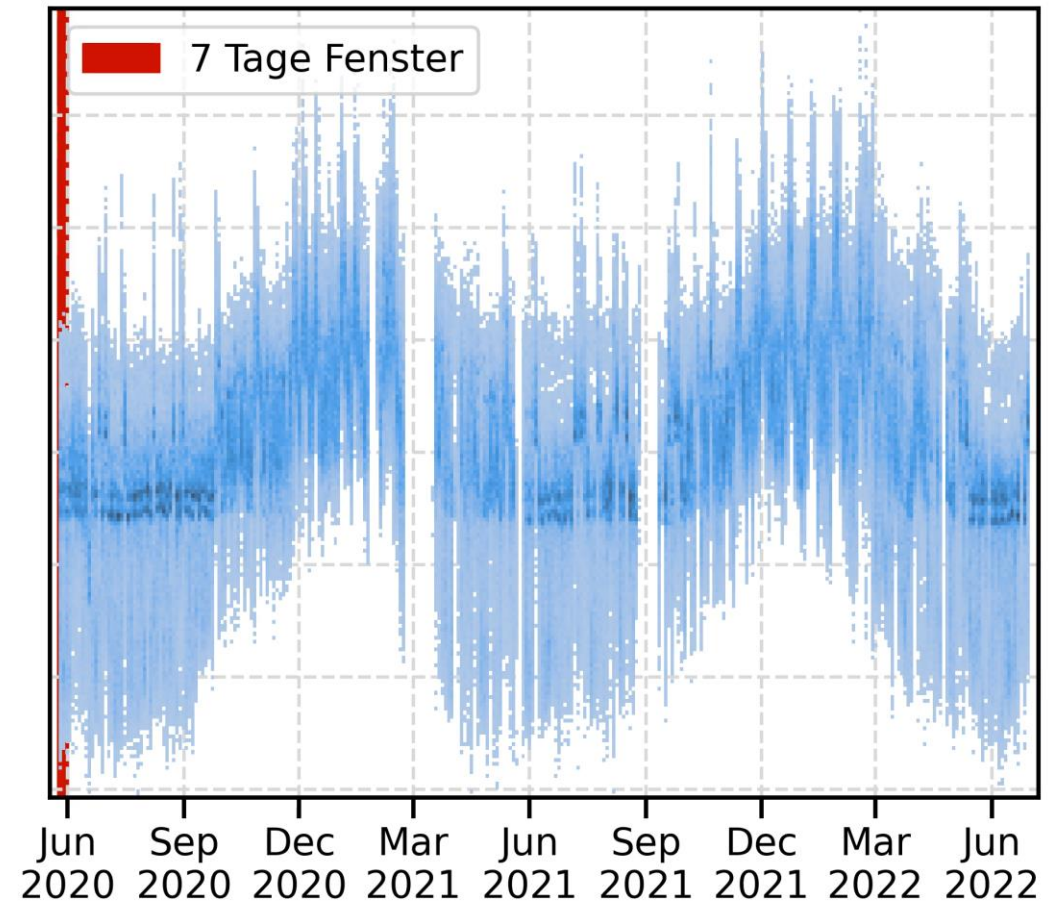
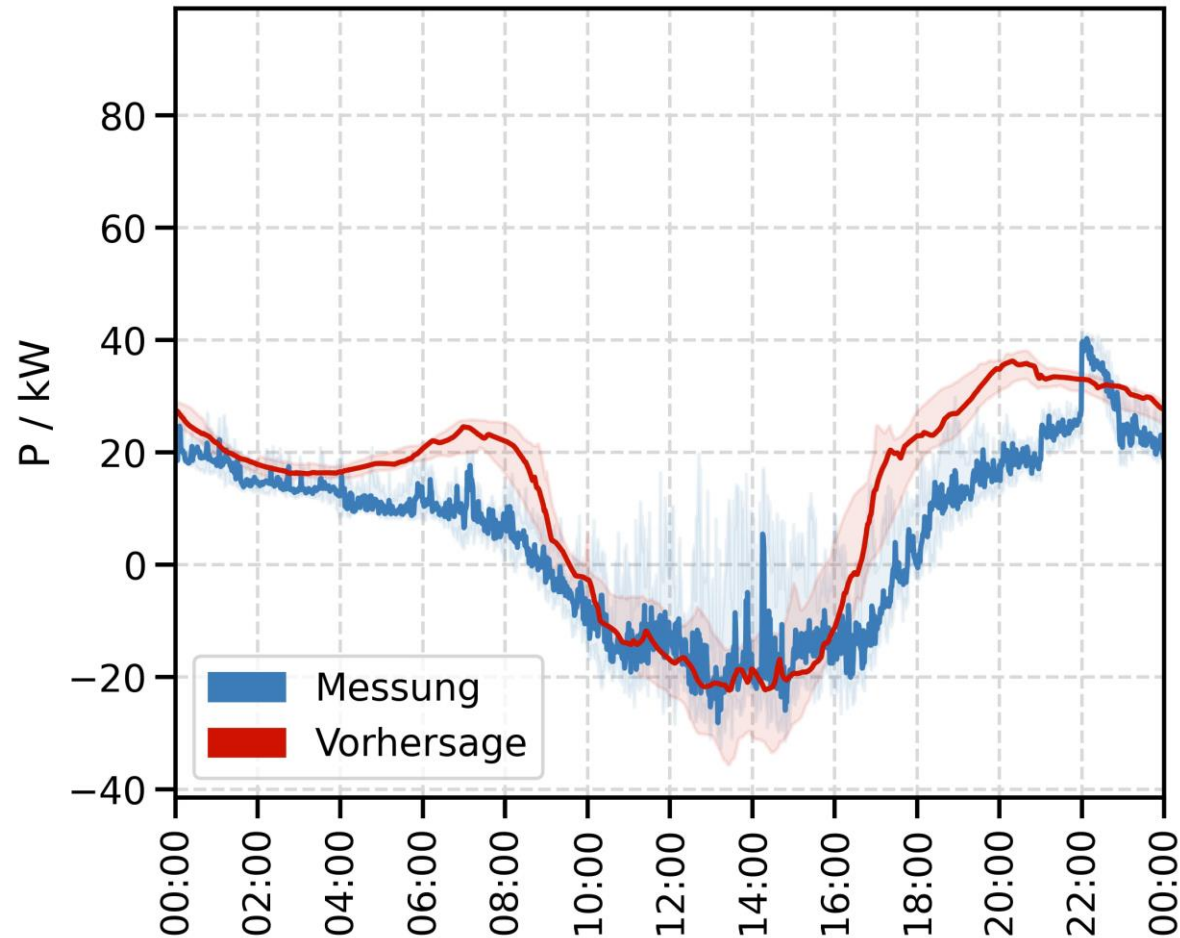
KI Ansatz

- Training der AI basiert auf
 - historischen Messdaten
 - Stammdaten
- Die Topologie des elektrischen Netzes fließt **nicht** in das Training ein
 - Das trainierte AI-Model ist übertragbar auf andere Netzgebiete

Effektiv wird ein AI-Leistungsprofilgenerator trainiert, der einer Station mit bekannten Stammdaten einen erwarteten Arbeitspunkt unter beliebigen Umweltbedingungen zuordnen kann.



KI-generierte Leistungsvorhersage



KI - Zustandsschätzung

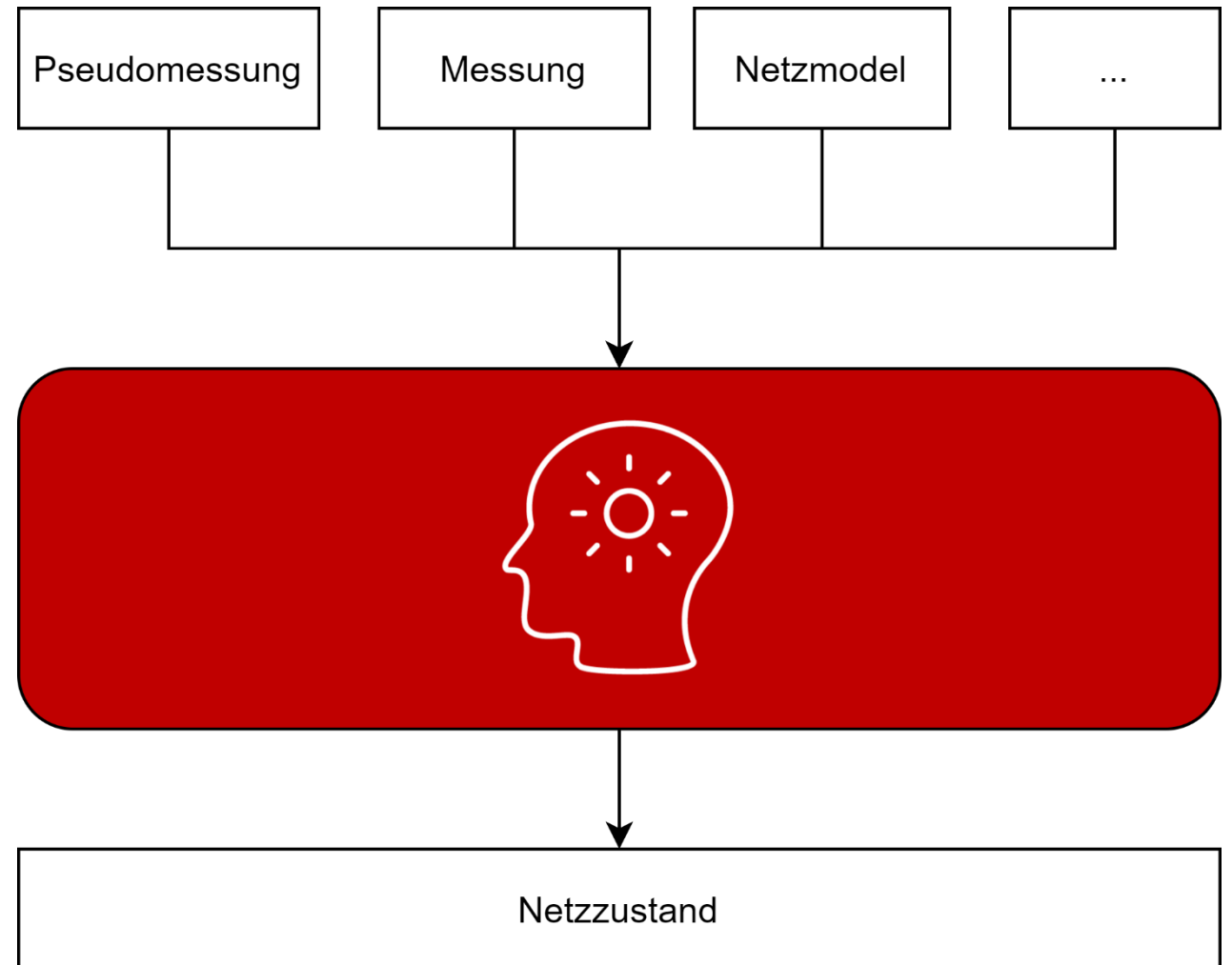
State-Estimation-KI (SEKI) zur Lösung der Lastflussgleichung



KI Ansatz

- Training der AI basiert auf Leistungsprofilen und reellen Messungen.

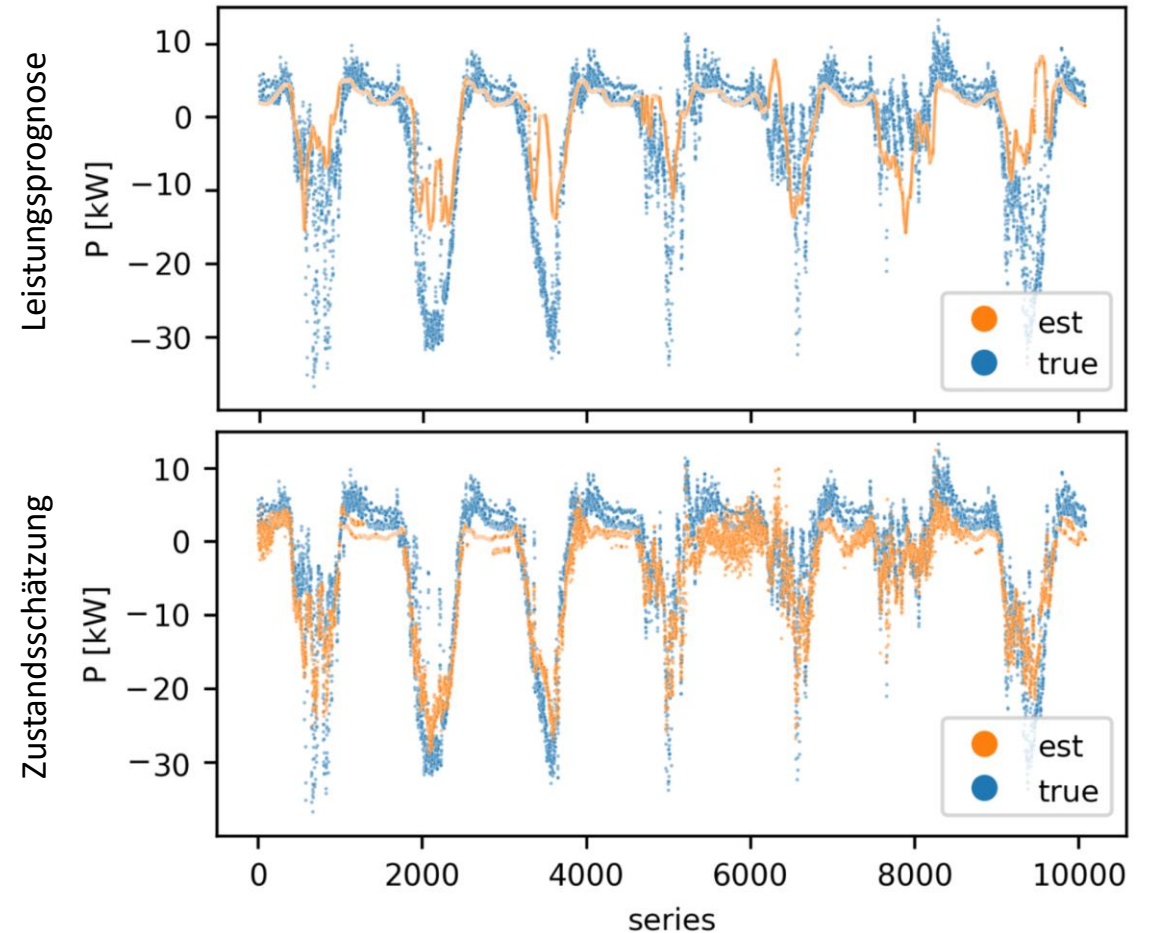
Die AI lernt die Pseudomessungen unter Restriktion der Lastflussgleichung zu korrigieren und den Gesamtnetzstatus zu rekonstruieren.



KI-korrigierte Leistungsschätzung

Die Hinzunahme von Momentan-Messwerten führt zu einer Korrektur der direkten Leistungsschätzung.

Hier wurden 5 Messtellen hinzugenommen.



Netzzustandsschätzung

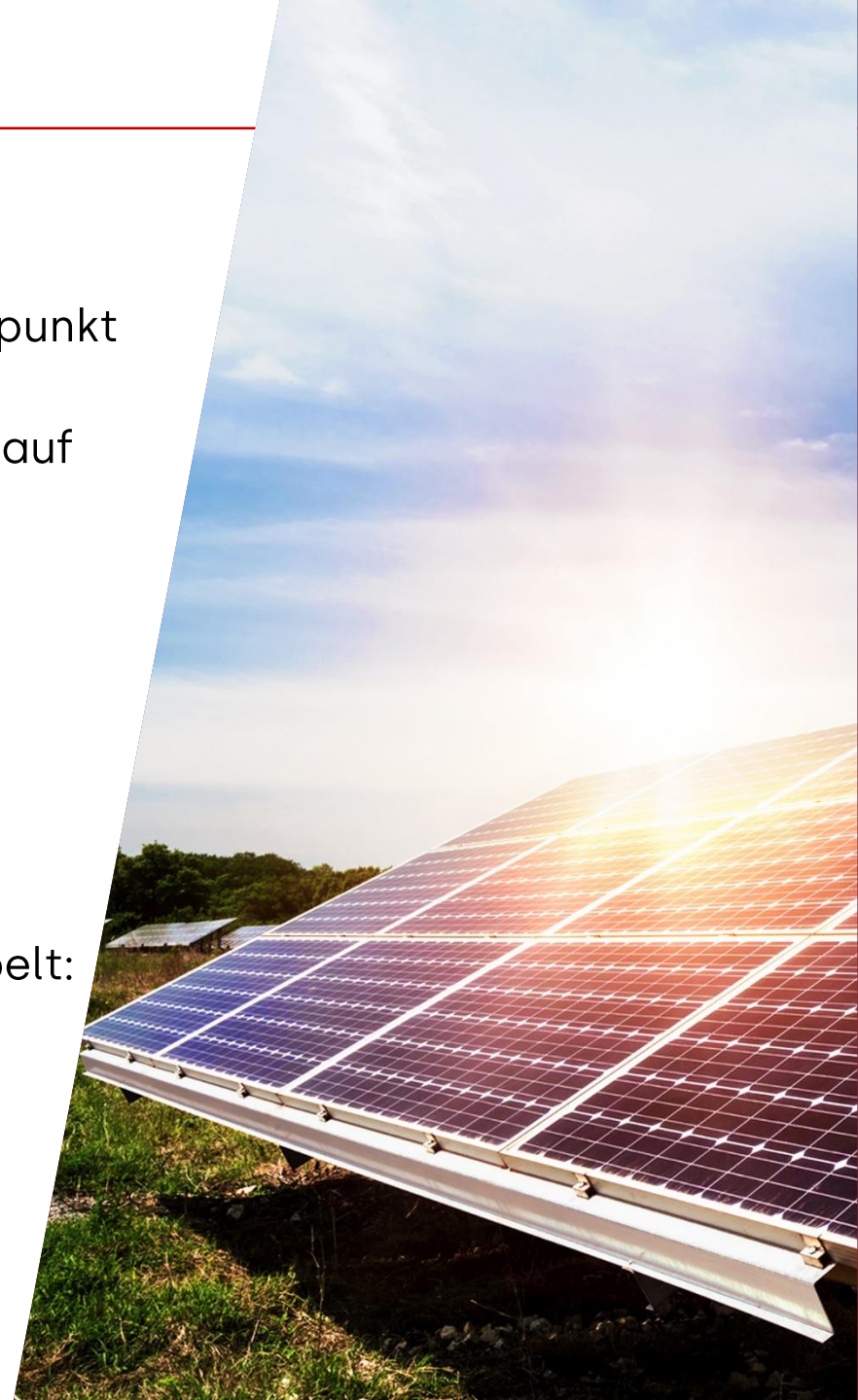
- Rekonstruktion aller elektrischer Größen für einen konkreten Zeitpunkt anhand einer stark beschränkten Menge bekannter Größen
- Ermöglicht Einblick in das Verhalten des Netzes und erlaubt eine auf Kenntnis basierte Betriebsführung und Planung des Netzes

Leistungsvorhersage

Die an den ONS fließende Leistungen sind nicht unabhängig.

- Lasten sind stark über gesellschaftliche Normen bestimmt:
 - arbeiten an Werktagen
 - essen zu Mittag/Abend
 - Nachts schlafen
 - bei Kälte heizen
- Regenerative Energiequellen sind an Wetterbedingungen gekoppelt:
 - Kein PV nachts, stark beschränkt bei Bewölkung
 - Keine Windkraft ohne Wind

Eine KI kann diese Zusammenhänge erlernen!

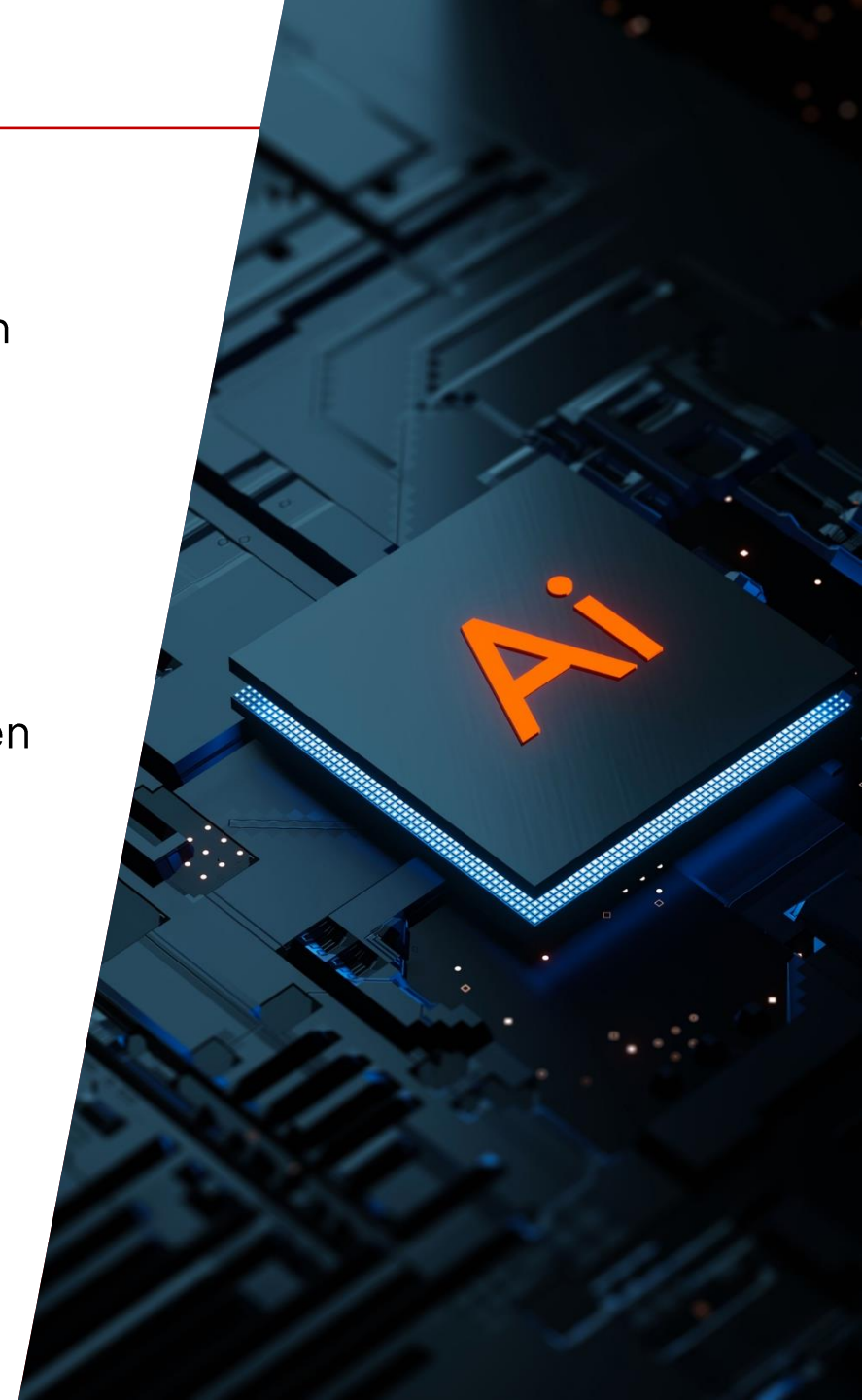


KI-basierte Leistungsvorhersage

- Nutze Kenntnis von Stamm- und Wetterdaten einer ONS um einen passenden Leistungswert zu finden.
- Kenntnis dieser Werte schränkt den Lösungsraum der Lastflussgleichung enorm ein.

KI-basierte Netzzustandsschätzung

- Lösung der Lastflussgleichung unter Hinzunahme von generierten Leistungswerten und vorhandenen Messwerten
- Vollständiger Satz der Unbekannten als Ergebnis



Vielen Dank.

gridhound GmbH
Dennewartstr. 25-27
52068 Aachen

Telefon: +49 241 9278769-40
E-Mail: oivasenko@gridhound.de
www.gridhound.de

gridhound 