

Photovoltaik Ertragsvorhersagen für Verteilnetzknoten

Session I: AI4Grids Algorithmen

Adrian Minde, ISC Konstanz e.V.



research
for a sunny future

Künstliche Intelligenz im Verteilnetz

Hypothesen:

Unterstützung des Netzausbaus durch intelligente Netzsteuerung heißt die **Gleichzeitigkeit** (mit Hilfe von Prognosen) zu verringern

- Gesetze großer Zahlen verlieren ihre Wirkmächtigkeit auf Verteilnetzknottenebene
- Performance der Vorhersage spezifischer Anlagen wird relevanter
- *Messungen* und *Künstliche Intelligenz* können hier einen Beitrag leisten (?)

"Prognosen sind schwierig, vor allem, wenn sie die Zukunft betreffen."

- Mark Twain

Photovoltaik Ertragsvorhersagen

Ertragsvorhersagen: ein gelöstes Problem (?)

- Physikalische Modelle breit verfügbar unter Verwendung von
 - Anlagenparametern
Von reinem kWp bis zu Datasheet Details
 - Sonneneinstrahlung, Luftdruck & -feuchtigkeit
 - Temperatur & Wind

Month	Day	Hour	Global Irradiation x100MJ/h/m ²	Tracking Beam Irradiation x100MJ/h/m ²	Temp (x10°C)	Wind Speed (x10 m/s)	Wet Bulb Temp (x10°C)	Wind Direction	Cloud Cover
1	1	1	0	0	130	0	99	00	7
1	1	2	0	0	127	10	98	04	0
1	1	3	0	0	118	7	94	04	0
1	1	4	0	0	109	3	90	04	1
1	1	5	0	0	100	0	86	00	1
1	1	6	33	106	117	3	96	14	1
1	1	7	110	260	133	7	106	14	0
1	1	8	186	311	150	10	115	14	0
1	1	9	257	342	183	7	133	14	0
1	1	10	317	351	217	3	151	14	0

» Erprobt und robust bis zur **bankability**

auf Basis von Typical Meteorological Year (TMY) Daten o.ä.

Photovoltaik Ertragsvorhersagen

- Nutzung von **pvl** im Projekt zur allgemeinen Berechnung von erzeugter Leistung
 - Entwicklung seit bereits 2012 in Matlab an den [Sandia National Laboratories](#) als Teil der PV Performance Modeling Collaborative (PVPMC)
 - Seit 2015 weltweite Open-Source Kollaboration in Python

pvl/pvl-python

A set of documented functions for simulating the performance of photovoltaic energy systems.



107
Contributors

528
Used by

87
Discussions

945
Stars

862
Forks



Photovoltaik & Wettervorhersagen

Stand der Technik:

- Physikalische Modelle und Statistik auf Basis von **Wettervorhersagen**
- Ertragsvorhersagen mit oftmals **Bezahlmodellen pro Serveranfrage**

» Skaliert schlecht/unökonomisch für tausende Einzelanlagen ?

Wettervorhersagen

- DWD veröffentlicht seit dem **25.07.2017** gesetzlich beauftragt seine Wetter- und Klimainformationen *entgeltfrei*
 - Alle 6 Stunden 10 Tage Vorhersagen
 - Stündliche Anpassungen der nächsten 24h
 - MOSMIX Vorhersagen und Observationen jedoch nur als “dump”
- » Wetterdaten über **Bright Sky** komfortabel verfügbar

Bright Sky

JSON API for DWD's open weather data.

[Docs](#) [Demo](#) [Source](#) [Donate](#)

```
$ curl https://api.brightsky.dev/weather?lat=52&lon=7.6&date=2020-04-21

{
  "weather": [
    {
      "timestamp": "2020-04-21T00:00:00+00:00",
      "source_id": 6007,
      "cloud_cover": 0,
      "dew_point": -2.5,
      "precipitation": 0,
      "pressure_msl": 1015.1,
      "relative_humidity": 40,
      "sunshine": 0,
      "temperature": 10.6,
      "visibility": 50000,
      "wind_direction": 70,
      "wind_speed": 12.6,
      "wind_gust_direction": 50,
      "wind_gust_speed": 33.5,
      "condition": "dry",
      "icon": "clear-night"
    }
  ],
}
```

Beispiel: Ertragsprofil einer urbanen Dachanlage

Zur Veranschaulichung:

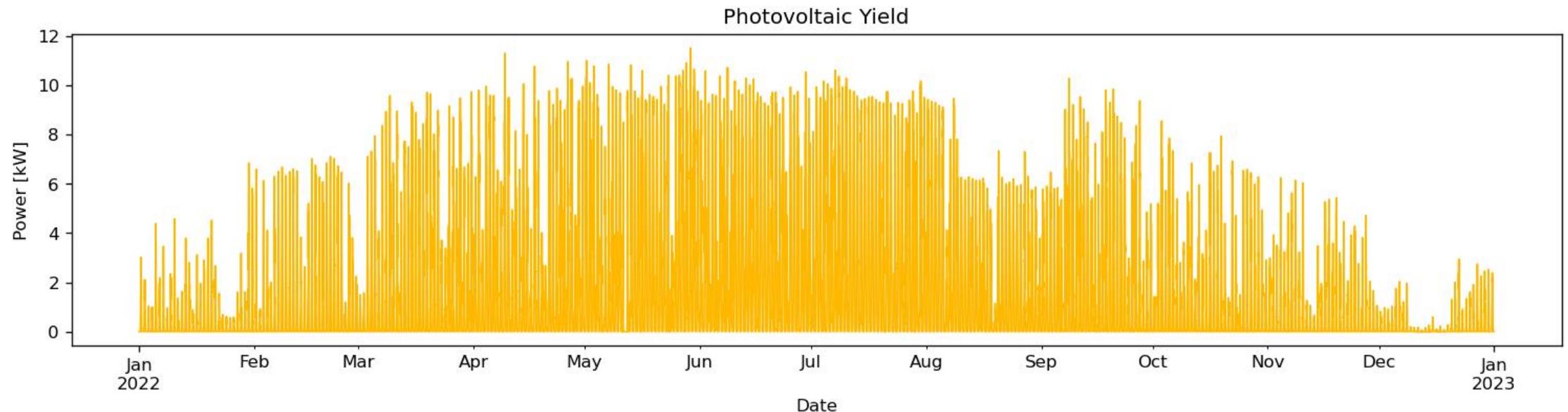
Erzeugungsverhalten der
12 kWp Flachdachanlage
auf dem ISC Konstanz e.V.

- Über 10 Jahre in Betrieb
- 14° Neigung, 170° Azimuth
Gute Südausrichtung



Ertragsprofil einer urbanen Dachanlage

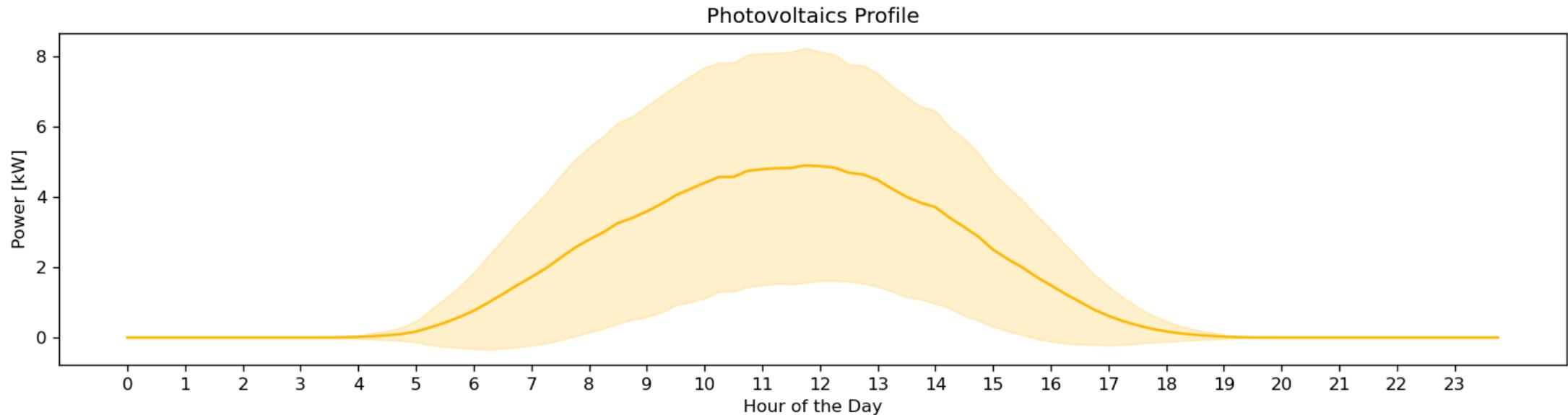
Absolute Leistungsmessungen über ein ganzes Jahr



- Minütliche Messungen seit Inbetriebnahme
- Hier: viertelstündliche Aggregation

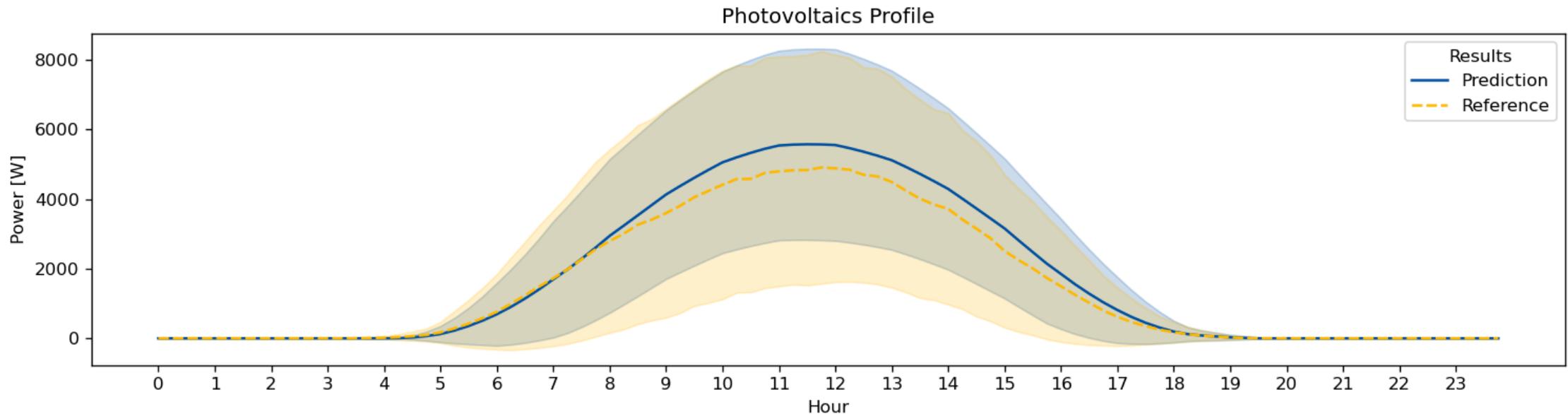
Ertragsprofil einer urbanen Dachanlage

Mittlere Leistungsmessungen pro Stunde des Tages inklusive Standardabweichung



Vorhersage einer urbanen Dachanlage

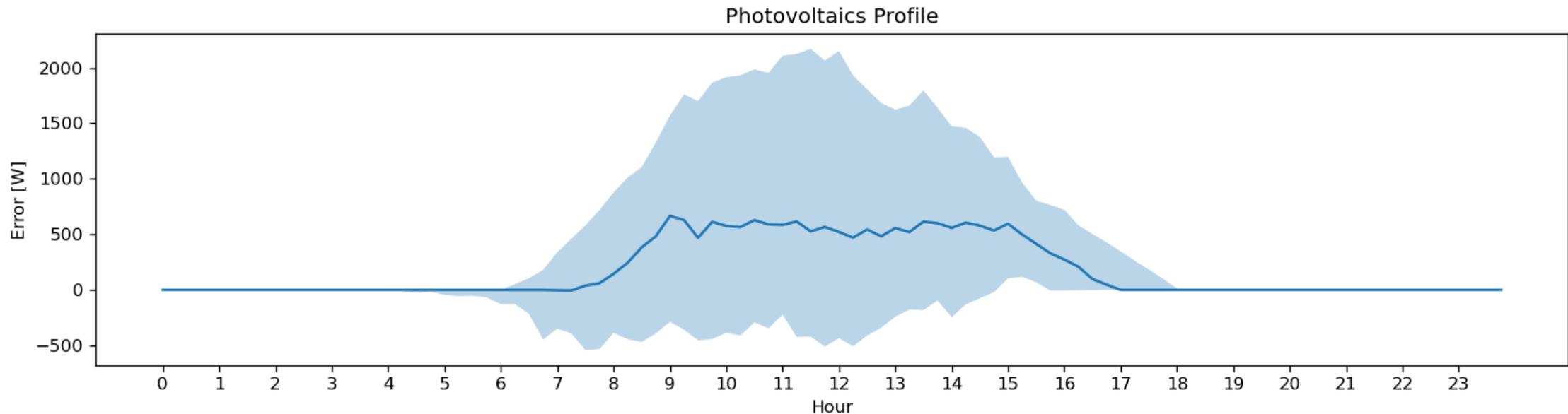
Mittlere Leistungsvorhersage pro Stunde des Tages inklusive Standardabweichung



- Ergebnisse mit [pvlib](#) und abgespeicherten Vorhersagen alle 6 Stunden
Alle Details und Datenblätter zur Anlage verfügbar
- Mittlerer Vorhersagefehler (MBE) bei 24 Stunden Horizont von nur 404W (bei 12,420Wp)

Vorhersagefehler einer urbanen Dachanlage

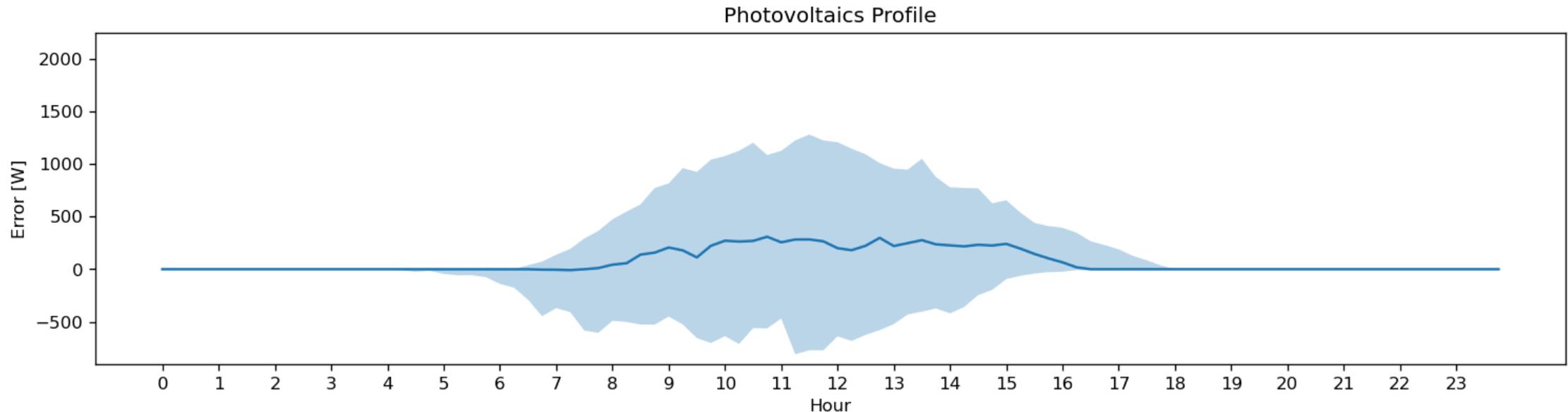
Median Vorhersagefehler pro Stunde des Tages inklusive Quartile



- Größte Fehler zurückzuführen auf **Verschattung**, **Verschmutzung** und **Degradation**
» **Sehr einfach maschinell zu lernen**

Vorhersagefehler einer urbanen Dachanlage

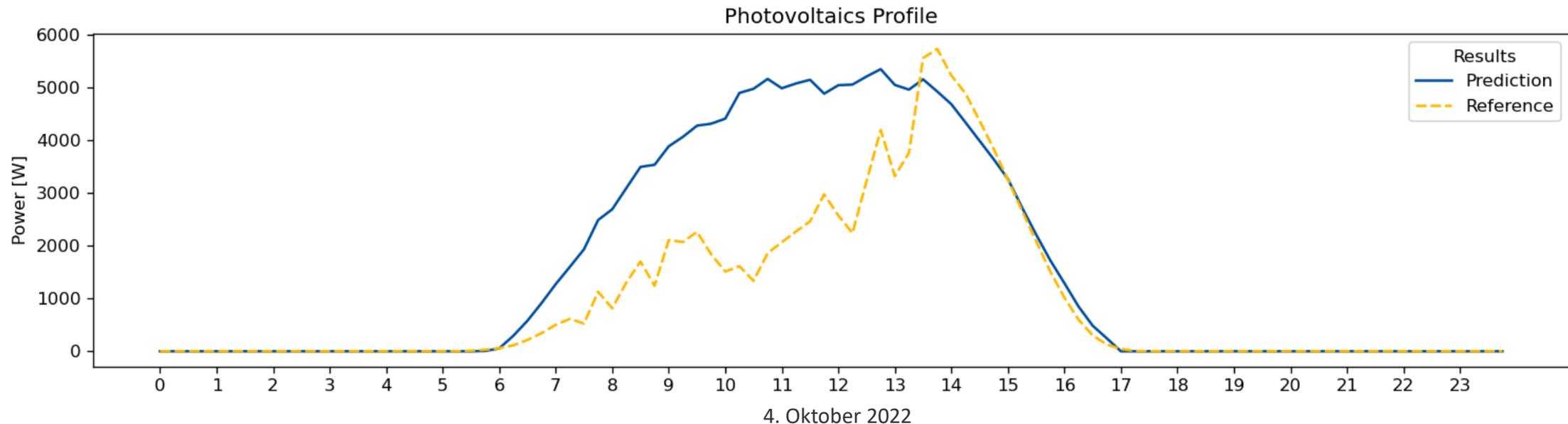
Median Vorhersagefehler pro Stunde des Tages inklusive Quartile



- Einfacher **Bayes Filter** verfolgt Effizienz für jeden Zeitschritt des Tages
- Verschattung und Degradation kann mit **minimalem Rechenaufwand** abgebildet werden

Vorhersagefehler einer urbanen Dachanlage

Problem: Wettervorhersagen machen Prognosen die die Zukunft betreffen

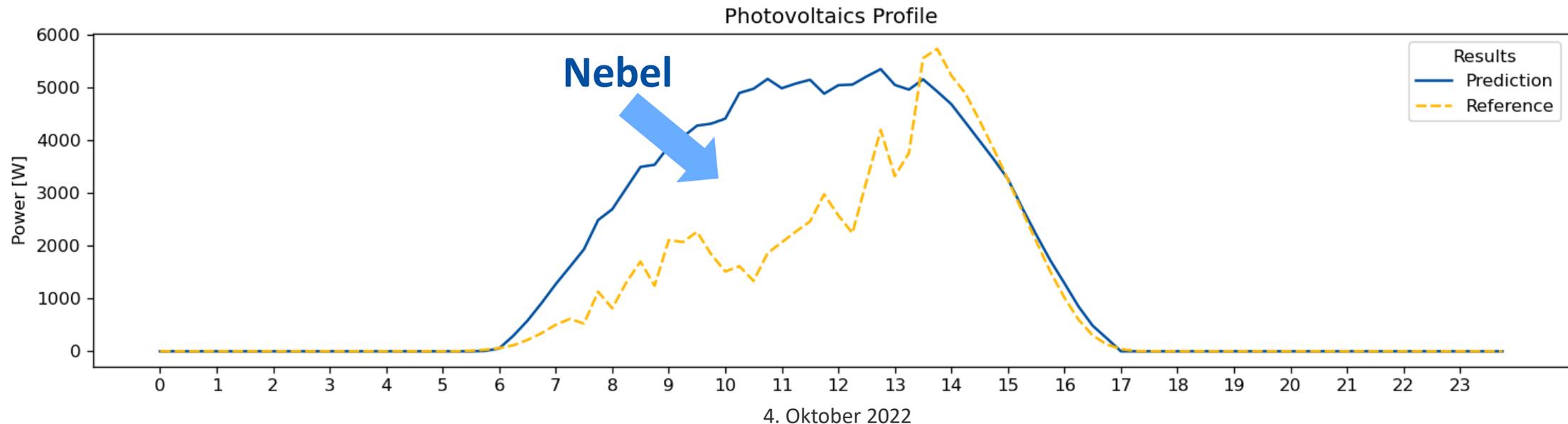


Wettervorhersagen haben neben genereller Unsicherheit meist auch **systematische** Fehler, oft bedingt durch

- Rasterauflösung
- Örtliche Gegebenheiten

Vorhersagefehler einer urbanen Dachanlage

Problem: Wettervorhersagen machen Prognosen die die Zukunft betreffen



Wettervorhersagen haben neben genereller Unsicherheit meist auch **systematische** Fehler, oft bedingt durch

- Rasterauflösung
- Örtliche Gegebenheiten

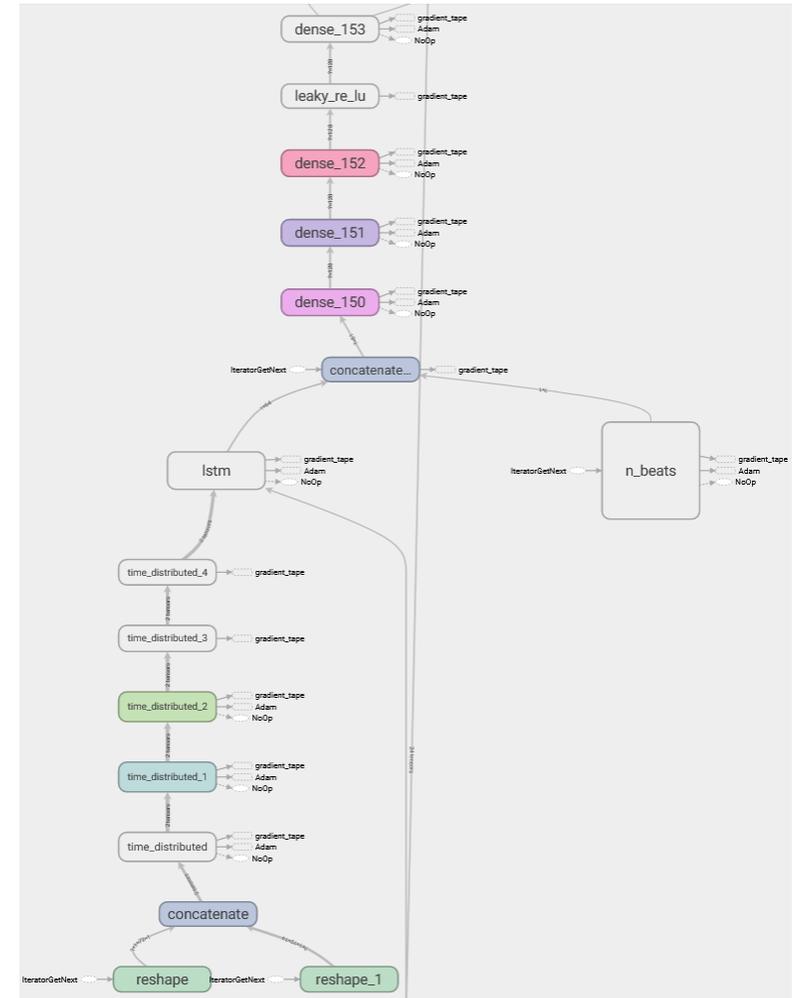
Vorhersage durch ein Neuronales Netz

Ziel: Aufbau eines neuronalen Netz das die **Wettervorhersage** als input mit einer internen **Zeitreihenvorhersage** kombiniert

- Berücksichtigung der letzten Messungen könnten aktuelle Güte der Wettervorhersage bewertbar machen
- Keine Anlagenparameter als Input
- Multivariates Modell, das Last und Erzeugung gemeinsam vorhersagt

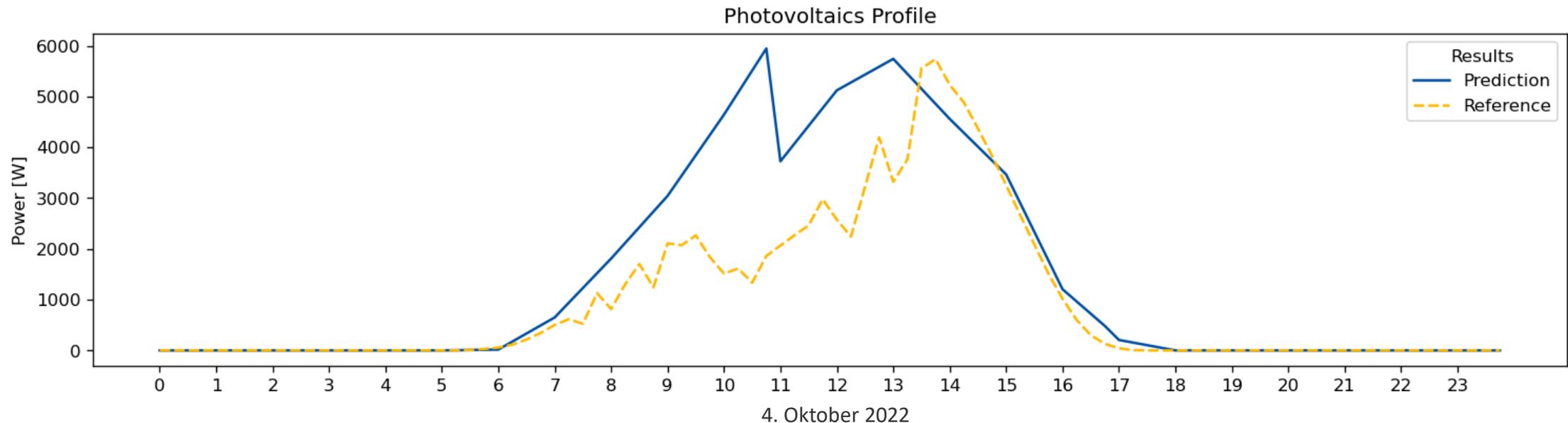
Vorhersage durch ein Neuronales Netz

- Model
 - 3 TimeDistributed, diluted **Convolutional** Layer
 - 1 **LSTM** & **N-Beats** Layer
 - 3 **Dense** Layer
- Input
 - **Wettervorhersagen** und **Leistungsmessungen** der letzten 3 Tage
 - Wettervorhersagen des nächsten Zeitschritts
 - Metadaten wie *Sonnenstand* und *Jahreszeit*
- Output
 - Autoregressive **Leistungsvorhersage**



Vorhersagefehler des Neuronalen Netzes

Prognosen die die Zukunft betreffen sind immernoch ein Problem



- Akzeptabler, aber **schlechterer mittlerer Vorhersagefehler** bei 24 Stunden Horizont von 622W

Kurzzusammenfassung

Die physikalischen Modelle zur Berechnung von PV Leistung mit Wettervorhersagen liefern ein schwer zu schlagendes Benchmark

Ausblick:

- Bündelung mit bisher separaten Lastvorhersagen zur Vorhersage der **Residuallast**
- Einführung von **Probabilistik** im KNN
- Hyperparameteroptimierung



© ISC Konstanz e.V. AI4Grids Symposium

Danke
Für die Aufmerksamkeit