SCCER – FURIES
Shaping the FUtuRe SwIss Electrical InfraStructure

Energy
Swiss Competence Centers for Energy Research

WIE VIEL ENERGIE WIRD IHRE PHOTOVOLTAIK-ANLAGE ERZEUGEN?

Prof. Dr. Horst Heck
Institut für Optimierung und Datenanalyse IODA

Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

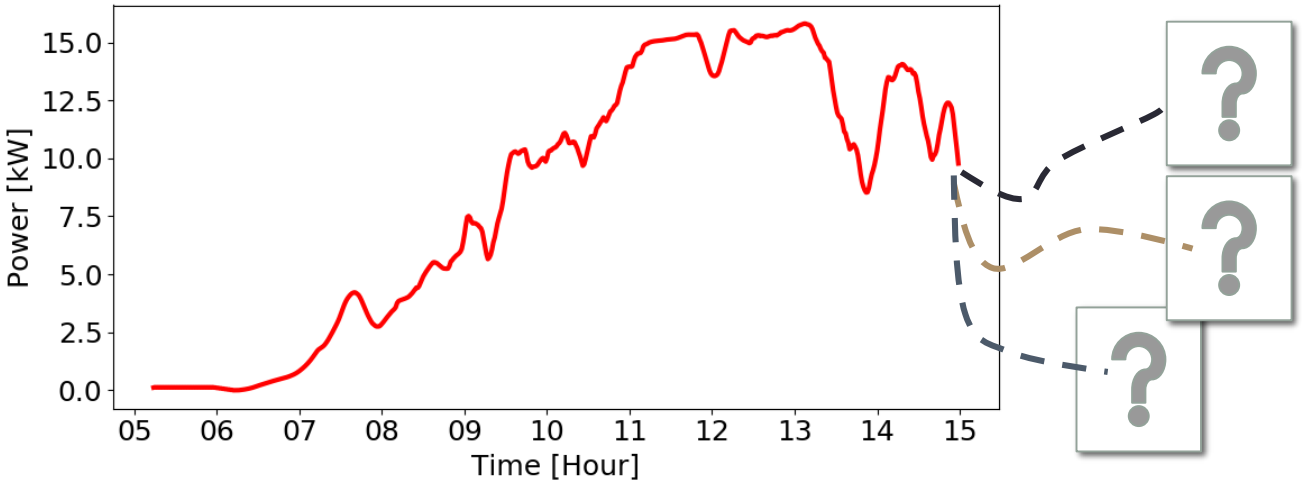
Das Projekt ist Teil des SCCER-FURIES Programms

In Zusammenarbeit mit:

Urs Muntwyler, Eva Schüpbach, Armin Schmidt,
Franziska Kuonen, Sania Bacha,
Rosmarie Neukomm, Thomas Schott

Smart Energy Link aus Bern
Velasolaris aus Winterthur

Wie viel Energie wird die PV-Anlage erzeugen?



Vorhersage der Energieproduktion nötig.

Anwendung

Industriepartner:
Smart Energy Link

SEL SMART ENERGY LINK

- Entwickelt System zur Regelung der Energieproduktion und des Energieverbrauchs für Liegenschaften.

→ Vorhersage von Energieproduktion und –verbrauch nötig.

Velasolaris

POLYSUN®
BY VELA SOLARIS

- Software zur Planung von PV-Anlagen (Polysun)

→ Verbesserung der Simulation von PV-Anlagen

Modellieren von PV-Anlagen

Eine komplexe Aufgabe

Einfluss auf die Energieproduktion haben:

Fixe Parameter

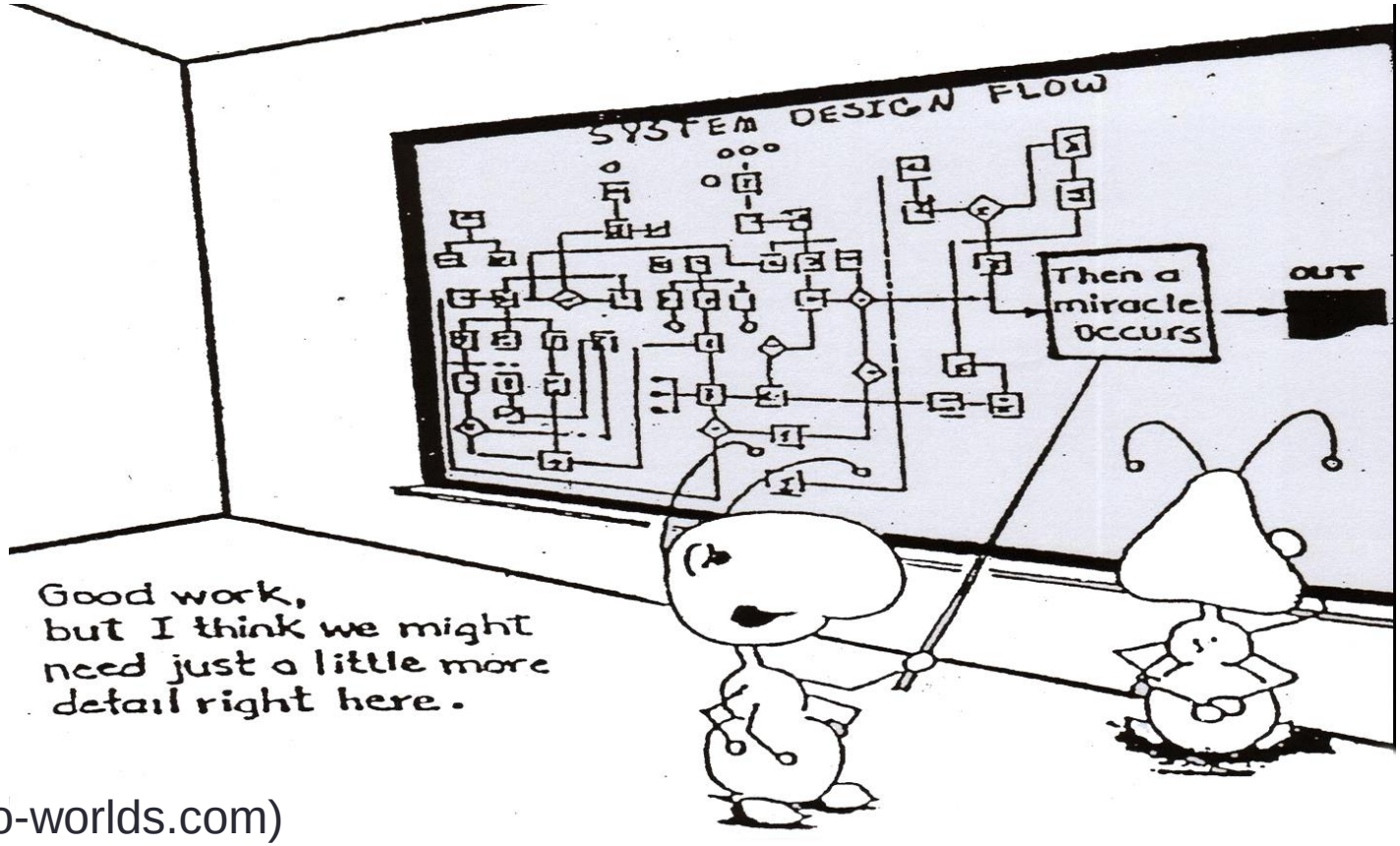
- Standort, Ausrichtung und Neigung
- Komponenten, wie Modultyp, Wechselrichter, etc.

Variable Parameter

- Wetter
- Alterung/Verschmutzung
- Beschädigungen

Modellieren von PV-Anlagen

Ein Modell, das alle diese Parameter als Vorgabe benötigt, ist für unsere Anwendung ungeeignet.



(Bild: two-worlds.com)

Machine Learning Ansatz

Lernen aus gemessenen Daten in der Vergangenheit

- Langzeit-Leistungsdaten zeigen generelles Verhalten der Anlage
- Sie zeigen also Standort, Ausrichtung, Effizienz Wechselrichter, etc.

Aktualisierung

- Erneutes Training adaptiert neue Situationen und kann auf Änderungen reagieren (z.B. Modulaustausch, Verschmutzung, etc.)

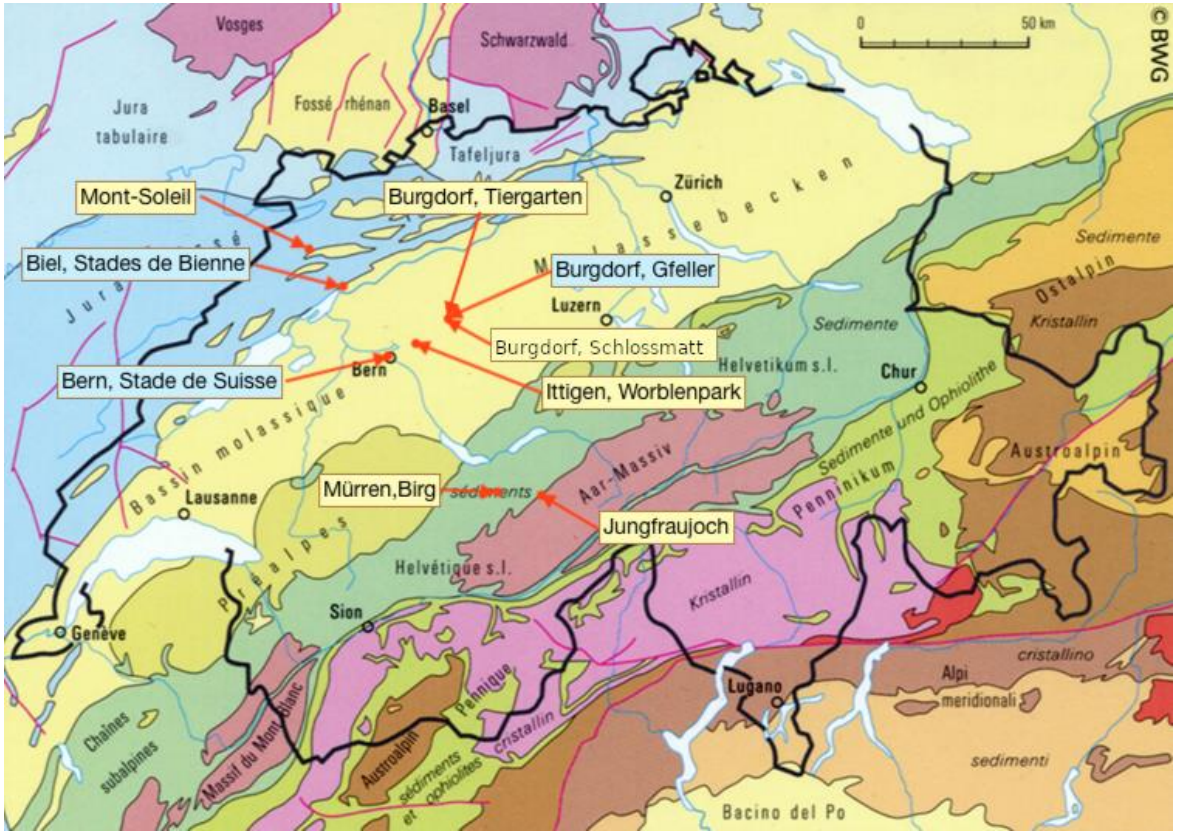
Idee: 2-stufige Methode

1. Stufe:
   - Lernt aus AC-Leistung der vergangenen 4 Jahre
   - Modelliert «durchschnittliches» Verhalten der Anlage

2. Stufe
   - Lernt aus aktueller Wettervorhersage
   - Modelliert Zusammenhang zwischen Sonneneinstrahlung und Energieproduktion

Weiterer Vorteil: Langzeitvorhersagen (Monats- oder Jahresvorhersage) sind durch 1. Stufe ebenfalls möglich

Daten



AC-Leistung:
(Messungen PV-Lab)

- 6 PV-Anlagen in der Schweiz (3 urbane, 3 alpine)
- 4 Jahre (6/2016-6/2020)

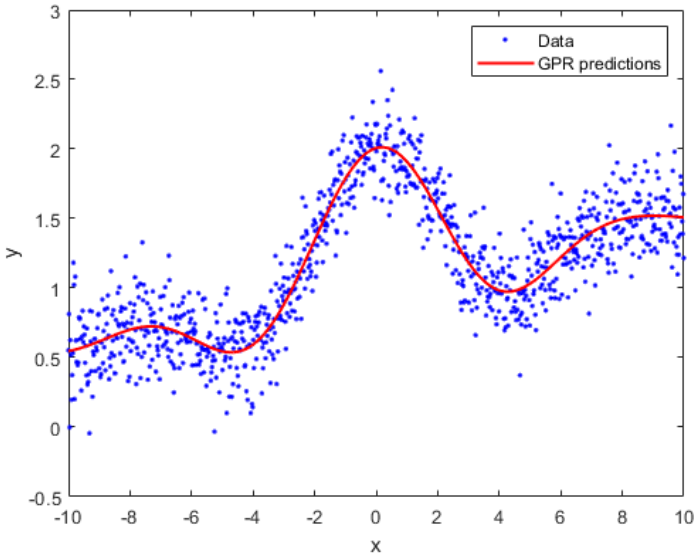
Wetter Vorhersage:
(Meteoblue, MeteoSchweiz)

- 6 Monate (1/2020-6/2020)
- Global Horizontal Irradiation (GHI)
- Temperatur, Wind, Feuchte, Druck

Methode I: Gauss Prozess

Allgemein:

- Modelliert Zeitreihen
- Kann periodisches Verhalten und lineare Trends abbilden.



(Bild: Mathworks)

- Perioden: Tag, Jahr
  Kern:

$$K_{per}(t,t') = \sigma^2 \exp\left(-\frac{2\sin^2((t-t')/2)}{l^2}\right)$$

- Trends: Verschmutzung, Alterung
  Kern:

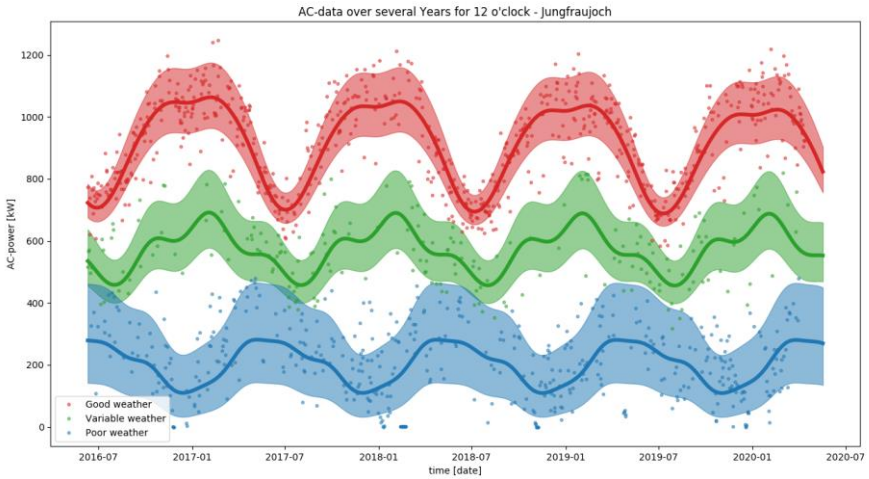
$$K_{lin}(t,t') = \sigma_b^2 + \sigma^2 (t-c)(t'-c)$$

Methode I: Gauss Prozess

Konkret

- Modellierung der Langzeitmessungen
- Unterteile Daten in Kategorien:
  «gute», «mittlere» und «schlechte» Performance
- Periodischer Kern bildet Jahres-Saisonalität ab
- Tages-Periode problematisch, da Tageslänge ändert
  - ➢ Trainiere je einen Gauss-Prozess pro Stunde und Kategorie.

Kern: $K_{per} + K_{lin}$



Methode II: Neuronales Netz

Neuronale Netze sind sehr flexible Objekte, die im Machine Learning oft Anwendung finden.
Ein neuronales Netz kann nichtlineare Funktionen approximieren.
Hier:
Modellierung des Zusammenhangs zwischen Sonneneinstrahlung (und anderer Einflussgrössen) auf die erzeugte PV-Energie.

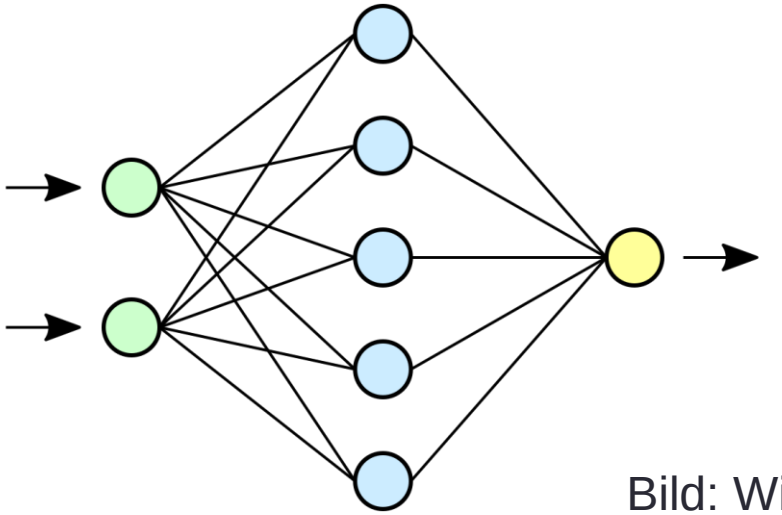
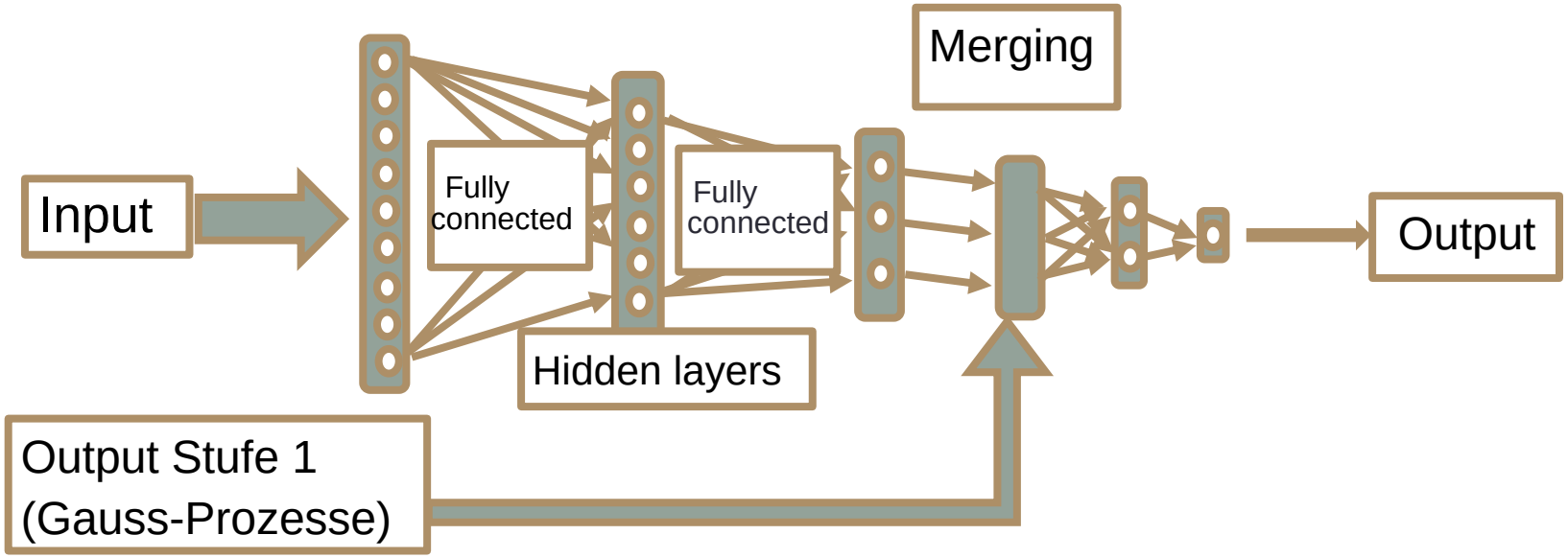


Bild: Wikipedia

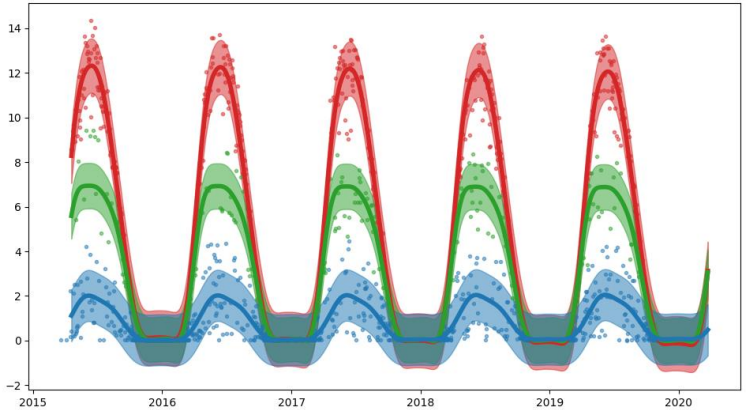
Methode II: Neuronales Netz

Wir verwenden ein Netz mit einem sogenannten «merging layer».
Der Eingang wird durch verschiedene «hidden layers» verarbeitet.
Dies ergibt Gewichte mit denen dann die 3 Gauss-Prozess Vorhersagen (Stufe 1) kombiniert werden.

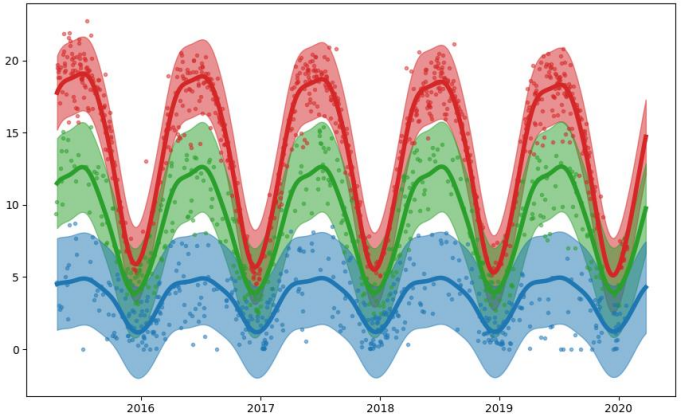


Schematische Übersicht

1. Gauss-Prozess pro Stunde



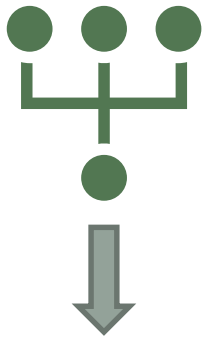
6:00 h



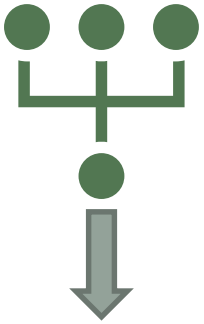
12:00 h

2. Neuronales Netz

2. Neuronales Netz



Wetter Vorhersage



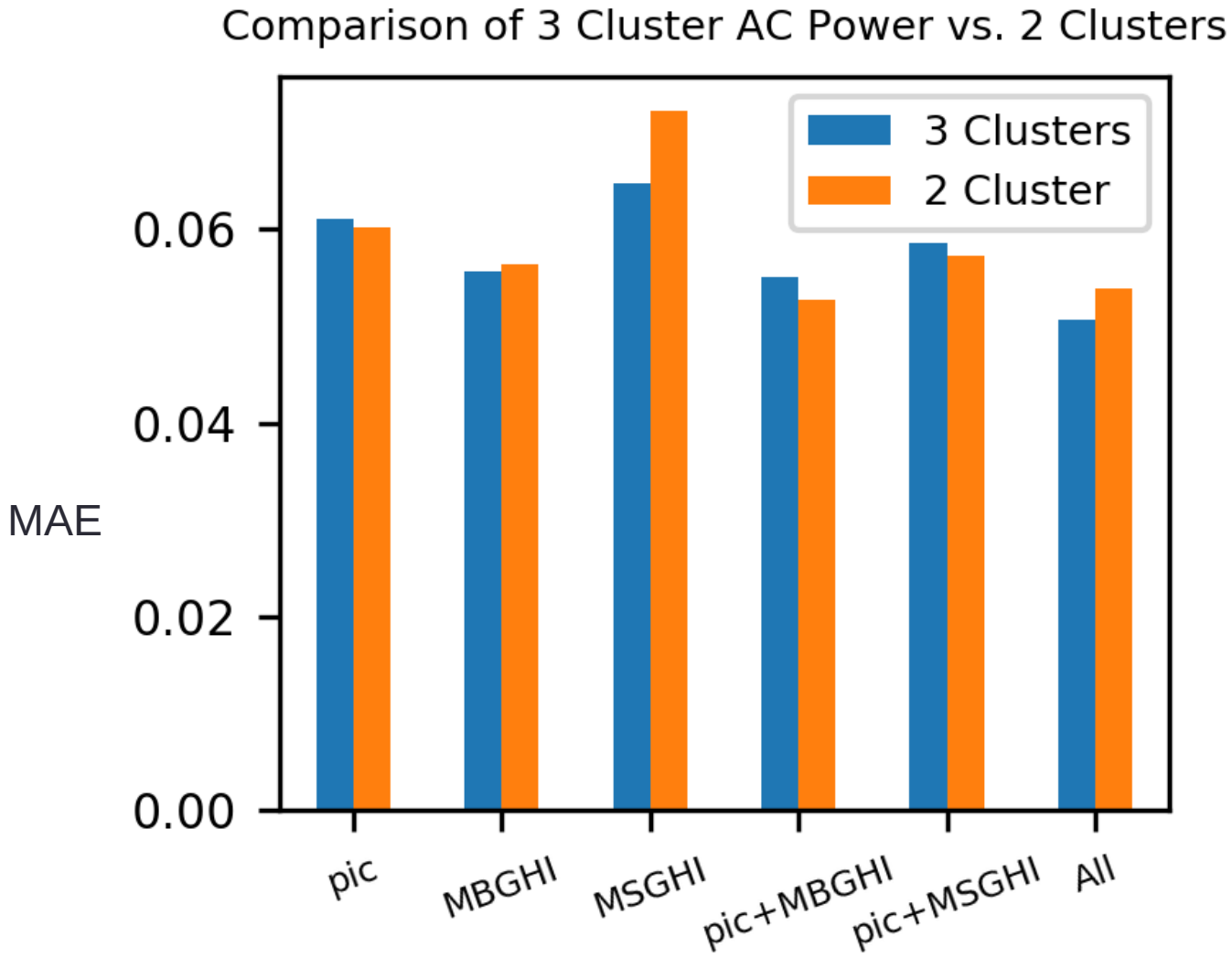
AC Leistung Vorhersage für 6:00

AC Leistung Vorhersage für 12:00

Wie wirken sich unterschiedliche Eingabedaten auf die Performance aus?

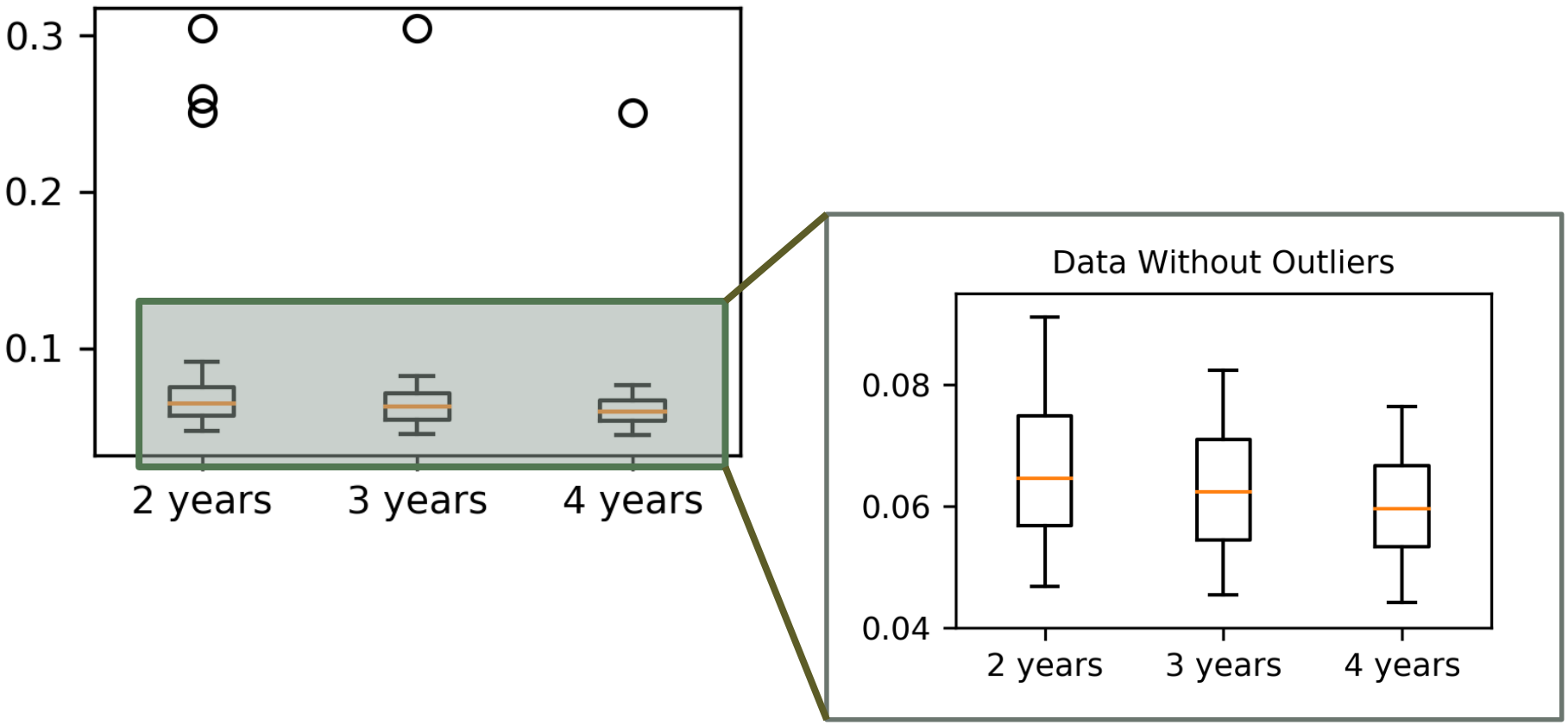
AC-Leistungsdaten für Stufe 1

Einfluss der Leistungsdaten



Einfluss der Leistungsdaten

2, 3 oder 4 Jahre an AC-Messungen

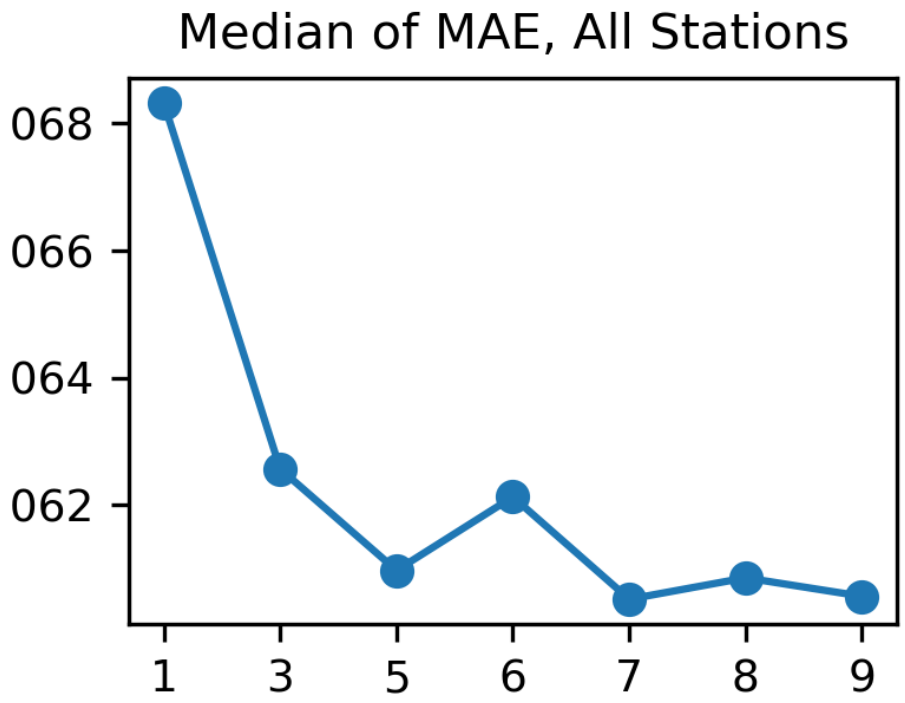


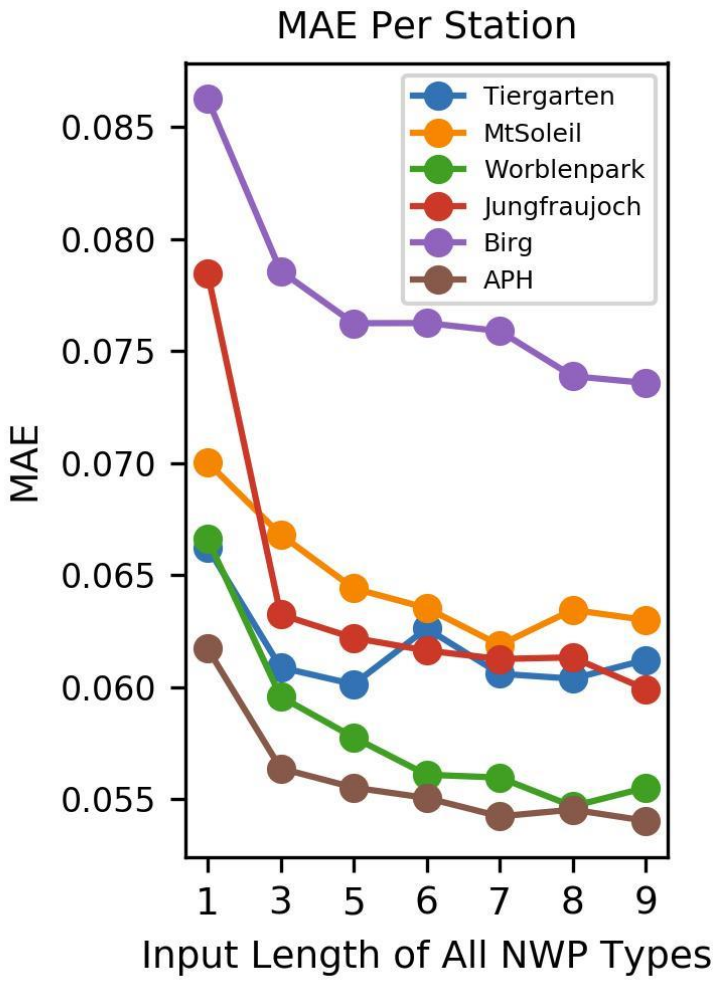
Einfluss der Eingabedaten

Wetterparameter

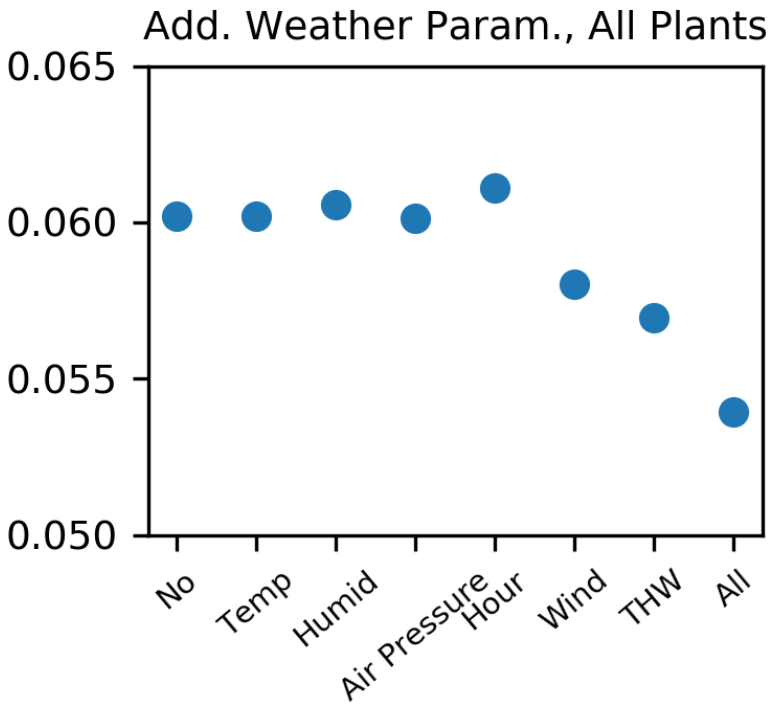
GHI Daten: Temporal Averaging

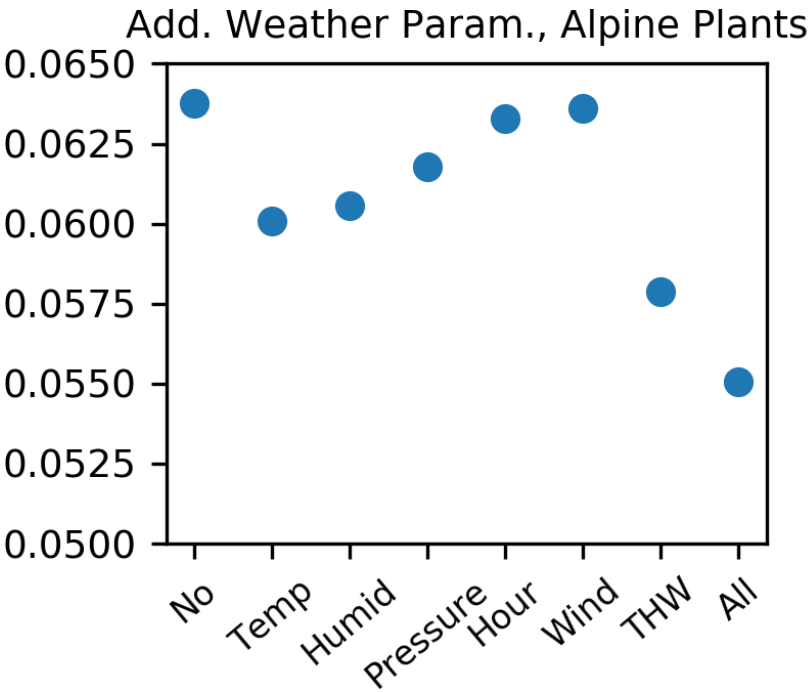
Mehr als ein Wert für eine Vorhersage





Einfluss weiterer Parameter





Vergleich: “Erster Ansatz” <-> Optimierung

PV Anlage	First Try (MAE)	Optim. (MAE)	Diff.	Verbesserung %
Burgdorf Tiergarten	0.0662	0.0486	0.0176	36 %
Mont Soleil	0.0700	0.0513	0.0187	36 %
Worblenpark	0.0666	0.0456	0.0210	46 %
Jungfraujoch	0.0717	0.0535	0.0182	34 %
Birg	0.0807	0.0573	0.0234	41 %
Burgdorf, Schlossmatt	0.0617	0.0472	0.0145	31 %

HERZLICHEN DANK!

H. Heck, E. Schüpbach, U. Muntwyler, 2020, Proceed. EU PVSEC, 7-11 September 2020, pp. 1796-1801

Contact: horst.heck@bfh.ch