



Vorhersage der Solarstrahlung und der Photovoltaik-Produktion

Jan Remund (Meteotest)

Nationale Photovoltaik-Tagung: 1. und 2. Juli 2021

Technology Collaboration Programme
by **iea**

1

Team des IEA PVPS Task 16

50 Organisationen
20 Länder
CH: SPF & Meteotest

Forschungs-
organisationen

Meteo-Services /
utilities

Datenanbieter



2

Solar-Ressourcen Bibel 3.0



Was sie immer schon über
Solardaten- und Vorhersagen wissen
wollten

Welchen Daten und Methoden kann
ich vertrauen?

Sie brauchen nicht das beste Gerät
oder die besten Daten, sondern die
passenden



PVPS

PVPS: <https://iea-pvps.org>
<https://iea-pvps.org/key-topics/best-practices-handbook-for-the-collection-and-use-of-solar-resource-data-for-solar-energy-applications-third-edition/>

3



3

Welche Daten für welche Anwendung?



- Anforderungen hängen
stark von Grösse der
Anlage und vom
Projektstand ab

Phase

System Size

	Small	Medium	Large
1. Pre-feasibility & Planning	<ul style="list-style-type: none"> Long-term averages Monthly data Solar cadastres / maps Simple shading analysis 	<ul style="list-style-type: none"> TMY Hourly data Shading analysis 	<ul style="list-style-type: none"> Long-term satellite data Hourly data
2. Feasibility			<ul style="list-style-type: none"> Satellite data Time series (>10 y) Ground meas. (> 1 year) Shading analysis Further site and technology- specific meteo. parameters (e.g. albedo, soiling)
3. Due diligence & Finance		<ul style="list-style-type: none"> Satellite data Time series (>10 y) Minute data Shading Further site and technology- specific meteo. parameters (e.g. albedo, soiling) 	<ul style="list-style-type: none"> Satellite data Time series (>10 y) Ground meas. (> 1 year) Minute data Shading analysis Further site and technology- specific meteo. parameters (e.g. albedo, soiling)
4. Operation & Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> Simple monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> Local measurements Forecasts 	<ul style="list-style-type: none"> Local measurements Forecasts

Vorhersagen →

PVPS

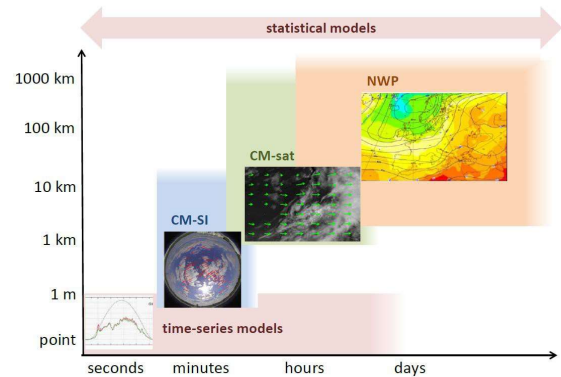
4

Solar-Vorhersagen



- Es braucht sie: 5% Jahresanteil → 50% Anteil an sonniger Stunde an Frühlingswochenende
- Je genauer, desto weniger Ausgleichsbedarf
- Je grösser das Gebiet, desto genauer
- Ergänzte Themen im **“Solar Res. Handbook”**:
 - Machine learning (ML) basierte Systeme
 - Probabilistic forecasts
 - All sky imagers / Wolkenkameras
- Machine Learning: Benchmark von traditionellen und ML Technologien ist unterwegs
- Wissenschaftliche Studien weisen darauf hin, dass ML Vorhersage verbessert

Je nach Raum und Zeit sind unterschiedliche Methoden sinnvoll



5

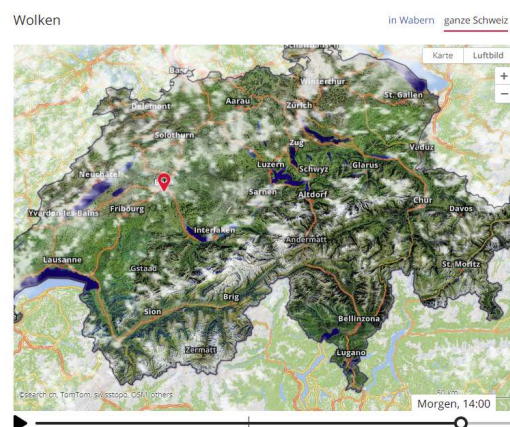


5

Sag mir wo (morgen) die Wolken sind?



- Wettermodelle können einzelne Wolken vorhersagen
- Z.B. COSMO 1 (km) →
- Gut – aber “nutzlos”
- Position ist rein zufällig für Vorhersagehorizonte von > 6 h
- System ist chaotisch



Vorhersage der Wolken 24 Std. im Voraus
(meteo.search.ch / MeteoSchweiz)

6

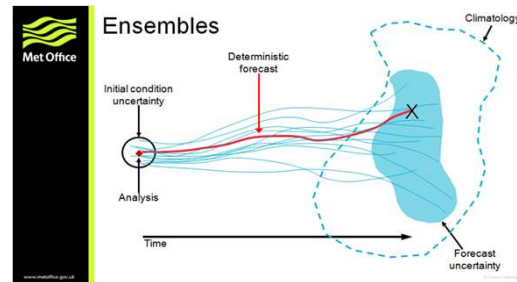
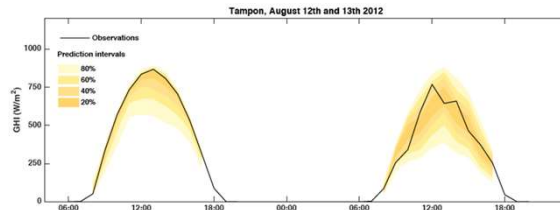


6

Antwort: evtl. dort → Probabilistische Vorhersage



- Beschreibung von 2 Typen:
 - “Quantile Forecasts”
 - “Ensemble Prediction System”
 - Fragestellung:
 - Wie kann Qualität am besten bestimmt werden?
 - CRPS ist bester Kennwert (= Zuverlässigkeit – Auflösung + Unsicherheit)
- Einführung in die Verifikation der probabilistischen Vorhersage



7



All Sky Imagers (ASI) / Wolkenkameras



- All Sky Imager (ASIs) liefern zeitlich und örtlich hochaufgelöste Kurzzeitprognosen für die nächsten 15-20min
- Ableitung der Wolkengeschwindigkeit, Extrapolation der Position in die Zukunft
- Vorhersage nützlich z.B. für
 - Vermeidung von PV Rampen / Schonung der Batterien / Reduktion der Speichergrosse
 - Regelung der Stromnetze (Redispatch 2.0)
 - Regelung von PV Hybrid Kraftwerke (PV + Diesel, PV + Pumpspeicher, ...)

PVPS

8



ASI / Motivation für Benchmark



- Viele ASI Systeme in der Literatur beschrieben
 - Unterschiedliche Kameras, unterschiedliche Auswertemethoden
 - Vergleiche der ASI Genauigkeit bisher nicht möglich
 - Unterschiedliche Bedingungen bei System-Validierungen
 - Unklar, welche Ansätze welche Vorteile haben
- → Gleichzeitiger Vergleich verschiedener ASI Systeme an einem Standort im IEA PVPS Task 16

PVPS

9



9

ASI / CSEM & Meteotest-System



- Kamera von CSEM / Meteotest (MT) war an Test beteiligt
- Die Daten vom ganzen Jahr 2018 wurden veröffentlicht im 2021:
- <https://arxiv.org/abs/2105.02922>



- Kamera sieht nicht nur Wolken:



PVPS

10

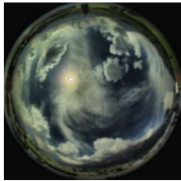


10

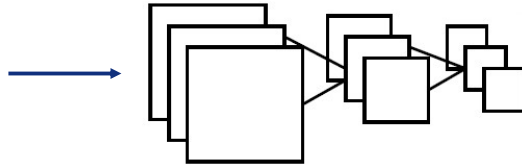
ASI / CSEM & Meteotest-System



- Ansatz: "Deep Learning only"
- 1. Analyse der HDR-Bilder für Ist-Zustand:



HDR Bilder



Trainiertes neuronales Netz



Vorhersage der
Globalstrahlung
[W/m²]

PVPS

- 2. Analyse der Vorhersagen: (1-Minutenzeitschritte)

Siehe auch: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40172>

11



11

ASI / Benchmark in Südspanien



Gemessene GHI zum Zeitpunkt t als
Eingangsgrösse für Vorhersage



PVPS

12



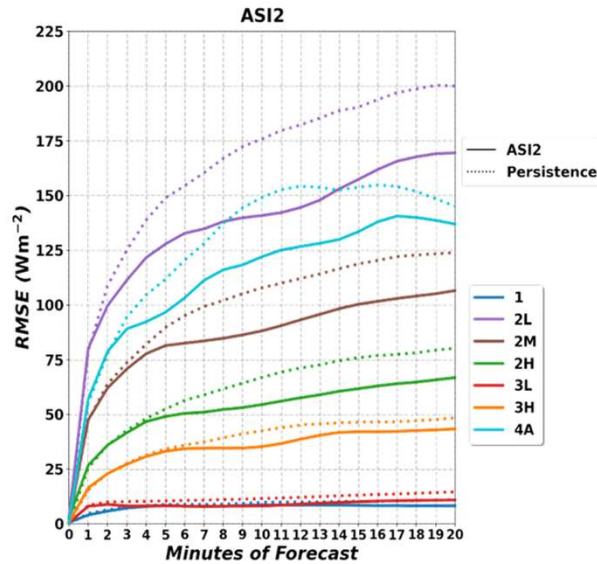
12

Resultate ASI Benchmark für Kamera "ASI2"



- für alle Wolkenklassen bessere Ergebnisse als die Persistenz
- Vorteil vor allem in Wolkenklassen mit hohem Wolkeneinfluss (2L, 4A, 2M)
- Bis je nach Klasse ca. 1 min bis 5 min ASI2 und Persistenz ähnlich genau
- Ähnliche Form für MAE, geringere Werte
- Bias rel. klein, wenig relevant

PVPS



- 1 (beinahe) wolkenlos
- 2L gebrochene Bewölkung mit niedrigen Wolken
- 2M gebrochene Bewölkung mit hohen, mittleren und niedrigen Wolken
- 2H gebrochene Bewölkung mit (mittel) hohen Wolken
- 3L gebrochene Bewölkung mit niedrigen Wolken ca. die Hälfte des Tages, wolkenlos sonst
- 3H gebrochene Bewölkung mit hohen oder mittelhohen Wolken ca. die Hälfte des Tages, wolkenlos sonst
- 4A vollständig bewölkt ca. die Hälfte des Tages, sonst gebrochene Bewölkung

13



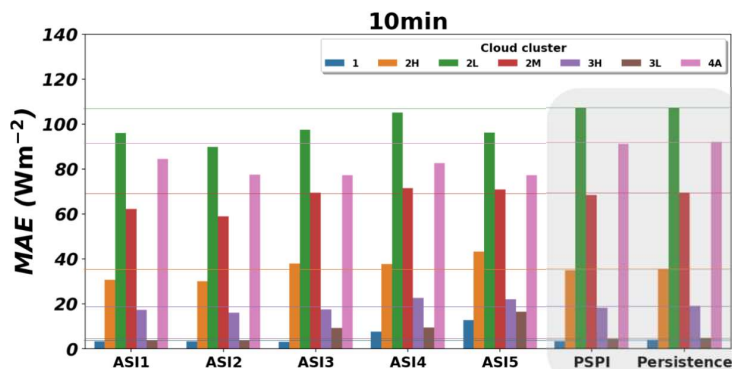
13

Vergleich aller Kameras – 10 Minuten Vorhersage



- zwei ASI Systeme schlagen Persistenz in allen Wolkenklassen
- alle ASI Systeme schlagen die Persistenz in mindestens zwei Klassen mit hohem Wolkeneinfluss (2L und 4A)
- bei weniger variablen Situationen (1, 3L) geringe Fehler
- Vorteil gegenüber Persistenz: kann Rampen vorhersagen (und teils gar nicht so schlecht)

PVPS



14



14

Fazit



- Wichtigste Konzepte, Grundlagen und Wissenstand sind in einem Handbuch zusammengefasst (**Solar Resource Handbook**)
 - Kapitel 8 beinhaltet Übersicht über Vorhersagemodelle
 - Stark ergänzt: "Machine Learning" und probabilistische Vorhersage
 - Einbezug in Anwendung macht Sinn
- ASI Benchmark ist nicht im Handbuch enthalten
 - Systeme sind tauglich – aber verbesserbar
 - CSEM / MT System ist "deep learning only" - gut bei Bewölkung – etwas weniger gut bei wenig / ohne Wolken als kombinierte Methoden
- PVPS** • Nächste wichtige Publikation: Benchmark der Solar-Vorhersagen basierend auf numerischen Wettermodellen (Anfang 2022)

15



15

www.iea-pvps.org

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

On behalf of IEA PVPS Task 16

Jan.remund@meteotest.ch



Technology Collaboration Programme
by **iea**

16