
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

Probabilistische Solarstrahlungsprognosen mit Analog Ensembles
auf Basis von numerischen Wetterprognosen und Satellitendaten



Elke Lorenz¹,
Jan Kühnert², Annette Hammer²,
Björn Wolff², Ontje Lünsdorf²,
Detlev Heinemann²

¹Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

²Universität Oldenburg

4. Fachtagung Energiemeteorologie
Bremerhaven, 20.4.2016

www.ise.fraunhofer.de

AGENDA

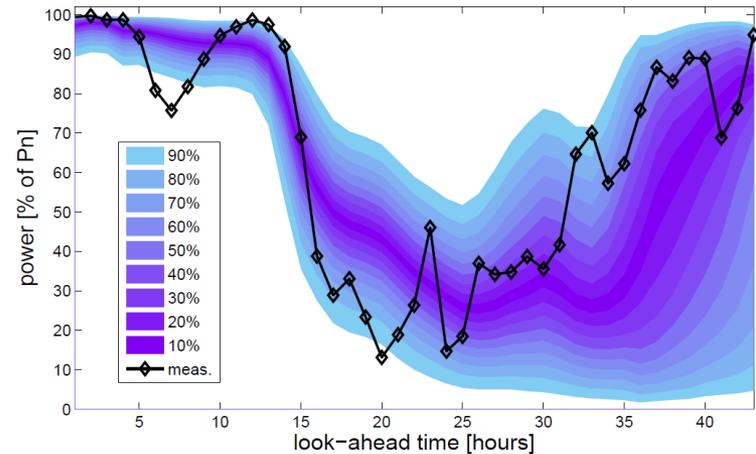
- Motivation
- Datensätze
- Methode: Analog Ensembles
- Auswertung

Motivation

Anwendungsbeispiel

Vermarktung von Windstrom in Dänemark (2002)*)

	Deterministische Prognose	Probabilistische Prognose	Perfekte Prognose
Durchschnittlicher Erlös (€/MWh)	24.6	26.1 +6%	28.4 +15%



*)Pinson P, Cost WIRE Summer School, 2012

Motivation

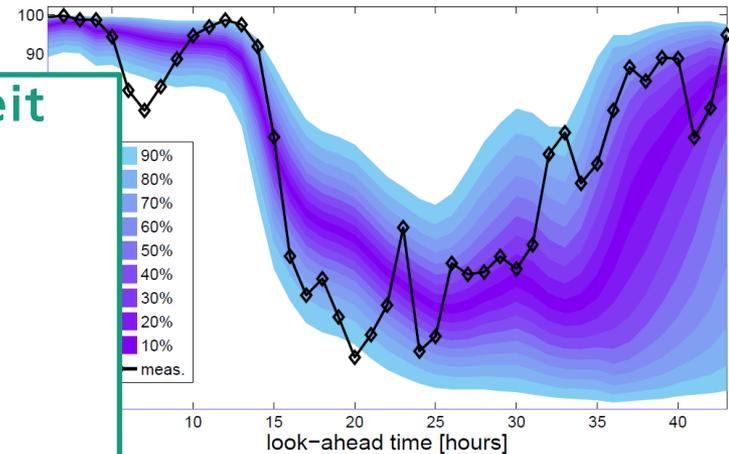
Anwendungsbeispiel

Vermarktung von Windstrom in Dänemark (2002)*)

	Deterministische Prognose	Probabilistische Prognose	Perfekte Prognose
Durchschnittlicher Erlös (€/MWh)	24.6	26.1 +6%	28.4 +15%

Kenntnis der Vorhersageunsicherheit ermöglicht:

- Finanzielle Optimierung
- Risikominimierung
-



Probabilistische Prognose

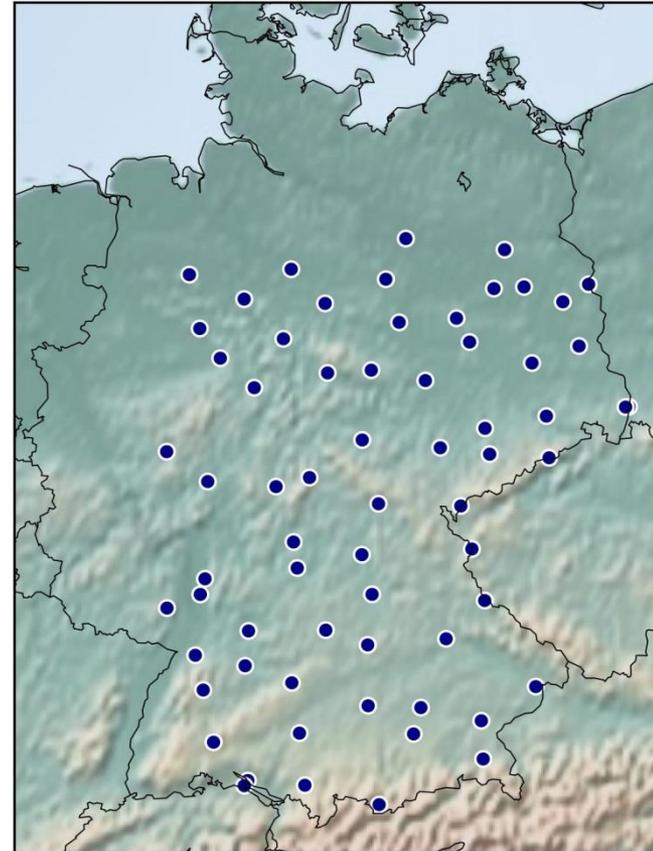
mögliche Ansätze

- Numerische Ensemble Vorhersagen
- Analyse von historischen deterministischen Vorhersagen und Messwerten
hier: Analogensemble

Datensatz

Messwerte

- Strahlungsmesswerte
 - 66 Standorte
 - DWD und MeteoGroup
- Globalstrahlung auf die Horizontale
global horizontal irradiance GHI
- Stündliche Messwerte
- Zeitraum:
Juli 2012 bis Dezember 2014



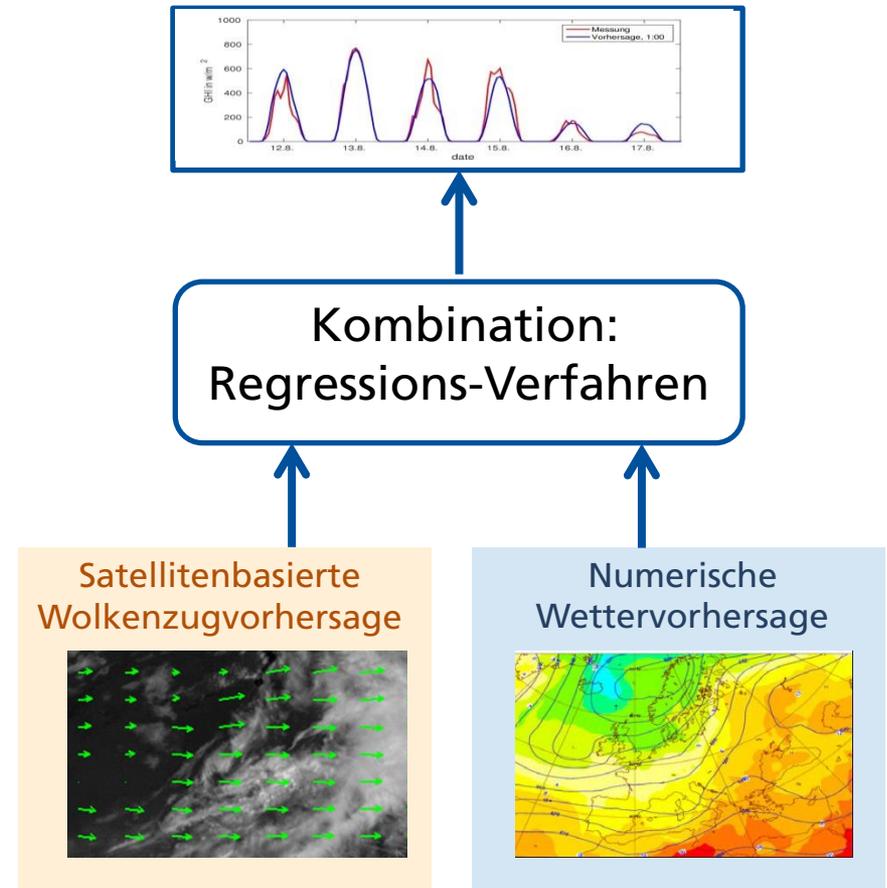
DWD: deutscher Wetterdienst

Datensatz

Vorhersagen

- Kombinationsprognosen
Universität Oldenburg
 - numerische Wetterprognosen:
 - DWD: COSMO-EU
 - ECWMF: IFS –HRES
 - Satellitenbasierte Wolkenzugvorhersagen
- Vorhersagehorizont:
intra-day, stündliche Updates

DWD : deutscher Wetterdienst
ECWMF: European Centre for
Medium Range Weather Forecasts

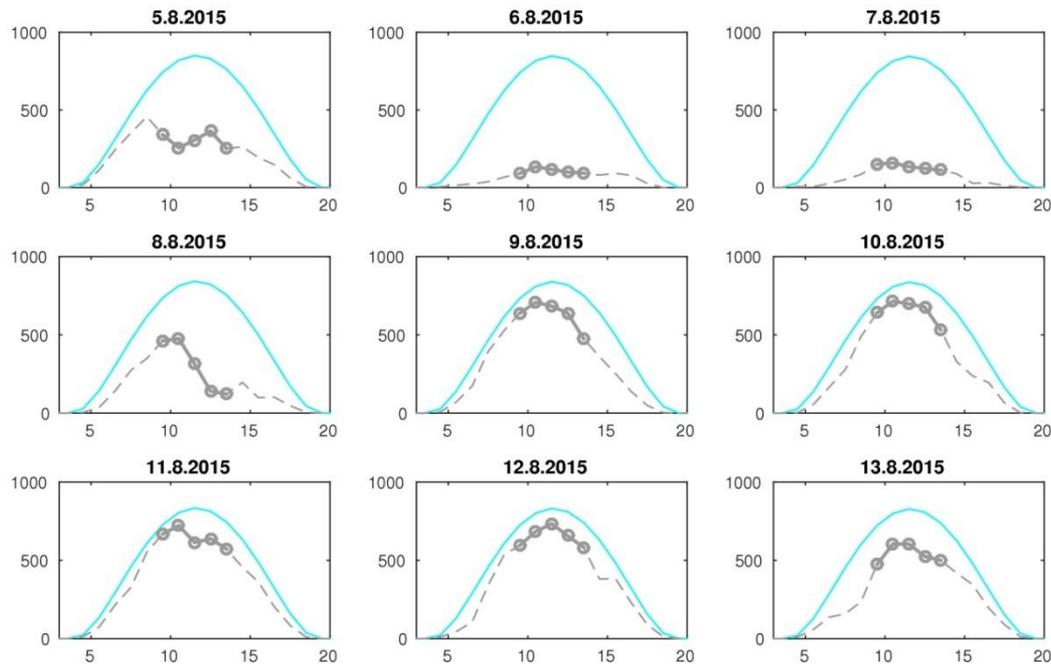


Analog Ensemble

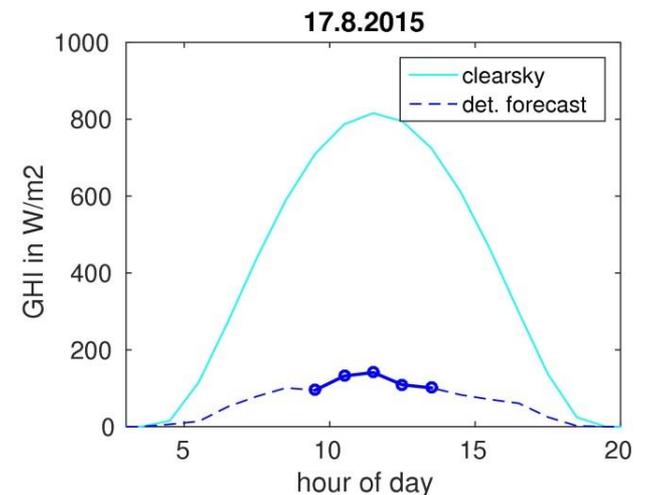
Grundprinzip

- Suche N ähnliche Vorhersagen („Analoge“) in der Vergangenheit

historische Vorhersagen



aktueller Tag

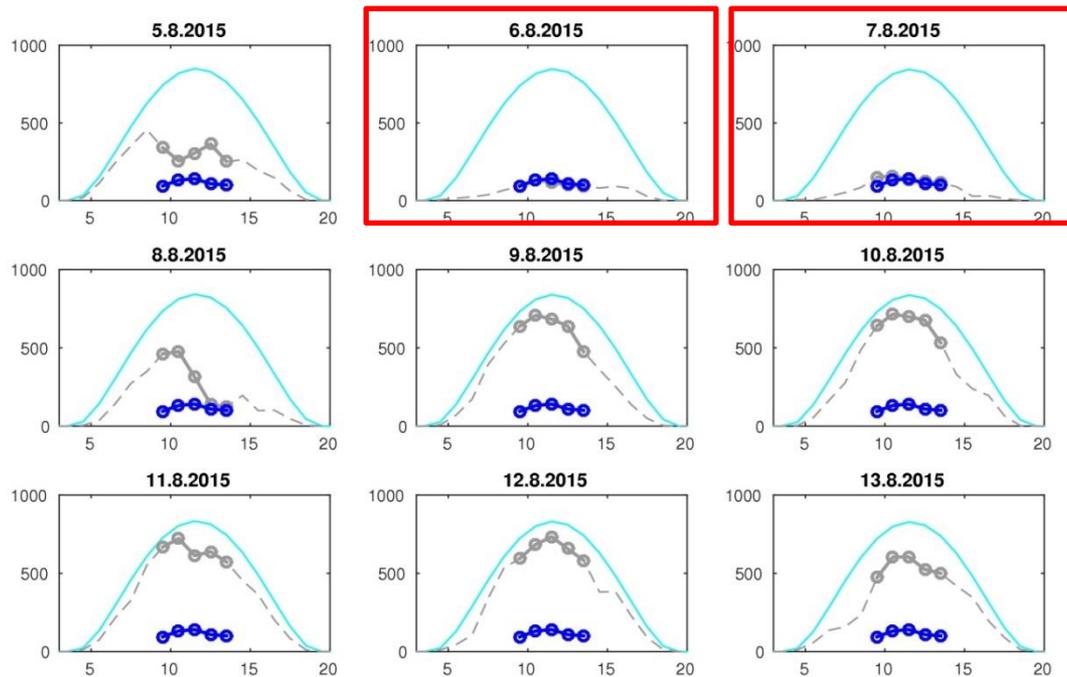


Analog Ensemble

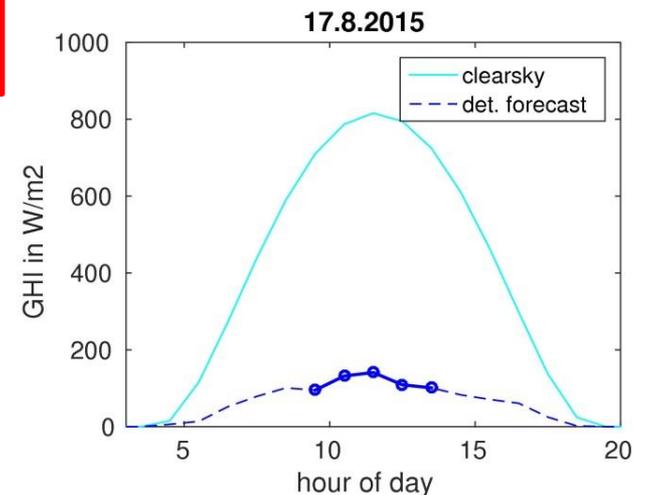
Grundprinzip

- Suche N ähnliche Vorhersagen („Analog“) in der Vergangenheit

historische Vorhersagen



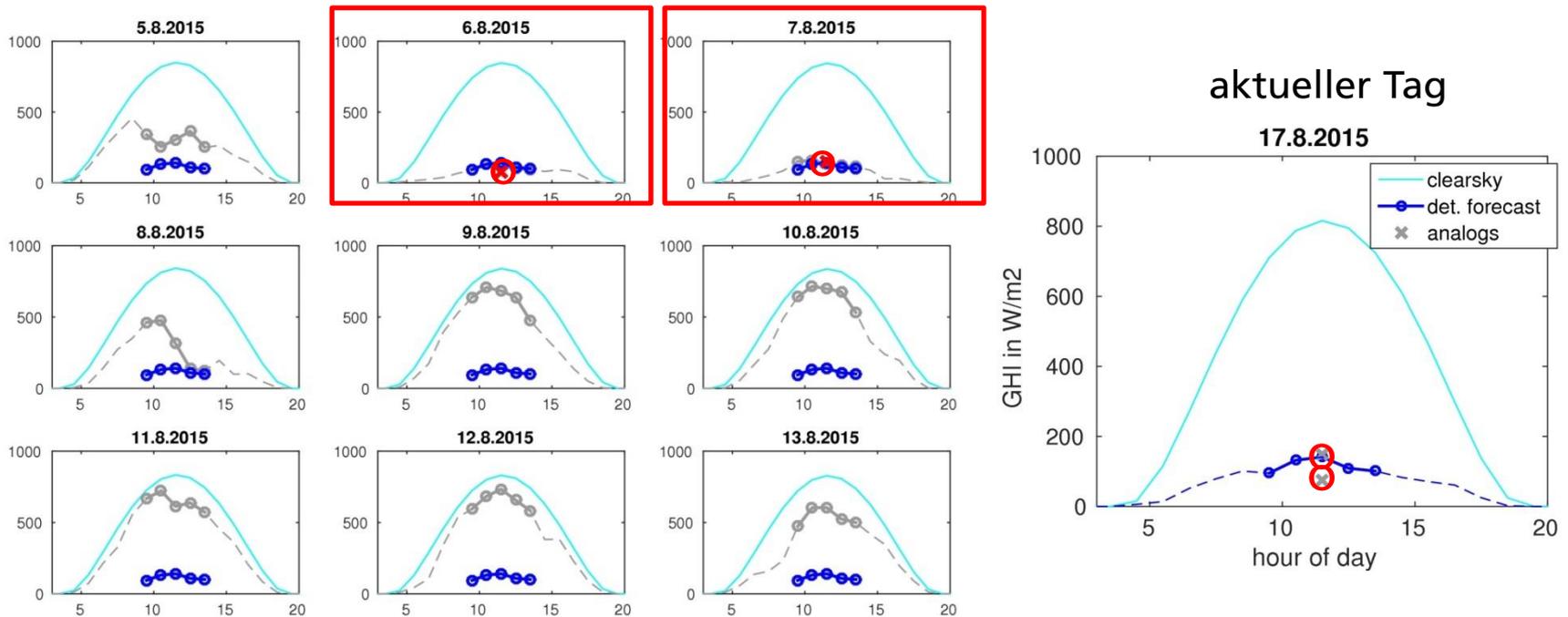
aktueller Tag



Analog Ensemble

Grundprinzip

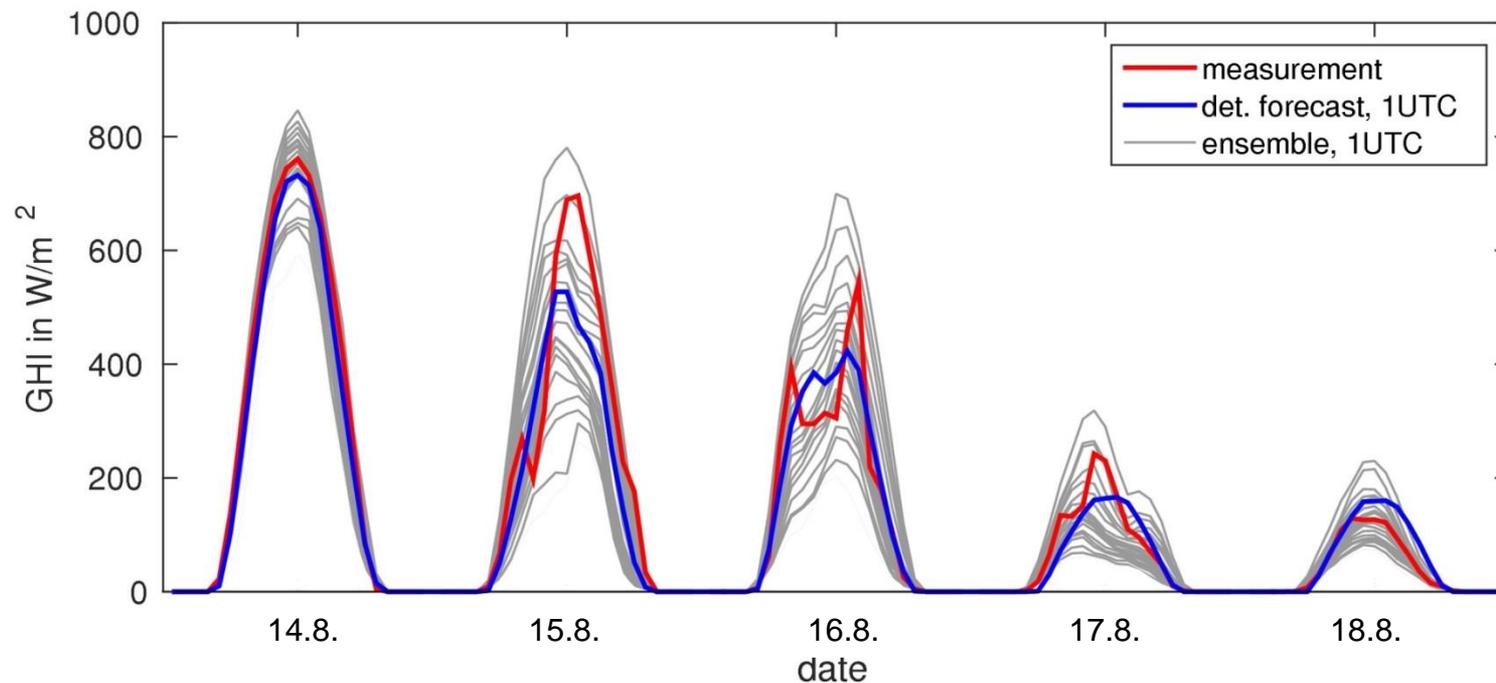
- Suche N ähnliche Vorhersagen („Analoge“) in der Vergangenheit
- Messwerte zu Zeitpunkten dieser Vorhersagen bilden Analog Ensemble



Analog Ensemble

Grundprinzip

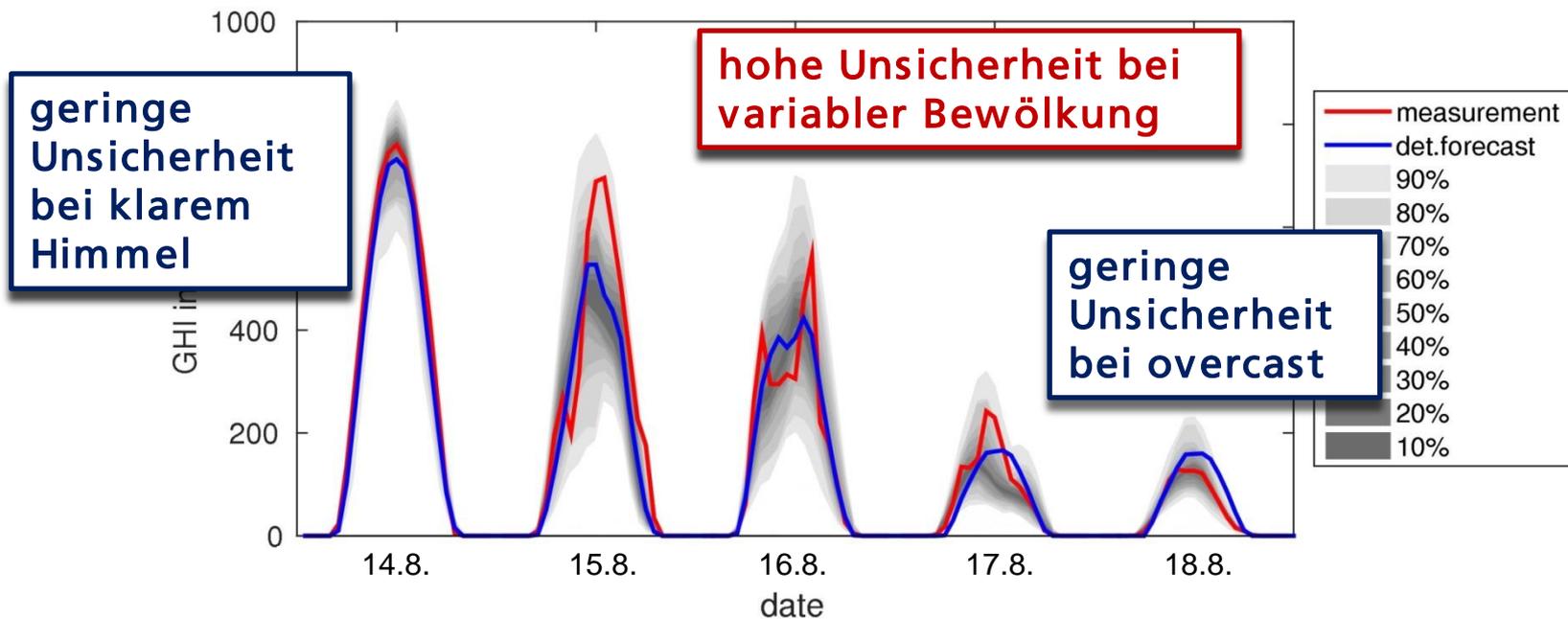
- Suche N ähnliche Vorhersagen („Analog“) in der Vergangenheit
- Messwerte zu Zeitpunkten dieser Vorhersagen bilden Analog Ensemble



Analog Ensemble

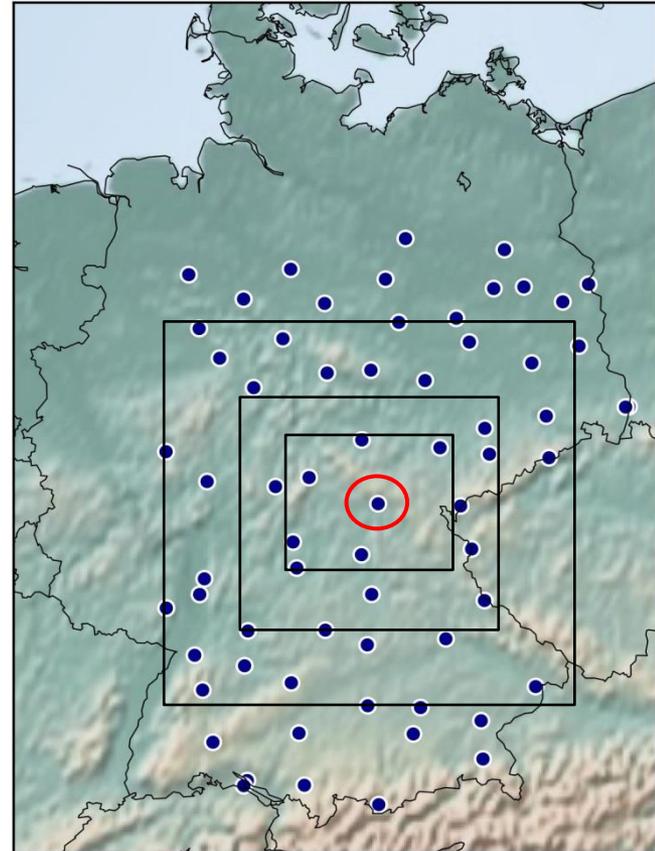
Grundprinzip

- Suche N ähnliche Vorhersagen („Analog“) in der Vergangenheit
- Messwerte zu Zeitpunkten dieser Vorhersagen bilden Analog Ensemble
- Sortierte Ensemblemember -> Wahrscheinlichkeitslevel



Analog Ensemble Modell Konfiguration

- Suchmenge für Analogs („Traingsmenge“)
 - Anzahl der Tage 20-180
 - Anzahl der Stationen 1-66
- Anzahl der Ensemblemember 20-100

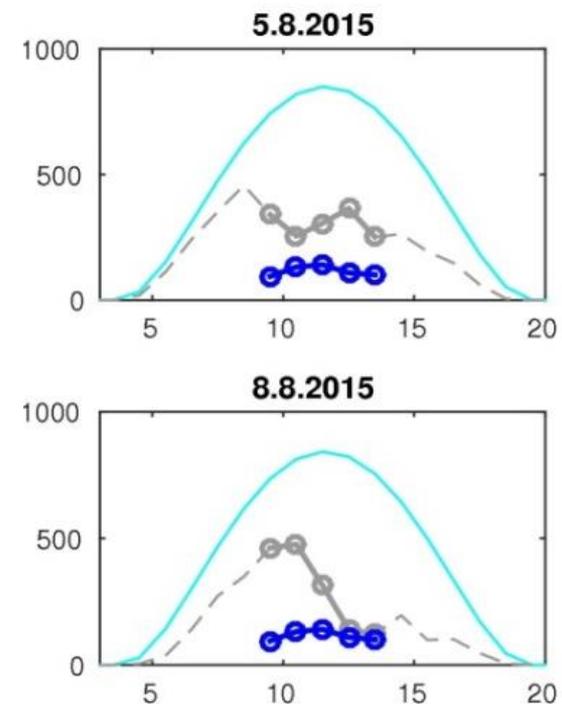


Analog Ensemble

Modell Konfiguration

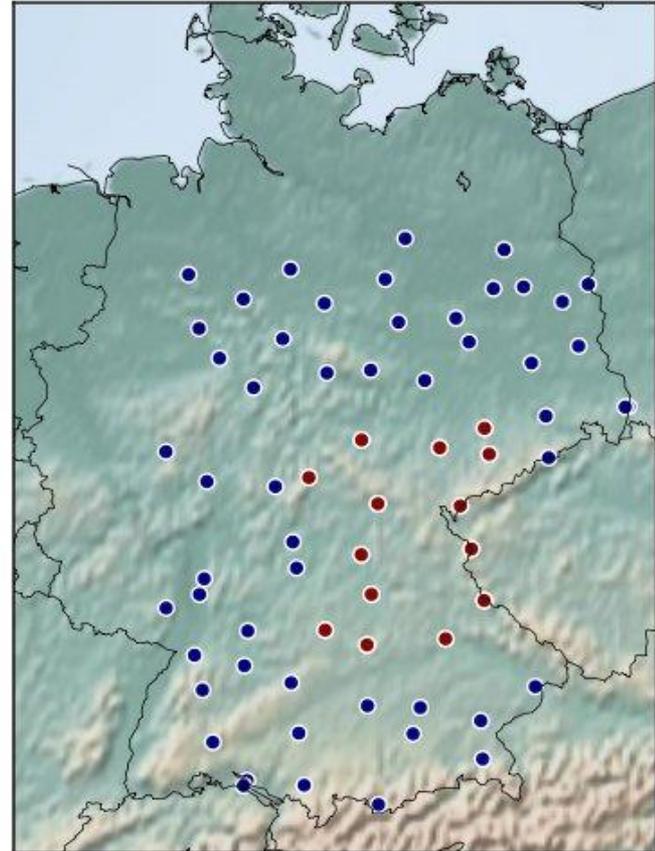
- Suchmenge für Analogs („Traingsmenge“)
 - Anzahl der Tage 20-180
 - Anzahl der Stationen 1-66
- Anzahl der Ensemblemember 20-100
- Kriterium „ähnliche“ Vorhersagen
 - Strahlung oder **clear sky index**
 - Anzahl der Werte $t, t+/-1h, t+/- 2h, \dots$

clear sky index:
Maß für Bewölkungsgrad



Analog Ensemble Modell Konfiguration

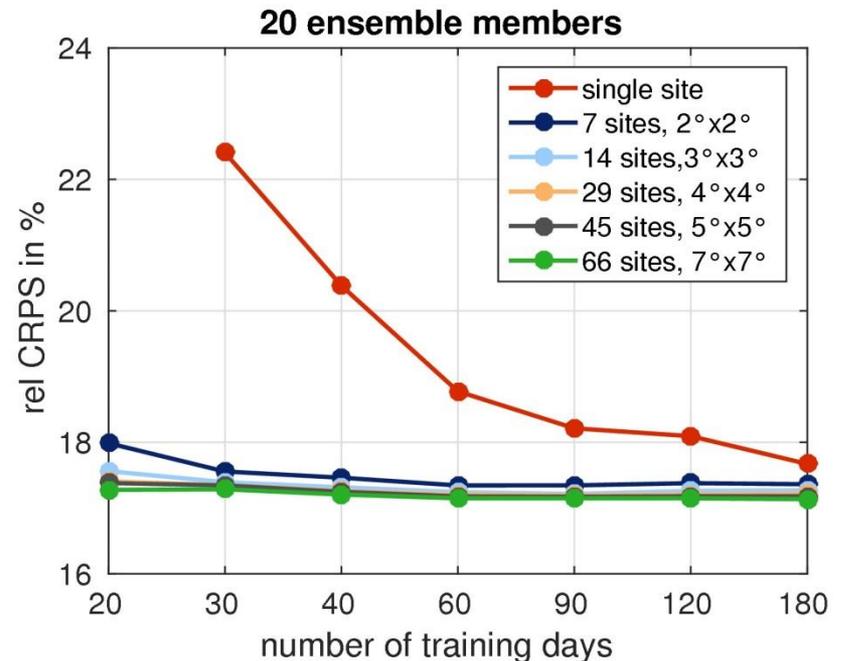
- Testmenge
 - 14 Standorte
 - Jahr 2013
 - NWP Kombinationsprognose
Lieferung 1 Uhr UTC
- Probabilistisches Bewertungsmaß:
continuous ranked probability score
CRPS



Analog Ensemble

Modell Konfiguration: Trainingsmenge

- CRPS* sinkt mit der Anzahl an Trainingsbeispielen: Tage **und** Stationen



*Rel. CRPS:

- nur Tageswerte
- bezogen auf Mittelwert der Messungen

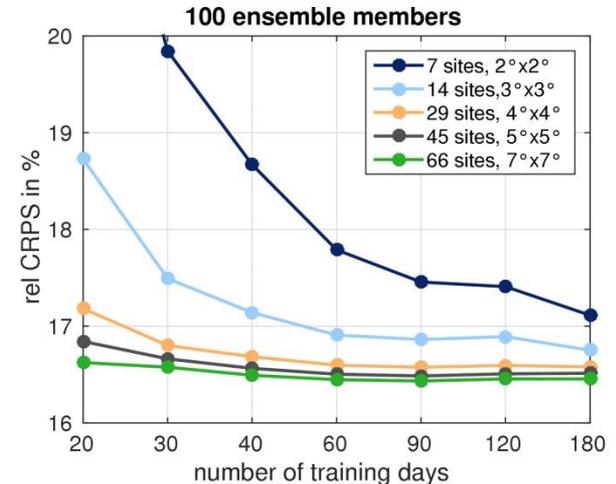
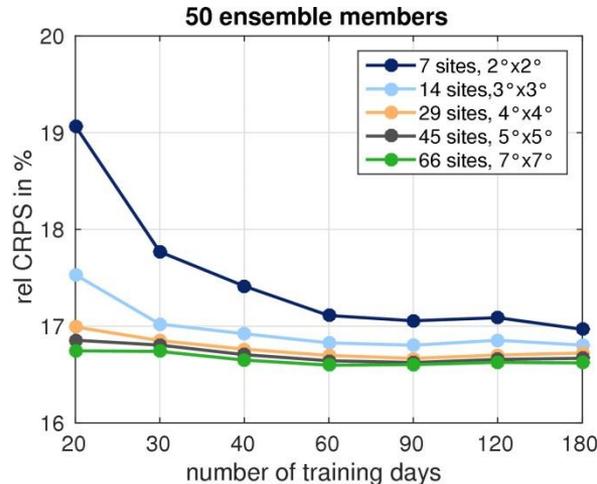
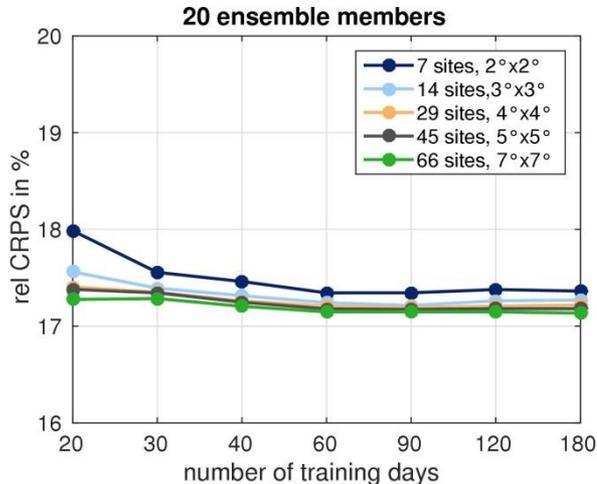
Analog Ensemble

Modell Konfiguration: Trainingsmenge & Ensemblegröße

zunehmende Ensemble Größe

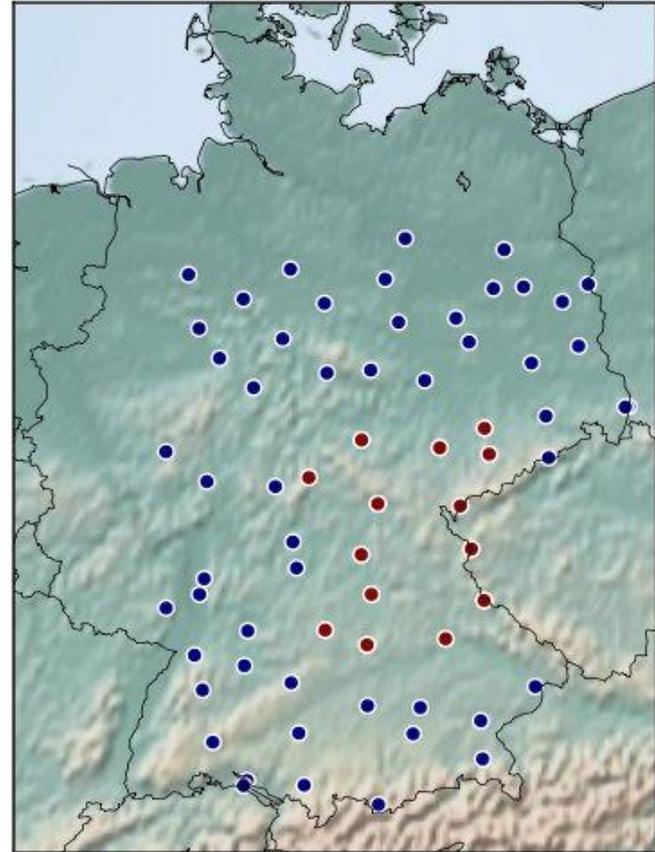
- zunehmender CRPS (schlechtere Prognose) bei kleiner Trainingsmenge
- abnehmender CRPS (bessere Prognose) bei genügend großer Trainingsmenge

Konfiguration: 66 Standorte/90 Tage/100 Ensemblemember



Auswertung

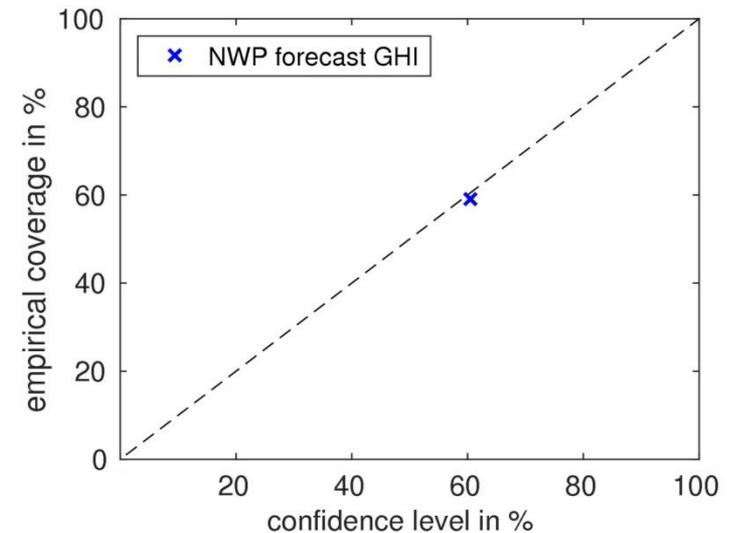
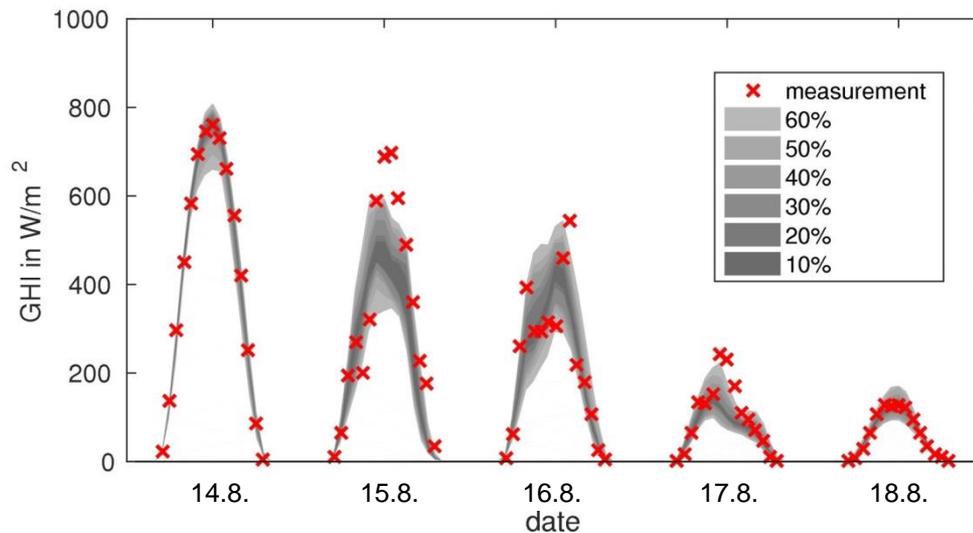
- Evaluationsdatensatz
 - 14 Standorte
 - Unabhängiges Jahr 2014
 - NWP und satellitenbasierte Kombinationsprognose



Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

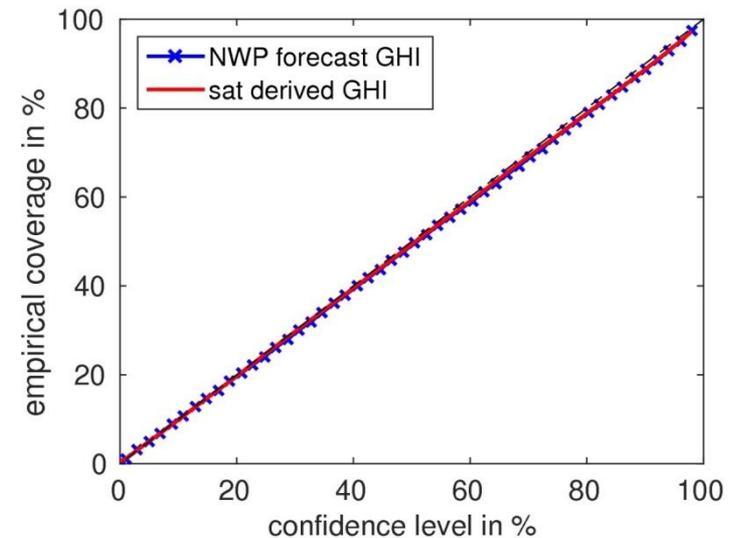
- Die erwartete Anzahl an Messwerten liegt innerhalb der angegebenen Wahrscheinlichkeitsgrenzen.



Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

- Die erwartete Anzahl an Messwerten liegt innerhalb der angegebenen Wahrscheinlichkeitsgrenzen.
- Für alle Wahrscheinlichkeitslevel erfüllt für NWP und satellitenbasiertes Analog Ensemble

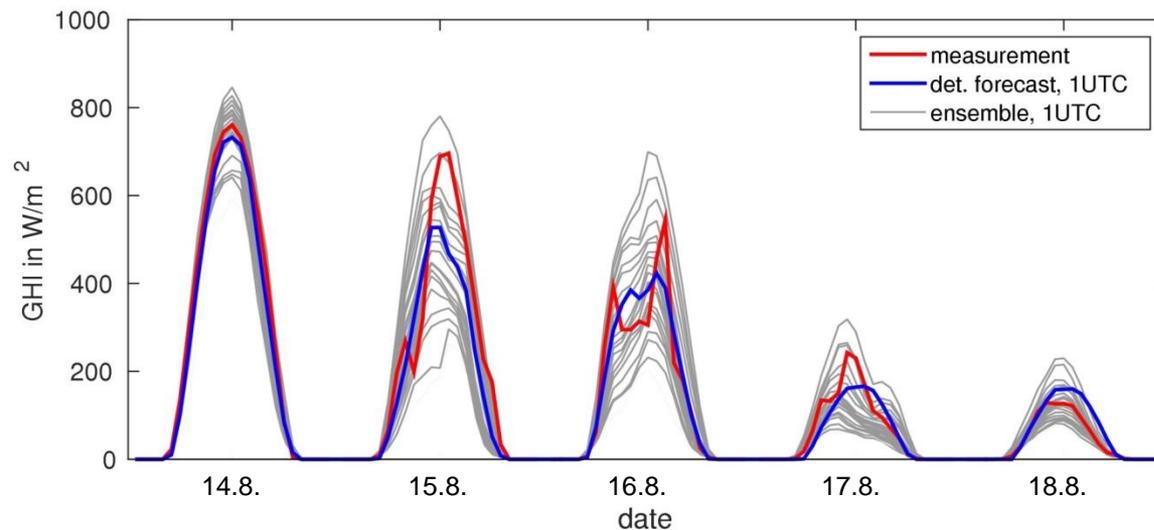


Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

- Situationen mit verschiedener Vorhersageunsicherheit werden zuverlässig unterschieden

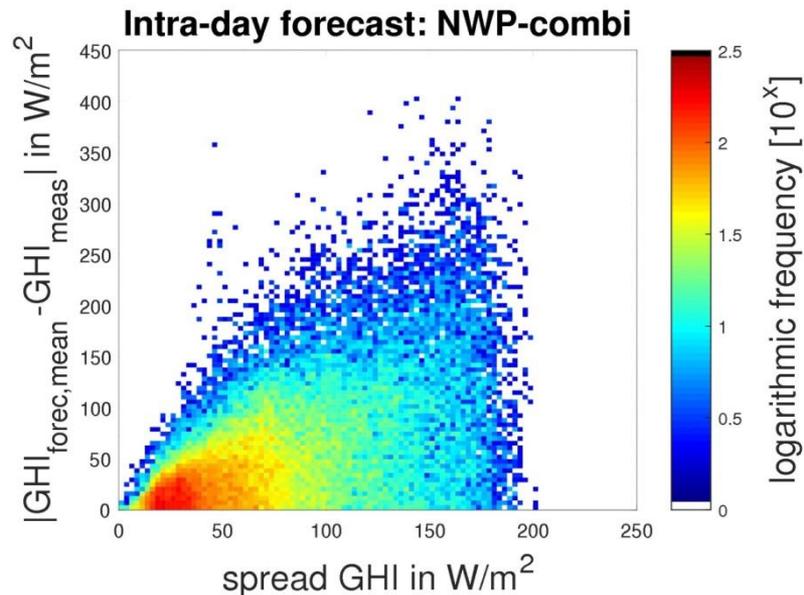
Vorhergesagte Unsicherheit: „spread“



Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

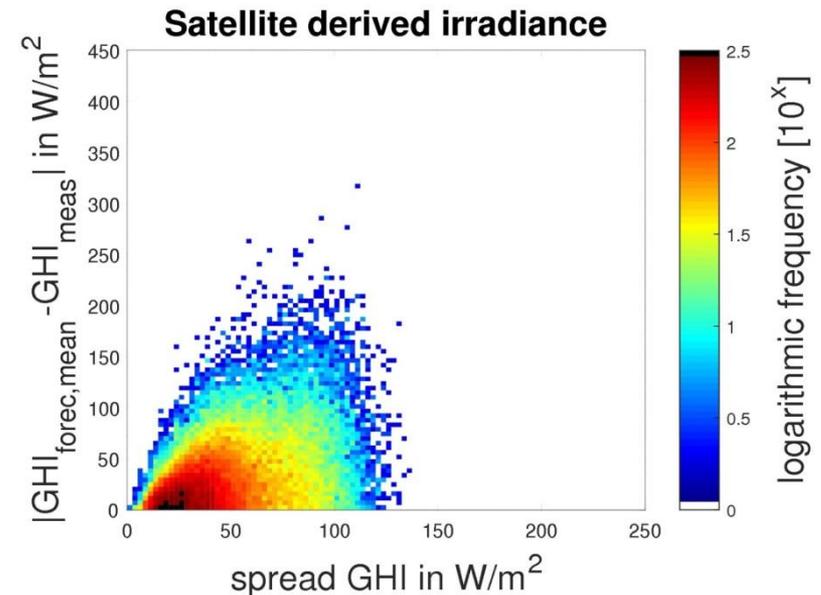
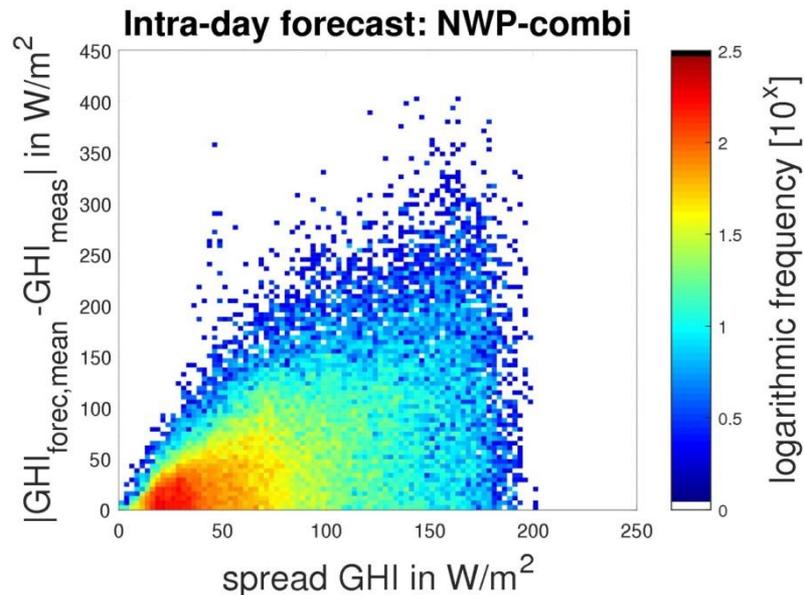
- Situationen mit verschiedener Vorhersageunsicherheit werden zuverlässig unterschieden
- Vorhergesagte Unsicherheit „spread“ beschreibt tatsächliche Fehler des Ensemblemittels



Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

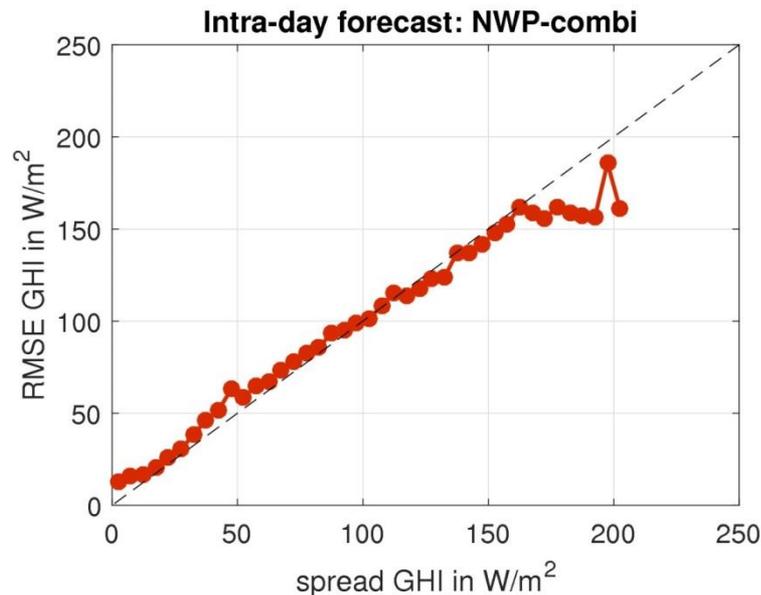
- Situationen mit verschiedener Vorhersageunsicherheit werden zuverlässig unterschieden
- Unsicherheit und Fehler des Ensemblemittels deutlich kleiner für satellitenbasiertes Analogensemble



Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

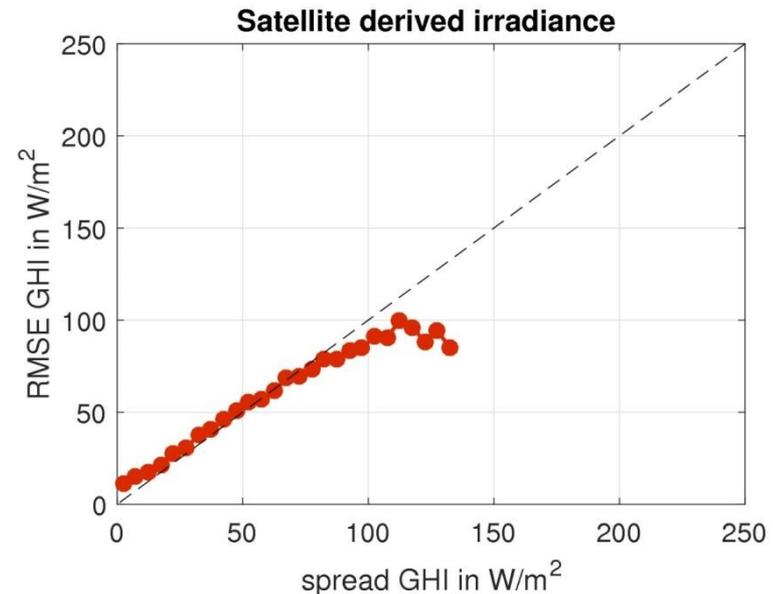
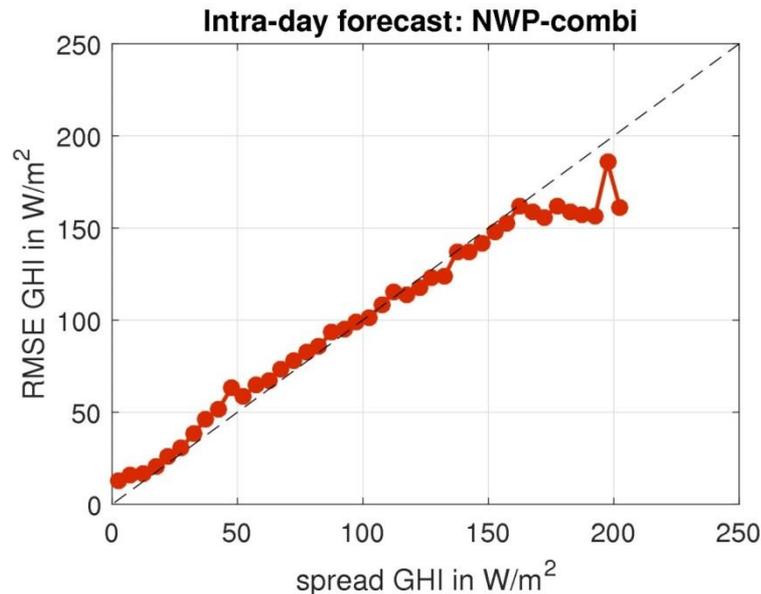
- Situationen mit verschiedener Vorhersageunsicherheit werden zuverlässig unterschieden
quantitativ: **Spread-skill Diagramme**



Auswertung der Prognosen

Zuverlässigkeit

- Situationen mit verschiedener Vorhersageunsicherheit werden zuverlässig unterschieden
- Gute Übereinstimmung von **spread** und **RMSE** für NWP und satellitenbasiertes Analogensemble



Zusammenfassung

- Analog Ensemble für NWP- und satellitenbasierte Strahlungsprognosen
- Modellkonfiguration:
Vergrößerung des Suchraums für Analogs durch Einbeziehen von mehreren Stationen erlaubt große Ensembles (100 Member) und führt zu besseren Prognosen
- Zuverlässige Beschreibung der Vorhersagunsicherheit für verschiedene
 - Wettersituationen (Bewölkungsgrad)
 - Vorhersagehorizonte und Verfahren (NWP- und satellitenbasiertes Ensemble)

Ausblick

- Erweiterung der Suchmuster für Analogs
- Anwendung für regionale Prognosen und Tageswerte
- Anwendung zur PV Leistungsprognose

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Elke Lorenz

www.ise.fraunhofer.de

elke.lorenz@ise.fraunhofer.de

Gefördert durch das BMWi
aufgrund eines Beschlusses
des deutschen Bundestages



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie