



Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

PV-SYMPOSIUM digital, 16. April 2020

# Wolkentypbedingte Abweichung zwischen der gemessenen Strahlungsvariabilität und satelliten- gestützten Vorhersagemodellen

S. Meilinger<sup>1</sup>, R. Yousif<sup>1\*</sup>, M. Schroedter-Homscheidt<sup>2</sup>,  
A. Herman-Czezuch<sup>1</sup> und C. Schirrmeister<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>  **IZNE** Internationales Zentrum  
für Nachhaltige Entwicklung  
International Centre for  
Sustainable Development

<sup>2</sup>  **DLR**





# Das Projekt MetPVNet

Satelliten- und Meteorologie-unterstützte Vorhersage der Energieerzeugung von PV-Anlagen auf Verteilnetzebene: Entwicklung, Validierung, Anwendung

## Verbesserung und Anwendung von energiemeteorologischen Vorhersagen

- Verbesserung der Gesamtmodellkette (insb. Verbesserung der Modellierung bewölkungsabhängiger Variabilität von Strahlungsfeldern und PV-Leistung)
- Anwendung im Rahmen eines innovativen Energiemanagements auf Verteilnetzebene

### Partner:

LMU München (MIM & HerZ); IUP Heidelberg; Fraunhofer ISE & IEE, TROPOS, DLR Oldenburg, egrid, BonnNetz





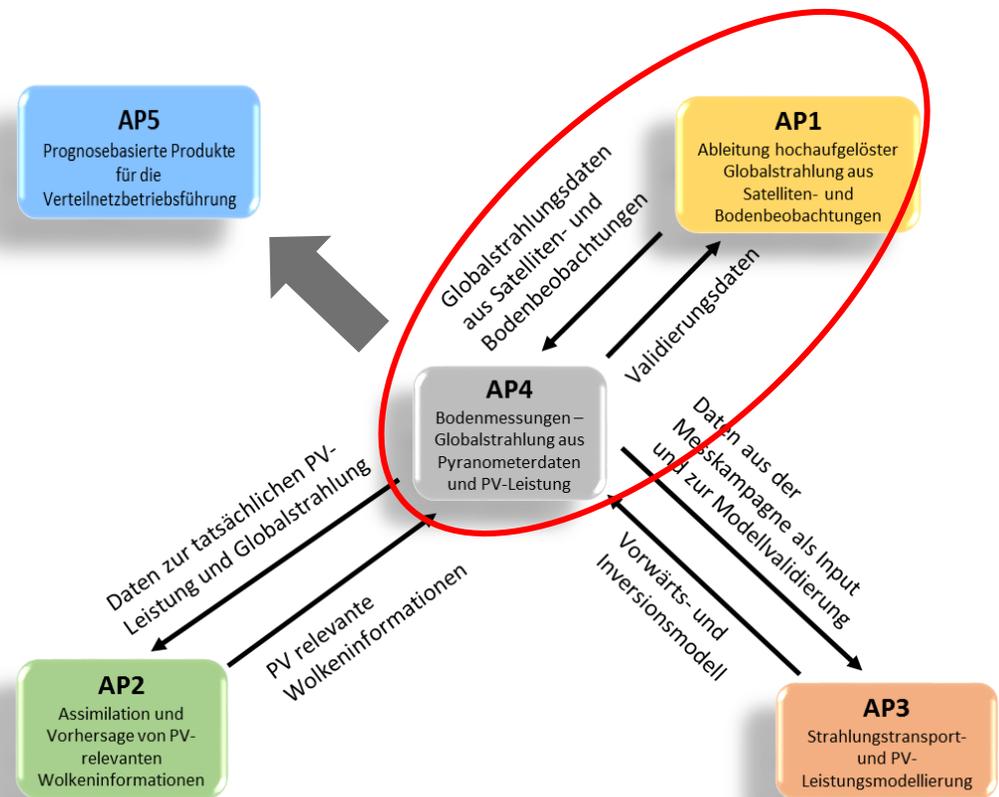
# Das Projekt MetPVNet

## Messkampagnen 2018/19: Validierung von Satellitenprodukten & Prognosen

- Validierung der im AP1 entwickelten hochaufgelösten Satellitenprodukte
- Validierung der in AP2 und AP3 entwickelten Modelle & Prognosen

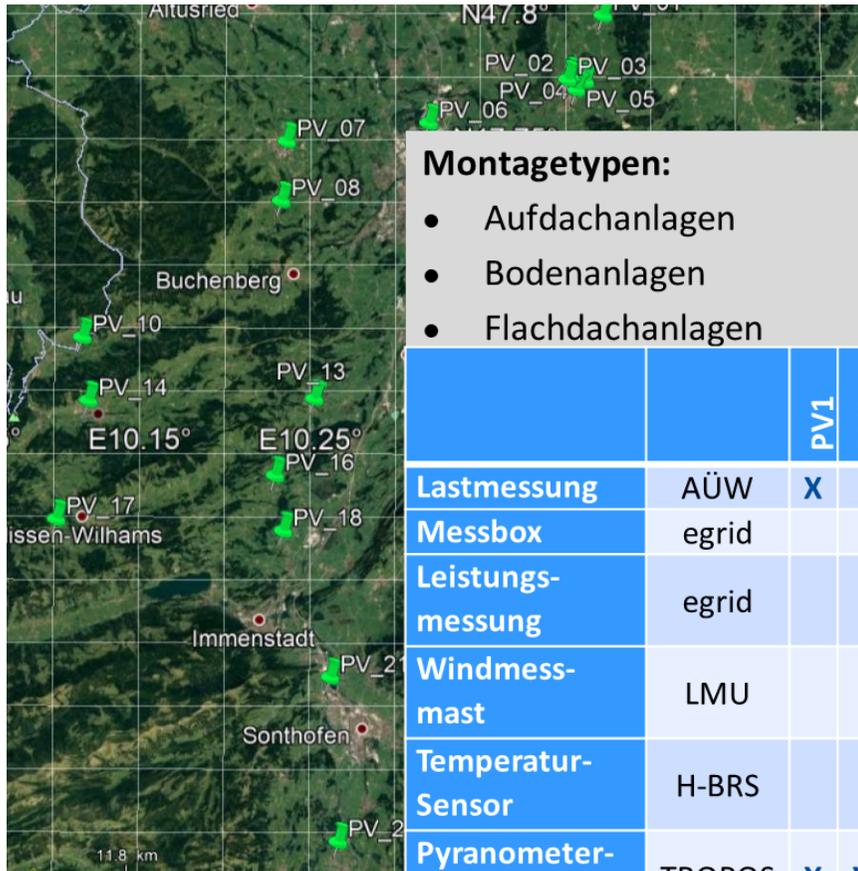
Es geht um die Validierung von Modellen und Prognosen für Strahlung, Bewölkung und PV-Leistung zur

- Bestimmung von Verbesserungspotentialen für die Verteilnetzbetriebsführung (AP5)





# MetPVNet Messkampagnen 2018/19



- 22 Messstandorte (PV-Leistung und Globalstrahlung)

### Montagetypen:

- Aufdachanlagen 17
- Bodenanlagen 3
- Flachdachanlagen 2

### Modultypen

- polykristalline Module 11
- monokristalline Module 4
- unklar 7

		PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8	PV9	PV10	PV11	PV12	PV13	PV14	PV15	PV16	PV17	PV18	PV19	PV20	PV21	PV22
<b>Lastmessung</b>	AÜW	X	X				X	X	X	X	X	X			X		X	X	X			X	X
<b>Messbox</b>	egrid				X							X	X			X				X			
<b>Leistungs- messung</b>	egrid													X	X								X
<b>Windmess- mast</b>	LMU											X											
<b>Temperatur- Sensor</b>	H-BRS											X	X										
<b>Pyranometer- Einheit</b>	TROPOS	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X



Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg



Gefördert durch:



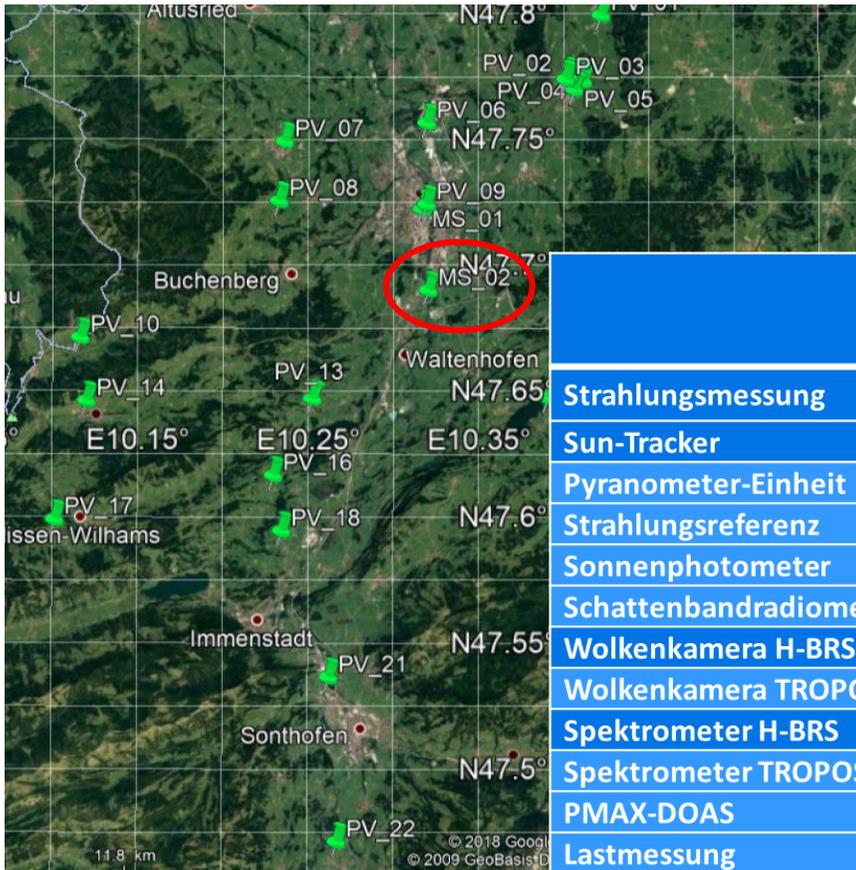
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Beispiel Standort PV\_11





# MetPVNet Messkampagnen 2018/19

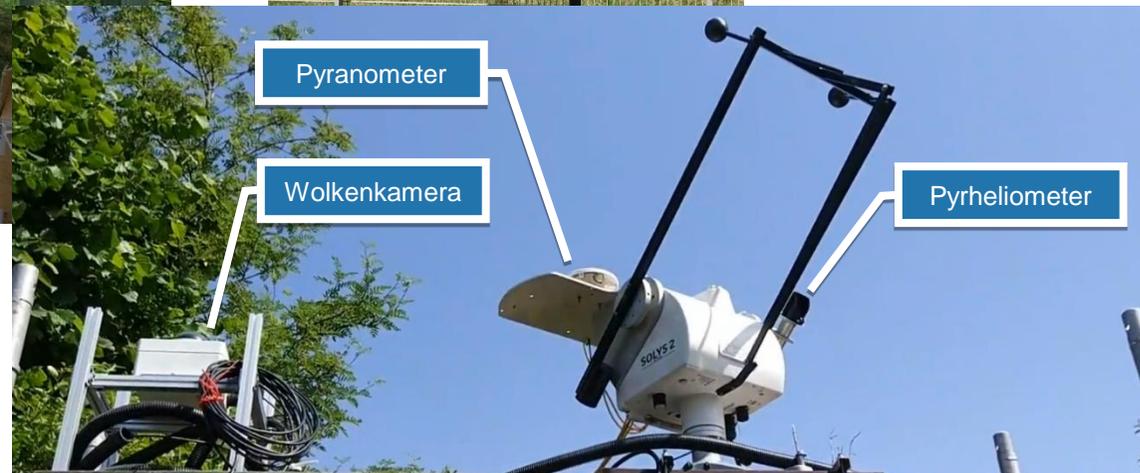


- 22 Messstandorte (PV-Leistung und Globalstrahlung)
- 2 Masterstationen (MS\_01, MS\_02)

		MS1	MS2
Strahlungsmessung	ISE, H-BRS		X
Sun-Tracker	H-BRS		X
Pyranometer-Einheit	TROPOS	X	X
Strahlungsreferenz	TROPOS	X	
Sonnenphotometer	TROPOS	X	
Schattenbandradiometer	TROPOS	X	
Wolkenkamera H-BRS	H-BRS		X
Wolkenkamera TROPOS	TROPOS	X	
Spektrometer H-BRS	H-BRS		X
Spektrometer TROPOS	TROPOS	X	
PMAX-DOAS	IUP-HD	X	
Lastmessung	AÜW		X
Windmessmast	LMU		X
Temperatur-Sensor	H-BRS		X



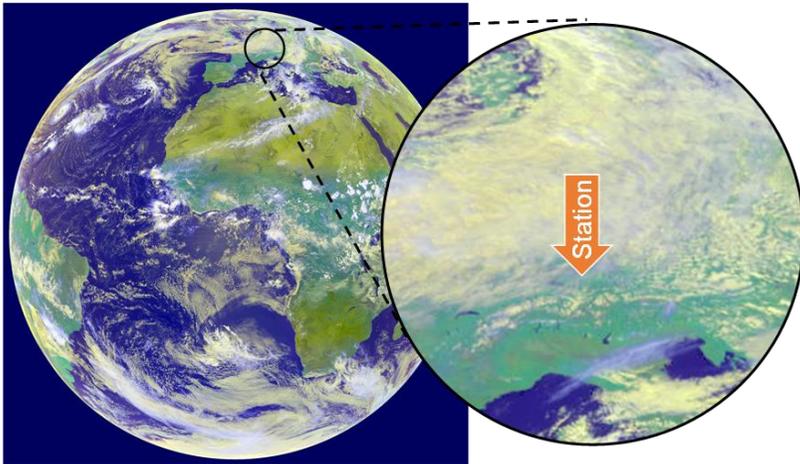
# Bodenmessungen am PV-Park Veits (MS\_02)



- Pyranometer (CMP11 von Kipp&Zonen),
- Pyrheliometer (auf SOLSYS 2 Suntracker montiertes CHP1 von Kipp & Zonen)
- Wolkenkamera (VIS-J1006 inklusive Analysesoftware „Findclouds“),



# Satellitendaten



Satellitenaufnahme am 02.10.2018 um 12:00 Uhr  
(EUMETSAT/DLR)

## CAMS Radiation Services:

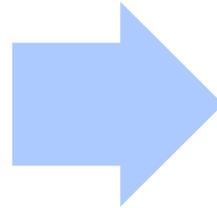
(Coperincus Atmosphere Monitoring Service)

- **CAMS McClear:**
  - Einstrahlung i.d. wolkenfreien Atmosphäre
  - basierend auf mit libRadtran erzeugten Lookup-Tabellen
  - nutzt Aerosol, H<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> aus CAMS-IFS
- **CAMS McCloud:**
  - basierend auf mit libRadtran erzeugten Lookup-Tabellen
  - Wolkeninfo aus MSG Seviri (APOLLO: Wolkenhöhe, Wolkenphase, optische Dicke)
  - mit Bias Korrektur



# Simulationsmodell (1)

libRadtran



Strahlung

## Input

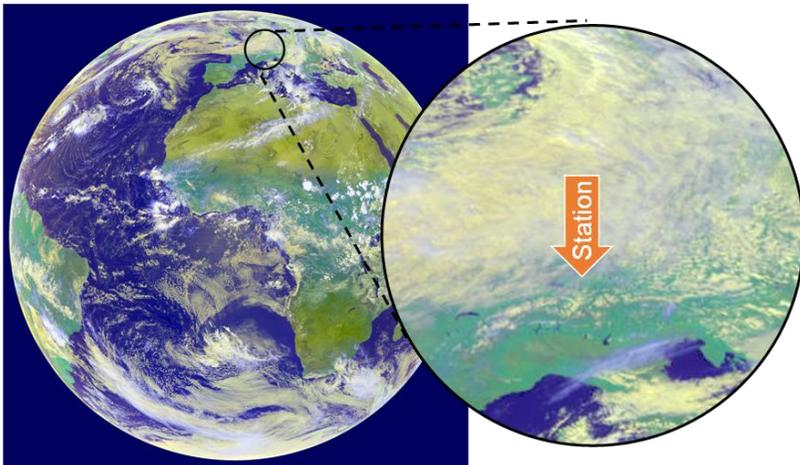
- Atmosphäre
  - Gase ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ )
  - Aerosol (AOD, Ångström)
  - Wolken (Wolkenhöhe, Wolkenphase, COD)
  - ggf. Bedeckungsgrad
- Boden
  - Höhe
  - Albedo

## Output

- Global
- Direkt
- Diffus

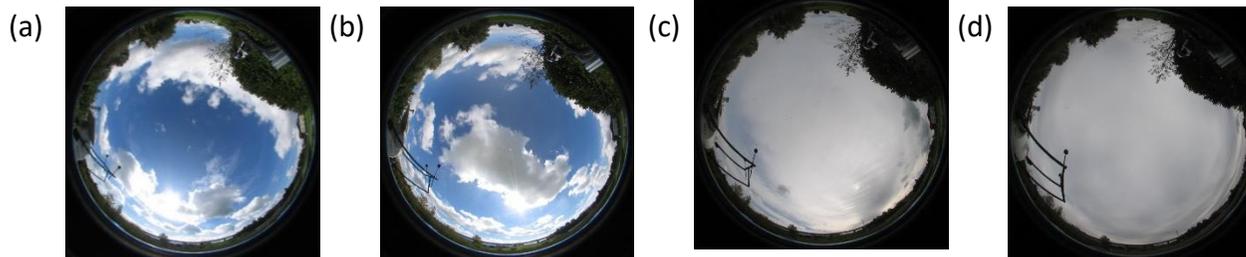


# Satelliten- und Bodenmessungen...



...eine unterschiedliche Perspektive  
auf denselben Himmel.

Satellitenaufnahme am 02.10.2018 um 12:00 Uhr (EUMETSAT/DLR)

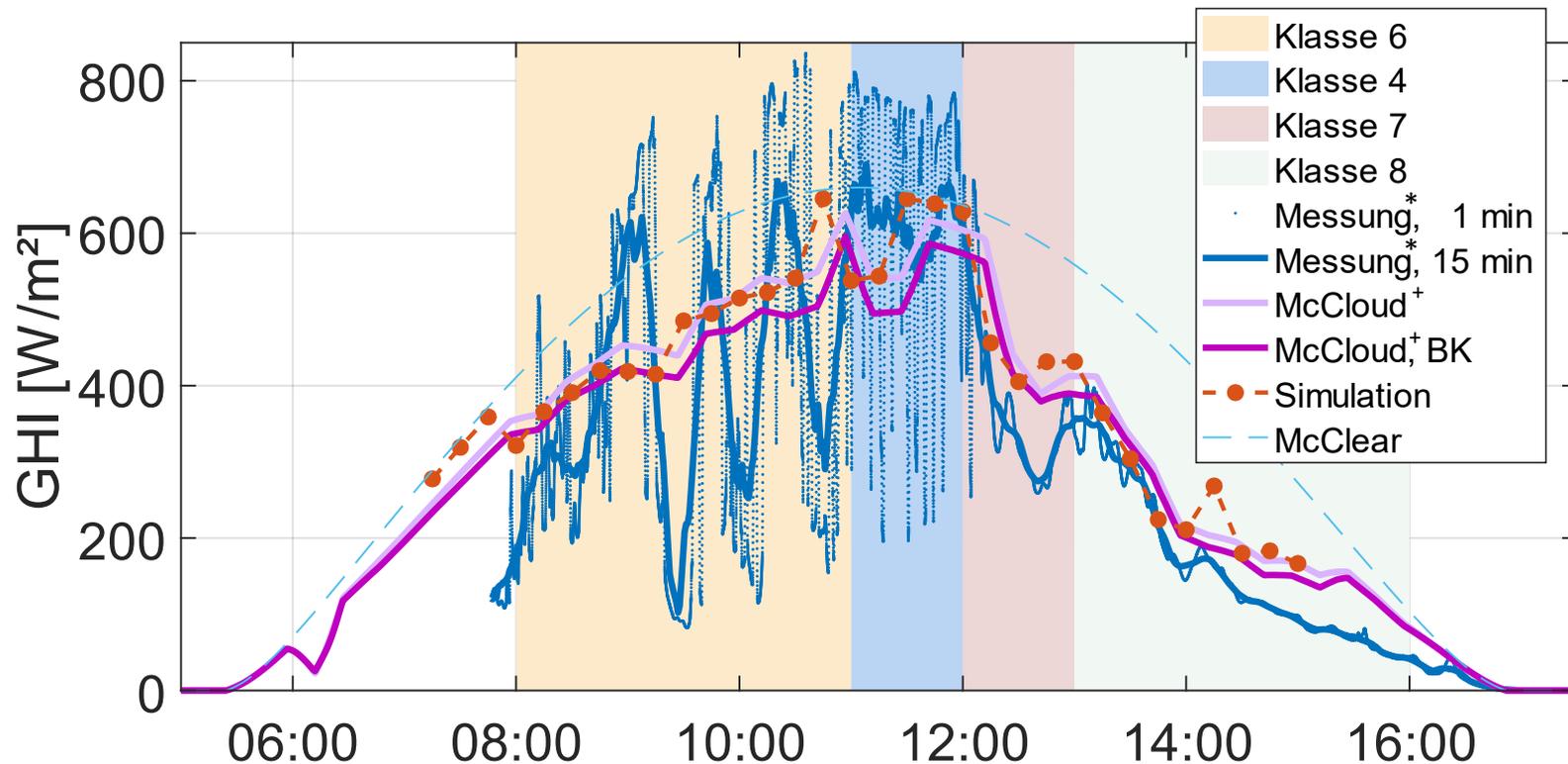


Typische Wolkenkameraaufnahmen im Tagesverlauf des 02.10.2018 zu Zeiten der Variabilitätsklassen

(a) 6 (10:00 Uhr), (b) 4 (11:30 Uhr), (c) 7 (12:30 Uhr) und (d) 8 (14:00 Uhr)



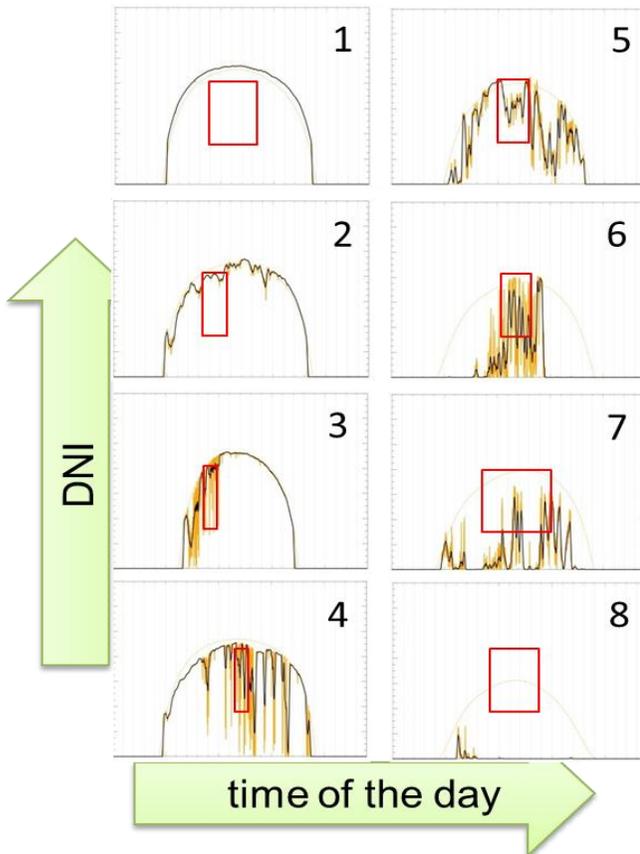
# Bodenmessungen, Satellitendaten und Simulation



Tageszeitreihe (UTC) der GHI am PV-Park Veits Oct 02, 2018

\*gleitende Mittelwerte aus sekündl. Messungen  
+ lineare Interpolation von Daten im 15 min Raster

# Definition von Variabilitätsklassen



Konzept der Variabilitätsklassen nach Schroedter-Homscheidt et al. (2018):

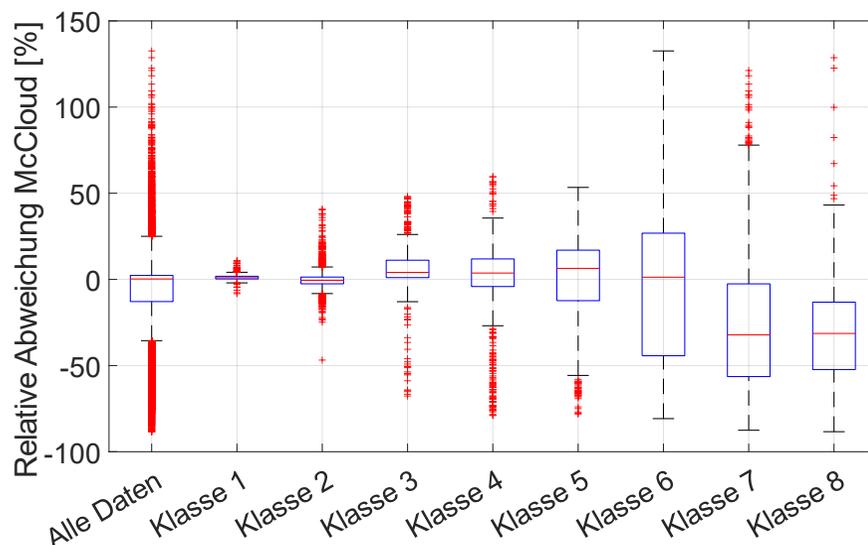
- Klasse 1: klarer Himmel,
- Struktur des Wolkenfeldes von
  - homogen klar (1+2) zu
  - heterogen (3-6) zu
  - homogen bewölkt (7+8)
- Wolkenoptische Dicke (COD) und damit der Strahlungseinbruch, nehmen mit der Klasse (1→8) zu
- Klasse 8: zeitlich durchgehende, optisch dicke Bewölkung



# Statistische Analyse

Wolkentypbedingte Abweichung zwischen der gemessenen Strahlungsvariabilität  
und Satellitendaten

$$\text{Relative Abweichung} = \frac{\text{GHI}_{\text{Bodenmessung}} - \text{GHI}_{\text{Modell}}}{\text{GHI}_{\text{Modell}}} \cdot 100\%$$



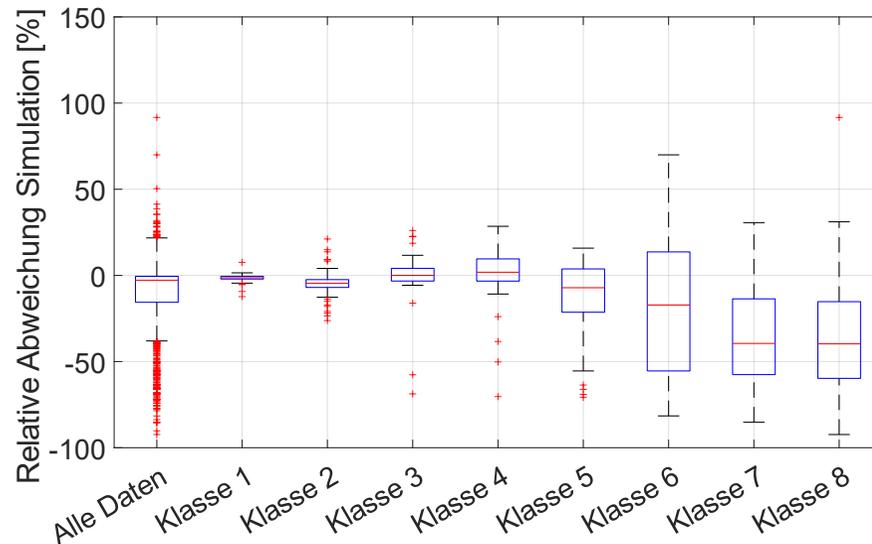
- Bodenmessungen:  
minütlich gleitende Mittelwerte  
Standort PV-Park Veits (MS\_02)
- Satellitendaten:  
McCloud Daten mit BK  
15 Minutenwerte interpoliert
- Zeitraum:  
MetPVNet Messkampagne 2018  
(04.09.-16.10.2020)

Boxplot der relativen Abweichung zwischen GHI aus Bodenmessungen  
(gleitendes Minutenmittel) und Satellitendaten (McCloud mit BK)

# Statistische Analyse

Wolkentypbedingte Abweichung zwischen der gemessenen Strahlungsvariabilität und satellitenbasierten Simulationen

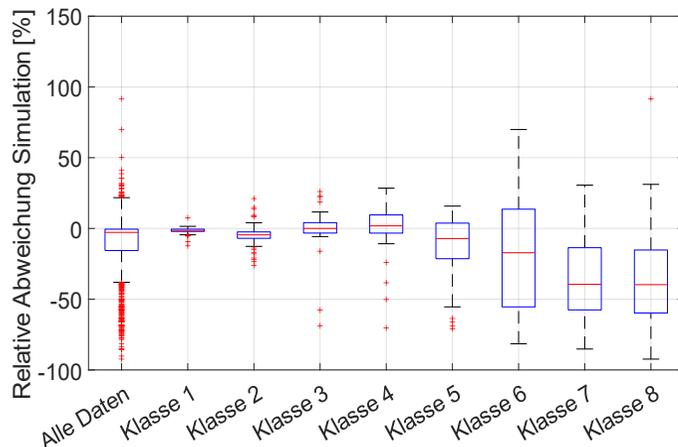
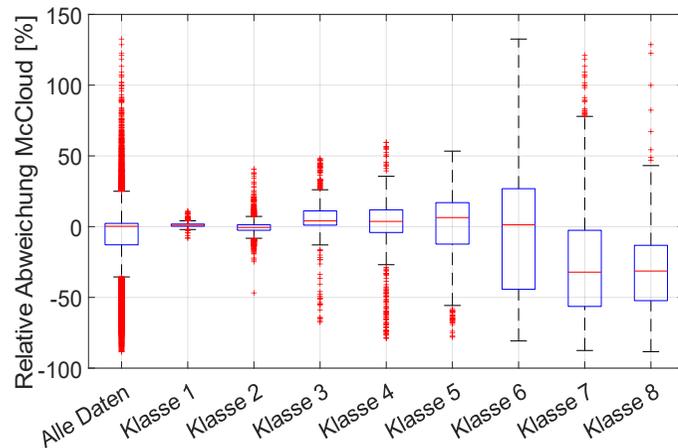
$$\text{Relative Abweichung} = \frac{\text{GHI}_{\text{Bodenmessung}} - \text{GHI}_{\text{Modell}}}{\text{GHI}_{\text{Modell}}} \cdot 100\%$$



Boxplot der relativen Abweichung zwischen GHI aus Bodenmessungen (gleitendes Minutenmittel) und Simulation (mit libRadtran)

- Bodenmessungen:  
minütlich gleitende Mittelwerte
- Simulation mit libRadtran v2.0.1 (DISORT) in 15 Minuten Auflösung mit satellitenbasierten Inputgrößen, **insb. Wolkeneigenschaften gemäß**
  - **APOLLO (Typen, Höhe und geometrische Dicke )**
  - Ebell et al. (2011) (Wolkentypabhängiger LWC/ IWC, Effektivradien)
  - Bedeckungsgrad der Wolkenkamera

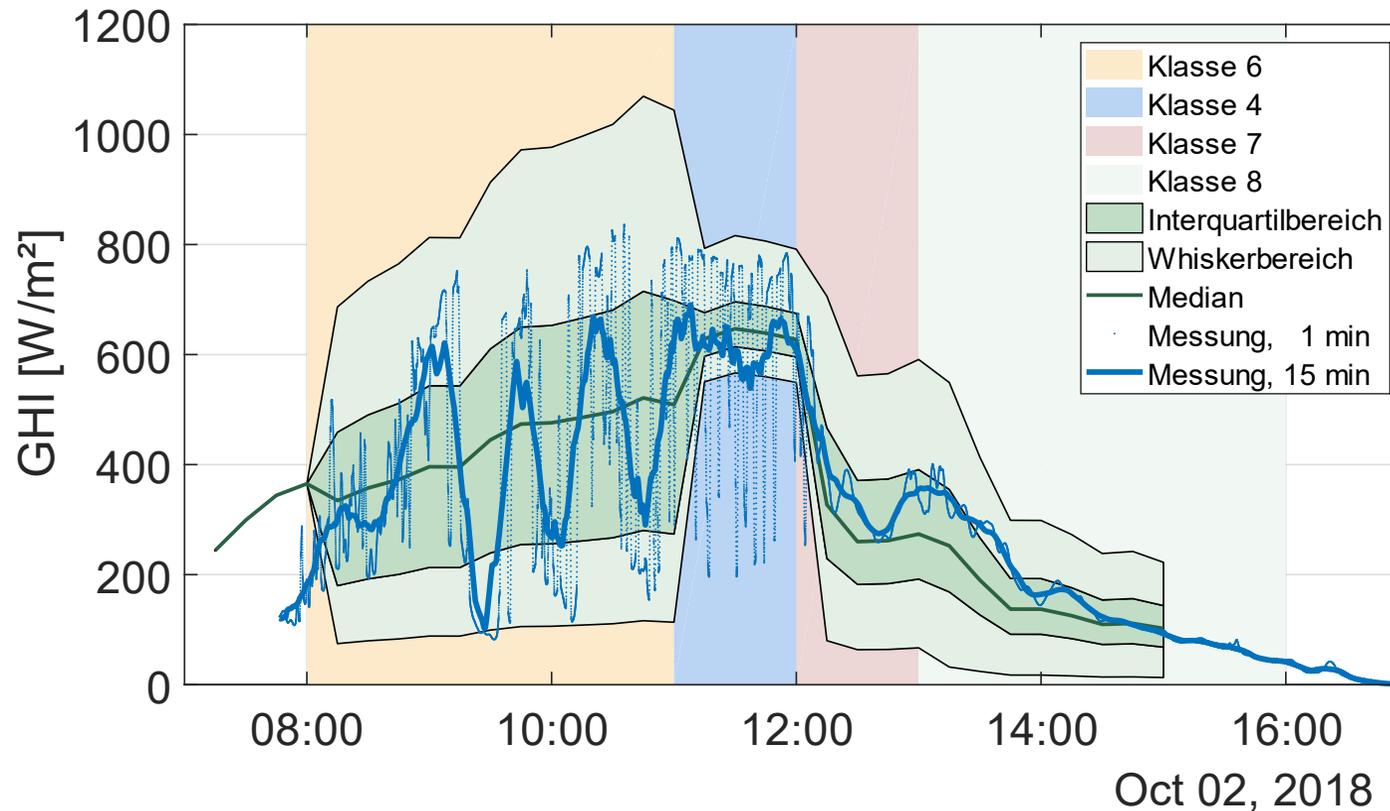
# Statistische Analyse



- **Heterogene Bewölkung bei überwiegend klarem Himmel (Klasse 3/4):** Satellitendaten/Simulation unterschätzen die lokale Strahlung am Boden im Mittel (wenige Prozent)
  - **Starke und überwiegend homogener Bewölkung (Klasse 7-8):** Satellitendaten/Simulation überschätzen im Mittel die lokale Strahlung am Boden (> 30 %).
  - **Variabilität** wächst mit zunehmender heterogener Bewölkung zunächst an (aufsteigender Wolkenklasse 1 – 6), um dann bei weitgehend homogener Bewölkung (Klasse 7 – 8) wieder abzunehmen.
- Variabilitätsabschätzung als auch eine BIAS Korrektur der Satelliten- und Modelldaten sollte in Zukunft wolkenklassenabhängig vorgenommen werden.



# Nachprozessierung der simulierten Einstrahlung

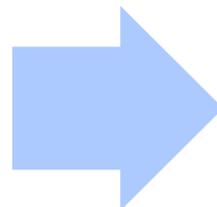


Exemplarisch auf die Simulation angewendete Strahlungsvariabilitätsmaße



## Simulationsmodell (2)

Strahlung



PV-Leistung

### Nachprozessierte Einstrahlung

- Wolkenklassen-  
abhängige Bias  
Korrektur
- Wolkenklassen-  
abhängige  
Variabilitätsmaße

### Input

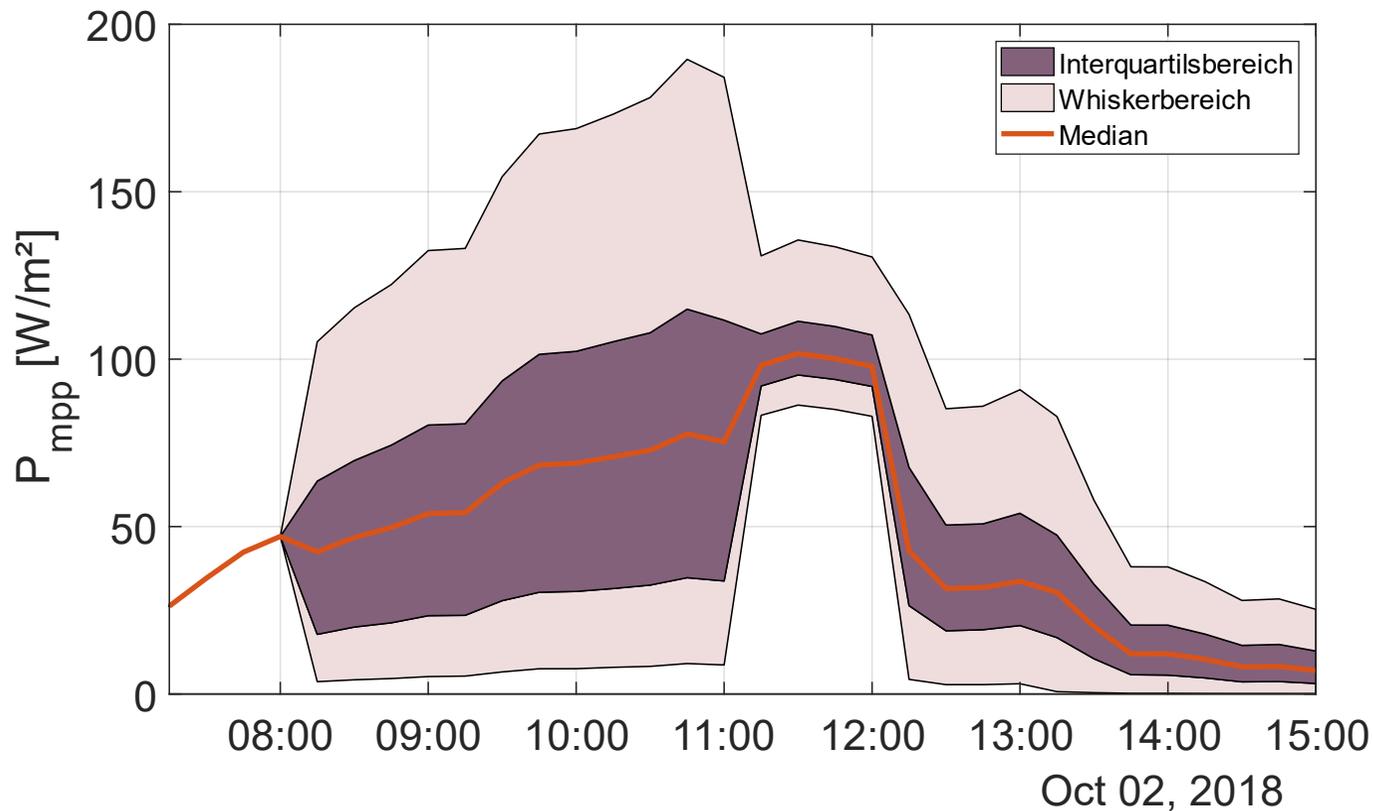
- Modulneigung
- Reflexionsverluste
- Modultemperatur (abh.  
von Wind, Umgebungs-  
temperatur)

### Output

- PV-Leistung nach dem  
Zwei-Dioden-Modell



# Nachprozessierung der simulierten PV-Leistung



## Variabilität der PV-Leistung



# Wolkentypabhängige Nachprozessierung

„Welche Chancen bietet die Kombination von Boden- und Satellitendaten für die Strahlungsprognose?“

Satelliten  
basierte  
Strahlungs-  
prognose

Wolkentyp-  
bestimmung

Wolkentyp-  
abhängige Nach-  
prozessierung  
der Strahlung:  
GHI Bias &  
Variabilität

PV-Ertrags-  
prognose mit  
Variabilitäts-  
erwartung



# Zusammenfassung

- Bodengebundene Strahlungsmessungen im Rahmen der MetPVNet Messkampagnen stehen zur Verfügung
- Für einen Teil der Daten wurde die Abweichung zwischen bodengemessener Strahlung, Satellitendaten und satelliten-gestützten Vorwärtssimulationen als Funktion der Variabilitätsklasse quantifiziert
- Es wurde ein Verfahren für eine variabilitätsklassenabhängige Nachprozessierung satellitengestützter Strahlungsprognosen vorgeschlagen
- Nächste Schritte:
  - Ausweitung der statistischen Auswertung (z.B. auf die 22 MetPVNet PV-Standorte, auf die zweite Messkampagne im Sommer 2019)
  - Implementierung der Nachprozessierung in Strahlungsprognosen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



MetPVNet Konsortialtreffen (Kempten, 1.-2. Juli 2019)



Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

## Kontakt

Prof. Stefanie Meilinger  
Sustainable Technologies

International Center for Sustainable Technology  
Department of Electrical Engineering, Mechanical  
Engineering and Technical Journalism  
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

[Stefanie.Meilinger@h-brs.de](mailto:Stefanie.Meilinger@h-brs.de)

[www.h-brs.de/de/prof-dr-stefanie-meilinger](http://www.h-brs.de/de/prof-dr-stefanie-meilinger)

[www.h-brs.de/en/izne](http://www.h-brs.de/en/izne) and [www.h-brs.de/en/tree](http://www.h-brs.de/en/tree)

