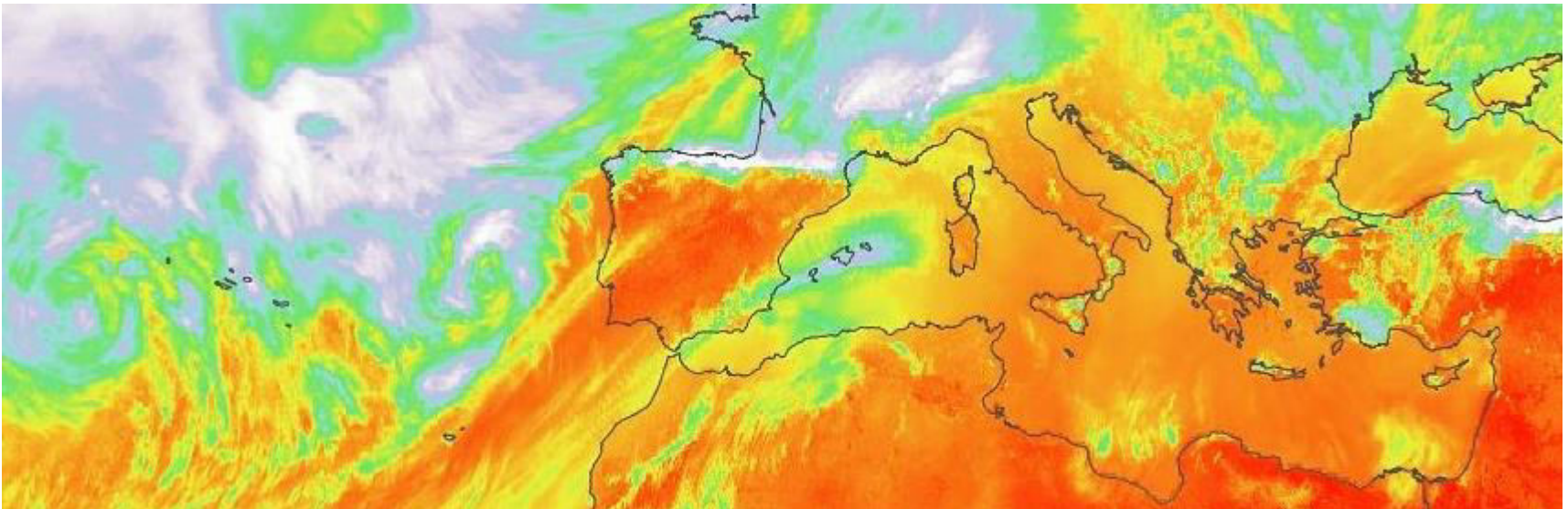
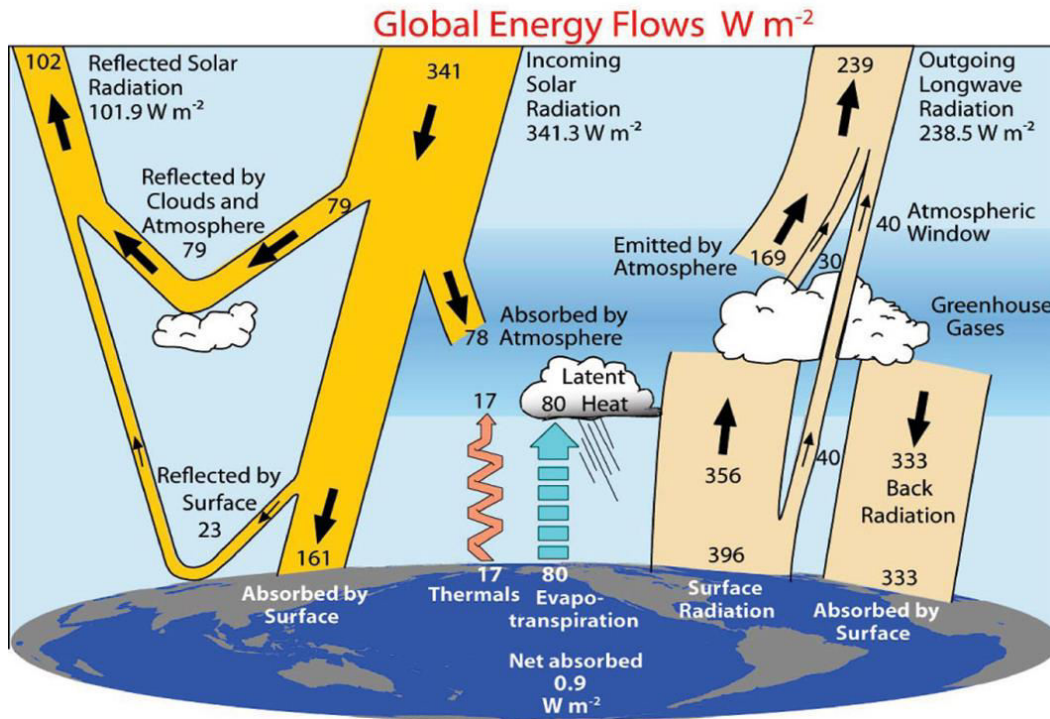


Satelliten-basierte Daten der solaren Einstrahlung – Klimatologische Daten des CM SAF und ihre Anwendung im Bereich der Solarenergie

Steffen Kothe, Roswitha Cremer, Richard Müller,
Uwe Pfeifroth, Jörg Trentmann



Motivation



Quelle: Trenberth et al. 2009

- ➔ Strahlung beschreibt Quellen und Senken der Energie des Systems Erde-Atmosphäre
- ➔ Einer der wichtigsten Parameter der Meteorologie
- ➔ Strahlungsdaten von hoher Qualität benötigt, um Verständnis von Klimasystem, Klimawandel zu verbessern
- ➔ Planung und Überwachung von Solaranlagen

Solar Radiation Dataset – Heliosat (SARAH)

→ Variablen

- Globalstrahlung (SIS)
- Normalisierte Direktstrahlung (DNI)
- Effektive Wolkenalbedo (CAL)

→ Auflösung

- Räumlich: $0.05^\circ \times 0.05^\circ$
- Zeitlich: Stunden-, Tages-, Monatsmittel

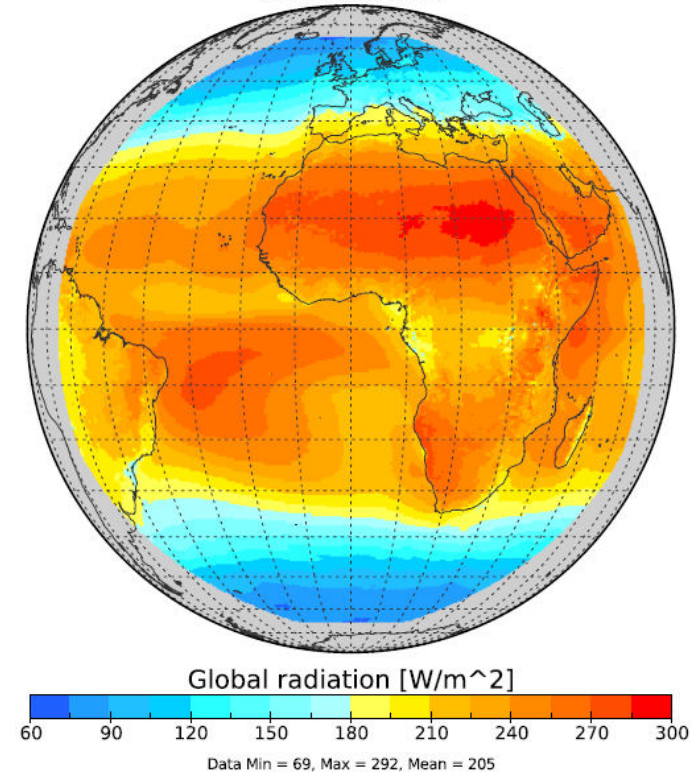
→ Abdeckung

- Räumlich: Meteosatscheibe
- Zeitlich: 1983 bis 2013

→ Satelliten

- Meteosat 2 bis 10 (MVIRI/SEVIRI)

CM SAF SARAH Solar Surface Irradiance
Mean 1983-2013

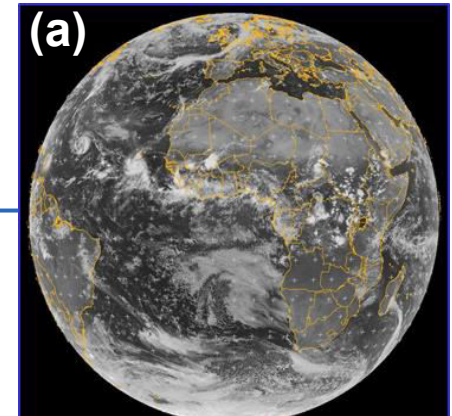


Ableitungsverfahren

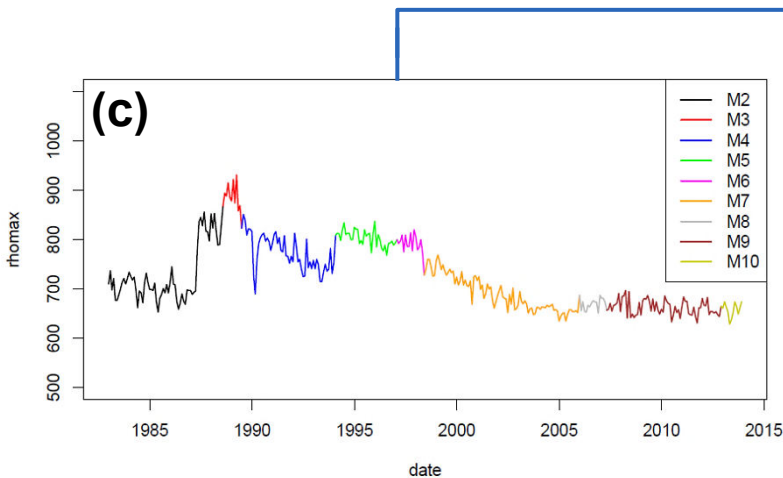
R: Reflektanz, beobachtet vom Satellit (a)

R_{min}: Minimale Reflektanz, beobachtet pro Monat und Zeitslot (b)

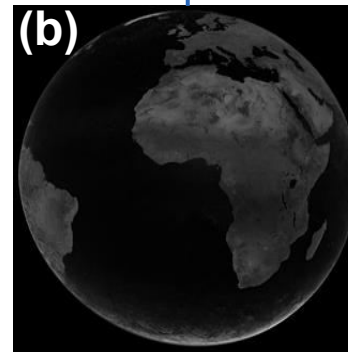
R_{max}: Maximale Reflektanz, beobachtet pro Monat im „Kalibrationsziel“ (c)



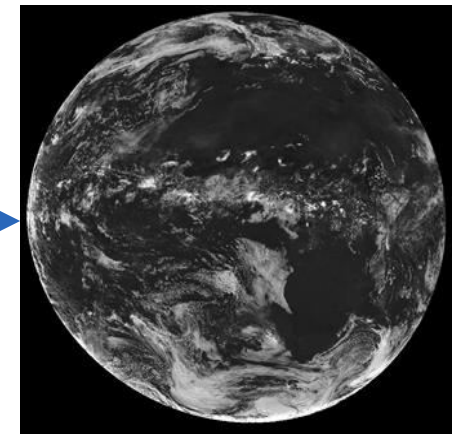
$$CAL = \frac{R - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$



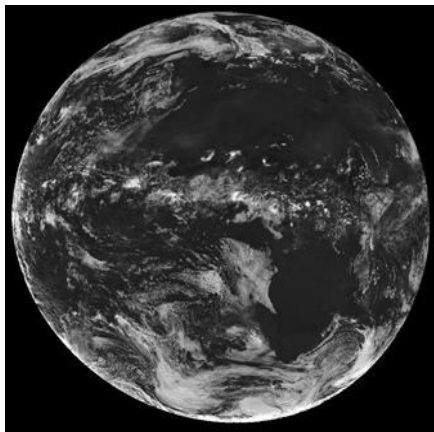
R_{max} Zeitserie für Meteosat 2 bis 10



R_{min}



Ableitungsverfahren

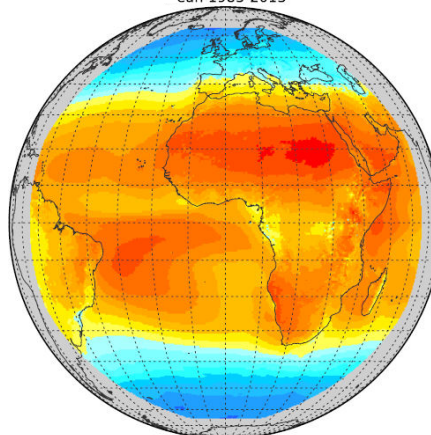


$$SIS \sim SIS_{clear} (CAL - 1)$$

Clear-sky Model „gnu-MAGIC”

<http://sourceforge.net/projects/gnu-magic/>

CM SAF SARA Solar Surface Irradiance
ean 1983-2013



Vergleich mit BSRN Monatsmitteln

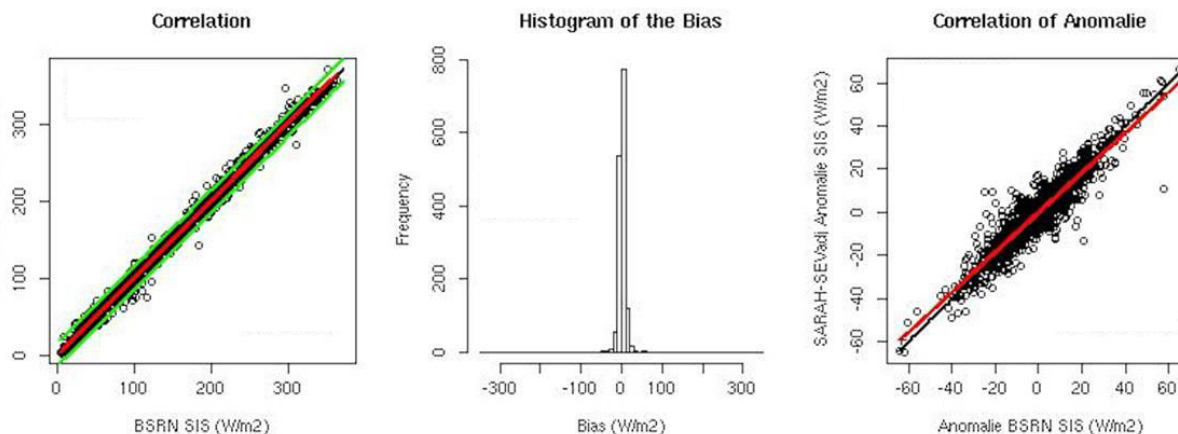
→ SARAH liefert hohe Genauigkeit

Data	N _{obs}	Bias [W/m ²]	MAB [W/m ²]	AC
CM SAF (alt)	878	4.24	7.76	0.89
ERA-Interim	878	5.48	10.41	0.8
GEWEX	878	2.42	12.03	0.82
ISCCP	878	-0.02	11.56	0.78
CERES	1276	-2.14	6.41	0.92
SARAH	1599	1.09	5.31	0.93

Vergleich mit BSRN Monatsmitteln

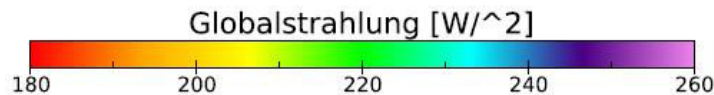
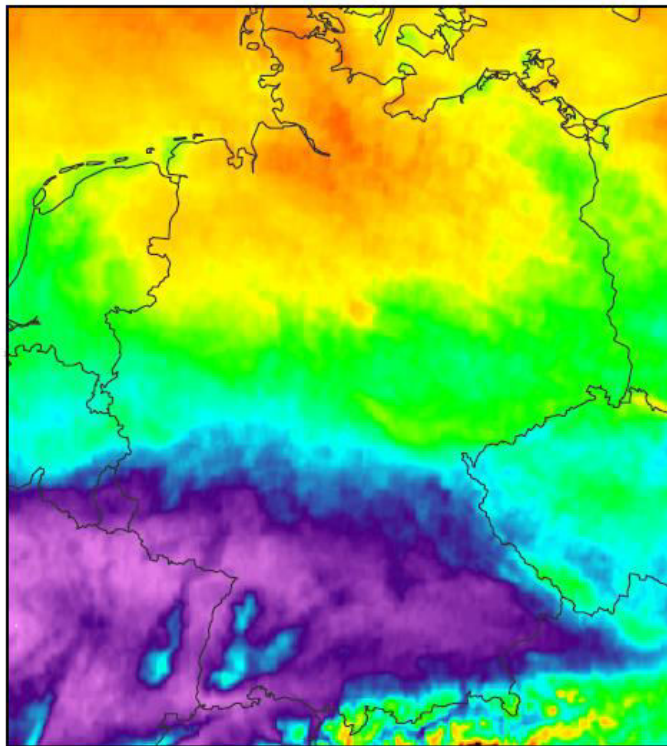
- Nur 4% unterhalb Grenzwertgenauigkeit von 15 W/m²
- Positiver Stationstrend wird leicht unterschätzt (~ 1 W/m²/Dekade)

Korrelation:	0.99
Anomalie Korrelation:	0.93
Fehler:	1.1 W/m ²
Mittlerer absoluter Fehler:	5.3 W/m ²

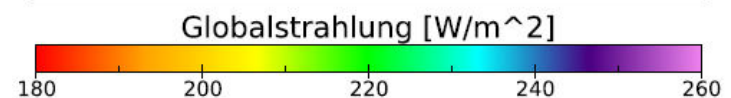
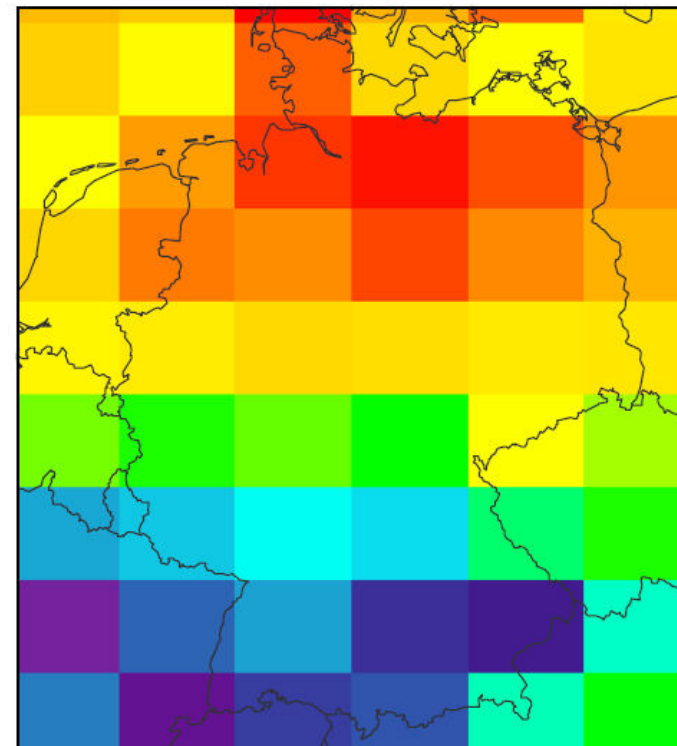


Warum noch einen Strahlungsdatensatz?

SARAH SIS
Monatsmittel April 2007



GEWEX/SRB SIS
Monatsmittel April 2007



Anwendungen

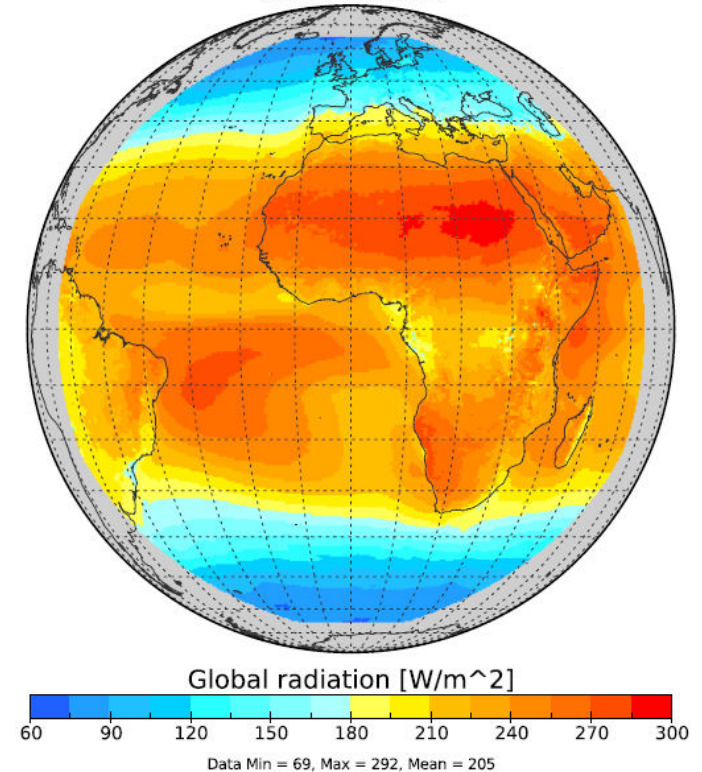
→ Forschung

- Trendanalysen
- Modevaluierung
- Zeitliche und räumliche Analysen
- Klimaüberwachung

→ Solarenergie

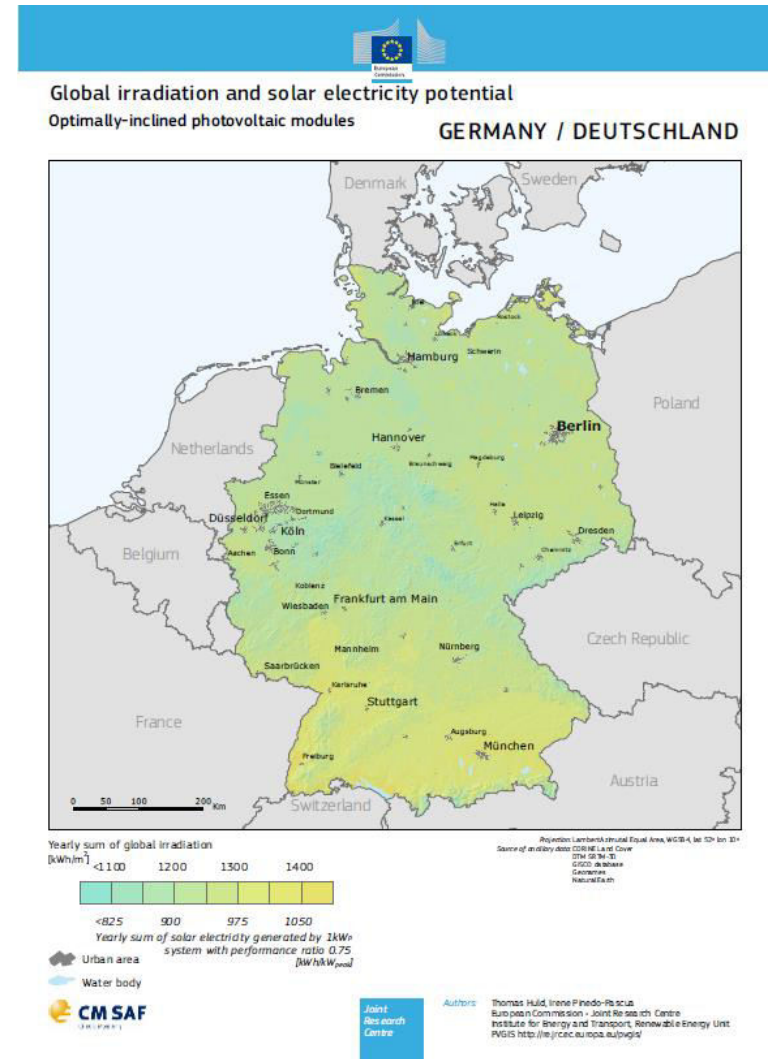
- Planung
- Überwachung
- Produktionsvorhersage

CM SAF SARA Solar Surface Irradiance
Mean 1983-2013



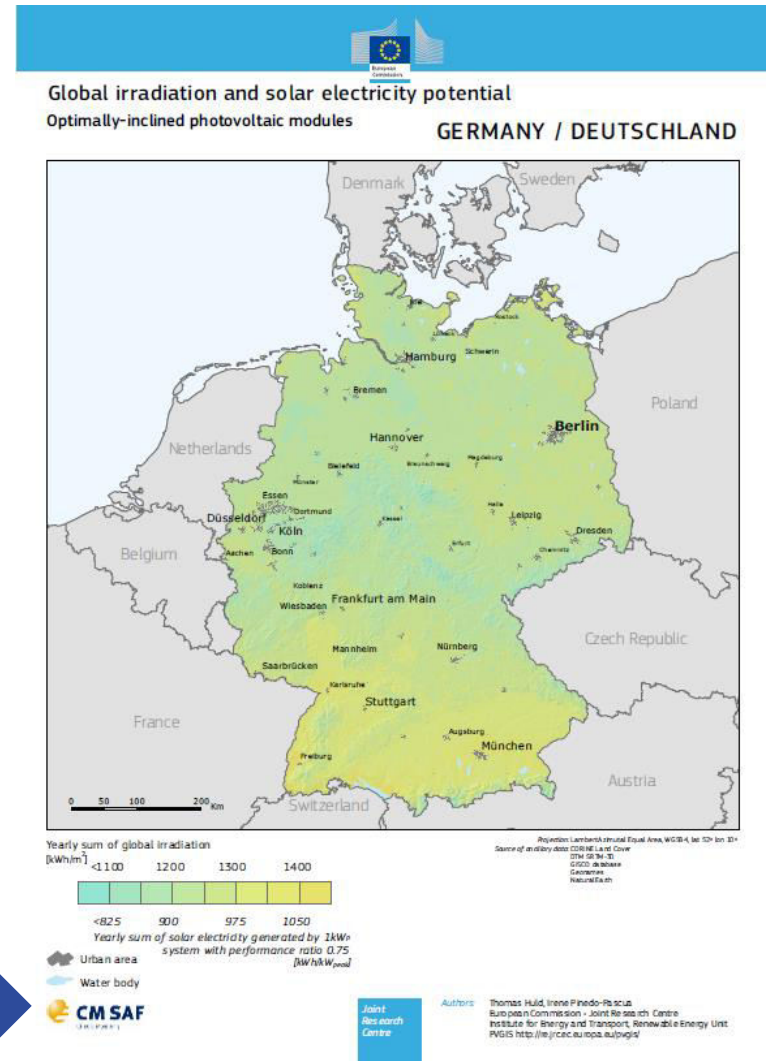
SIS für Solarenergie

- ➔ Für Produktionsvorhersage, Planung, Überwachung, sind Solarstrahlungsdaten für mindestens 10 Jahre nötig
- ➔ Solarstrahlung ist räumlich heterogen
 - ➔ Stationen gewöhnlich nicht neben PV-Anlagen
 - ➔ Viele Regionen mit geringer Stationsdichte
- ➔ **PVGIS Tool des Joint Research Centre**
 - ➔ Kostenfreies PV-Onlinetool
 - ➔ Nutzt CM SAF Solarstrahlungsdaten
 - ➔ Produktionsvorhersage und Potenzialabschätzung
 - ➔ Einfach anzuwenden

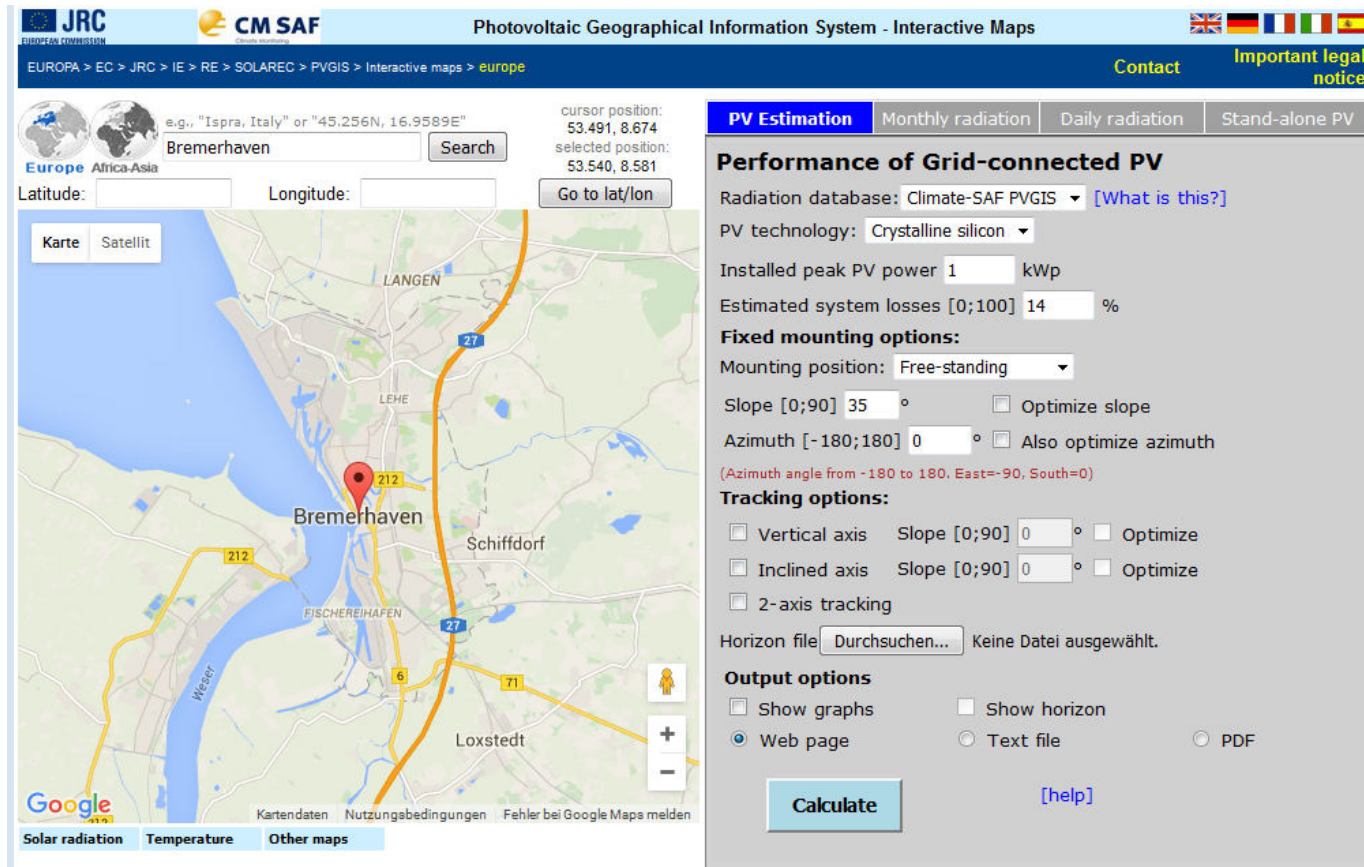


SIS für Solarenergie

- ➔ Für Produktionsvorhersage, Planung, Überwachung, sind Solarstrahlungsdaten für mindestens 10 Jahre nötig
- ➔ Solarstrahlung ist räumlich heterogen
 - ➔ Stationen gewöhnlich nicht neben PV-Anlagen
 - ➔ Viele Regionen mit geringer Stationsdichte
- ➔ **PVGIS Tool des Joint Research Centre**
 - ➔ Kostenfreies PV-Onlinetool
 - ➔ Nutzt CM SAF Solarstrahlungsdaten
 - ➔ Produktionsvorhersage und Potenzialabschätzung
 - ➔ Einfach anzuwenden



SIS für Solarenergie



The screenshot shows the 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps' interface. The top navigation bar includes logos for JRC and CM SAF, and a breadcrumb trail: 'EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe'. There are links for 'Contact' and 'Important legal notice'.

The search area contains a text input with 'Bremerhaven', a search button, and a 'Go to lat/lon' button. The cursor position is 53.491, 8.674 and the selected position is 53.540, 8.581. Below the search area are input fields for 'Latitude:' and 'Longitude:'.

The map shows Bremerhaven with a red location pin. The map controls include 'Karte' and 'Satellit' buttons, and a Google logo. At the bottom of the map area are links for 'Solar radiation', 'Temperature', and 'Other maps'.

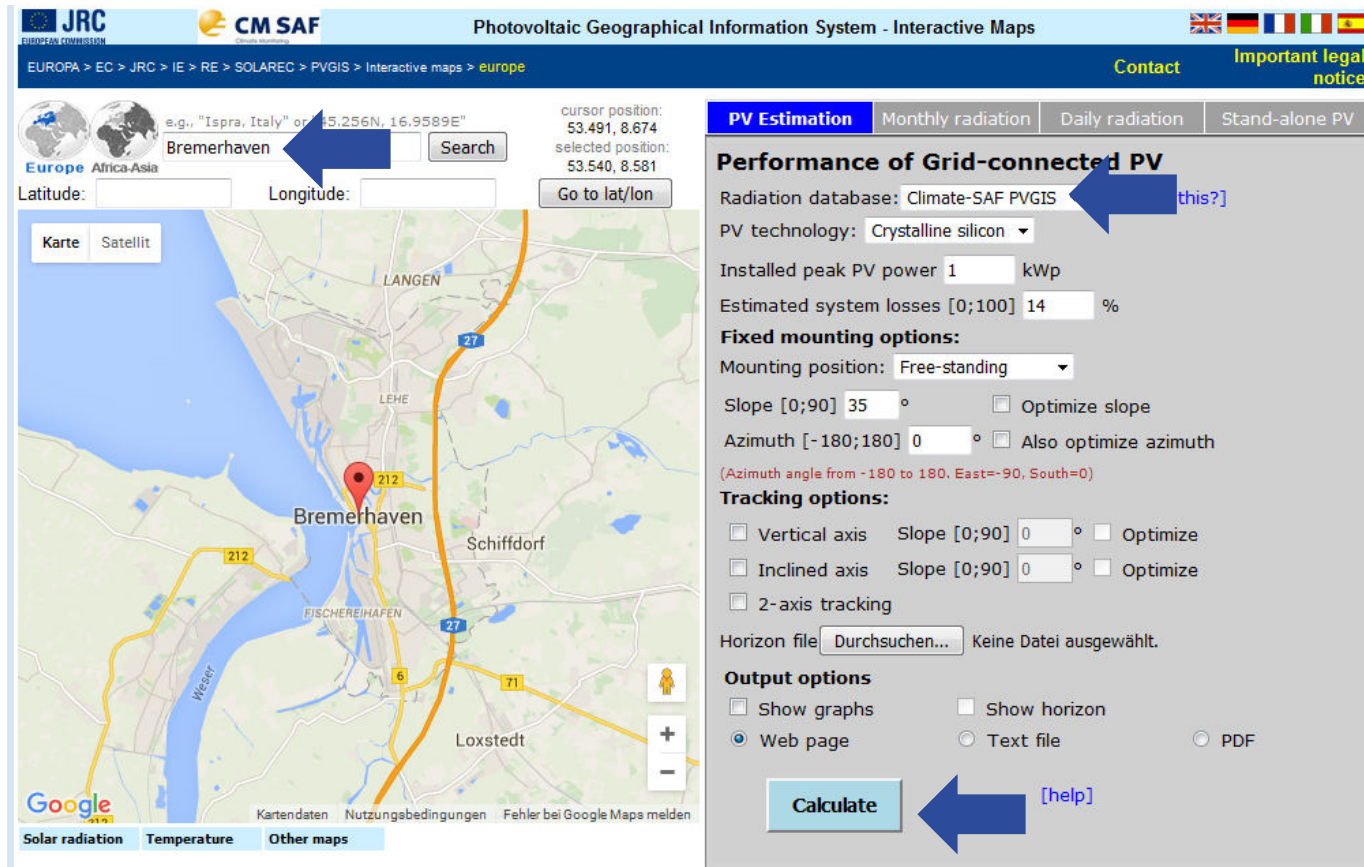
The right-hand panel is titled 'Performance of Grid-connected PV' and has tabs for 'PV Estimation', 'Monthly radiation', 'Daily radiation', and 'Stand-alone PV'. The 'PV Estimation' tab is active. It contains the following settings:

- Radiation database: Climate-SAF PVGIS
- PV technology: Crystalline silicon
- Installed peak PV power: 1 kWp
- Estimated system losses [0;100]: 14 %
- Fixed mounting options:
 - Mounting position: Free-standing
 - Slope [0;90]: 35 °
 - Azimuth [-180;180]: 0 °
- Tracking options:
 - Vertical axis: Slope [0;90]: 0 °
 - Inclined axis: Slope [0;90]: 0 °
 - 2-axis tracking:
- Horizon file: Keine Datei ausgewählt.
- Output options:
 - Web page:
 - Text file:
 - PDF:

A 'Calculate' button and a '[help]' link are located at the bottom of the right-hand panel.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

SIS für Solarenergie



The screenshot shows the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) interface. The top navigation bar includes logos for JRC and CM SAF, and the title "Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps". The breadcrumb trail is "EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe".

The search bar contains "Bremerhaven" and a search button. Below it, the "Europe Africa-Asia" map selector is visible. The map shows Bremerhaven with a red location pin. The map controls include "Karte" and "Satellit" buttons, and a "Go to lat/lon" button.

The configuration panel on the right is titled "Performance of Grid-connected PV". It includes the following settings:

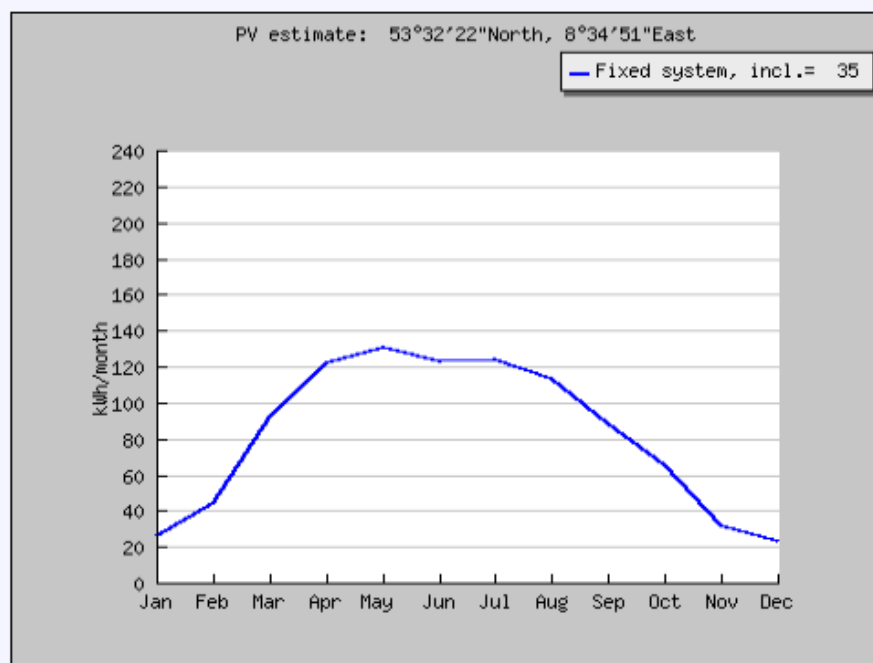
- PV Estimation:** Monthly radiation, Daily radiation, Stand-alone PV
- Radiation database:** Climate-SAF PVGIS
- PV technology:** Crystalline silicon
- Installed peak PV power:** 1 kWp
- Estimated system losses [0;100]:** 14 %
- Fixed mounting options:**
 - Mounting position: Free-standing
 - Slope [0;90]: 35 ° Optimize slope
 - Azimuth [-180;180]: 0 ° Also optimize azimuth
- Tracking options:**
 - Vertical axis Slope [0;90]: 0 ° Optimize
 - Inclined axis Slope [0;90]: 0 ° Optimize
 - 2-axis tracking
- Horizon file:** Durchsuchen... Keine Datei ausgewählt.
- Output options:**
 - Show graphs Show horizon
 - Web page Text file PDF

A "Calculate" button is located at the bottom of the configuration panel.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

SIS für Solarenergie

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.83	25.8	0.99	30.7
Feb	1.57	43.8	1.88	52.8
Mar	2.96	91.7	3.68	114
Apr	4.08	122	5.27	158
May	4.23	131	5.61	174
Jun	4.10	123	5.53	166
Jul	4.01	124	5.43	168
Aug	3.64	113	4.90	152
Sep	2.94	88.3	3.86	116
Oct	2.11	65.3	2.66	82.5
Nov	1.04	31.3	1.27	38.2
Dec	0.76	23.4	0.90	27.9
Yearly average	2.69	81.9	3.51	107
Total for year		983		1280



E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

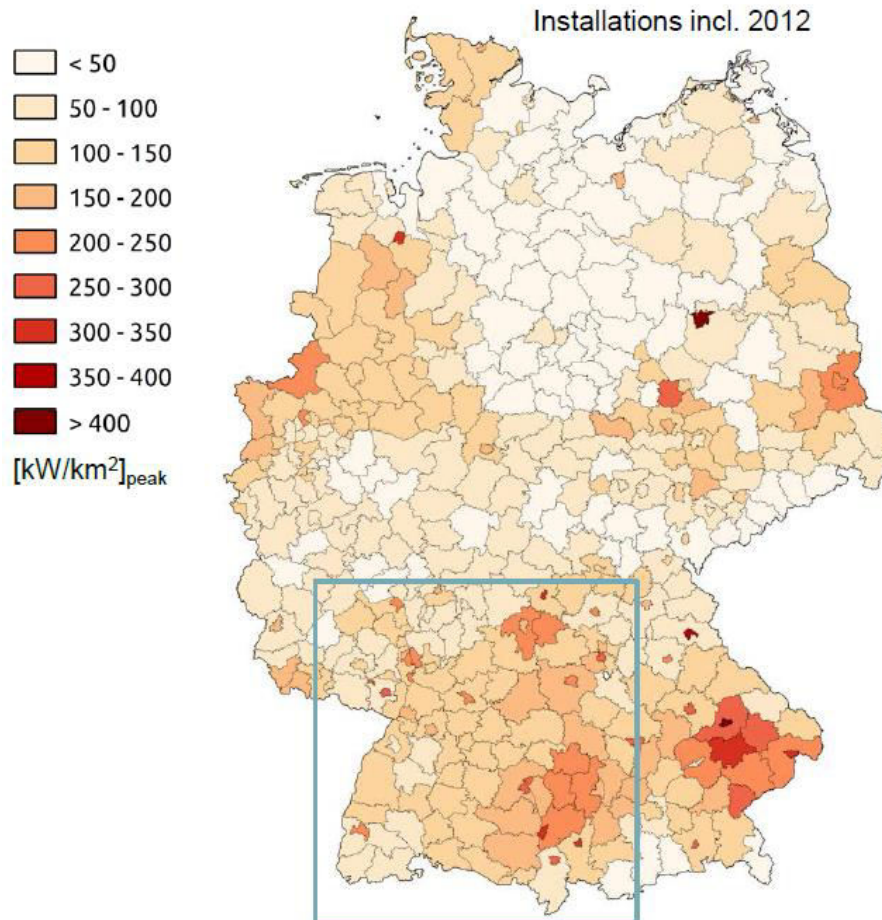
SIS für Solarenergie

- „SOLarSTrom EinspeisungsSimulator“
- Berechnet jährliche Solarstromproduktion auf Basis physikalischer und statistischer Daten
- Modell soll auch zur Abschätzung des Eigenverbrauchs genutzt werden
- Input sind Daten der Bundesnetzagentur, Reanalyse (Temperatur, Wind) und CM SAF SIS/ SID



Martin Felder et al.
Zentrum für
Sonnenenergie- und
Wasserstoff- Forschung
Baden Württemberg

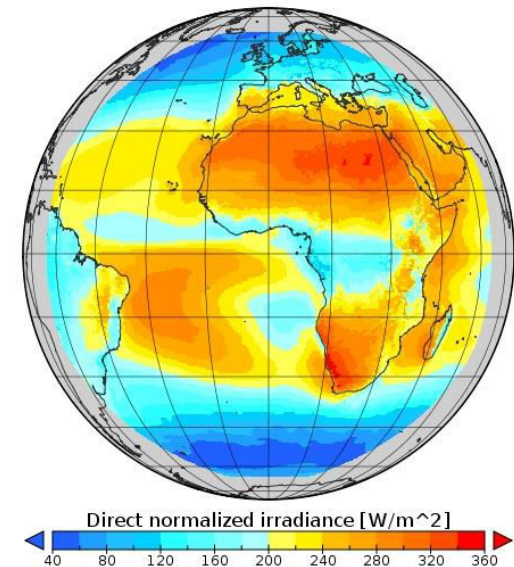
SIS für Solarenergie



Martin Felder et al.
Zentrum für
Sonnenenergie- und
Wasserstoff- Forschung
Baden Württemberg

DNI Solarenergie

- ➔ Information der Direktstrahlung an einer Oberfläche senkrecht zur Sonne
- ➔ Für Planung und Produktionsvorhersage von thermischen Solarenergieanlagen
- ➔ Solarstrahlung wird fokussiert und resultierende Wärme treibt Generator an
- ➔ Messung von DNI an wenigen Stationen

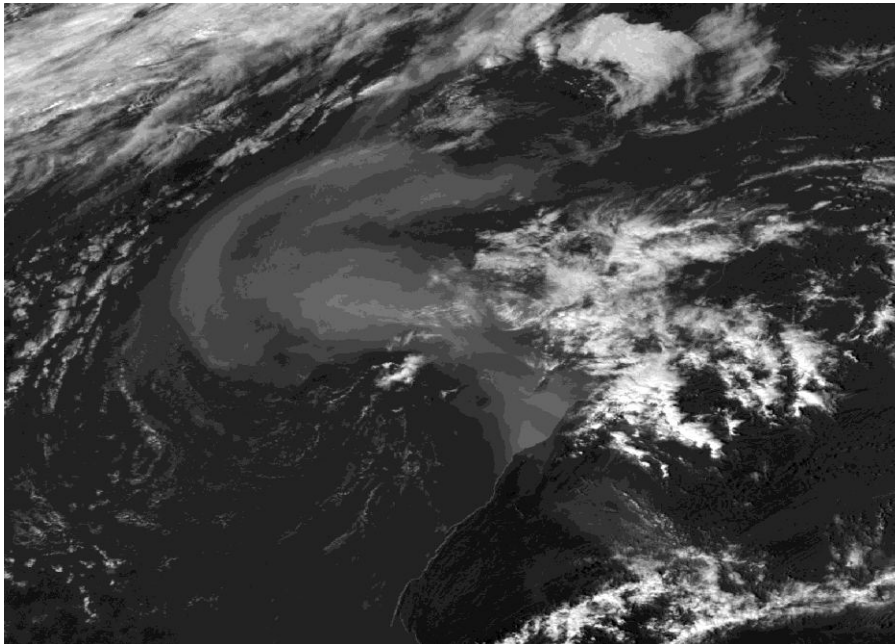


Data	N_{obs}	Bias [W/m^2]	MAB [W/m^2]	AC
SARAH	1541	3.25	17.5	0.87

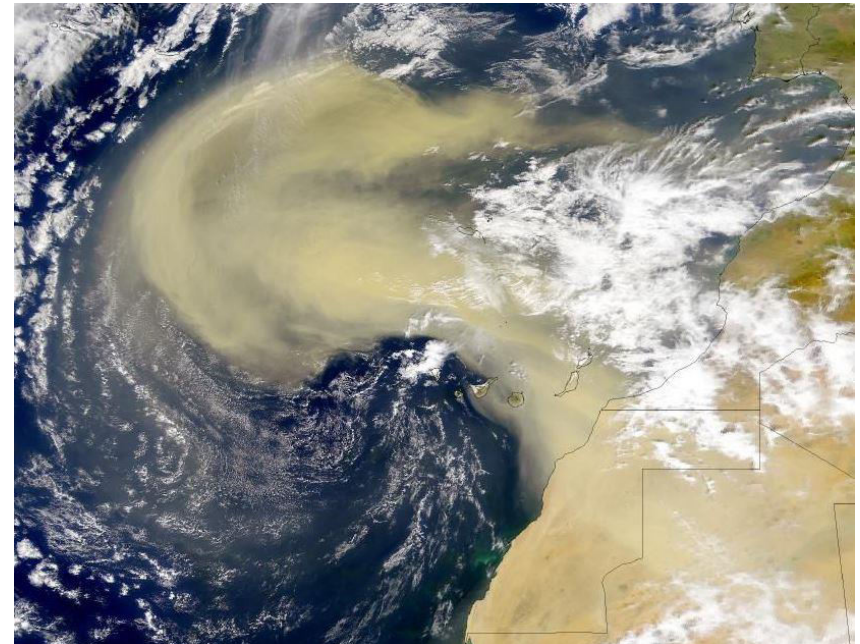
Vergleich von SARAH DNI Monatsmitteln gegen BSRN

Unterschied SIS und DNI

→ Beispiel: Staubausbruch 26. Februar 2000



CAL 2000-02-26 14:00

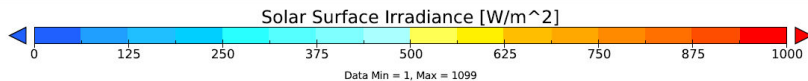
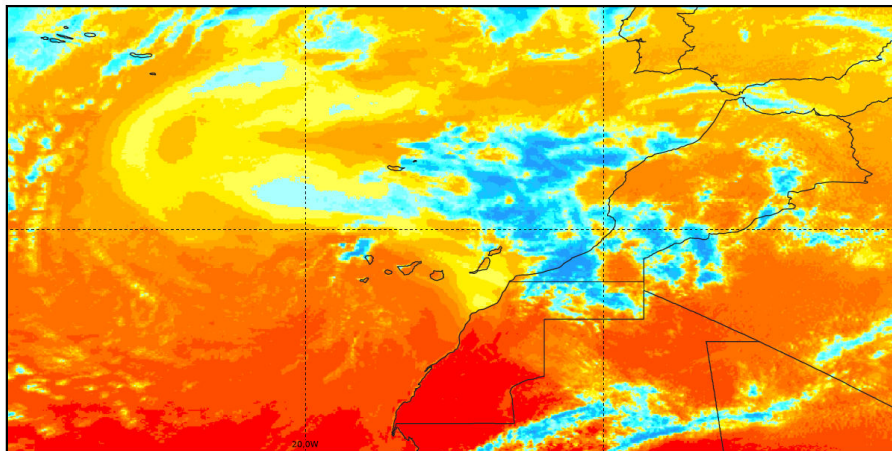


SeaWiFS 2000-02-26

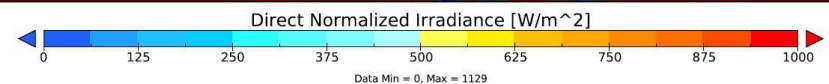
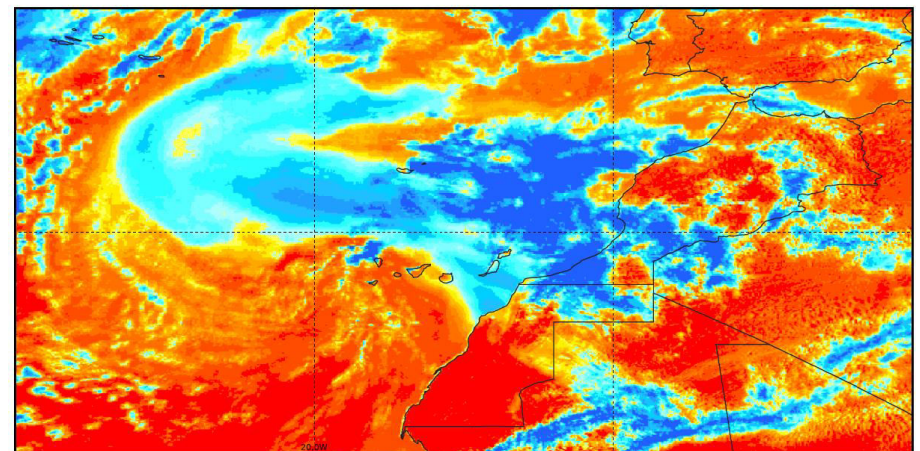
Unterschied SIS und DNI

- Einfluss von Wolken und Aerosolen auf DNI größer als auf SIS
- Gebiete mit geringer Wolkenbedeckung wichtig für thermische Solarkraftwerke

SIS hourly mean 2000-02-26 14:00



DNI hourly mean 2000-02-26 14:00



Zusammenfassung

- CM SAF Solarstrahlungsdatensatz SARAH bietet 31 Jahre Globalstrahlung, normalisierte Direktstrahlung und effektive Wolkenalbedo mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung
- SARAH zeigt hohe Genauigkeit und Stabilität und ist gut geeignet für regionale Klimaanalysen
- CM SAF Solarstrahlungsdaten sind gut geeignet für Planung, Produktionsvorhersage und Überwachung von Solarenergiesystemen
- Daten sind kostenfrei unter www.cmsaf.eu im netcdf-Format verfügbar
- CM SAF Daten können sehr einfach angewendet werden

Toolbox

- CM SAF bietet CM SAF R Toolbox
- 'cmsaf' R-Paket Sammlung von Funktionen für grundlegende Analysen und Manipulationen von CM SAF netcdf-daten (siehe cran.r-project.org)
- R-Skripte zur Analyse und Visualisierung von CM SAF Daten
- R-Skripte, die unerfahrenen R-Nutzern helfen die Funktionen des 'cmsaf' R-Pakets einfach anzuwenden

www.cmsaf.eu/tools



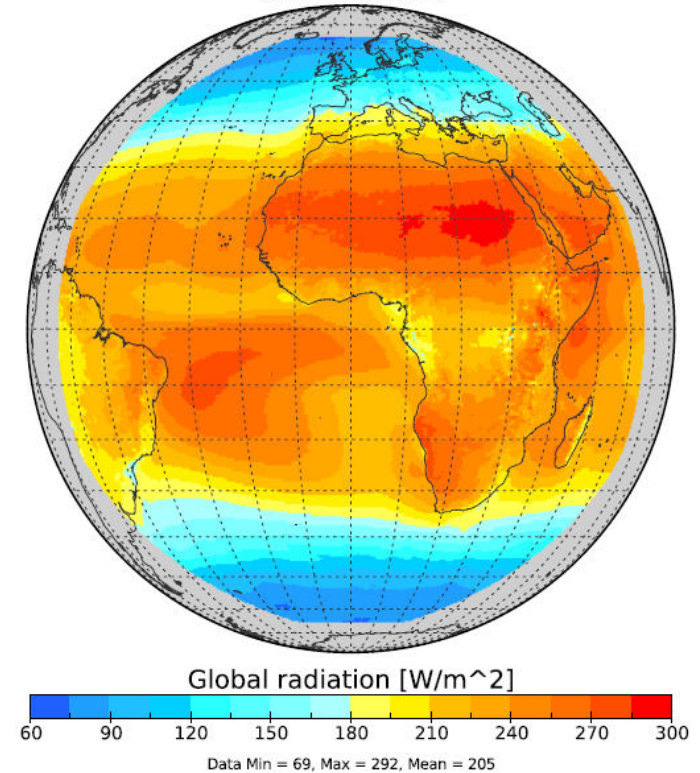
Informationen

- www.cmsaf.eu
- Müller et al. 2015: Digging the METEOSAT treasure – 3 decades of solar radiation and effective cloud albedo, Remote Sensing

 **Kontakt:**

Steffen.Kothe@dwd.de

CM SAF SARA Solar Surface Irradiance
Mean 1983-2013



Stationen für Evaluierung

BSRN (CERES & SARAH)

Station	ShortName	Latitude	Longitude	Altitude
Lerwick	& ler	60.13	-1.18	84
Toravere	& tor	58.25	26.46	70
Lindenberg	& lin	52.21	14.12	125
Cabauw	& cab	51.97	4.93	0
Camborne	& cam	50.22	-5.32	88
Palaiseu Cedex	& pal	48.71	2.21	156
Payerne	& pay	46.82	6.94	491
Carpentras	& car	44.08	5.06	100
Cener	& cnr	42.82	-1.60	471
Sede Boquer	& sbo	30.91	34.78	500
Solar Village	& sov	24.91	46.41	650
Tamanrasset	& tam	22.79	5.53	1385
Florinopolis	& flo	-27.53	-48.52	11

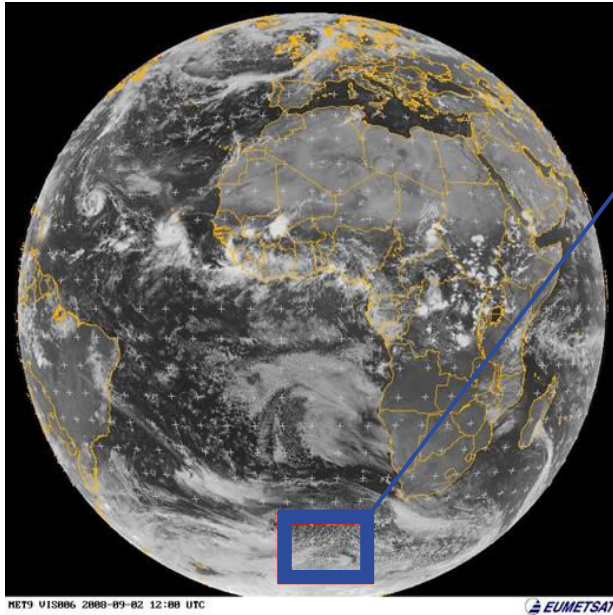
BSRN (ISCCP, GEWEX, ERA-Interim, CMSAF-old)

Lindenberg
 Payerne
 Camborne
 Carpentras
 Lerwick
 Toravere
 Palaiseau Cedex

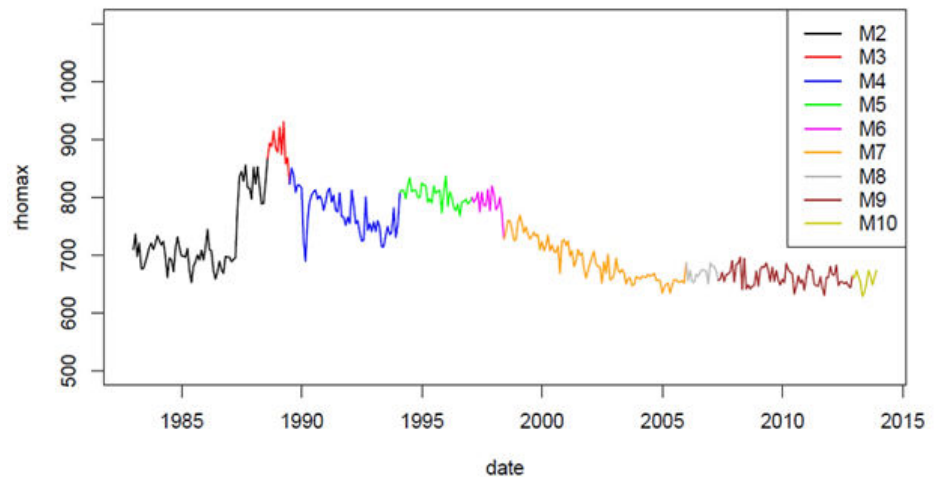
GEBA

"aberporth", "ajaccio"
 , "aldergrove", "belsk"
 , "bratislava", "braunschweig"
 , "budapest", "debilt"
 , "eskdalemuir", "hamburg"
 , "helsinki", "hradec"
 , "jokioinen", "kilkenny"
 , "klagenfurt", "kolobrzeg"
 , "lerwick", "limoges"
 , "locarno-monti", "millau"
 , "nancy-essey", "nice"
 , "odessa", "potsdam"
 , "salzburg", "sljeme_puntijarka"
 , "st_hubert", "stockholm"
 , "toravere", "trier"
 , "uccele", "udine"
 , "valentia", "vigna_di_valle"
 , "wageningen", "weihenstephan"

Inside MAGIC



Maximale Reflektanz: 95 % Pertzentil der Counts während eines Monats im Referenzgebiet



R_{max} Zeitserie für Meteosat 2 bis 10