

# ENERGIEMETEOROLOGIE – SOLAR

VL, 5.04.462

Mi 10-12, W04 1-172

Detlev Heinemann



# ENERGIEMETEOROLOGIE – SOLAR

## Inhalt:

- Einführung: Überblick
- Physikalische Grundlagen der Solarstrahlung: Strahlungsgesetze, Strahlungswechselwirkungsprozesse in der Atmosphäre
- Strahlungstransport in der Atmosphäre: Theorie, Konzepte, Modelle, Codes
- Satellitenfernerkundungsverfahren zur Bestimmung der Solarenergie
- Modellierung solarenergiespezifischer Strahlungsgrößen: empirische und physikalische Ansätze
- statistische Beschreibung der Solarstrahlung: Grundlagen, Synthetisierung von Zeitreihen, räumliche Statistik
- Vorhersage der Solarstrahlung: Methoden, Anwendungen
- Anwendungsbeispiele aus der Solarenergietechnik

## ENERGY METEOROLOGY

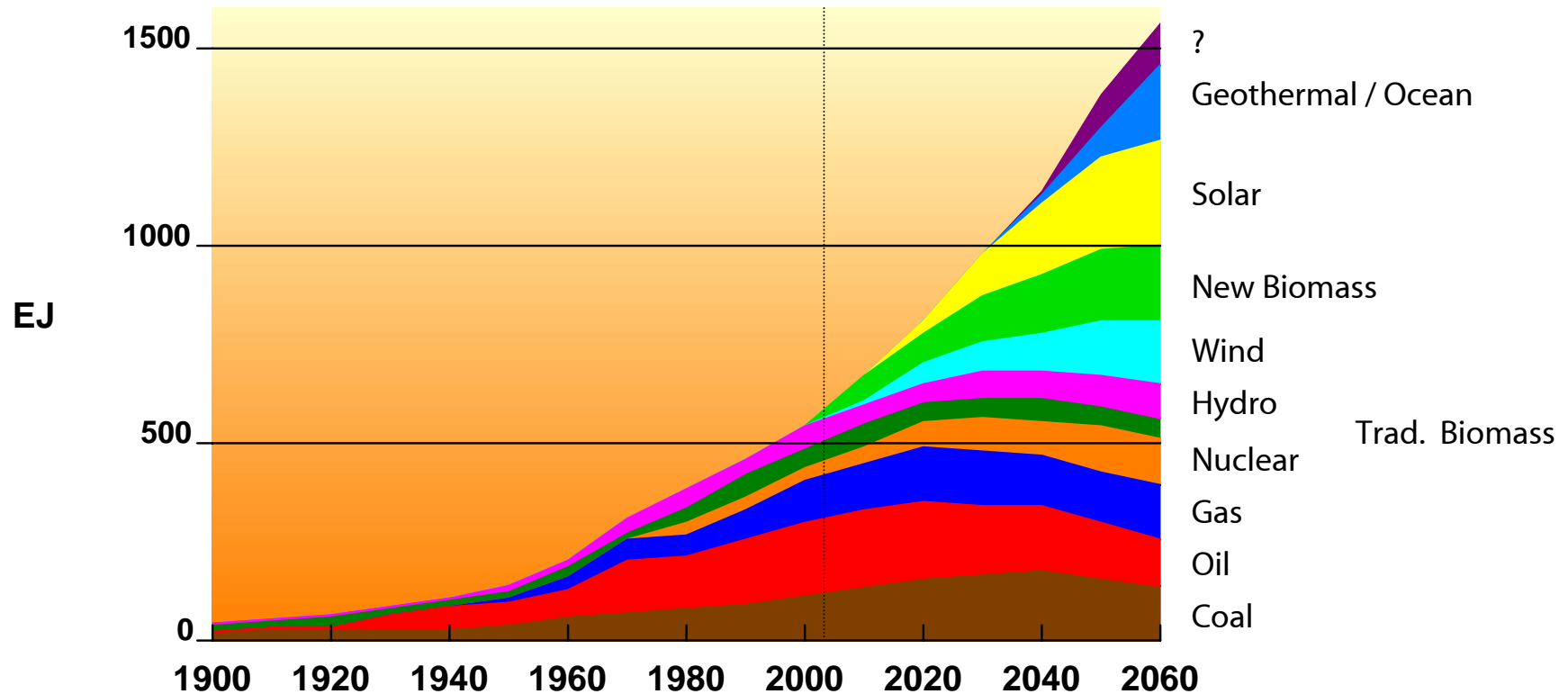
A new research field at the interface between **renewable energy** use (mainly solar and wind) and **atmospheric physics**

Detlev Heinemann

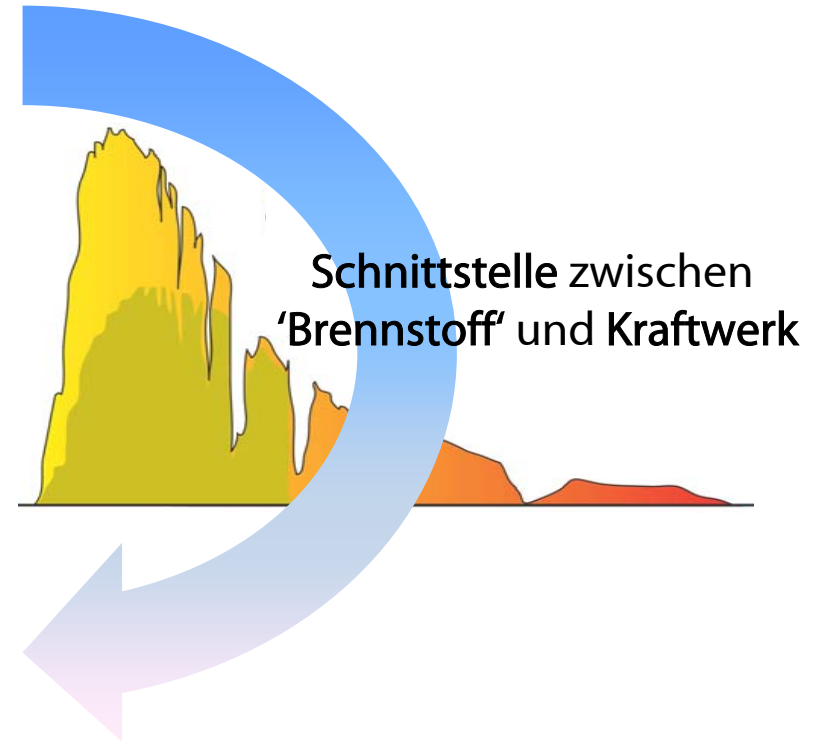
ENERGY AND SEMICONDUCTOR RESEARCH LABORATORY  
INSTITUTE OF PHYSICS  
OLDENBURG UNIVERSITY

## PRIMARY ENERGY: GLOBAL CONSUMPTION

Shell Sustainable Growth Scenario



# ENERGIEMETEOROLOGIE



# ENERGIEMETEOROLOGIE

## ENERGIE UND WETTER

Deutliche Veränderungen in der Energiewirtschaft:

- ▶ Erzeugungscharakteristik Strom
- ▶ hohe Anteile dezentraler Erzeugung
- ▶ Speicherung, Lastmanagement
- ▶ **Information** kommt hohe Bedeutung zu!

**Eine wesentliche – und neue – Randbedingung der zukünftigen Energieversorgung ist die zeitlich und räumlich schwankende Erzeugung.**

# ENERGIEMETEOROLOGIE

## ENERGIE UND WETTER

**Meteorologische Randbedingungen** werden künftig die Energieversorgung weitaus stärker beeinflussen als bislang.

Präzise **Information** über unterschiedliche Aspekte der neuen „Brennstoffe“ Sonnen- und Windenergie sind Schlüssel zu einem effizienten Einsatz dieser neuen Technologien.

Erfolgreiche Bearbeitung dieser Fragestellungen nur durch Kombination von meteorologischem mit energietechnischem Wissen möglich.

# ENERGIEMETEOROLOGIE

**Die Nutzung von Wind- und Solarenergie ist wesentlich durch die meteorologischen Randbedingungen bestimmt.**

➔ Charakterisierung des Verhaltens von Wind und Solarenergie-Systemen unter dem Einfluss der fluktuierenden Energieflüsse

✱ Schnittstelle Brennstoff - Kraftwerk ✱

➔ Bedarf an energiespezifischen meteorologischen Daten und Methoden für Planung, Analyse und Betrieb der Systeme (räumlich-zeitliche Statistik, ..)

➔ **Aufgabe der Energiemeteorologie**



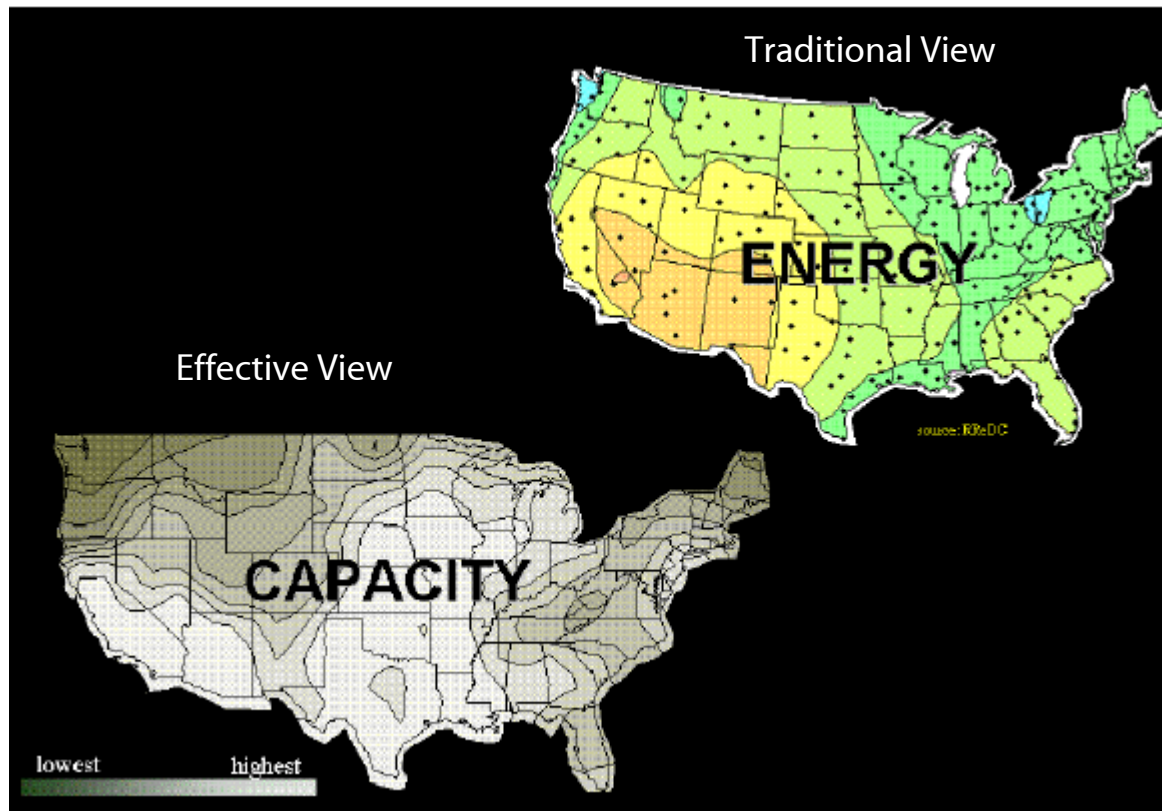
# ENERGIEMETEOROLOGIE

## ANFORDERUNGEN

- ▶ Hohe räumliche Auflösung (gleichzeitig Gebiets- und Punktinformation)
- ▶ Near-Real-Time (15 min) für den Betrieb
- ▶ Langzeit-Daten (10 – 20 Jahre) für die Planung
- ▶ Vorhersagen der erwarteten Solar- und Windenergieflüsse
- ▶ Informationen zu den Unsicherheiten
- ▶ Kopplung verschiedener Datenquellen (EO- und Bodendaten, numerische Modelle)
- ▶ Genauigkeitsanforderung entsprechend ökonomischer Randbedingungen (Investition, Stromhandel, ...)

# ENERGIEMETEOROLOGIE

## Beispiel: Kapazität von PV



...oder der Wert von Solarstrom

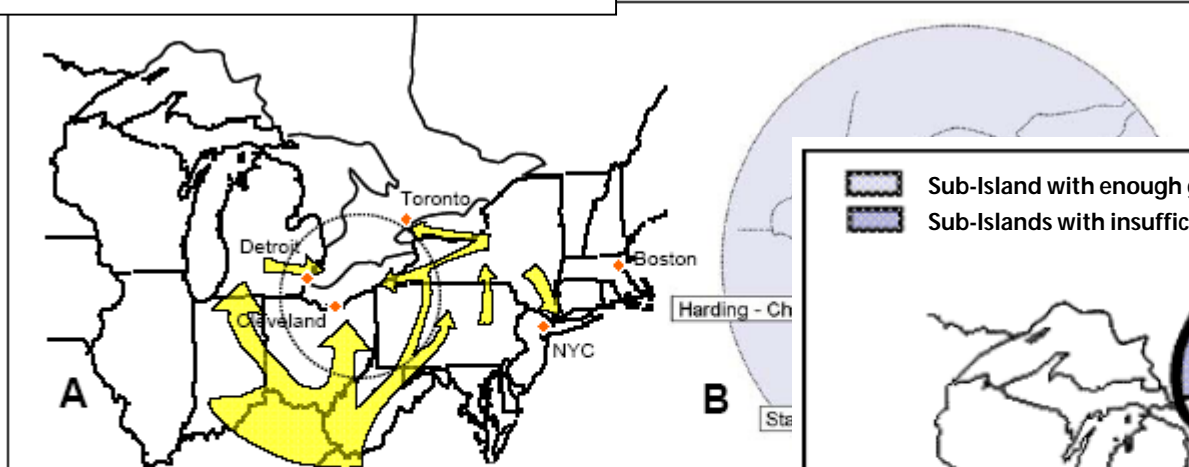
climatic solar energy resource map (top right) and effective load carrying capability maps of the U.S.

R. Perez, 2006

# ENERGIEMETEOROLOGIE

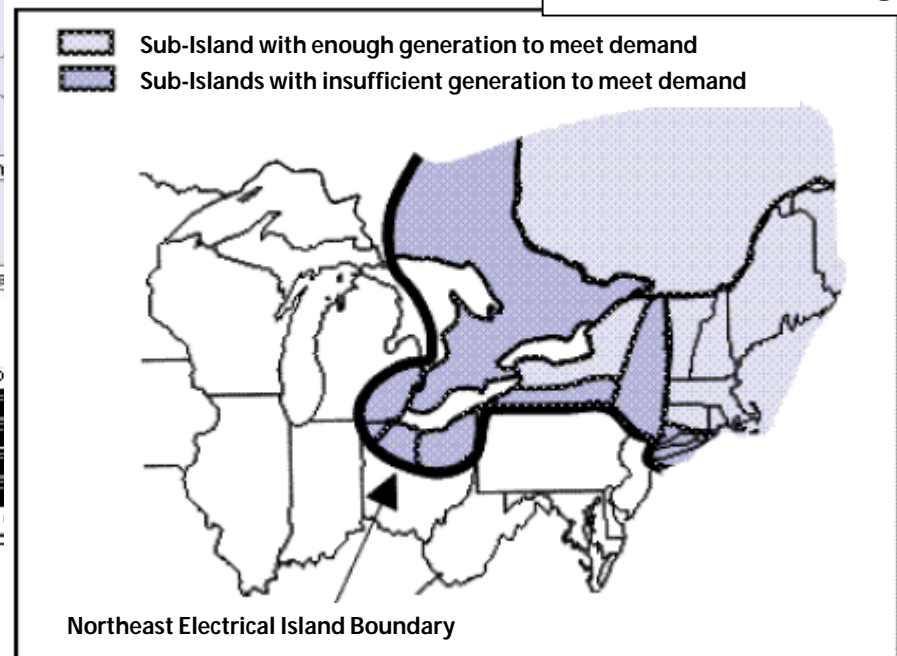
## Beispiel: Black-Out in NE-US/Canada, 14.8.2003

erhöhte Netzbeanspruchung



Inselnetzbildung

	Before 1:31 PM	1:31 PM	3:05 PM	3:32 PM	3:41 P
East Lake 5 Plant	100% (600MW)	Failed	Failed	Failed	F
Harding-Chamberlain	36% (400MW)	45% (500MW)	Failed	Failed	F
Juniper-Hanna	56% (800MW)	70% (1 GW)	80% (1.2 GW)	Failed	F
Star-South Canton	66% (650MW)	80% (800MW)	90% (900MW)	120% (1.2 GW)	F
Star-Sammis	56% (650MW)	60% (700MW)	65% (600MW)	85% (1 GW)	120%



# ENERGIEMETEOROLOGIE

## Beispiel: Black-Out in NE-US/Canada, 14.8.2003

- ▶ wirtschaftlicher Schaden des Black-Outs: mind. 8 Mrd. US-\$
- ▶ gleichzeitig hohes Solarstrahlungsangebot
- ▶ Analyse mit hochaufgelösten Strahlungsdaten:  
wenige 100 MW Photovoltaik hätte Vorfall verhindert

Beide Beispiele zeigen:

- ▶ räumliche Verteilung der Erzeugung wichtig!
- ▶ wichtige Eigenschaften von PV können mit traditionellen Ressourceninformationen nicht beschrieben werden
- ▶ Kombination v. meteorologischem und energiespezifischem Wissen erforderlich

## WELCHE DATEN BRAUCHT DIE SOLARENERGIE?

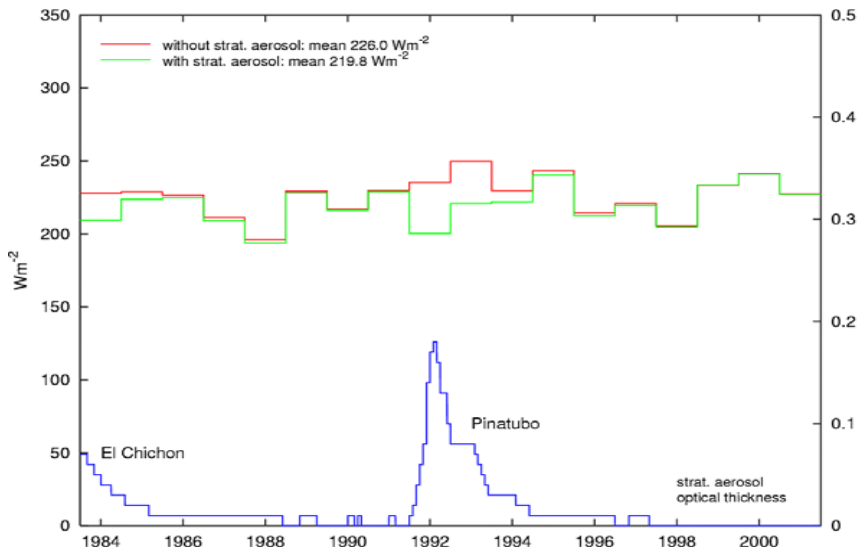
### Spezifische Solarstrahlungsdaten:

- Globalstrahlung auf geneigte Flächen
- Direktstrahlung (DNI)
- spektral gefilterte Solarstrahlung
- Richtungsabhängigkeit der Diffusstrahlung
- räumliche Variabilität

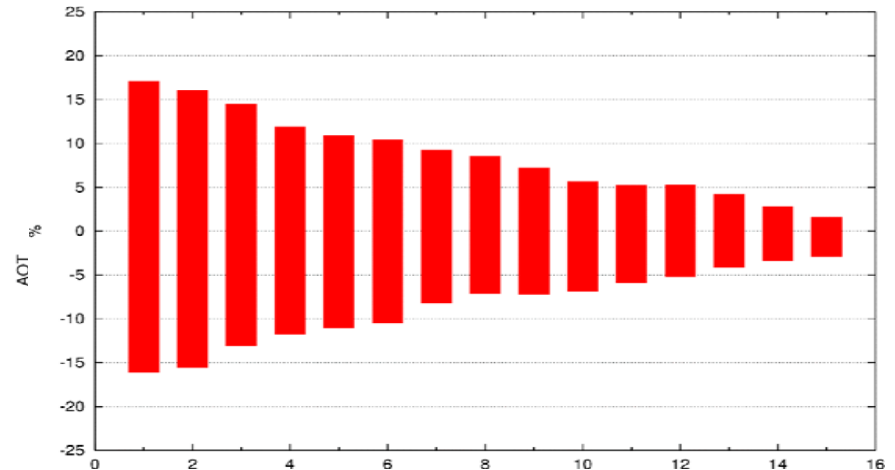
### Merkmale:

- Genauigkeit, Länge von Zeitreihen, zeitliche und räumliche Auflösung, statistische Verteilung, ...

## LANGZEITDATEN

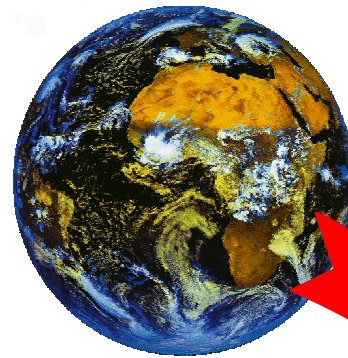


Einfluß von Vulkanausbrüchen auf die Direktnormalstrahlung DNI (Lohmann et al., 2004)



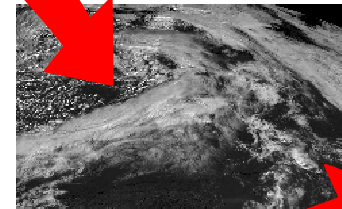
Abweichung der mittleren Direktstrahlung vom langjährigen Mittel als Funktion der Mittelungszeit. Daten: ISCCP, 18 Jahre, Box über Jordanien. (Lohmann et al., 2004)

## FERNERKUNDUNG und SOLARENERGIE

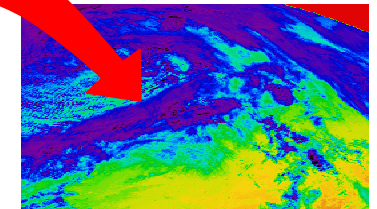


METEOSAT

- ▶ Solarressource (Mapping, Variabilität)
- ▶ Solarenergie-spezifische Daten
- ▶ Vorhersage
- ▶ Betriebsüberwachung von Solarenergie-Systemen
- ▶ Steuerung verteilter Energiesysteme



Wolkenbild

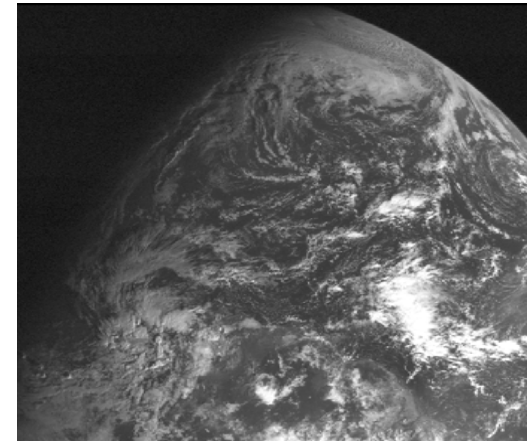
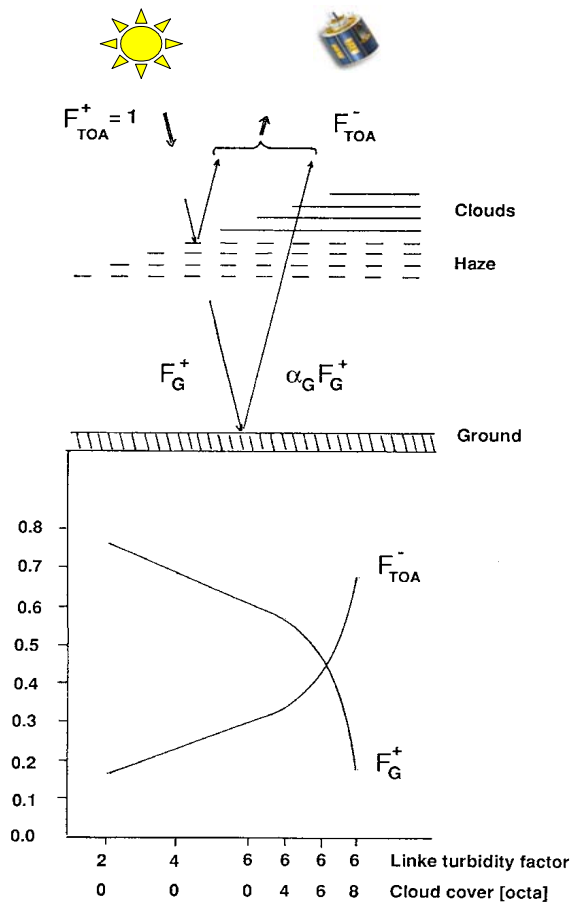


0 W/m<sup>2</sup> 1000 W/m<sup>2</sup>

Strahlungskarte

# ENERGIEMETEOROLOGIE

## PRINZIP



kurzwellige Solarstrahlung

Bilanz:

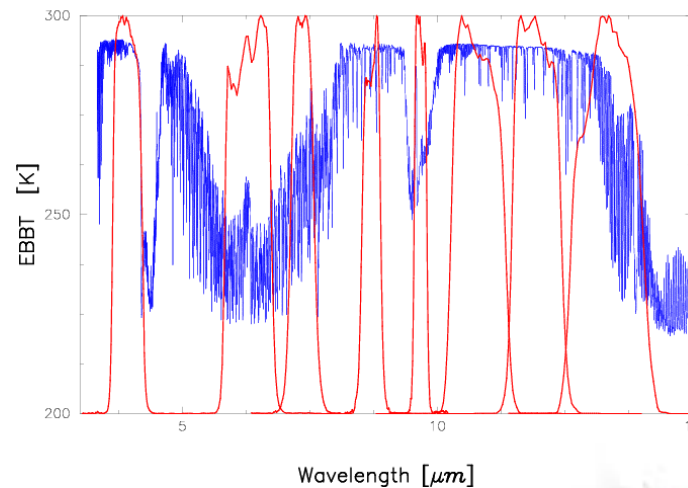
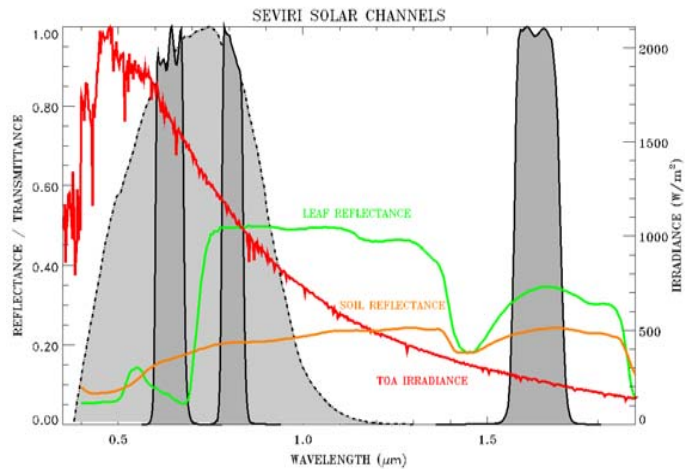
$$F_{TOA}^+ - F_{TOA}^- = F_G^+ (1 - \alpha_G) + F_A$$

Transmission:

$$\tau = \frac{1 - \alpha_{TOA} - \alpha_A}{1 - \alpha_G}$$



## METEOSAT SECOND GENERATION (MSG)



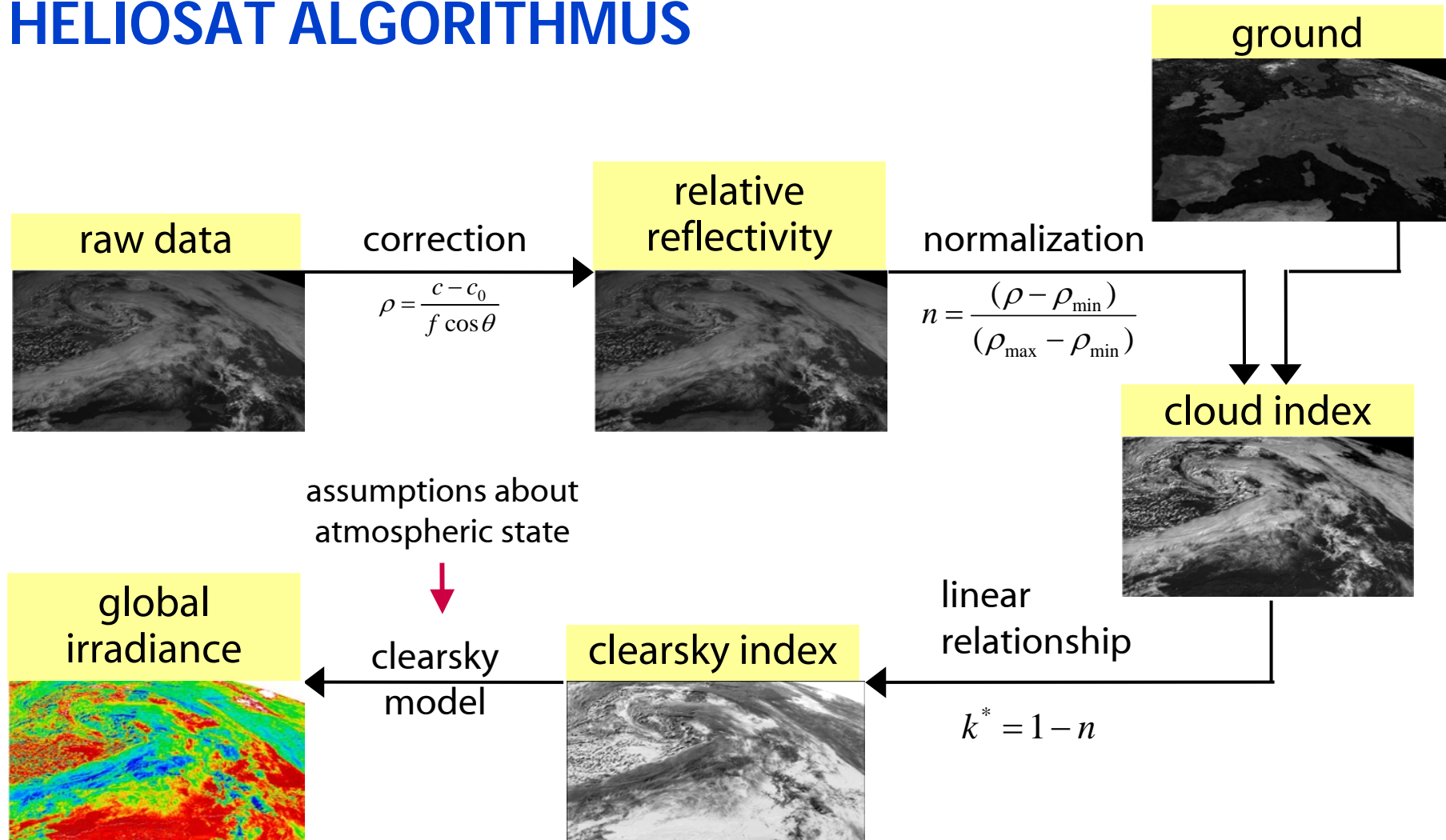
Auflösung:   räumlich       1 km  
                  zeitlich 1        5 min  
                  spektral        12 Kanäle  
                  radiometrisch 10 bit

Spektrale Kanäle liefern wertvolle Information  
über Atmosphäre und Boden



# ENERGIEMETEOROLOGIE

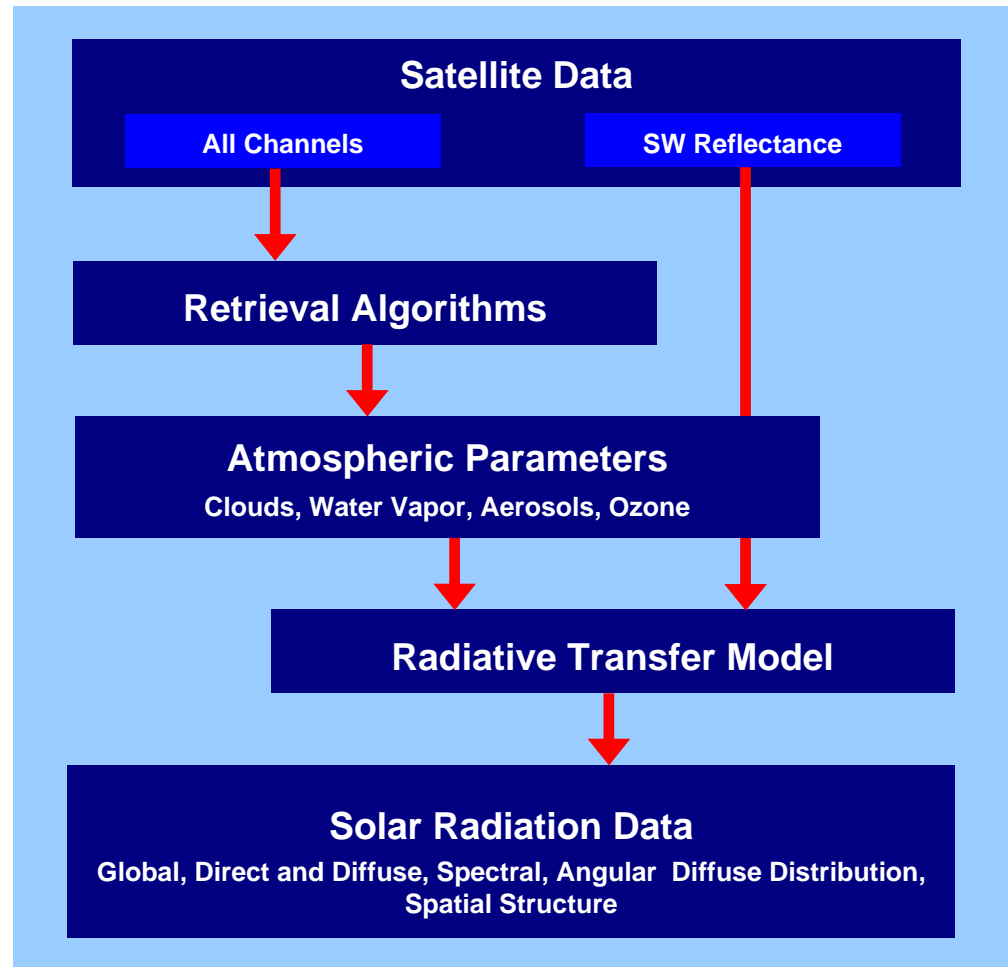
## HELIOSAT ALGORITHMUS



## HELIOSAT-3: ESTIMATION OF SOLAR IRRADIANCE VIA MSG

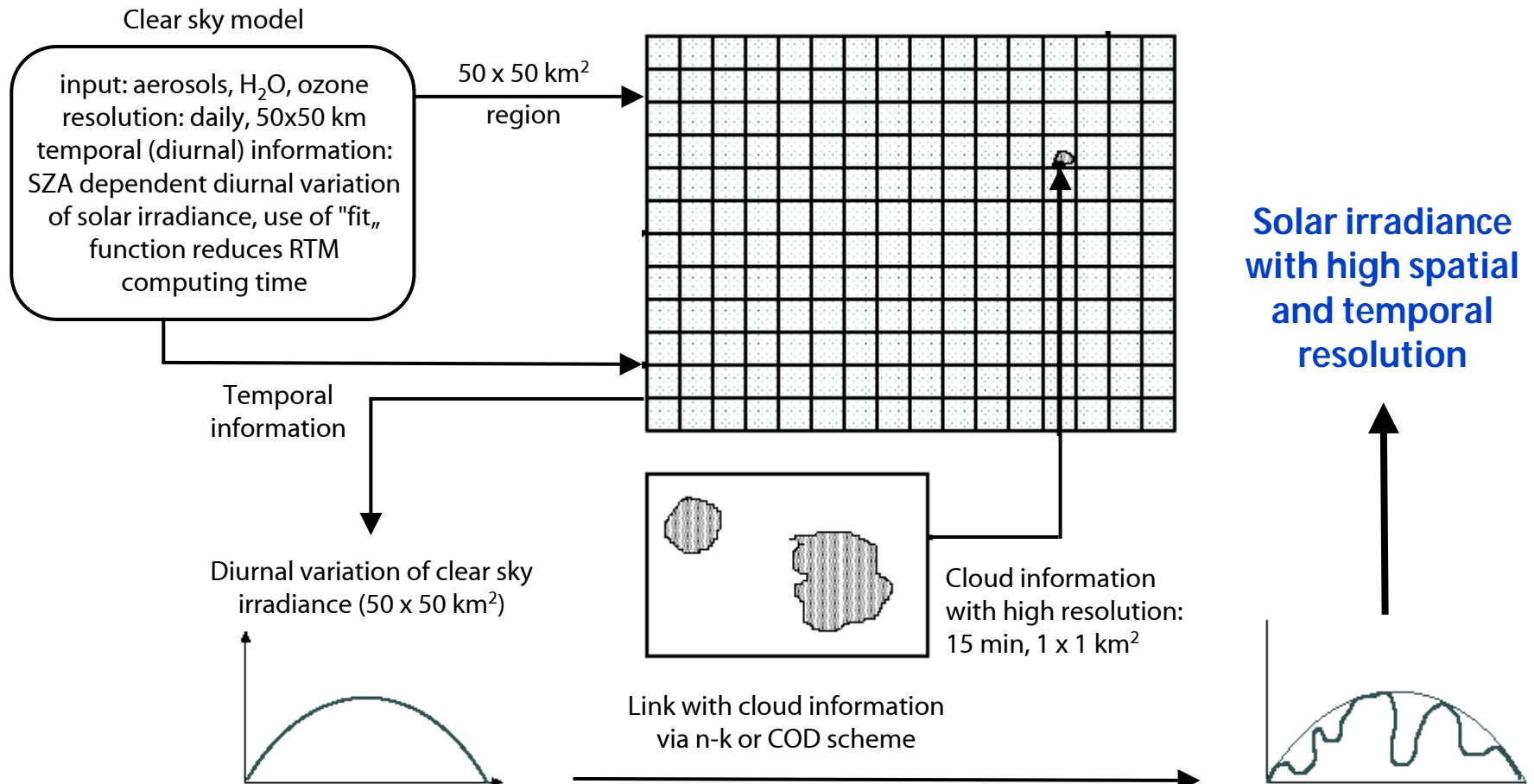
- improved cloud detection and classification  
(challenge: broken clouds)
- retrieval of relevant atmospheric parameters:  
water vapor, aerosols, ozone
- physical modeling of atmospheric radiative transfer
- direct calculation of solar energy specific quantities: direct  
and diffuse, spectral (PAR, UV, photovoltaics), ...

## HELIOSAT-3

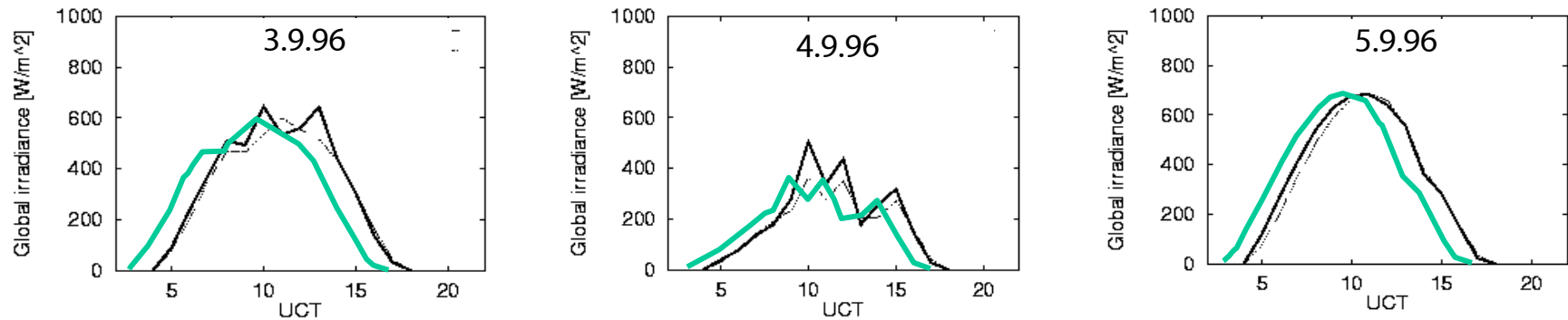


# ENERGIEMETEOROLOGIE

## HELIOSAT-3: SOLIS SCHEME



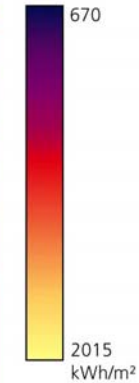
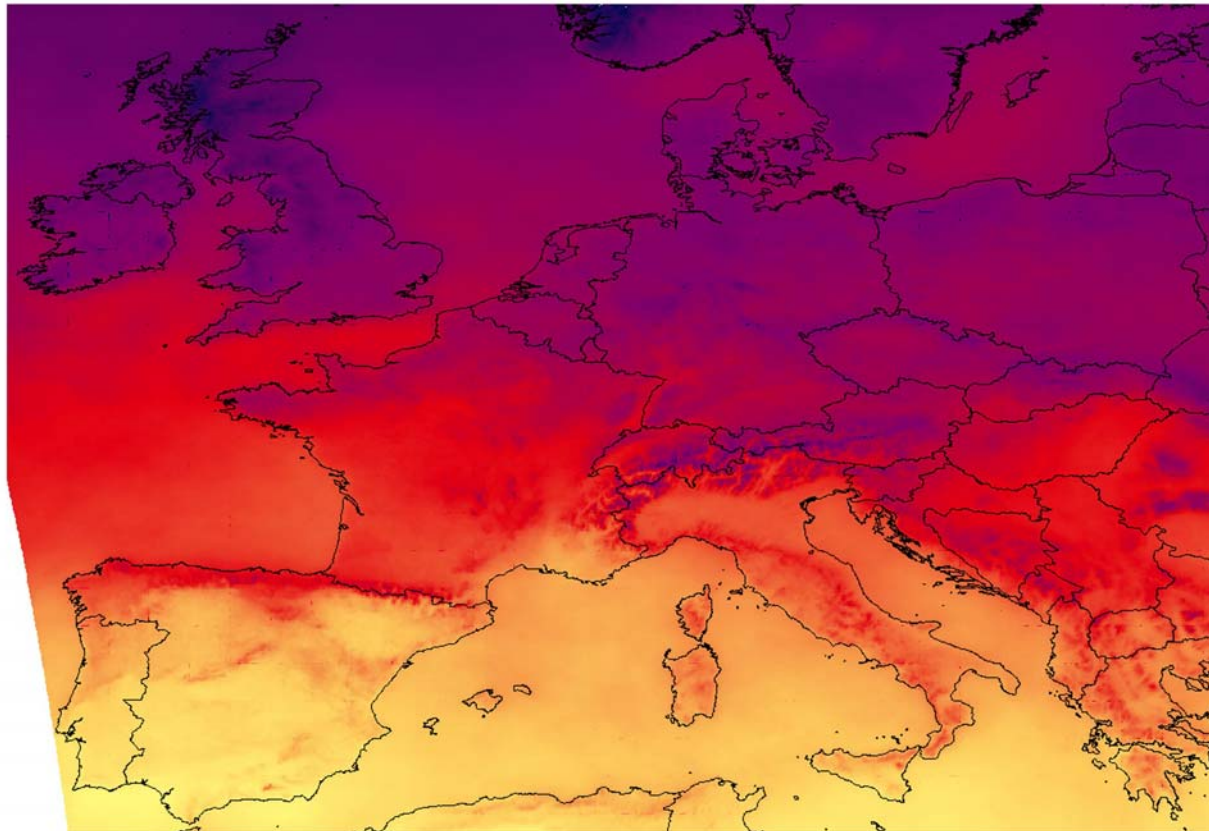
## QUALITÄT



typische Tagesgänge der Globalstrahlung, Norddeutschland (53.6° N)

Abweichungen:	zeitl. Auflösung	rmse [%]
	Stunde	~ 20
	Tag	8 - 12
	Monat	4 - 7

## BEISPIEL: POTENTIALKARTEN

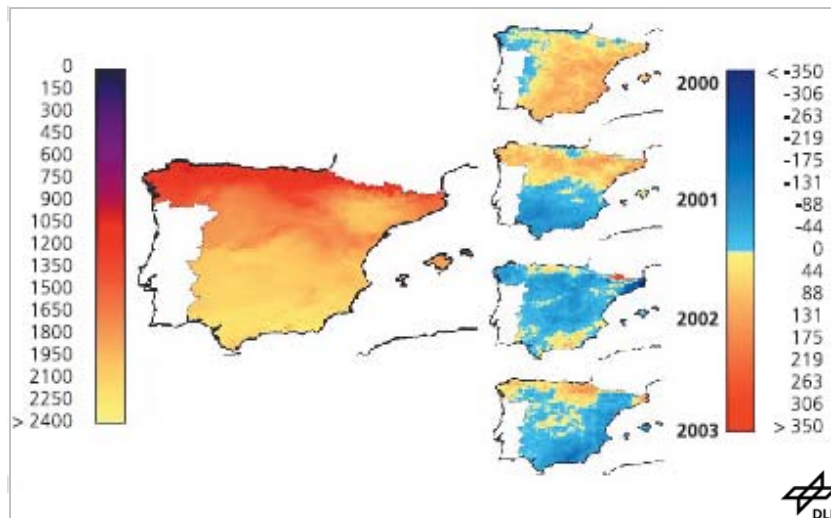


Jahressumme der  
Globalstrahlung  
(in kWhm<sup>-2</sup>)

Europa, 2004

# ENERGIEMETEOROLOGIE

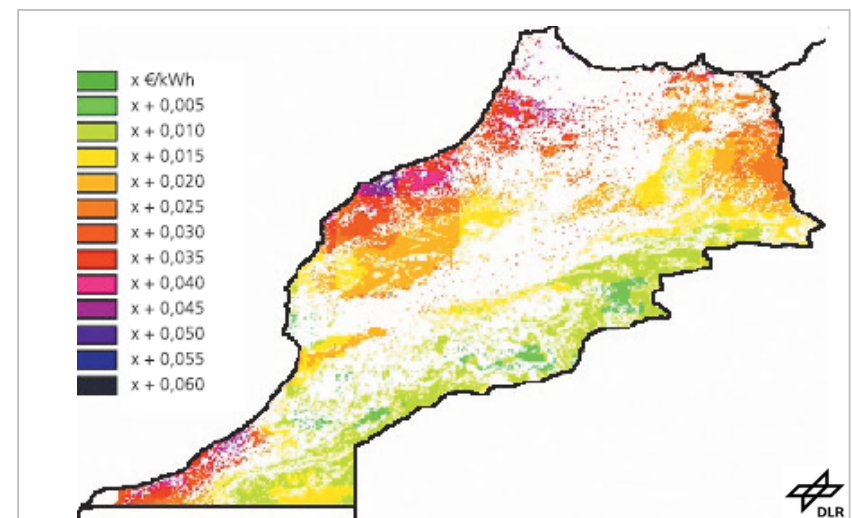
## Beispiel: Potenziale und Standorte



### Räumliche Variabilität der Solarstrahlung

Mittlere jährliche Direktstrahlungssumme (kWh/(m<sup>2</sup>a), links) der Jahre 1998-2003 in Spanien

Abweichung vom Mittelwert in den jeweiligen Jahren (rechts).



### GIS-basierte Standortbewertung

auf der Basis der Stromgestehungskosten.

Die Stromgestehungskosten (€/kWh) sind relativ zu dem besten Standort angegeben.

Beispiel: 200 MW-Parabolrinnenkraftwerk in Marokko

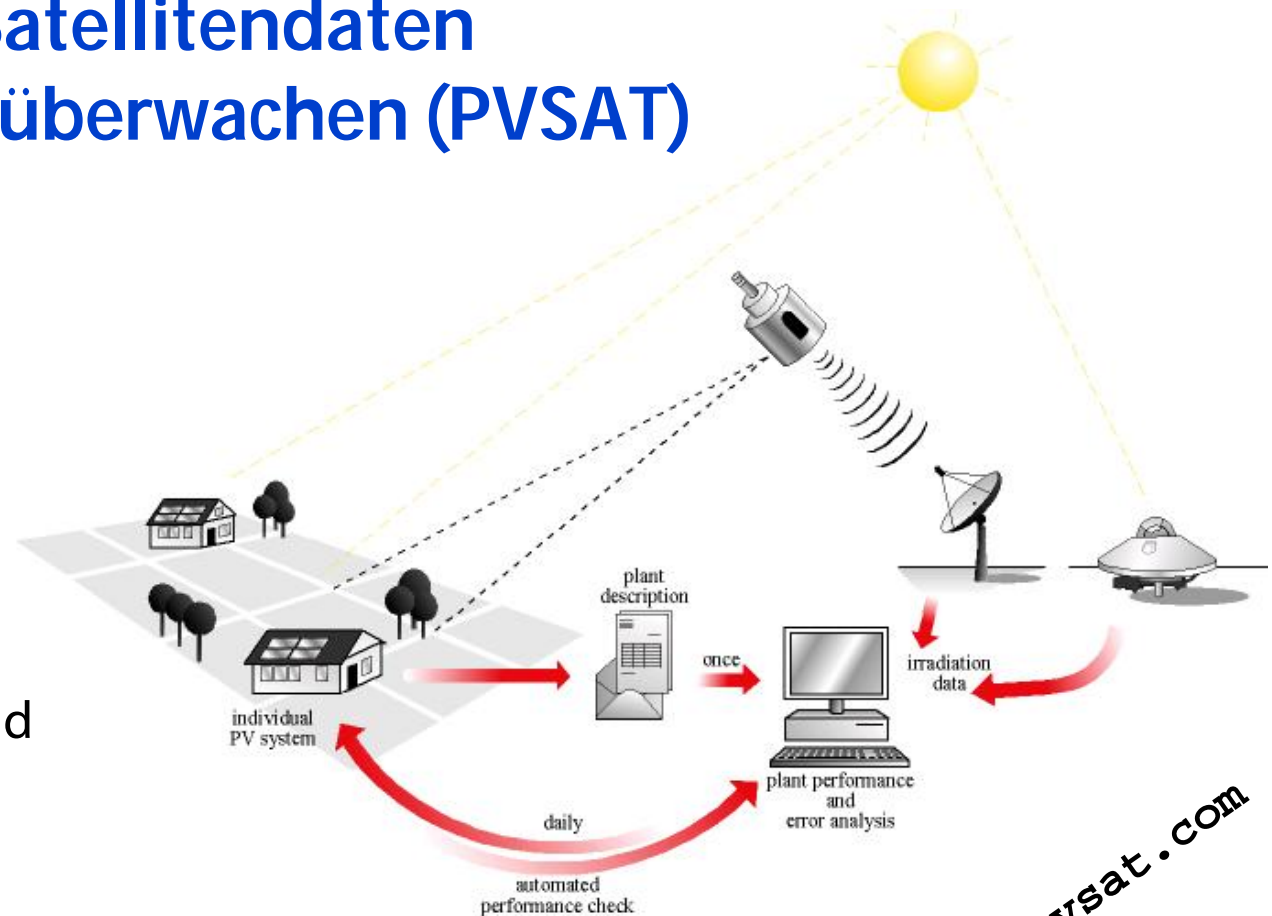


# ENERGIEMETEOROLOGIE

## Beispiel: Mit Satellitendaten Solaranlagen überwachen (PVSAT)

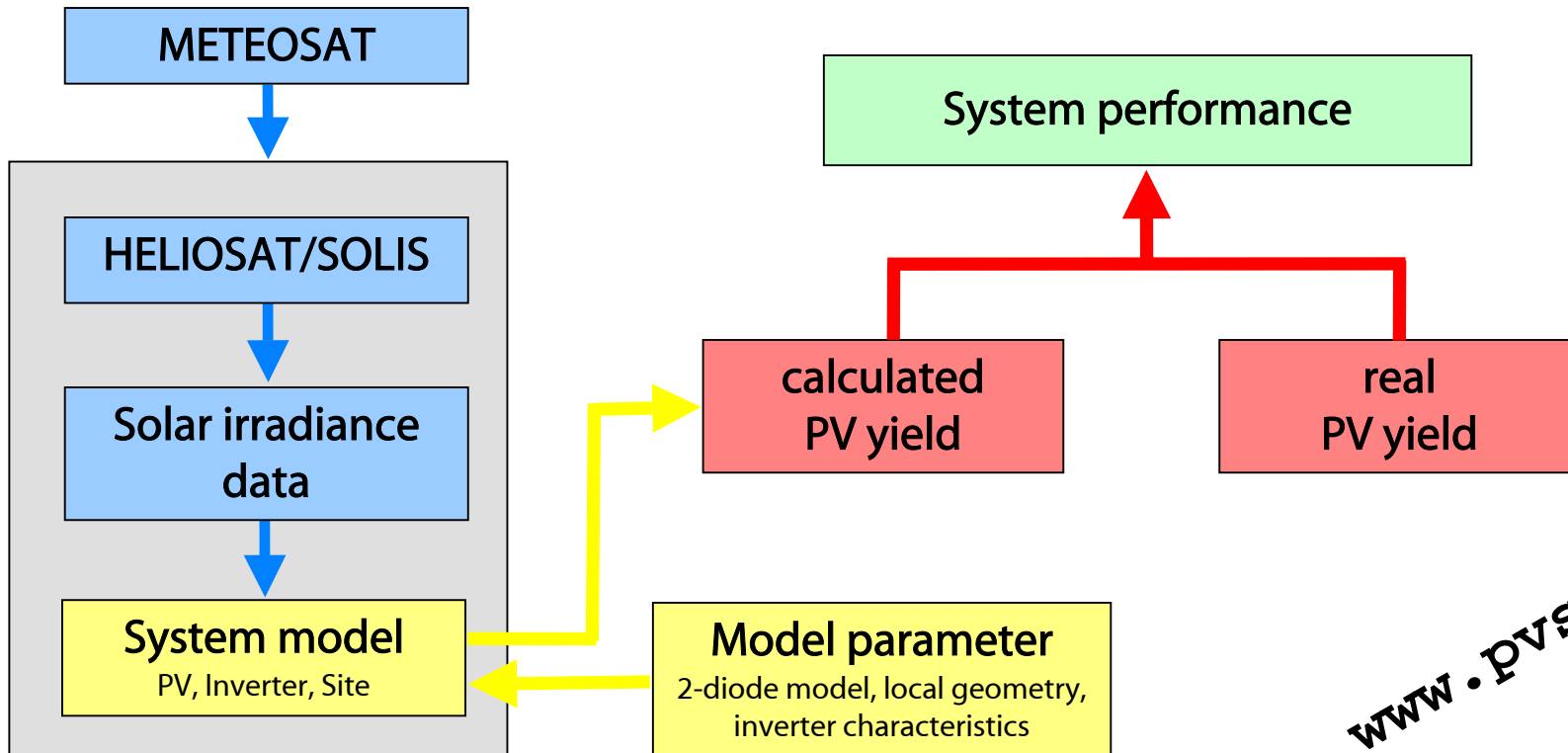
### Komponenten:

- ▶ Strahlungs-  
bestimmung
- ▶ Systemanalyse und  
Fehlererkennung
- ▶ Kommunikation



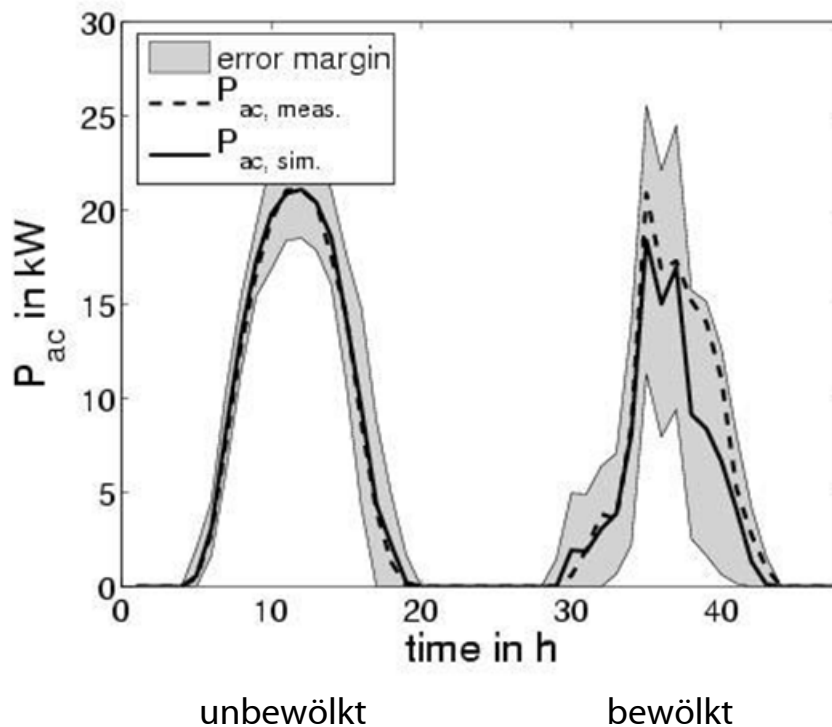
# ENERGIEMETEOROLOGIE

## Beispiel: PVSAT-2



[www.pvsat.com](http://www.pvsat.com)

## Beispiel: PVSAT-2



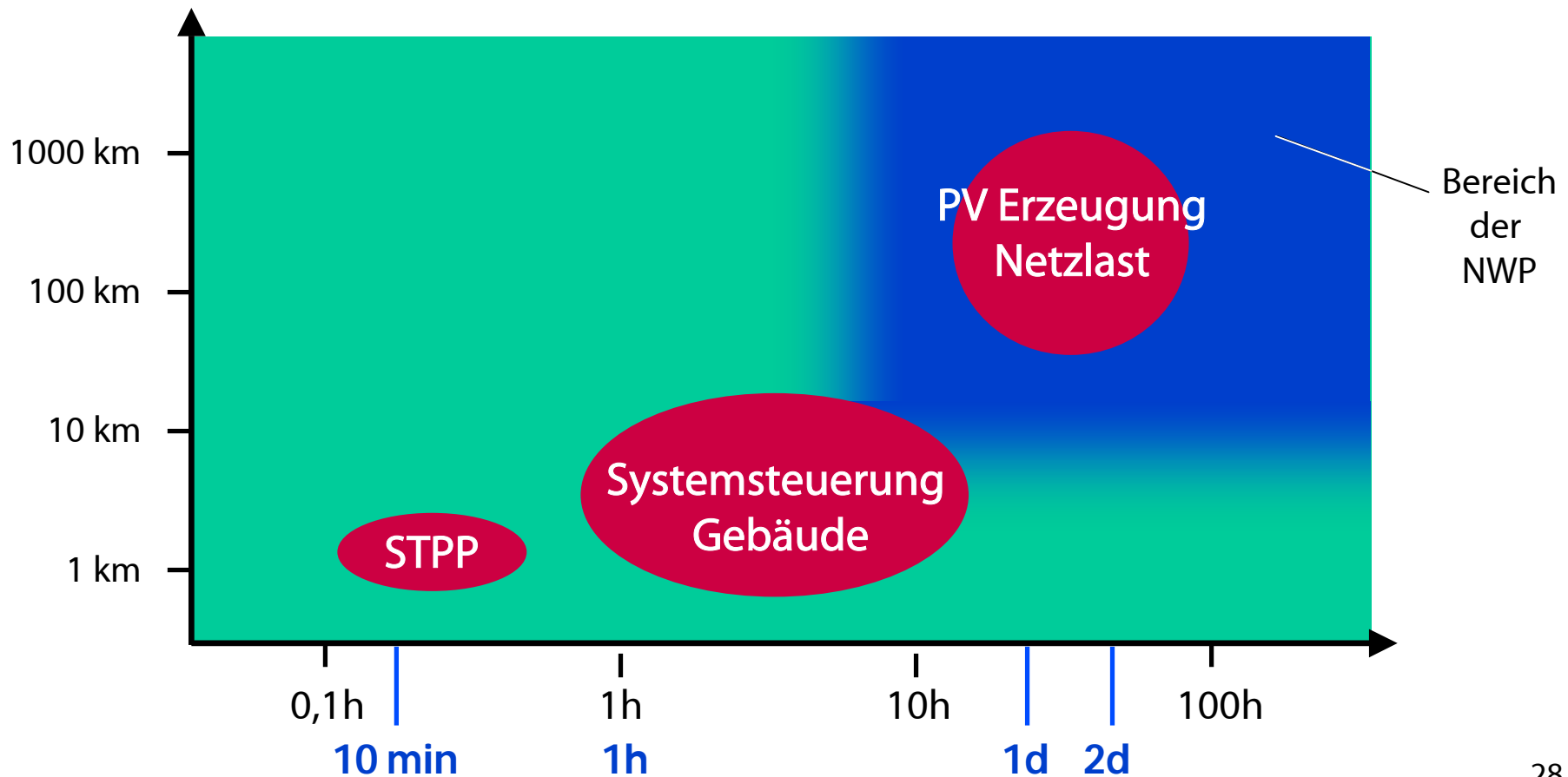
Wetterabhängige Fehlerinformation als Eingangsgröße für Fehlererkennung

Unsicherheiten durch:  
Sonnenstand, vorherrschende  
Wetterlage (Bewölkung, Variabilität)

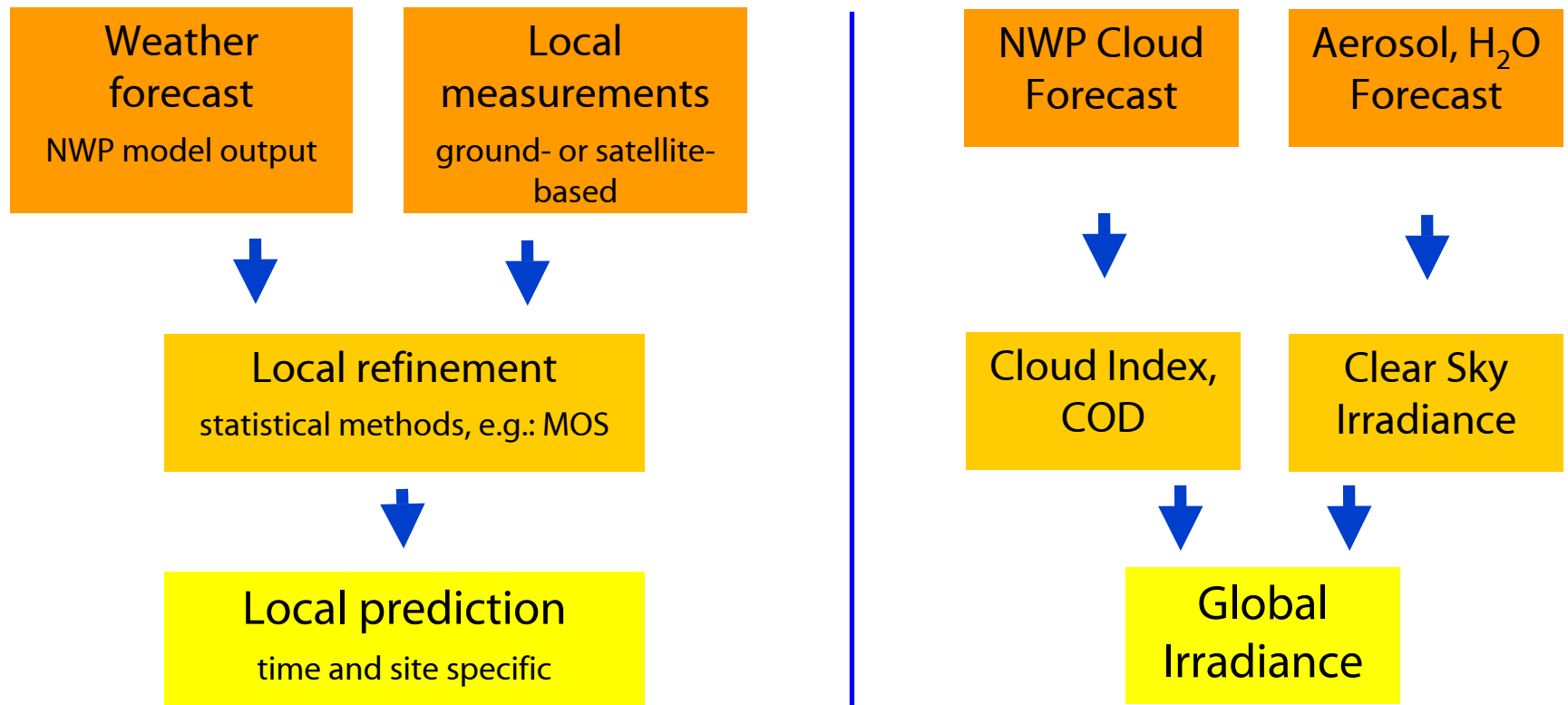
Stündliche Leistungen mit Fehlerangabe

# ENERGIEMETEOROLOGIE

## Solarstrahlungsvorhersage: Anwendungen und Skalen

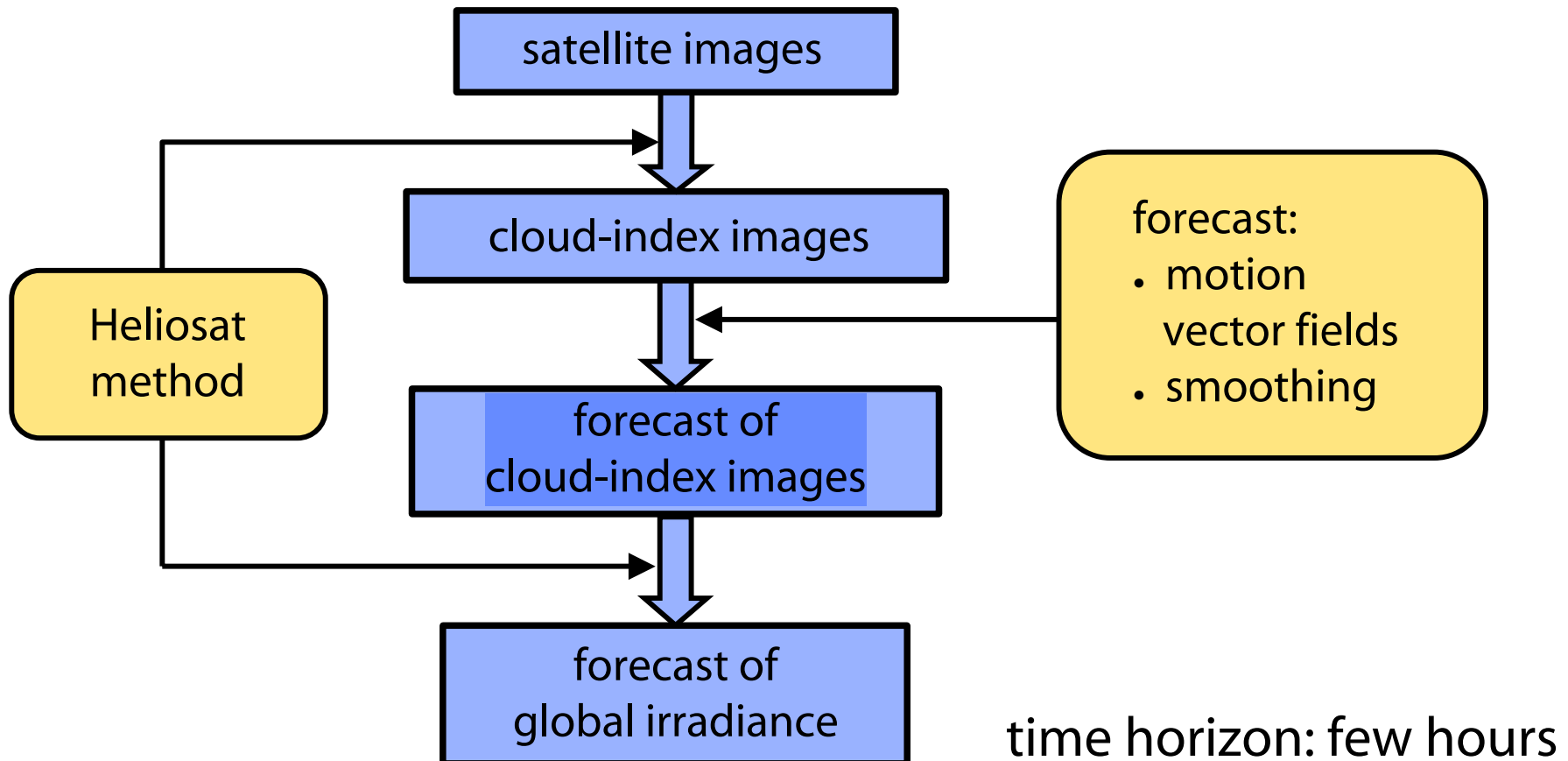


## IRRADIANCE FORECASTING



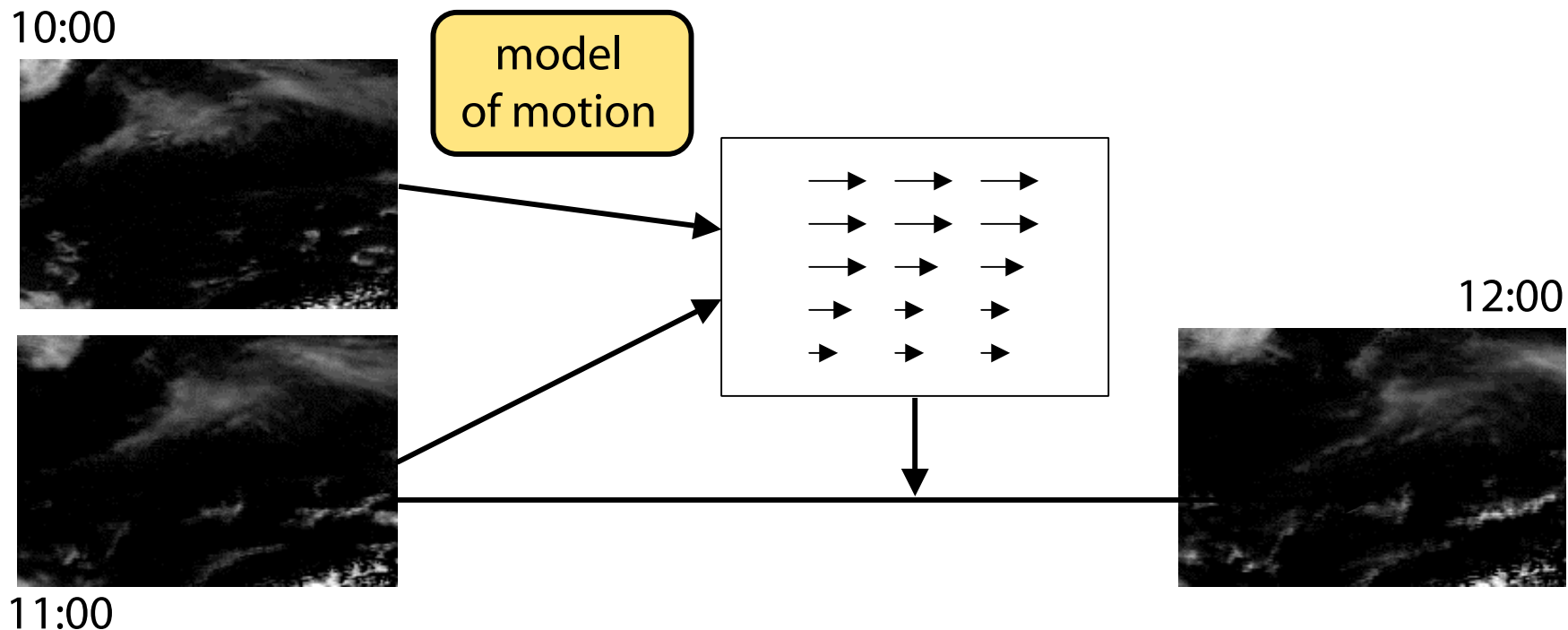
time horizon: 1 – 2 days

## SHORT-TERM IRRADIANCE FORECASTING

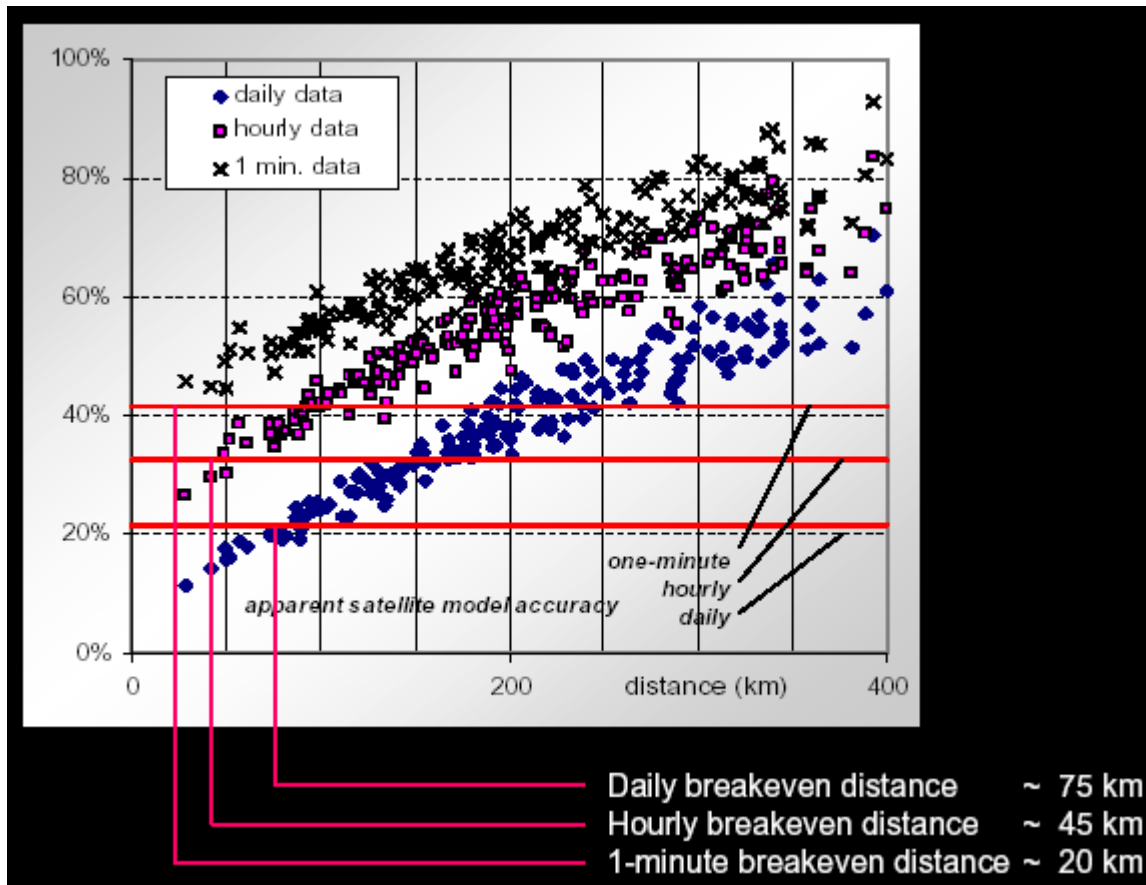


## SHORT-TERM IRRADIANCE FORECASTING

- motion vector fields from two consecutive cloud index images
- forecast : extrapolation of motion



## SATELLITE DATA VS. GROUND TRUTH



Deviation (r.m.s.e.) of ground measurements of solar irradiance at the surface at two adjacent sites as function of distance



# ENERGIEMETEOROLOGIE

## Ziele

- ▶ Standardisierung
- ▶ Erhöhte Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- ▶ Verbesserte räumliche und zeitliche Auflösung
- ▶ Nutzer-spezifische Produkte
- ▶ Zuverlässige Vorhersagen für Wind und Solar
- ▶ Einfache Verfügbarkeit für die Industrie
- ▶ Verringerung von Planungskosten für EE Systeme
- ▶ Verbesserter „Wirkungsgrad“ von EE Systemen durch genauere und vollständigere Information
- ▶ Steigerung des Wertes von EE

**NEW:**



**Virtuelles Institut für  
Energiemeteorologie**

Universität Oldenburg  
und  
Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt (DLR)



**Zentrum für  
Windenergieforschung**

der Universitäten Oldenburg  
und Hannover

# ENERGIEMETEOROLOGIE

## SUMMARY

- Use of renewable energies adds new challenge for meteorology (methods, data)
- integrated, interdisciplinary approach necessary (various sources, various systems)
- detailed knowledge of 'fuel' is key to integration of RE technologies (information as energy source, high economic benefits)
- both, applied and fundamental research is necessary

# ENERGIEMETEOROLOGIE

The screenshot shows a Netscape browser window displaying the website for the Institute of Physics Energy Meteorology at Carl von Ossietzky University Oldenburg. The browser's address bar shows the URL <http://www.energiemeteorologie.de/>. The website header includes the university logo and the text "INSTITUTE OF PHYSICS ENERGY METEOROLOGY". A navigation menu on the left lists: Energy Meteorology, Overview, Team, Research, Publications, Teaching, Cooperations, Products, News, Links, Download, and Internal area. The main content area features a breadcrumb trail: UNI > FK V > PHYSICS > EHF > ENERGY METEOROLOGY, followed by the title "Energy Meteorology" and a photograph of solar panels. A contact box lists the Head (Dr. Detlev Heinemann) and Secretary (Elzbieta Chojnowski) with their respective phone, fax, and email addresses. A paragraph below describes the field as a major research area within the Department of Energy and Semiconductor Research EHF. At the bottom, there are links for "recommend this site", "print", and "Webmaster · April 13, 2003". A footer contains navigation links: Uni | Uni - Aktuelles | Uni - Studium | Uni - Einrichtungen | Uni - Impressum | Uni - Suche. The status bar at the bottom indicates "Transferring data from www.uni-oldenburg.de...".

Energy Meteorology

- ◆ **Head**  
Dr. Detlev Heinemann
- ◆ **Secretary**  
Elzbieta Chojnowski  
Tel.: +49-(0)441-798-3402  
Fax.: +49-(0)441-798-3326  
E-Mail: [ehf@ehf.uni-oldenburg.de](mailto:ehf@ehf.uni-oldenburg.de)  
Raum: W1A 1-104

Energy Meteorology is a major research field within the Department of Energy and Semiconductor Research EHF of the Institute of Physics. It is a new discipline at the interface between renewable energy research (mainly solar and wind) and atmospheric physics.

[recommend this site](#) | [print](#) | Webmaster · April 13, 2003

[Uni](#) | [Uni - Aktuelles](#) | [Uni - Studium](#) | [Uni - Einrichtungen](#) | [Uni - Impressum](#) | [Uni - Suche](#)

[www.energiemeteorologie.de](http://www.energiemeteorologie.de)  
[www.energy-meteorology.de](http://www.energy-meteorology.de)