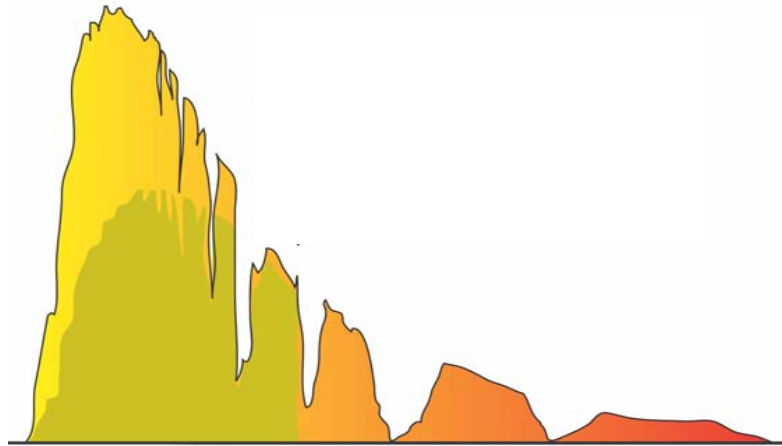


ENERGIEMETEOROLOGIE

Das fluktuierende Angebot aus Wind- und
Sonnenenergie
berechenbar machen

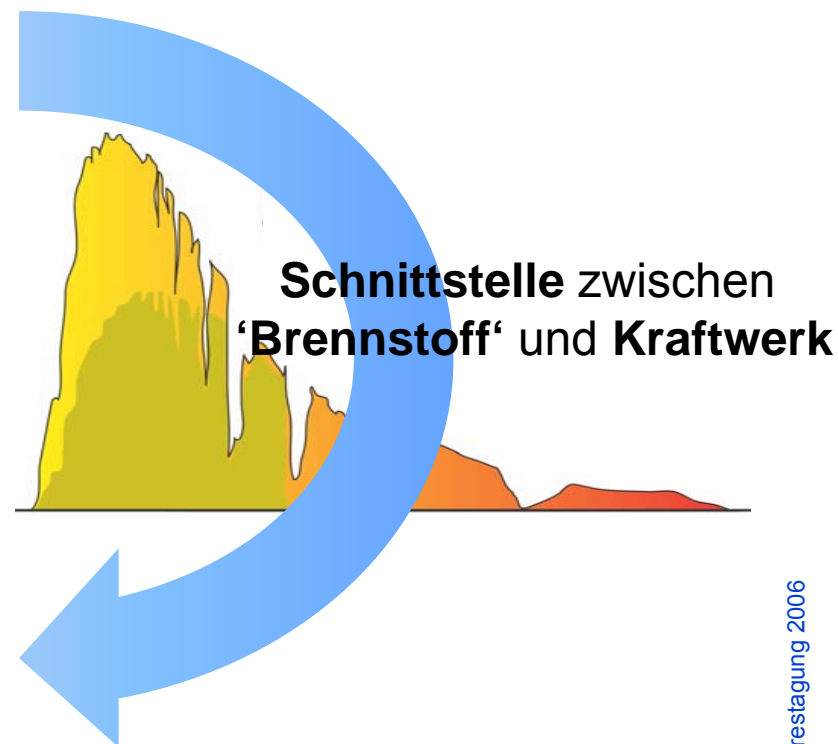
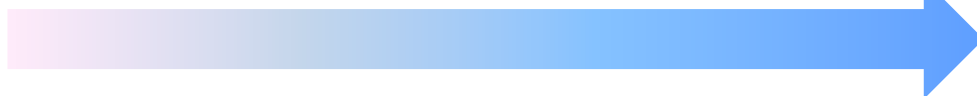
Detlev Heinemann, Universität Oldenburg
Carsten Hoyer, DLR-TT; Bernhard Lange, ISET



ÜBERSICHT

- ▶ Was ist Energiemeteorologie?
- ▶ Anforderungen
- ▶ Beispiele aus der Sonnen- und Windenergie
- ▶ Ziele und Zusammenfassung

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.

ENERGIE UND WETTER

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

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

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

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, ...)

WELCHE DATEN BRAUCHT DIE SOLARENERGIE?

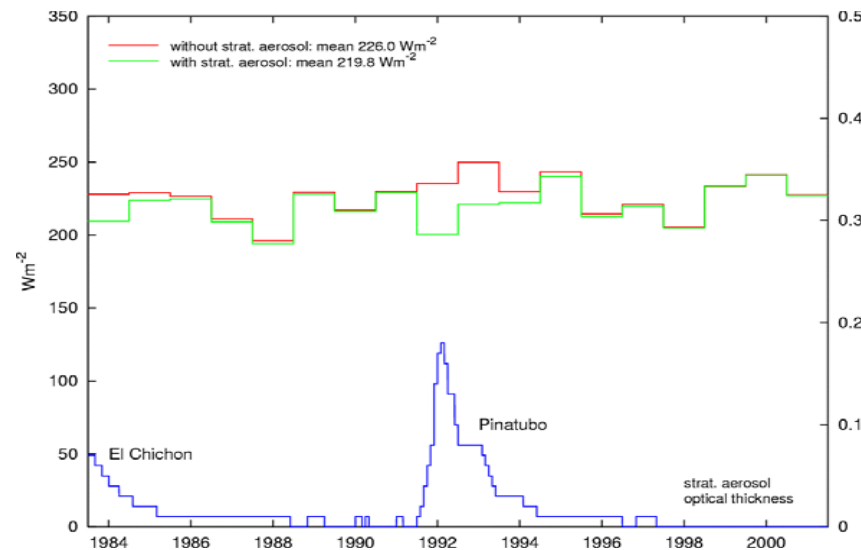
Spezifische Solarstrahlungsdaten:

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

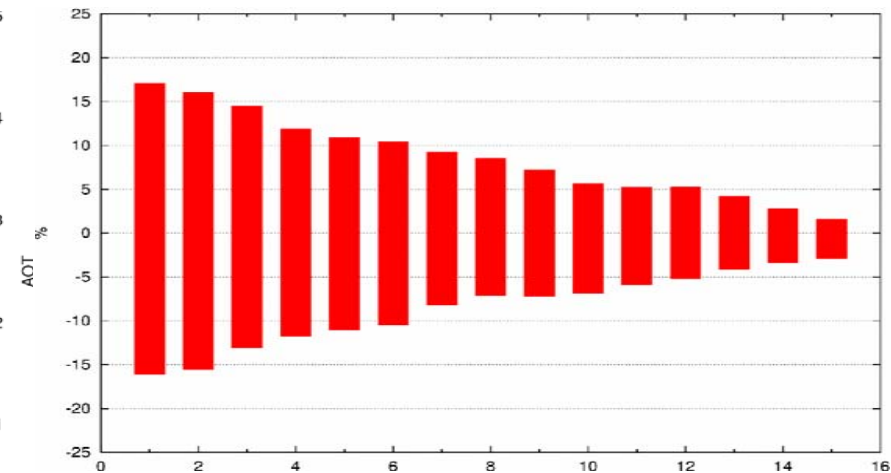
Merkmale:

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

LANGZEITDATEN

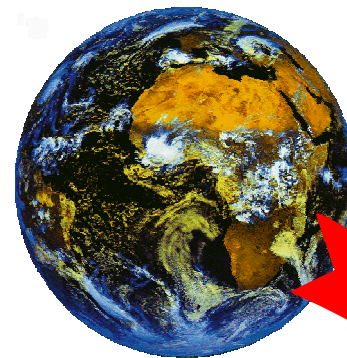


Einfluß von Vulkanausbrüchen auf die Direktnormalstrahlung DNI (Lohmann et al., 2004)



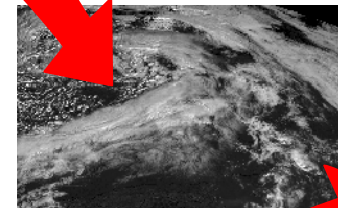
Abweichung der mittleren Direktstrahlung vom langjährigen Mittel als Funktion der Mittelungszeit. Daten: ISCCP, 18 Jahre, Box über Jordanien. (Lohmann et al., 2004)

FERNERKUNDUNG und SOLARENERGIE

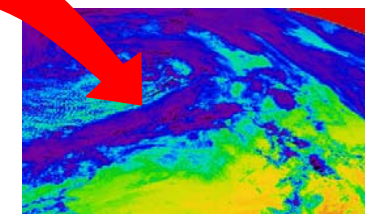


METEOSAT

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



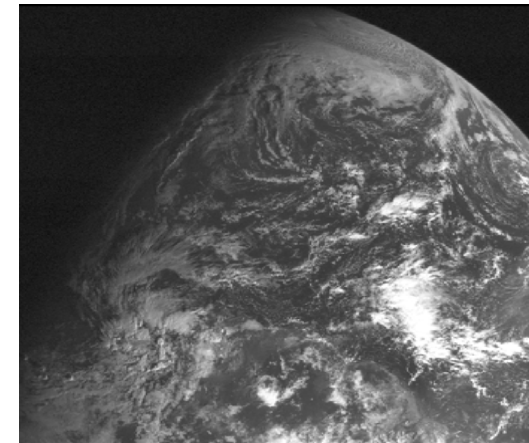
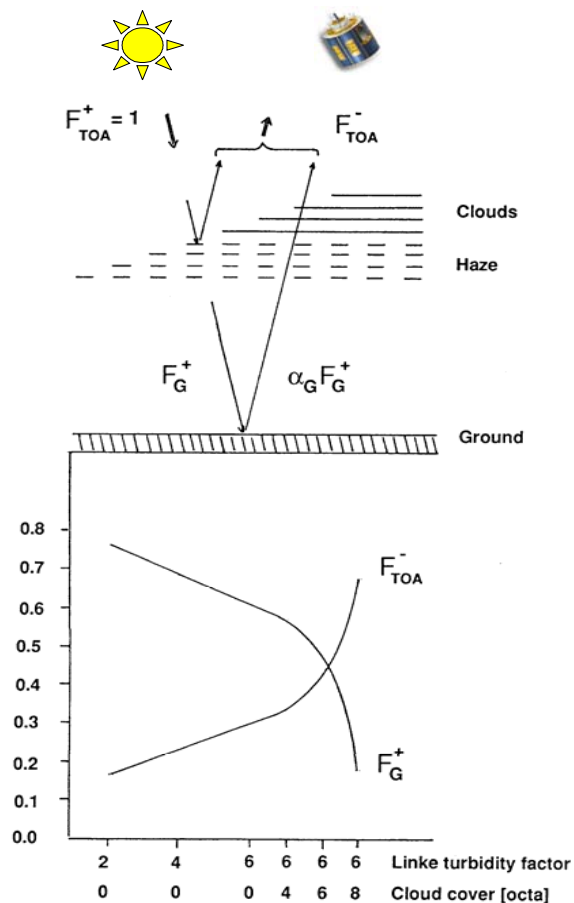
Wolkenbild



0 W/m² 1000 W/m²

Strahlungskarte

PRINZIP



kurzwellige Solarstrahlung

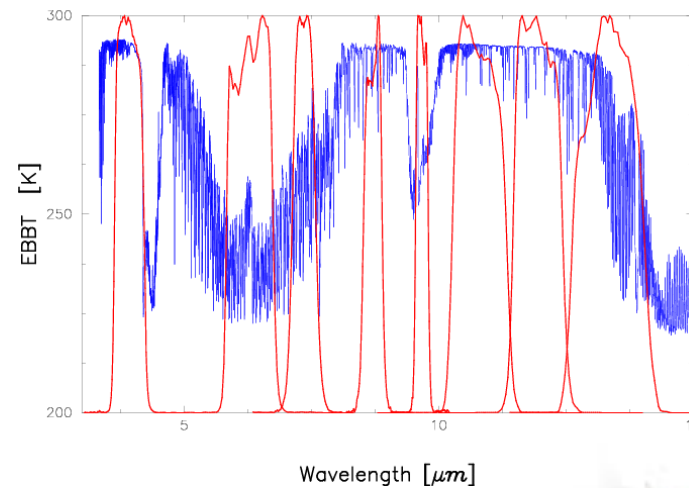
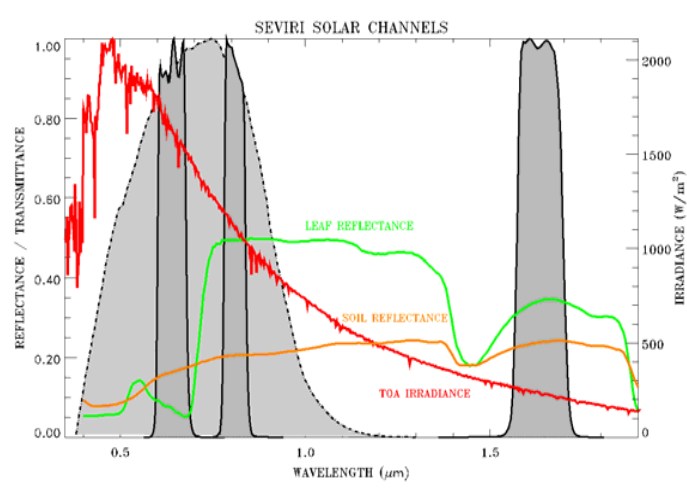
Bilanz:

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

Transmission:

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

METEOSAT SECOND GENERATION (MSG)

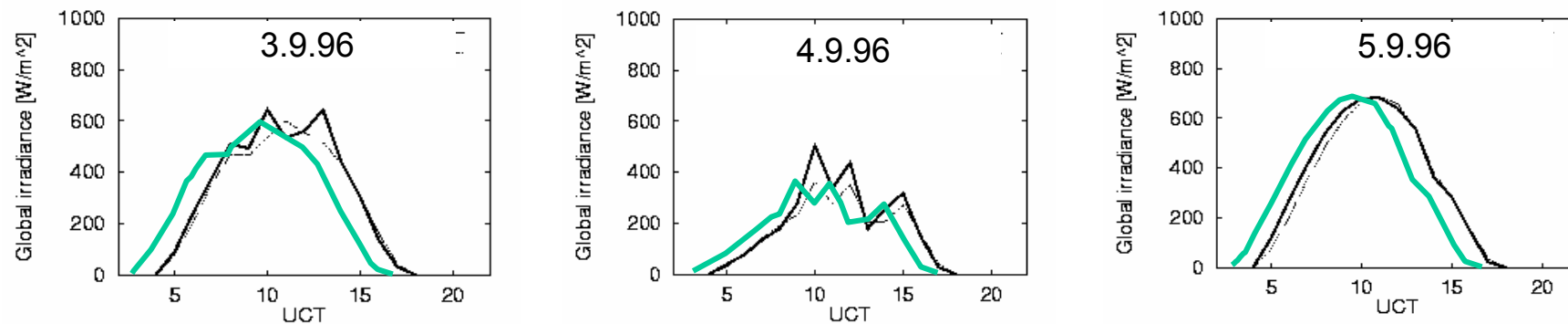


Auflösung: räumlich 1 km
 zeitlich 1 5 min
 spektral 12 Kanäle
 radiometrisch 10 bit

Spektrale Kanäle liefern wertvolle Information über Atmosphäre und Boden



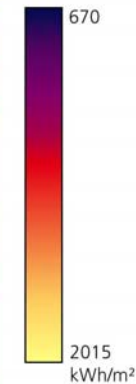
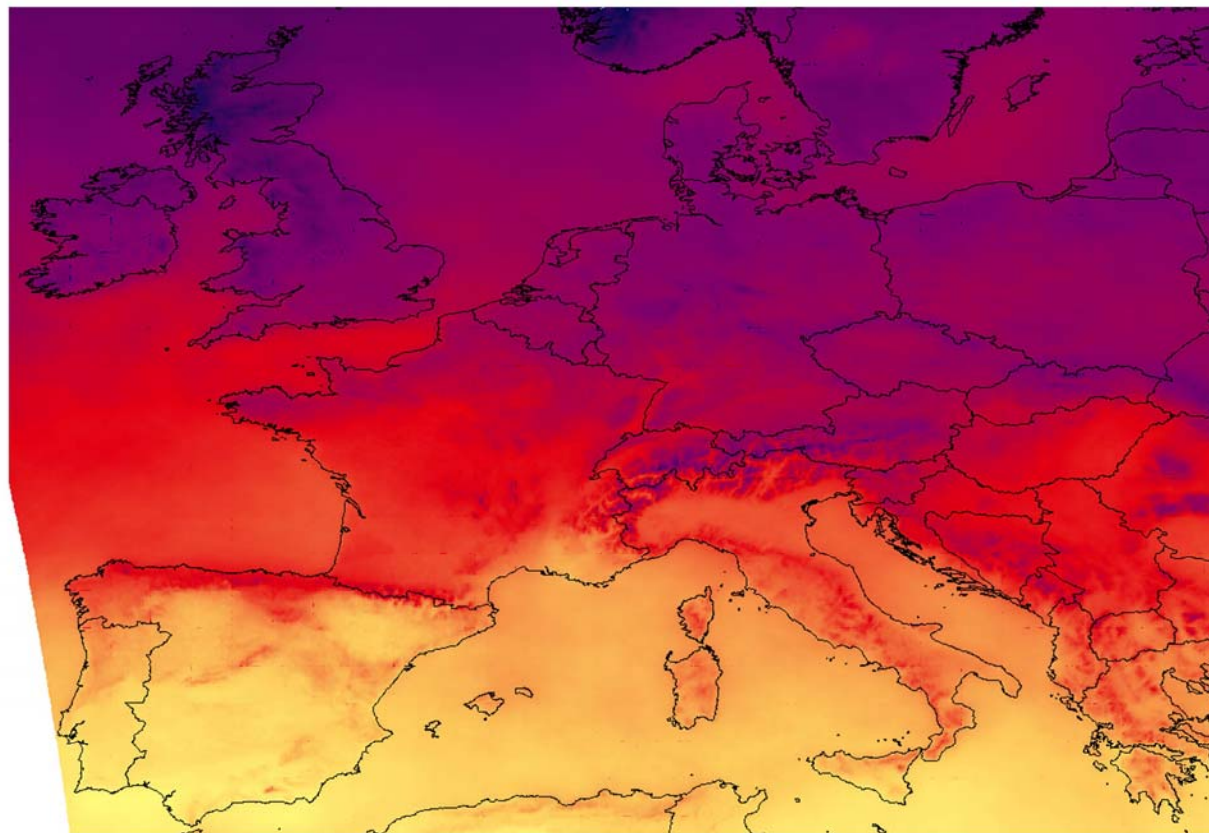
QUALITÄT



typische Tagesgänge der Globalstrahlung, Norddeutschland (53.6° N)

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

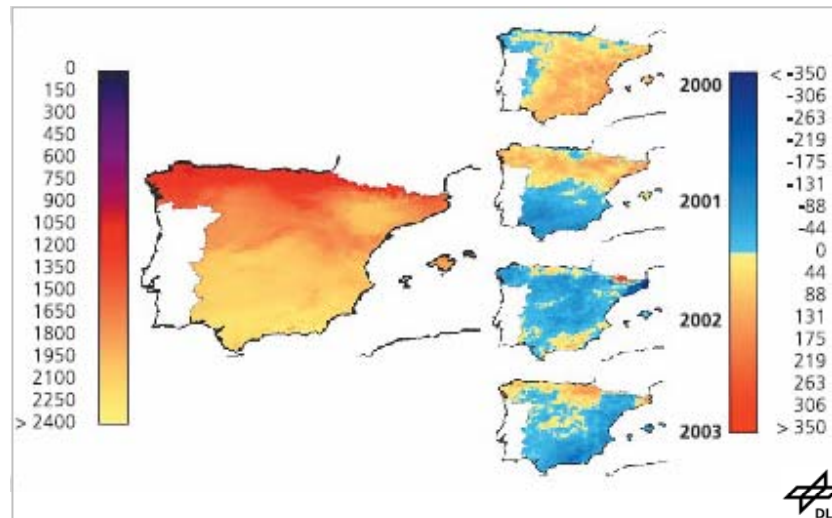
BEISPIEL: POTENTIALKARTEN



Jahressumme der
Globalstrahlung
(in kWhm⁻²)

Europa, 2004

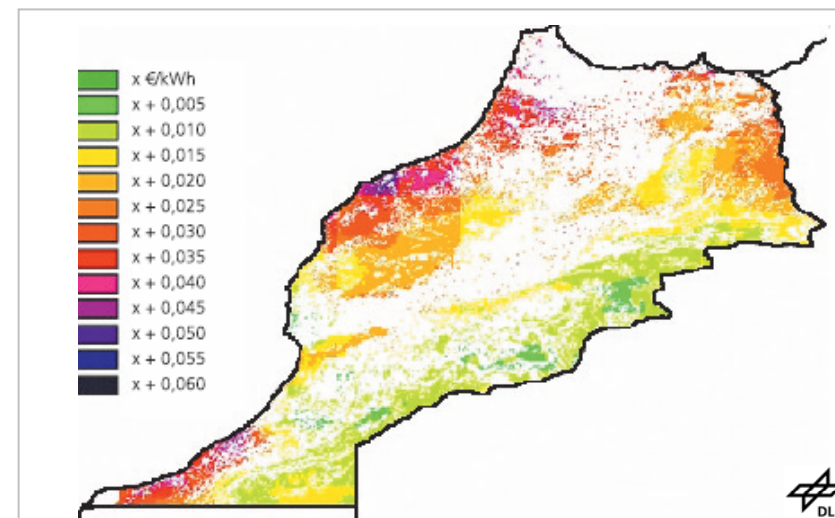
BEISPIEL: POTENZIALE und STANDORTANALYSE



Räumliche Variabilität der Solarstrahlung

Mittlere jährliche Direktstrahlungssumme (kWh/(m²a), links) der Jahre 1998-2003 in Spanien

Abweichung vom Mittelwert in den jeweiligen Jahren (rechts).



GIS-basierte Standortbewertung

auf der Basis der Stromgestehungskosten.

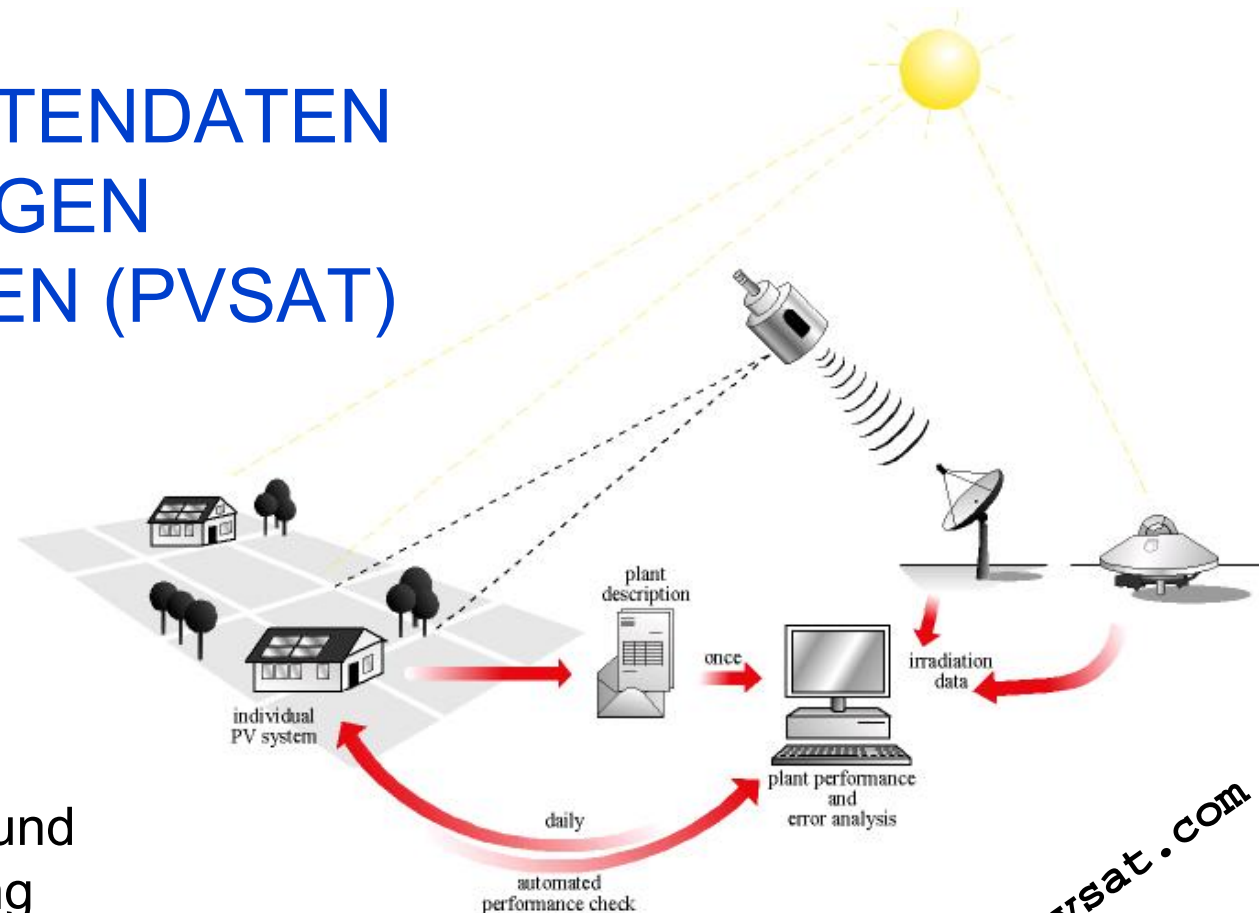
Die Stromgestehungskosten (€/kWh) sind relativ zu dem besten Standort angegeben.

Beispiel: 200 MW-Parabolrinnenkraftwerk in Marokko

BEISPIEL: MIT SATELLITENDATEN SOLARANLAGEN ÜBERWACHEN (PVSAT)

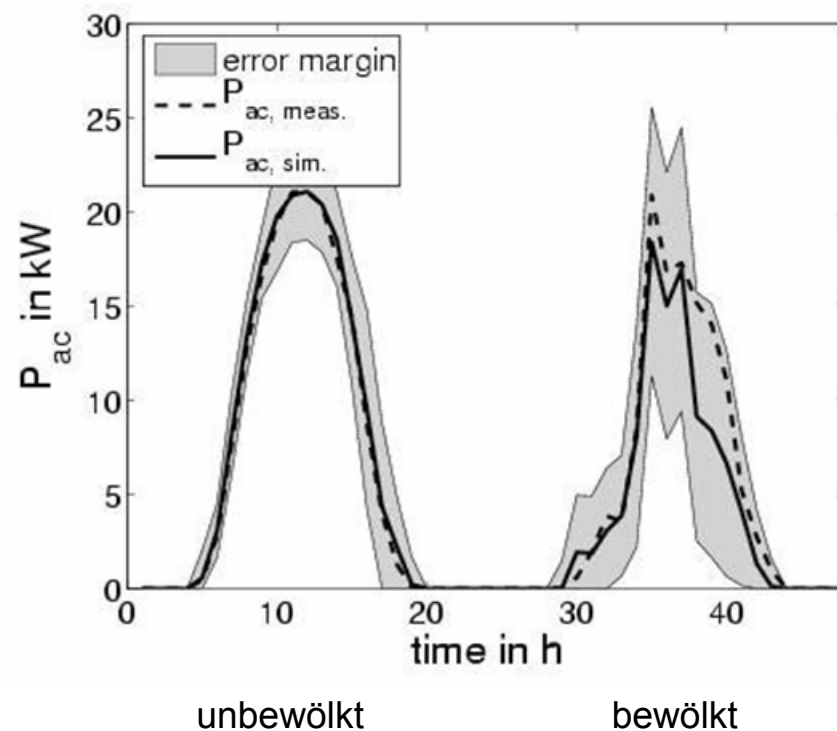
Komponenten:

- ▶ Strahlungsbestimmung
- ▶ Systemanalyse und Fehlererkennung
- ▶ Kommunikation



www.pvsat.com

BEISPIEL: PVSAT



Wetterabhängige Fehlerinformation
als Eingangsgröße für
Fehlererkennung

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

Stündliche Leistungen mit Fehlerangabe

WINDENERGIE

Strömungsmodellierung:

Physikalische Modellierung der atmosphärischen Strömung

Anwendung: Offshore, komplexes Gelände, thermische Einflüsse

Aufgaben: - Parametrisierung lokaler und kleinskaliger Effekte
(Turbulenz!)

- Kopplung verschiedener Skalen

 - z.B.: Mesoskala-Modelle und Large Eddy Simulation

(LES) zur

Kopplung der synoptischen Strömung mit

Nachlaufströmungen v. WEA -Windpark-Effekt

WINDENERGIE

Windleistungsvorhersage:

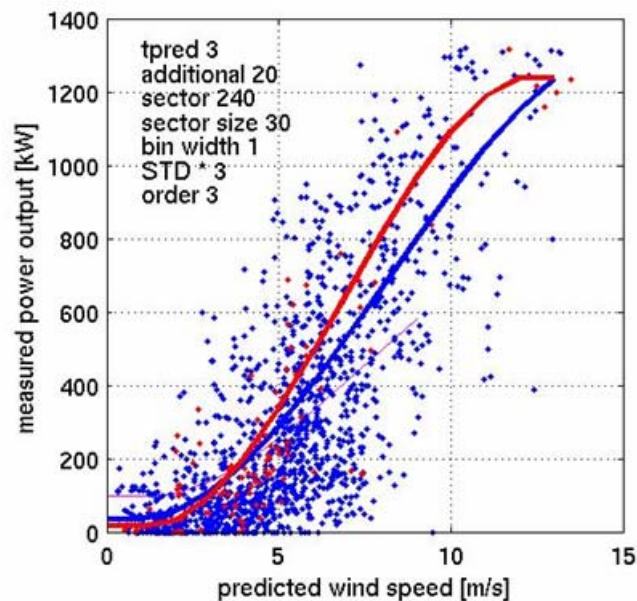
Kopplung numerischer Wettervorhersage mit windenergiespezifischen Details

Anwendung: Netzintegration, Stromhandel, Regelenergie

- Aufgaben:
- räumliche Verfeinerung
 - statistische Fehlerinformation, Integration in EV
 - Kombination verschiedener Vorhersagequellen
 - wettersituationsabhängige Vorhersagen
 - kundenspezifische Vorhersagen

Bereits heute sehr hoher ökonomischer Wert!

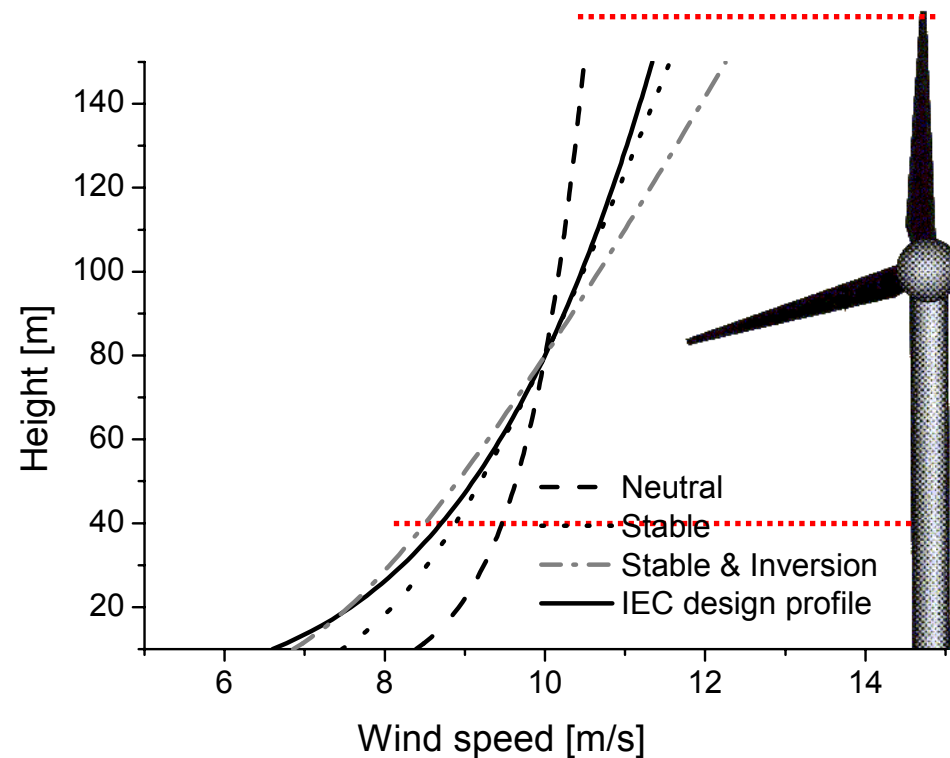
BEISPIEL: METEOROLOGIEABHÄNGIGE LEISTUNGSKENNLINIEN



Individuelle Leistungskennlinien
entsprechend der meteorologischen
Situationen

- ▶ bestimmende Größen: Windrichtung, atmosphärische Stabilität, Turbulenzintensität
- ▶ Ziel: „lernende“ Leistungskennlinien
- ▶ Integration in Vorhersageverfahren

BEISPIEL: VERTIKALE WINDPROFILE



Vergleich verschiedener theoretischer Vertikalprofile mit IEC Richtlinie

→ erhebliche Abweichungen realer Profile

hohe Bedeutung der atmosphärischen Stabilität über dem Meer

BEISPIEL: OFFSHORE-WINDENERGIE

Offshore sind meteorologische Bedingungen wesentlich verändert!

Neue Fragestellungen:

- ▶ vertikales Windprofil über küstennaher See
- ▶ Wechselwirkung von Wind und Wellen
- ▶ Überprüfung von „on-shore“- Modellen
- ▶ Modellierung von Windparks

Wichtig:

- ▶ Erweiterung der Kenntnisse der marinen atmosphärischen Grenzschicht in Bezug auf Windenergieanwendungen
- ▶ Modellierung des Einflusses der Luft-Wasser-Wechselwirkung
- ▶ Durchführung und Analyse von Messungen

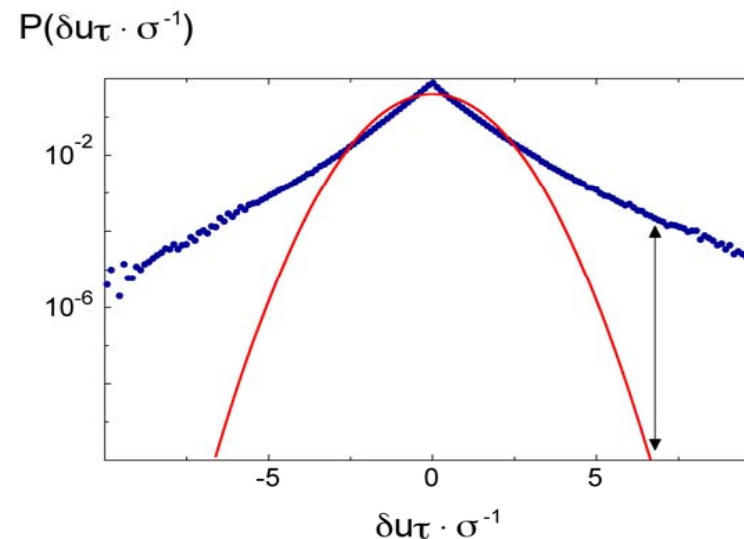
BEISPIEL: ATMOSPHERISCHE TURBULENZ

hoher Einfluß auf Anlagenkomponenten (Kosten, Zuverlässigkeit, Lebensdauer)

- ▶ Struktur kleinskaliger Turbulenz
- ▶ Materialanforderungen für Turbulenzdaten
- ▶ Böenstatistik
- ▶ Verhalten von Anemometern in turbulenten Strömungen

zahlreiche Ansätze aus der Grundlagenforschung vorhanden

Beispiel: Beschreibung turbulenter Windfelder Risikoanalysen Windböen



Wahrscheinlichkeit von Geschwindigkeitsänderungen

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 RE Systeme
- ▶ Verbesserter „Wirkungsgrad“ von RE Systemen durch genauere und vollständigere Information
- ▶ Steigerung des Wertes von RE

ZUSAMMENFASSUNG

- ▶ Einsatz erneuerbarer Energien stellt neue Anforderungen an die Meteorologie (Methoden, Daten)
- ▶ integrierter, interdisziplinärer Ansatz notwendig (verschiedene Quellen, verschiedene Systeme)
- ▶ detaillierte Kenntnis über den „Brennstoff“ hat Schlüsselrolle für die Integration von RE-Technologien (Information als Energiequelle, hoher ökonomischer Nutzen)
- ▶ sowohl anwendungsnahe als auch Grundlagenforschung notwendig

ENERGIEMETEOROLOGIE



Ankündigung:

Symposium
„Energiemeteorologie“

am 2. November 2006 in Berlin

FVS-Symposium ■



Energiemeteorologie

2. November 2006
WissenschaftsForum Berlin
Markgrafenstraße 37
10117 Berlin

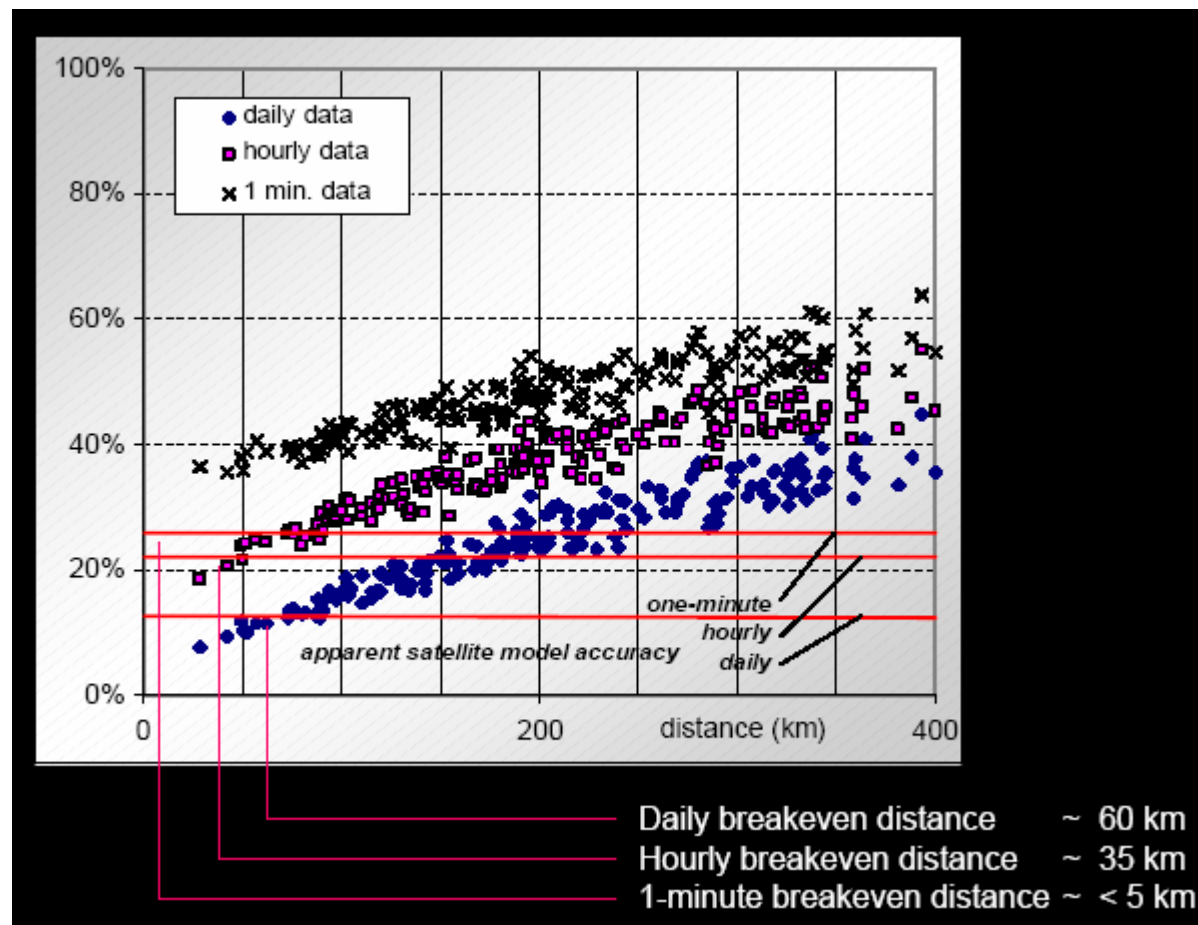


FVS Forschungsverband
Sonnenergie

VIEM
Virtuelles Institut für
Energiemeteorologie

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

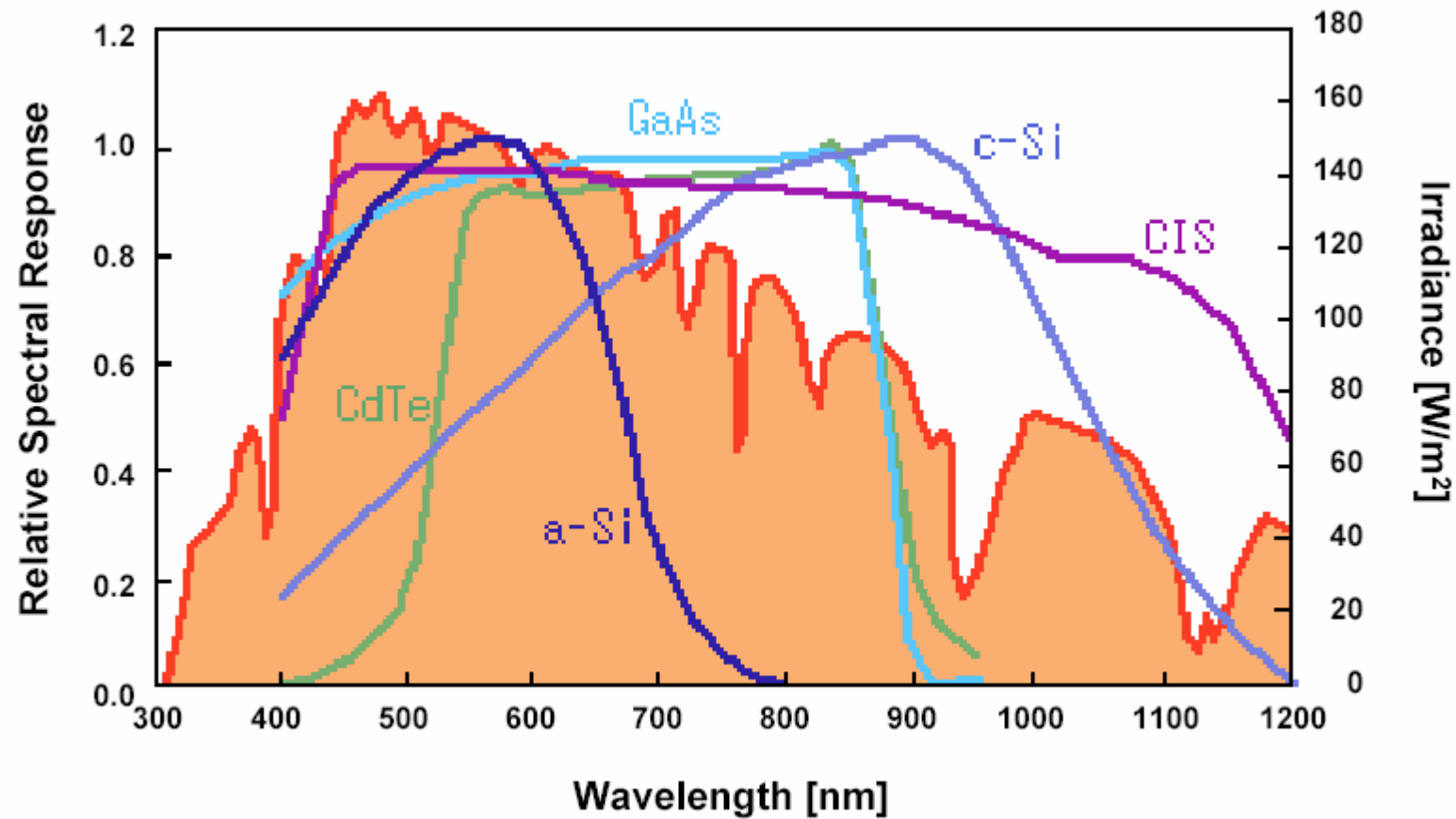
SATELLITENDATEN VS. BODENDATEN



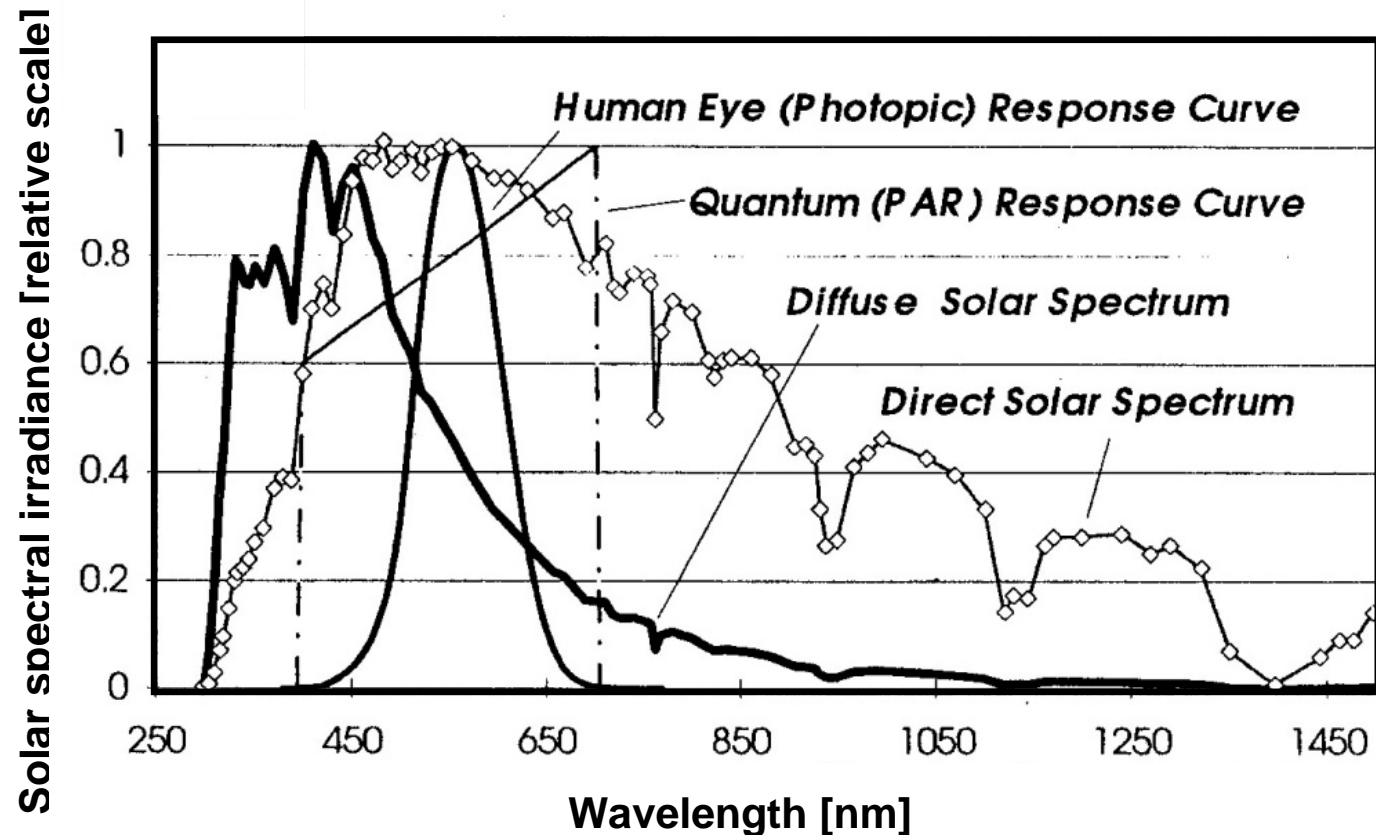
Abweichung (r.m.s.e.) von Messungen der solaren Einstrahlung am Boden an jeweils zwei benachbarten Standorten als Funktion des Abstandes.

Quelle: Perez et al.

Spectral Response of Solar Cells



Spectral Response: Daylighting, Photosynthesis



Source: Perez et al.

HELIOSAT ALGORITHMUS

