



# Solarstrahlungsprognosen für verbesserte PV-Integration

Jan Remund,  
Meteotest, Bern, Schweiz

«Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen» (div.)

1. Hintergrund
2. Warum braucht es Vorhersagen?
3. Wo werden Prognosen eingesetzt?
4. Unterschiede der Vorhersagen
5. Umfrage IEA PVPS 14
6. Qualität der Vorhersagen
7. Probleme der Vorhersagen
8. Schlussfolgerungen und Ausblick



- Genossenschaft Meteotest
  - Seit 1981, 25 Angestellte
  - Windenergie, **Solarenergie**, **Wettervorhersage**, GIS, Luftreinhaltung
  - Meteonorm (seit 1986): Klimadatenbank
  - Spyce Forecast (seit 2009): PV-Vorhersage für Einzelanlagen
- IEA SHC Task 36 / 46
  - “Solar resource assessment and forecasts”
- IEA PVPS Task 14
  - “high penetration of PV”
- COST 1002 „WIRE“: Weather Intelligence for Renewable Energies





International  
Energy Agency

- *Energy security*
- *Environmental protection*
- *Economic growth*
- *Engagement worldwide*

- Internationale Energie Agentur, Paris
- Von OECD Ländern gegründet während Ölkrise
  - im Moment: 28 Länder
- Quelle von „optimistisch“ berechneten Ölreserven
- Forschungszusammenarbeit für Erneuerbare
  - 40 Programme („implementing agreements“) für technologische Zusammenarbeit und zur Förderung der Erneuerbaren
  - SHC und PVPS sind zwei davon

- „Solar Heating and Cooling“
  - Solar-Ressourcen traditionell (seit über 20 Jahren) in diesem Task
    - obwohl Anwender mehrheitlich im Bereich der PV und CSP
- Task 36 / 46: **“Solar resource assessment and forecasts”**
  - 2005 – 2011 / 2011 – 2016
  - Teilnehmer: **NREL**, DLR, NASA, *Bluesky Wetteranalysen, ASIC*, ..
  - Hauptuntersuchungsgebiete
    - **Verbesserung und Vergleich der Solarvorhersage**
    - Raum-zeitliche Analyse der Solarstrahlung
    - Verbesserung der Datengrundlage
  - Koordiniert mit PVPS 14

# Hintergrund: IEA PVPS 14



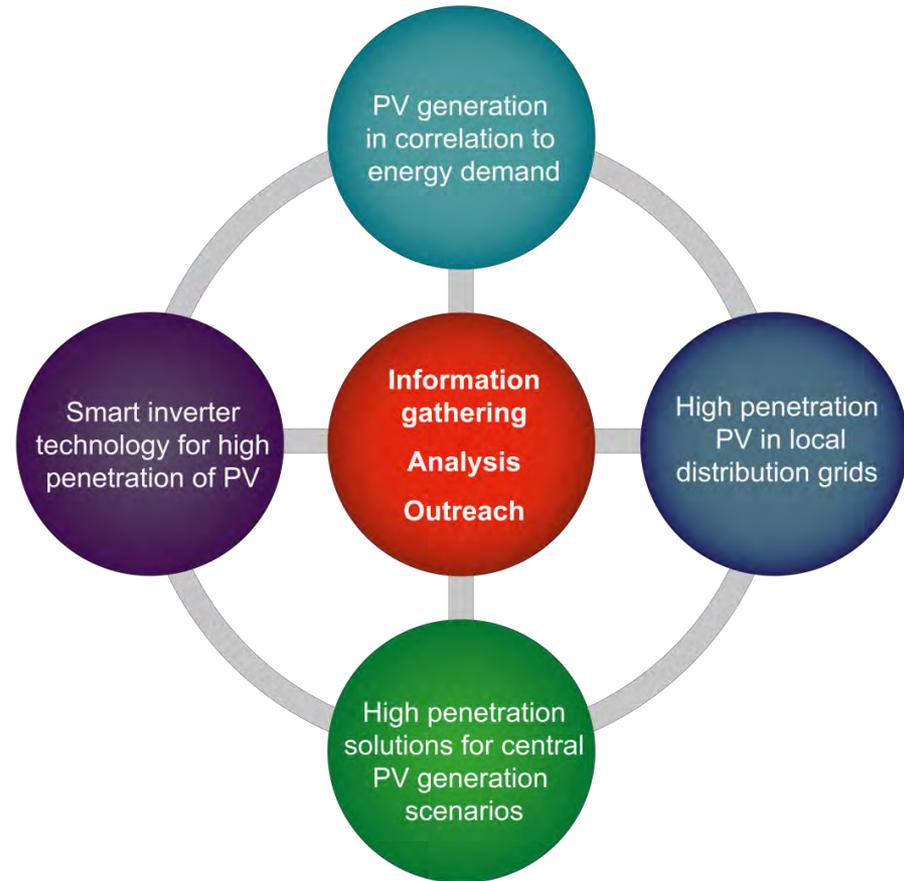
- IEA PVPS: PV power system
- Task 14: “**high penetration of PV**”
  - 2010 – 2015
  - Teilnehmer: Wechselrichterspezialisten (z.B. SMA), Kraftwerke (z.B. EDP) und nationale Forschungsgruppen (z.B. NREL) und Universitäten (z.B. Uni Tokyo)
    - **AIT** ist Projektleiter
    - Umfrage bezüglich Solarvorhersage  
→ neuste Ergebnisse



# Hintergrund: IEA PVPS 14 Untersuchungsgebiete



- PV Produktion in Korrelation zur Nachfrage
- Auswirkungen der PV Produktion auf die lokalen und übergeordneten Netze
- “Smart inverter technology”
- Fallstudien, Simulationsmodelle



# Warum braucht es Vorhersagen?

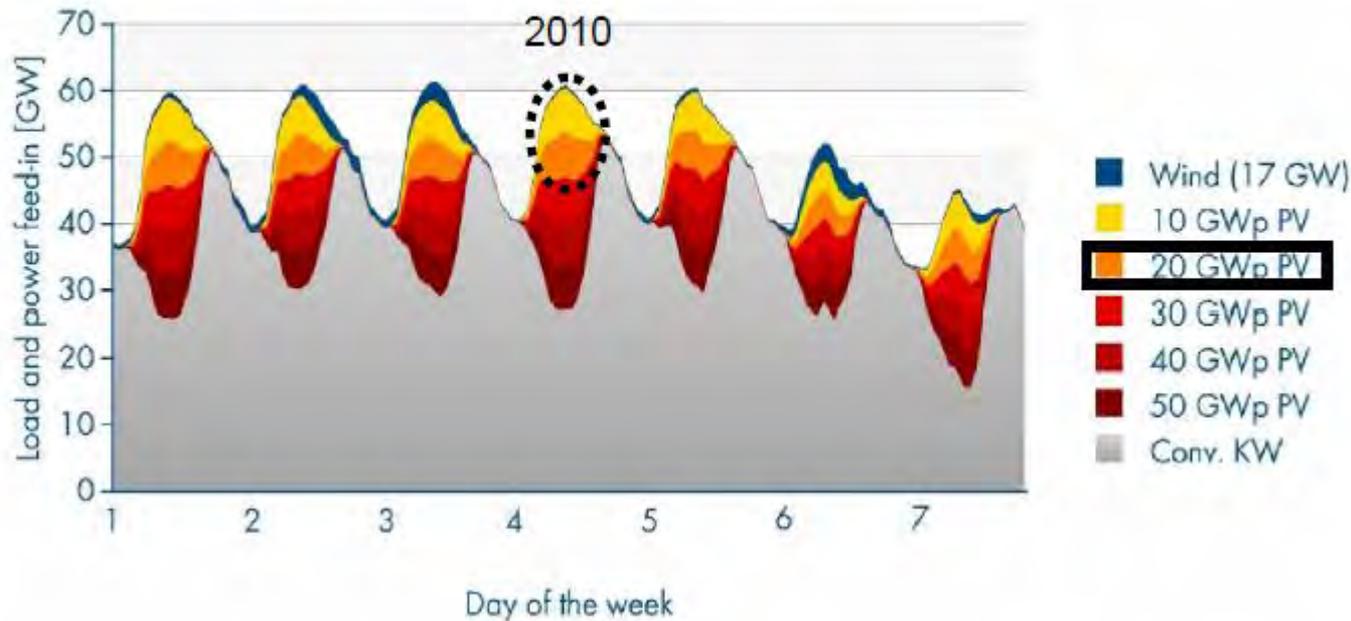


- Für ein nachhaltiges Energiesystem benötigen wir 25% PV Strom in Alpenländern
  - das bedeutet ca. 20 GW PV in A und CH
    - Max. Produktion entspricht rund 120% der heutigen Mittagslast
  - Wie viel hat Platz?
- > **Studie F. Baumgartner et al.:** <https://home.zhaw.ch/~bauf/>
  - CH und AT haben die besten Ausgangslagen
  - hohe Wasseranteile und viel (plus neue) Pumpspeicherung
    - 10% einfach integrierbar
    - 20% ohne Grundlast (AKW, Braunkohlekraftwerke)
    - 30% nur mit Speicherung / DSM / Netzausbau

# Warum braucht es Vorhersagen?

PV penetration in the German Grid: June 2010, 2%, ~15GW; 2010e: 20GW?

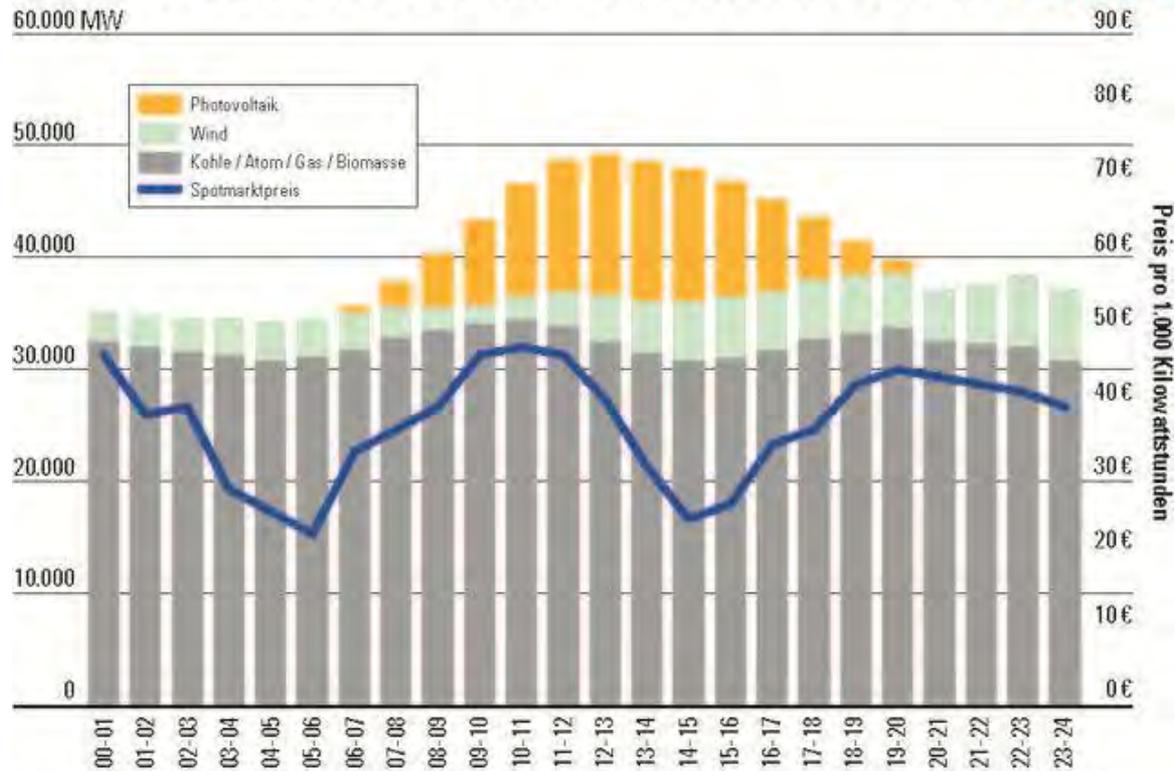
Week of maximum PV yield in Germany 2005



- PV wird bei Maximallasten schon bei 1 - 2% Jahresanteil sichtbar (wegen rel. niedrigen Volllaststunden)
- 20 GW<sub>p</sub> = 3 % Anteil an Jahresproduktion

# Warum braucht es Vorhersagen?

Einfluss der Photovoltaik auf den Strompreis am 16. Juli 2011 **Photon**



Quellen: epexspot.com/transparency.eex.com / Grafik: PHOTON Europe GmbH

PV hat bei 2 – 3% Anteil schon merkbare Auswirkungen auf Preise (Verminderung der Peak-Preise im Sommer 2011)

# Warum braucht es Vorhersagen?



- Ziel:
  - “Bessere“ Integration der PV in Stromnetze und Stromhandel
- Ökonomisch:
  - Stromhandel: intra day und day ahead market (EEX)
- Physisch:
  - Netzfahrplan: Ausgleich der real eingespeisten Energie

Vorhersagen sind wichtiger Mosaikstein für physische und ökonomische Integration

# Wo werden Prognosen eingesetzt

- Deutschland:
  - Einziges Land mit “genügend” PV ( $> 6\%$  im Süden,  $2\%$  im Schnitt 2010,  $3.5\%$  2011)
  - PV-Einspeiseprognose für 4 Regelzonen (Flächenprognosen)
- Spanien & Italien:
  - Höherer Einspeisetarif bei Vorhersage der Produktion (Punktprognosen)
- Andere Länder:
  - “nur” volkswirtschaftlich lohnend (Studie BFE Schweiz)
    - Signifikante Reduktion der benötigten Regelenergie
    - Kosten tragen Endkunde (keine Lobby)



# Unterschiede der Vorhersagen



## 1. Parameter:

- Globalstrahlung horizontal (meteorologische Grösse)
- PV-Leistung (abgeleitete Grösse)

## 2. Zeitfenster:

- Kürzestfrist: 0 – 6 h
- Kurzfrist: 6 – 72 h (teilweise bis 10 Tage)
- Saisonal, mehrere Jahre [hier nicht behandelt]

## 3. Fläche:

- Punktprognose
- Flächenprognose (regionale Gewichtungen)

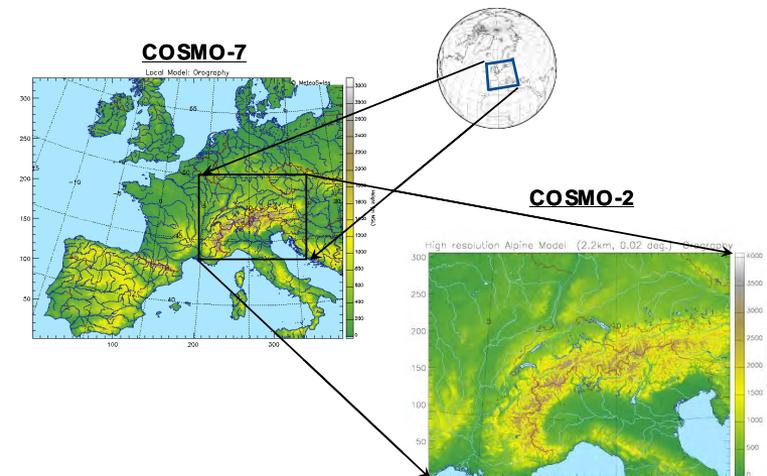
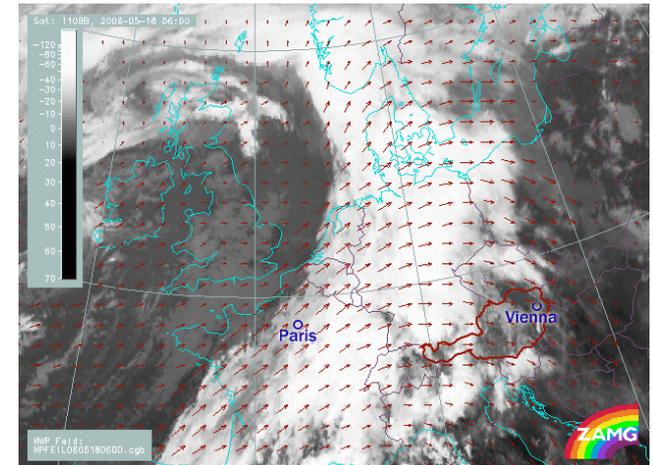
# Kürzest vs. Kurzfristvorhersage

- **Kürzestfrist: 0 – 6 h**

- Möglichst aktuelle Messungen notwendig
- Satellitendaten oder Sky imager
  - Wolkenbestimmung und Vektoren
- Stochastische Modelle
- Nutzung: intra day, Netzfahrplan

- **Kurzfrist: 3 – 72 h**

- Globale Wettermodelle («NWP»)
- Evtl. regionale Modelle eingebettet
- Evtl. «Postprocessing» mit Onlinedaten
- Nutzung: day ahead Markt



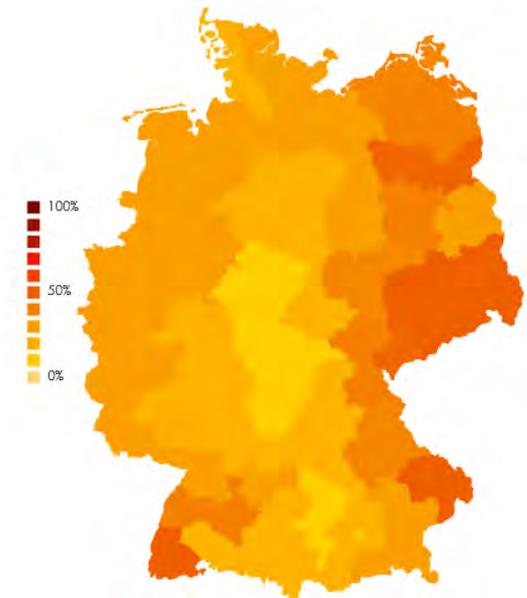
- Globales und (oft) lokales Wettermodell
- Oft mit Postprocessing:
  - Statistische Anpassung der Modellresultate
    - mit historischen (und optional aktuellen) Daten (“MOS”)
    - mit aktuellen Daten (“Kalman Filter”)
- Anwendungen:
  - Gebäudeautomation
  - Solarthermische Kraftwerke (Steuerung, Markt)
  - grosse PV-Anlagen
- Bsp. : Spyce forecast



35 kWp PV-Anlage Strassweid, Köniz, CH

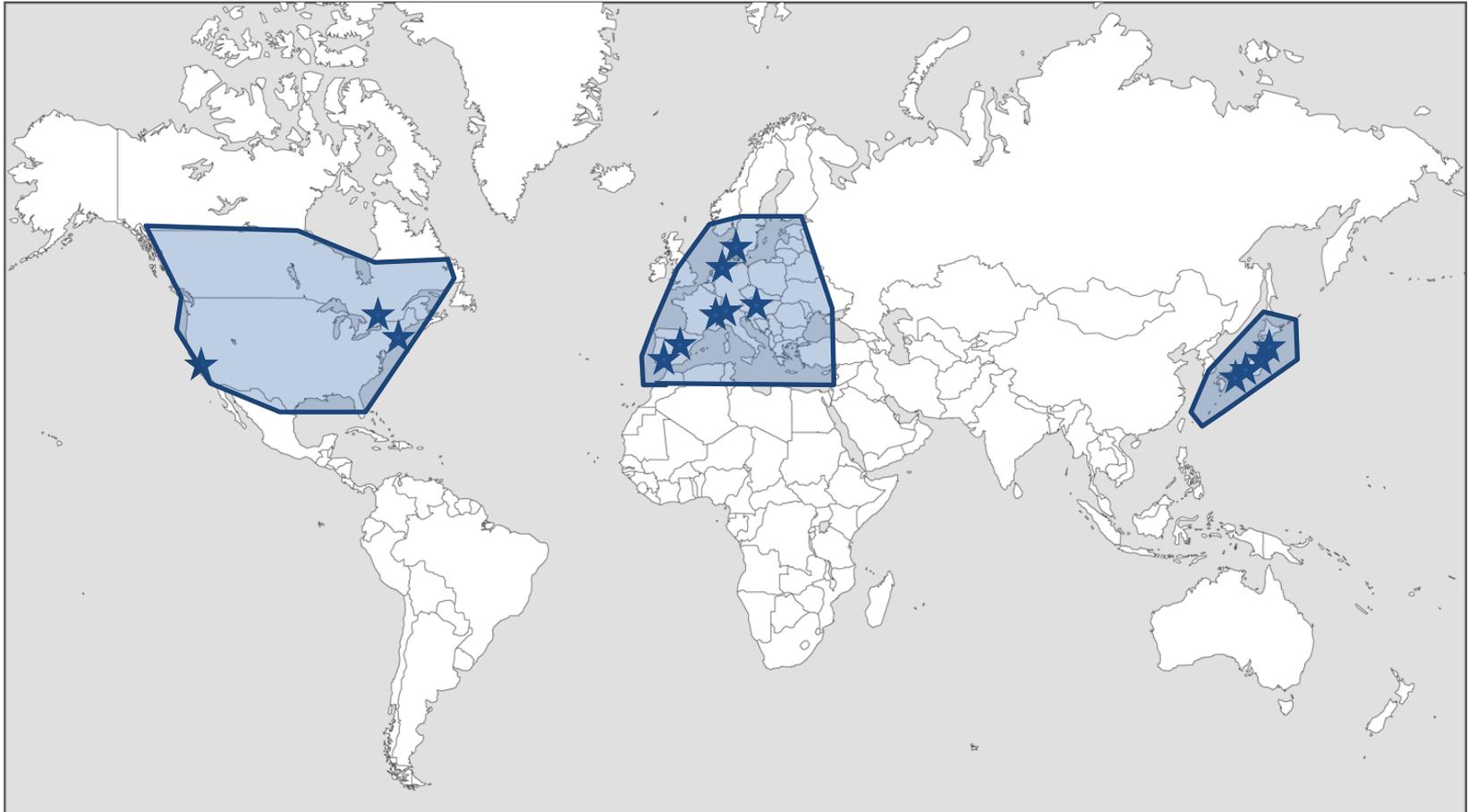
# Flächenprognose

- Globales und evtl. lokales Wettermodell
- Postprocessing (mit historischen und/oder Online-Daten)
- Punktprognosen mit Regionalisierung
  - Auswahl von typischen Anlagen
- Anwendung: Regelzonenbetreiber DE
- Bsp.: Univ. Oldenburg



Quelle: SMA Homepage:  
Momentanleistung PV

# Umfrage IEA PVPS 14



Keine globale Abdeckung (nur USA, CAN, EU, JP)! (Stand: 19.10.2011)

# Umfrage IEA PVPS 14

## 14 Modelle



	Quelle	Typ	Globales Modell	Lokales Modell	Auflösung [km]	Fläche	Zeithorizont [d]
Wetterdienste	Canmet (CAN)	NWP	GEM	-	15	Punkt	2
	JWA (JP)	Cloud motion*	-	-	1	Punkt	0.25
	MeteoSchweiz (CH)	NWP	ECMWF	Cosmo	2 / 7	Punkt	1 / 3
Univ.	Univ. Oldenburg / Meteocontrol (DE)	NWP / P	ECMWF	-	25	Punkt / Regional	3
	Univ. Jaen (ES)	NWP	ECM/GFS	WRF	3	Punkt	3
	DTU IMM (DK)	NWP	ECMWF	Hirlam	-	Punkt	2
	AIST / Waseda (JP)	NWP / P	JMA-GSM	NHM	5	Punkt	1.5
	Univ. GIFU (JP)	NWP	JMA-GSM	MM5	2	Punkt	2
Private	UCSD (USA)	Cloud motion**	-	-	<0.1	Punkt	<0.1
	Weather Analytics (USA)	NWP / P	GFS	-	1	Punkt	6
	Bluesky Wetteranalyse (A)	NWP / P	GFS	Cosmo	-	Punkt	3
	Irsolav (ES)	NWP / P	GFS	-	-	Punkt	3
	Meteotest (CH)	NWP	GFS	WRF	10	Punkt	2.5

NWP = numerical weather prediction model, P = post processing, \* = Satellitenbild, \*\* = Sky imager

# Umfrage IEA PVPS 14

## 2 cloud motion modelle (Kürzestfrist)



	Quelle	Typ	Globales Modell	Lokales Modell	Auflösung [km]	Fläche	Zeithorizont [d]
Wetterdienste	Canmet (CAN)	NWP	GEM	-	15	Punkt	2
	<b>JWA (JP)</b>	Cloud motion*	-	-	1	Punkt	0.25
	MeteoSchweiz (CH)	NWP	ECMWF	Cosmo	2 / 7	Punkt	1 / 3
Univ.	Univ. Oldenburg / Meteocontrol (DE)	NWP / P	ECMWF	-	25	Punkt / Regional	3
	Univ. Jaen (ES)	NWP	ECM/GFS	WRF	3	Punkt	3
	DTU IMM (DK)	NWP	ECMWF	Hirlam	-	Punkt	2
	AIST / Waseda (JP)	NWP / P	JMA-GSM	NHM	5	Punkt	1.5
	Univ. GIFU (JP)	NWP	JMA-GSM	MM5	2	Punkt	2
Private	<b>UCSD (USA)</b>	Cloud motion**	-	-	<0.1	Punkt	<0.1
	Weather Analytics (USA)	NWP / P	GFS	-	1	Punkt	6
	Bluesky Wetteranalyse (A)	NWP / P	GFS	Cosmo	-	Punkt	3
	Irsolav (ES)	NWP / P	GFS	-	-	Punkt	3
	Meteotest (CH)	NWP	GFS	WRF	10	Punkt	2.5

NWP = numerical weather prediction model, P = post processing, \* = Satellitenbild, \*\* = Sky imager

# Umfrage IEA PVPS 14

## 2 Modelle herausgepickt:

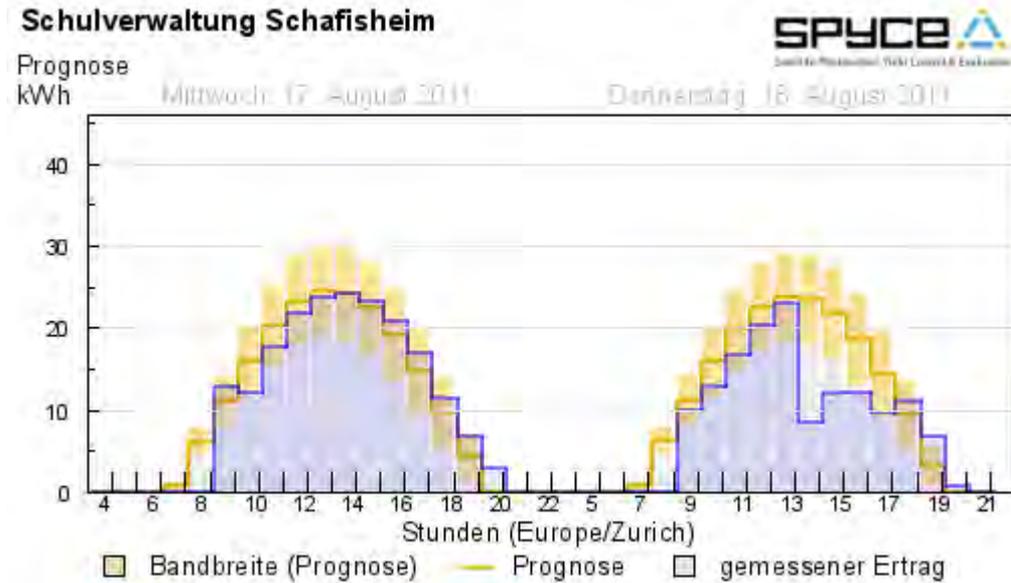
	Quelle	Typ	Globales Modell	Lokales Modell	Auflösung [km]	Fläche	Zeithorizont [d]
Wetterdienste	Canmet (CAN)	NWP	GEM	-	15	Punkt	2
	JWA (JP)	Cloud motion*	-	-	1	Punkt	0.25
	MeteoSchweiz (CH)	NWP	ECMWF	Cosmo	2 / 7	Punkt	1 / 3
Univ.	Univ. Oldenburg / Meteocontrol (DE)	NWP / P	ECMWF	-	25	Punkt / Regional	3
	Univ. Jaen (ES)	NWP	ECM/GFS	WRF	3	Punkt	3
	DTU IMM (DK)	NWP	ECMWF	Hirlam	-	Punkt	2
	AIST / Waseda (JP)	NWP / P	JMA-GSM	NHM	5	Punkt	1.5
	Univ. GIFU (JP)	NWP	JMA-GSM	MM5	2	Punkt	2
Private	UCSD (USA)	Cloud motion**	-	-	<0.1	Punkt	<0.1
	Weather Analytics (USA)	NWP / P	GFS	-	1	Punkt	6
	Bluesky Wetteranalyse (A)	NWP / P	GFS	Cosmo	-	Punkt	3
	Irsolav (ES)	NWP / P	GFS	-	-	Punkt	3
	<b>Meteotest (CH)</b>	NWP	GFS	WRF	10	Punkt	2.5

NWP = numerical weather prediction model, P = post processing, \* = Satellitenbild, \*\* = Sky imager

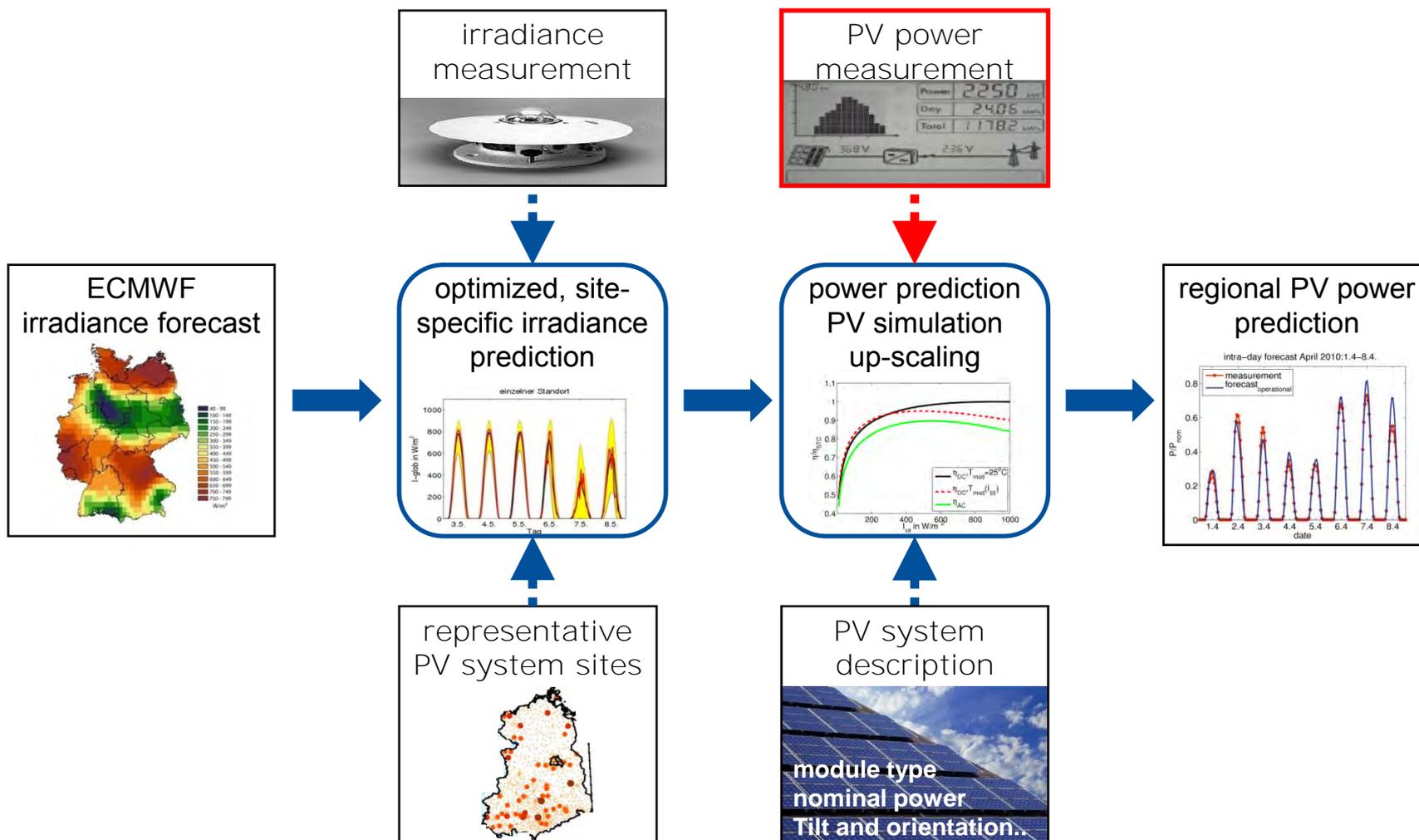
# Punktprognose

## Beispiel: Spyce

- Input: GFS
- Nesting: WRF (10 km)
- Abdeckung: Europa
- Strahlungsmodell: Perez
- PV-Modell: [www.pvsat.de](http://www.pvsat.de)
  - Azimuth, Neigung, Modul, WR
- Kein Postprocessing
- Genauigkeit: 45% RMSE
  - Stundenwerte, 1 Tag im Voraus
- Info: [www.spyce.ch](http://www.spyce.ch)



# Flächenprognose: Beispiel: Uni Oldenburg



# Qualität der Vorhersagen

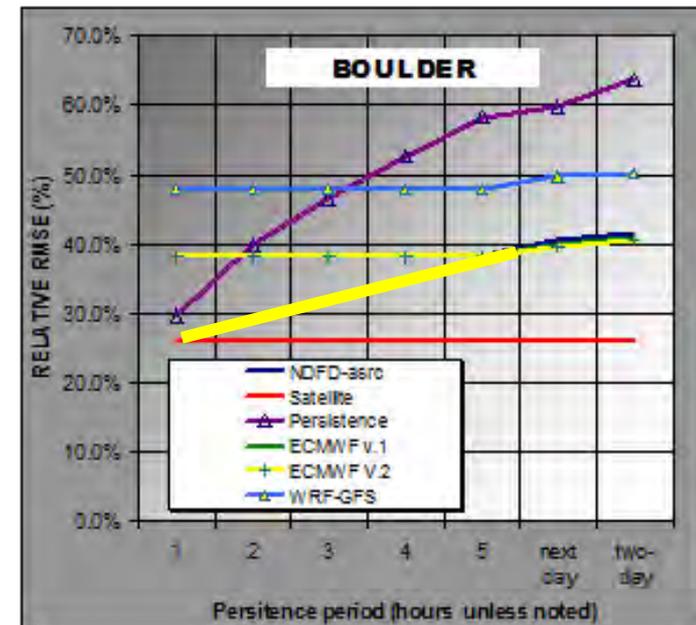


- Vergleich: 1 Jahr, Schweiz, 6-24 h Vorhersage, Punktvorhersagen, Stundenwerte
- Quelle: Lorenz et al., PVSEC 2009 (IEA SHC Task 46)

Modell	Rmse [W/m <sup>2</sup> ]	Mae [W/m <sup>2</sup> ]	Bias [W/m <sup>2</sup> ]
Oldenburg	107 (40%)	70 (26%)	-1 (0%)
Bluesky	109 (41%)	73 (27%)	-9 (-3%)
Meteomedia	122 (45%)	85 (32%)	-18 (-7%)
Meteotest	119 (44%)	76 (28%)	4 (1%)
Persistenz	158 (58%)	104 (39%)	-17 (-6%)

# Qualität der Vorhersagen

- Prognosen (Stundenwerte) stark von Ort abhängig:
  - Orte: je sonniger desto genauer (Faktor 2):
    - trockene Standorte: ca. 15 – 20% rmse
    - Oft bewölkte Standorte: ca. 40% rmse
- Zeithorizont:
  - Kürzestfrist: 1 – 3 h: 20 - 30% rmse
  - Kurzfrist: 1 Tag: 40% rmse
  - Ziel: Verknüpfung von beiden Modelltypen
- Regionale Vorhersagen:
  - Kurzfrist: 5% (rel. zu install. Leistung)
- Generell: ECMWF am besten



Quelle: R. Perez, IEA SHC 36

# Probleme der Vorhersagen

- Schwierige Situationen:
  - Nebel
    - Wettermodelle sehen Nebel nicht!
    - Lösung noch offen (allgemeines Problem in der Meteorologie)
  - Schnee
    - Schneevorhersagen rel. ungenau
    - Lösung:  
Nutzung von Bodenmessungen vom vergangenen Tag



Quelle: Meteosat (17.10.2011, 11 UTC)



Quelle: E. Lorenz, IEA SHC 36

Die genaue Position einer Wolke ist nicht vorhersehbar\*  
Allerdings: Wolkeneffekte glätten sich räumlich stark aus

\* mehr als 3 – 4 h im Voraus

Daraus folgt:

- Zeitliche und räumliche Glättung erhöht die Genauigkeit der Prognose stark
- Erhöhung der räumlichen Auflösung bringt keine Verbesserung
- Statistische Nachkorrektur («MOS») bringt wenig
- WRF: Räumliche Mittelung von 10x10 Pixeln (50 km) optimal
- ECMWF: räumliche Mittelung (4x4 Pixel und 3-h) optimal
- Regionale Vorhersagen stimmen gut, lokale nicht
- Regelzonen sind gut vorhersehbar, einzelne Anlagen nicht

- Flächenprognosen sind bereits operationell eingesetzt
- Punktprognosen: müssen noch verbessert werden
- Prognosen werden immer wichtiger
  - je grösser Solaranteil, desto wichtiger, ab ca. 2% eingesetzt
  - < 2% bereits Volkswirtschaftlich signifikant (wird aber mit EEG/KEV umgelagert)
    - in Österreich: wahrscheinlich in 3 – 4 Jahren (ab 1 GWp)
- Vorhersagen sind notwendig, aber nicht hinreichend:
  - lösen nicht alle Probleme (DSM, Speicher und Netzausbau nötig)

- Ziel: Prognosesystem 1 Min. – 10 Tage
- Verbesserung der Modelle:
  - Heutige Wolken- und Strahlungsmodelle sind nicht optimal (nicht für Solarenergie gemacht)
  - Verbesserung Nebel- und Schneeprognosen
  - Einsatz von Ensembles
  - Einsatz und Verbesserung von Kurzzeitprognosen
  - Markt: intra day Handel wäre besser als day ahead (da Kurzzeitvorhersagen genauer)

# Solarstrahlungsprognosen für verbesserte PV-Integration

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Jan Remund, Meteotest, Bern, Schweiz

[jan.remund@meteotest.ch](mailto:jan.remund@meteotest.ch)

[www.meteotest.ch](http://www.meteotest.ch)

