

---

# MODELLIERUNG DER STÜNDLICHEN PHOTOVOLTAIK- UND WINDSTROMEINSPEISUNG IN EUROPA

---

---

12. Symposium Energieinnovation,  
15.-17.2.2012, Graz/Austria

Gerda Schubert, Fraunhofer-Institut für System- und  
Innovationsforschung ISI

---

# Hintergrund und Ziel

---

---

- Hintergrund der Modellentwicklung ist die Ausweitung des deutschen Strommarktmodells PowerAce auf Europa
- Für Szenarien mit hohem EE-Anteil sind realistische Einspeisezeitreihen für fluktuierende Erneuerbare ein entscheidender Faktor
- Es werden Daten zur Wind- und PV- Stromeinspeisung benötigt:
  - Stündlich
  - Länderspezifisch
  - EU27+Schweiz + Norwegen

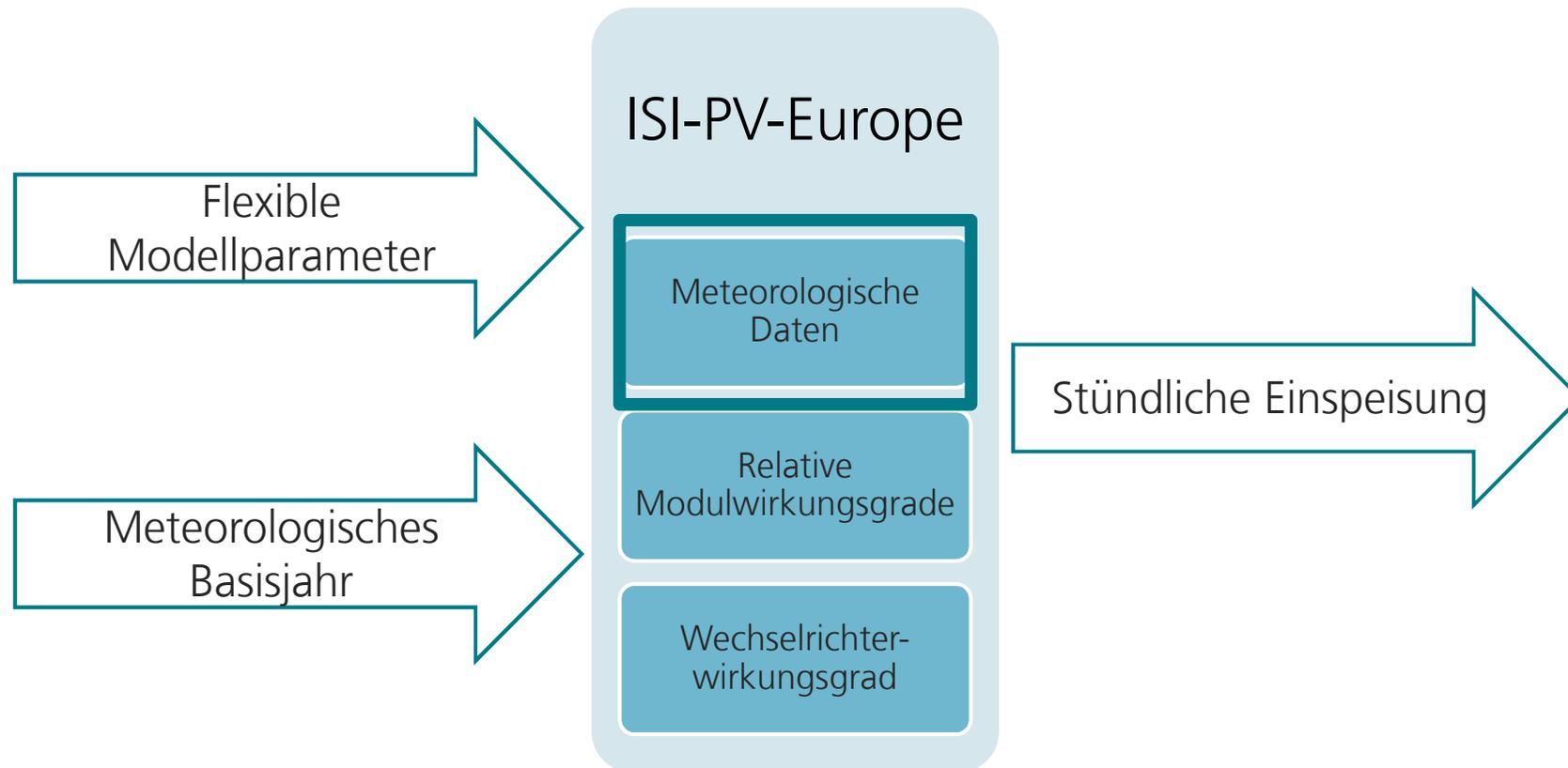
# ISI-PV Europe – Einordnung des entwickelten Modells

Einsatzgebiet	Anwendung	Anforderungen	Datengrundlage
Standorteinschätzung	Ertragsabschätzung, Planung und Auslegung	Summe des erzielbaren Energieertrages am Standort zur Wirtschaftlichkeitsberechnung, optimaler Neigungswinkel	geographische Lage, langjährige Mittelwerte zu Einstrahlung und Temperatur
Überwachung	Ertragsüberwachung	nach meteorologischen Gegebenheiten möglicher Ertrag in hoher zeitlicher Auflösung für die zeitnahe Vergangenheit	Einstrahlungsdaten aus Messungen oder von Satellitendaten in räumlicher Nähe der Anlagen
Einspeiseprognose	Kraftwerkseinsatzplanung, Netzberechnungen	1/4-stündliche Einspeisewerte der installierten PV-Anlagen für einen räumlich begrenzten Bereich	Einstrahlungsprognose, Temperaturprognose
Forschung	Forschung und Entwicklung in der PV-Industrie	theoretischer Einfluss verschiedener Materialien oder Technologien auf den Wirkungsgrad	Materialeigenschaften, evtl. charakteristische Zeitreihen ausgewählter Standorte
	Einfluss auf Strommärkte	1/4-stündliche bis stündliche Einspeisung für Regionen oder Länder	flächendeckende Einstrahlungs- und Temperaturdaten

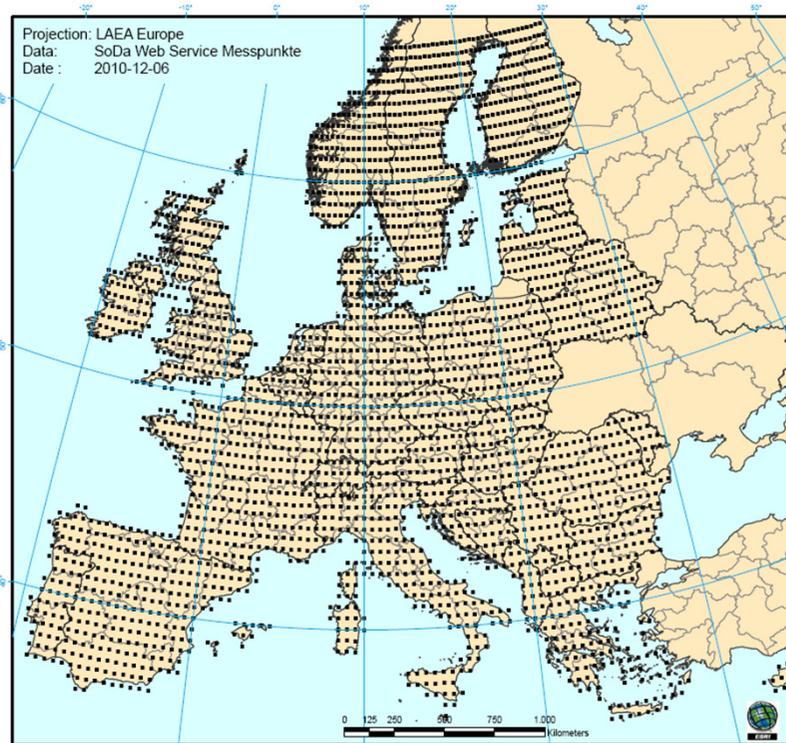
# ISI-PV Europe – Modellstruktur

---

---

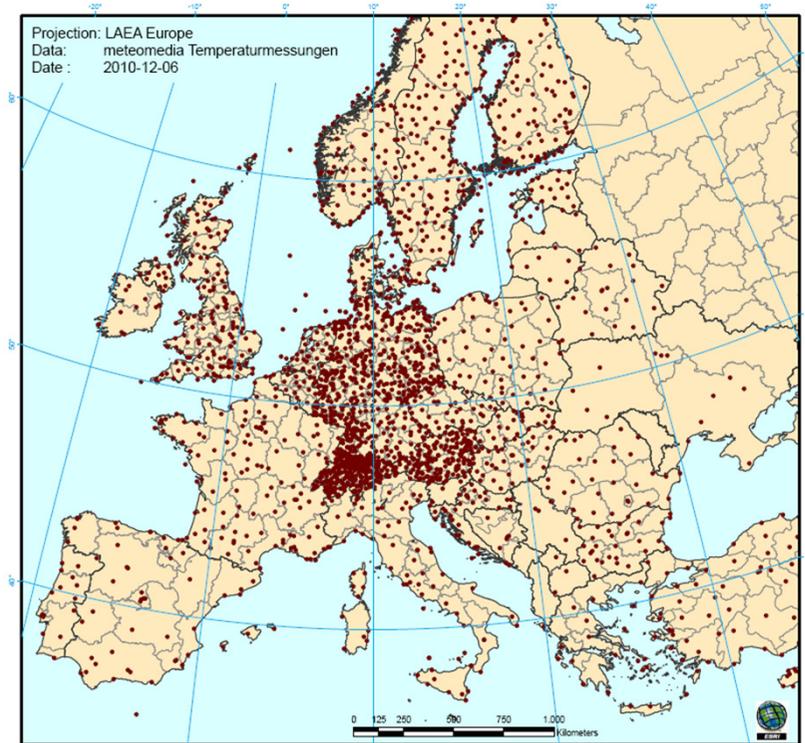


# ISI-PV Europe – Datengrundlage Wetterdaten



**Einstrahlungsdaten**

3.071 Datenpunkte



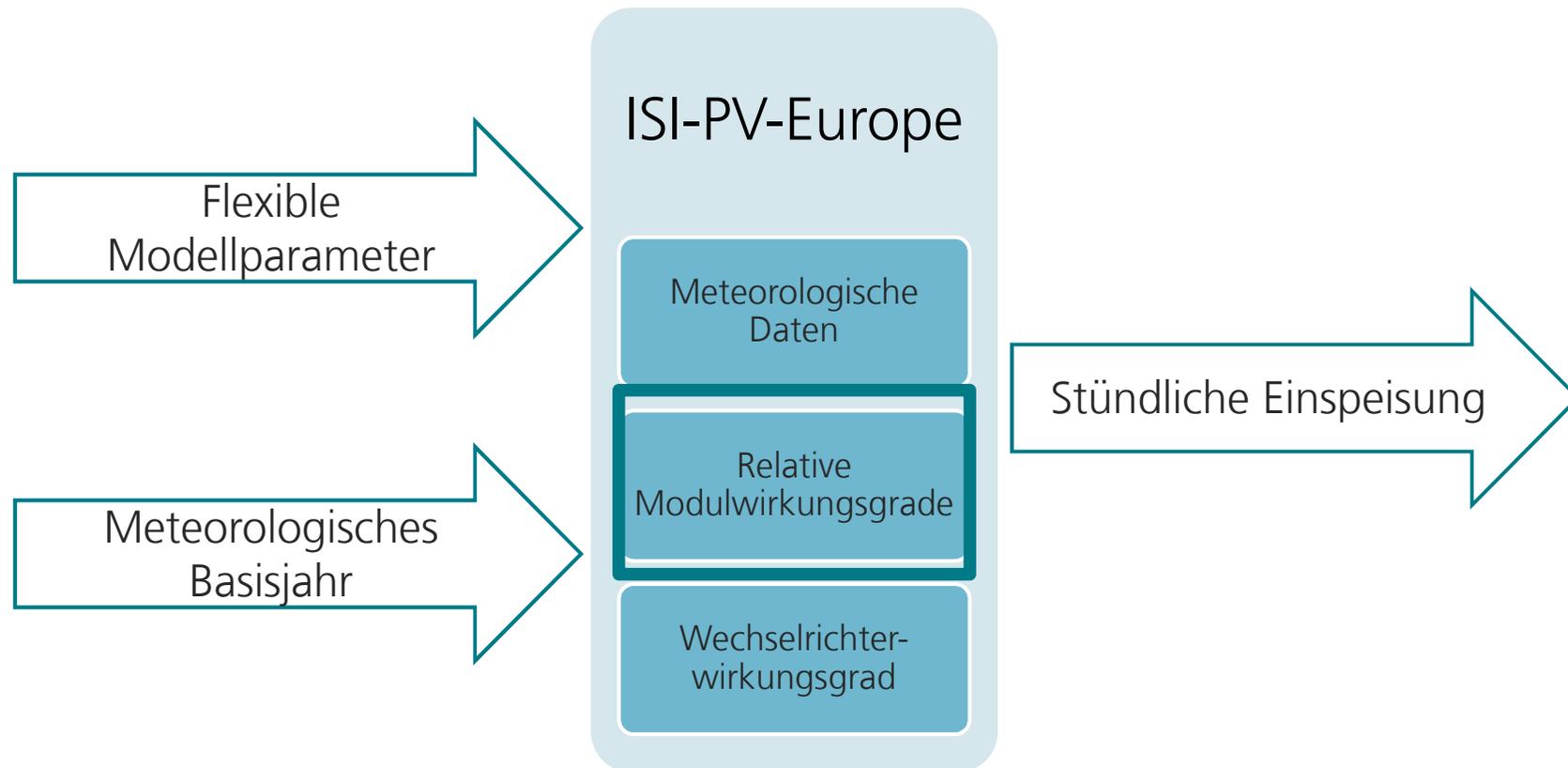
**Temperaturdaten**

2.048 Wetterstationen

# ISI-PV Europe – Modellstruktur

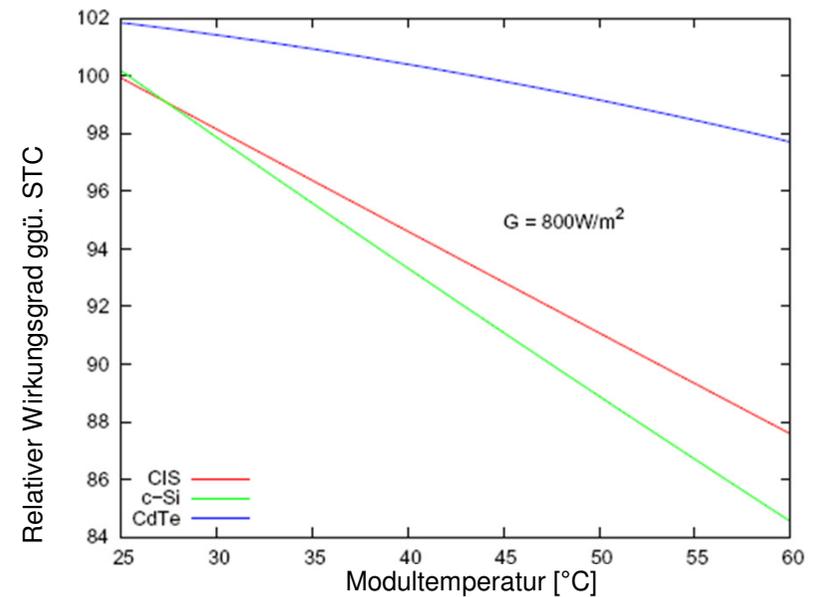
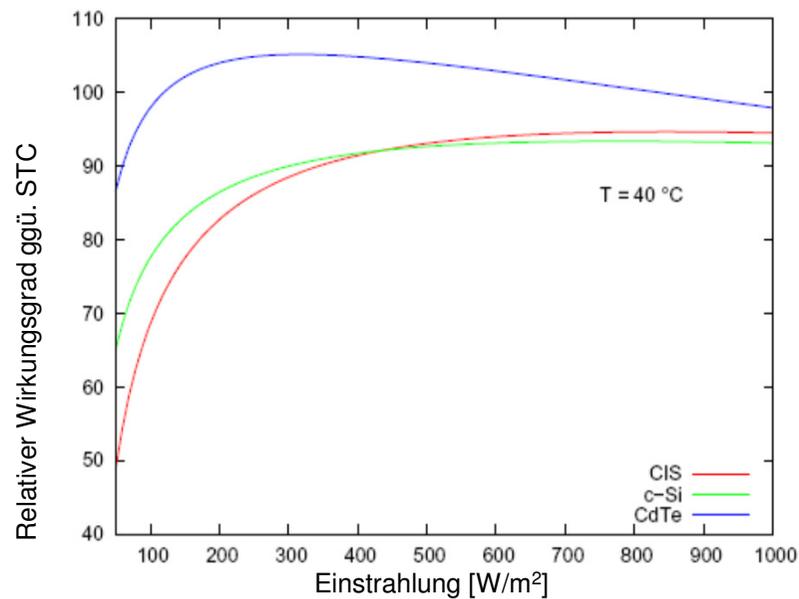
---

---



# ISI-PV Europe – Datengrundlage Modulwirkungsgrad

- Relativer Modulwirkungsgrad gegenüber Wirkungsgrad unter Standard Test Bedingungen (STC)
  - $G=1000 \text{ W/m}^2$
  - $T=25^\circ\text{C}$

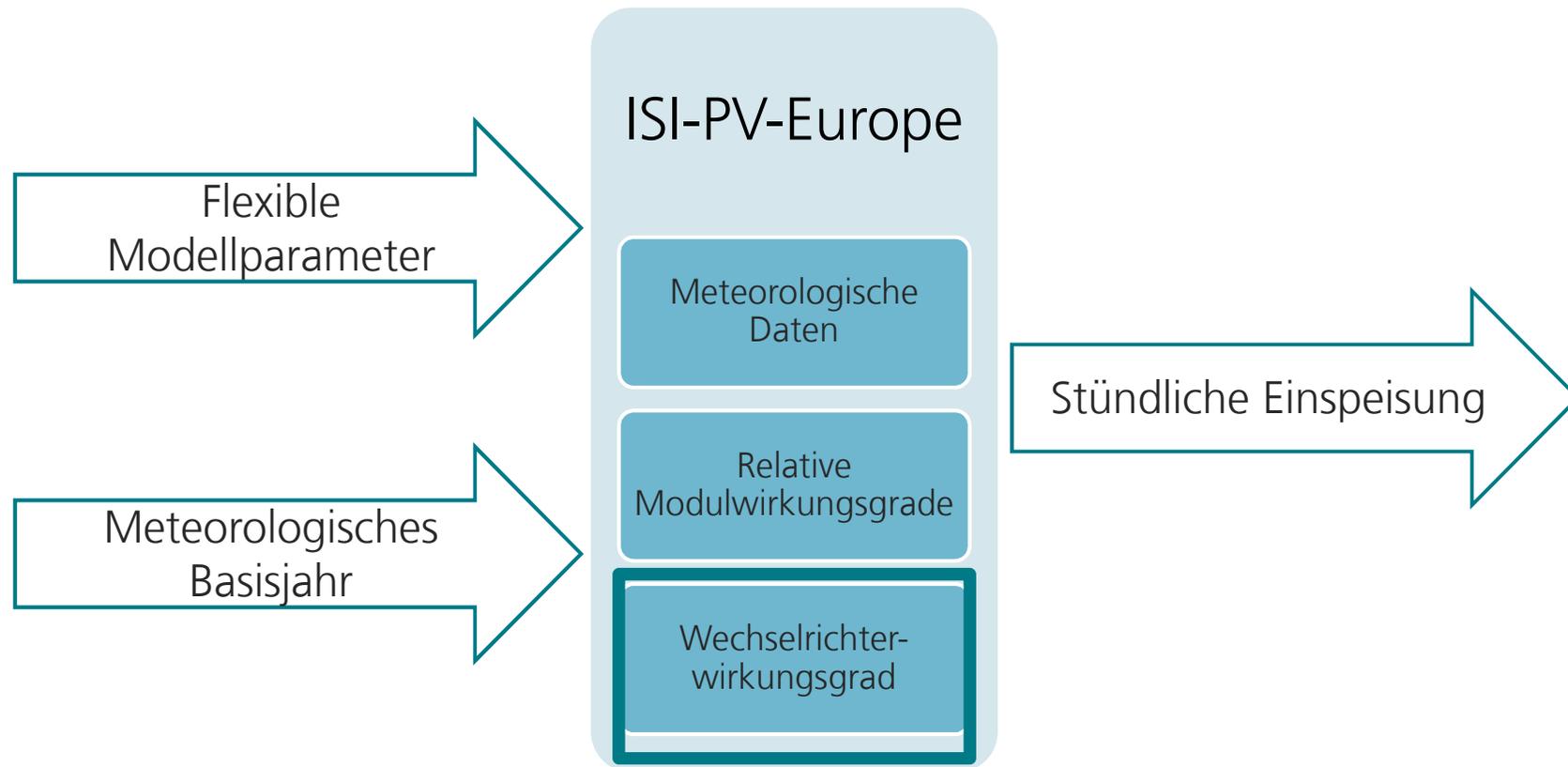


Huld et al 2010

# ISI-PV Europe – Modellstruktur

---

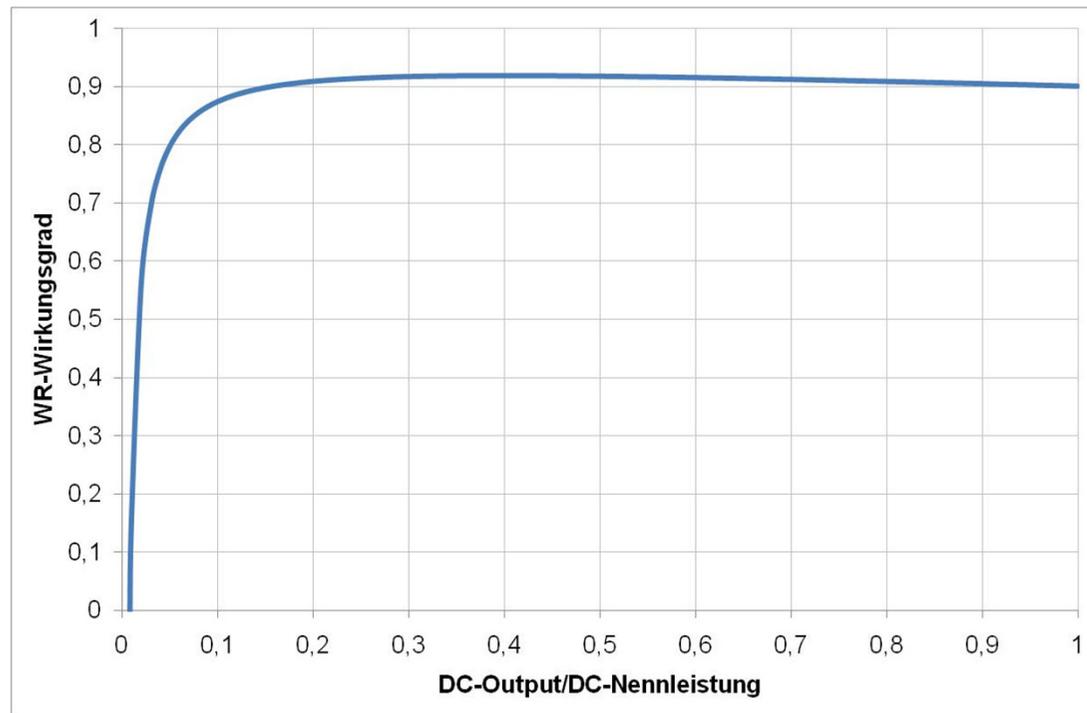
---



---

# ISI-PV Europe – Datengrundlage Wechselrichterwirkungsgrad

---

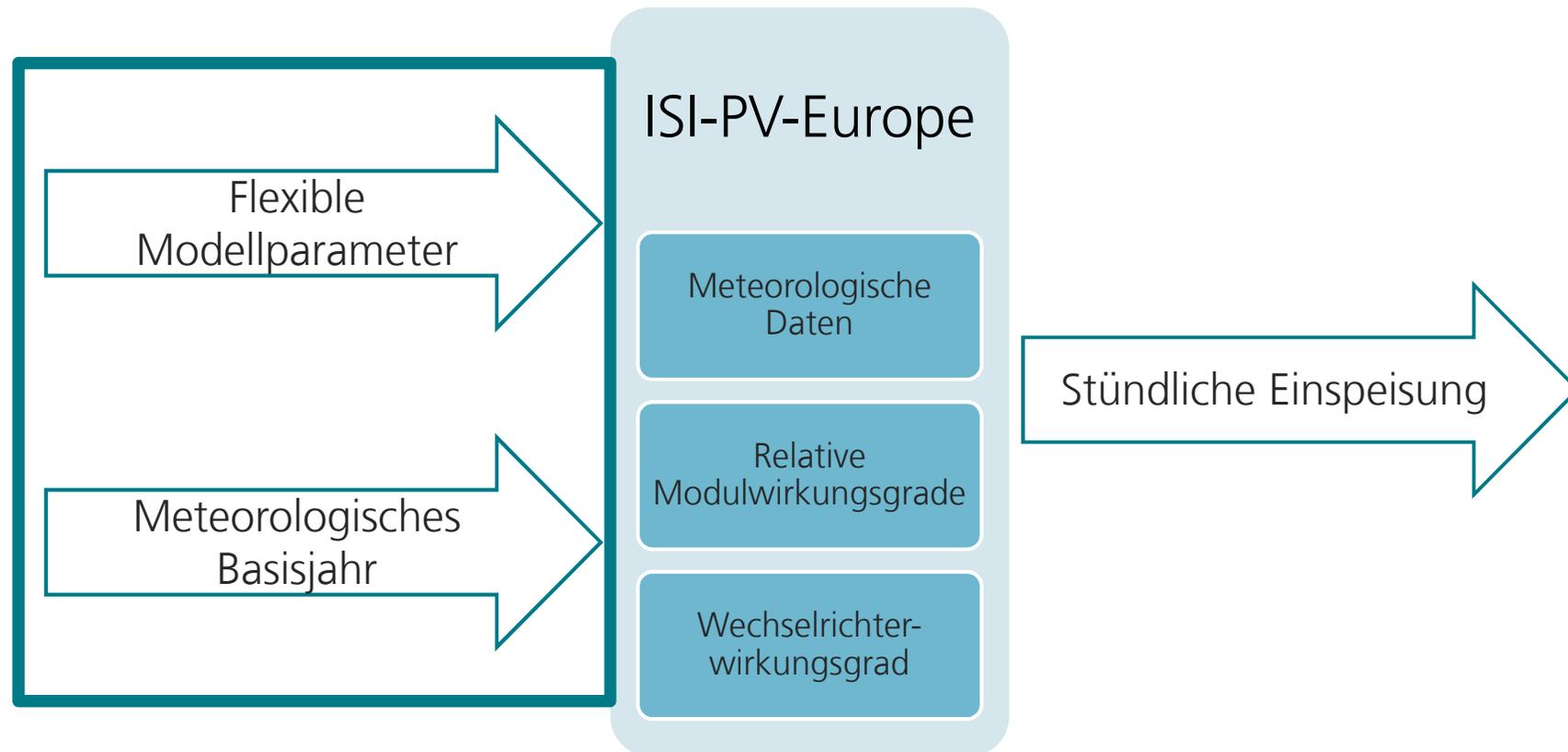


Eigene Darstellung basierend auf Macêdo & Zilles 2007

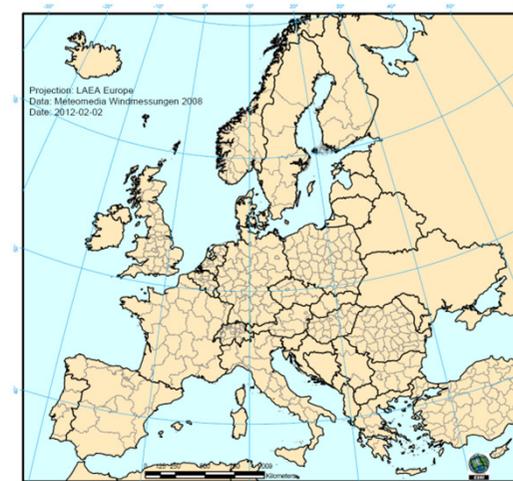
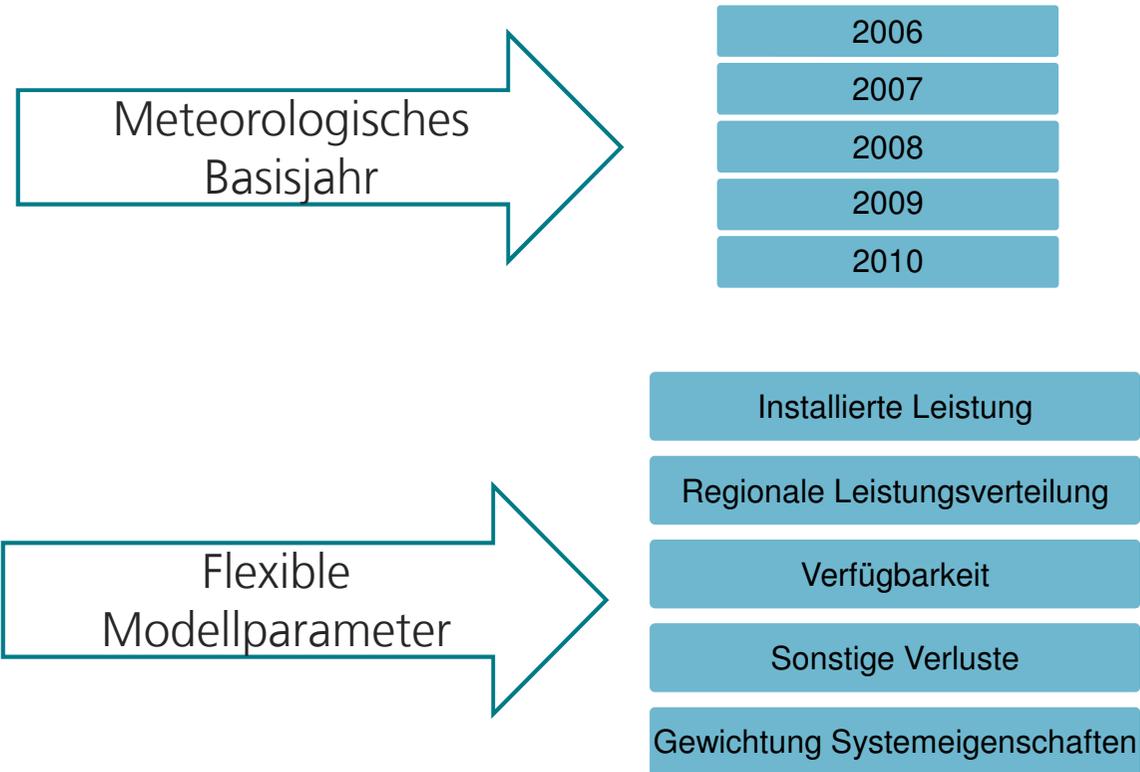
# ISI-PV Europe – Modellstruktur

---

---

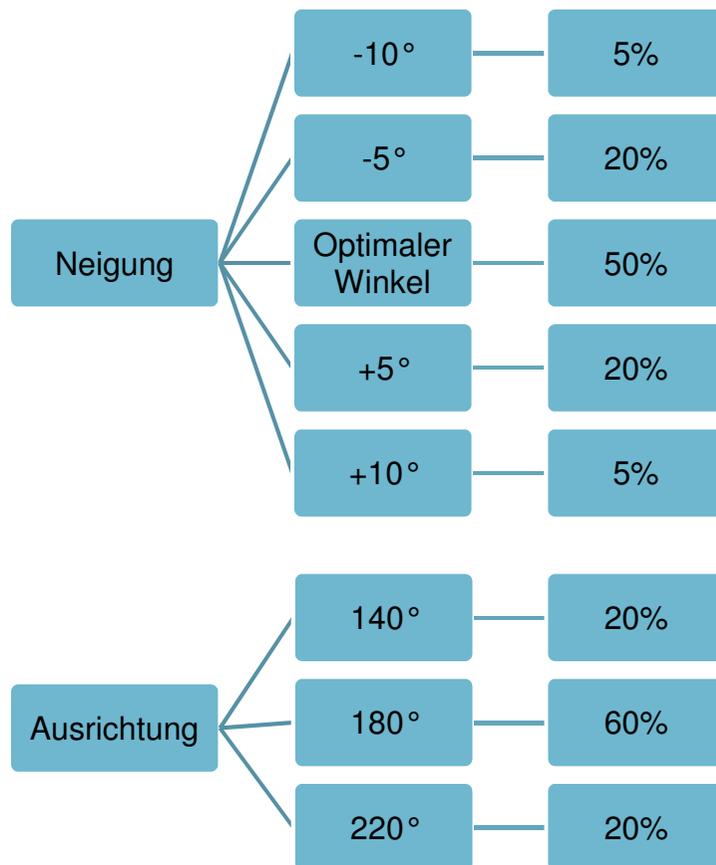


# ISI-PV Europe – Flexible Modellparameter

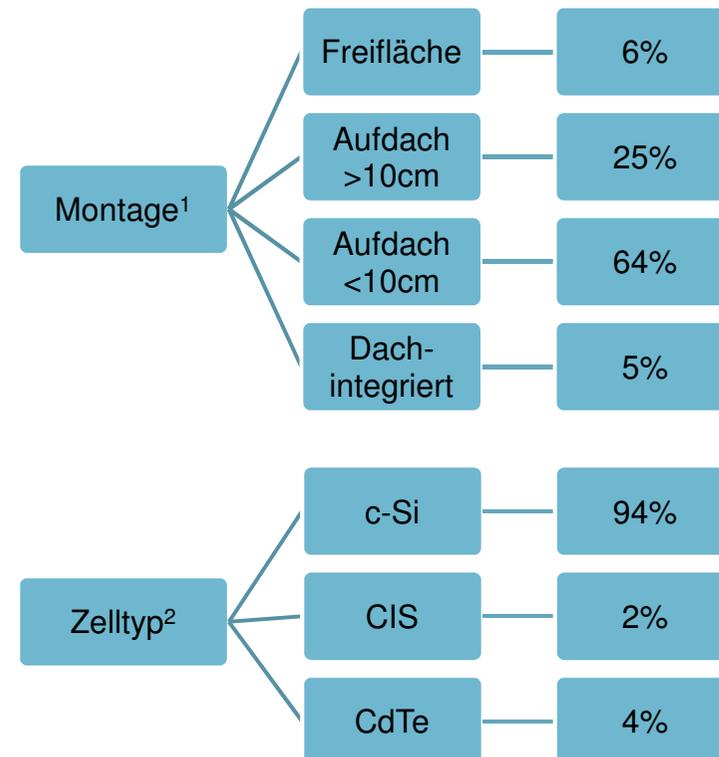


NUTS2-Regionen

# Flexible Modellparameter- Standardvorgaben Systemeigenschaften



Eigene Abschätzung

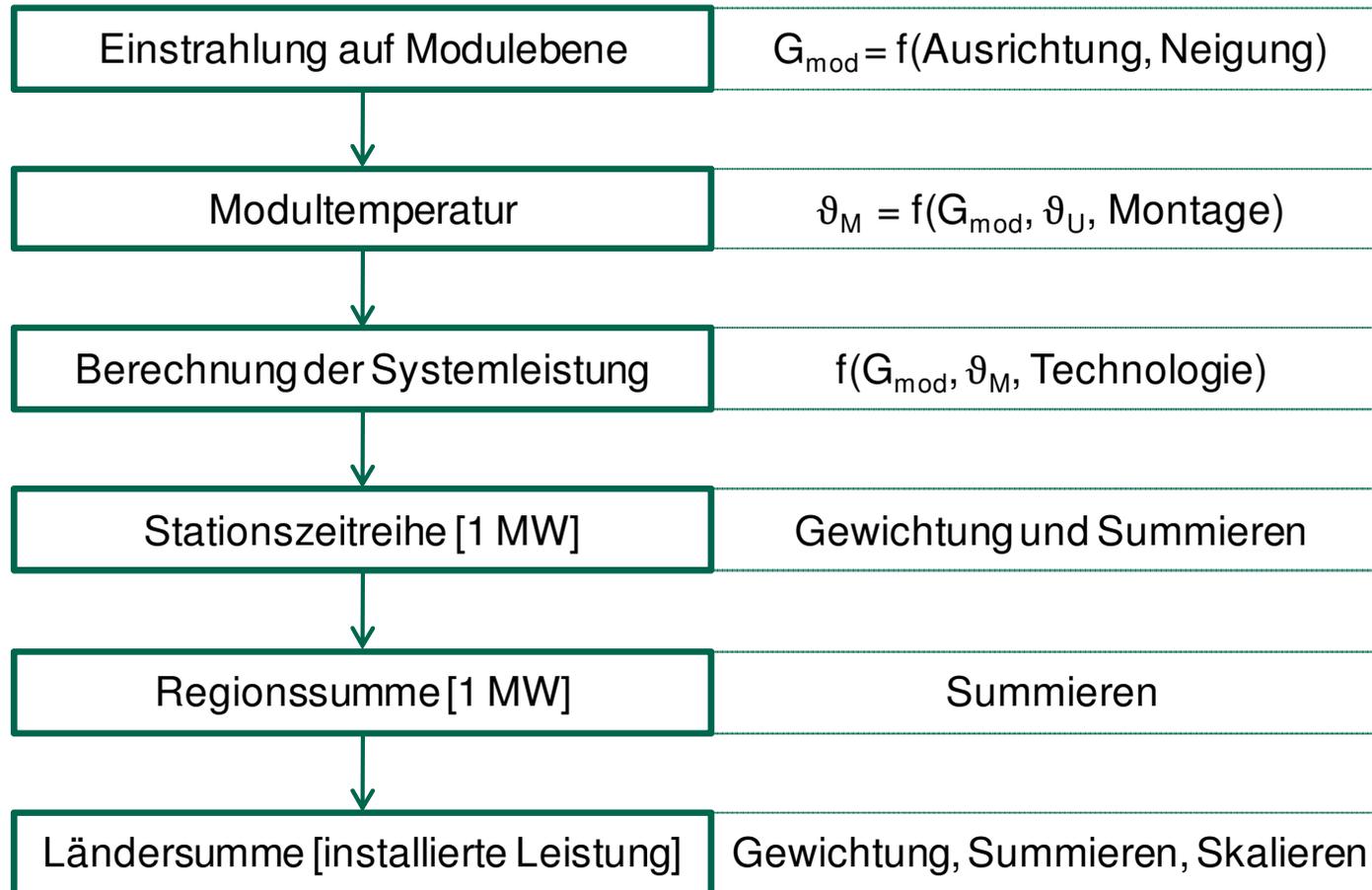


1 basierend auf ISE 2008 Rolle der Solarstromerzeugung in zukünftigen Energieversorgungsstrukturen

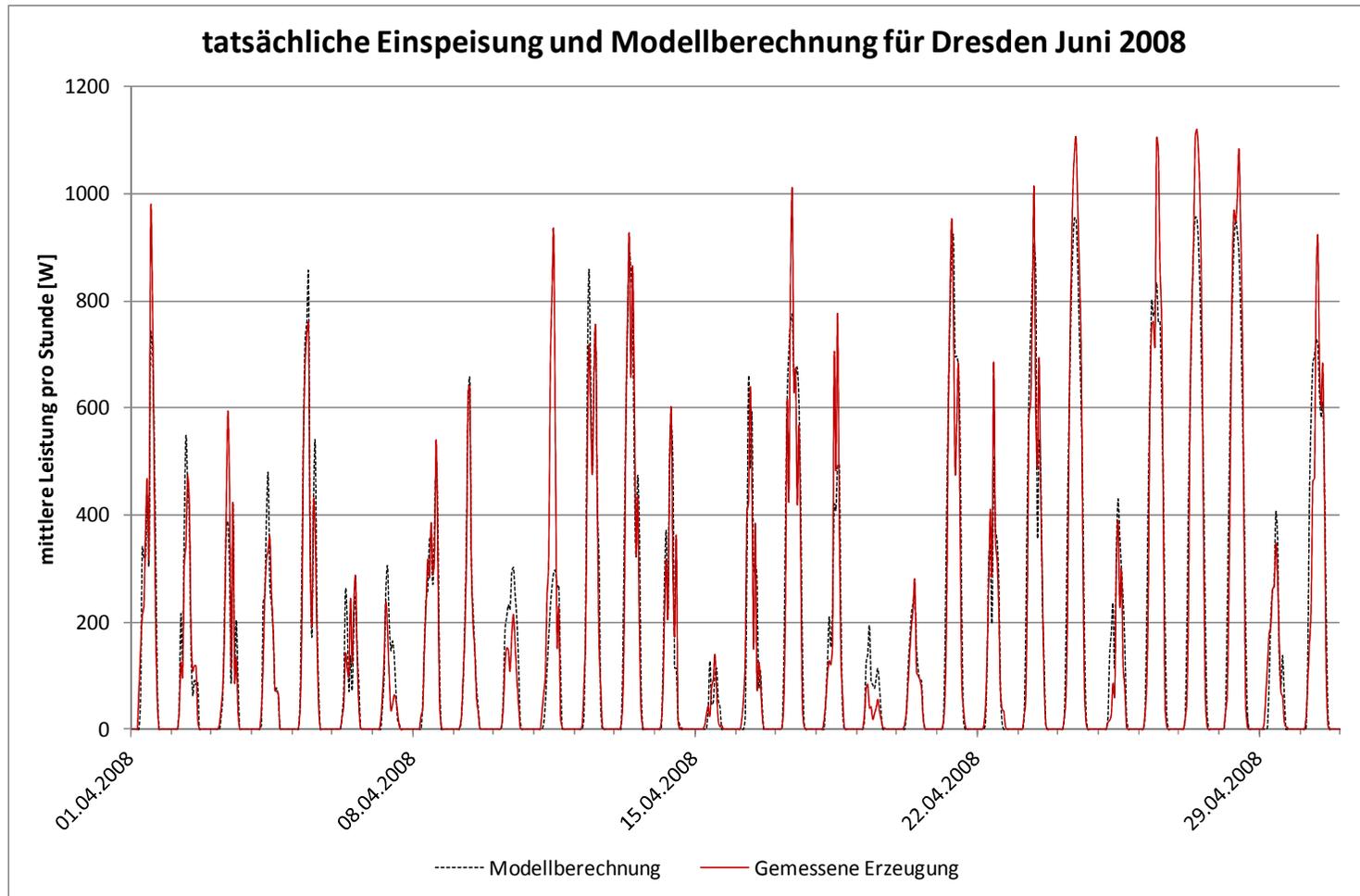
2 basierend auf IEA 2010 Survey report of selected IEA countries

➤ 180 Systemkonfigurationen

# ISI-PV Europe – Modellstruktur



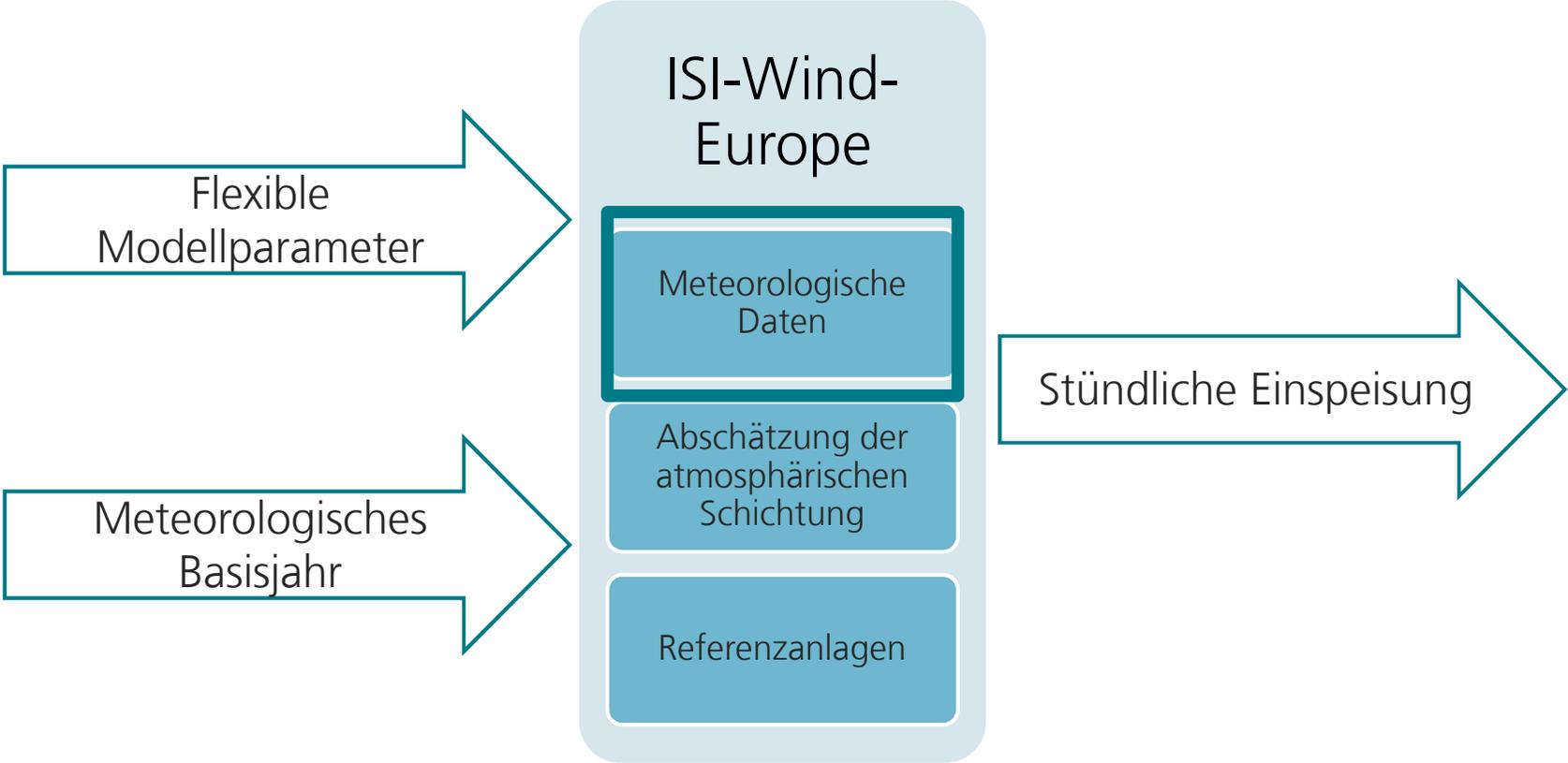
# ISI-PV Europe – Berechnungsergebnisse



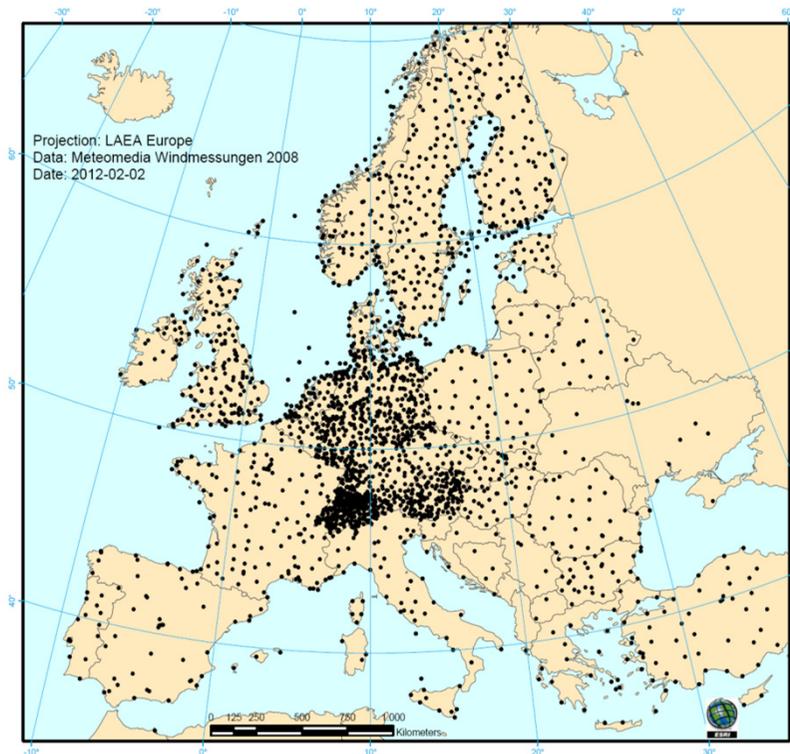
# ISI-Wind Europe – Einordnung des entwickelten Modells

Einsatzgebiet	Anwendung	Anforderungen	Datengrundlage
Standorteinschätzung	Ertragsabschätzung	Summe des Energieertrages am Standort zur Wirtschaftlichkeitsberechnung	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit; Simulation von Strömung, Temperatur, Feuchte und Strahlung
	Planung von Windparks	Optimales Windparklayout, Windparkmaximale Belastungen der Konstruktion	Hauptwindrichtung, Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit, Simulation von Strömung, Temperatur, Feuchte und Strahlung
Windleistungsvorhersage	Vorhersage für Kraftwerkseinsatzplanung, Netzberechnungen	¼-stündliche Werte zur Einspeisung eines oder mehrerer Windparks	Wettervorhersagen, skaliert mit mesoskaligen Modellen, Windmessung am Standort
Standorteinschätzung	Ertragsabschätzung	Summe des Energieertrages am Standort zur Wirtschaftlichkeitsberechnung	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit Simulation von Strömung, Temperatur, Feuchte und Strahlung
Ausbauszenarien	Abschätzung des Einflusses auf Strommärkte	Stündliche Einspeisung für Regionen oder Länder	Historische Messwerte oder Reanalyse Daten

# Modellstruktur



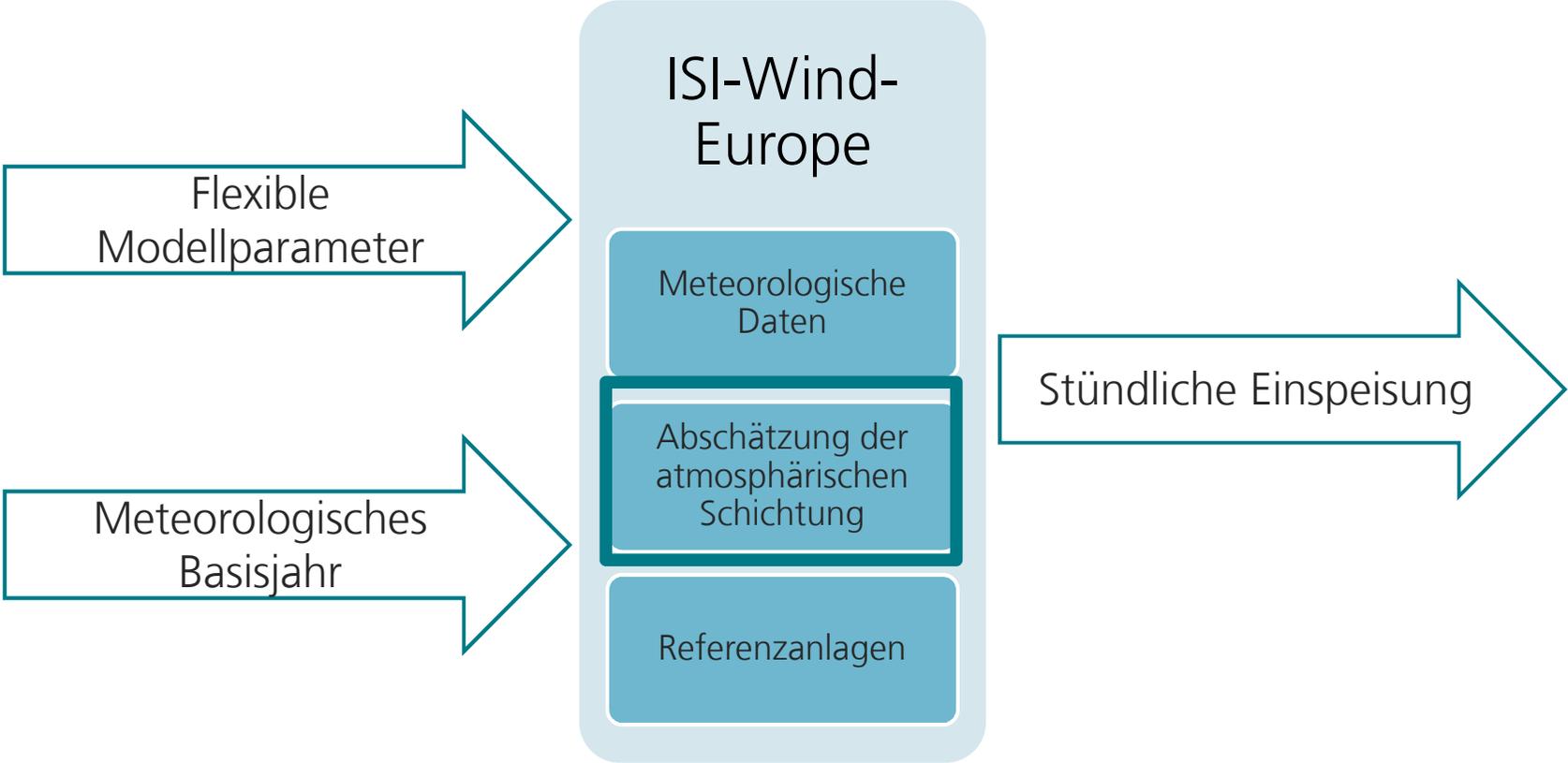
# Datengrundlage Wetterdaten



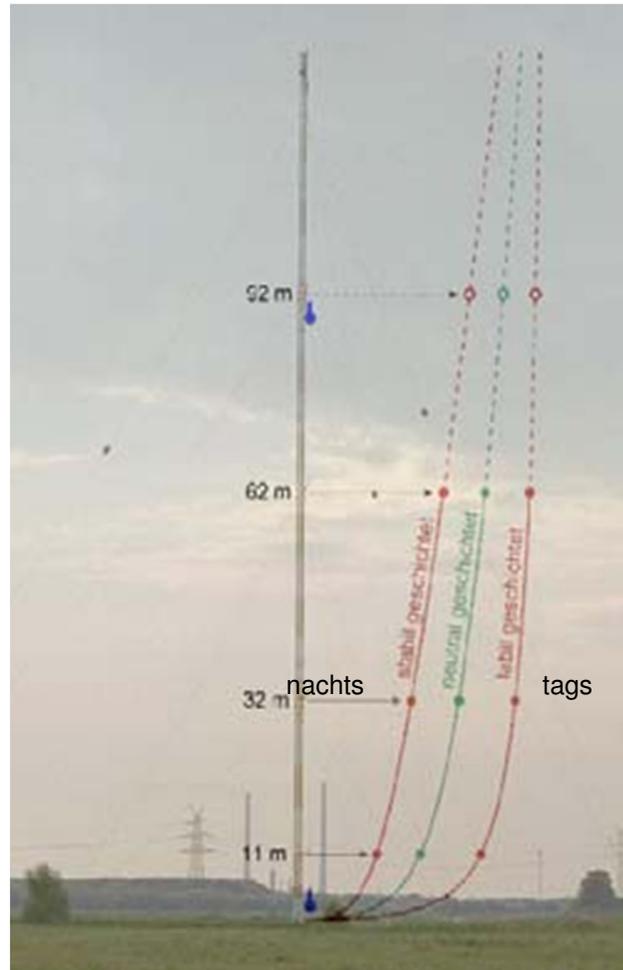
**Windmessdaten**

- 3.011 Stationen für 2008, steigende Datenqualität und Anzahl an Messstationen für spätere Jahre
- Temperatur und Luftdruck nicht für alle Stationen vorhanden, wird von Nachbarstation übernommen

# Modellstruktur

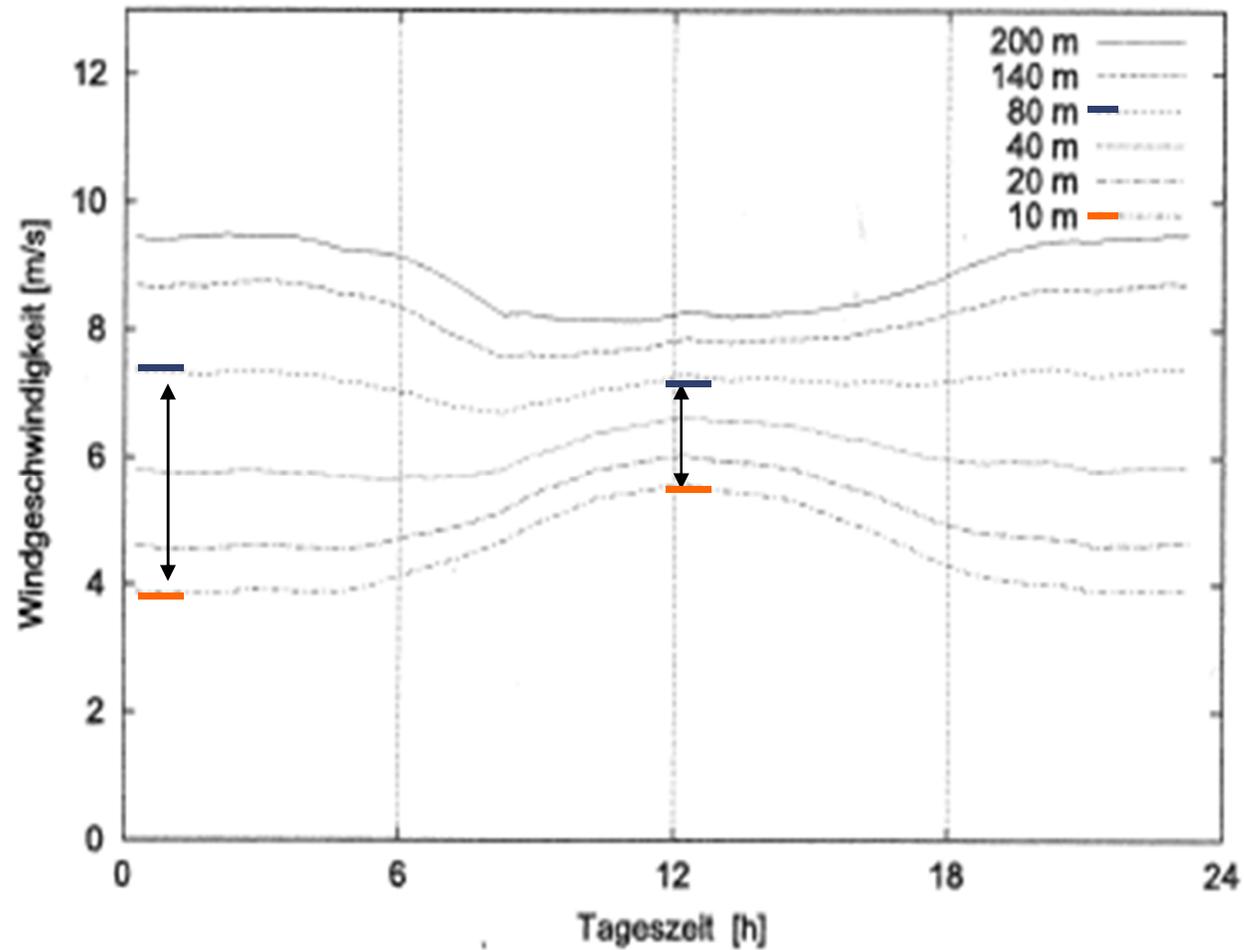


# ISI-Wind Europe – Einfluss der atmosphärischen Schichtung



Winkelmann, 2005

# Durchschnittlicher Tagesgang der Windgeschwindigkeit



Durchschnittlicher Tagesgang der Windgeschwindigkeit am Messmast Cabouw, Niederlande (Focken, 2003)

---

# Abschätzung der atmosphärischen Schichtung

---

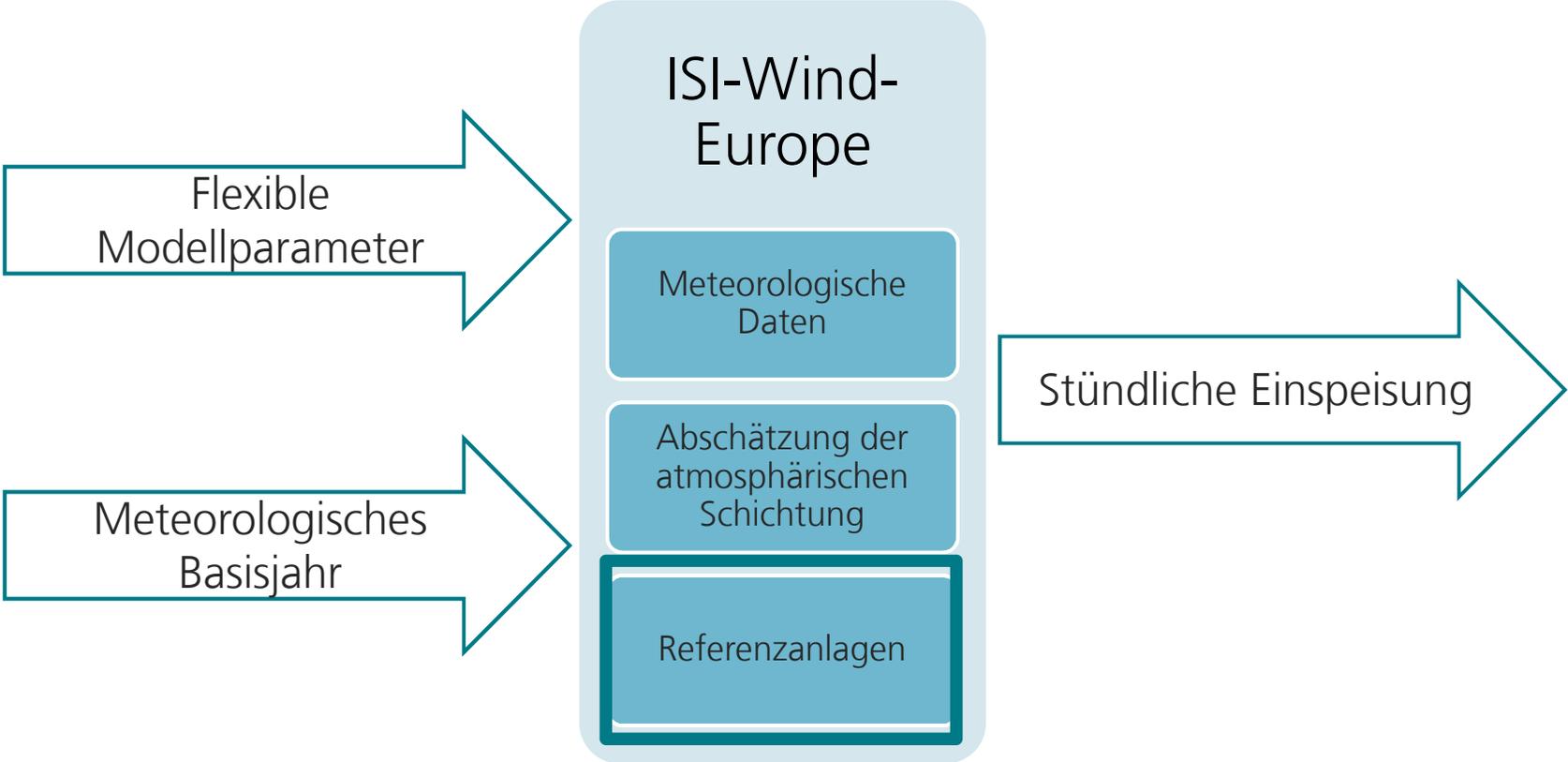
- Exponentielle Höhenkorrektur ermöglicht Abschätzung der atmosphärischen Schichtung

$$v_H = v_M \cdot \left( \frac{h_H}{h_M} \right)^x$$

Mit  
 $v_H$  – Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe  
 $v_M$  – Windgeschwindigkeit in Messhöhe  
 $x$  – Exponent in Abhängigkeit von der atmosphärischen Schichtung und der Rauigkeitslänge

- Abschätzung des Zustandes der Atmosphäre durch Ermittlung der Klug-Manier Klassen nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (BMU, 2002)
- Abschätzung der Monin-Obukhov-Länge nach dem VDI Handbuch zur Reinhaltung der Luft (VDI 3782, 2009)
- Berechnung des Exponenten  $x$  nach Foken 2006 in Abhängigkeit der für die Stunde ermittelten Monin-Obukhov-Länge

# Modellstruktur



---

# Referenzanlagen zur Abbildung des existierenden Kraftwerksparks

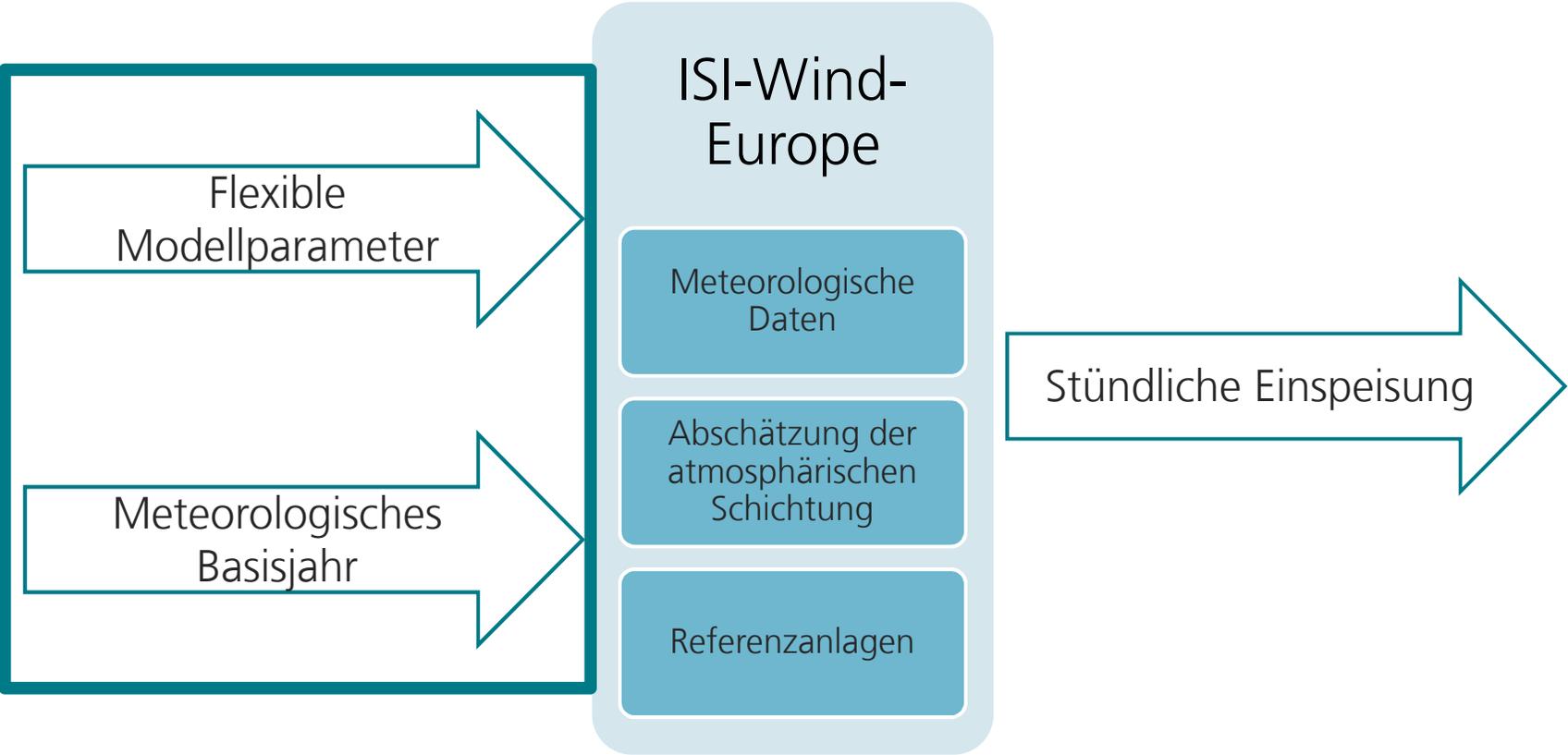
---

- Referenzanlagen für historische Zeitreihen:

Referenzanlage	Charakteristische Nabhöhe in Metern
Vestas V52 850kW	63
Vestas V80 2MW	86
Vestas V112 3MW	88
Enercon E40 500kW	63
Enercon E70 2,3MW	86
Enercon E70 2,3MW	125

- Definition weiterer Anlagen durch Kennlinie und Nabhöhe leicht möglich
- Szenarioberechnungen erfolgten mit E82 2,3MW und 120 Metern Nabhöhe
- Zur Berechnung von offshore Zeitreihen wurde die REpower 6M mit 80 Metern Nabhöhe gewählt

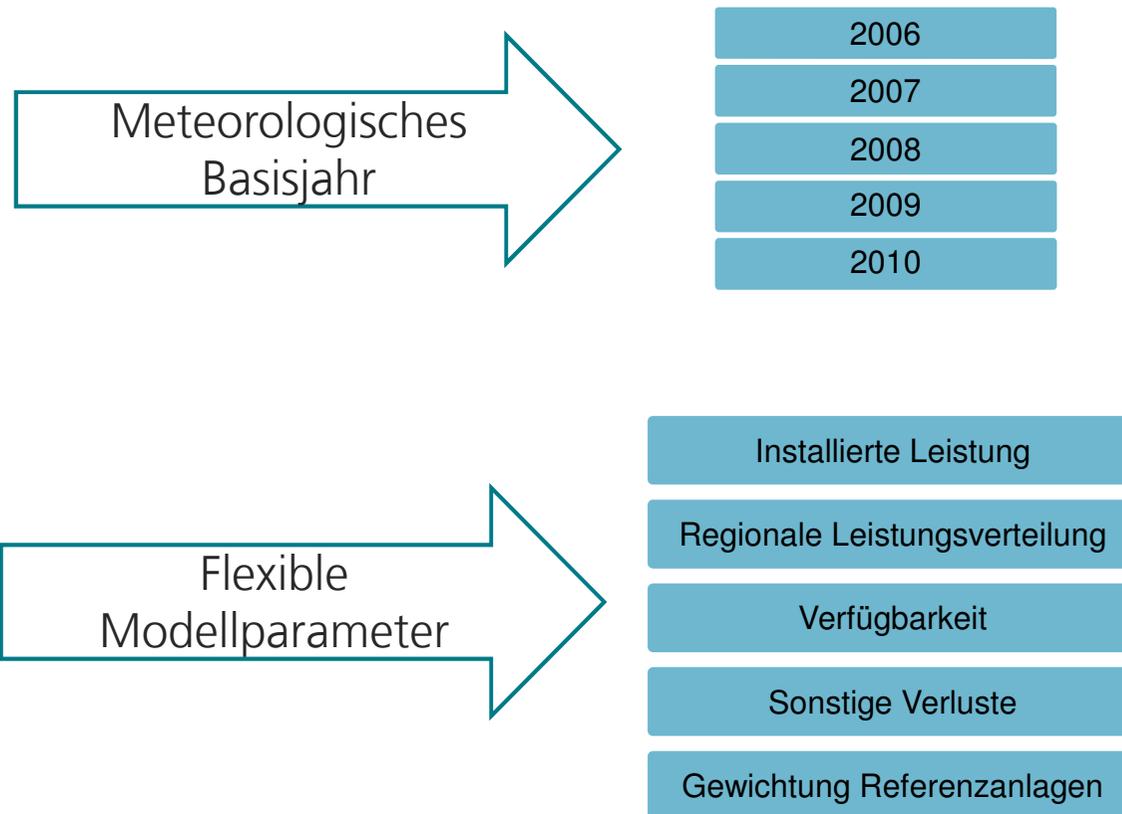
# Modellstruktur



---

# Flexible Modellparameter

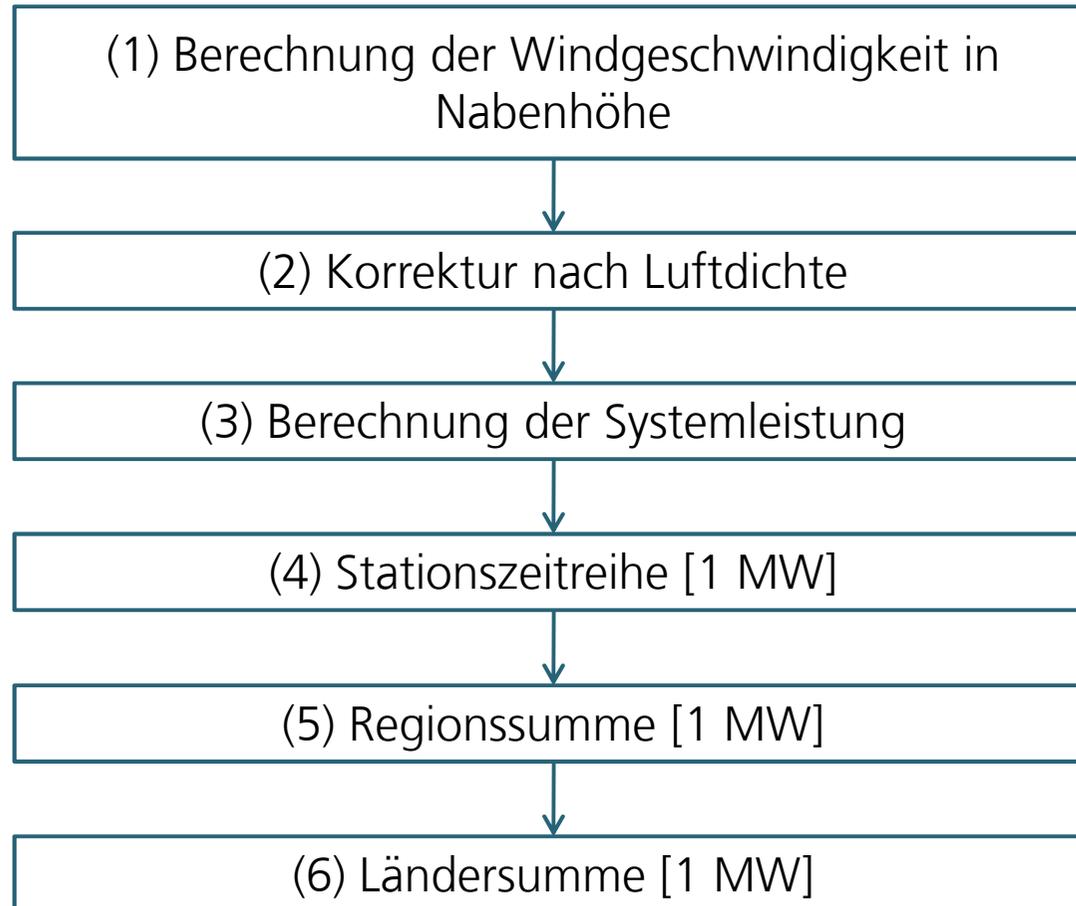
---



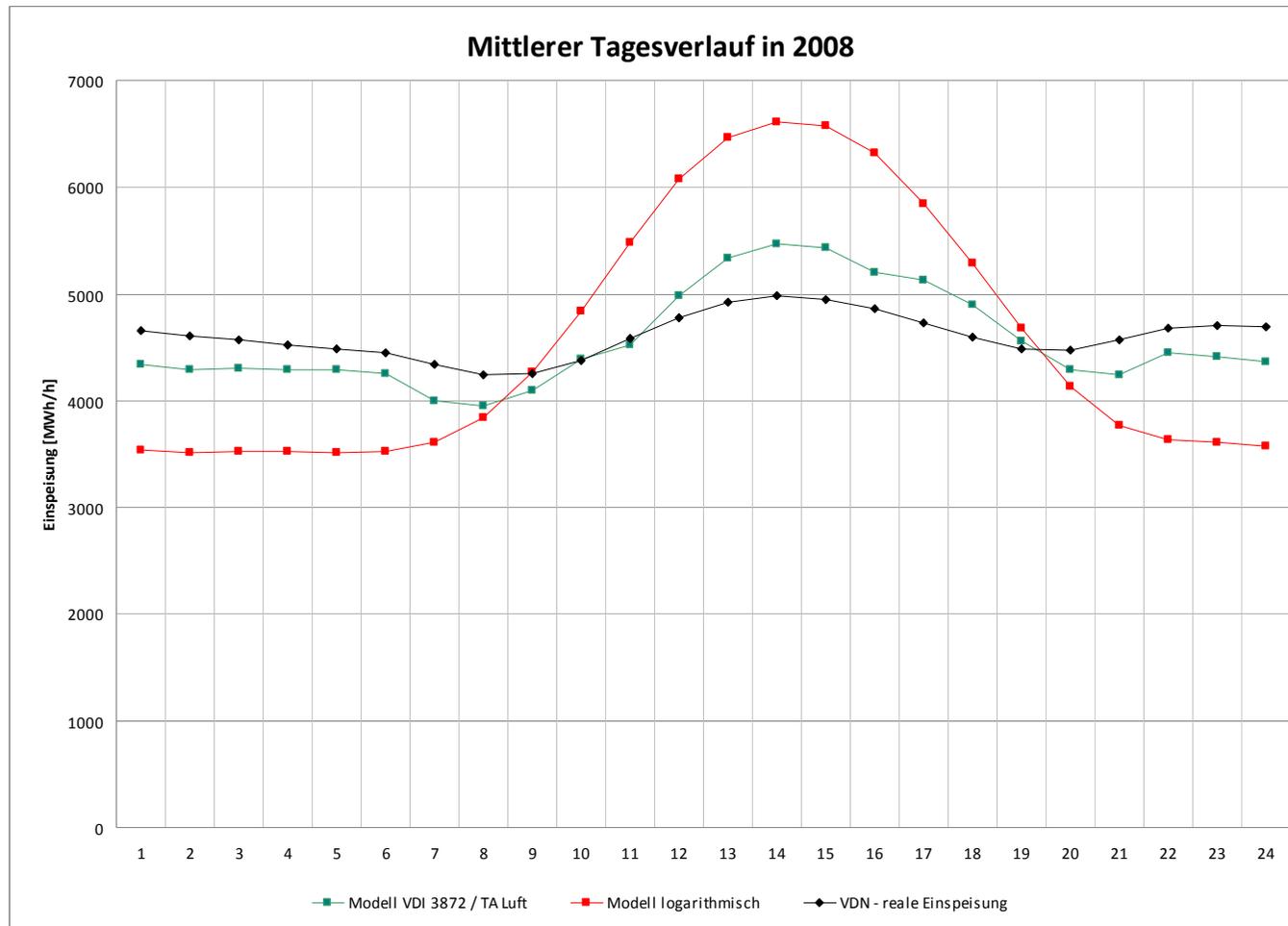
---

# ISI-Wind Europe – Modellstruktur

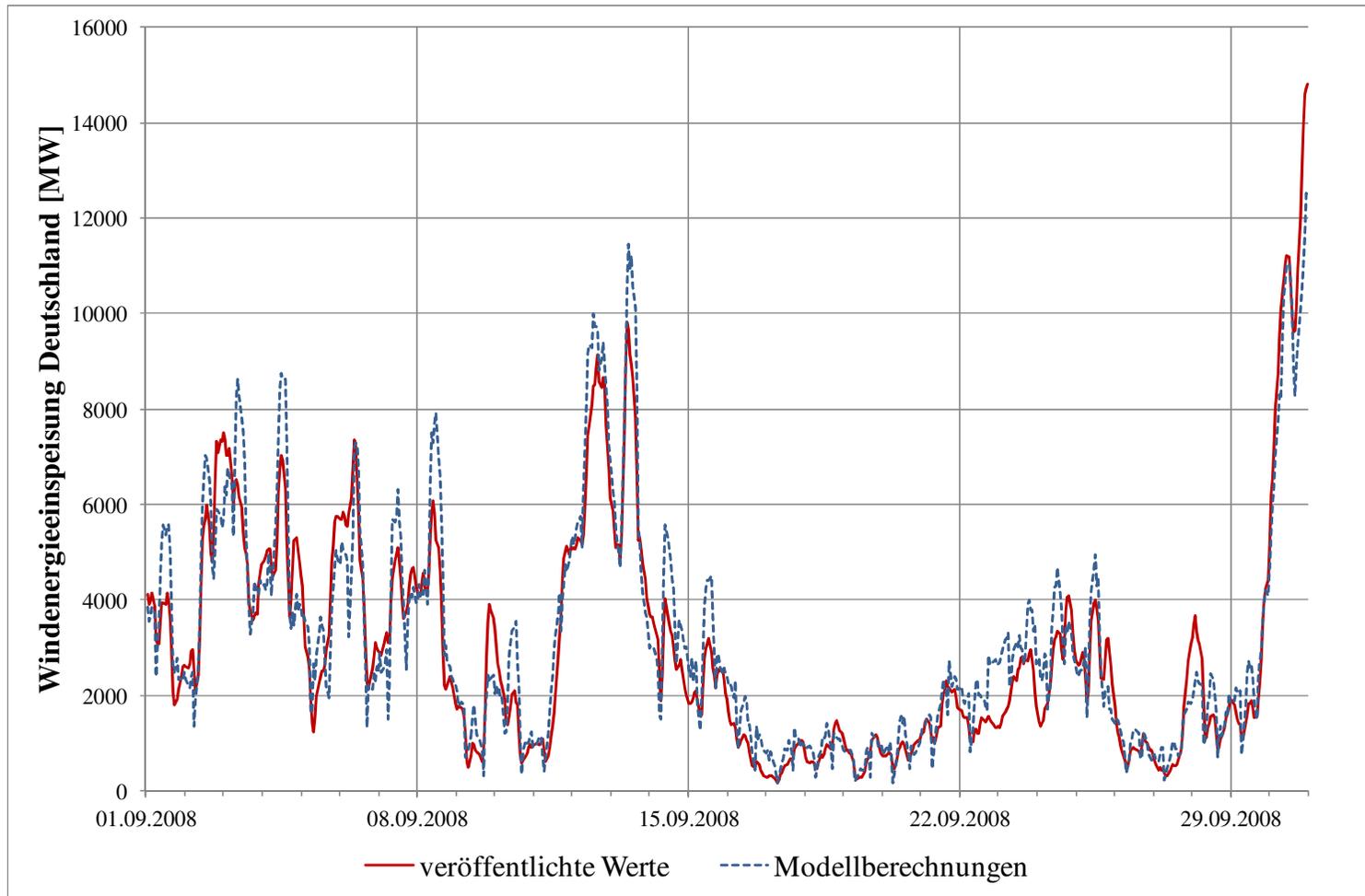
---



# ISI-Wind Europe – Berechnungsergebnisse mittlerer Tagesverlauf



# ISI-Wind Europe – Berechnungsergebnisse Deutschland September 2008



---

# Zusammenfassung und Ausblick

---

---

- Zelltechnologie und Montageart sind wichtige Einflussfaktoren bei der Berechnung der Photovoltaik-Einspeisung
- Bei der Berechnung der Windenergieeinspeisung ist die Berücksichtigung der atmosphärischen Schichtung notwendig um den Tagesverlauf realistisch abzubilden
- Einsatzbereich der Modelle:
  - Abschätzung historischer Einspeisezeitreihen für europäische Länder oder Regionen
  - Berechnung von Einspeisezeitreihen für Ausbauszenarien
  - Nur bedingt geeignet zur Berechnung stündlicher Einspeisung von Einzelanlagen
- Ausblick/weitere Entwicklung
  - Ständige Aktualisierung der Wetterdaten
  - Regionale Verteilung der Leistung – Kopplung an Potentialstudien
  - Standortspezifische Wind-Referenzanlagen

---

---

# Danke für die Aufmerksamkeit!

Gerda Schubert

[Gerda.Schubert@isi.fraunhofer.de](mailto:Gerda.Schubert@isi.fraunhofer.de)