

# Weltweite Variabilität der Einstrahlung und Konsequenzen für die Solarstromerzeugung

Vortrag für die 4. Fachtagung Energiemeteorologie

20.04.2016 – Bremerhaven

Michael Bühner, meteoblue AG, Schweiz

# Weltweite Variabilität der Einstrahlung und Konsequenzen für die Solarstromerzeugung

- **Relevanz und Ziele der Studie**
- **Methodenüberblick**
- **Datenvalidierung**
- **Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**

# Relevanz und Ziele der Studie

## Relevanz:

- Variabilität ist wichtig für Auslegung insbesondere von Batterie- und Hybridsystemen
- Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit von Prognosen kann besser abgeschätzt werden
- Fehlererkennung & Monitoring

## Ziele:

- Vergleich zwischen Messung und Modell zur Validierung
- Kennwerte für tages- und jahreszeitliche Variabilität für verschiedene Standorte berechnen
- Klassifikation der Strahlungsvariabilität verschiedener Standorte
- Weltweite Variabilitätszonen

# Weltweite Variabilität der Einstrahlung und Konsequenzen für die Solarstromerzeugung

- **Relevanz und Ziele der Studie**
- **Methodenüberblick**
- **Datenvalidierung**
- **Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**



# Methodenüberblick

## Datengrundlage:

- Stündlich aufgelöste Simulationsdaten aus NEMS Modellen der meteoblue AG für Validierung (2010-2014) und Klassifikation (1986-2015)
- Stündlich aufgelöste Messdaten von 95 Stationen aus den Quellen: BSRN, GAW, DWD (je nach Verfügbarkeit 2010-2014)

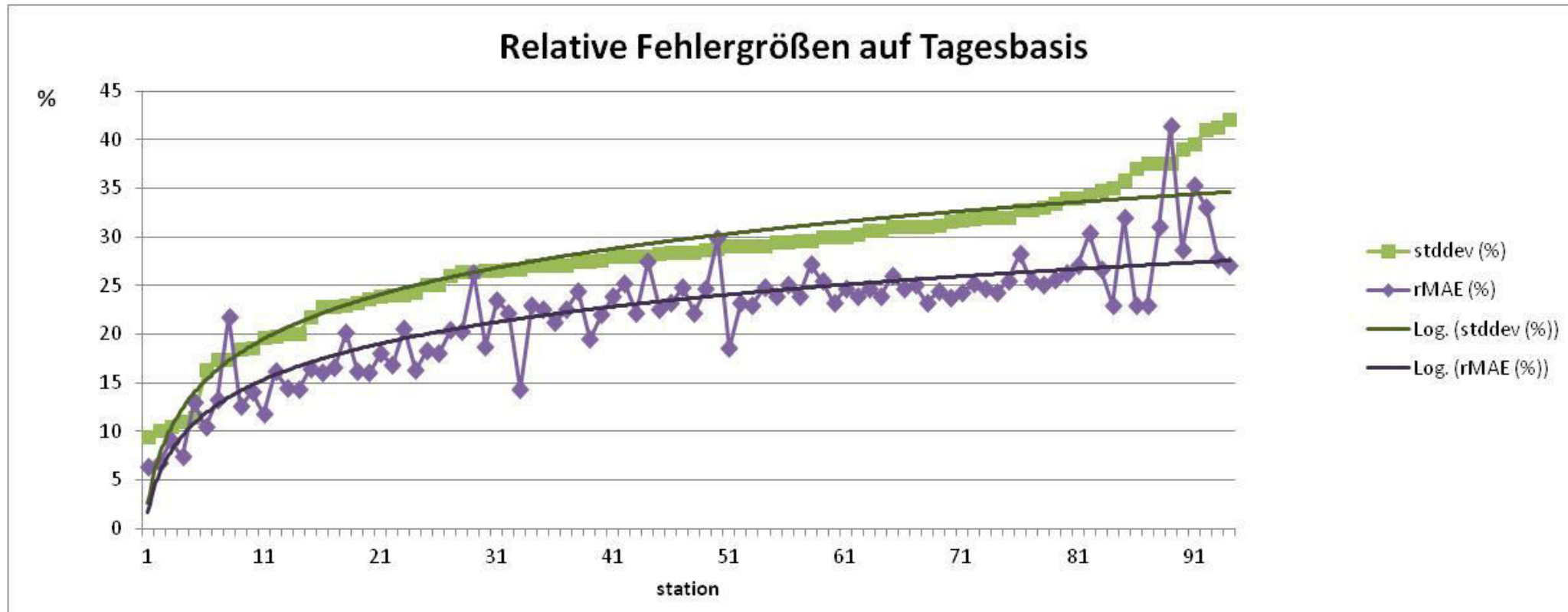
## Methodik:

- Qualitätskontrolle von Messdaten
- Validierung der Simulationsdaten anhand der Fehlergrößen
- Vergleich der Variabilität zwischen Simulations- und Messdaten
- Klassifikation der Strahlungsvariabilität verschiedener Standorte
- Flächendeckende Berechnung zur weltweiten Einteilung in Variabilitätszonen
- Erstellung standortspezifischer Analysen.

# Weltweite Variabilität der Einstrahlung und Konsequenzen für die Solarstromerzeugung

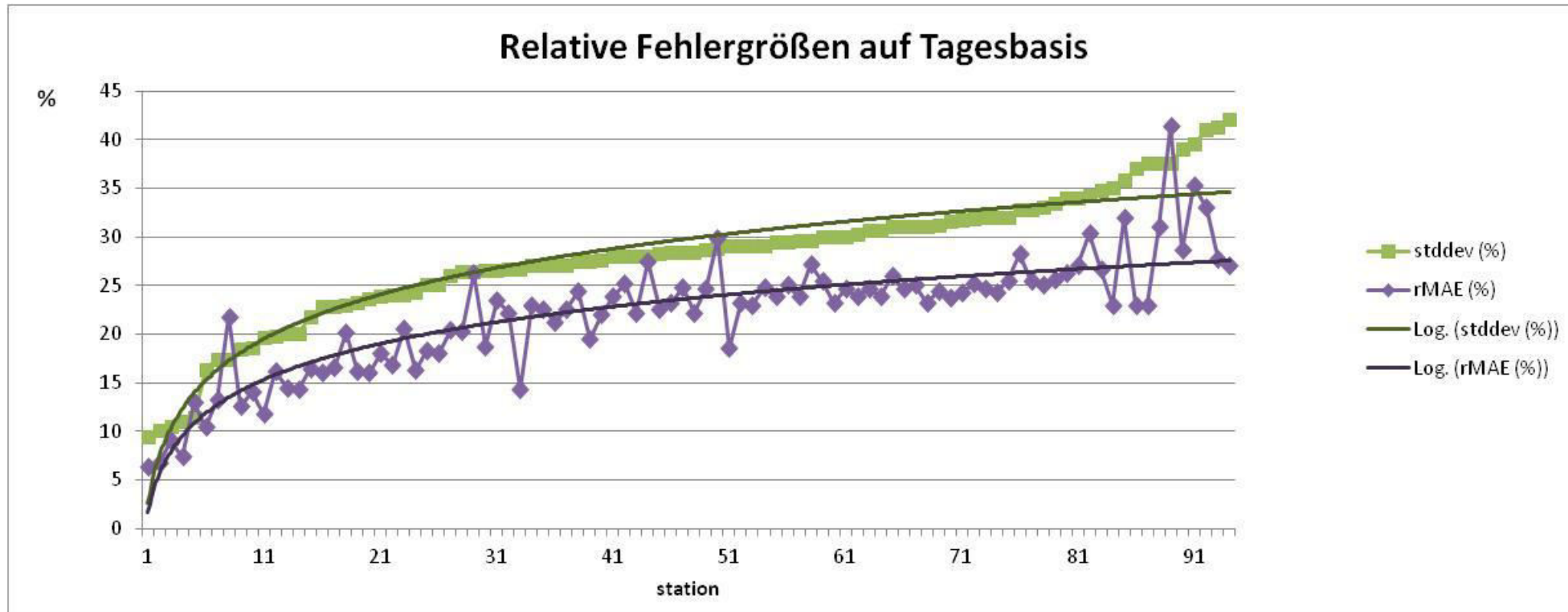
- **Relevanz und Ziele der Studie**
- **Methodenüberblick**
- **Datenvalidierung**
- **Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**

# Datenvalidierung – Modellvalidierung



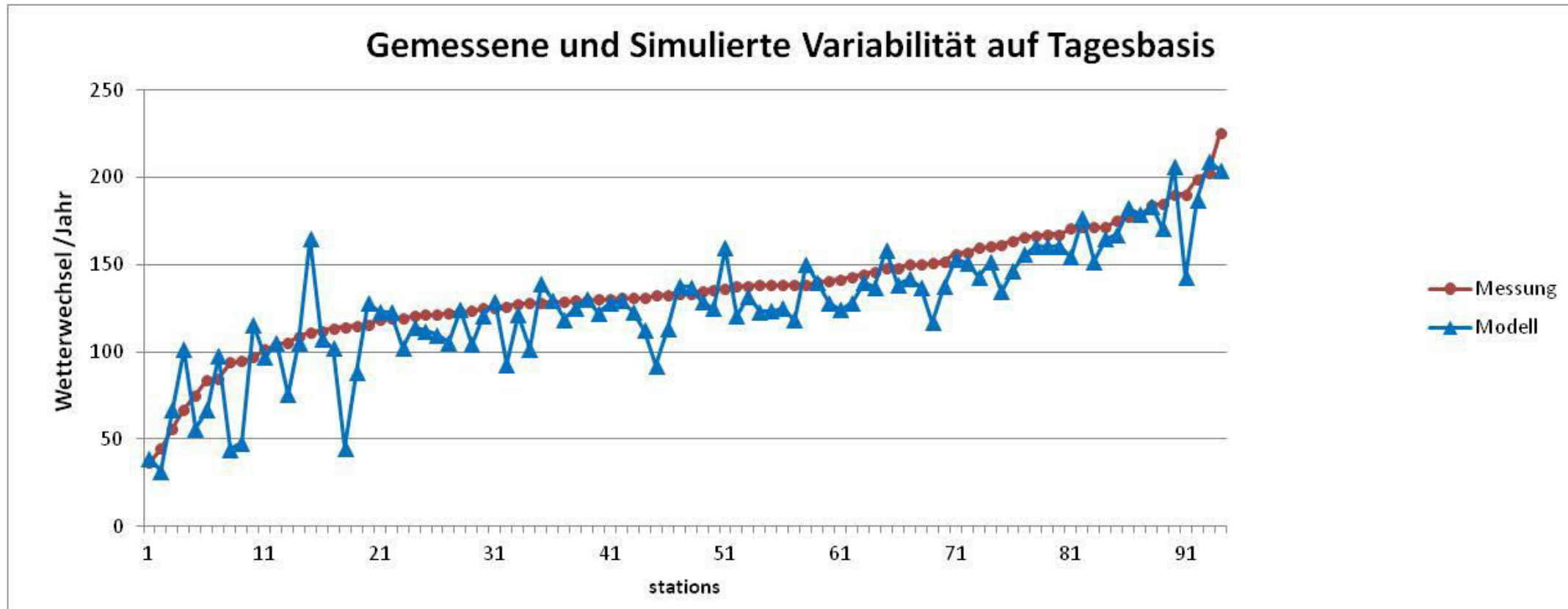
rMAE & rstddev berechnet auf Tagesbasis nach MESOR- Handbook of benchmarking (2009)

# Datenvalidierung – Modellvalidierung



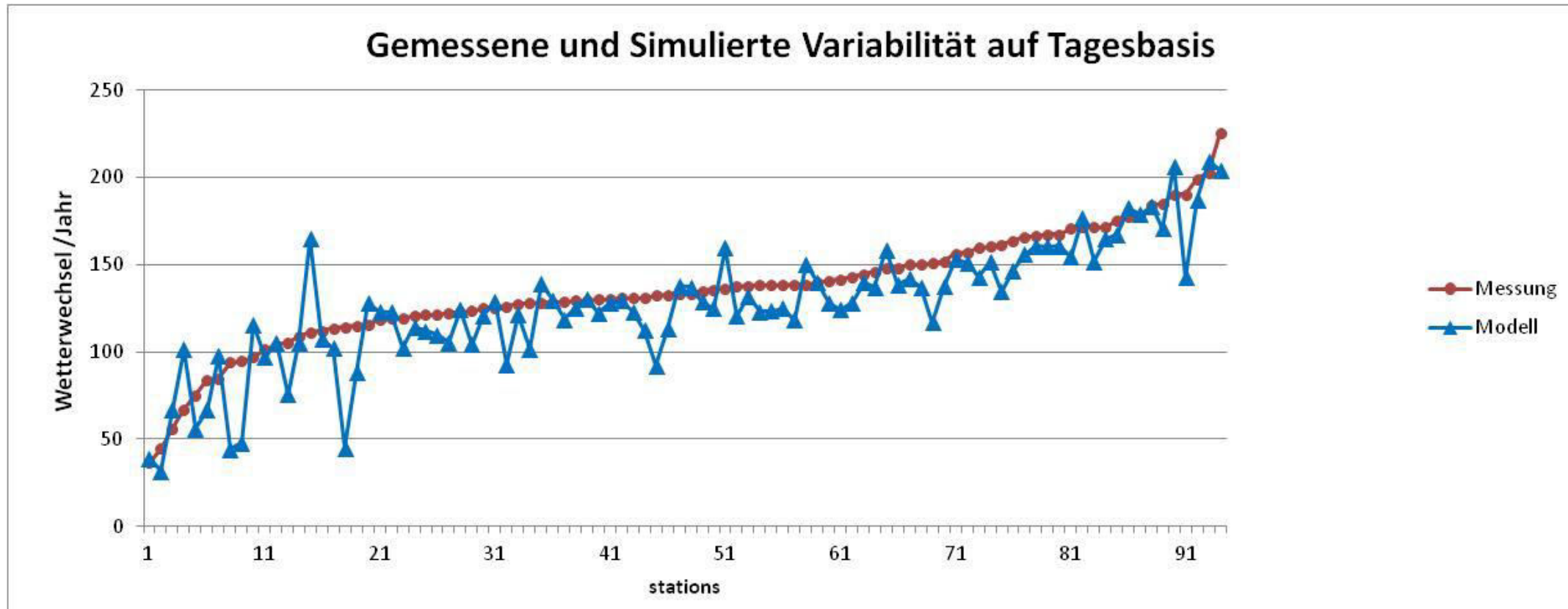
**Fehlergrößen sind plausibel und entsprechen den Ergebnissen früherer Validierungen**

# Datenvalidierung – Vergleich der Variabilität auf Tagesbasis



**Indikator für Variabilität: Wetterwechsel = Änderung der täglichen Strahlungssumme von >1000 Wh zum Vortag.**

# Datenvalidierung – Vergleich der Variabilität auf Tagesbasis



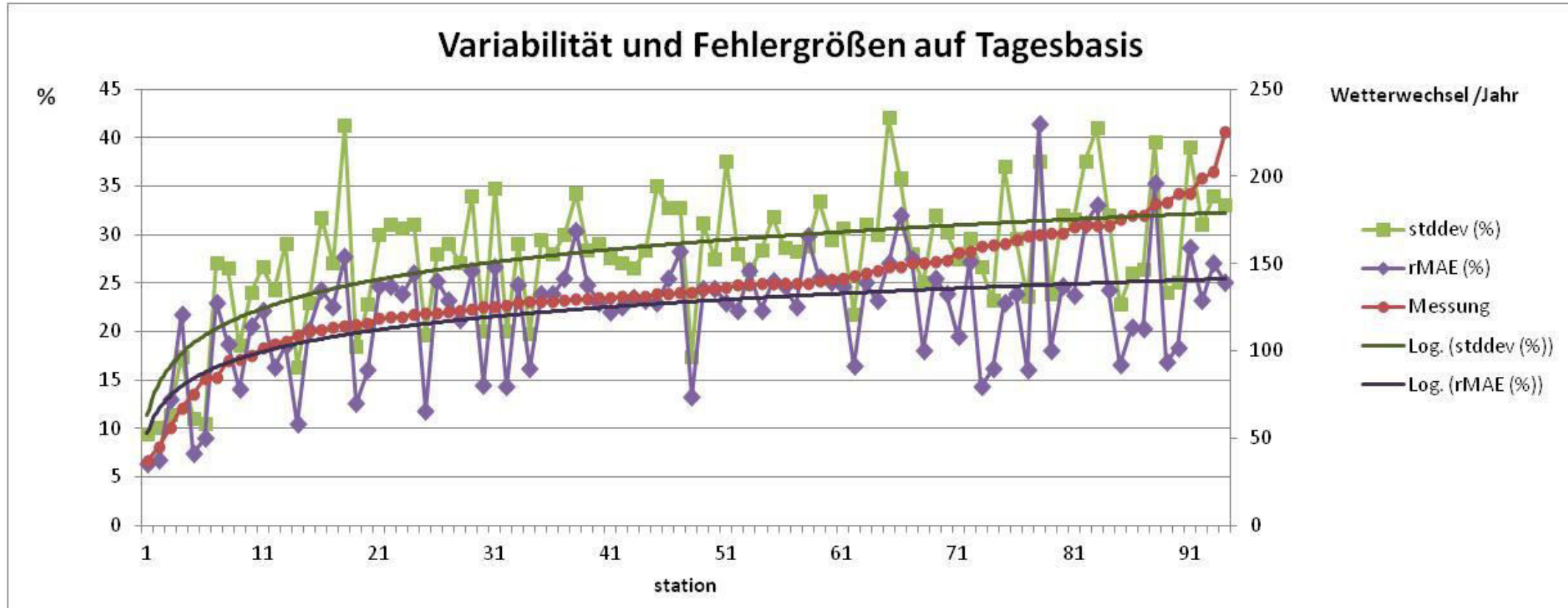
**Die Häufigkeit von Wetterwechseln kann an >90 % der Stationen gut (+/- 10 Tage) reproduziert werden.**



# Weltweite Variabilität der Einstrahlung und Konsequenzen für die Solarstromerzeugung

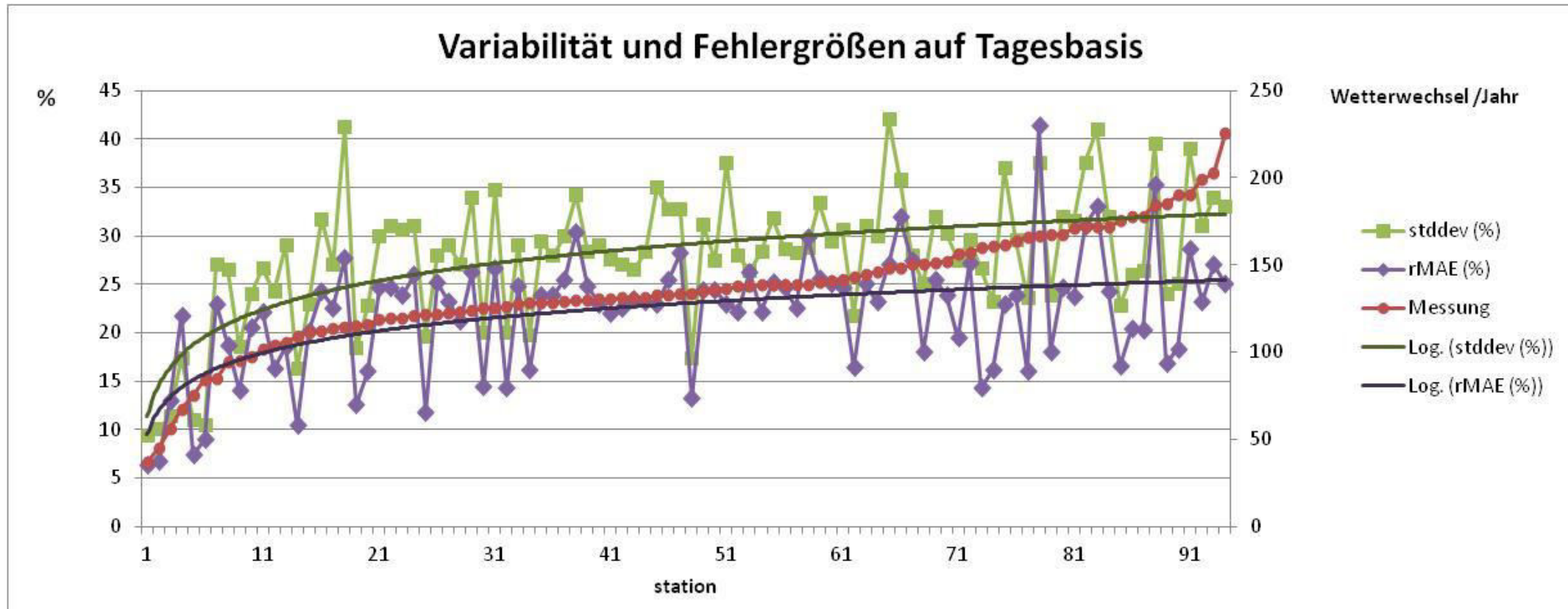
- **Relevanz und Ziele der Studie**
- **Methodenüberblick**
- **Datenvalidierung**
- **Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**

# Ergebnisse – Modellfehler & Variabilität auf Tagesbasis





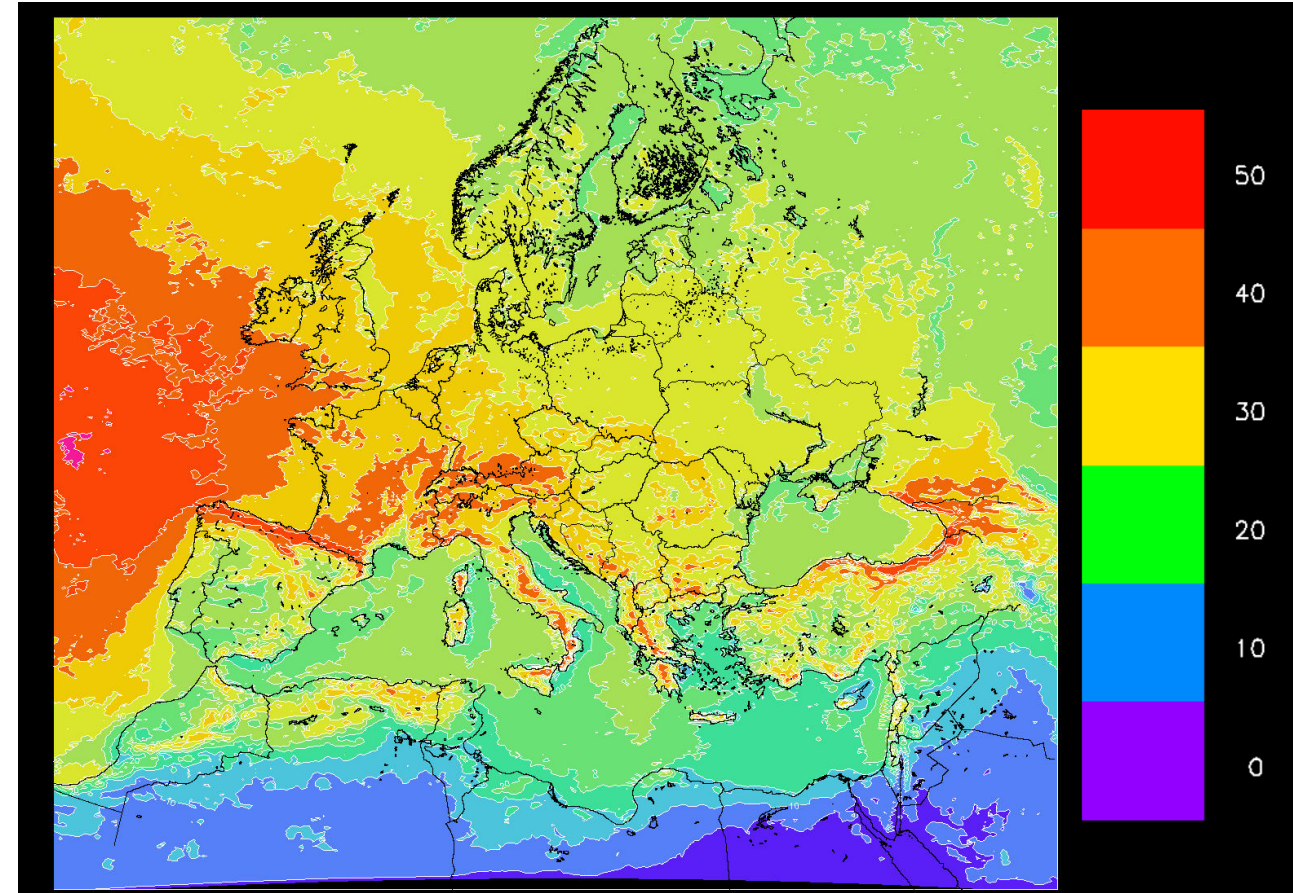
# Ergebnisse – Modellfehler & Variabilität auf Tagesbasis



**Es gibt einen Zusammenhang zwischen Variabilität und Fehlerquote der Simulation**

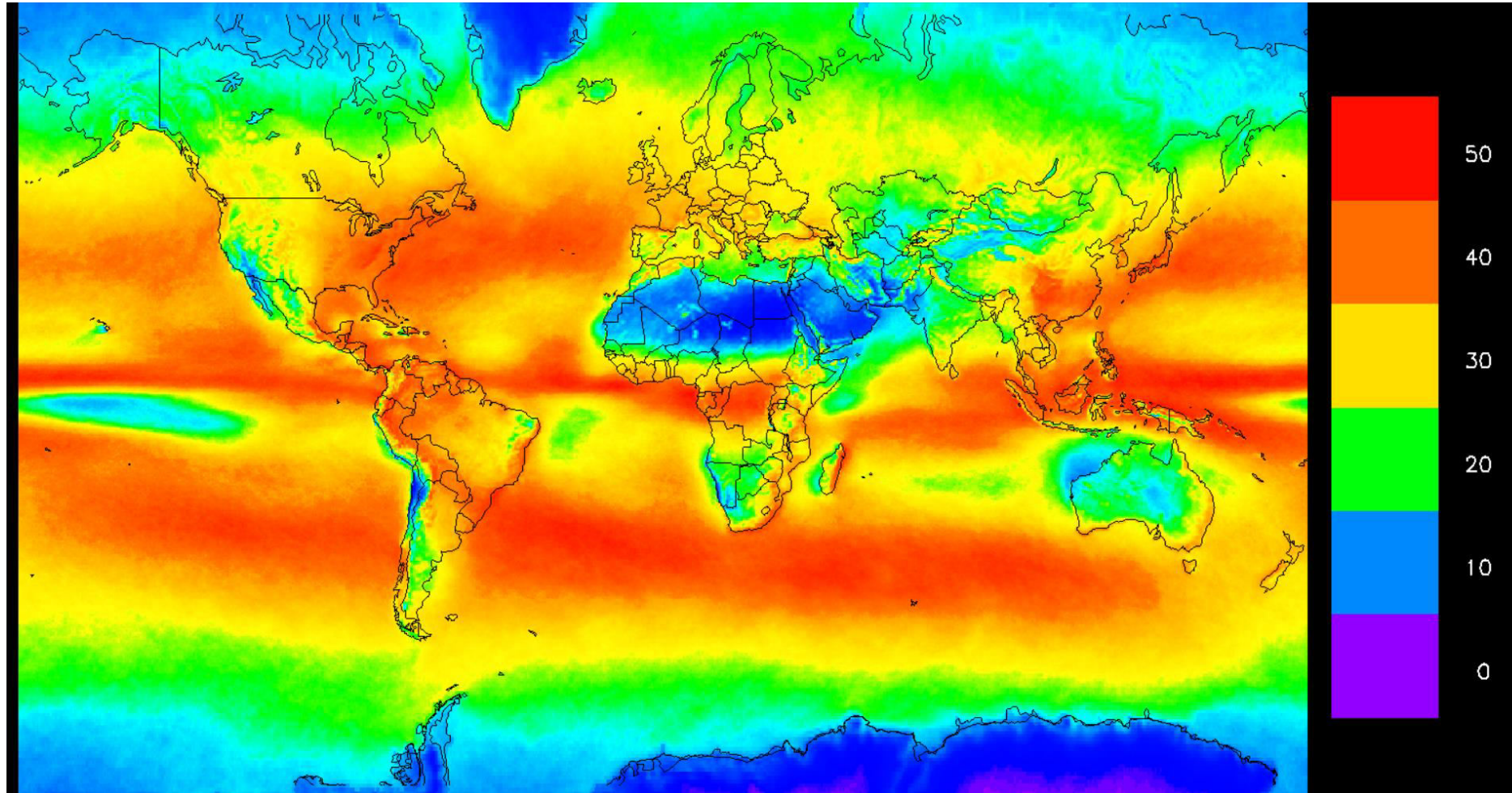
## Ergebnisse – Klassifikation Europa

- In Europa sind die meisten Wetterwechsel in Berg- und Küstenregionen zu finden
- Aride Gebiete und Wüsten weisen die geringste Variabilität auf
- Abnehmende Variabilität Richtung Nordosten, aufgrund von hohen Bewölkungsanteilen und stabilen Hochdrucklagen.
- Variabilität erhöht sich in Staulagen von Gebirgen und Küsten.
- Selbst große Unterschiede auf kleinstem Raum können durch das Modell abgebildet werden.



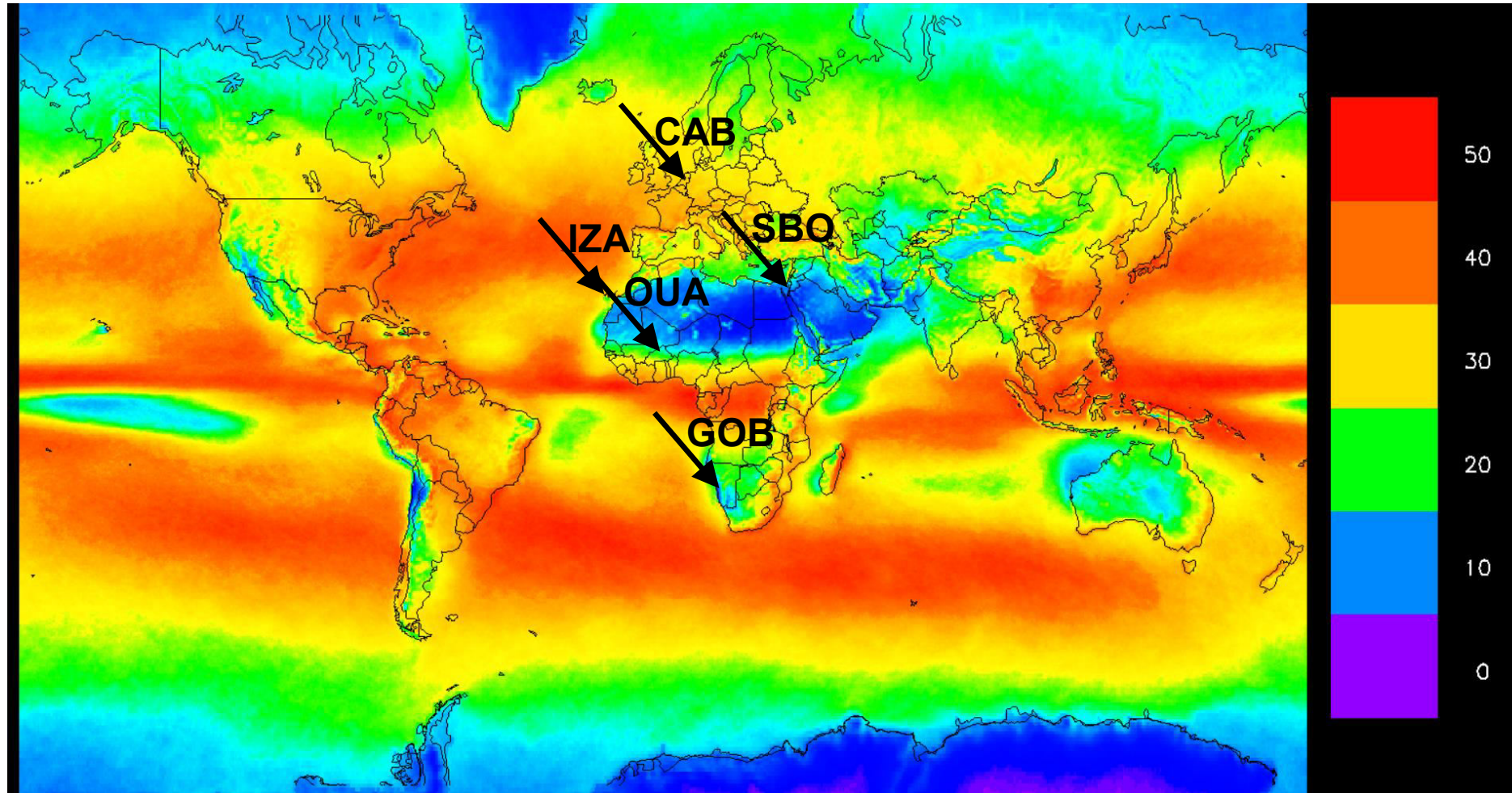


## Ergebnisse – Weltweite Klassifikation



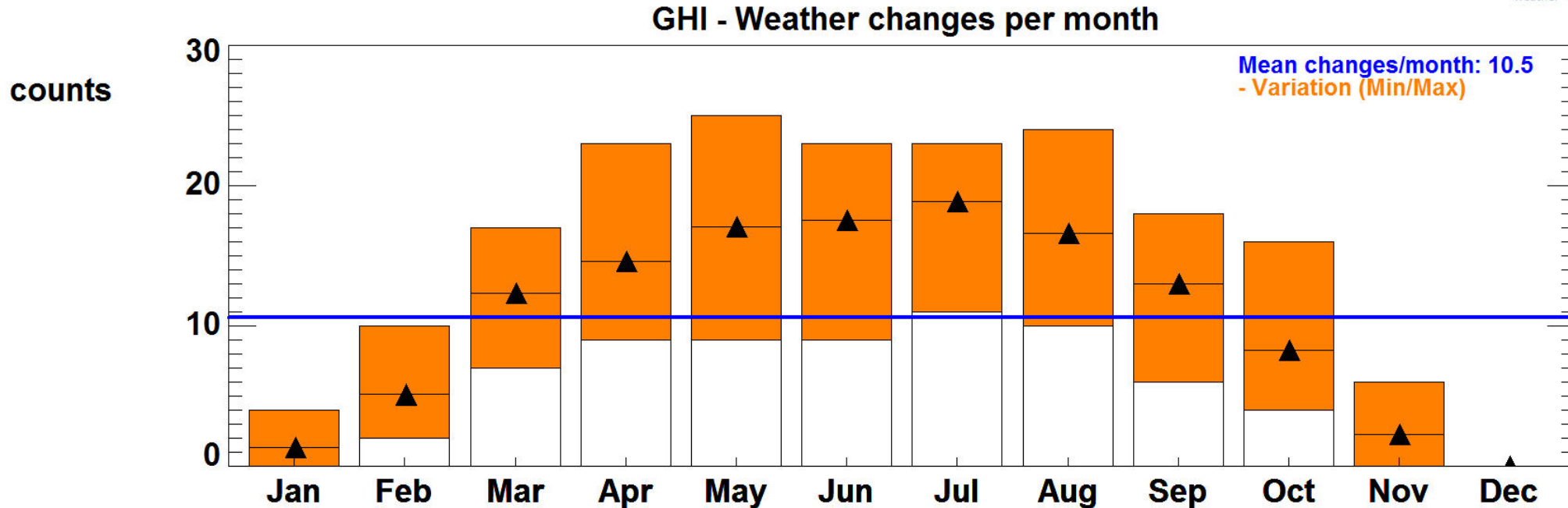


## Ergebnisse – Weltweite Klassifikation



# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Cabauw (NL)

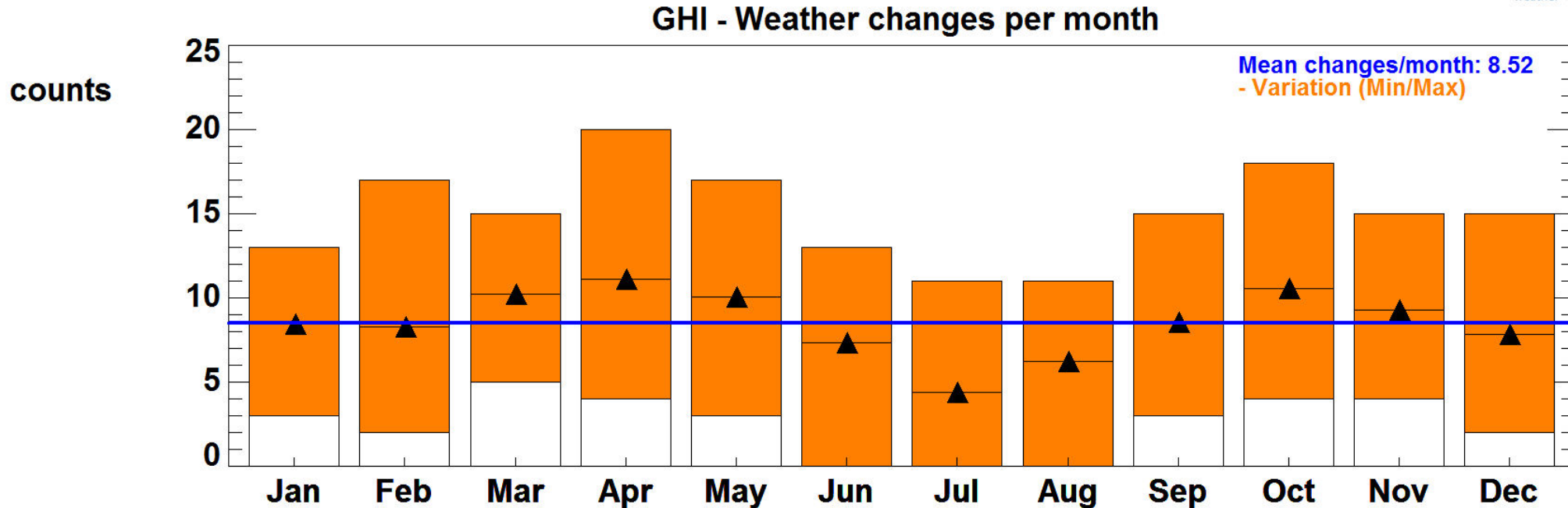
CAB 51.97 N / 4.930 E



Wetterwechsel pro Monat: Variabilität schwankt auch saisonal und von Jahr zu Jahr

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Iza (ES)

IZA 28.31 N / -16.5 E

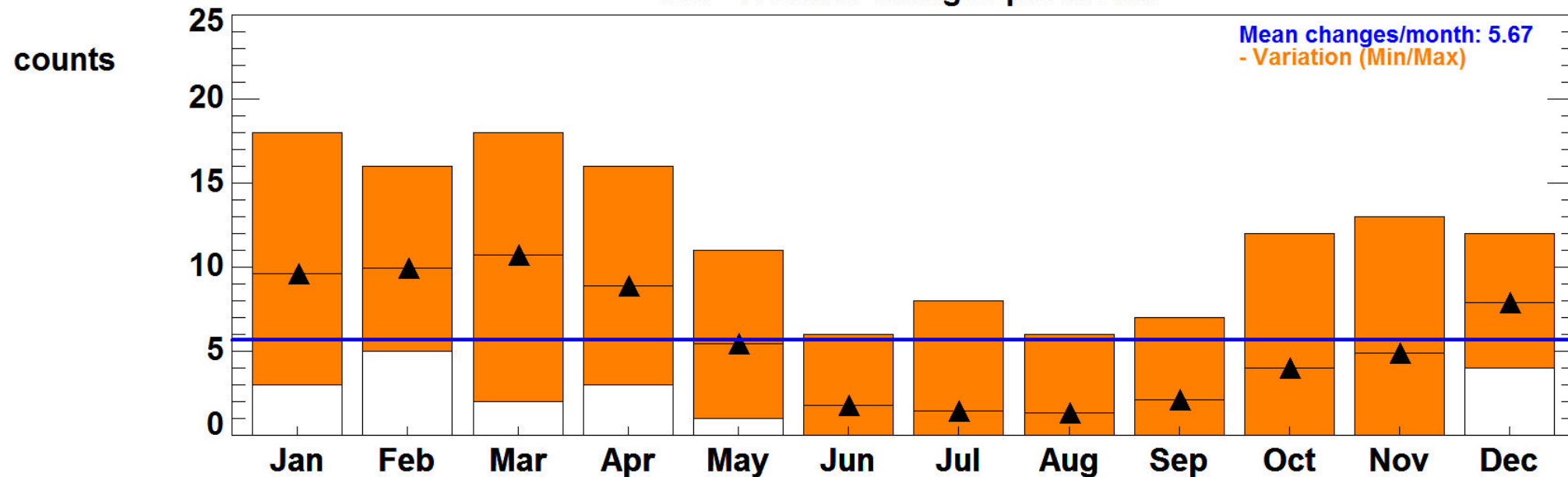


Wetterwechsel pro Monat: Variabilität schwankt auch saisonal und von Jahr zu Jahr

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Sede B.(IS)

SBO 30.86 N / 34.78 E

GHI - Weather changes per month



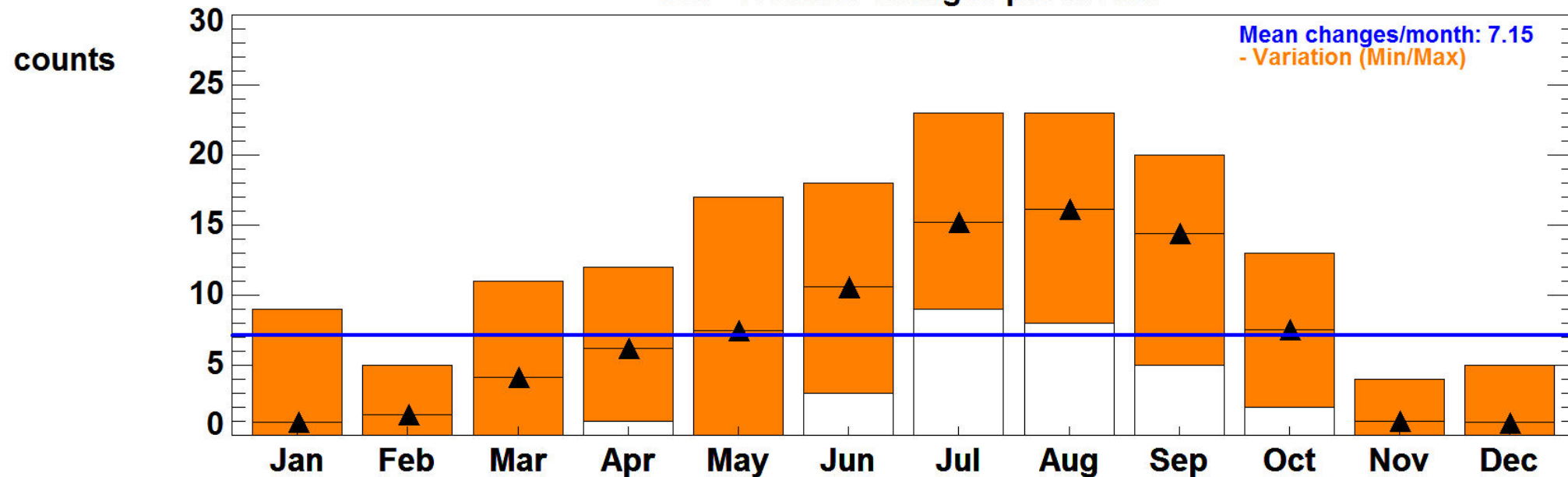
Wetterwechsel pro Monat: Variabilität schwankt auch saisonal und von Jahr zu Jahr



# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Ouaga (BF)

Ouagadougou 12.37 N / -1.53 E

GHI - Weather changes per month



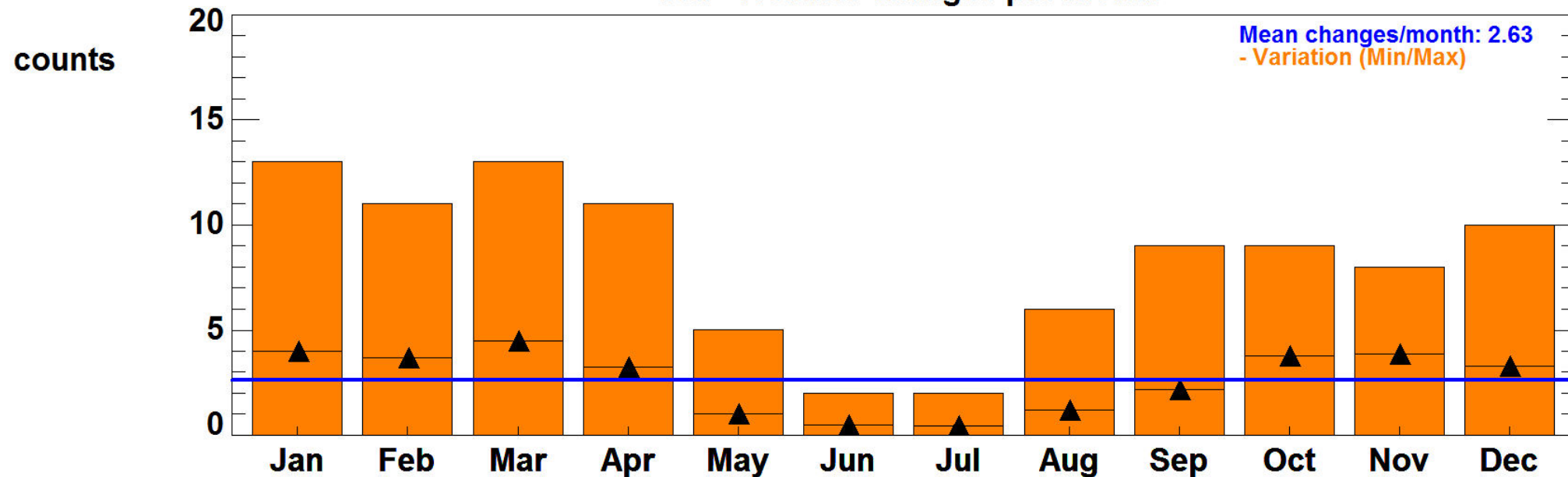
Wetterwechsel pro Monat: Variabilität schwankt auch saisonal und von Jahr zu Jahr



# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Gobabeb (NA)

GOB -23.5 N / 15.04 E

GHI - Weather changes per month

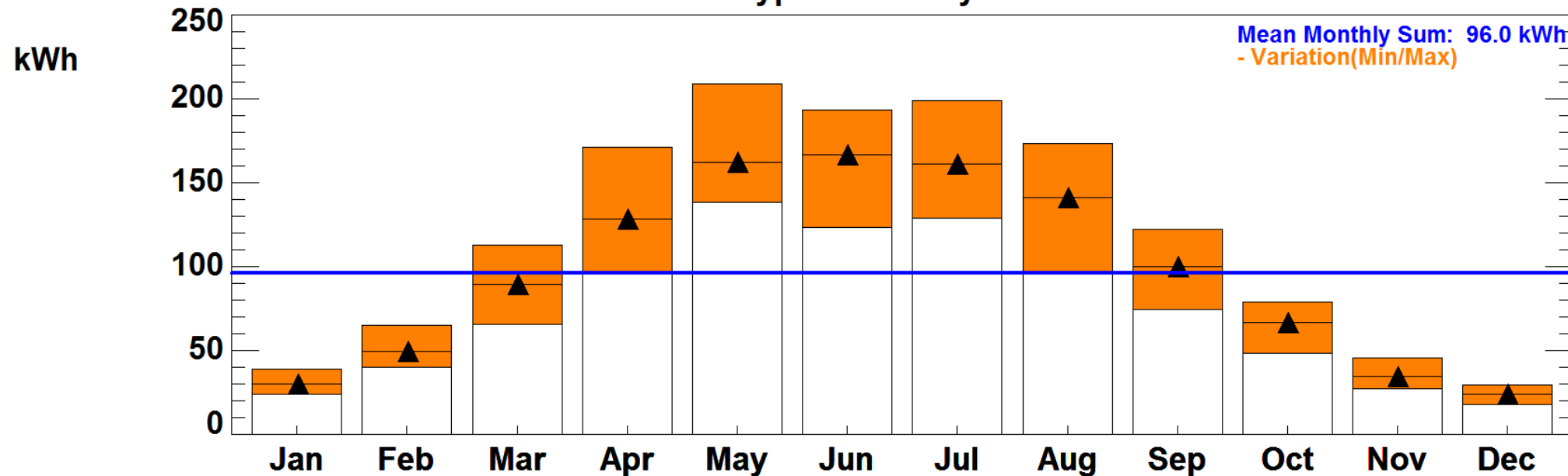


Wetterwechsel pro Monat: Variabilität schwankt auch saisonal und von Jahr zu Jahr

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Cabauw (NL)

CAB 51.97 N / 4.930 E

GHI - Typical monthly distribution

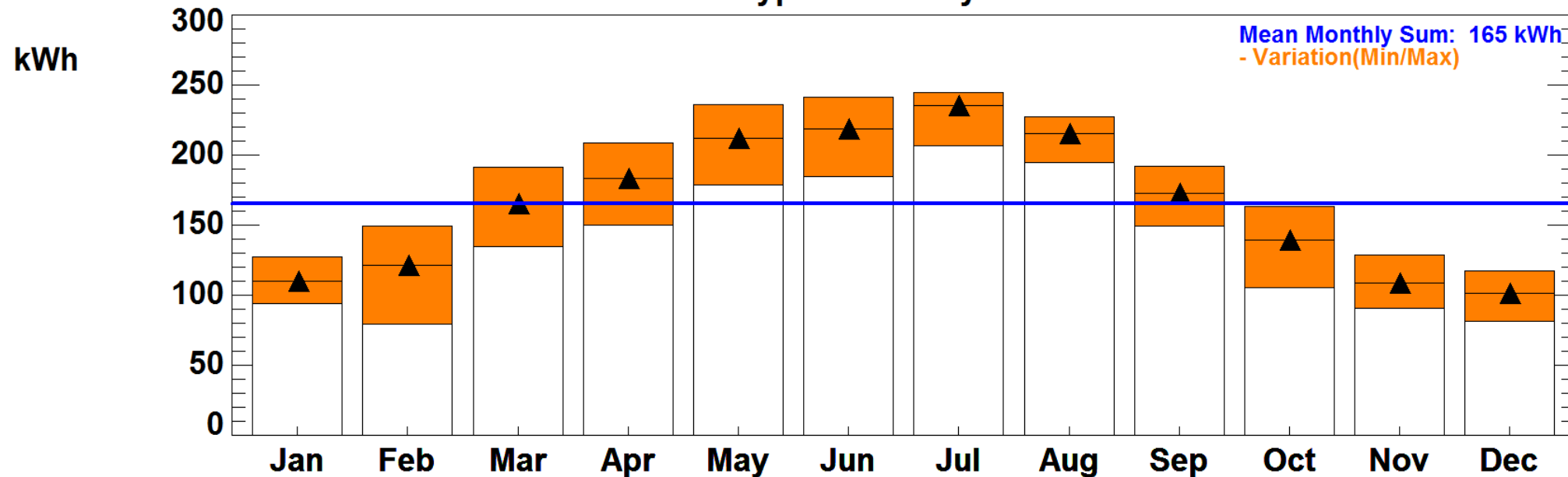


Variabilität schwankt auch saisonal

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Iza (ES)

IZA 28.31 N / -16.5 E

GHI - Typical monthly distribution

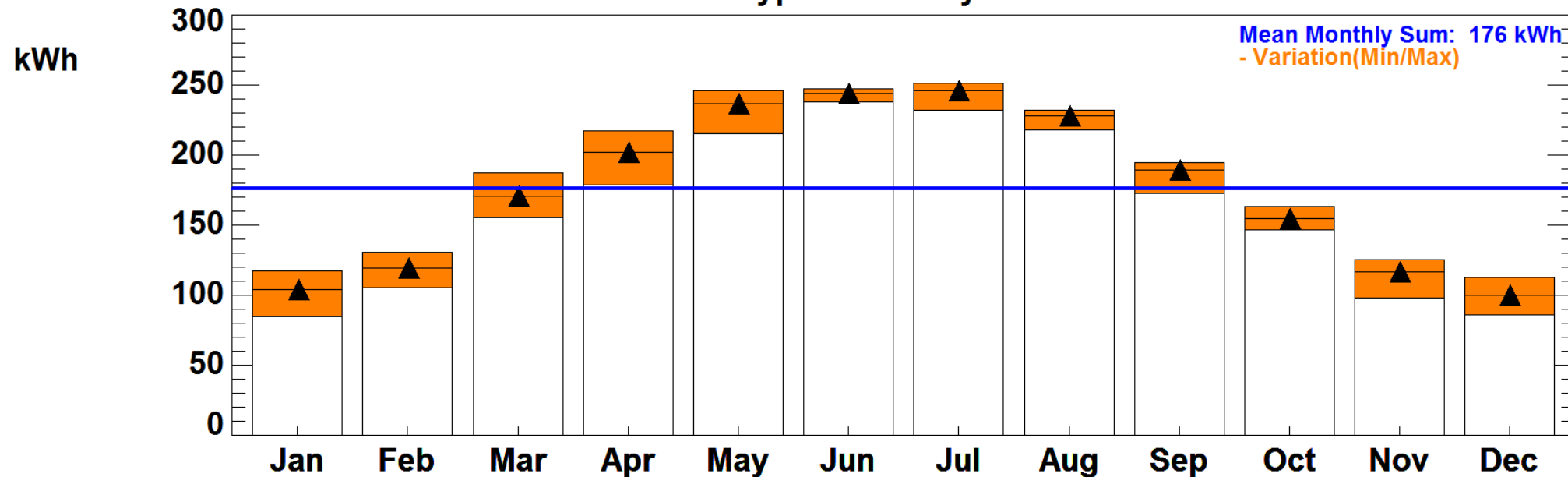


Variabilität schwankt auch saisonal

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Sede B.(IS)

SBO 30.86 N / 34.78 E

GHI - Typical monthly distribution

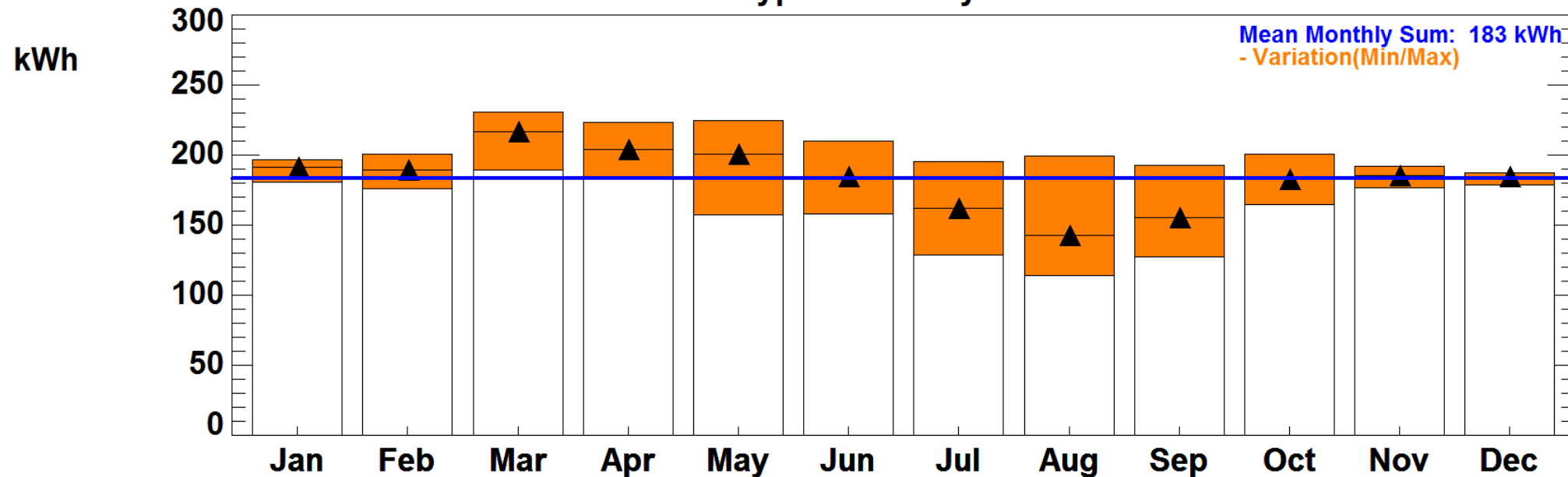


Variabilität schwankt auch saisonal

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Ouaga (BF)

Ouagadougou 12.37 N / -1.53 E

GHI - Typical monthly distribution

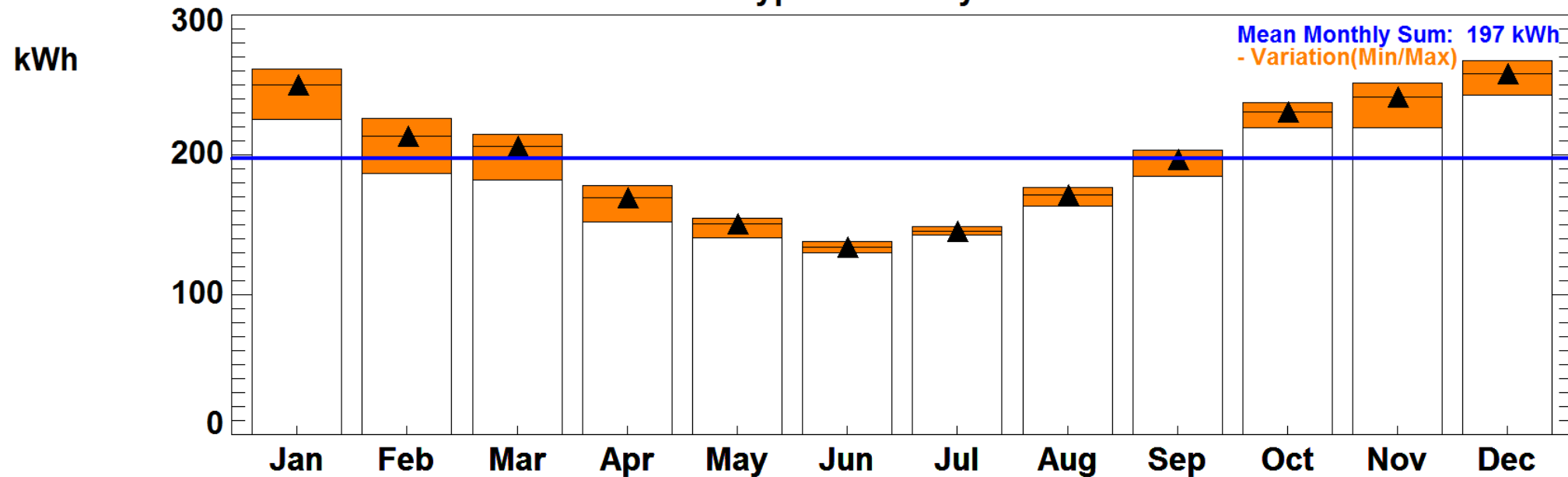


Variabilität schwankt auch saisonal

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Gobabeb (NA)

GOB -23.5 N / 15.04 E

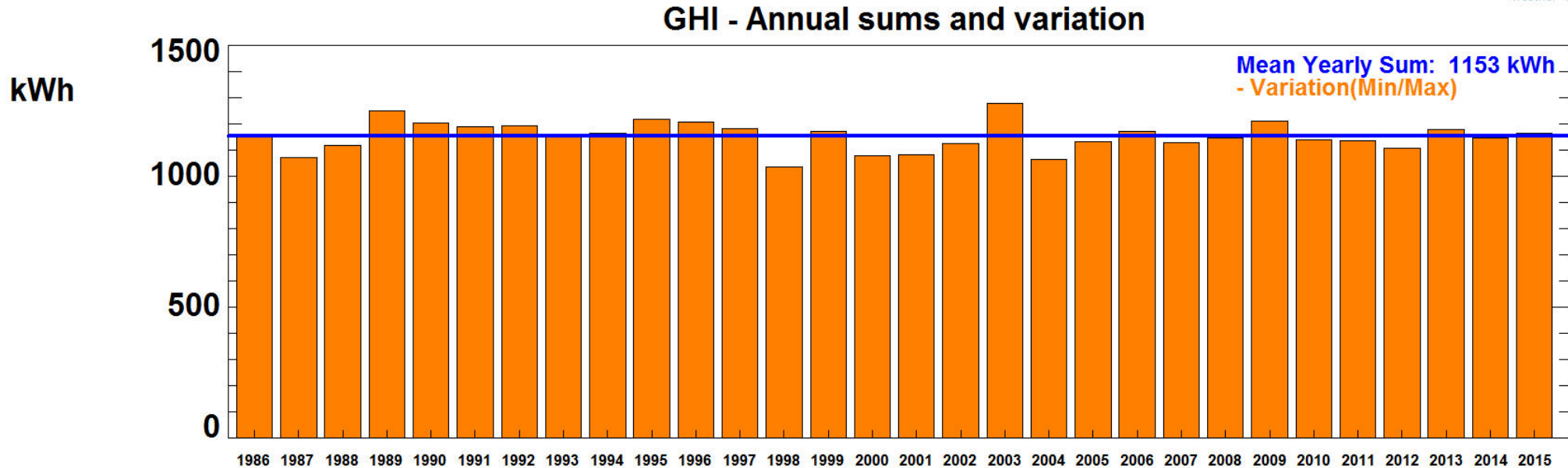
GHI - Typical monthly distribution



Variabilität schwankt auch saisonal

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Cabauw (NL)

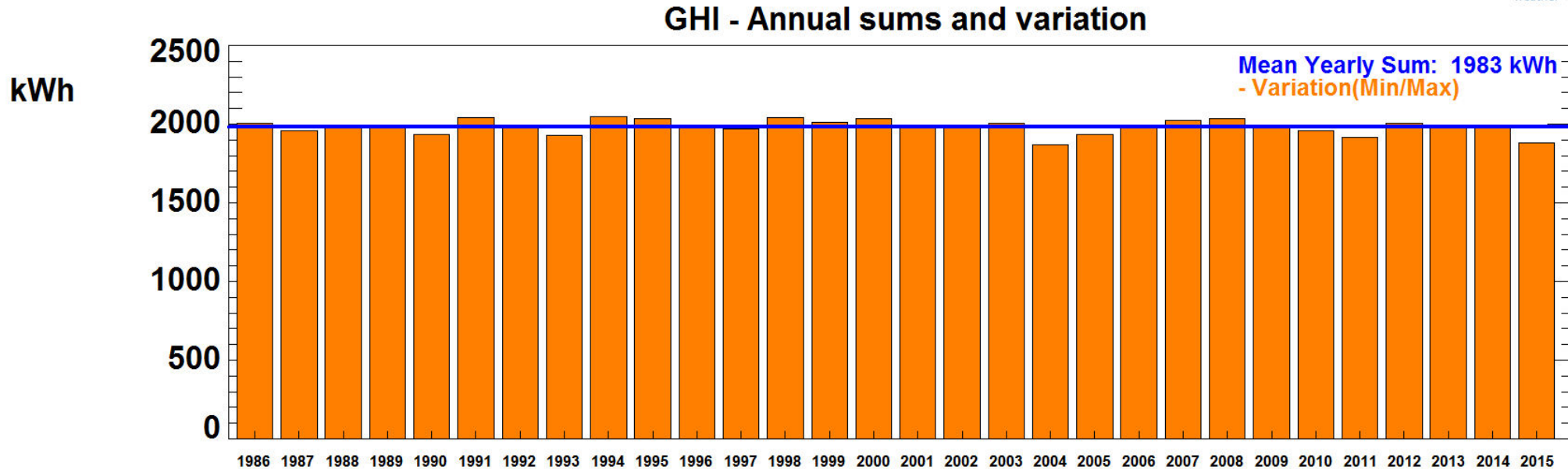
CAB 51.97 N / 4.930 E



**Jahr zu Jahr Variation nimmt mit Bewölkung zu**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Iza (ES)

IZA 28.31 N / -16.5 E

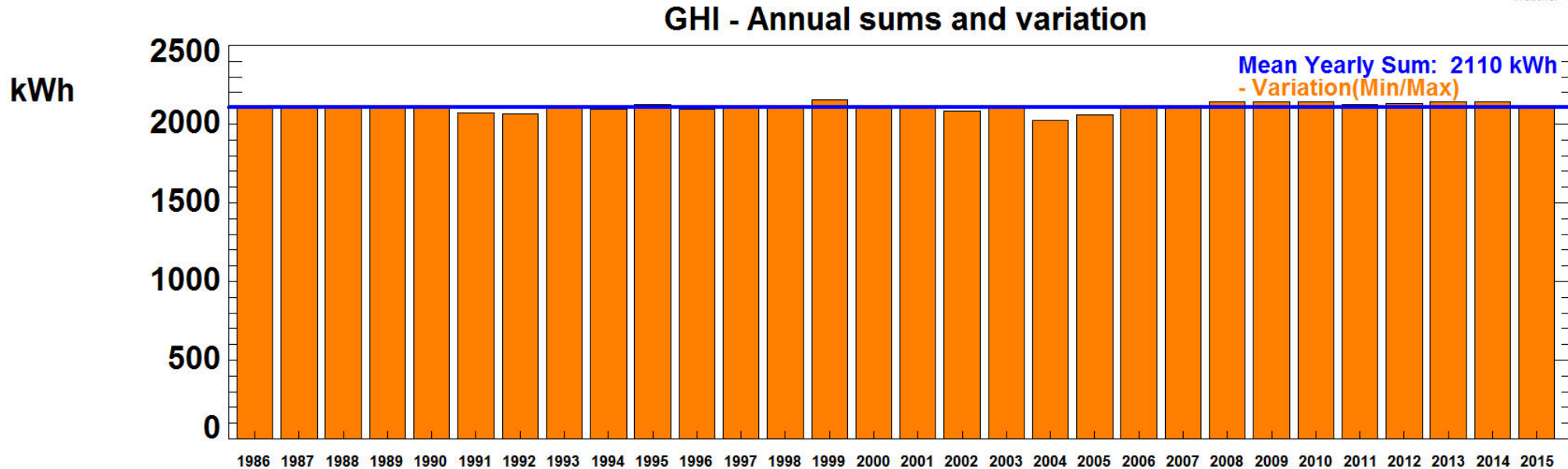


**Jahr zu Jahr Variation nimmt mit Bewölkung zu**



# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Sede B.(IS)

SBO 30.86 N / 34.78 E

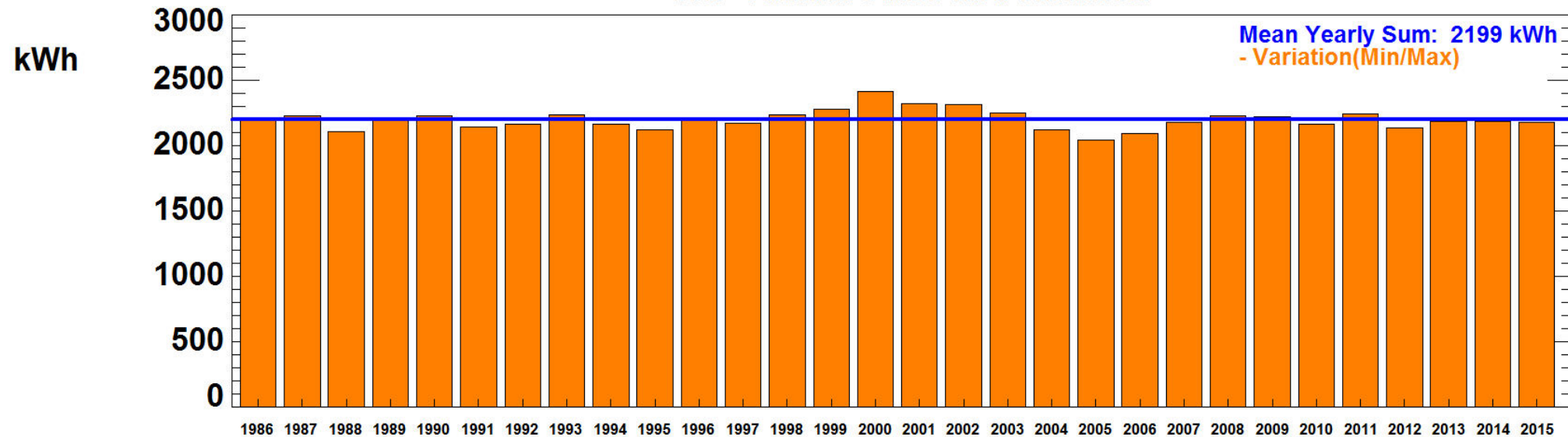


Jahr zu Jahr Variation nimmt mit Bewölkung zu

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Ouaga (BF)

Ouagadougou 12.37 N / -1.53 E

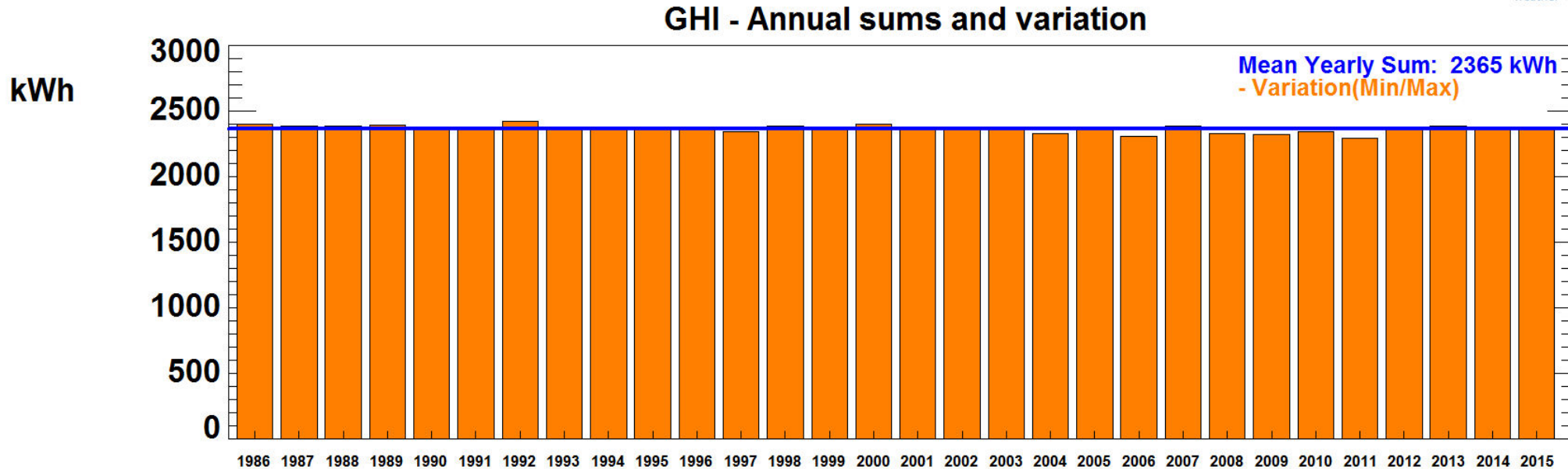
GHI - Annual sums and variation



Jahr zu Jahr Variation nimmt mit Bewölkung zu

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Gobabeb (NA)

GOB -23.5 N / 15.04 E

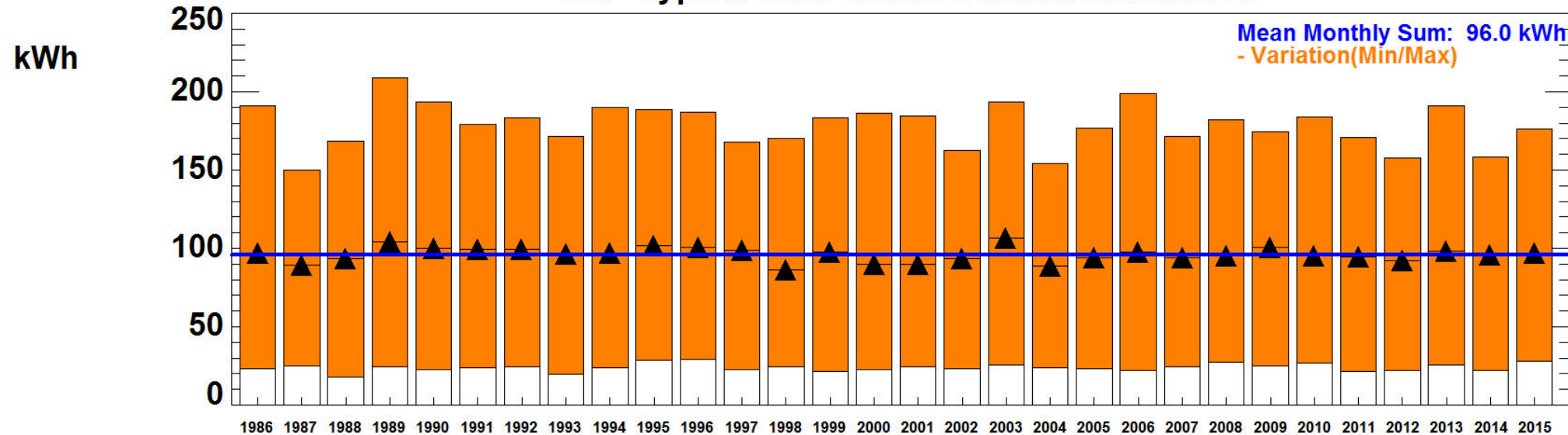


Jahr zu Jahr Variation nimmt mit Bewölkung zu

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Cabauw (NL)

CAB 51.97 N / 4.930 E

GHI - Typical intra- and interannual distribution

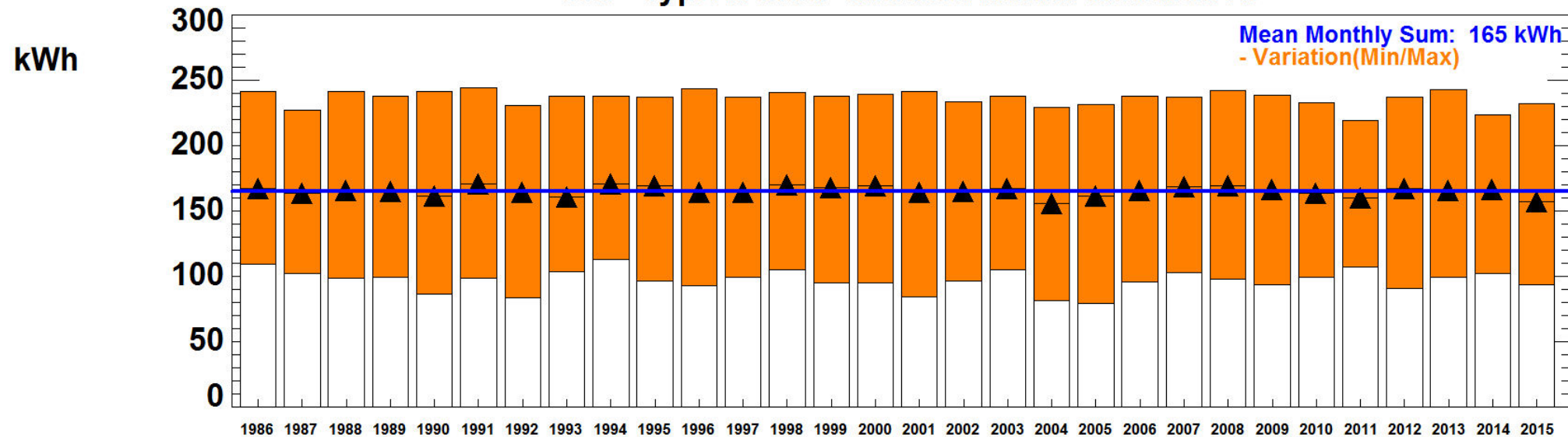


**Inter- und Intraannuelle Variabilität nimmt mit Bewölkung zu**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Iza (ES)

IZA 28.31 N / -16.5 E

GHI - Typical intra- and interannual distribution

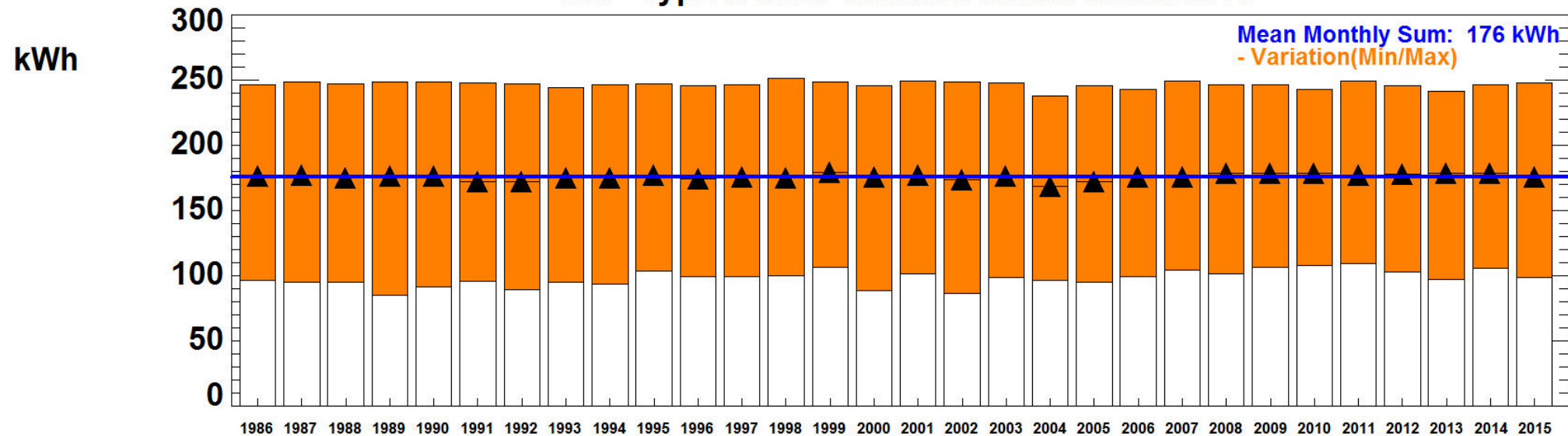


**Inter- und Intraannuelle Variabilität nimmt mit Bewölkung zu**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Sede B.(IS)

SBO 30.86 N / 34.78 E

GHI - Typical intra- and interannual distribution



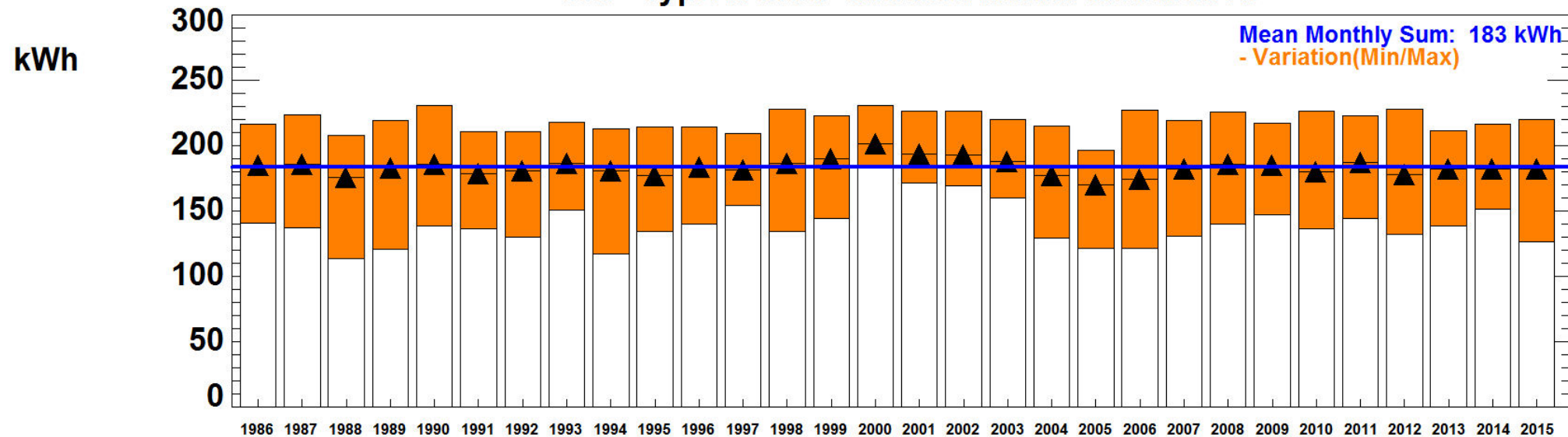
Inter- und Intraannuelle Variabilität nimmt mit Bewölkung zu



# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Ouaga (BF)

Ouagadougou 12.37 N / -1.53 E

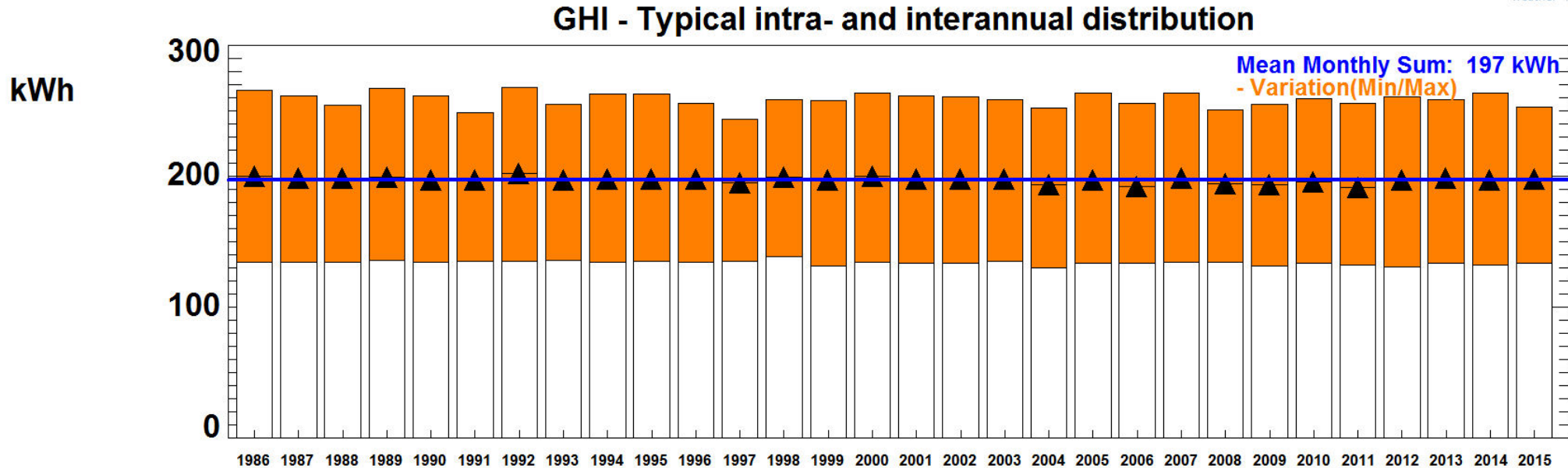
GHI - Typical intra- and interannual distribution



**Inter- und Intraannuelle Variabilität nimmt mit Bewölkung zu**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Gobabeb (NA)

GOB -23.5 N / 15.04 E

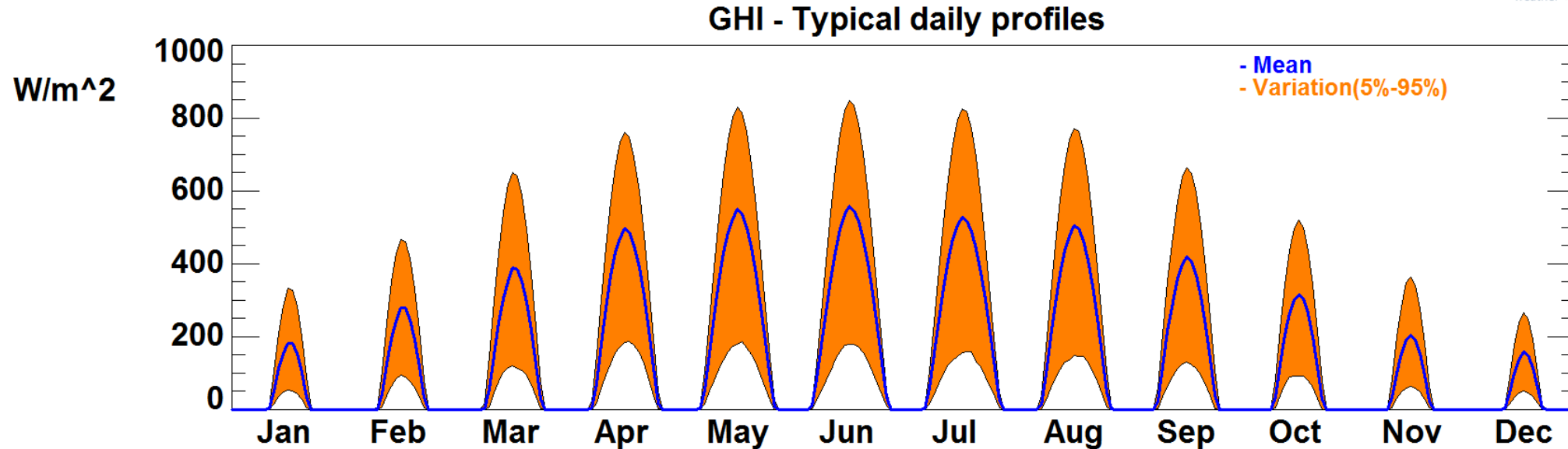


Inter- und Intraannuelle Variabilität nimmt mit Bewölkung zu



# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Cabauw (NL)

CAB 51.97 N / 4.930 E

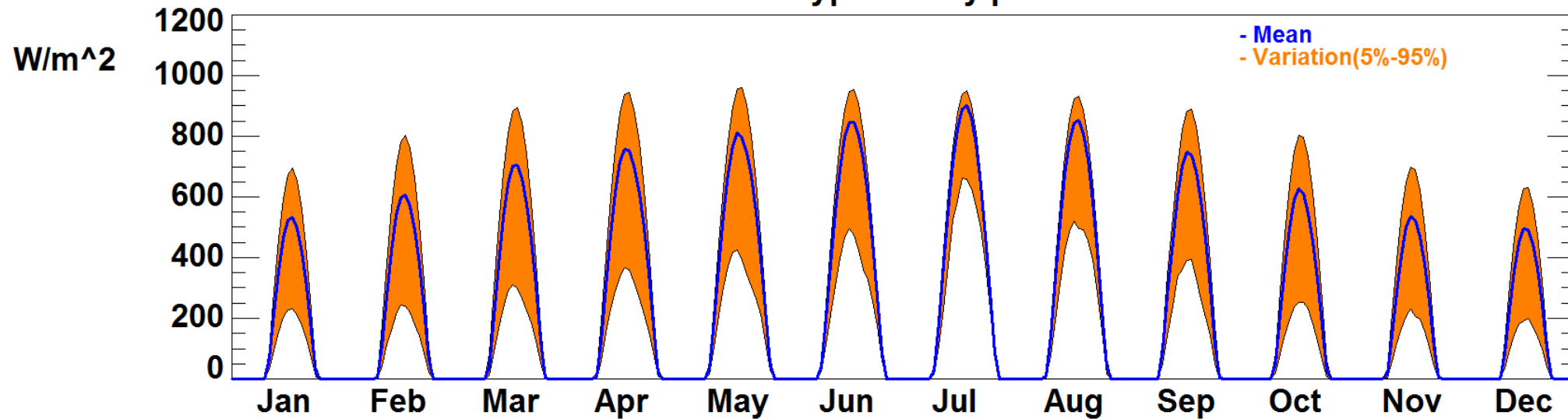


**Variabilität des Tagesverlauf ist Mikroklima spezifisch**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Iza (ES)

IZA 28.31 N / -16.5 E

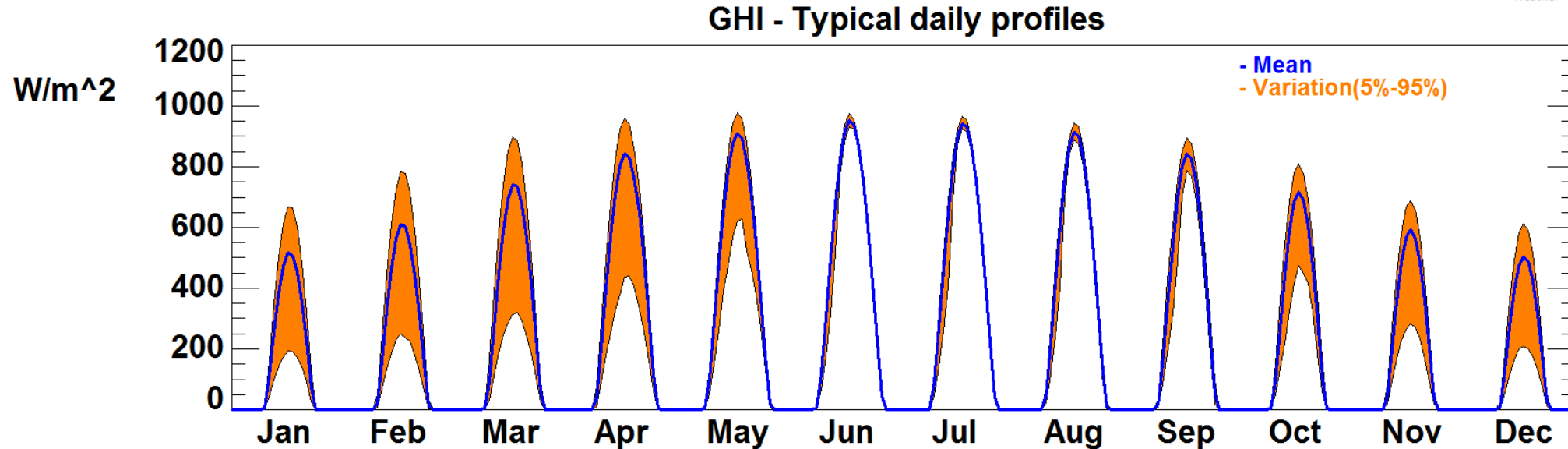
GHI - Typical daily profiles



**Variabilität des Tagesverlauf ist Mikroklima spezifisch**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Sede B.(IS)

SBO 30.86 N / 34.78 E

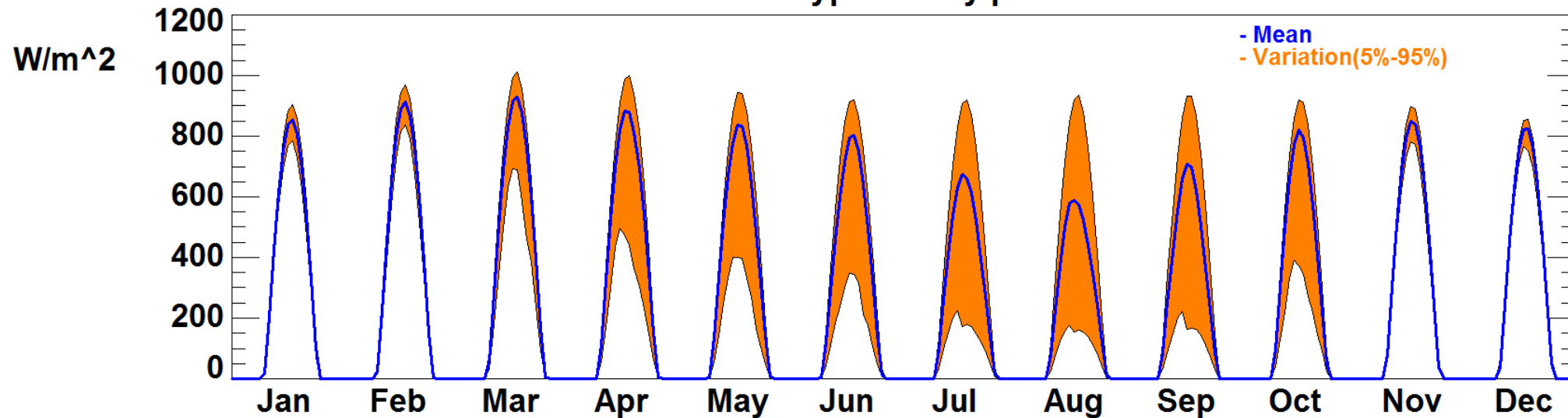


**Variabilität des Tagesverlauf ist Mikroklima spezifisch**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Ouaga (BF)

Ouagadougou 12.37 N / -1.53 E

GHI - Typical daily profiles

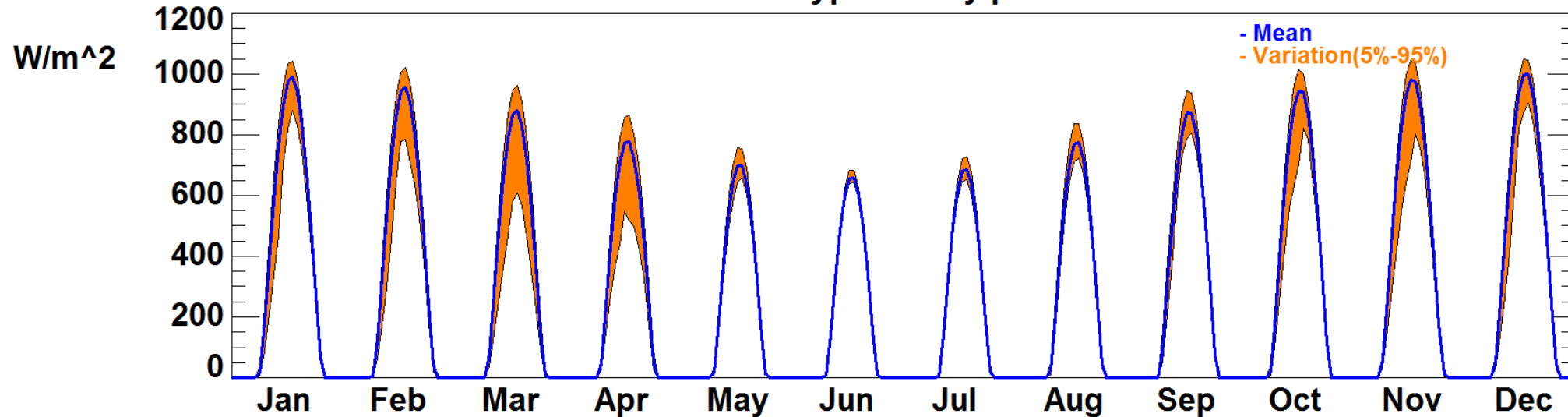


**Variabilität des Tagesverlauf ist Mikroklima spezifisch**

# Ergebnisse – Standortspezifische Analysen: Gobabeb (NA)

GOB -23.5 N / 15.04 E

GHI - Typical daily profiles



**Variabilität des Tagesverlauf ist Mikroklima spezifisch**



# Weltweite Variabilität der Einstrahlung und Konsequenzen für die Solarstromerzeugung

- **Relevanz und Ziele der Studie**
- **Methodenüberblick**
- **Datenvalidierung**
- **Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**

# Schlussfolgerungen für Strahlungswechsel

- Fehlergrößen der Simulation plausibel und mit früheren Validierungen vergleichbar
- Häufigkeit von Wetterwechseln an 90 % der Orte mit Simulationen reproduzierbar
- Starker Zusammenhang zwischen Variabilität und Modellfehler
- Modell ermöglicht hochaufgelöste Abbildung des Strahlungsklimas
- **Variabilität des Strahlungswetters ist standortspezifisch:**
  - Saisonale Schwankungen sind je nach Standort und von Jahr zu Jahr unterschiedlich
  - Bewölkung erhöht die Inter- und Intraannuelle Variabilität des Strahlungswetters
  - Variabilität des saisonalen Tagesverlaufes spezifisch für das lokale Mikroklima
- Simulationen bilden die Eigenheiten von Standorten flächendeckend ab
- Gute Basis für Planung von PV-Anlagen-Auslegung und Speicherstrategien

Noch Fragen?

Herzlichen Dank für ihre Aufmerksamkeit!