Das Projekt VERIMA:

SCADA-Daten Analyse und Windatlas-Verifikation

27. Windenergietage in Linstow

Axel Weiter & Martin Schneider

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
www.anemos.de

NBank

anemos
competence in wind power meteorology

VERIMA Kurzporträt:

- Nachweis der Genauigkeit (Verifikation) des

VERIMA Kurzporträt:

- Nachweis der Genauigkeit (Verifikation) des
  - ➢ Windatlas

Dieses Projekt wird mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert.

VERIMA

Nachweis der Genauigkeit des Wind- und Marktwertatlas durch Verifikation anhand von realen Produktionsdaten

Niedersachsen

www.europa-fuer-niedersachsen.de

VERIMA Kurzporträt:

- Nachweis der Genauigkeit (Verifikation) des
  - Windatlas
  - Marktwertatlas

VERIMA Kurzporträt:

- Nachweis der Genauigkeit (Verifikation) des
  - Windatlas
  - Marktwertatlas
- anhand von realen Produktionsdaten (SCADA-Daten)

Verifikation von Modell-Daten

Überprüfung, ob ein **Modell**
den **gestellten Anforderungen** gerecht wird

Verifikation von Modell-Daten

Überprüfung, ob ein **Modell**
den **gestellten Anforderungen** gerecht wird

Verifikation von Modell-Daten

Überprüfung, ob ein **Modell**
den **gestellten Anforderungen** gerecht wird

- „so gut wie möglich“

Verifikation von Modell-Daten

Überprüfung, ob ein **Modell**
den **gestellten Anforderungen** gerecht wird

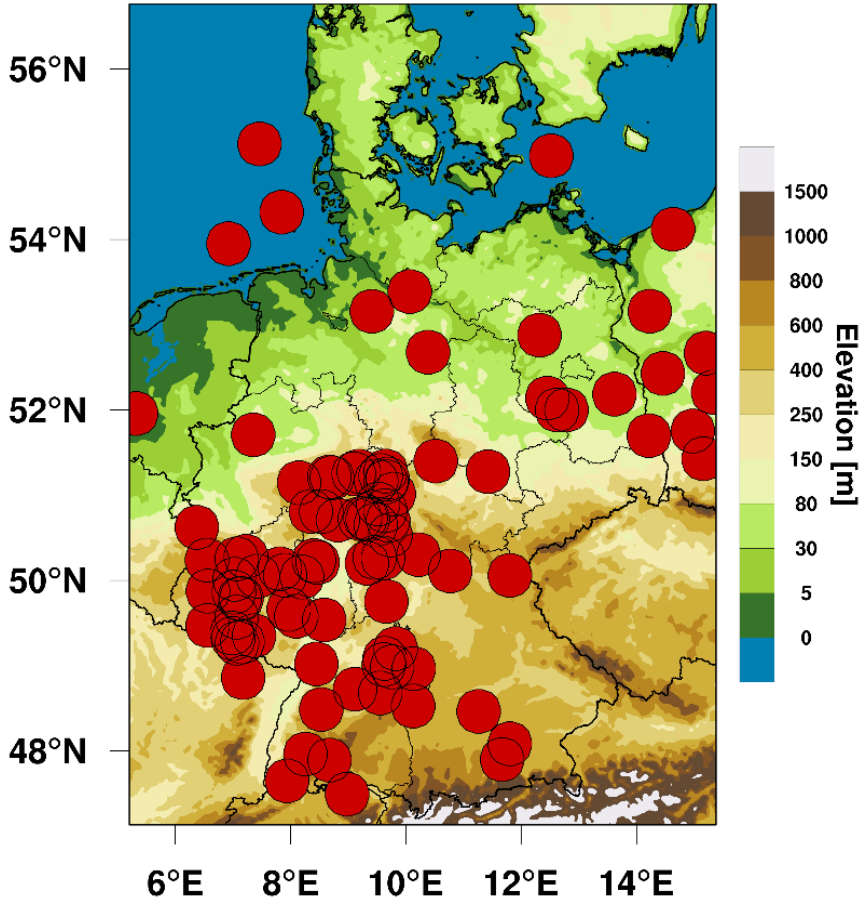
- „so gut wie möglich“
- ±20% im Ertrag, um ungefähr die Unsicherheit von Gutachten zu erreichen

Verifikation von Modell-Daten

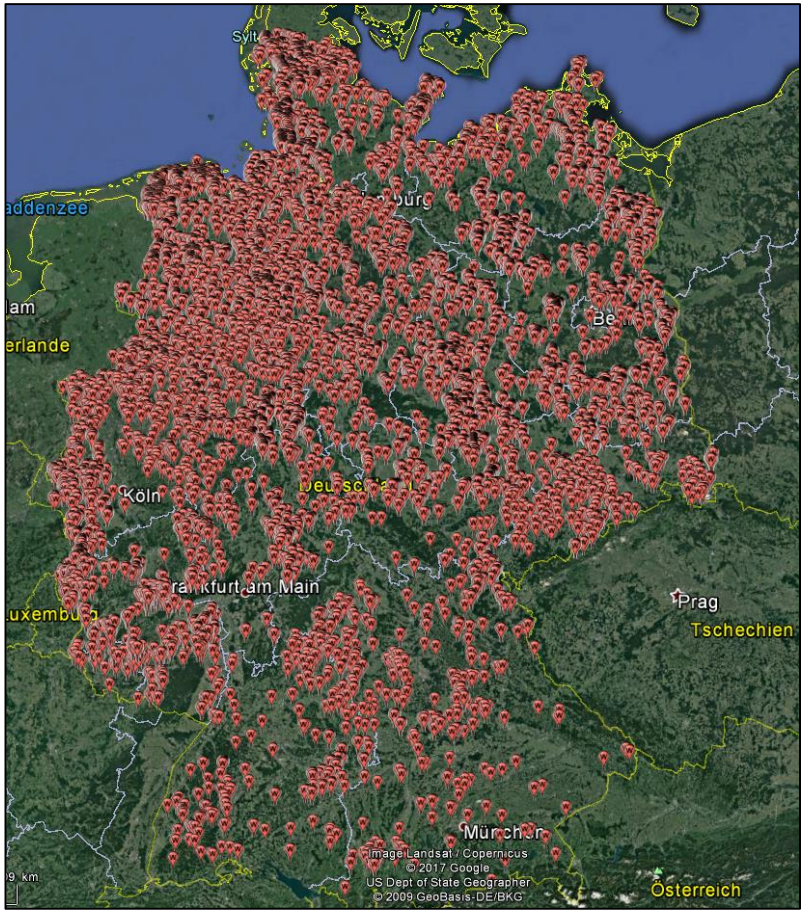
Überprüfung, ob ein **Modell**
den **gestellten Anforderungen** gerecht wird

- „so gut wie möglich“
- ±20% im Ertrag, um ungefähr die Unsicherheit von Gutachten zu erreichen
- Herkömmlicher Ansatz der Verifikation:
  - Modell-Wind mit Windmessungen verifizieren…
  - ...aber:

Windmessungen > 100 m
~ 100



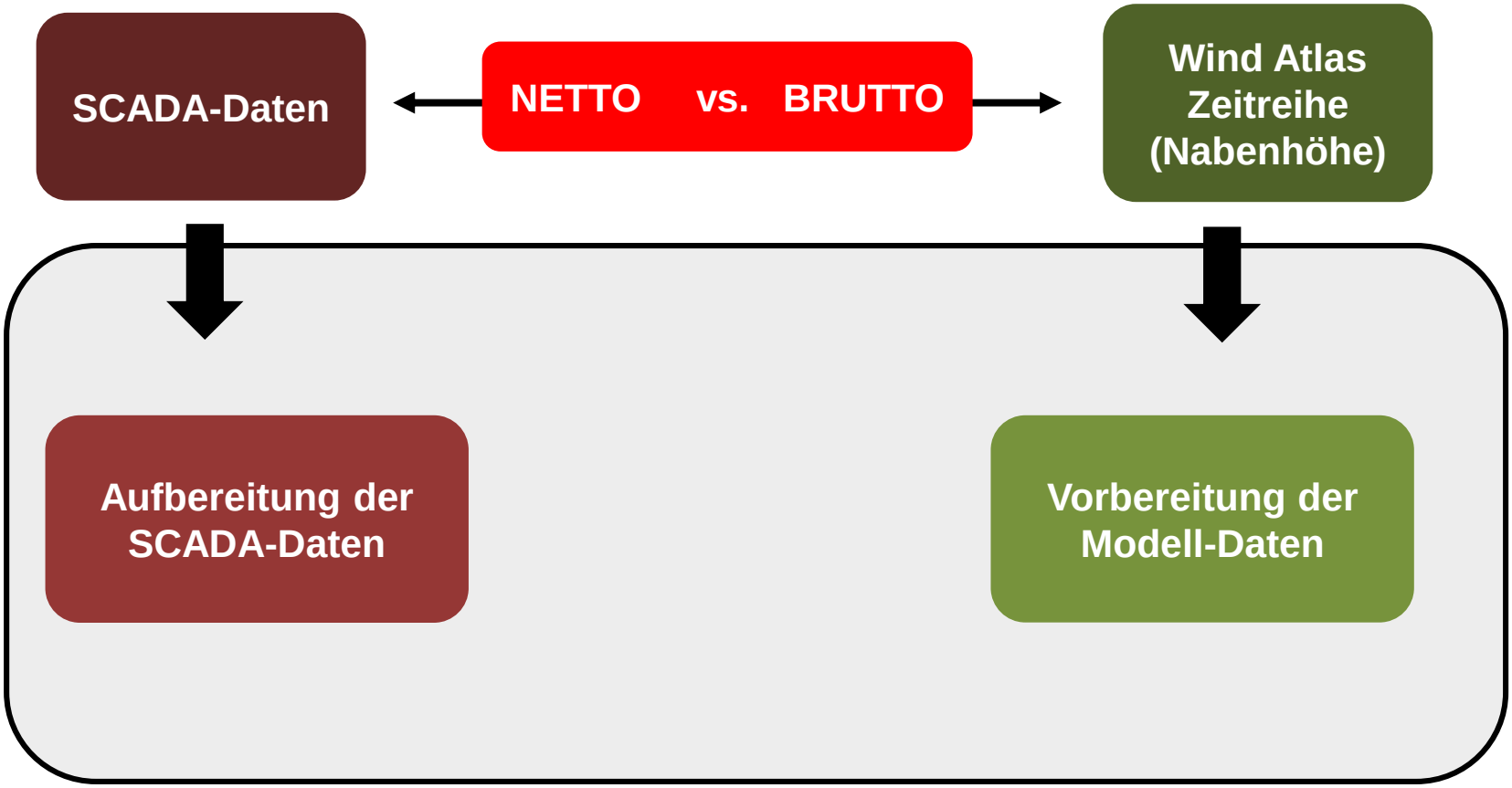
Windenergieanlagen
> 27.000



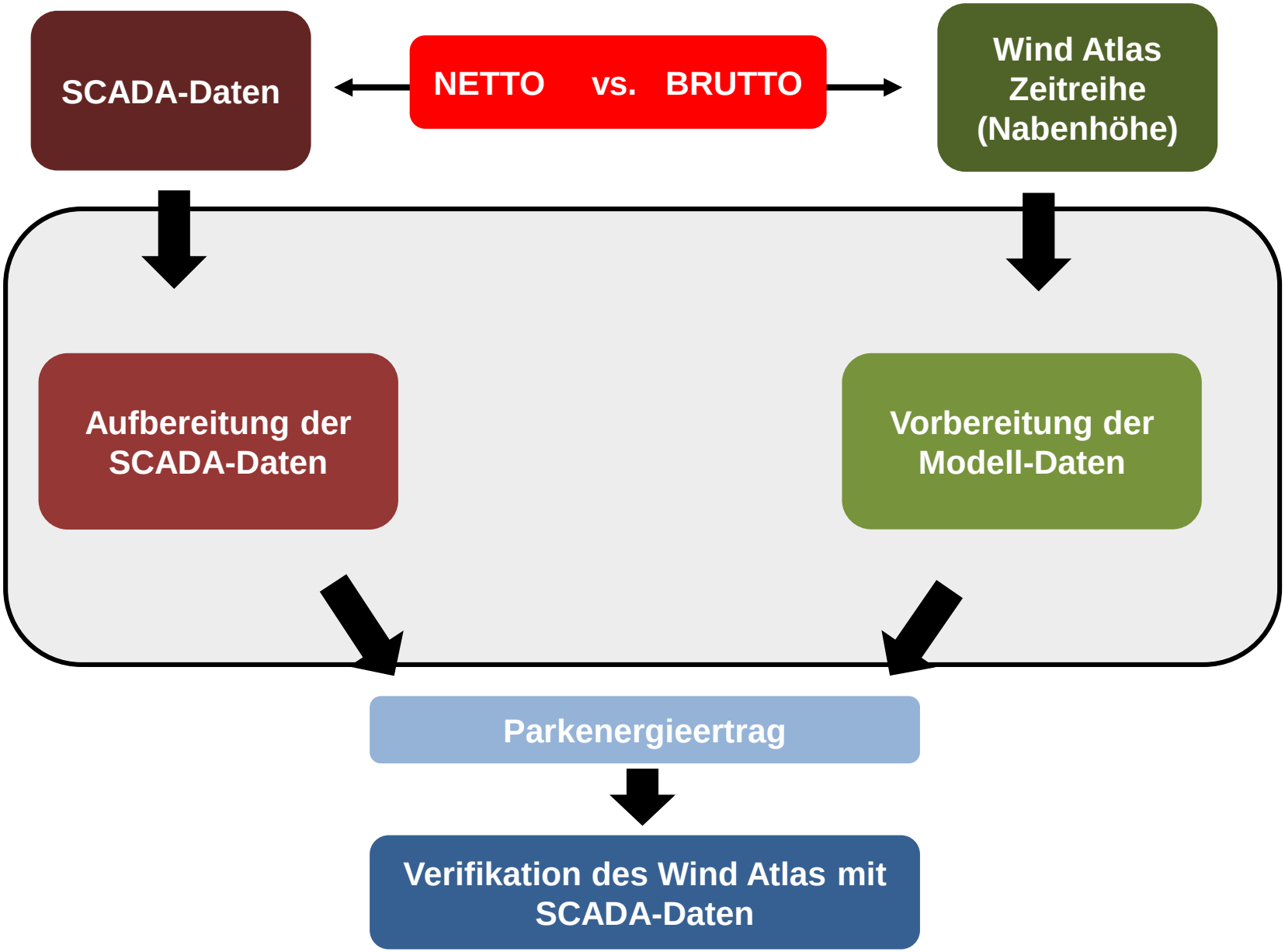
Übersicht

SCADA-Daten ← NETTO vs. BRUTTO → Wind Atlas Zeitreihe (Nabenhöhe)

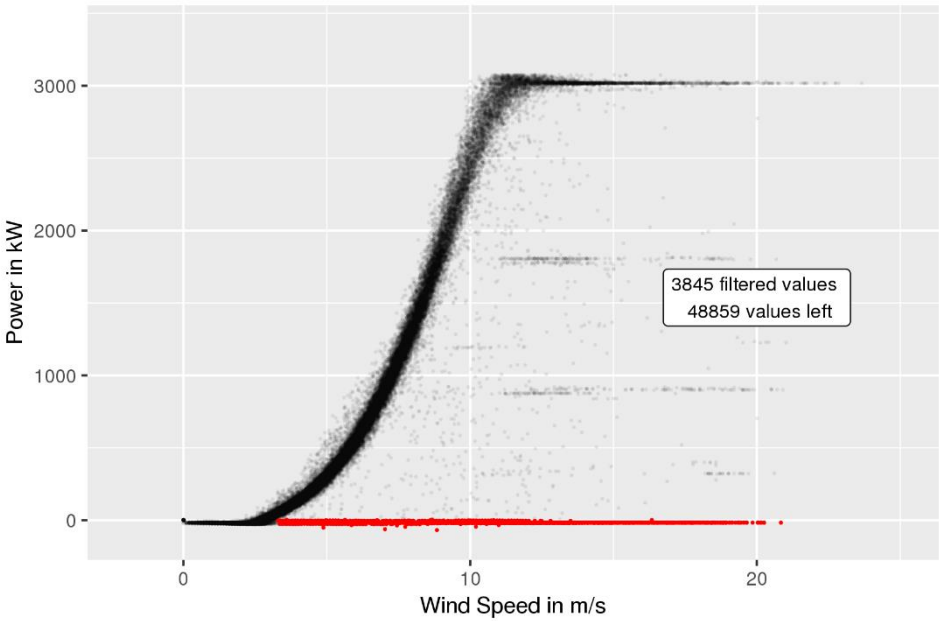
Übersicht


SCADA-Daten
NETTO vs. BRUTTO
Wind Atlas Zeitreihe (Nabenhöhe)
Aufbereitung der SCADA-Daten
Vorbereitung der Modell-Daten

Übersicht

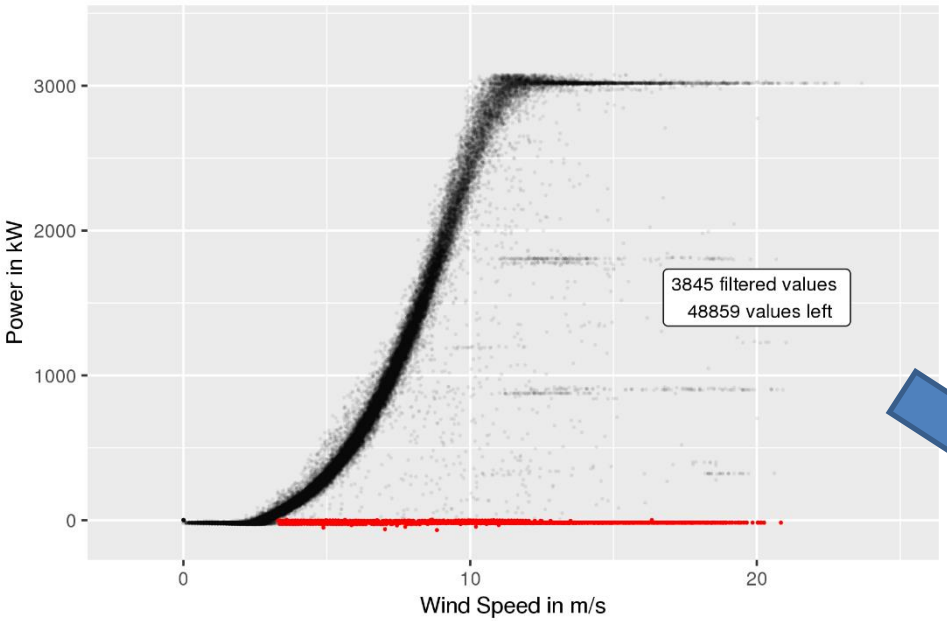

SCADA-Daten
NETTO vs. BRUTTO
Wind Atlas Zeitreihe (Nabenhöhe)
Aufbereitung der SCADA-Daten
Vorbereitung der Modell-Daten
Parkenergieertrag
Verifikation des Wind Atlas mit SCADA-Daten

Aufbereitung der **SCADA-Daten**

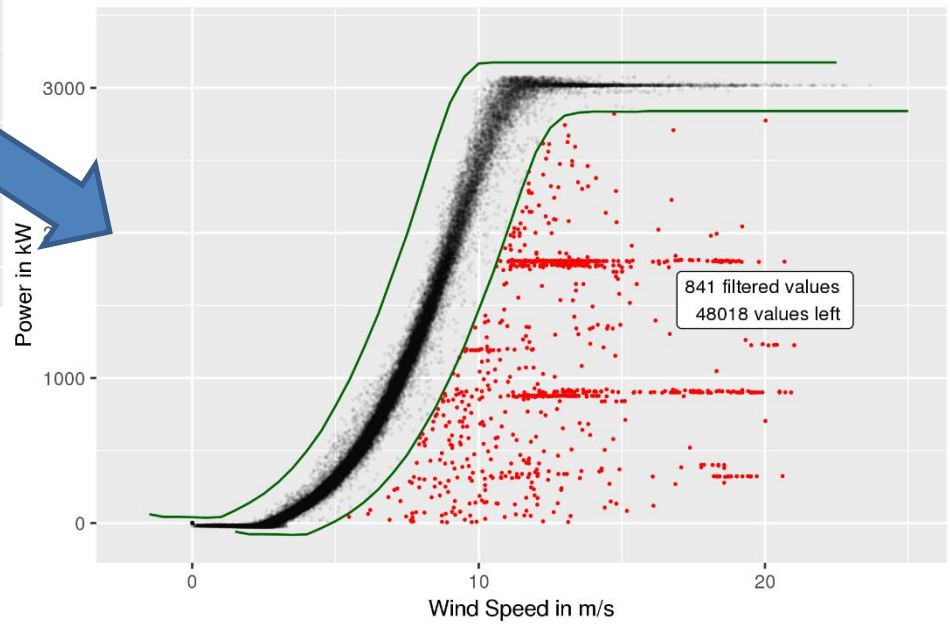


- Filterung der Stillstandzeiten (Vereisung, Restriktionen,...)

Aufbereitung der **SCADA-Daten**



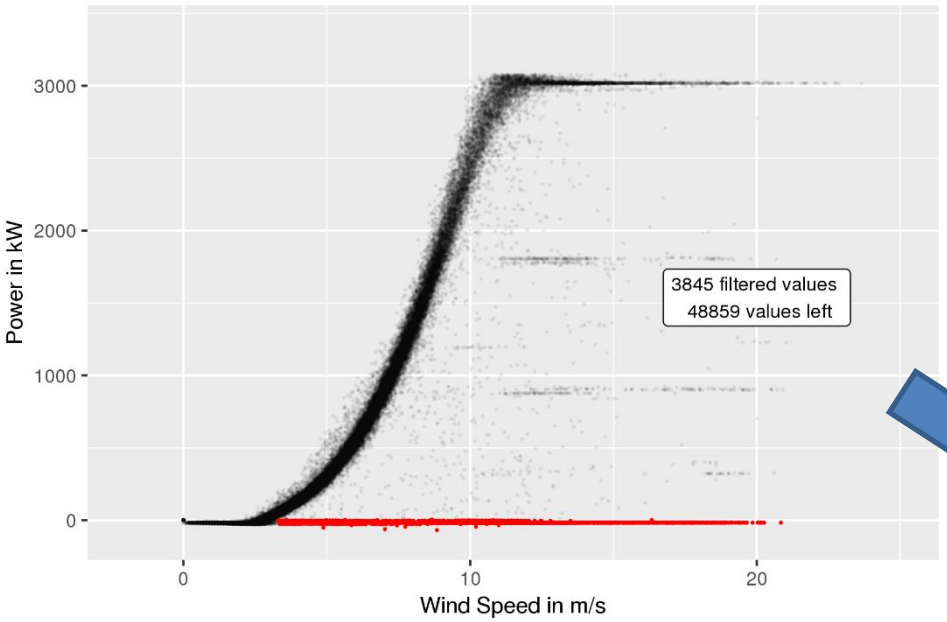
- Filterung der Stillstandzeiten (Vereisung, Restriktionen,...)



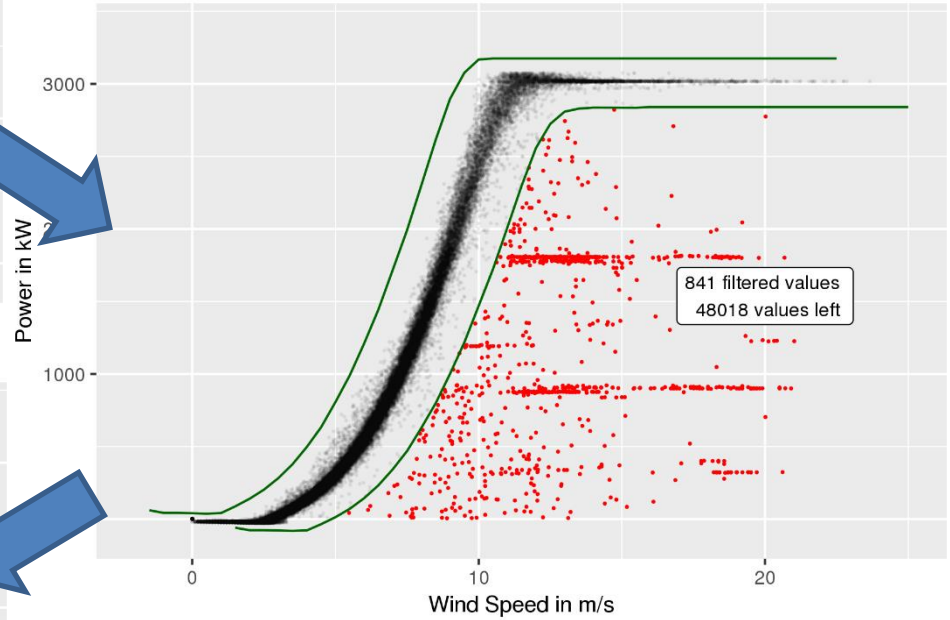
Restliche Filterung:

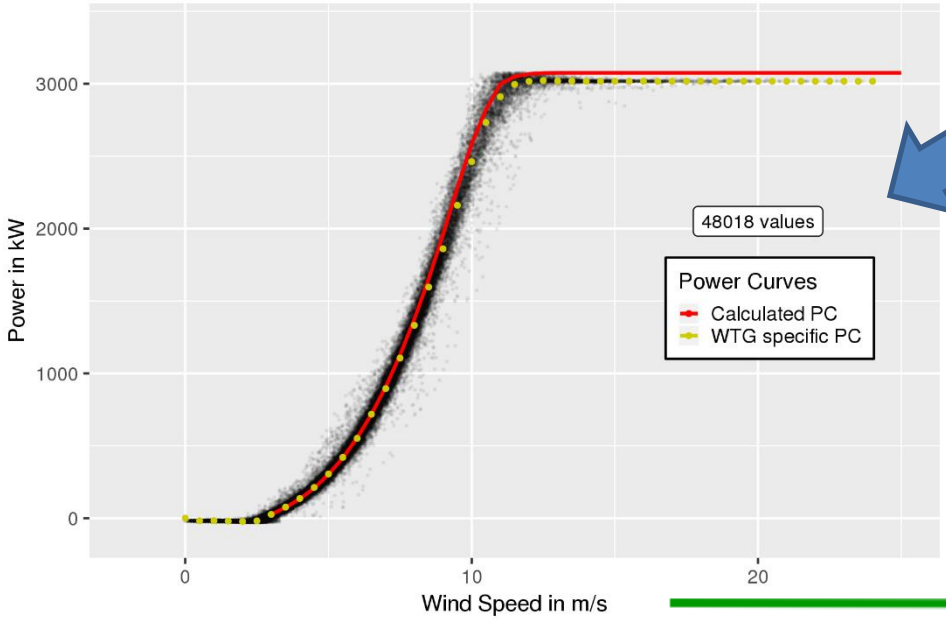
- An- und Abschaltvorgänge
- reduzierte Betriebszustände (EinsMan…)

Aufbereitung der **SCADA-Daten**



- Filterung der Stillstandzeiten (Vereisung, Restriktionen,...)





Restliche Filterung:

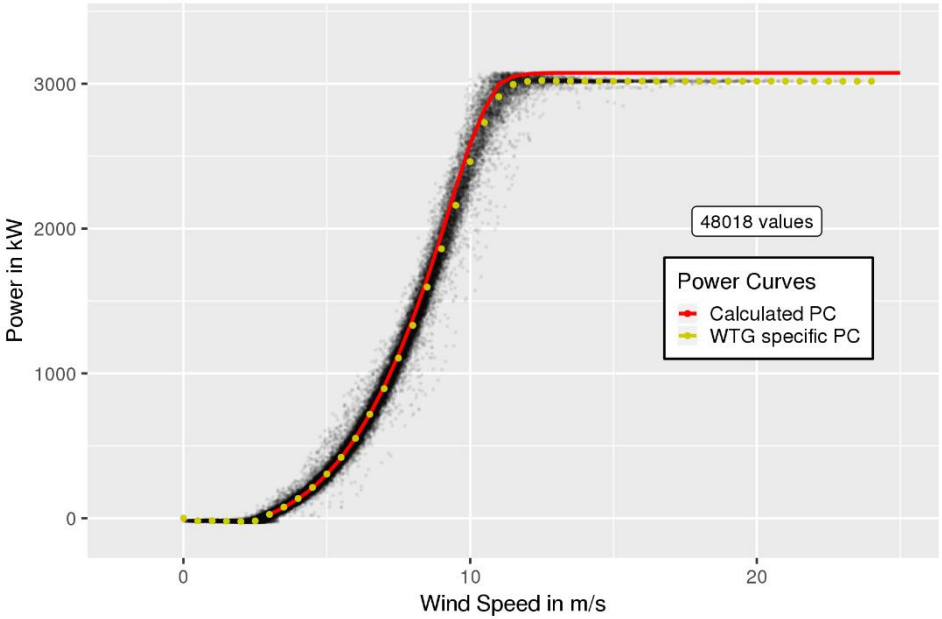
- An- und Abschaltvorgänge
- reduzierte Betriebszustände (EinsMan…)

Datensatz, der ausschließlich Normalbetrieb enthält

Aufbereitung der **SCADA-Daten**

- Zeitreihe (10 min) des Ertrages **ohne Fehlwerte** unbedingt nötig

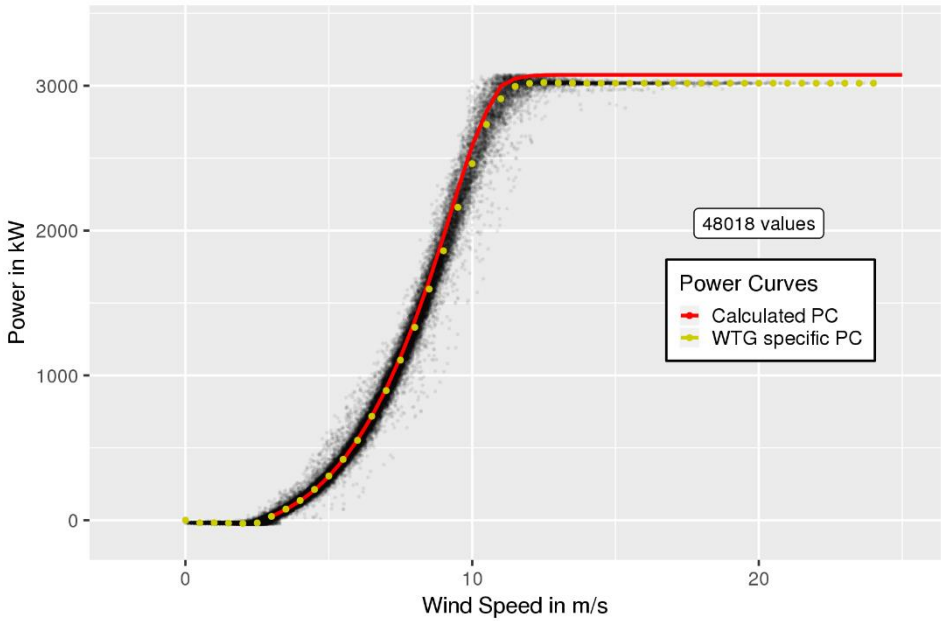
➡ Für die Verifikation des Marktwertatlas
(beinhaltet **Summieren** zu Monatswerten)



Aufbereitung der **SCADA-Daten**

- Zeitreihe (10 min) des Ertrages **ohne Fehlwerte** unbedingt nötig

➡ Für die Verifikation des Marktwertatlas (beinhaltet **Summieren** zu Monatswerten)

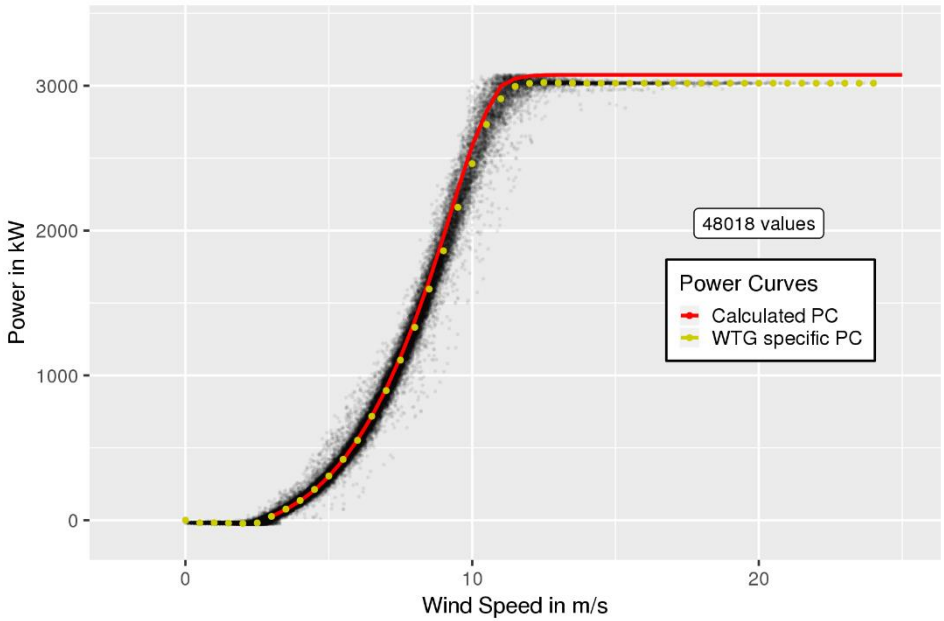


- Angelehnt an die TR10, Rev0
- Gondelanemometer-Windgeschw. wird bei Abweichung von Normalbetrieb nicht verwendet

Aufbereitung der **SCADA-Daten**

- Zeitreihe (10 min) des Ertrages **ohne Fehlwerte** unbedingt nötig

➡ Für die Verifikation des Marktwertatlas (beinhaltet **Summieren** zu Monatswerten)

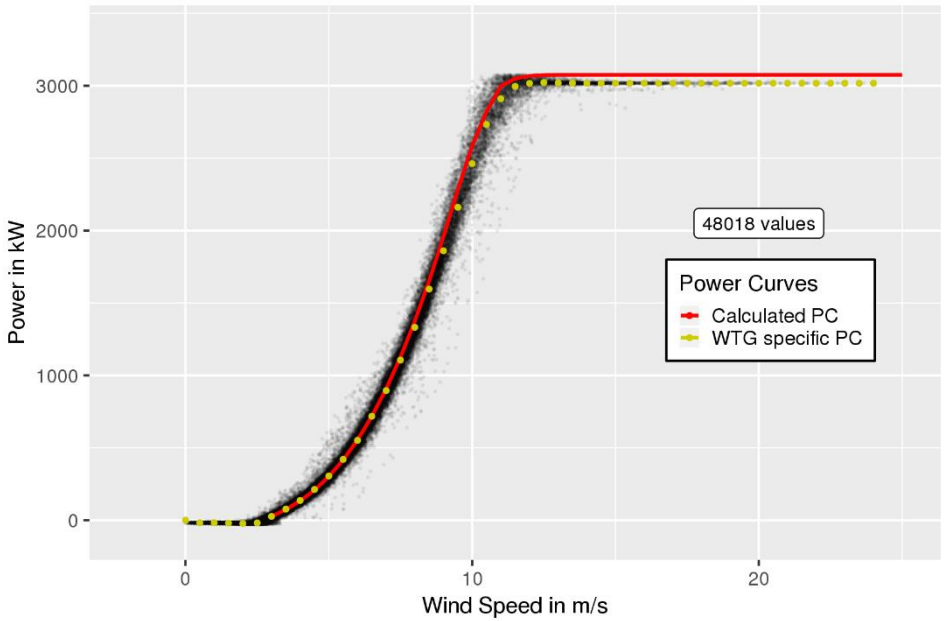


- Angelehnt an die TR10, Rev0
- Gondelanemometer-Windgeschw. wird bei Abweichung von Normalbetrieb nicht verwendet
- Auffüllen der Windgeschw.
  - ➢ in erster Instanz: Nachbar-WEA (Gondelanemometer) ➡
  - ➢ In zweiter Instanz: Reanalysedaten ➡

Aufbereitung der **SCADA-Daten**

- Zeitreihe (10 min) des Ertrages **ohne Fehlwerte** unbedingt nötig

➡ Für die Verifikation des Marktwertatlas (beinhaltet **Summieren** zu Monatswerten)

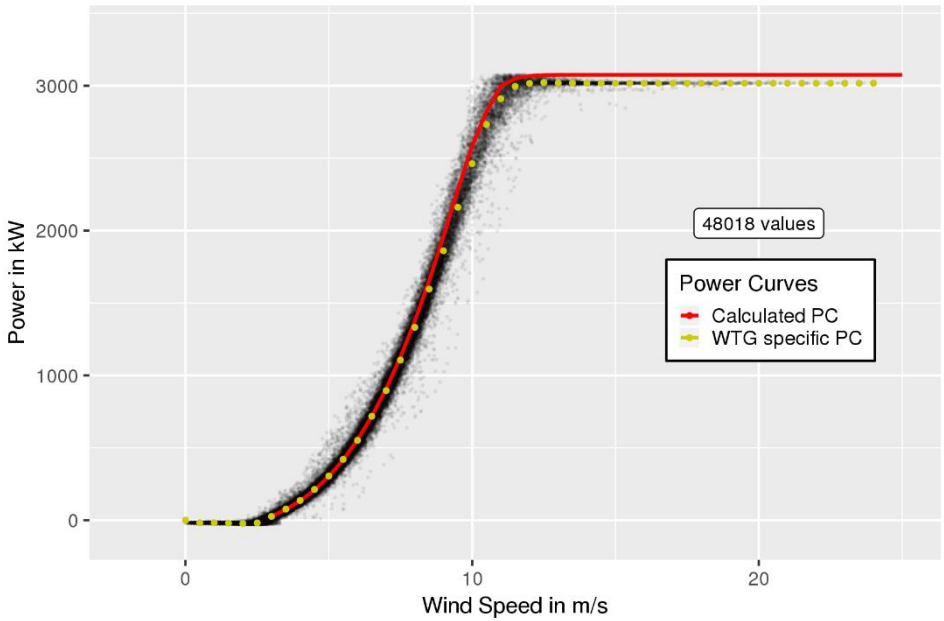


- Angelehnt an die TR10, Rev0
- Gondelanemometer-Windgeschw. wird bei Abweichung von Normalbetrieb nicht verwendet
- Auffüllen der Windgeschw.
  - ➡ in erster Instanz: Nachbar-WEA (Gondelanemometer)
  - ➡ In zweiter Instanz: Reanalysedaten
- über lineare Regression
  - monatsweise
  - sektorweise

Aufbereitung der **SCADA-Daten**

- Zeitreihe (10 min) des Ertrages **ohne Fehlwerte** unbedingt nötig

➡ Für die Verifikation des Marktwertatlas (beinhaltet **Summieren** zu Monatswerten)



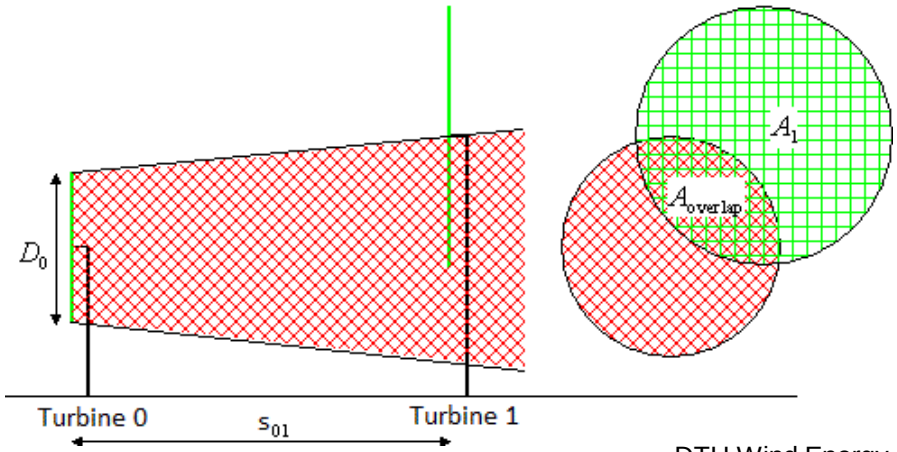
Aufgefüllte Zeitschritte der Windgeschw.

➕ anlagenspez. Kennlinie (gelb)

➡ Vollständig aufgefüllte Ertragszeitreihe

- Angelehnt an die TR10, Rev0
- Gondelanemometer-Windgeschw. wird bei Abweichung von Normalbetrieb nicht verwendet
- Auffüllen der Windgeschw.
  - ➡ in erster Instanz: Nachbar-WEA (Gondelanemometer)
  - ➡ In zweiter Instanz: Reanalysedaten
- über lineare Regression
  - monatsweise
  - sektorweise

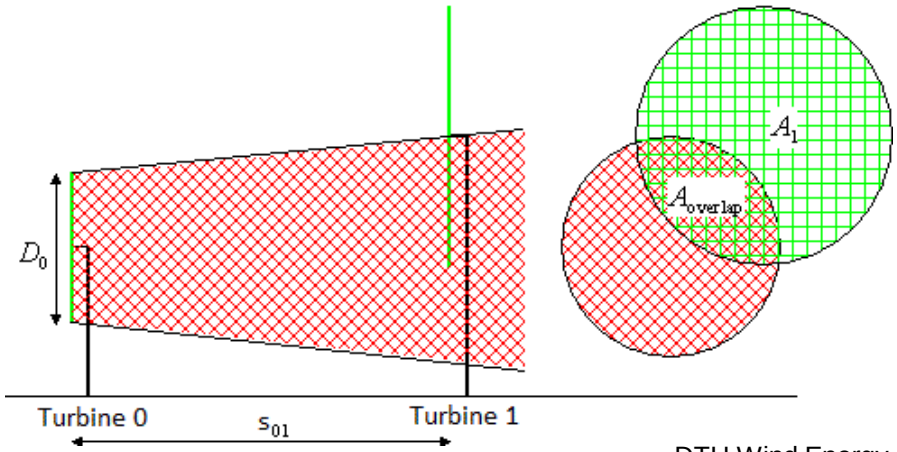
- auf Zeitreihen-Basis (10 min):
  - ➢ Koppelung der **Modelldaten** mit Wake-Modell



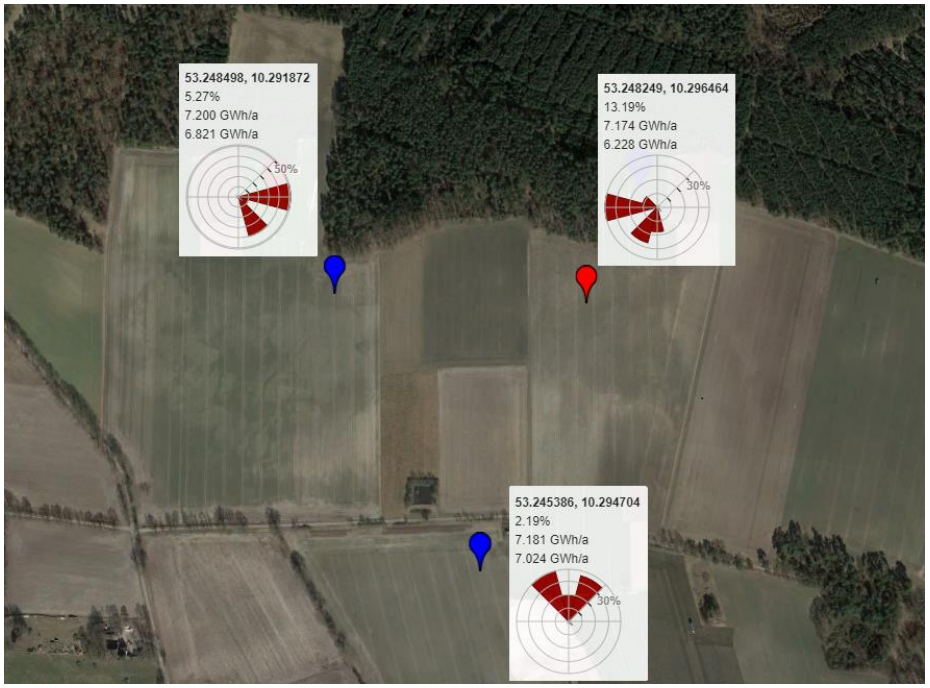
DTU Wind Energy

aus anemos Webtool „awis“

- auf Zeitreihen-Basis (10 min):
  - ➢ Koppelung der **Modelldaten** mit Wake-Modell



DTU Wind Energy



aus anemos Webtool „awis“

Output:

- Windgeschwindigkeits - Zeitreihe, reduziert um die Wake-Effekte

- Luftdichte-Korrektur

$$u_{\rho_0} = u \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\rho_0 = 1.225 \; kgm^{-3}$$

- Luftdichte-Korrektur

$$u_{\rho_0} = u \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\rho_0 = 1.225 \; kgm^{-3}$$

Zeitreihe der Windgeschw. inkl. Wake-Effekte

\+ Vermessene Kennlinie

→ Ertragszeitreihe inkl. Wake-Effekte

} **Modell-Daten**

- Luftdichte-Korrektur

$$u_{\rho_0} = u \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\rho_0 = 1.225 \; kgm^{-3}$$

Zeitreihe der Windgeschw. inkl. Wake-Effekte

\+ Vermessene Kennlinie

→ Ertragszeitreihe inkl. Wake-Effekte

} **Modell-Daten**

→ Vollständig aufgefüllte Ertragszeitreihe

SCADA-Daten

- Luftdichte-Korrektur

$$u_{\rho_0} = u \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\rho_0 = 1.225 \; kgm^{-3}$$

Zeitreihe der Windgeschw. inkl. Wake-Effekte

\+ Vermessene Kennlinie

→ Ertragszeitreihe inkl. Wake-Effekte

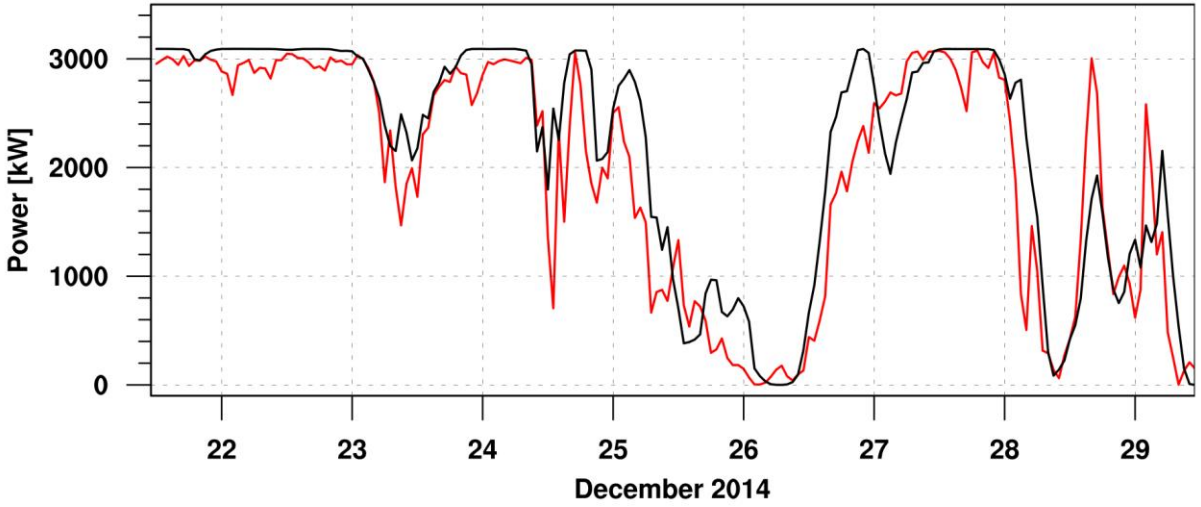
Modell-Daten

↑ konsistent ↓

→ Vollständig aufgefüllte Ertragszeitreihe

SCADA-Daten

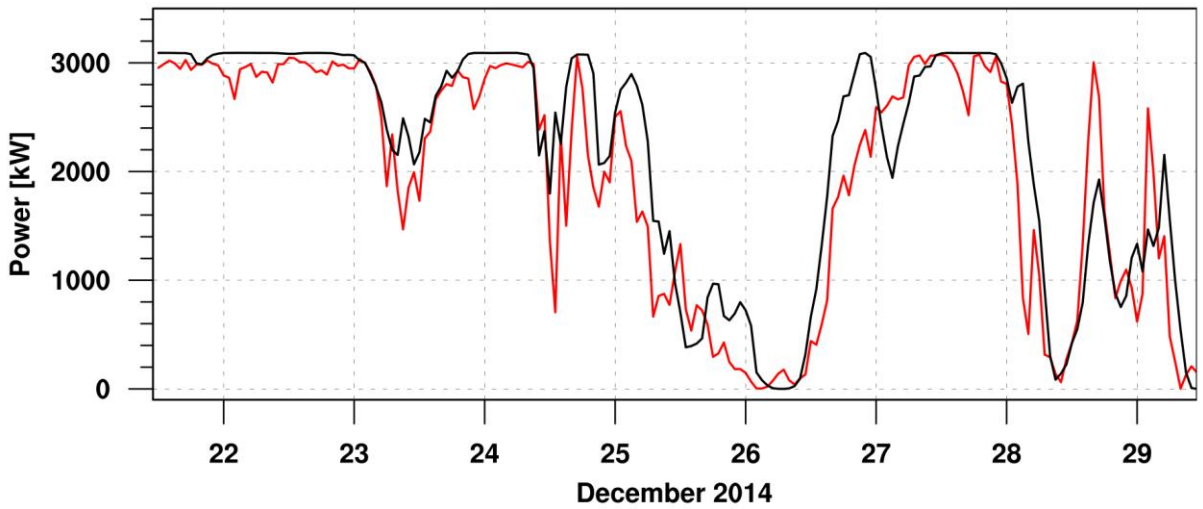
Verifikation



Vergleich der Zeitreihen einer WEA:

SCADA-Daten

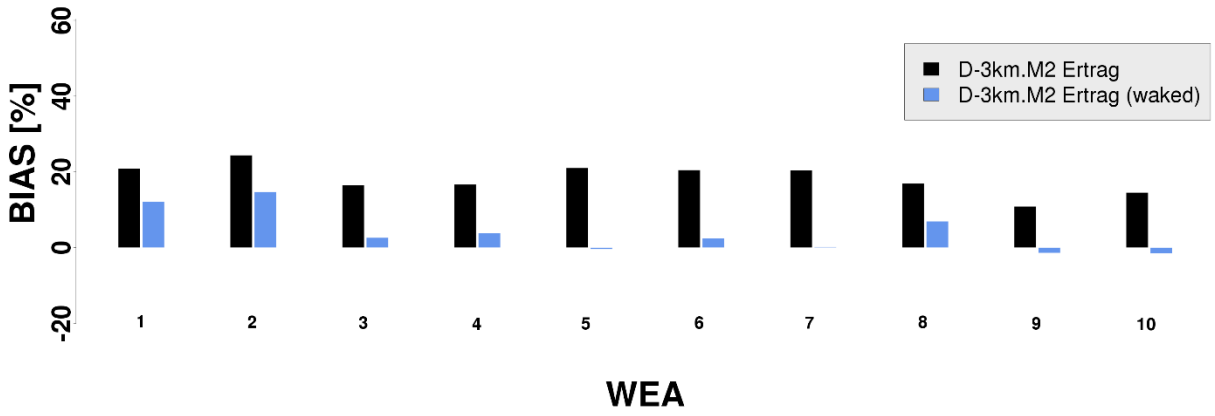
Modell-Daten



Vergleich der Zeitreihen einer WEA:

SCADA-Daten

Modell-Daten



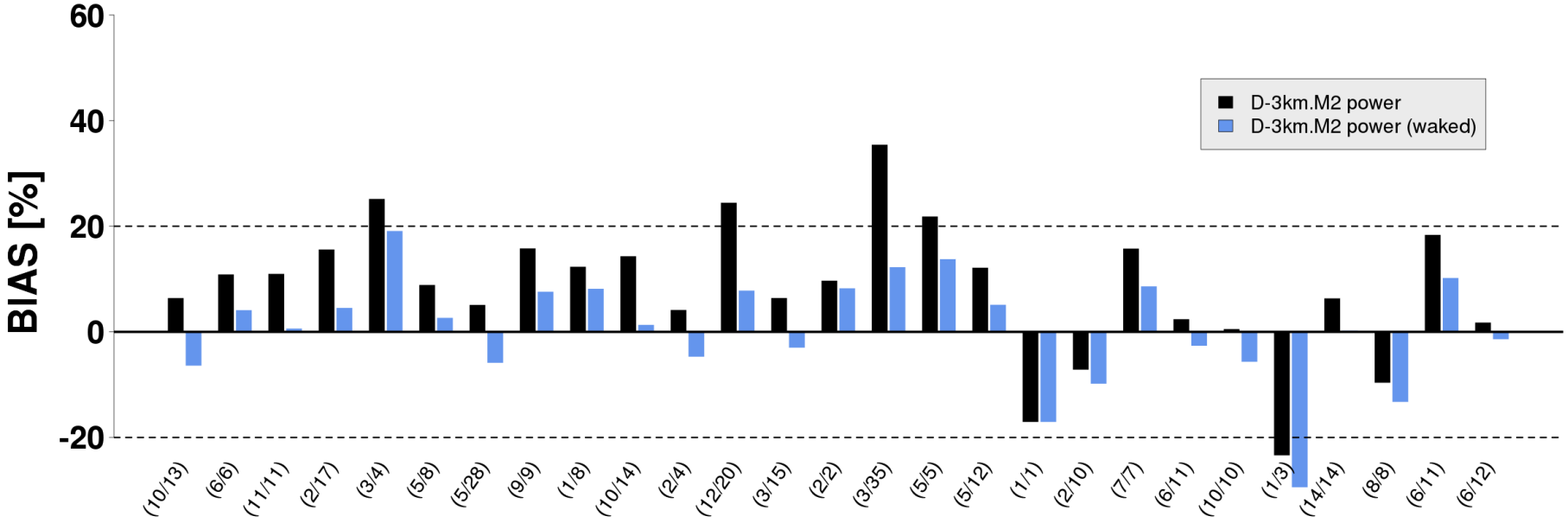
Vergleich der einzelnen WEA des Windparks

- **VERIMA-Projekt**:
  - 27 Windparks, ca. 150 WEA,
  - mindestens 1 vollständiges Jahr

- **VERIMA-Projekt**:
  - 27 Windparks, ca. 150 WEA,
  - mindestens 1 vollständiges Jahr

- Nachweis, dass über 95% der Windparks innerhalb von ±20% liegen

- Korrelation, RMSE,….



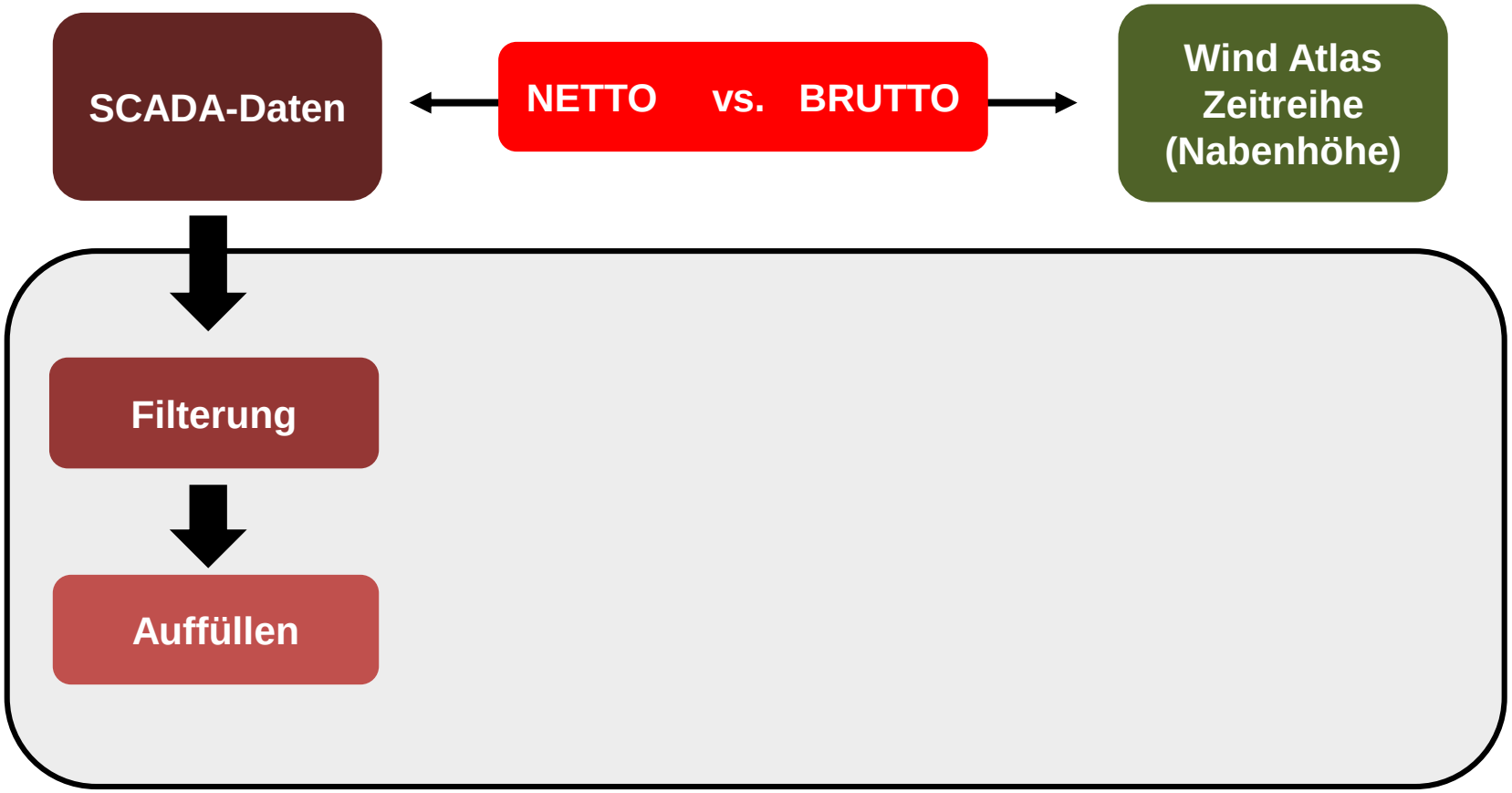
North ← **SCADA-data from 27 wind farms** **→ South**

(number of analysed turbines of wind farm / total number of turbines of wind farm)

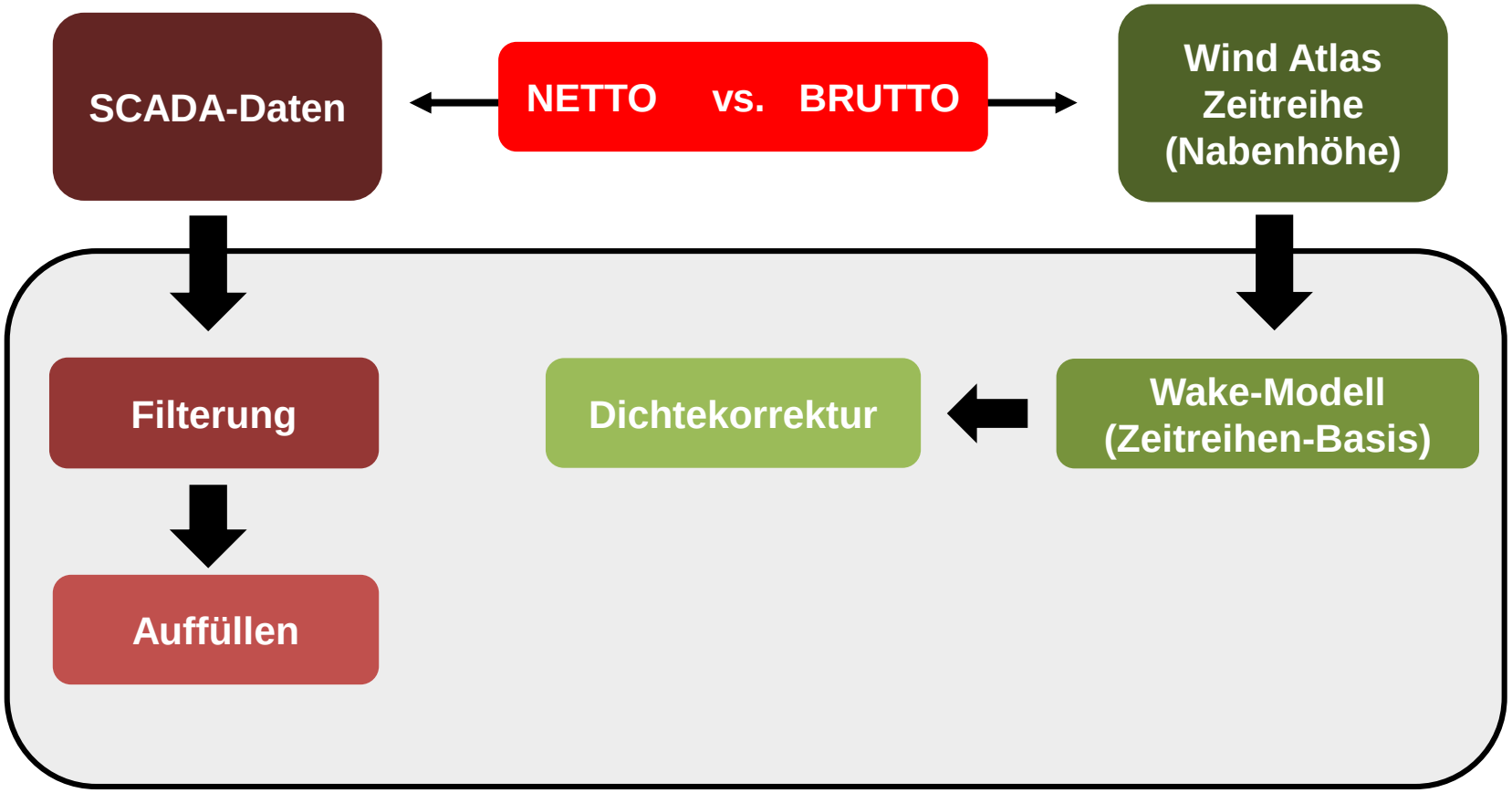
Zusammenfassung

SCADA-Daten ← NETTO vs. BRUTTO → Wind Atlas Zeitreihe (Nabenhöhe)

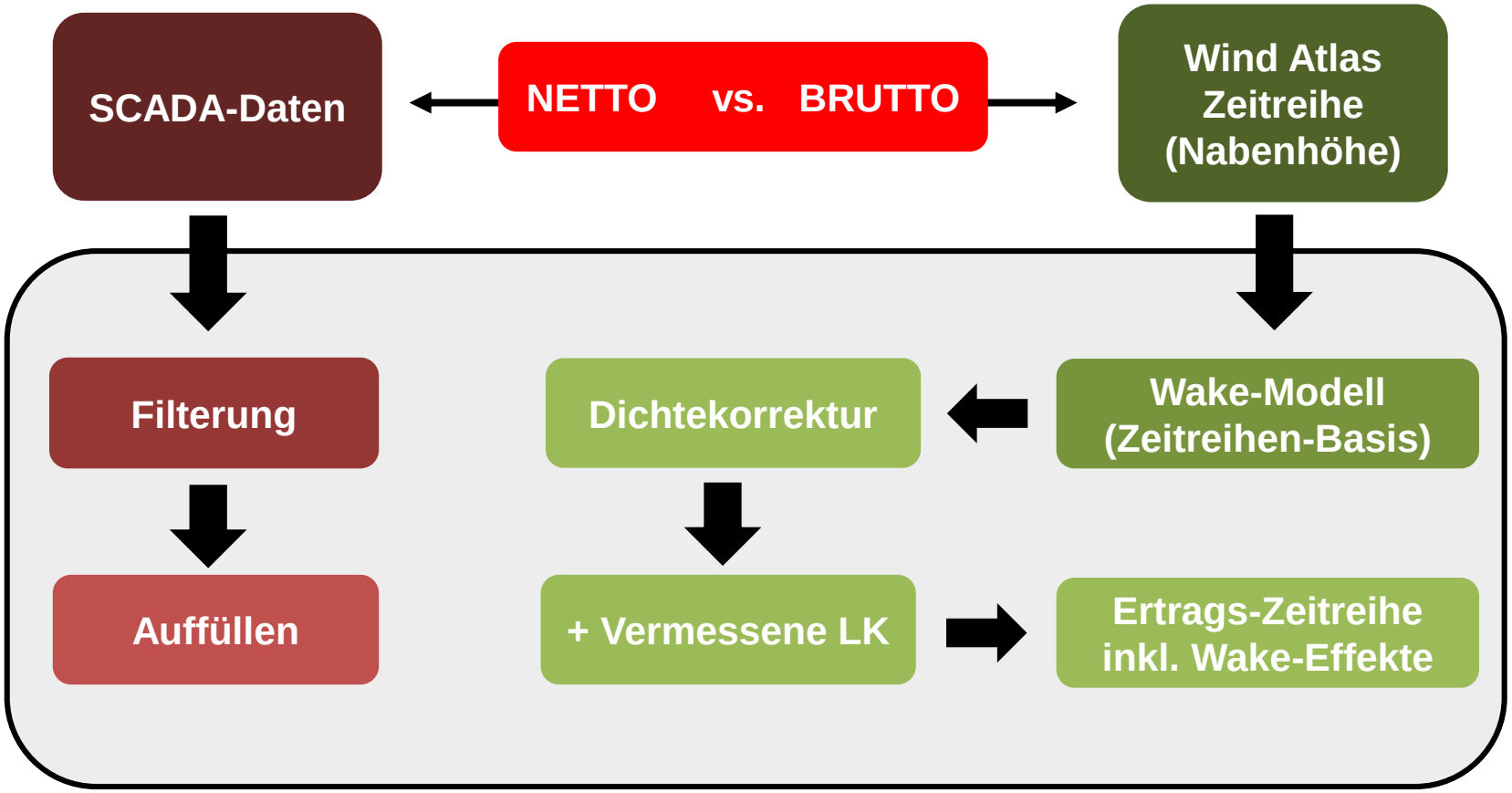
Zusammenfassung



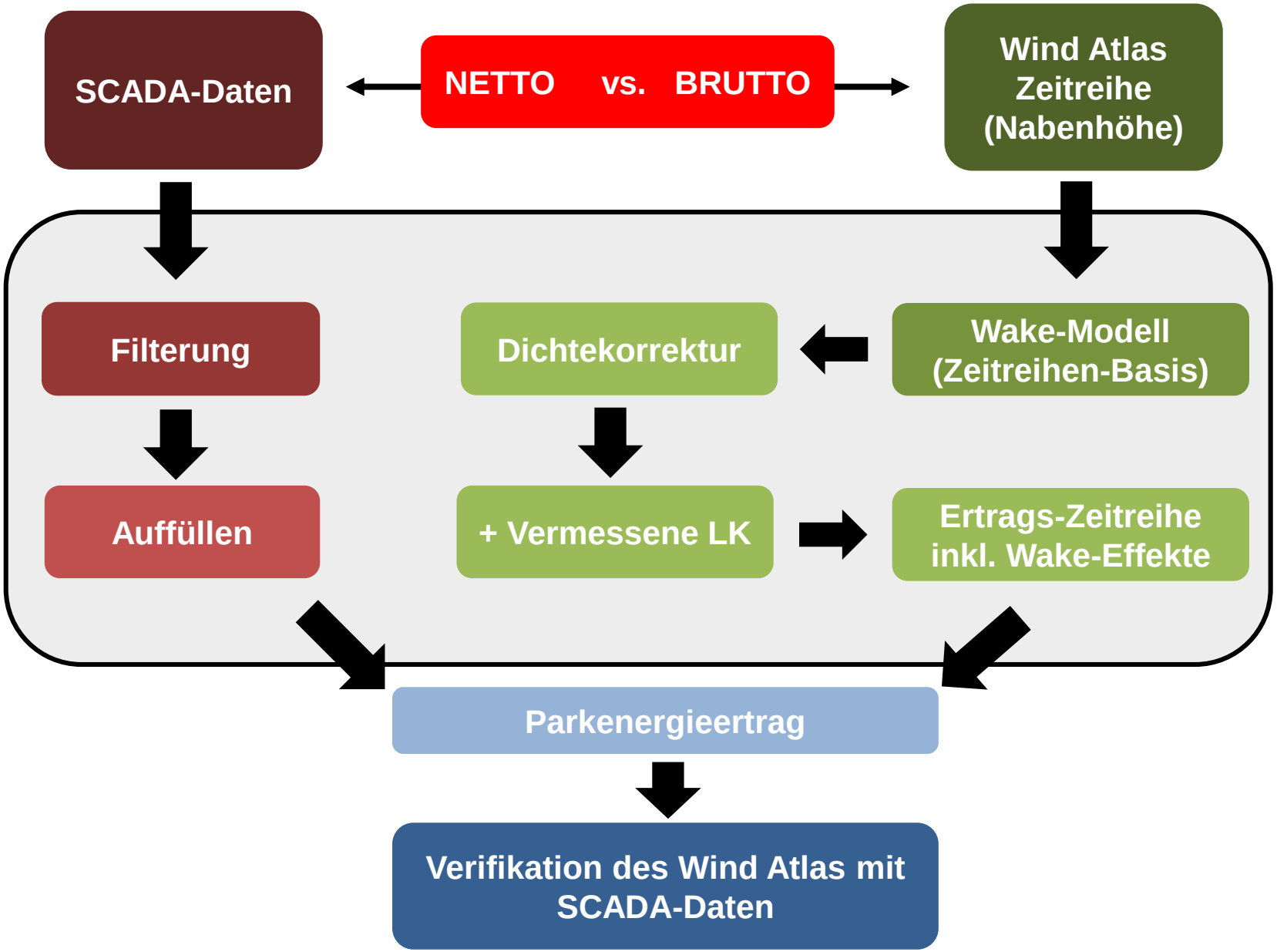
Zusammenfassung



Zusammenfassung



Zusammenfassung



Projekt VERIMA Teil II:

Ertragszeitreihe

\+ Δ-Strompreis-Zeitreihe (hist.)

→ Erlöszeitreihe

} **SCADA** und **Modell-Daten**

Projekt VERIMA Teil II:

Ertragszeitreihe

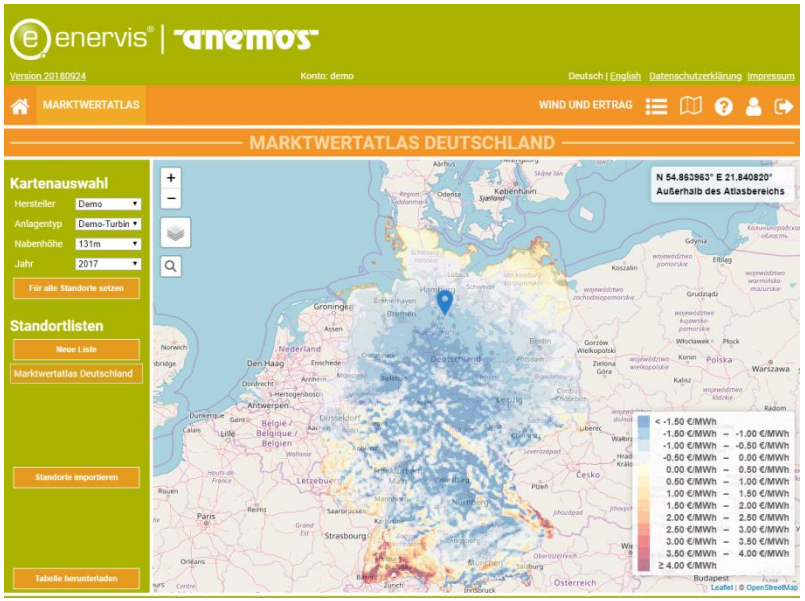
\+ Δ-Strompreis-Zeitreihe (hist.)

→ Erlöszeitreihe

} **SCADA** und **Modell-Daten**

\+ Berechnung von monatl. Marktwert-Differenzen

→ **Verifizierter Marktwertatlas**



aus anemos Webtool „awis“

Projekt VERIMA Teil II:

Ertragszeitreihe

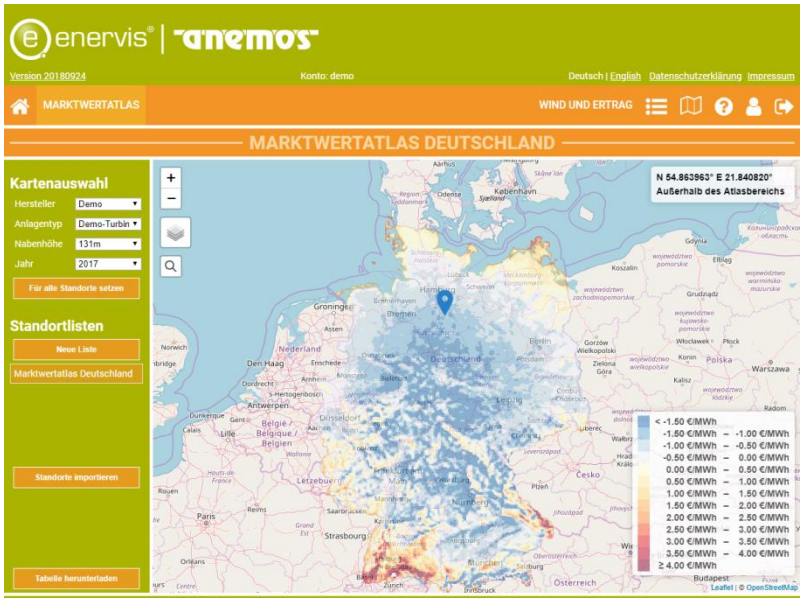
\+ Δ-Strompreis-Zeitreihe (hist.)

→ Erlöszeitreihe

} **SCADA** und **Modell-Daten**

\+ Berechnung von monatl. Marktwert-Differenzen

→ **Verifizierter Marktwertatlas**

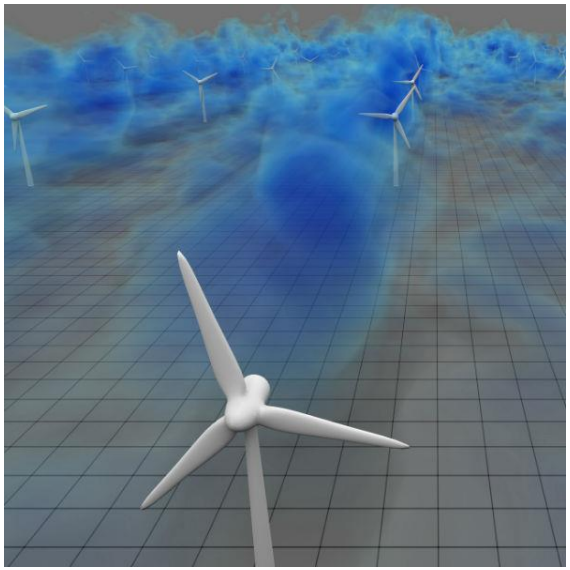


aus anemos Webtool „awis“

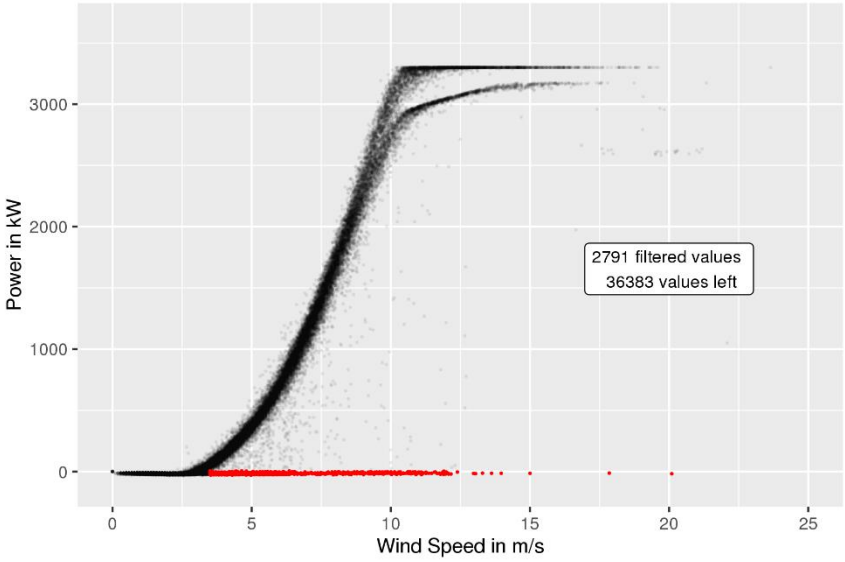
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

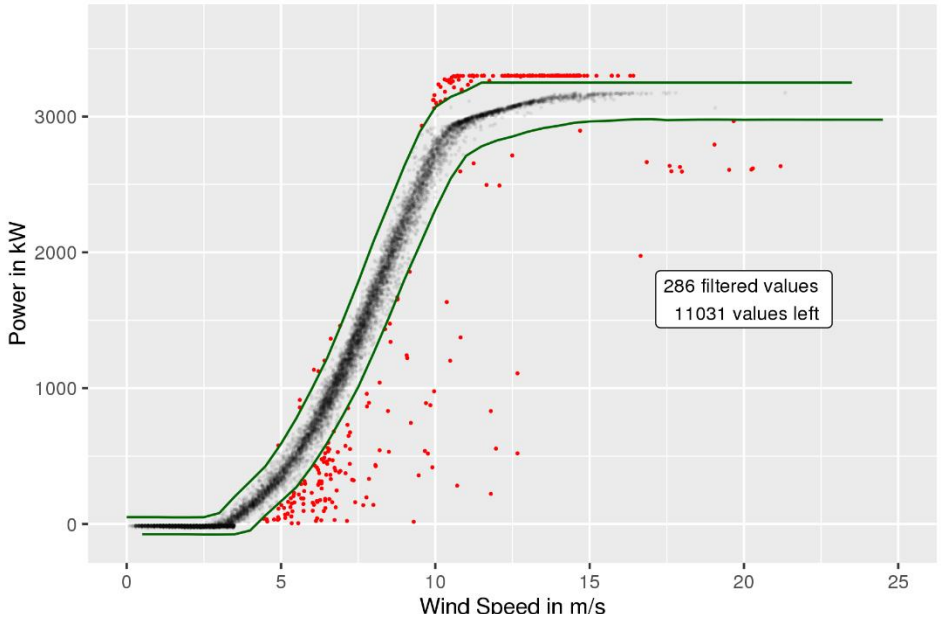
Probleme bzgl. der **SCADA-Daten**:

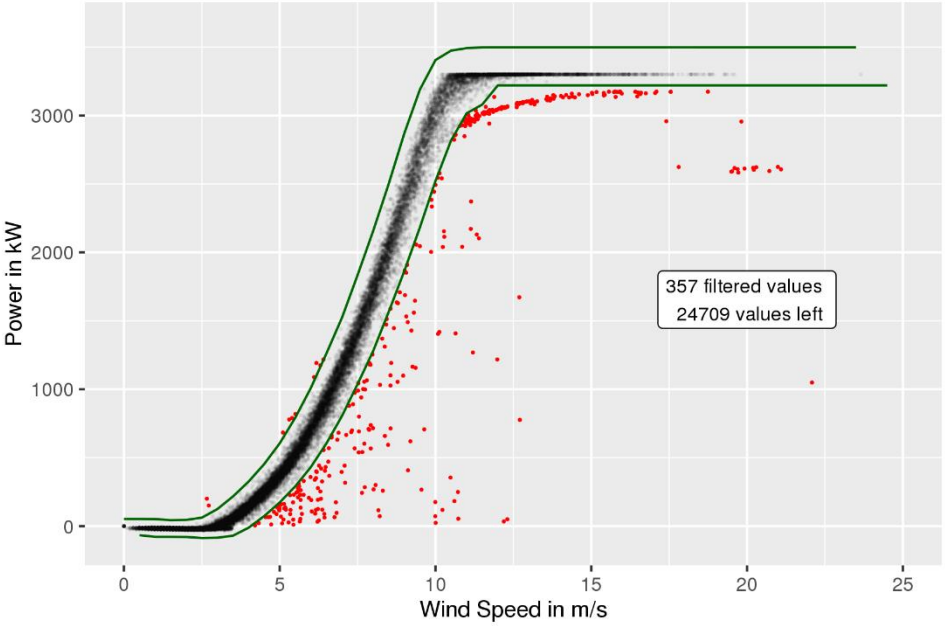
- nicht perfekte Umsetzung des Windes
    - Turbulenz
    - Schräganströmung
    - ungenaue Ausrichtung der WEA ins Windfeld
    - Degradation
    - …

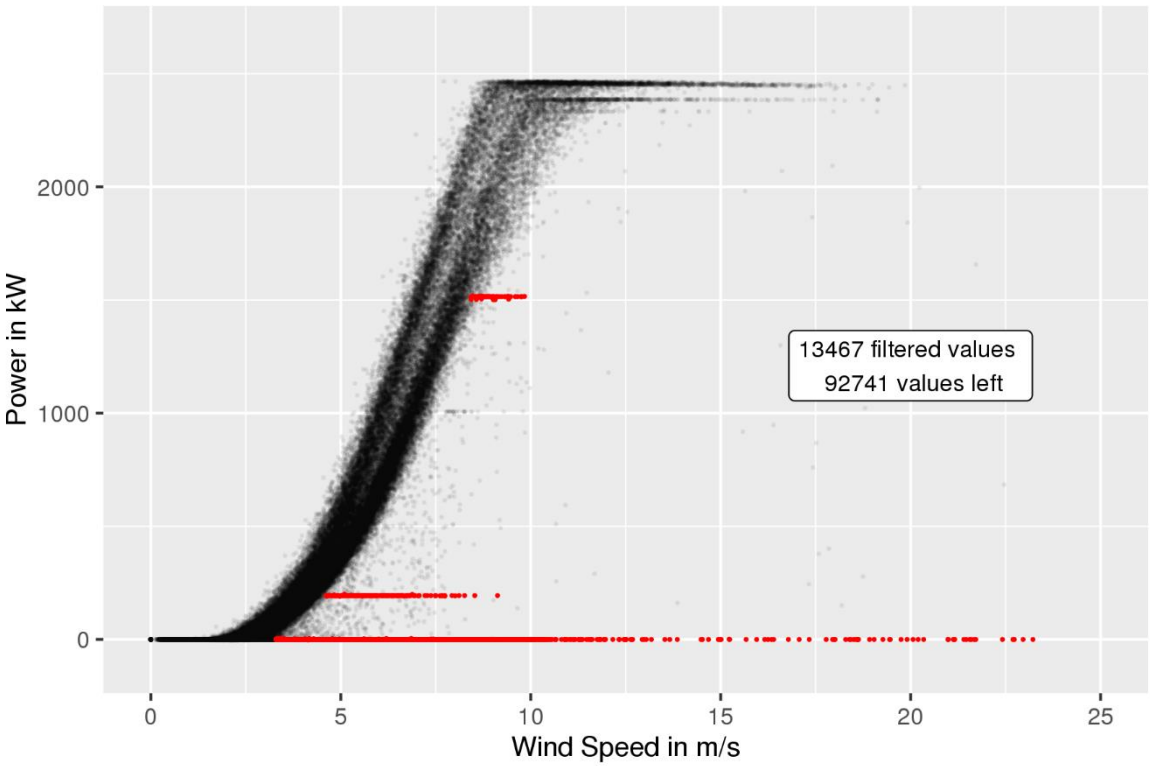


Johns Hopkins University


Power in kW
Wind Speed in m/s
2791 filtered values
36383 values left


Power in kW
Wind Speed in m/s
286 filtered values
11031 values left


Power in kW
Wind Speed in m/s
357 filtered values
24709 values left


Power in kW
2000
1000
0
0
5
10
15
20
25
Wind Speed in m/s
13467 filtered values
92741 values left