

## WIND DATA SUiTE Presentations

WIND DATA SUiTE Presentation 2017-11-08

Dr. Helmut Frey:

Langzeit-Extrapolation von Windmessungen mit MSSCP (Multiple Synoptic Scale Correlate Predict).

Presented at 26. Windenergietage 2017, Warnemünde, on 2017-11-08.

Citation:

Frey, H. (2017): Langzeit-Extrapolation von Windmessungen mit MSSCP (Multiple Synoptic Scale Correlate Predict). WIND DATA SUiTE, Germany, Presentation 2017-11-08, 17 pp.

<https://www.WindDataSuite.de/wds/publics/WDS-Present20171108-DrHF-MSSCP.pdf>

© Dr. Helmut Frey - WIND DATA SUiTE

Usage of the content is allowed only by referencing the above citation.

Dr. Helmut Frey

WIND DATA SUITE, Adendorf  
info@WindDataSuite.de

*Langzeit-Extrapolation von  
Windmessungen mit MSSCP*

*(Multiple Synoptic Scale  
Correlate Predict)*

1. Einführung
2. Theoretischer Hintergrund von MSSCP
  - 2.1 Die Frequenz-Domäne von Zeitreihen
  - 2.2 Die Auflösung der Prozesse auf der Synoptischen Skala
3. Die MSSCP-Methode
4. MSSCP-Validierung
  - 4.1 Hindcasts und benutzte Daten
  - 4.2 Ergebnisse
5. Zusammenfassung

## 1. Einführung

Jede MCP-Methode beruht auf einem statistischen Ansatz und ist mehr oder weniger fehlerbehaftet.

Keinerlei Hinweise für irgendwelche Prinzipien für eine Situationsabhängigkeit verschiedener Algorithmen.

Lösung: Erfassung derjenigen physikalischen Prozesse, die für ein MCP wesentlich sind.

Schwerpunkt im Folgenden: MCP-Methoden, die auf dem linearen Regressionsmodell mit vertikalen Distanzen basieren.

## **2. Theoretischer Hintergrund von MSSCP**

### **2.1 Die Frequenz-Domäne von Zeitreihen**

Erfassung derjenigen physikalischen Prozesse, deren Varianzen zu einem großen Teil zur Gesamtvarianz der Zeitreihe beitragen.

Erkennung dieser Prozesse durch die Überführung einer Zeitreihe in die Frequenz-Domäne Ihrer Fourier-Transformierten.

Aus dem Amplituden-Spektrum können dann die erklärenden Varianzen der einzelnen Partialwellen bestimmt werden.

## 2.1 fortgesetzt

Die Gesamtvarianz der Zeitreihe ist definiert als:

$$(1) \quad V_{ZR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2$$

Die Varianz der Partialwellen ist gegeben durch:

$$(2) \quad V_k(p_k) = \frac{1}{p_k} A_k^2 \int_{t=0}^{p_k} \sin^2(\omega_k t) dt = \frac{1}{2} A_k^2 \quad ; \quad A_k = \text{Wellenamplitude}$$

mit  $k = 1, \dots, K = \frac{N}{2}$  und  $p_k = \frac{N}{k}$ . Es kann gezeigt werden, dass

$$(3) \quad \sum_{k=1}^K V_k = V_{ZR}$$

Die erklärende Varianz einer Periode  $p$  mit der Bandbreite  $w$  ist :

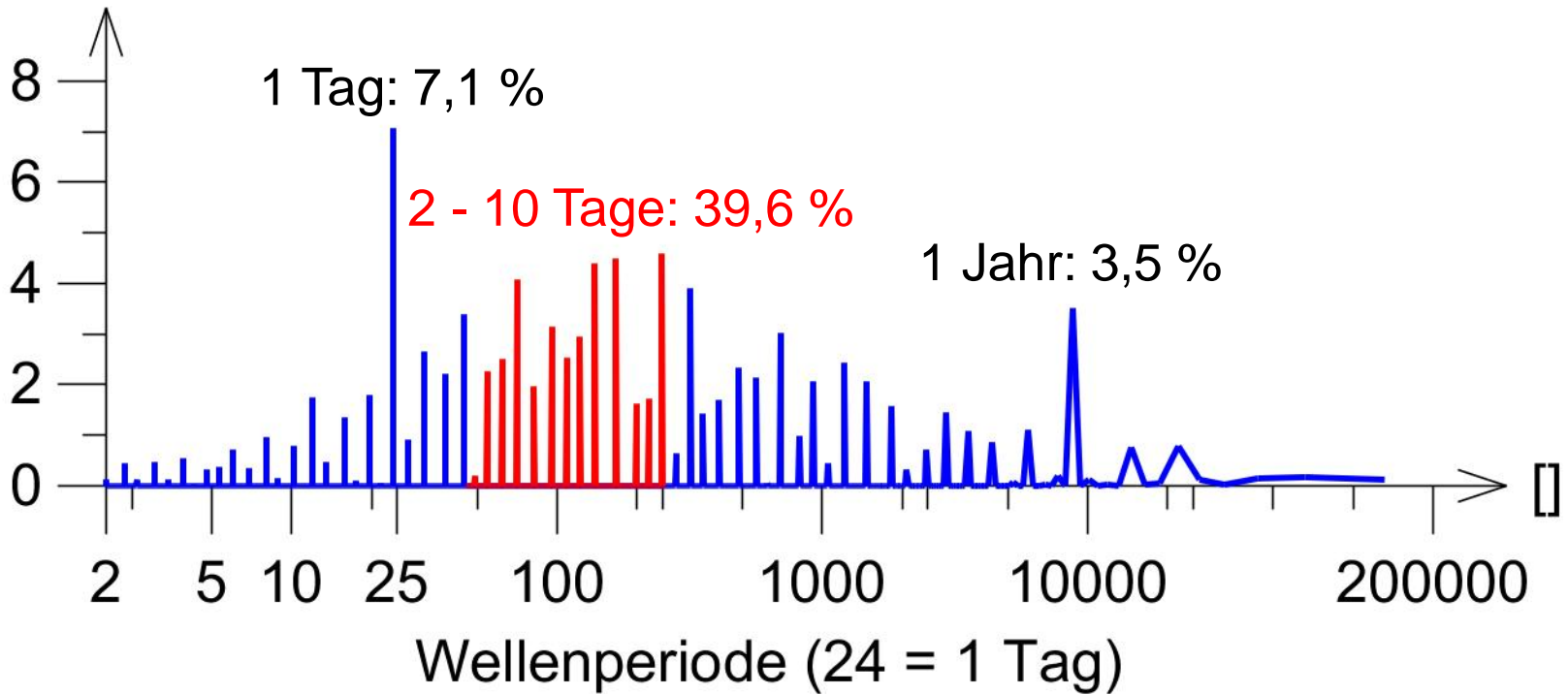
$$(4) \quad V_d(p) = 100 \frac{\sum_{p'=p(1-w)}^{p'=p(1+w)} V(p')}{V_{ZR}} \quad [\%] \quad ; \quad 0 < w < 1; w = 0.1 = 10 \%$$

## 2.1 fortgesetzt

Abb.1

Schwerin - erklärende Varianzen der v-Frequenzen

Decl.Variance-v [%]



## 2.2 Die Auflösung der Prozesse auf der Synoptischen Skala

Die zeitlichen Ableitungen  $\frac{\partial u}{\partial t}$  und  $\frac{\partial v}{\partial t}$  der u- und v-Komponenten werden mit einem forward-time Differenzenschema berechnet.

In Analogie zu den Navier-Stokes-Gleichungen beschreiben diese zeitlichen Ableitungen der gemessenen horizontalen Windgeschwindigkeitskomponenten,  $\frac{\partial u}{\partial t}$  und  $\frac{\partial v}{\partial t}$ , die gesamte Windfeld-Dynamik (nicht  $u$  und  $v$ ).



## 2.2 fortgesetzt

Digitales Tiefpass-Filtern der  $u$ - und  $v$ -Komponenten der Windmessung

$$\Rightarrow u', v' \Rightarrow \frac{\partial u'}{\partial t}, \frac{\partial v'}{\partial t}.$$

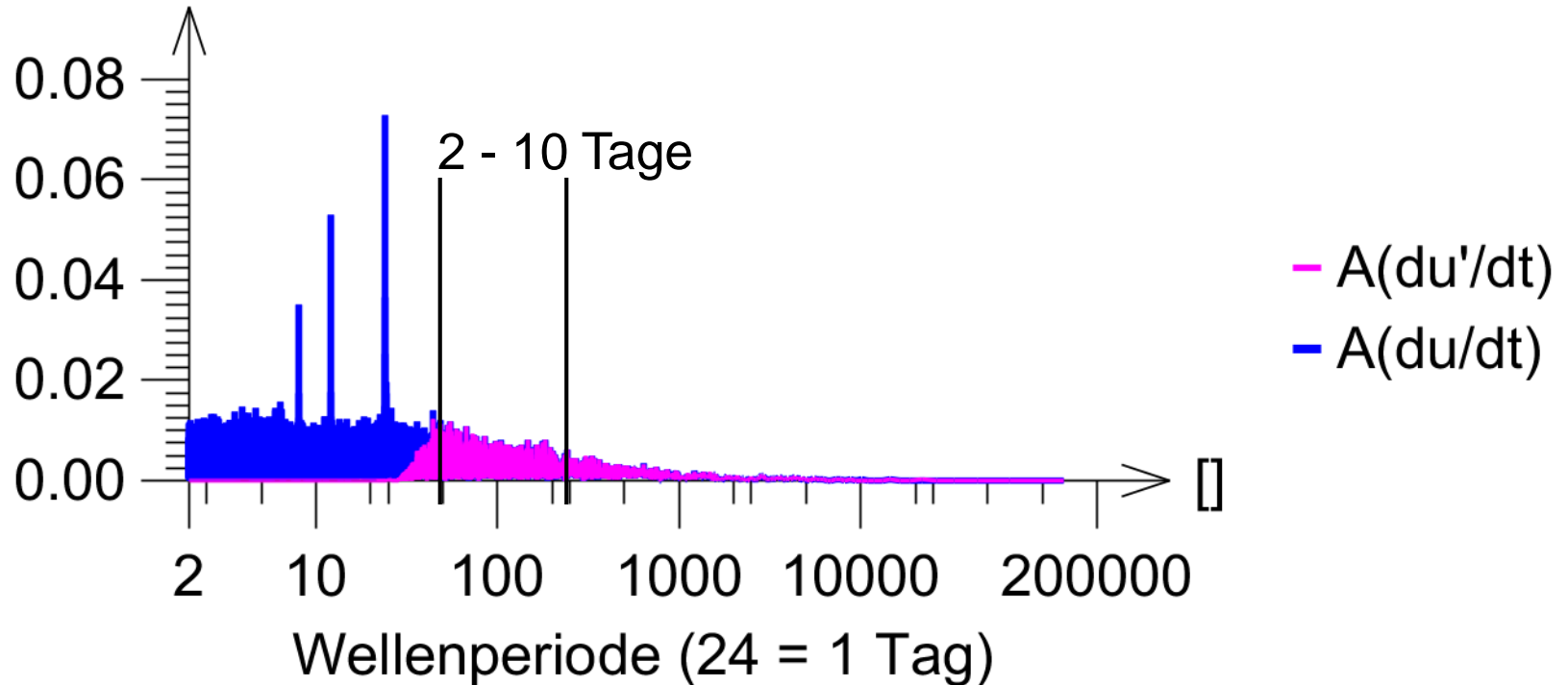
Dies ist gleichbedeutend mit dem Vernachlässigen aller physikalischen Prozesse in den Navier-Stokes-Gleichungen, die die hochfrequenten Wellensignale mit Perioden kleiner als die Trennperiode des digitalen Tiefpassfilters erzeugen.

## 2.2 fortgesetzt

Abb.2

Schwerin - Amplitudenspektrum von  $du/dt$  und  $du'/dt$

[m/s/sru]



## 2.2 fortgesetzt

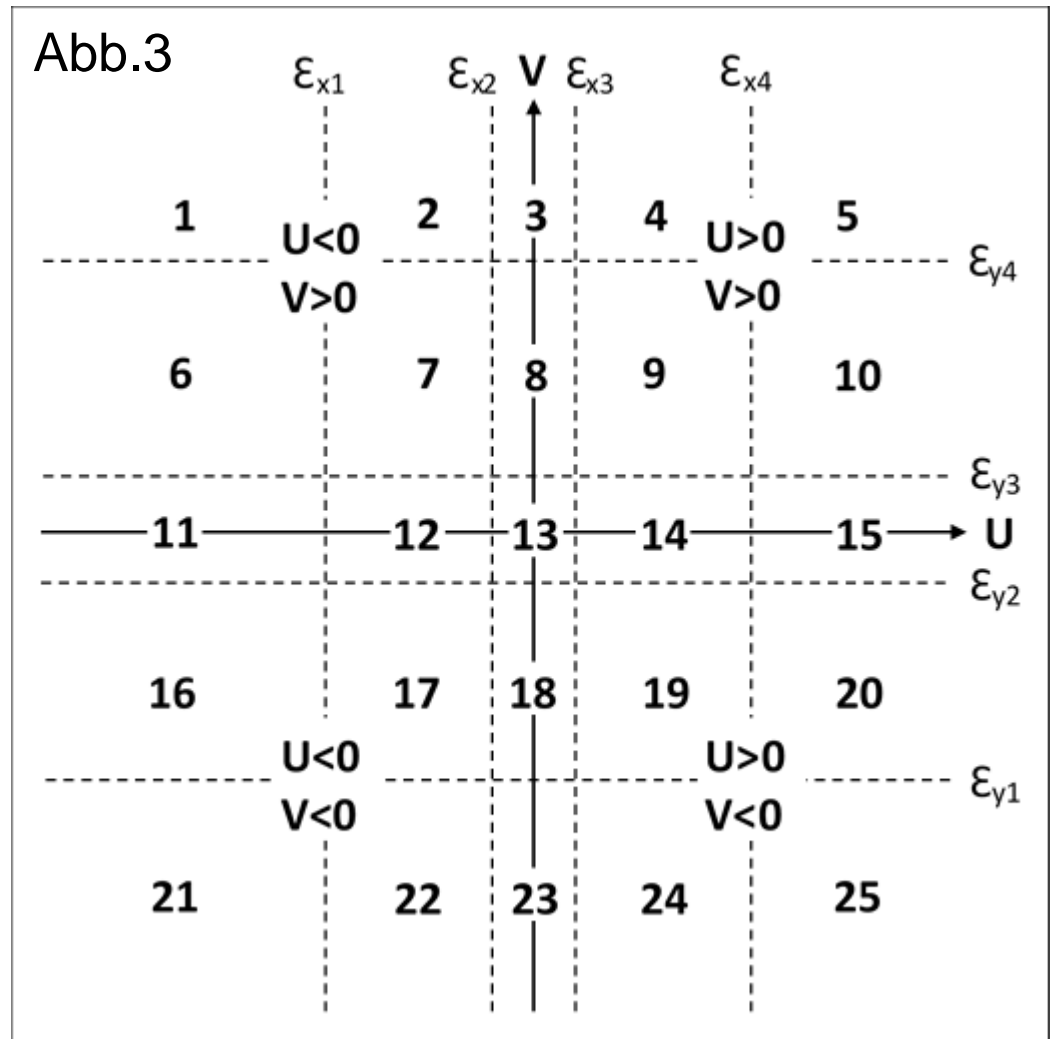
Die "synoptic scale Cluster" aus den tiefpass-gefilterten zeitl. Ableitungen

$$U = \partial u' / \partial t \text{ und}$$

$$V = \partial v' / \partial t$$

in Form einer  $M \times M$  Matrix. Anzahl der Cluster  $N_{SSC} = M^2$ .

Beispiel:  $M = 5$



### 3. Die MSSCP-Methode

MSSCP berechnet einen Satz von linearen Regressionen für die Windgeschwindigkeiten.

Die Extrapolationen werden gesammelt in der 6-dimensional Matrix

$$A^6 = \{H \times R \times C \times SRef \times VC \times SWP\}.$$

$H(i=1, \dots, I)$ : gewählte Messhöhen der Windparkmessung (WP)

$R(j=1, \dots, J)$ : zu benutzende Referenzstationen (Ref)

$C(k=1, \dots, K)$ : synoptic scale Cluster

$SRef(l=1, \dots, L)$ : Windrichtungssektoren von Ref

$VC(m=1, \dots, M)$ : Windgeschwindigkeitsklassen

$SWP(n=1, \dots, N)$ : Windrichtungssektoren von WP

### 3. fortgesetzt

Für jedes Element in der 4-dimensionalen Matrix

$$A^4 = \{H \times R \times C \times SRef\}$$

werden die optimalen Phasenverschiebungen zwischen den Kurzzeit-Windgeschwindigkeitsdaten der Windparkmessung und der Referenzstation separat bestimmt.

Für jedes Element in der 5-dimensionalen Matrix

$$A^5 = \{H \times R \times C \times SRef \times VC\}$$

werden die Regressionsparameter separat berechnet.

Mehrere Referenzstationen werden kombiniert.

## 4. MSSCP-Validierung

### 4.1 Hindcasts und benutzte Daten

Langzeit-Zeitreihendaten von

- DWD (Deutscher Wetterdienst) Wetterstationen ("WSt" im Folgenden)
- Reanalysedaten von entsprechend nahegelegenen MERRA-2-Punkten (Modern Era Retrospective-analysis for Research and Analysis - Version 2).

Alle Daten haben eine zeitliche Auflösung von 1 Stunde.

## 4.1 fortgesetzt

Relative Fehler  $e$  in der Windleistungsdichte  $WLD$ :

$$(5) \quad e_h^- = 100 \frac{|WLD_h^- - WLD_h^m|}{WLD_h^m} \quad [\%]$$

$$(6) \quad e_h^+ = 100 \frac{|WLD_h^+ - WLD_h^m|}{WLD_h^m} \quad [\%]$$

$m$ : originale gemessene Daten

–: Extrapolation ohne synoptic scale Cluster

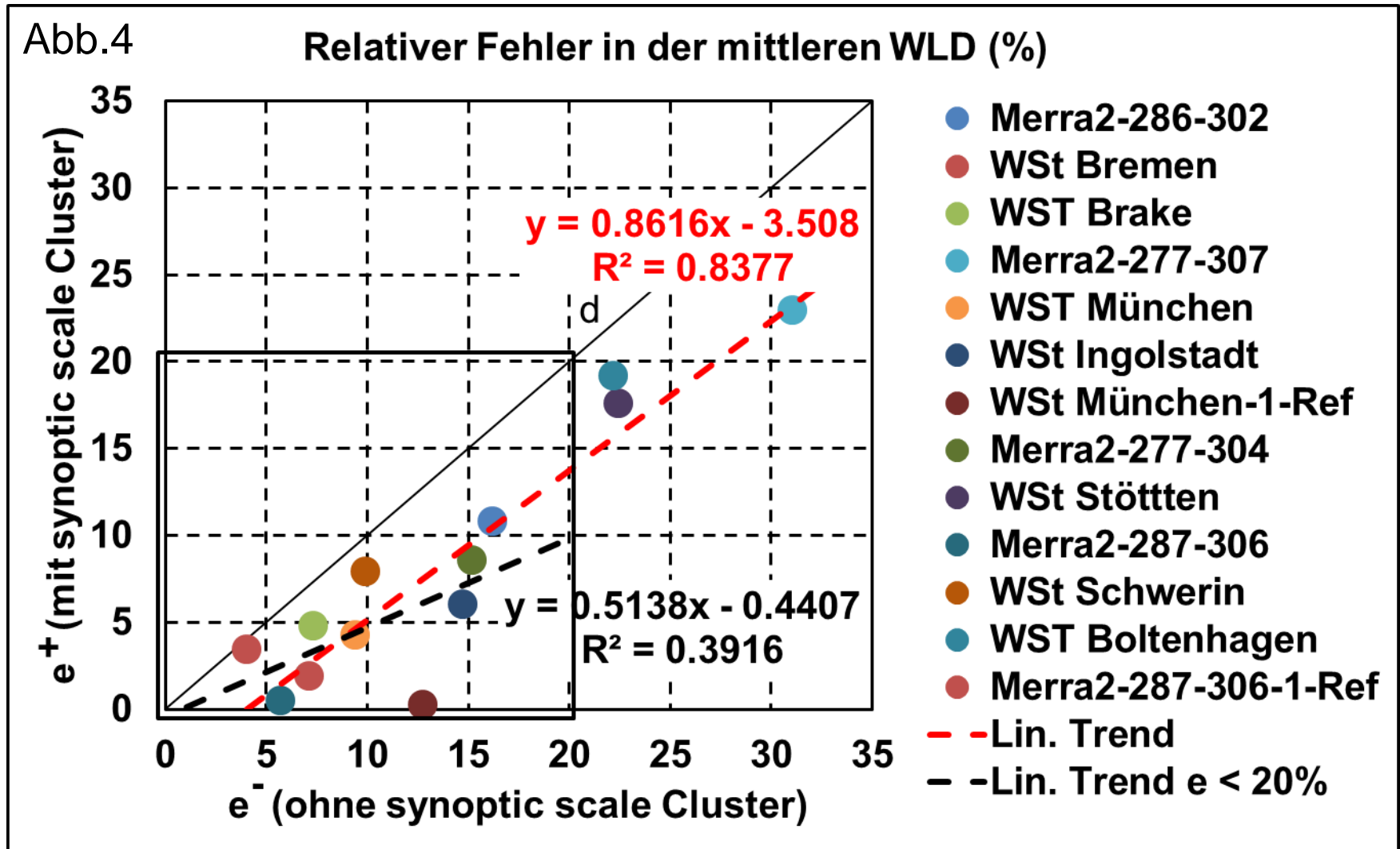
+: Extrapolation mit synoptic scale Clustern

$h$ : Hindcast-Nummer,  $h = 1, \dots, H$

Mittlere Fehlerreduktion  $\overline{red_e}$

$$(7) \quad \overline{red_e} = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H red_{e,h} = \frac{100}{H} \sum_{h=1}^H \frac{e_h^- - e_h^+}{e_h^-} \quad [\%]$$

## 4.2 Ergebnisse





## 4.2 fortgesetzt

Mittlere Fehlerreduktion  $\overline{red}_e$  in der  
Windleistungsdichte:

Über alle Hindcasts:

$$\overline{red}_e = 45\%$$

$$14\% \leq red_{e,h} \leq 98\%$$

Über die Hindcasts mit  $e_h^- < 20\%$ :

$$\overline{red}_e = 53\%$$

$$16\% \leq red_{e,h} \leq 98\%$$

## 5. Zusammenfassung

- Durch die Einbeziehung sogenannter "synoptic scale Cluster" in die Regressionsanalyse verbessert MSSCP die Ergebnisse der Langzeit-Extrapolationen in hohem Maße.
- Etliche Extrapolations-Hindcasts wurden durchgeführt und ergaben eine Fehlerreduktion in den extrapolierten Windleistungsdichten von ca. 50 % im Mittel bei Anwendung der "synoptic scale Cluster"-Technik.

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**