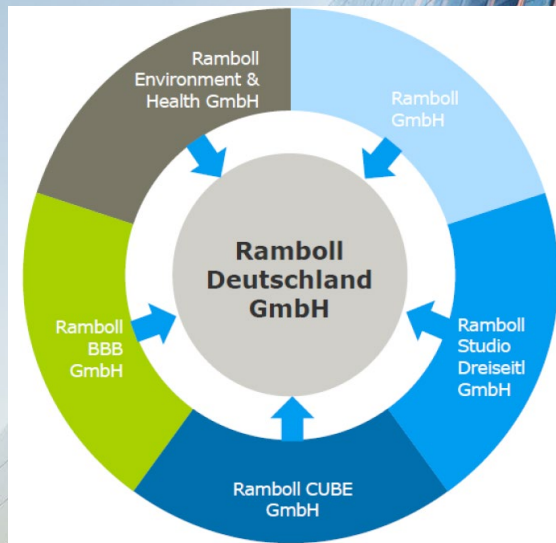


VERIFIKATION UND ANWENDUNG DES ANEMOS WINDATLAS

28. Windenergietage 6.11.19, Forum 9: Wind und Standort

Dr. Anselm Grötzner

- Globales Ingenieur-, Planungs- und Beratungsunternehmen
- 1945 in Dänemark gegründet
- 13.000 Expertinnen und Experten
- 300 Offices in 35 Ländern
- Umsatz 2016: 1,4 Mrd. Euro
- Im Besitz der Ramboll-Stiftung



PROJEKTENTWICKLUNG

- Layout & Micrositing
- Machbarkeitsstudien
- Project Engineering
- Kostenoptimierung
- Auftragswesen und Vergabe
- Genehmigungsmanagement
- Owner's & Lender's Engineering
- Repowering

DUE DILIGENCE

- Technische Untersuchung
- Umweltverträglichkeit
- Vertragsprüfung

ASSET MANAGEMENT

- Planung & Überwachung der technischen Betriebsabläufe
- Monitoring & Instandhaltung
- Leistungsoptimierung
- Laufzeitverlängerung
- Gondel-LiDAR-Systeme

BAUKONSTRUKTION

- Geotechnische Untersuchungen
- Konstruktion & Bau von WEA Fundamenten
- Konstruktion & Bau der WEA Türme
- Zuwegung & Befestigungen

WIND & SITE

- Vorabschätzungen / Desktop studies
- Wind Messungen (LiDAR / Mast)
- Energieertragsgutachten
- Layout-Optimierung
- Ermittlung Standortgüte
- Turbulenzgutachten
- Windressourcenkarten/Windpotenzialkarten
- WEA Typenprüfung
- Performance Check
- WEA Leistungskurven-Vermessung

UMWELT & GESELLSCHAFT

- Umweltverträglichkeitsstudien
- Landschaftsbildbewertung
- Schall- & Schattengutachten
- Denkmalschutzstudien
- Gutachten optische Wirkung
- Visualisierung
- Sichtbarkeitsanalysen
- Eisverluste

ELEKTRISCHE AUSLEGUNG

- Systemstudien
- Netzanbindung
- NS, MS und HS Netzkonzepte
- Auslegung der Umspannstation
- Smart Grid Lösungen

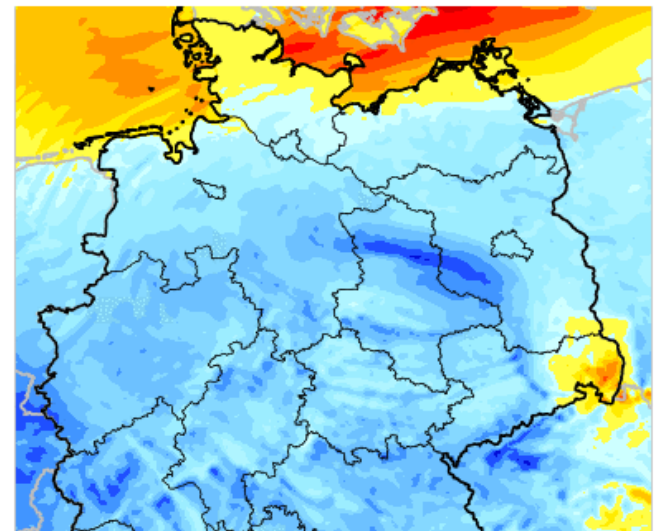


VERIFIKATION

VERIFIKATION DES ANEMOS WINDATLAS

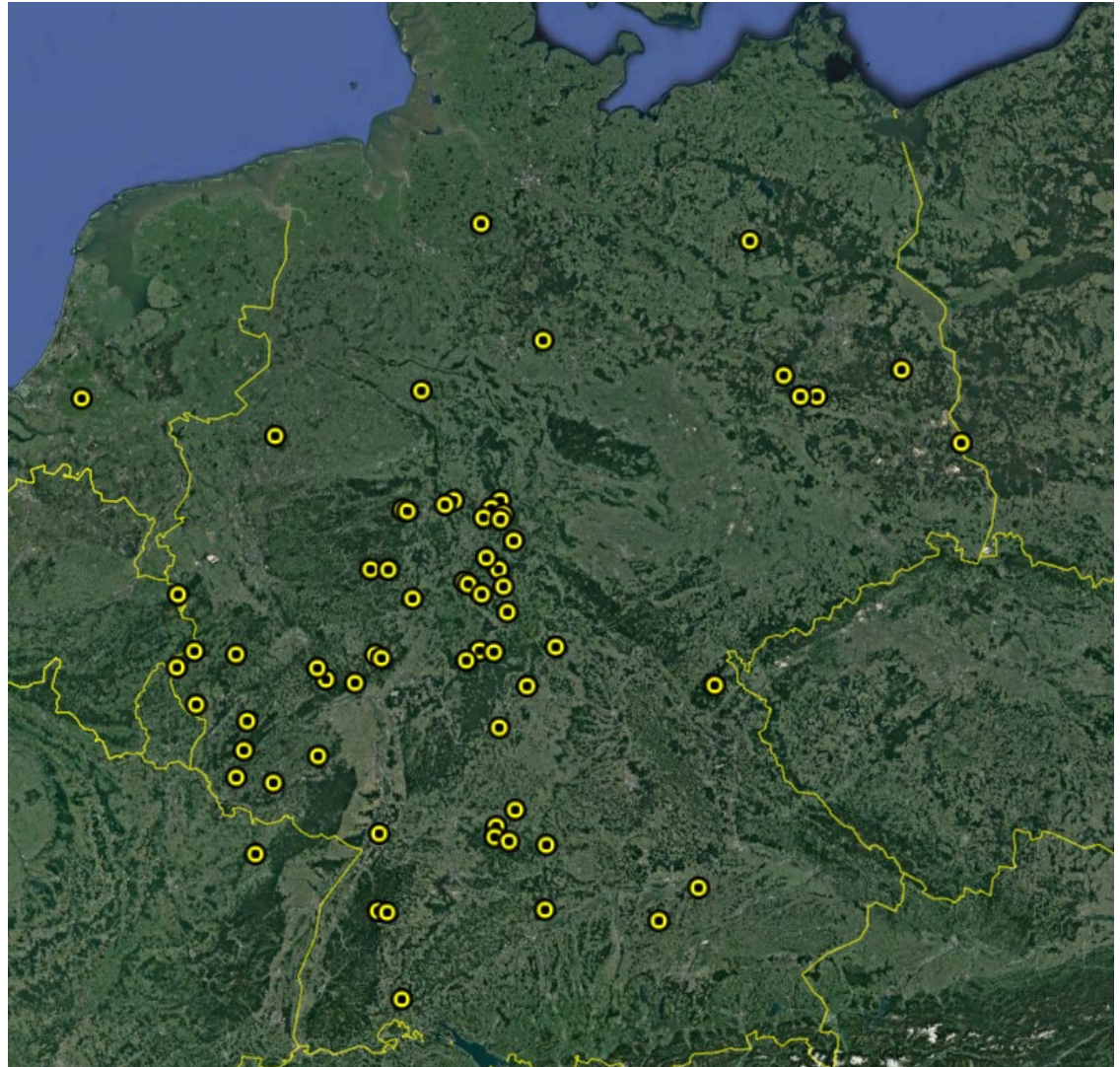
- mesoskalige Simulationen mit WRF (Weather research and Forecast Model)
- Antrieb mit ERA5-Reanalysen des EZMWF von 1999 bis heute
- Mehrstufiges Downscaling bis 3km horizontale Auflösung
- Zeitreihen von Windgeschwindigkeit und –Richtung in einstündiger Auflösung
- drei verschiedene Datensätze untersucht:
 - D-3km.ERA5-Rohdaten: direkter Modelloutput
 - D-3km.ERA5-REM-V2-3km: einfaches statistisches Remodelling
 - D-3km.ERA5-REM-V2-site: standortspezifisches statistisches Remodelling

ANEMOS
competence in wind power meteorology



WINDMESSUNGEN FÜR DIE VERIFIKATION

- 66 Mast- und LiDAR-Messungen
- qualitativ hochwertig
- Messdauer > 12 Monate
- Messhöhen 100-160 m



PRÜFGRÖßEN FÜR DIE VERIFIKATION

- Windgeschwindigkeit (Mittelwert, Standardabweichung, Korrelation)
- Weibullwerte A und k
- Bruttowindenergie E (Mittelwert)
- Tages- und Jahresgänge der Windgeschwindigkeit
- Abweichung Windrichtung (Mittelwert, Standardabweichung, Korrelation)

BEISPIELAUSWERTUNG AN EINEM STANDORT

	Anfang 17.03.2014	Ende 29.03.2015	Dauer 1,03
Höhe	142		
Windgeschwindigkeit	Messung	Anemos	relativ
Mittelwert	5,49	5,37	97,9%
Stabw	2,50	2,65	105,8%
A	6,19	6,06	97,9%
k	2,35	2,16	91,9%
E	167,38	168,59	100,7%
Korrel -1	0,828		
Korrel	0,848		
Korrel +1	0,842		

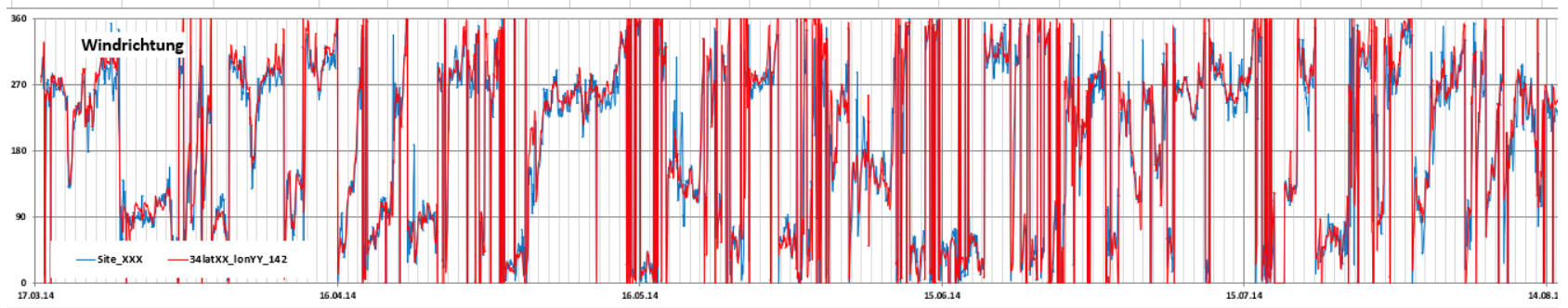
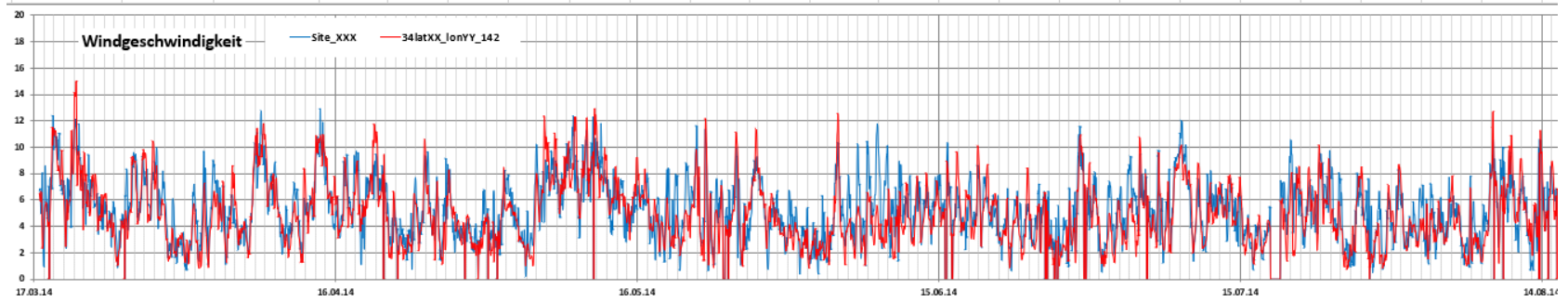
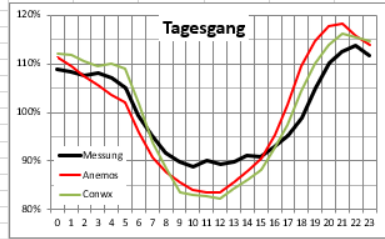
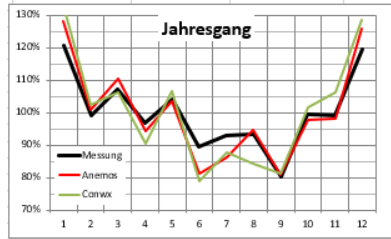
Phase Anemos-Messung	
Mittelwert	5,6
Stabw	28,9
Korrel	0,960

lag	Korrel	Con/wx
-2	0,790	0,789
-1	0,828	0,808
0	0,848	0,812
1	0,842	0,795
2	0,812	0,764

Tages- und Jahrgang

Jahrgang	Site_XXX			Tagesgang			
	Messung	Anemos	Con/wx	Messung	Anemos	Con/wx	
1	1,208	1,281	1,330	0	1,089	1,113	1,120
2	0,991	1,010	1,028	1	1,084	1,095	1,117
3	1,072	1,106	1,063	2	1,075	1,073	1,104
4	0,969	0,945	0,904	3	1,080	1,058	1,095
5	1,040	1,036	1,065	4	1,069	1,036	1,100
6	0,896	0,812	0,790	5	1,049	1,020	1,089
7	0,930	0,860	0,878	6	0,934	0,960	1,019
8	0,932	0,948	0,841	7	0,952	0,907	0,940
9	0,803	0,807	0,812	8	0,918	0,877	0,884
10	0,994	0,976	1,015	9	0,838	0,856	0,836
11	0,991	0,982	1,063	10	0,888	0,840	0,831
12	1,193	1,260	1,287	11	0,901	0,835	0,827
mean	5,49	5,37	6,70	12	0,894	0,836	0,823
	115,8%	122,3%	128,2%	13	0,900	0,855	0,844
				14	0,912	0,878	0,862
				15	0,909	0,906	0,882
				16	0,929	0,953	0,928
				17	0,953	1,016	0,974
				18	0,989	1,094	1,043
				19	1,050	1,147	1,099
				20	1,101	1,177	1,139
				21	1,124	1,182	1,162
				22	1,138	1,156	1,154
				23	1,117	1,139	1,146
				mean	5,49	5,37	6,70
				Anteil Ta	0,638	0,638	0,629
				Anteil Na	0,363	0,362	0,372
				Nacht relativ		0,999	1,027

Standort
 Lat XX
 Lon YY
 Beginn 17.03.2014
 Ende 29.03.2015
 Höhe 142



VERIFIKATION DES ANEMOS WINDATLAS 2019

(66 WINDMESSUNGEN)

- D-3km.ERA5-Rohdaten

	Korrel v	Güte $v_{\text{mod}}/v_{\text{mes}}$	Güte E	Güte k	Korrel dir	delta dir
bias	0,870	110,8%	126,0%	87,2%	0,961	3,8
rms		13,1%	27,7%	13,9%		6,3

- D-3km.ERA5-REM-V2-3km

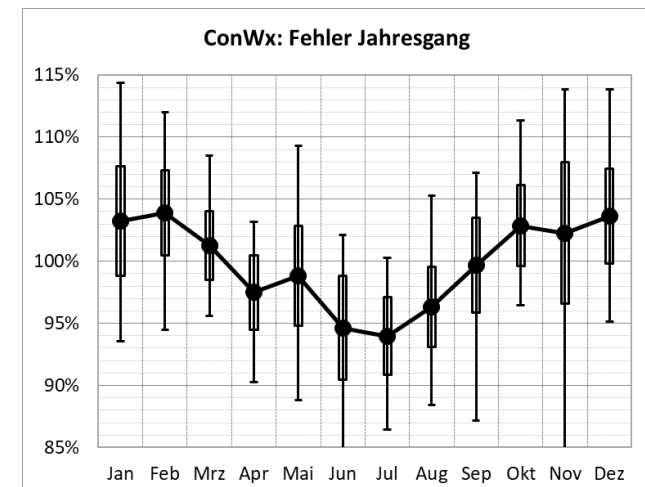
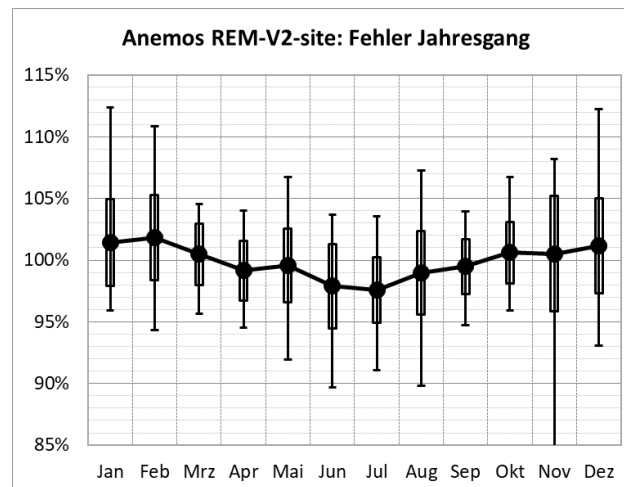
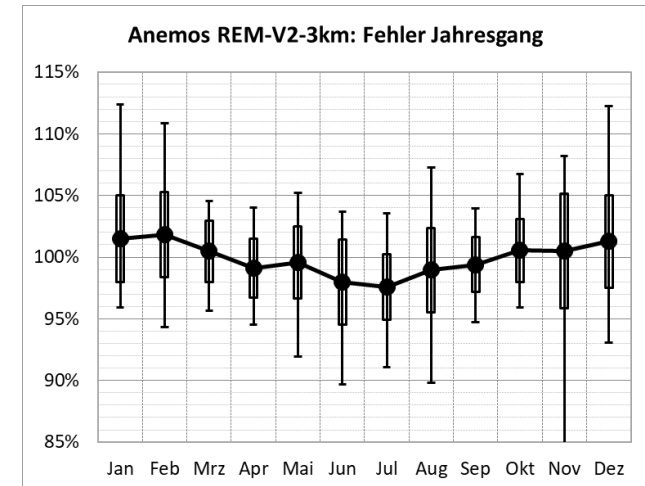
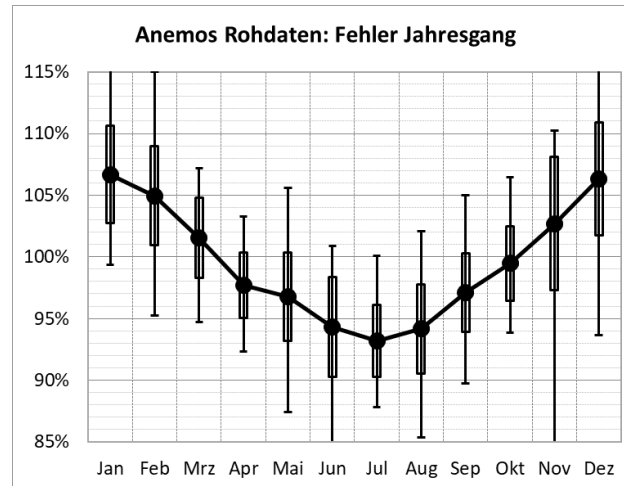
	Korrel v	Güte $v_{\text{mod}}/v_{\text{mes}}$	Güte E	Güte k	Korrel dir	delta dir
bias	0,873	94,4%	95,6%	98,9%	0,961	3,8
rms		8,8%	9,6%	5,5%		6,4

- D-3km.ERA5-REM-V2-site

	Korrel v	Güte $v_{\text{mod}}/v_{\text{mes}}$	Güte E	Güte k	Korrel dir	delta dir
bias	0,873	100,4%	101,6%	98,9%	0,961	3,8
rms		4,5%	6,4%	5,5%		6,4

WINDGESCHWINDIGKEIT: FEHLER IM JAHRESGANG

(39 MESSUNGEN)

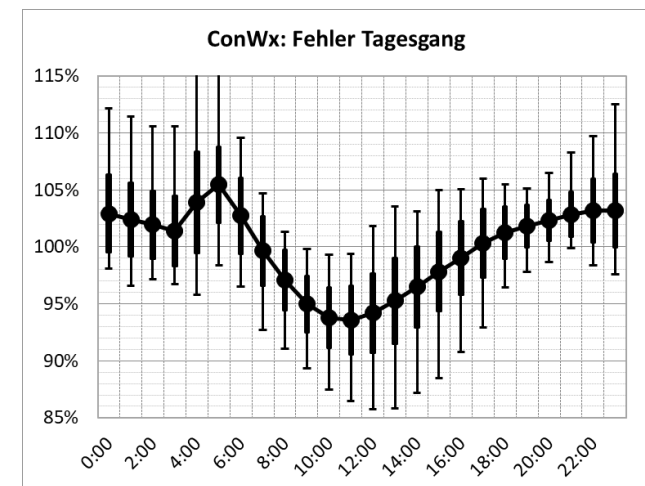
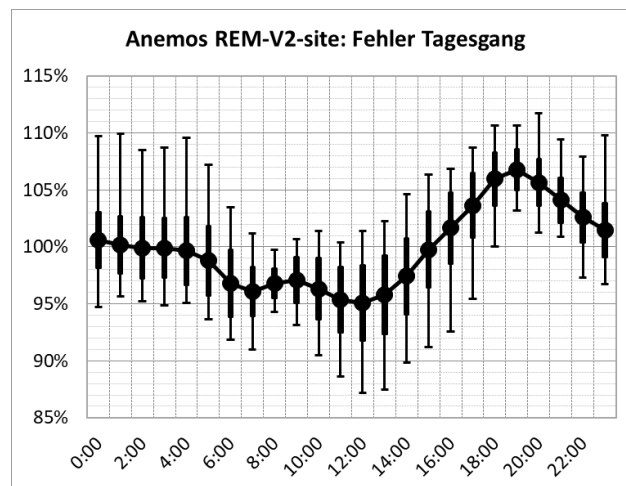
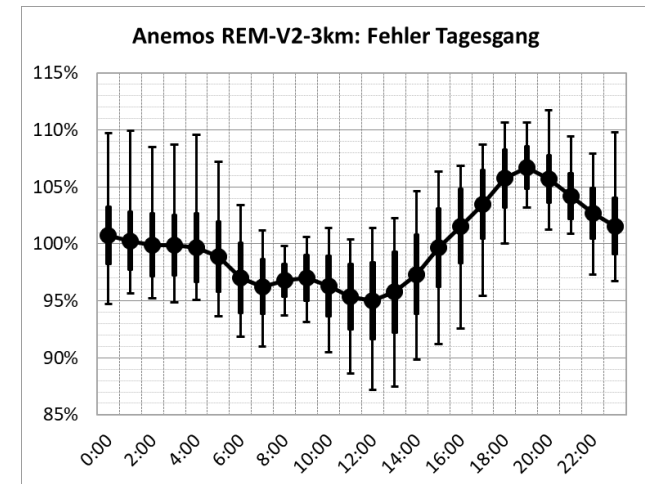
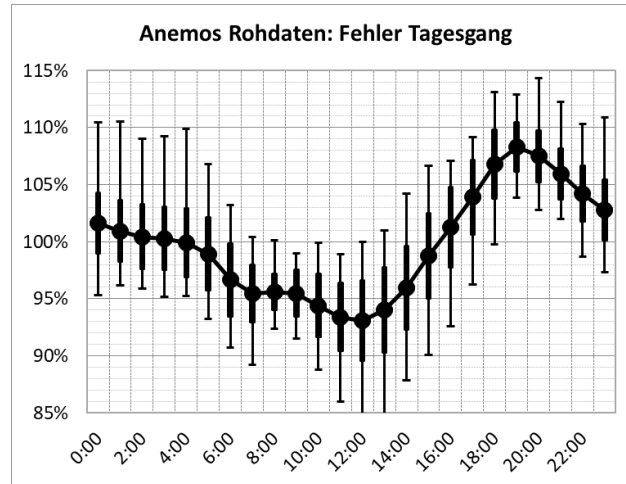


Vergleich Winter/Sommerhalbjahr

	Rohdaten	REM-V2-3km	REM-V2-site	EMD-ConWx
bias	8,8%	2,4%	2,3%	6,3%
rms	9,5%	4,2%	4,3%	7,3%

WINDGESCHWINDIGKEIT: FEHLER IM TAGESGANG

(39 MESSUNGEN)



Anteil Nacht am Tag				
	Rohdaten	REM-V2-3km	REM-V2-site	EMD-ConWx
bias	1,2%	0,5%	0,4%	3,0%
rms	2,7%	2,4%	2,3%	4,2%

ANWENDUNG

z.B.

- Vorabschätzungen
- Langzeitabgleich von Messungen
- Basis für Wind- bzw. Ertragsindex
- Verlustberechnungen
- Windgutachten
- Marktwertanalysen

ANWENDUNG:

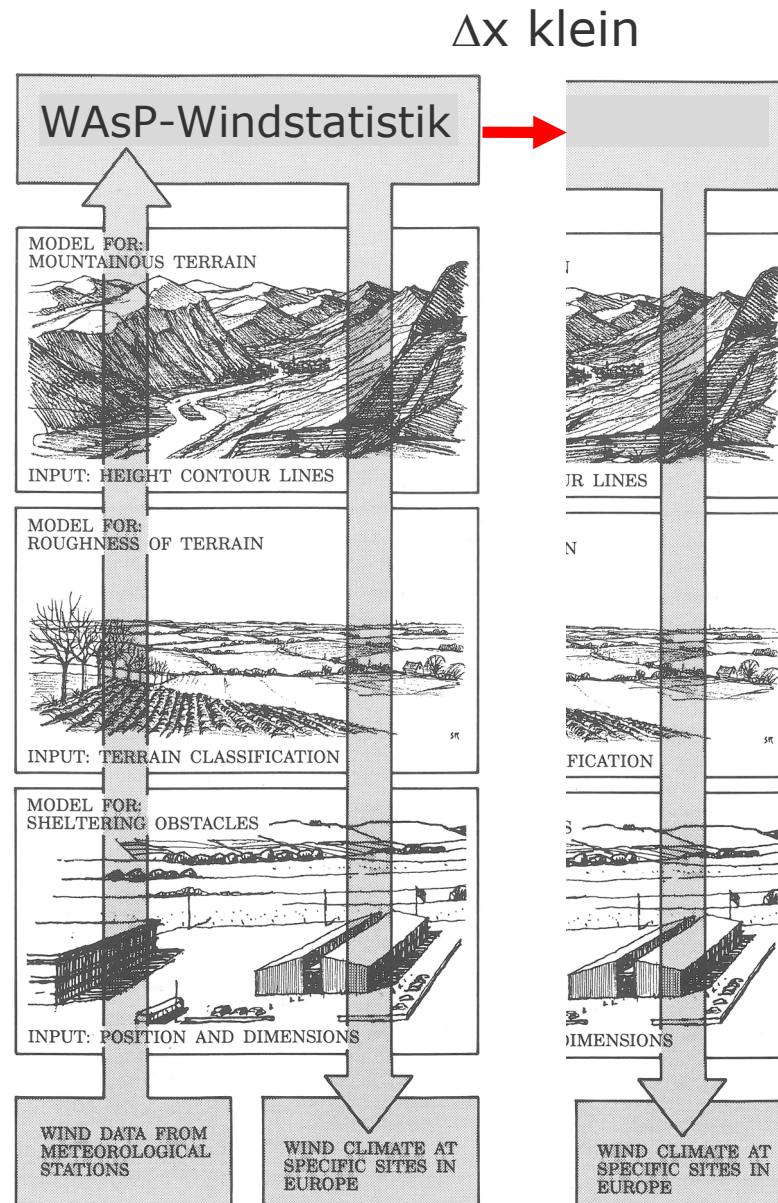
STRÖMUNGSSIMULATION FÜR WINDGUTACHTEN

- Simulationen mit WAsP sind unsicher, insbesondere im komplexen Terrain
- Auch gängige CFD-Simulationen sind mit erheblichen Fehlern behaftet
- Den mikroskaligen Modelle fehlen meteorologische Einflüsse auf der Mesokala
- Der thermische Auftrieb bewirkt eine mit kleinräumigen Modellen nur schwer simulierbare Höhenabhängigkeit der Windbedingungen
- Die TR6 macht deswegen recht strikte Abstandforderungen



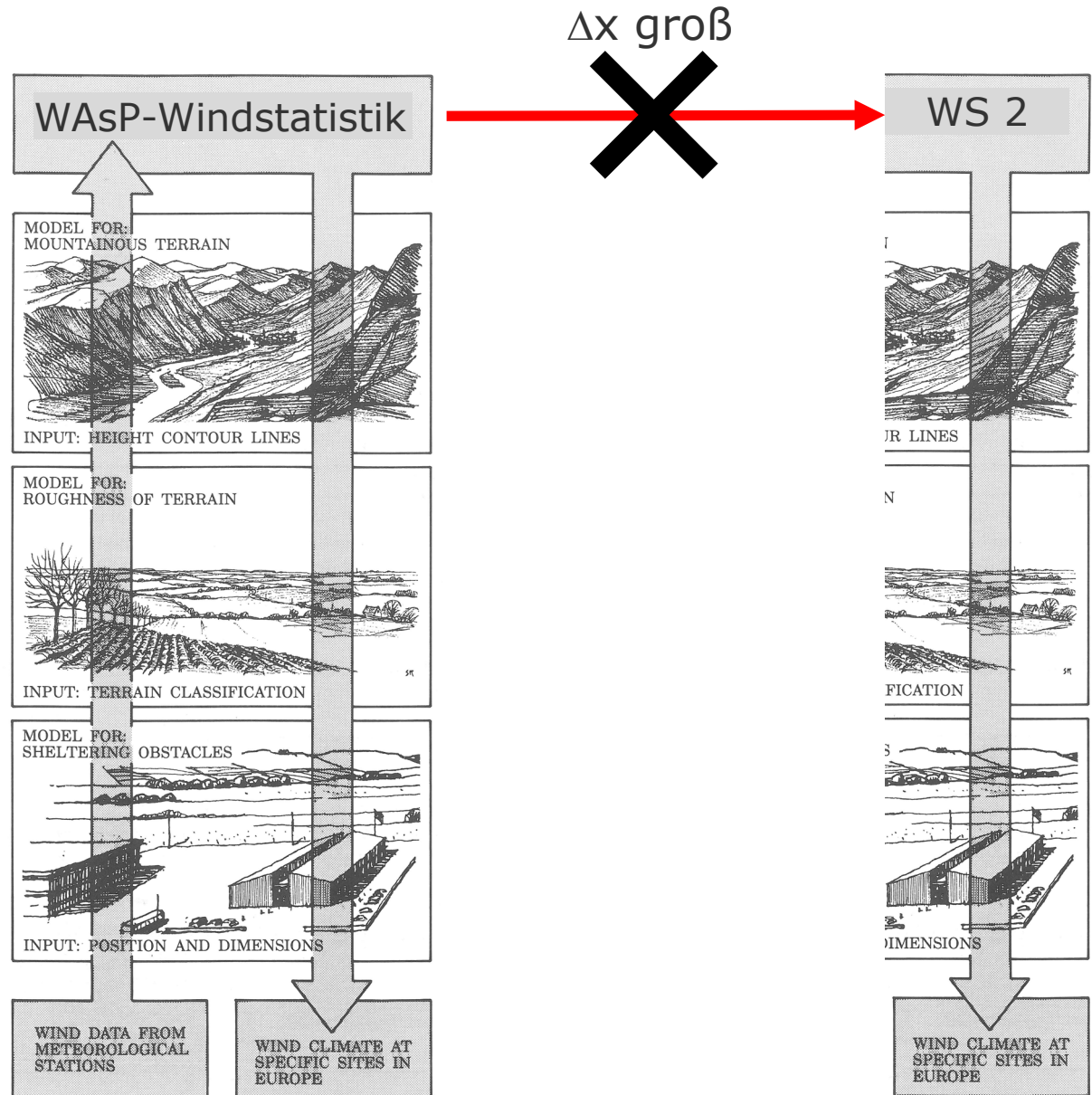
ANWENDUNG: WINDGUTACHTEN MIT WASP

Winddaten müssen für das mikroskalige Gebiet repräsentativ sein



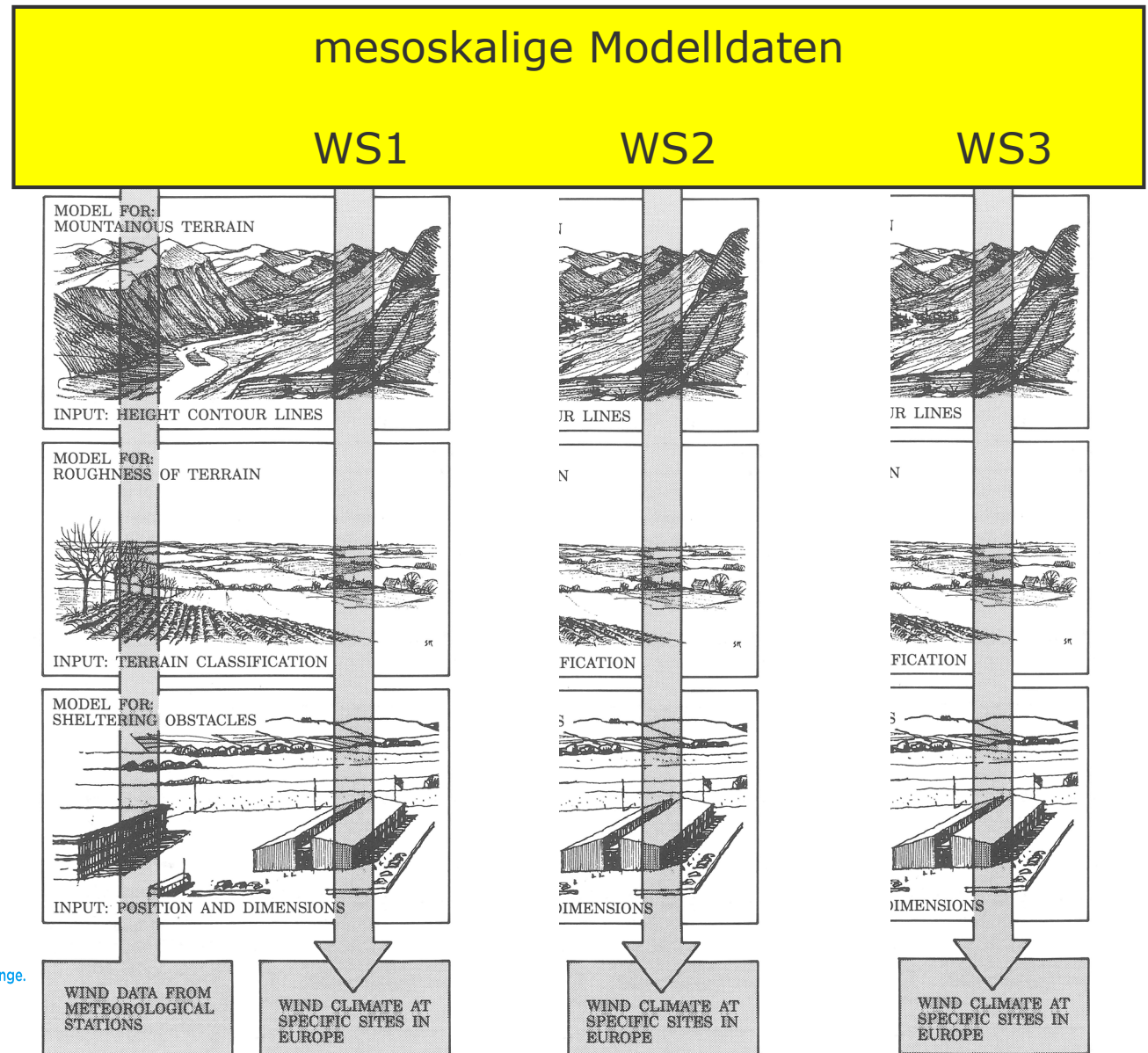
ANWENDUNG: WINDGUTACHTEN MIT WASP

Winddaten müssen für das mikroskalige Gebiet repräsentativ sein



ANWENDUNG: WASP + MESOSKALIGE MODELLDATEN

Ableitung von WASP-
Windstatistiken aus
Daten des mesoskaligen
Modells !



ANWENDUNG: TESTGEBIET MIT BETRIEBSDATEN UND MESSUNGEN

WP1: 2 WEA

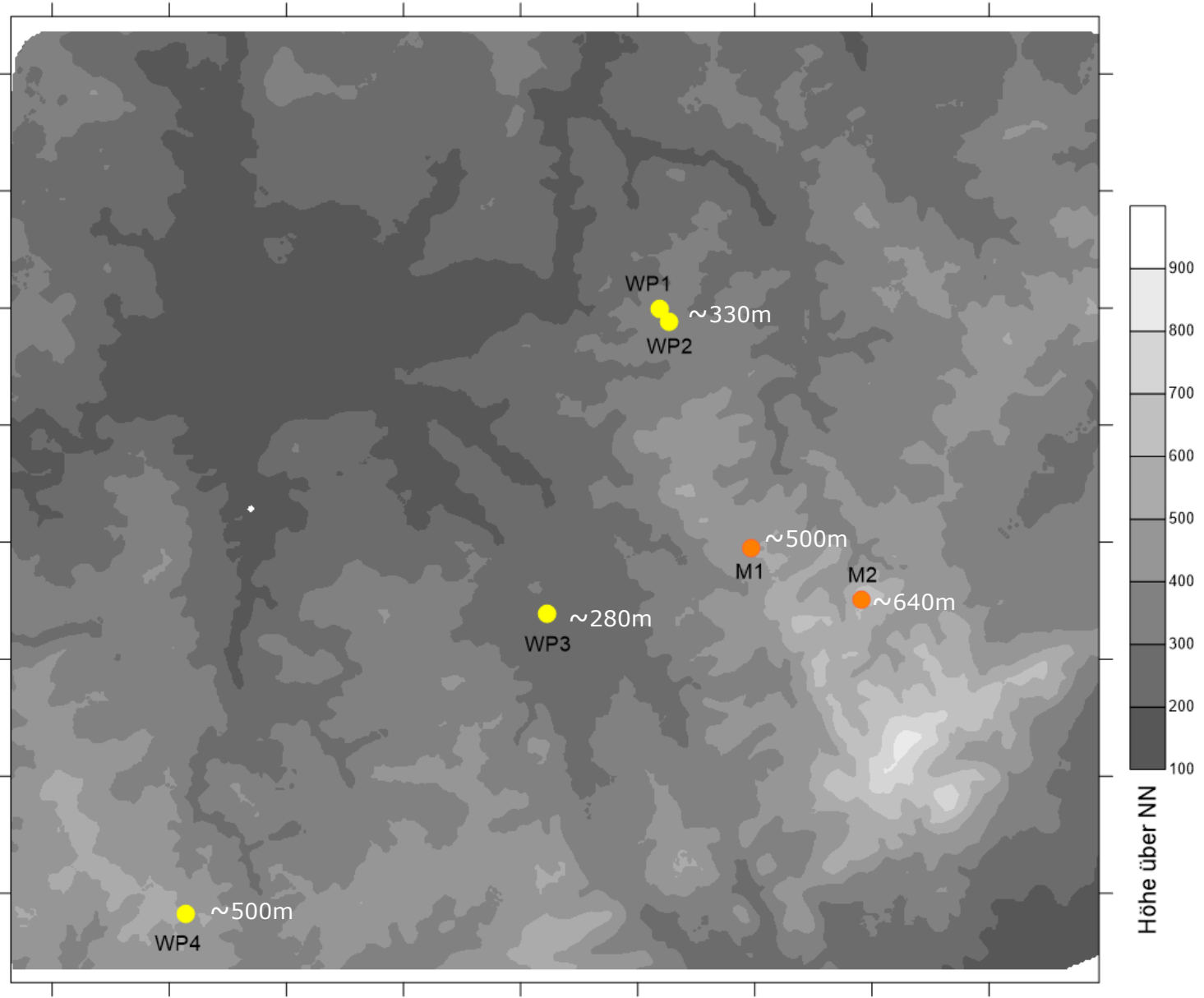
WP2: 3 WEA

WP3: 2 WEA

WP4: 7 WEA

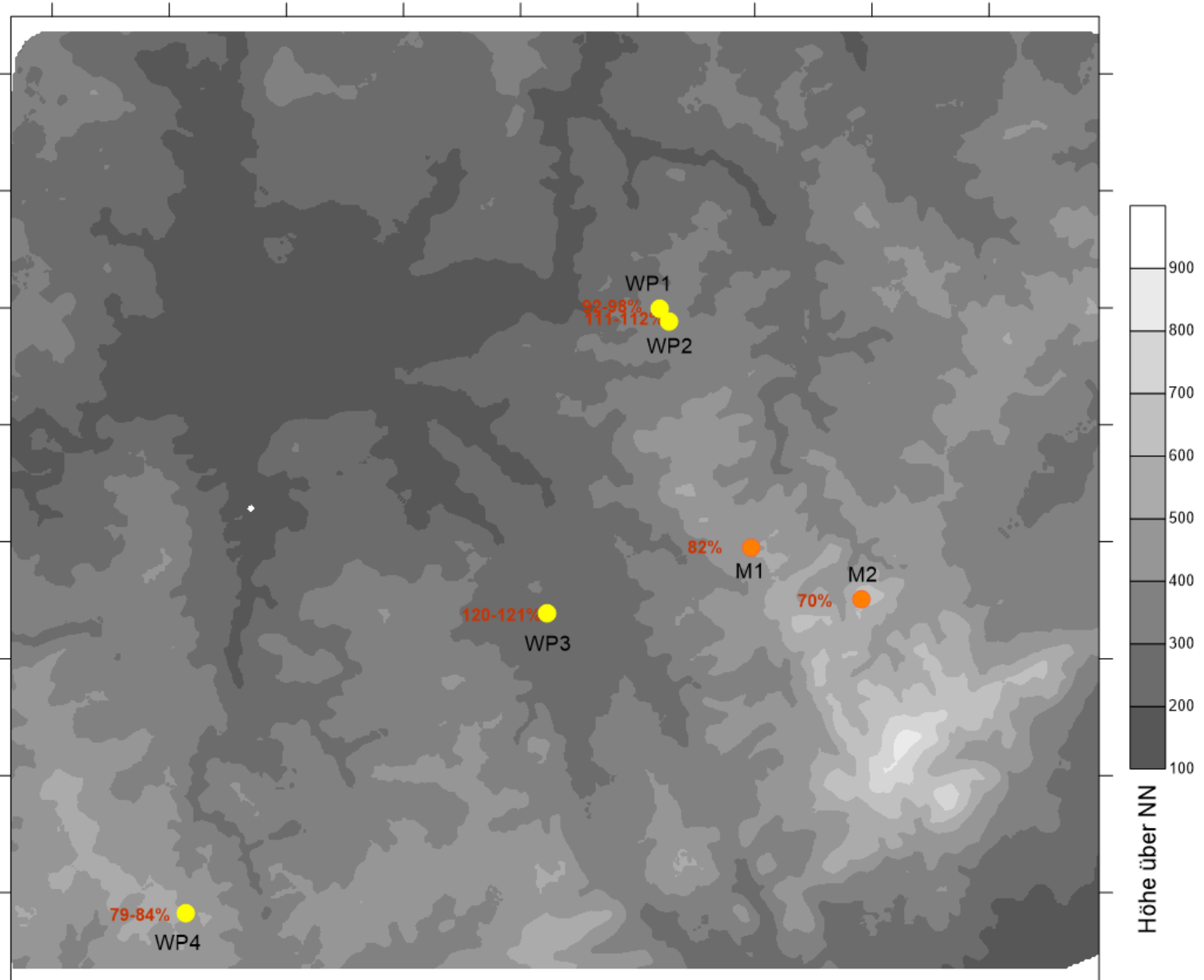
M1: LiDAR

M2: 125m Mast



ANWENDUNG: WASP MIT EINZELNER WINDSTATISTIK

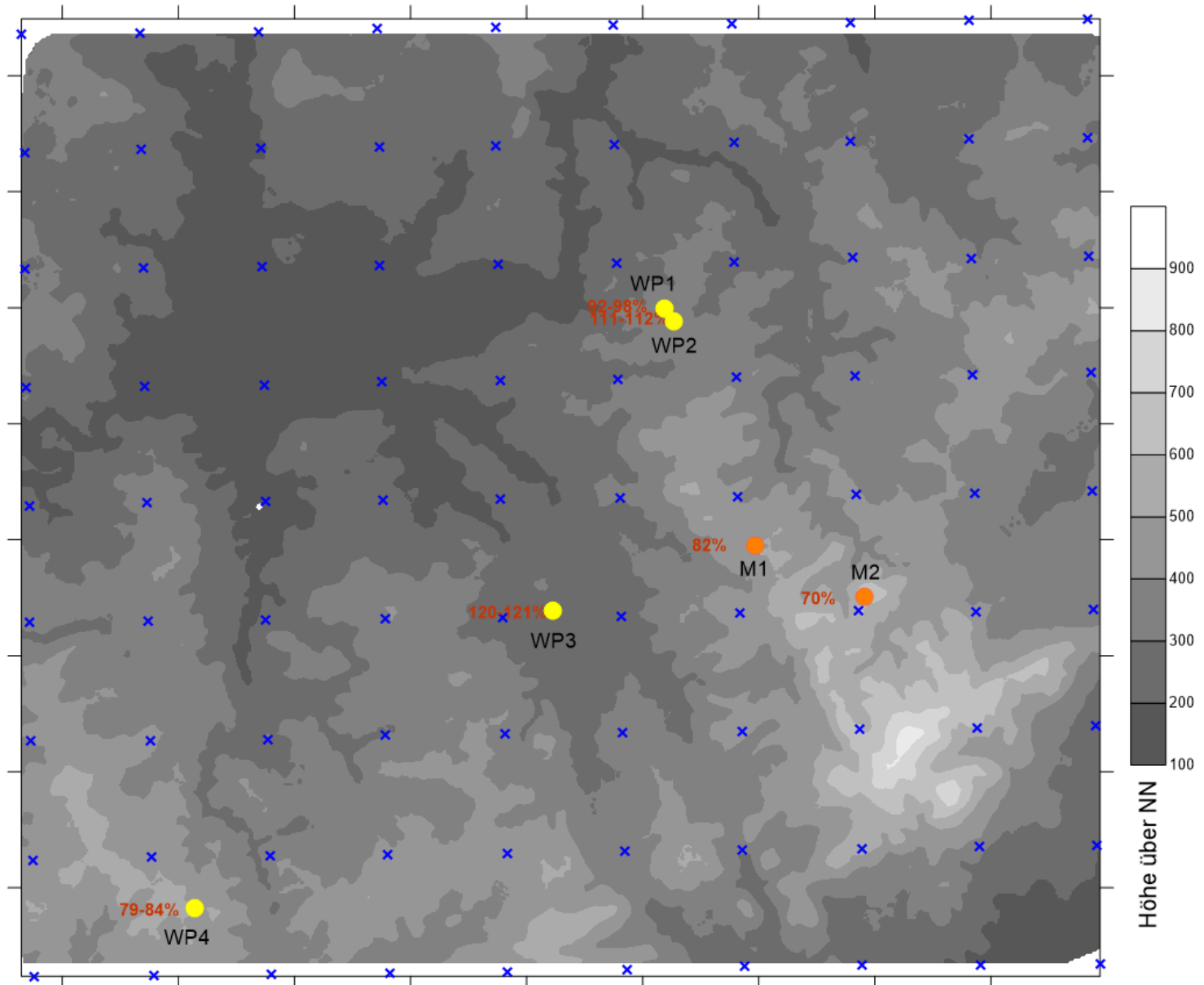
Mit Verwendung
einer einzelnen
Windstatistik
beträgt der
Fehler im
Energieertrag
mehr als $\pm 20\%$!!



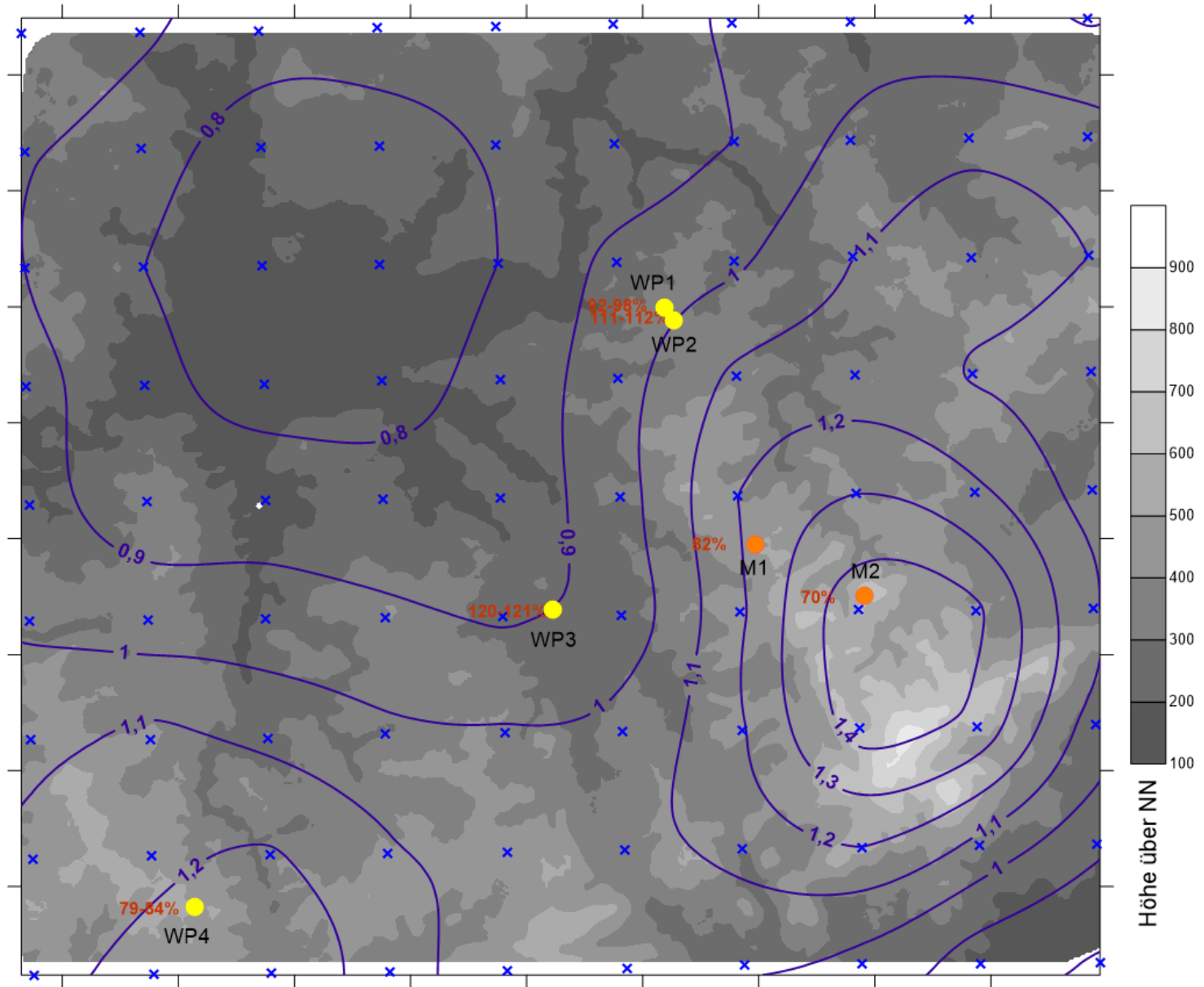
Reproduktionsgüte:

- einzelne Windstatistik

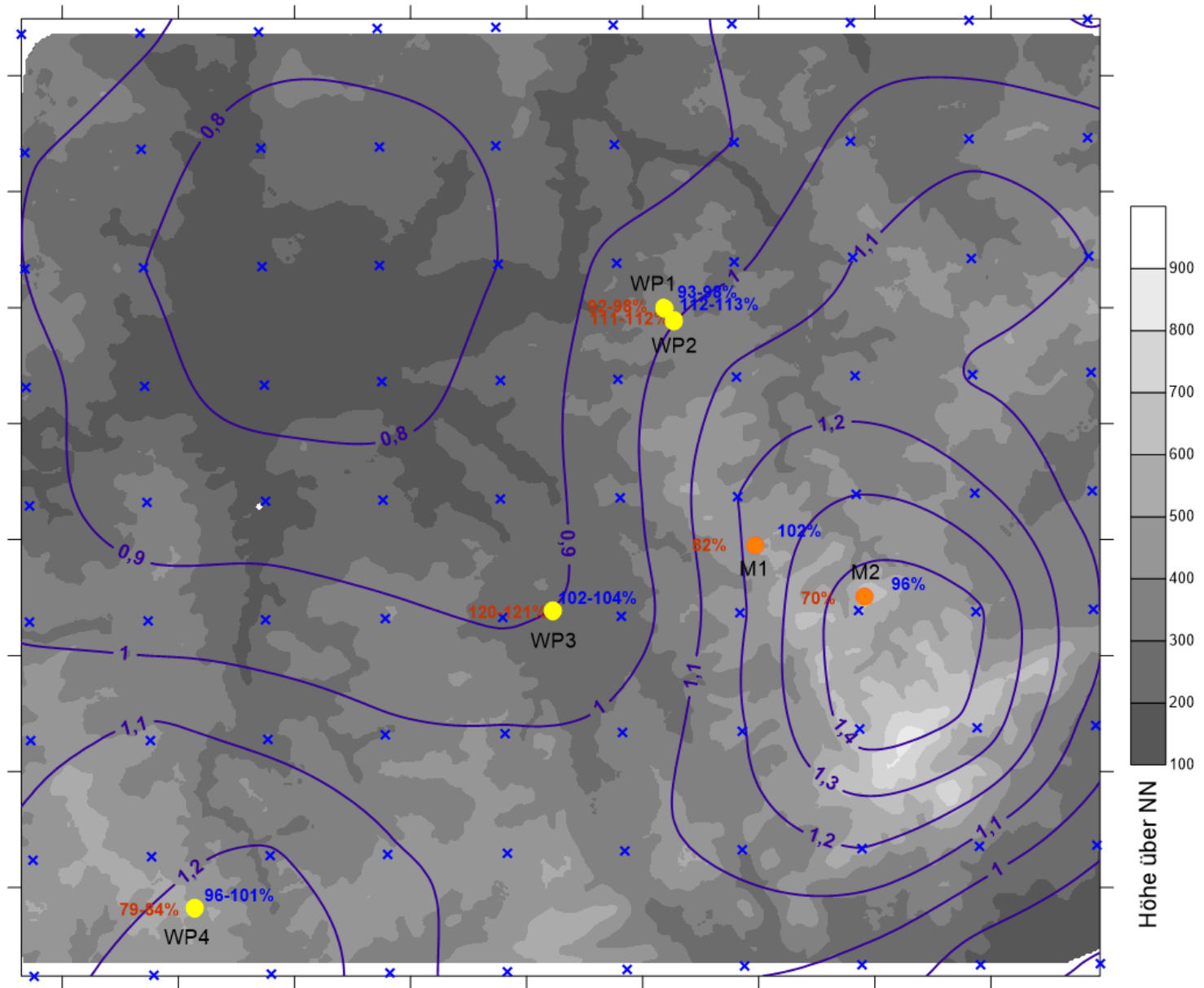
ANWENDUNG: GITTER DES ANEMOS-WINDATLAS



ANWENDUNG: RELATIVE STÄRKE DER ANEMOS-WINDSTATISTIKEN



ANWENDUNG: WASP + ANEMOS-WINDATLAS 2010 (MM5&NCAR)



Reproduktionsgüte:

- einzelne Windstatistik
- anemos 2010

ANWENDUNG: WASP + ANEMOS-WINDATLAS 2019 (WRF&ERA5)

MM5 single
mean 67%
Stabw 44%

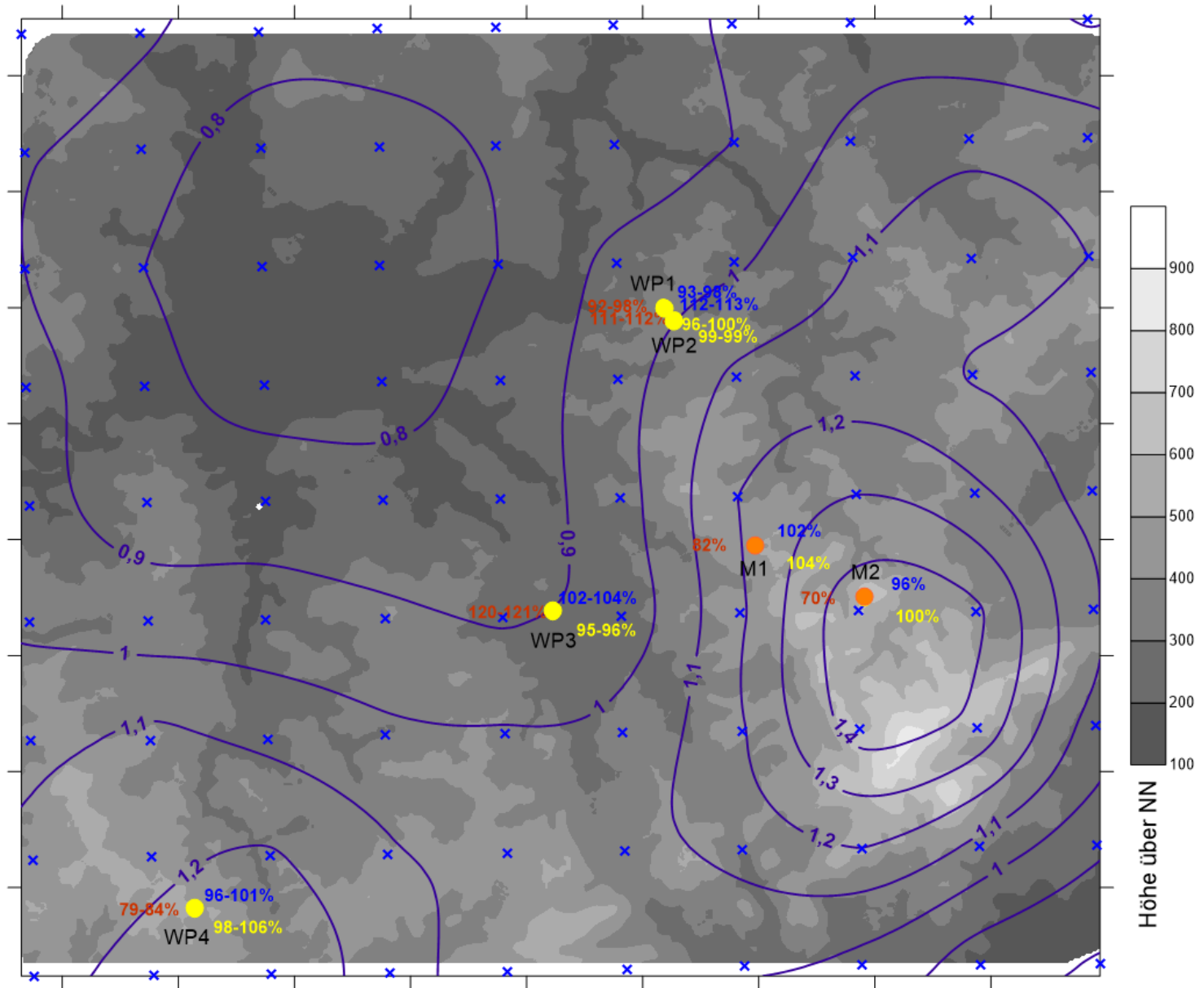
MM5
mean 100.3%
Stabw 6.0%
rms 5.8%

E5
mean 99.8%
Stabw 3.0%
rms 2.9%

Reproduktionsgüte:

- einzelne Windstatistik
- anemos 2010
- anemos 2019

RAMBOLL Bright ideas



ZUSAMMENFASSUNG

- Mit dem neuen anemos-Windatlas (Version 2019: WRF ERA5) werden die Windverhältnisse über Deutschland mit einer sehr guten Genauigkeit abgebildet
- Die räumlichen Unterschiede der Windbedingungen werden ebenfalls sehr gut wiedergegeben und erlauben eine substantielle Verbesserung von kleinräumigen Windsimulationen wie z.B. mit WAsP

Bright ideas. Sustainable change.

RAMBOLL



Thank you !

Dr. Anselm Grötzner
anselm.groetzner@ramboll.com