



Elektro- und
Systemtechnik

für die Nutzung
Erneuerbarer Energien

und die Dezentrale
Energieversorgung

Anwendungsnahe
Forschung und
Entwicklung

Institut für Solare
Energieversorgungstechnik
Verein an der
Universität Kassel e.V.

www.iset.uni-kassel.de

VWEW/VDE-Fachtagung



Dezentrale Energieversorgung - Entwicklungschancen, Voraussetzungen, Pilotprojekte

30. und 31. Mai 2007 in Mainz

**Präzise Vorhersagetools steigern die Effizienz
Virtueller Kraftwerke**

Dr. Kurt Rohrig

Einleitung

Stand der Technik

Charakteristik der Windenergieeinpeisung

Cluster-Management-System

Große Virtuelle Kraftwerke

**Verbesserungspotenziale bei der
Windleistungsprognose**

Ausblick





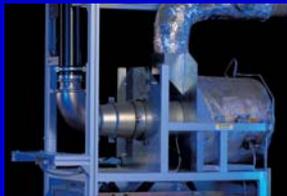
Elektro- und
Systemtechnik

für die Nutzung
Erneuerbarer Energien

und die Dezentrale
Energieversorgung

Anwendungsnahe
Forschung und
Entwicklung

Institut für Solare
Energieversorgungstechnik
Verein an der
Universität Kassel e.V.



Gründung

1988 als „An-Institut“ der
Universität Kassel

seit 1995 zweiter Standort in Hanau

Schwerpunkte

Windenergie

Photovoltaik

Biomassenutzung

Wasserkraft und Meeresenergie

Energiewandlung und Speicher

Stromrichtertechnik

Hybridsysteme

Energiewirtschaft

Vorstand

Prof. Dr. Jürgen Schmid (Vors.)

Prof. Dr. habil. Peter Zacharias

Dr. Oliver Führer

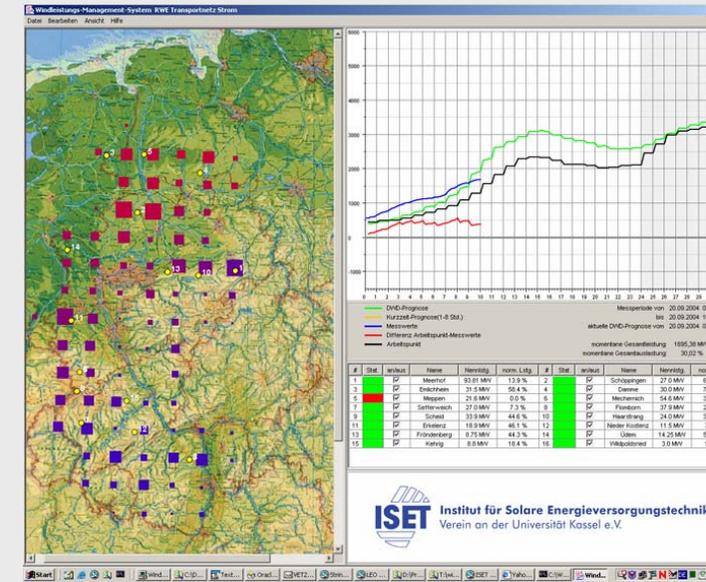
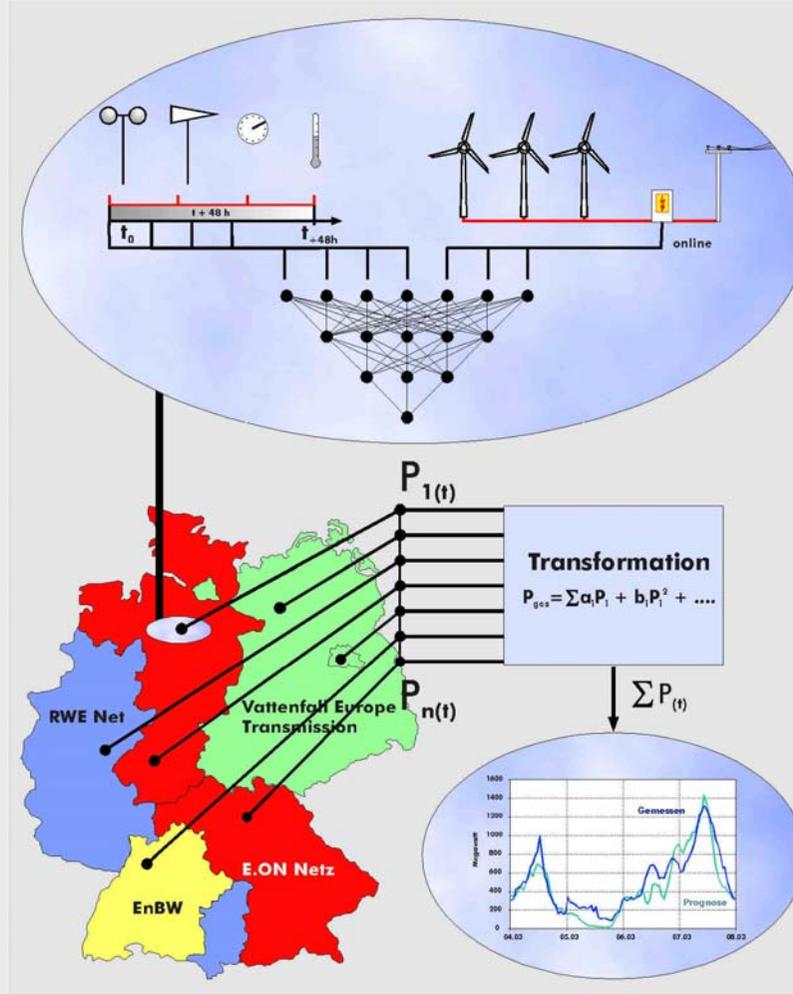
Elektro- und Systemtechnik

für die Nutzung Erneuerbarer Energien

und die Dezentrale Energieversorgung

Anwendungsnahe Forschung und Entwicklung

Institut für Solare Energieversorgungstechnik
Verein an der Universität Kassel e.V.

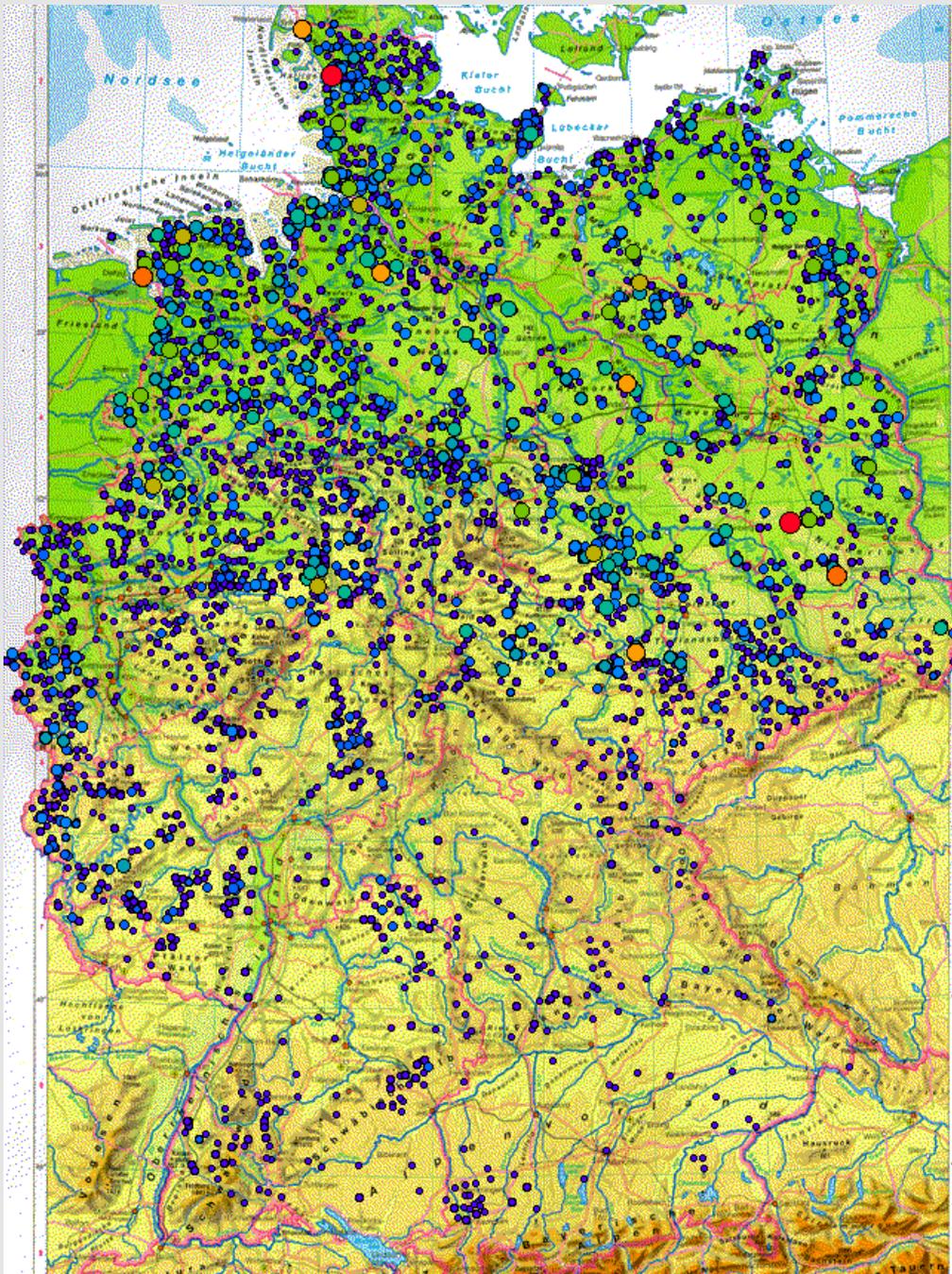


Utilisation of Wind Energy
Potentials • Technology • Economy • Planning • Operation

Pilot Wind Farm Project in Libya
Wind Energy Basic Course
27/10/01 - 08/11/01
at GECOL, Tripoli

ISET Institut für Solare Energieversorgungstechnik
Verein an der Universität Gesamthochschule Kassel e.V.

Windenergienutzung
Informations- und Prognosesysteme
Energieversorgungsstrukturen
Information und Weiterbildung



Windenergienutzung in Deutschland

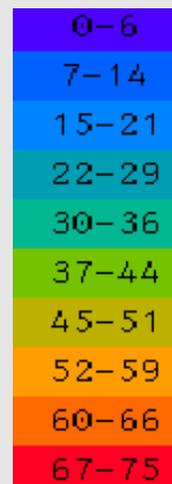
20400 MW
18400 WEA

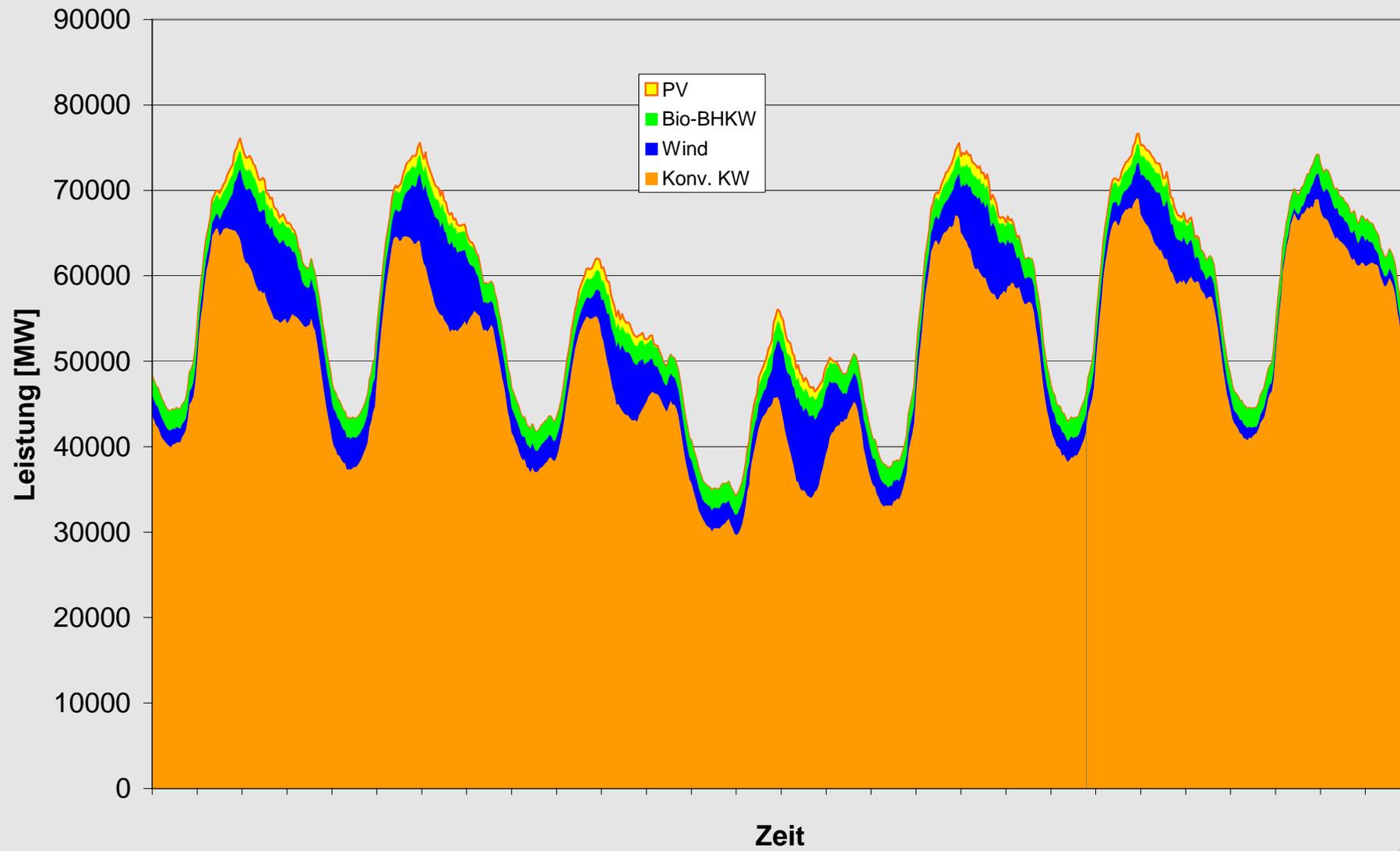
Stand 12/2006

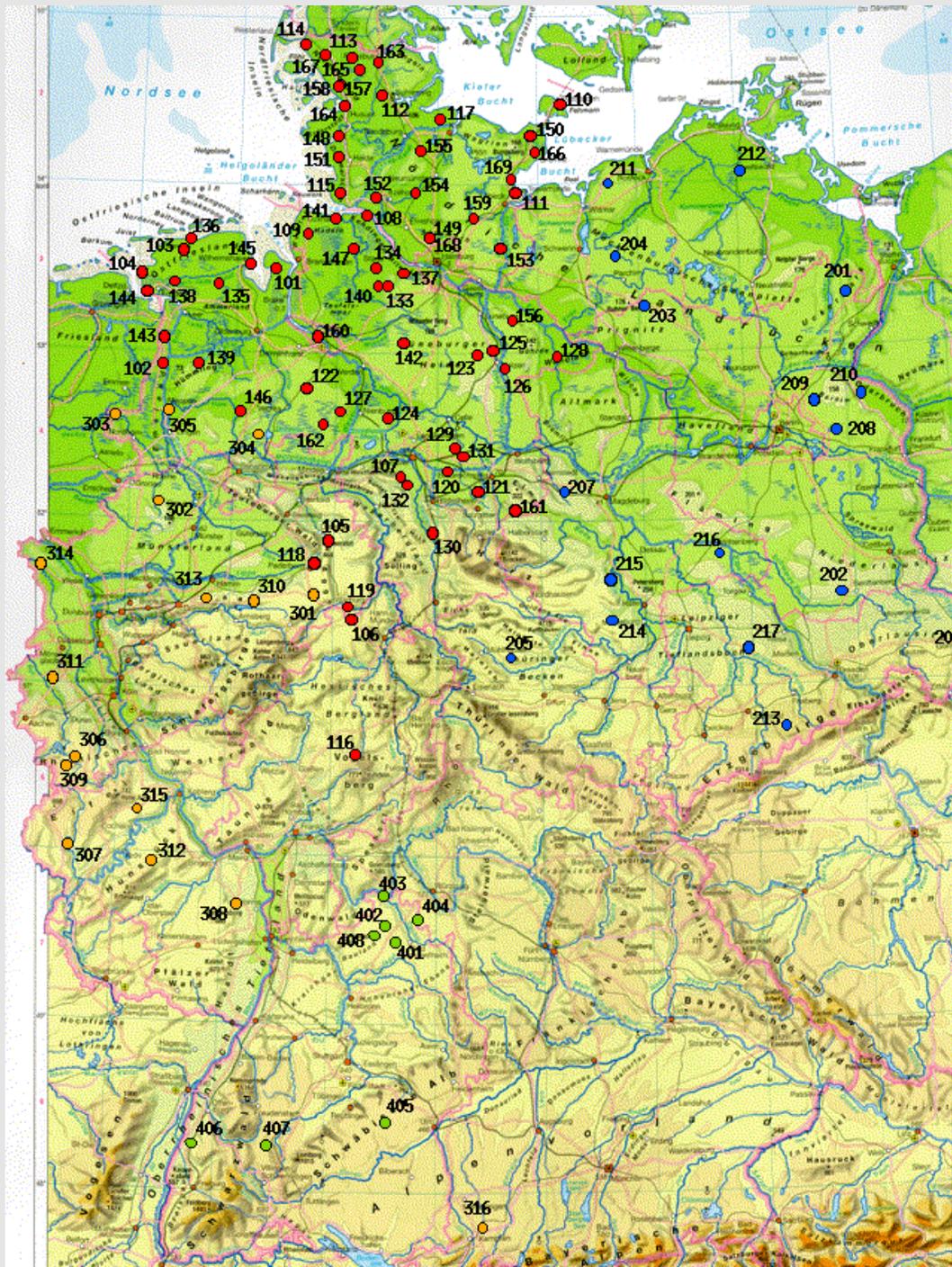
Erzeugte Energie

26,4 TWh in 2005
30,3 TWh in 2006

**Inst. Leistung
[MW]**



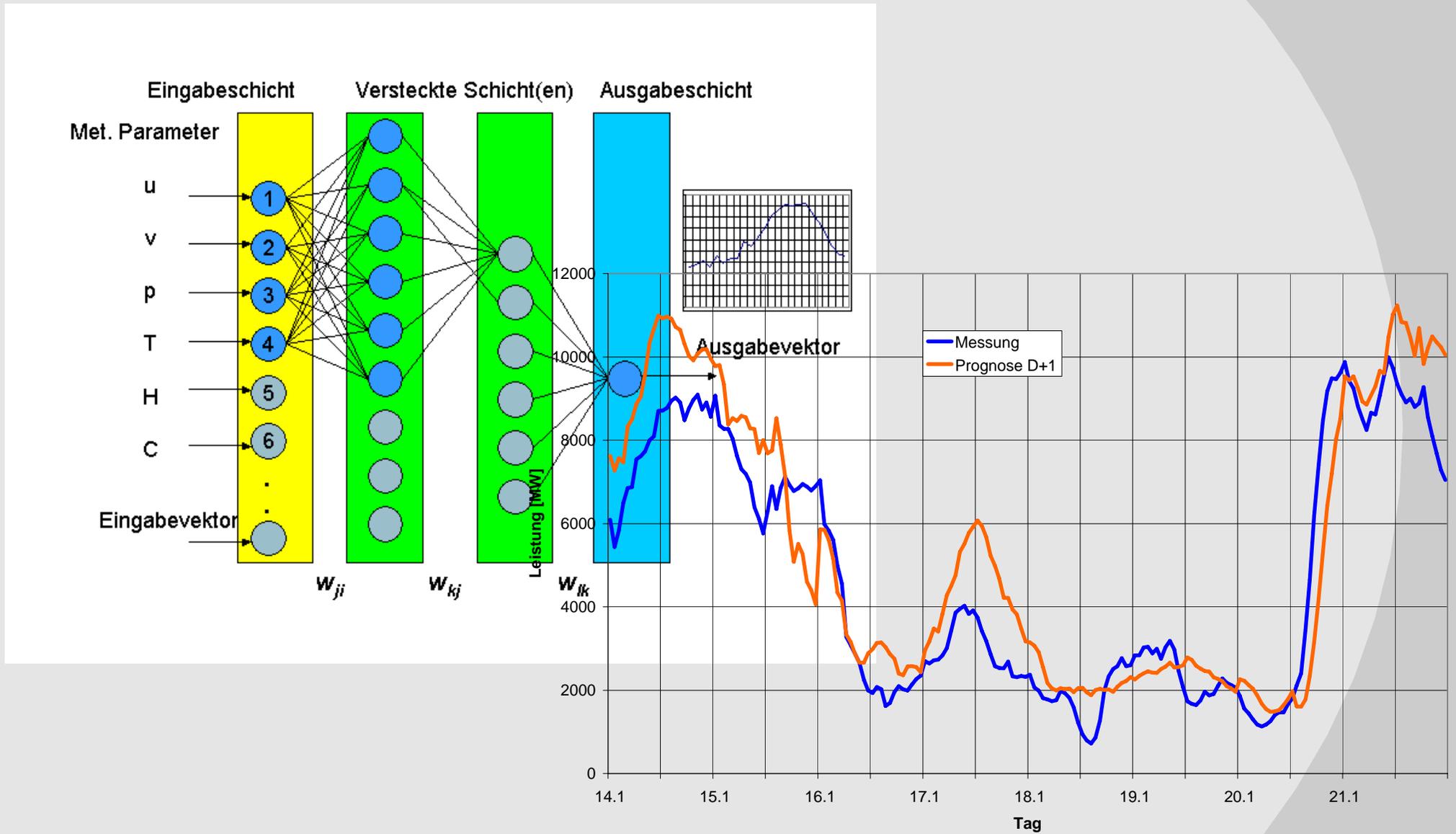




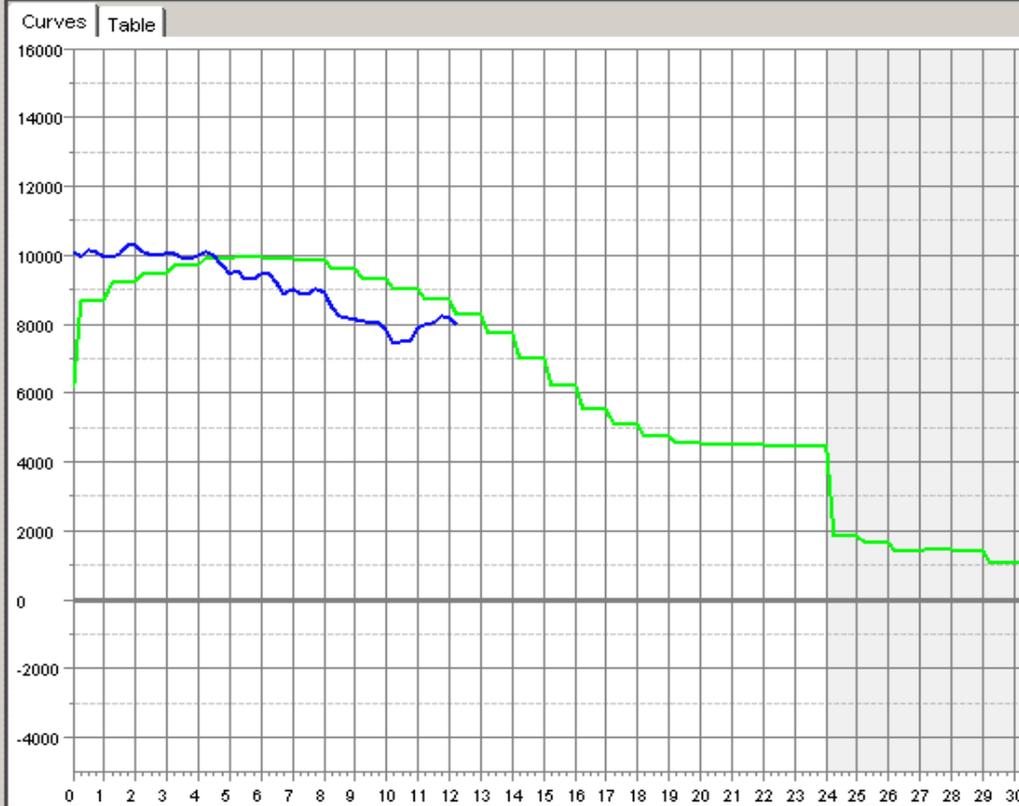
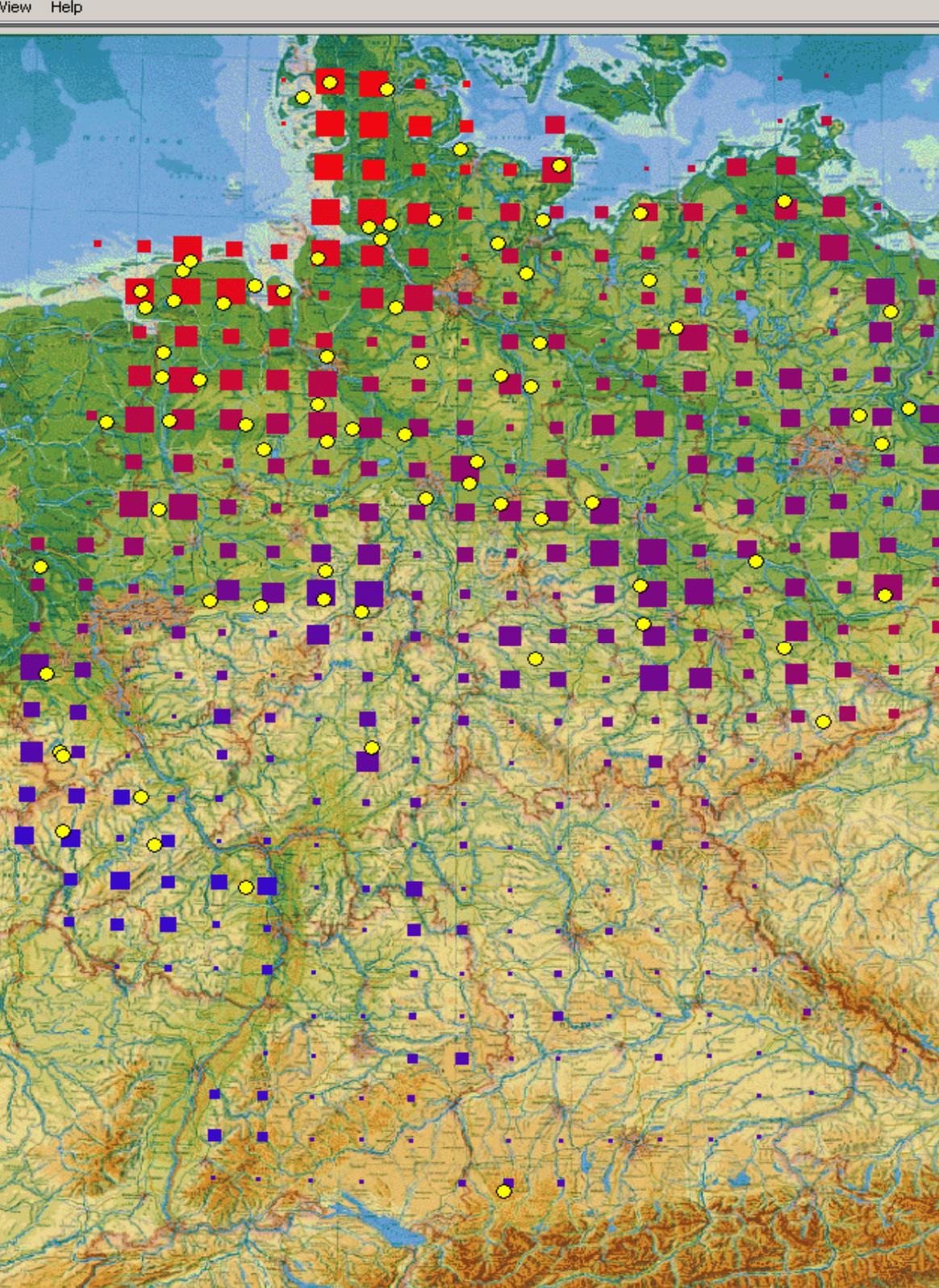
Referenzmessnetz

Leistungsmessung an repräsentativen Windparks (Umspannwerken)

- E.ON:** 69 Stationen 2356 MW (33,2 %)
 - VE-T:** 17 Stationen 725 MW (11,4 %)
 - RWE:** 16 Stationen 461 MW (15,2 %)
 - EnBW:** 7 Stationen 108 MW (41,3 %)
- Summe: 111 Stationen 3650 MW (21,8 %)**



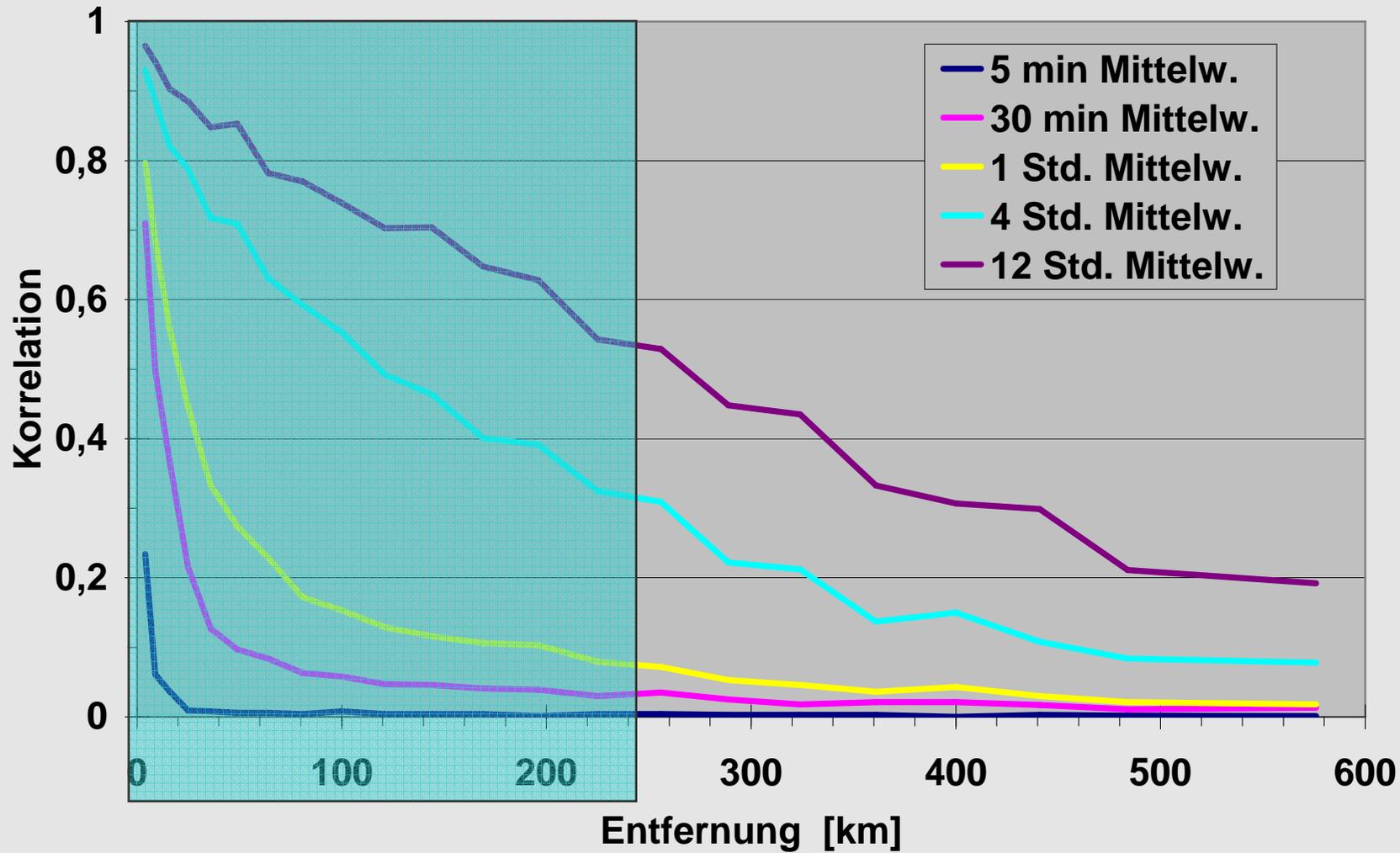
Windleistungsprognose mit Hilfe Künstlich Neuronaler Netze



— Measurement Measurement from 25.12.2004 00:00
 — DWD forecast to 25.12.2004 12:15
 — Short-term forecast DWD forecast of 24.12.2004 07:00
 — Reference curve
 — Deviation reference-measurement

Total instantaneous power output: 7994 MW
 Instantaneous capacity factor: 0,00 %

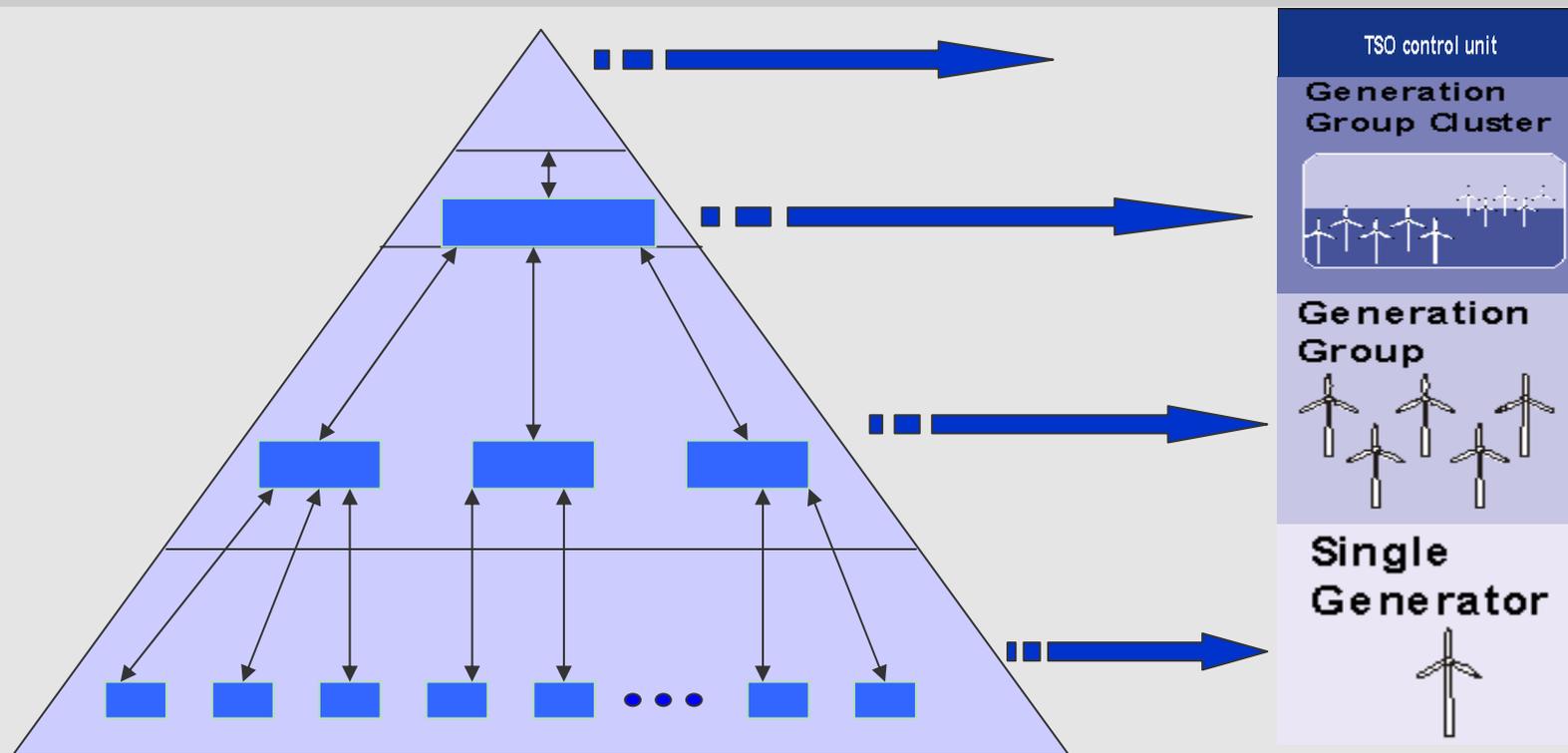
#	St...	On...	Name	Capacity	ICF	#	State	On...	Name	Capacity	ICF
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Nordenham	13.5 MW	83.5 %	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Niederlangen	93.0 MW	30.5 %
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Holtriem	52.5 MW	70.4 %	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Manslagt	29.1 MW	78.0 %
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Freiburg	40.6 MW	75.8 %	6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Krempel	80.8 MW	58.4 %
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Travemuende	7.9 MW	45.9 %	8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Lindewitt	34.0 MW	93.2 %
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Niebuell	24.21 MW	80.7 %	10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ulrichstein	10.3 MW	33.8 %
11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Gettorf	13.5 MW	116.5 %	12	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Benhausen	33.275 MW	22.2 %
13	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Daseburg	32.0 MW	8.2 %	14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Schwicheldt	31.3 MW	48.5 %
15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bleckenstedt	27.9 MW	61.4 %	16	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wedehorn	33.9 MW	59.3 %
17	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Stadorf	38.75 MW	65.6 %	18	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bueren	46.25 MW	28.5 %
19	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Emern	24.0 MW	76.1 %	20	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pennigsehl	51.0 MW	38.8 %
21	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Katensen	31.5 MW	13.2 %	22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Gestorf	16.0 MW	54.6 %
23	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bentstreek	18.0 MW	80.2 %	24	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Dansum	26.4 MW	64.4 %
25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ihlow	49.8 MW	78.2 %	26	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Lorup	37.8 MW	74.3 %
27	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Oersdorf	46.7 MW	56.2 %	28	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Tewel	35.2 MW	31.4 %
29	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Rhede	77.4 MW	64.4 %	30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wybelsum	37.5 MW	68.7 %
31	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wilhelmshav...	8.0 MW	78.7 %	32	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wulfenau	39.6 MW	0.0 %



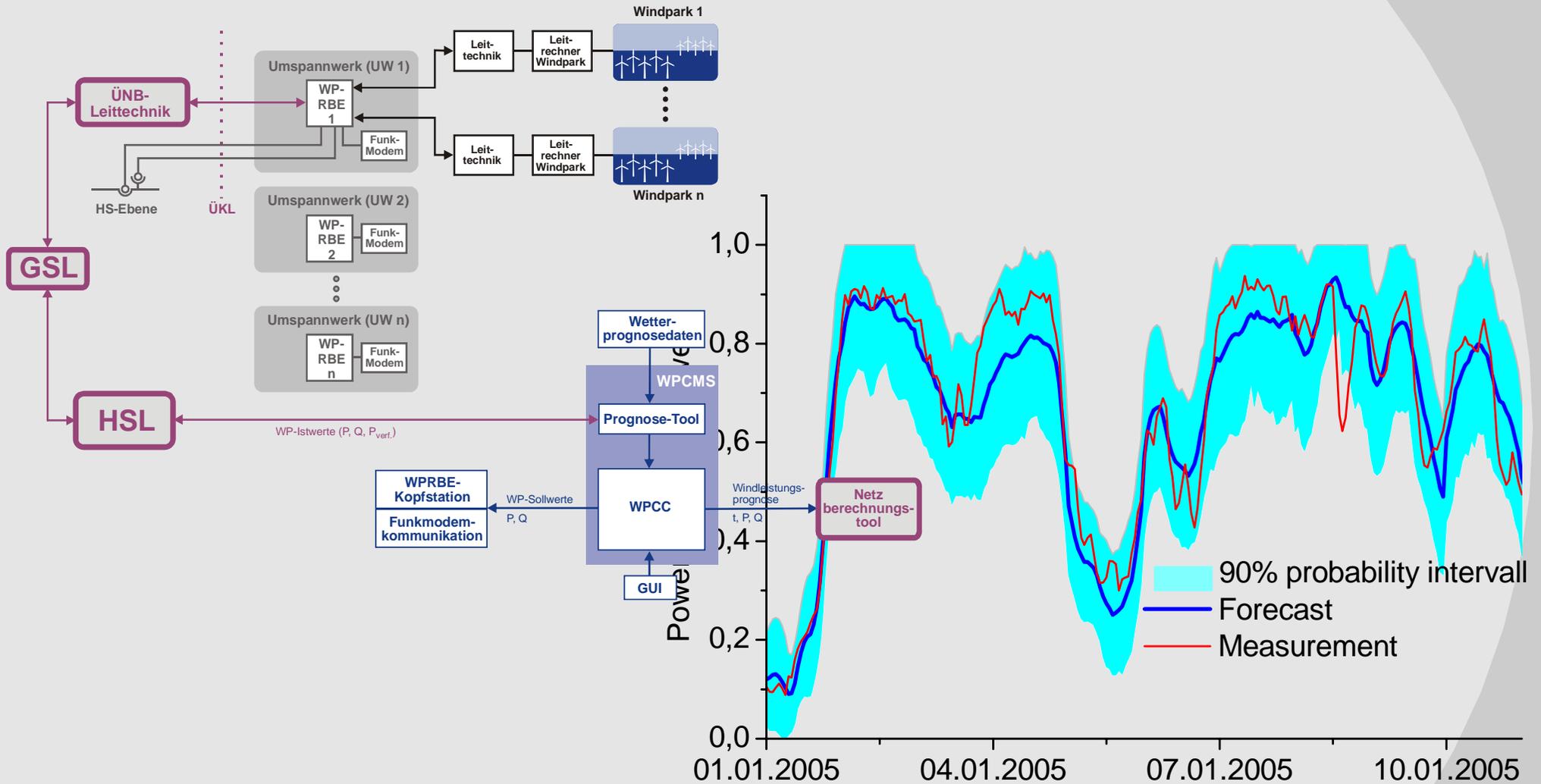
Charakteristik der Windenergieeinspeisung

105																			2	19	27
100														1	4	3	14	37	102	15	
95												2		1	2	13	35	93	42	4	
90											1	1	1	3	8	45	96	42	8	2	
85							1		2	1	1	2	7	17	44	91	41	12	3		
80							1	1	2	4	4	4	16	50	72	46	11	4	1		
75						1	1	2	4	4	3	18	53	106	51	7	5	1	1		
70						1	1	1	1	11	26	58	105	48	22	7	2				
65					1	1		1	4	7	28	75	130	56	15	5	2	3	1		
60					2	1	4	3	14	37	96	186	75	24	3	1	3				
55											100	99	22	11	4	1	4				
50		2		3	1	10	14	42	143	269	128	72	9	4	4	1					
45				5	6	8	40	187	298	143	39	12	4	2	2						
40	1		3	5	18	49	215	387	186	48	15	15		3	1						
35	2	1	5	12	55	252	464	220	45	11	2	12	2	1		1	1				
30		1	14	54	362	737	269	53	13	6	3	15	2		1						
25	2	14	50	453	1172	386	45	14	4	3	1	12									
20	8	31	585	1636	461	55	11	5		2		12			1						
15	13	737	2775	581	54	10	4	6		2		12									
10	720	5219	723	41	7	4	1			1		12									
5	10622	711	26	4	4							12									
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105

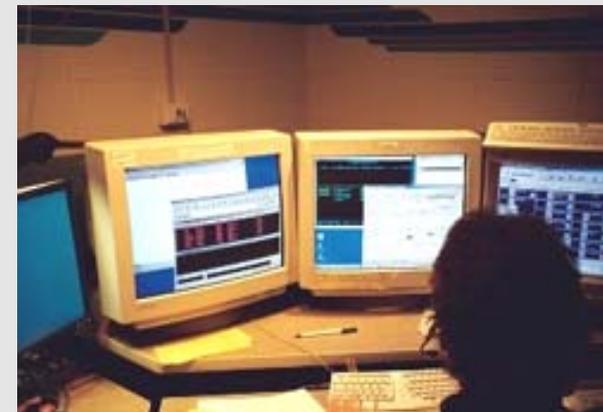
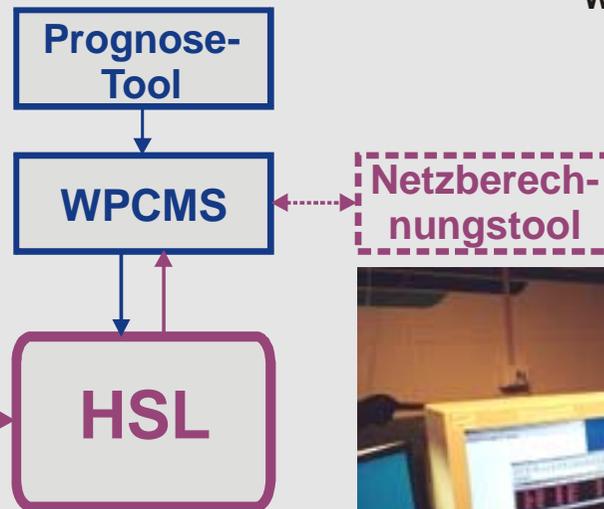
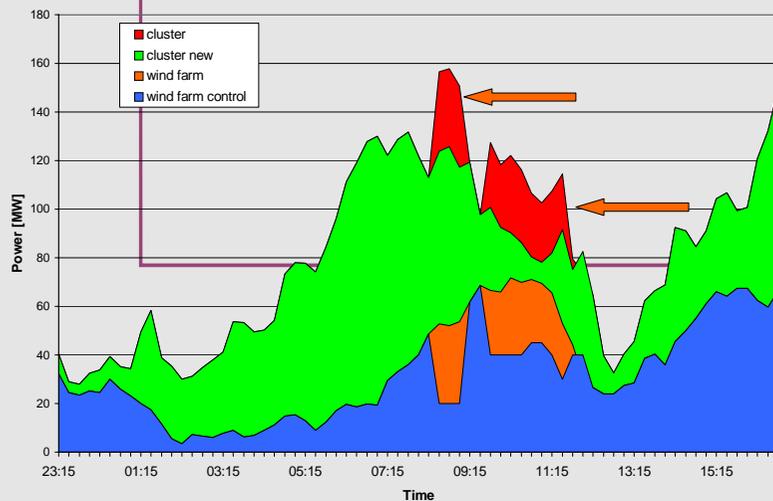
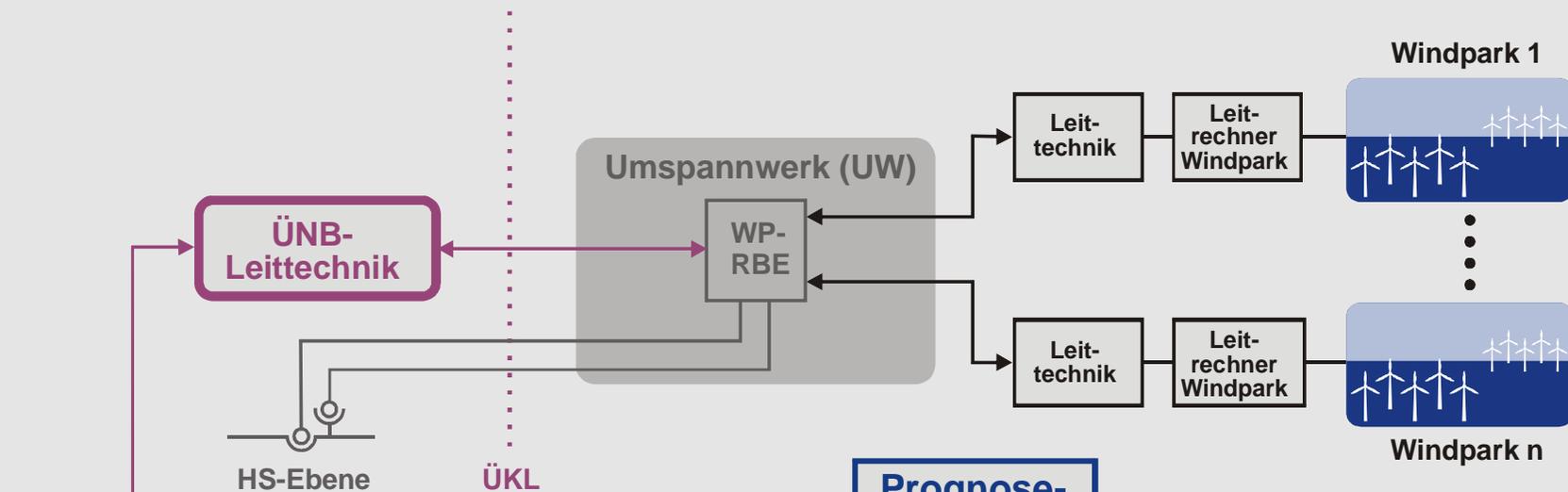
Übergangsmatrix der Leistungsänderungen in 15 Minuten – Windpark 72 MW basierend auf 15-Minuten-Mittelwerten der Leistung von 2005

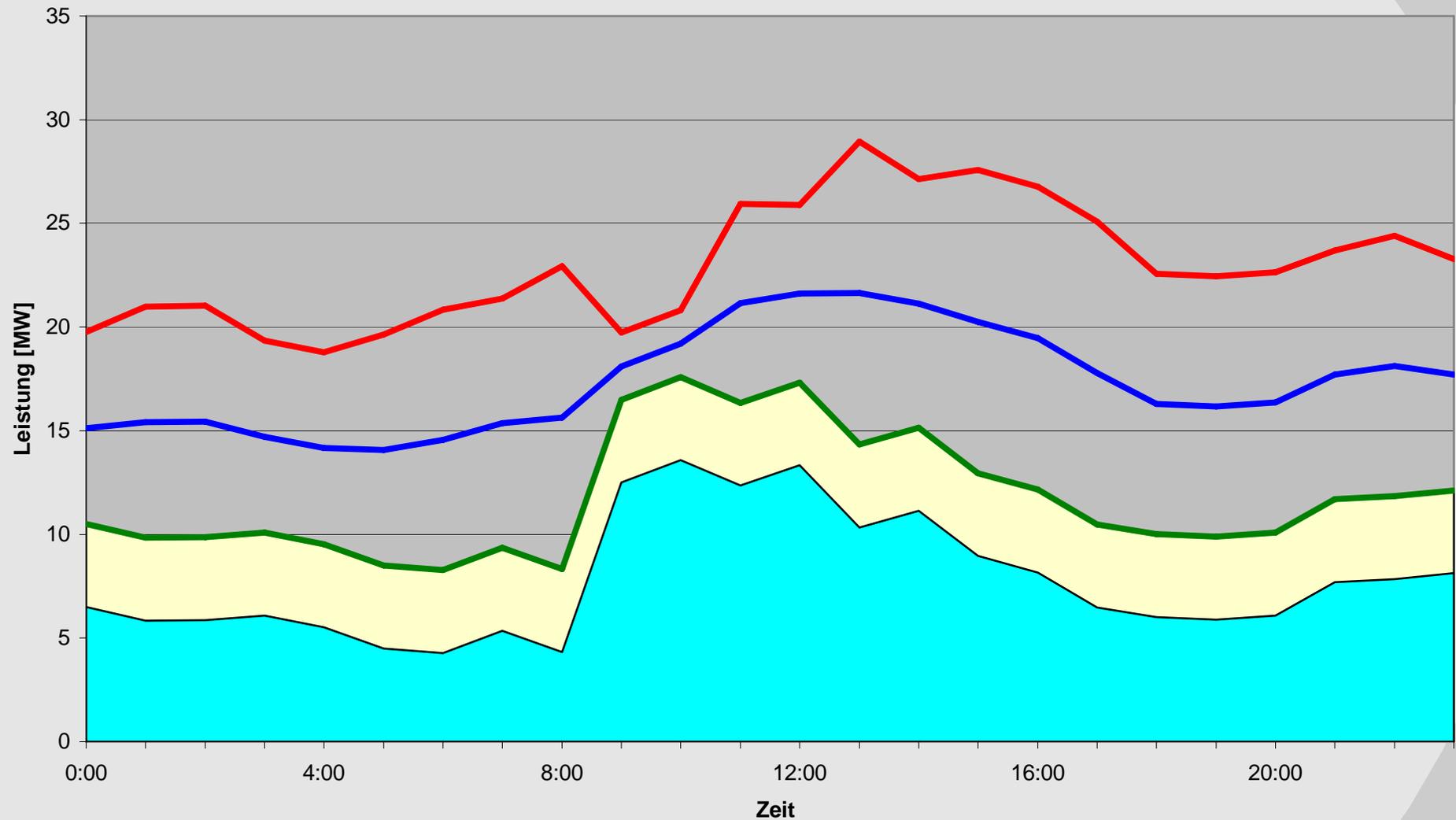


- **Geografisch Verteilte Windparks werden zu Clustern, den so genannten Windpark-Clustern zusammengefasst(je HöS-Knoten ein Cluster)**
- ***Windpark Cluster Management System* unterstützt den ÜNB bei der Systemführung durch gezielte Steuerung der Windparks**

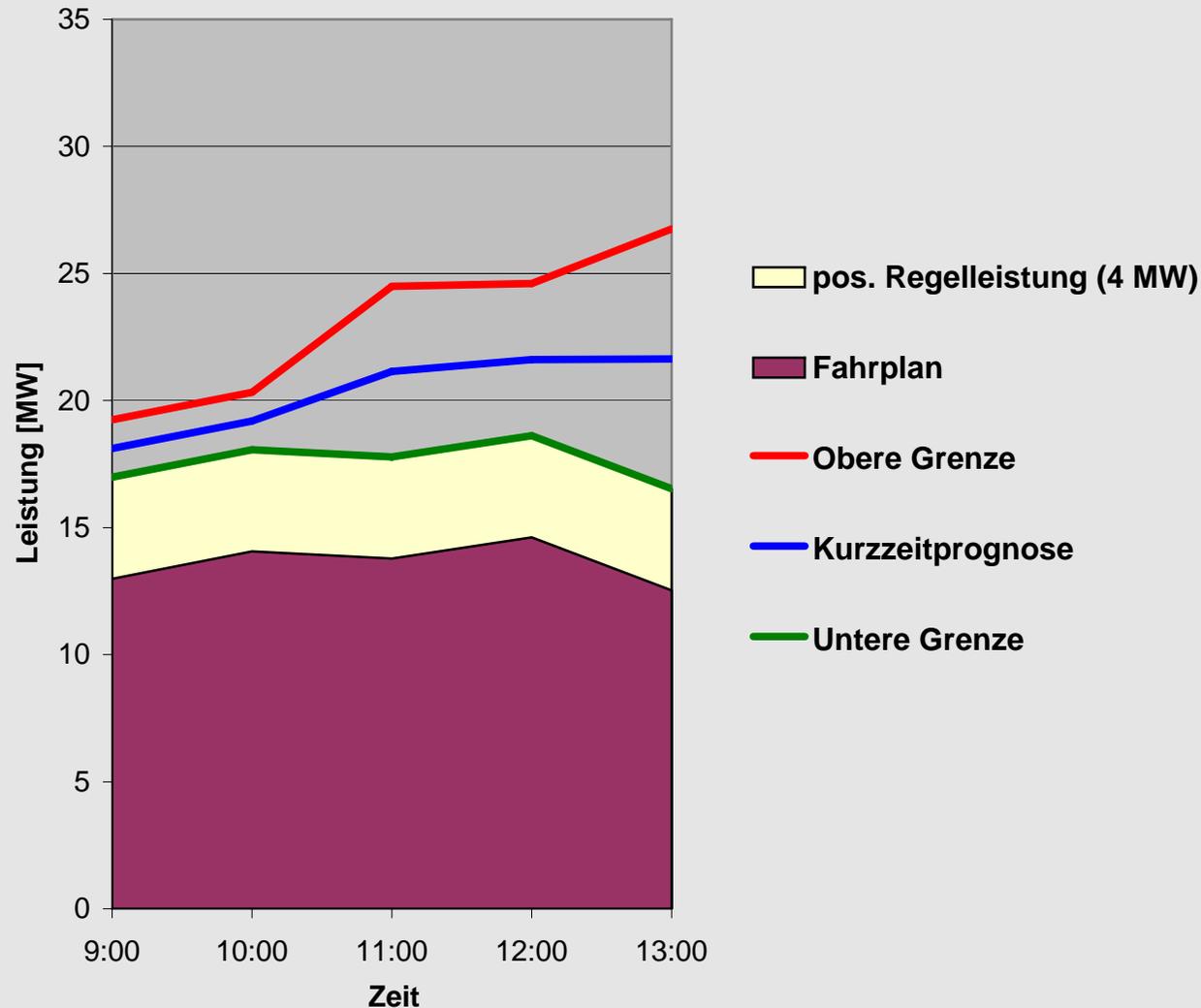


Optimierung durch den Einsatz von Vertraulichkeitsbereichen und moderner Windpark-Betriebsführung



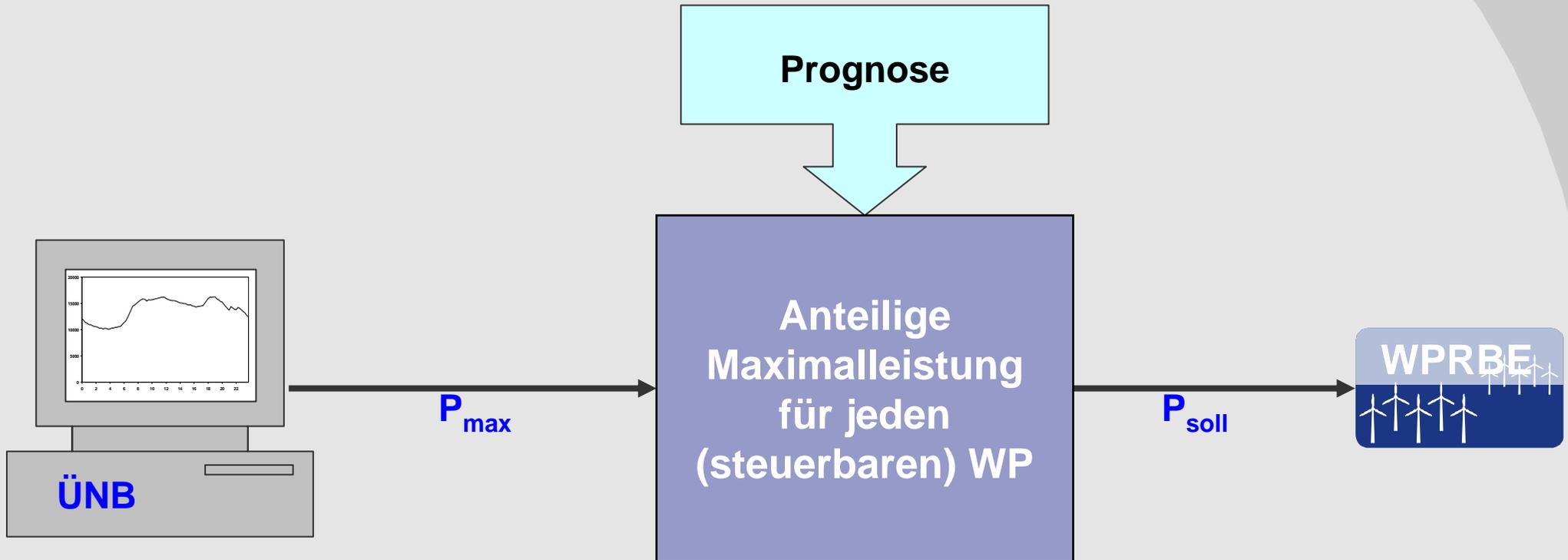


pos. Regelleistung (4 MW) neg. Regelleistung (Rest) Obere Grenze Folgetagsprognose Untere Grenze

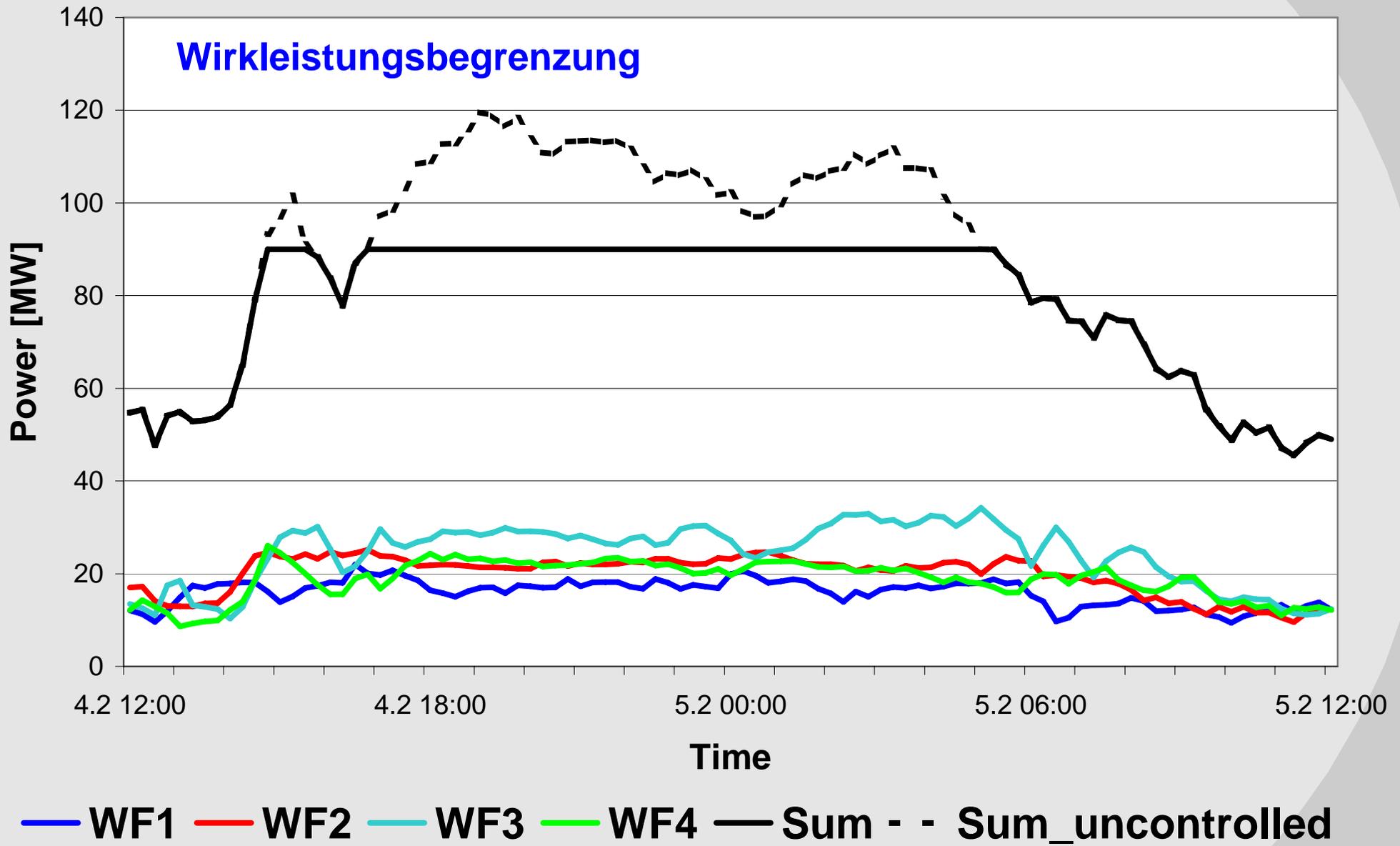


z.B. Kurzzeitprognose 9:00

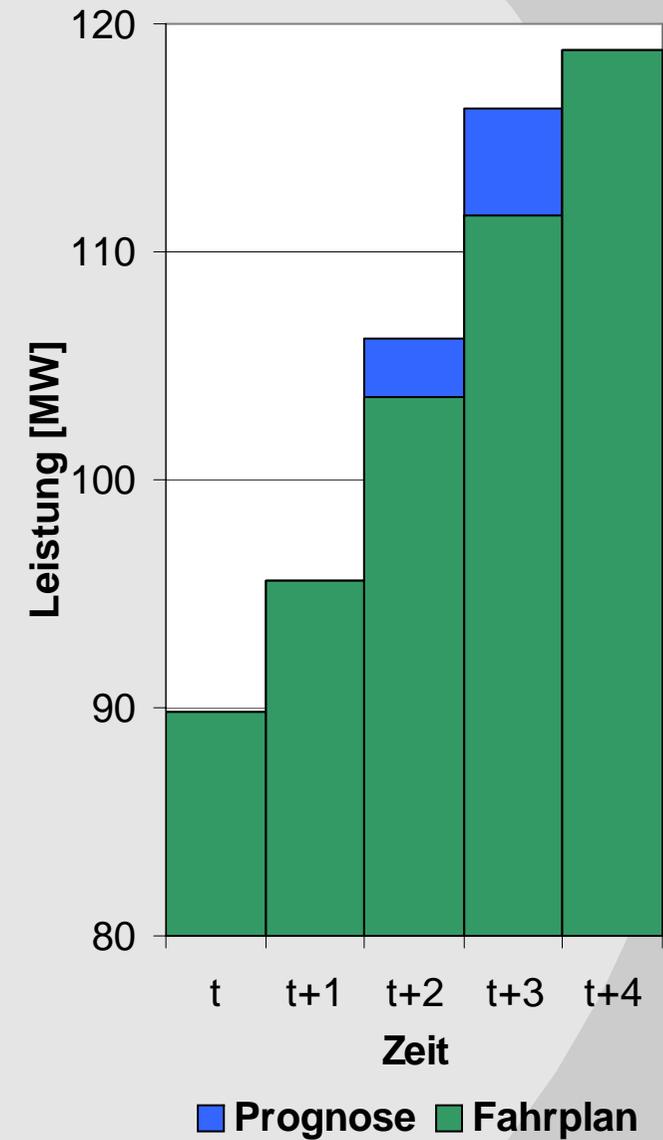
- **Konfidenzintervall schmaler!**
- **Fahrplan mit Regelleistung für 4 Stunden**

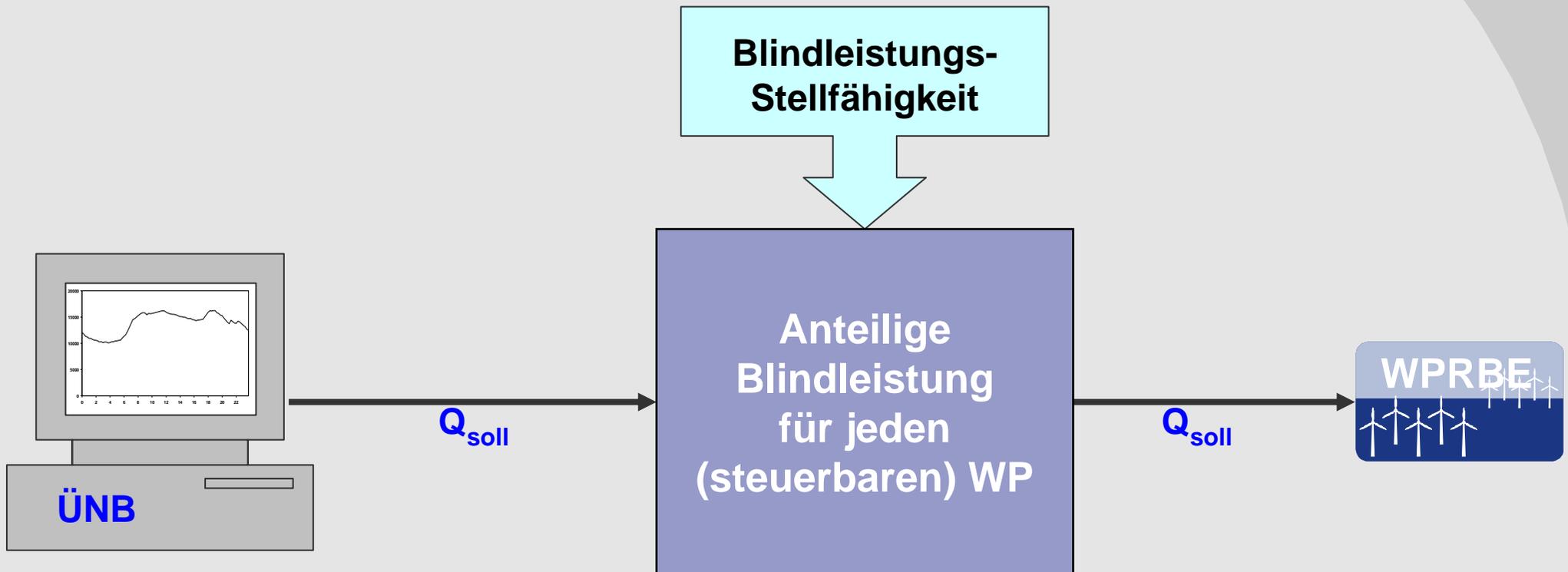


- Leistungsabgabe jedes WPs anteilmäßig drosseln

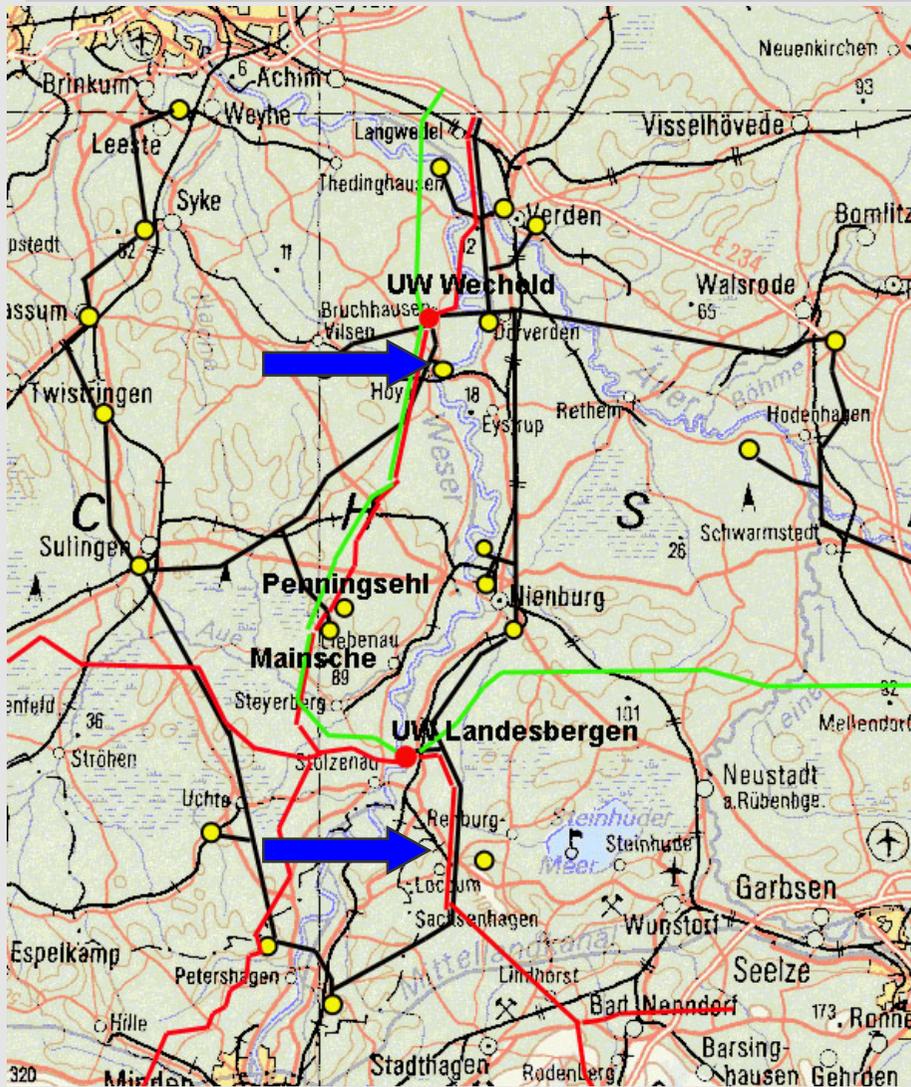


Zeit	Fahrplan ohne Begrenzung		Fahrplan mit Begrenzung	
	P	dP	P	dP
t	89,782	5,812	89,782	5,812
t +1	95,594	10,621	95,594	8,000
t+2	106,215	10,035	<u>103,594</u>	8,000
t+3	116,250	2,573	<u>111,594</u>	7,229
t+4	118,823	...	118,823	...





- **Blindleistung je nach Stellfähigkeit auf alle WPs verteilen**



Wissenschaftler informierten sich gestern im Umspannwerk in Mainsche über die neu entwickelte Steuerung von Windkraftanlagen. Links: Dr. Bernard Lange, Projektleiter des Kassler Instituts für Solare Energieversorgungstechnik (ISET).
Fotos: Hildebrandt

Sie steuern den Wind

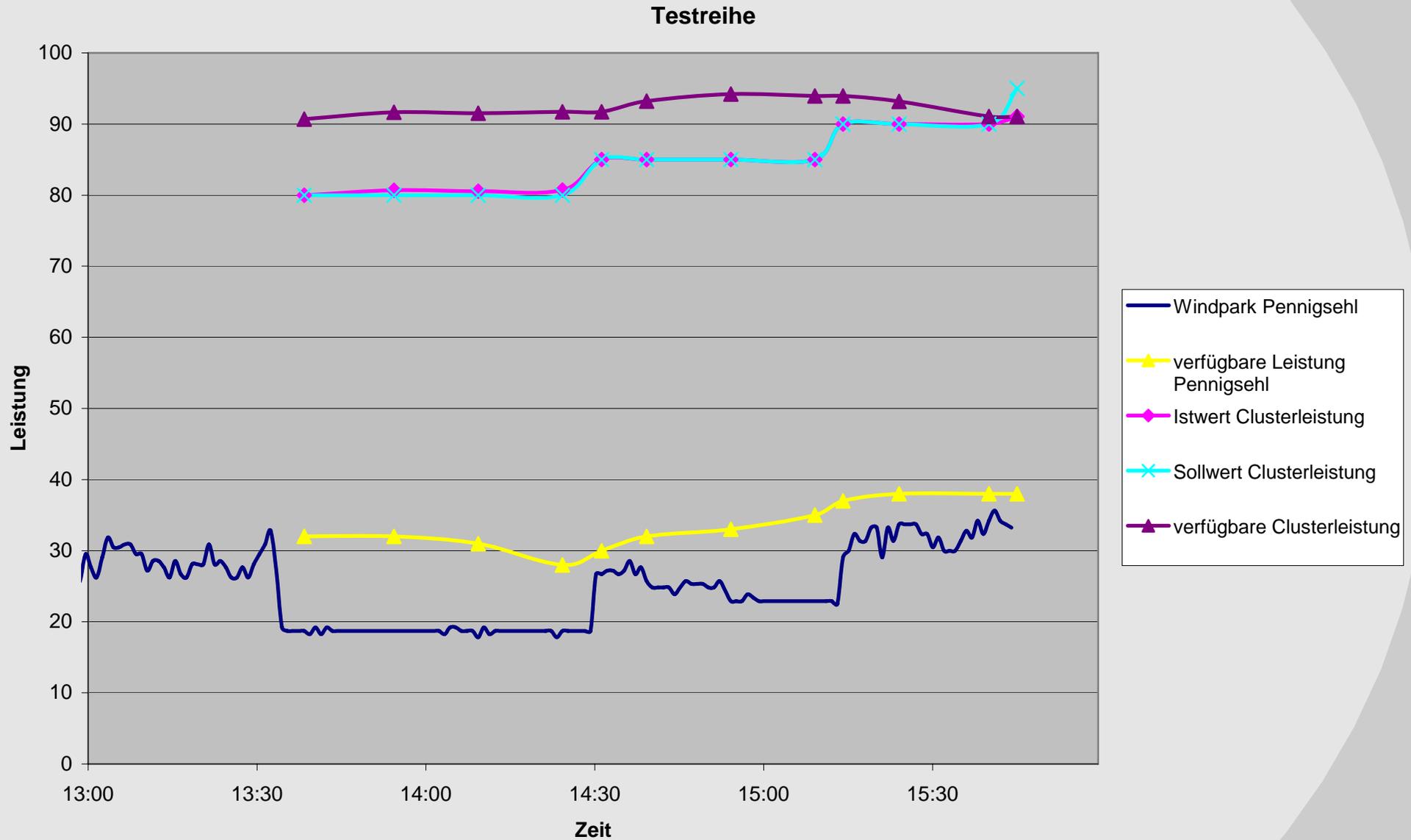
Wissenschaftlern neue Software im Umspannwerk Mainsche vorgestellt

Mainsche (ah). Auch wenn der Wind kräftig weht – Windkraftanlagen sollen nur noch so viel Energie ins Stromnetz abgeben, wie benötigt wird. Im Januar beginnt, wie Dienstag berichtet, im Umspannwerk von Mainsche (Gemeinde Pennigsehl) die Testphase eines vom Kassler Instituts für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) neu entwickelten Systems, das vor allem bei den bis 2020 in der Nordsee geplanten Windparks angewendet werden soll.



Gestern machten sich Wissenschaftler von ISET und der

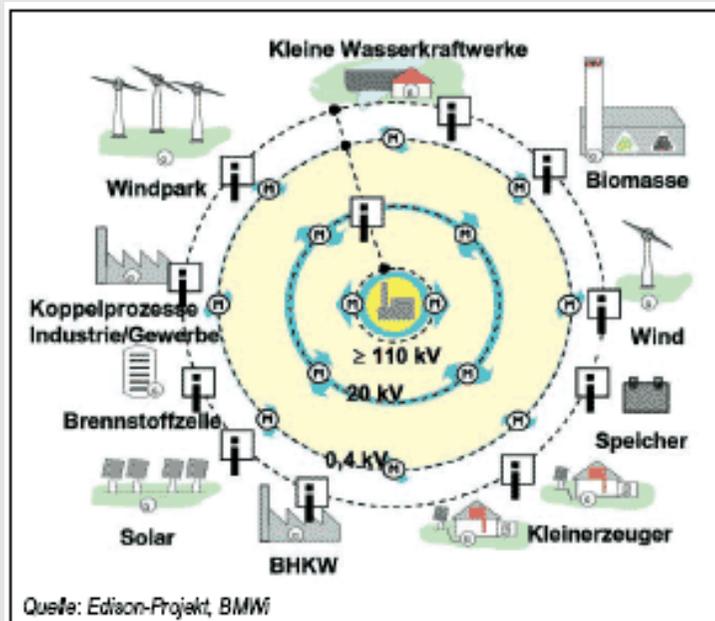
Auf dem Computerbildschirm sehen die Wissenschaftler, wie die Windkraftanlagen geregelt werden.



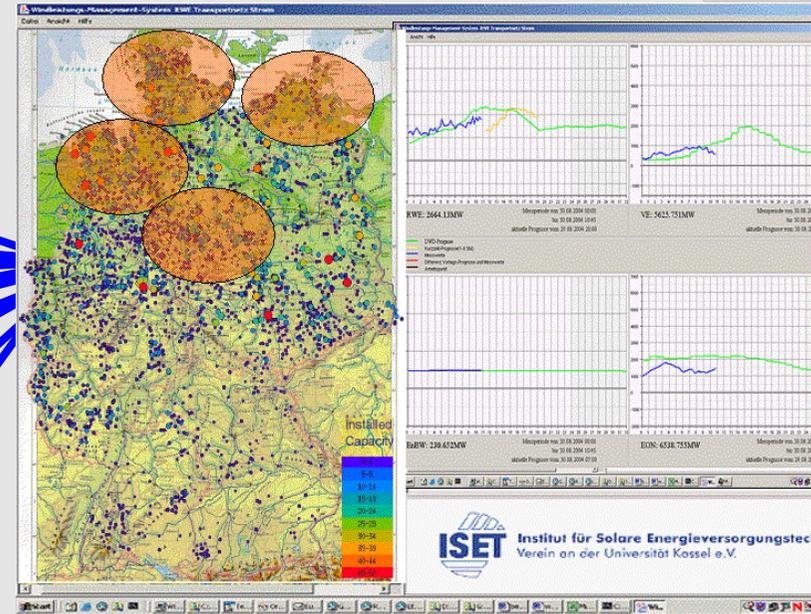
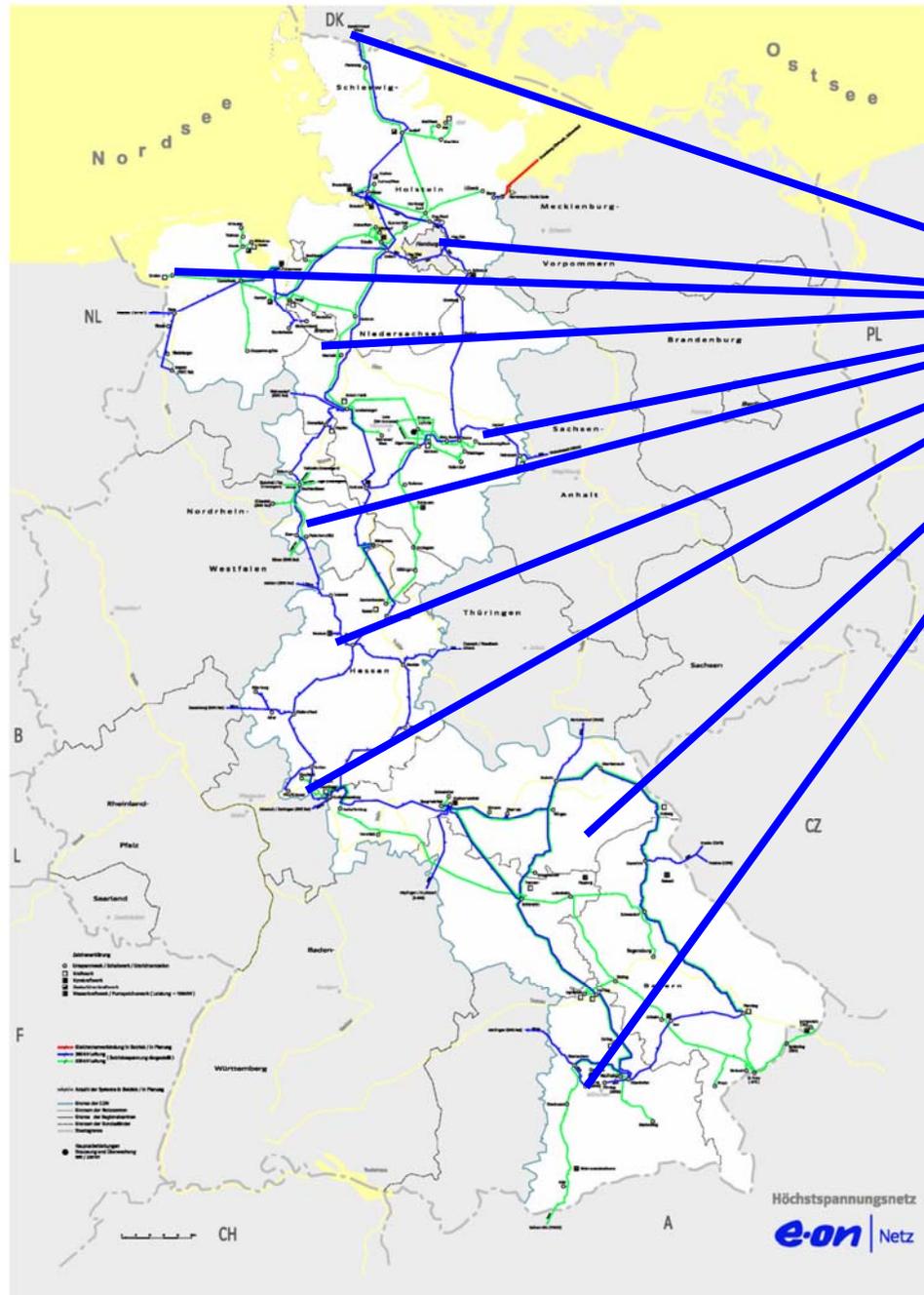
Testreihe Windpark Mainsche Pennigsehl

Große Virtuelle Kraftwerke

Ein virtuelles Kraftwerk ist eine Zusammenschaltung von kleinen, dezentralen Kraftwerken, wie zum Beispiel Windenergieanlagen, Blockheizkraftwerken, Photovoltaikanlagen, Kleinwasserkraftwerken und Biogasanlagen zu einem Verbund, die gemeinsam von einer zentralen Warte gesteuert werden.



Große Virtuelle Kraftwerke



Optimierung von Reserve- und Regelleistung
Unterstützung des Netzbetriebs

Verbesserungspotenziale bei der Windleistungsprognose

Zur Zeit zwei Methoden zur Windleistungsprognose im Einsatz:

Physikalische Modellierung

Statistischer Ansatz (mathematische Modellierung, AI-Methoden)

Hybride Modelle

Zahlreiche Untersuchungen und Benchmarks zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Modelle (AEE, ANEMOS, ...)

Untersuchungen zur Prognose für den Offshore-Einsatz

Prognosegüte (RMSE) für Windparks in Deutschland:

flaches Terrain: 10%

komplexes Gelände: 12-14%

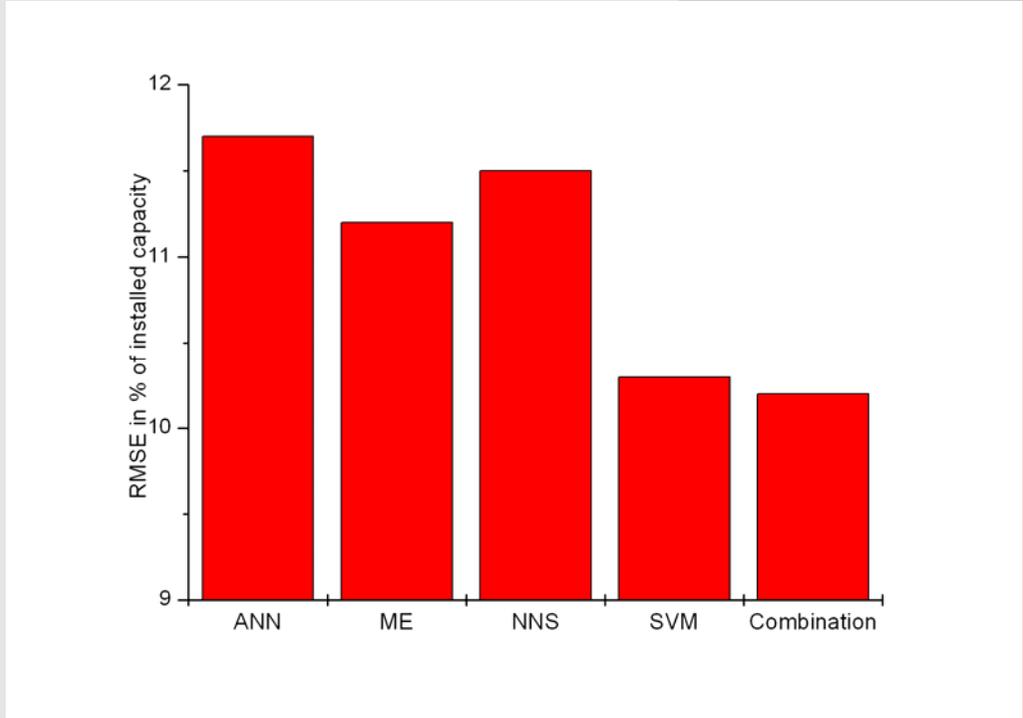
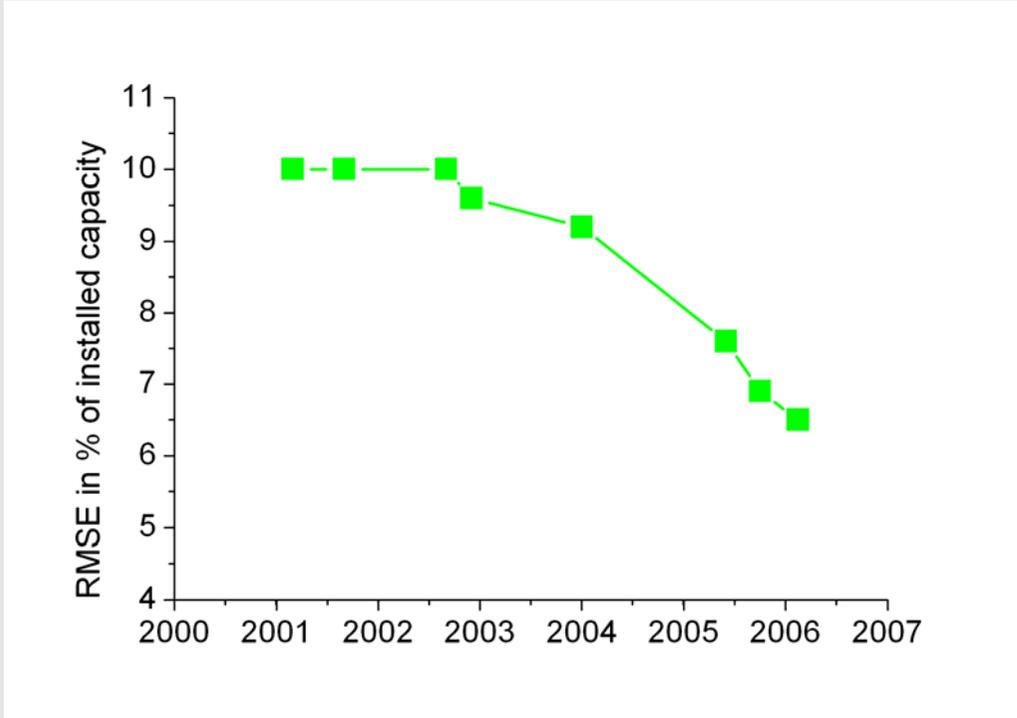
sehr komplexes Gelände: 20%

Offshore-Windparks: 12%

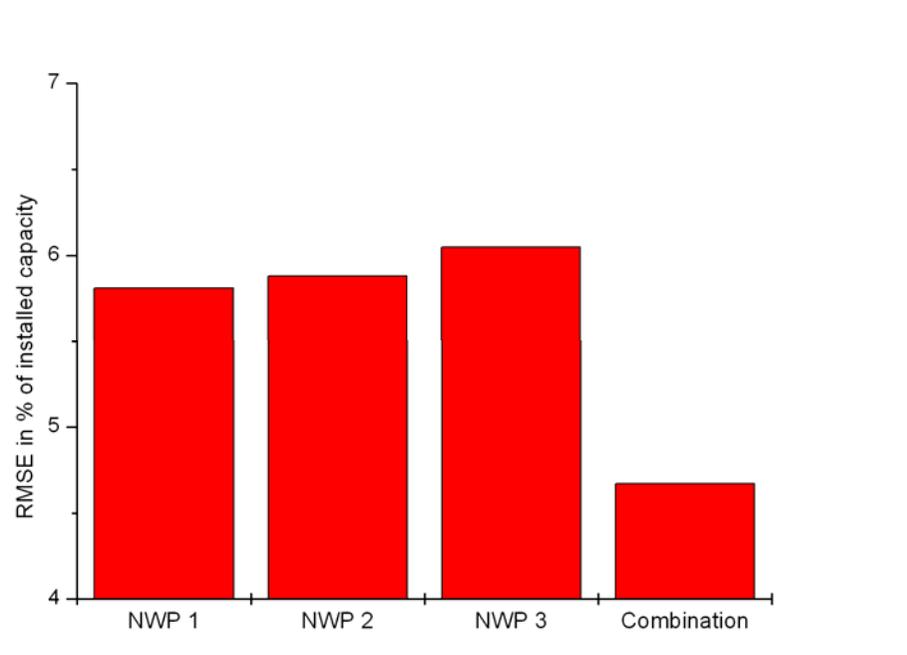
Verbesserungspotenziale bei der Windleistungsprognose

- **Verwendung hochaufgelöster Daten unterschiedlicher NWP-Modelle (z.B. LMK des DWD mit 2.8*2.8 km Gitterweite und 3 stündigen Modellauf)**
- **Verwendung von gemessenen Wetter- und Leistungsdaten.**
- **Entwicklung weiterer Methoden zur Bestimmung der optimalen Eingangsdaten von Prognosemodellen.**
- **Entwicklung von Experten-Prognosemodellen für verschiedene Wettersituationen.**
- **Untersuchung verschiedener Klassifikationsverfahren zur Bestimmung von Wettersituationen und deren Tauglichkeit zur Verbesserung der Windleistungsprognose.**

Verbesserungspotenziale bei der Windleistungsprognose

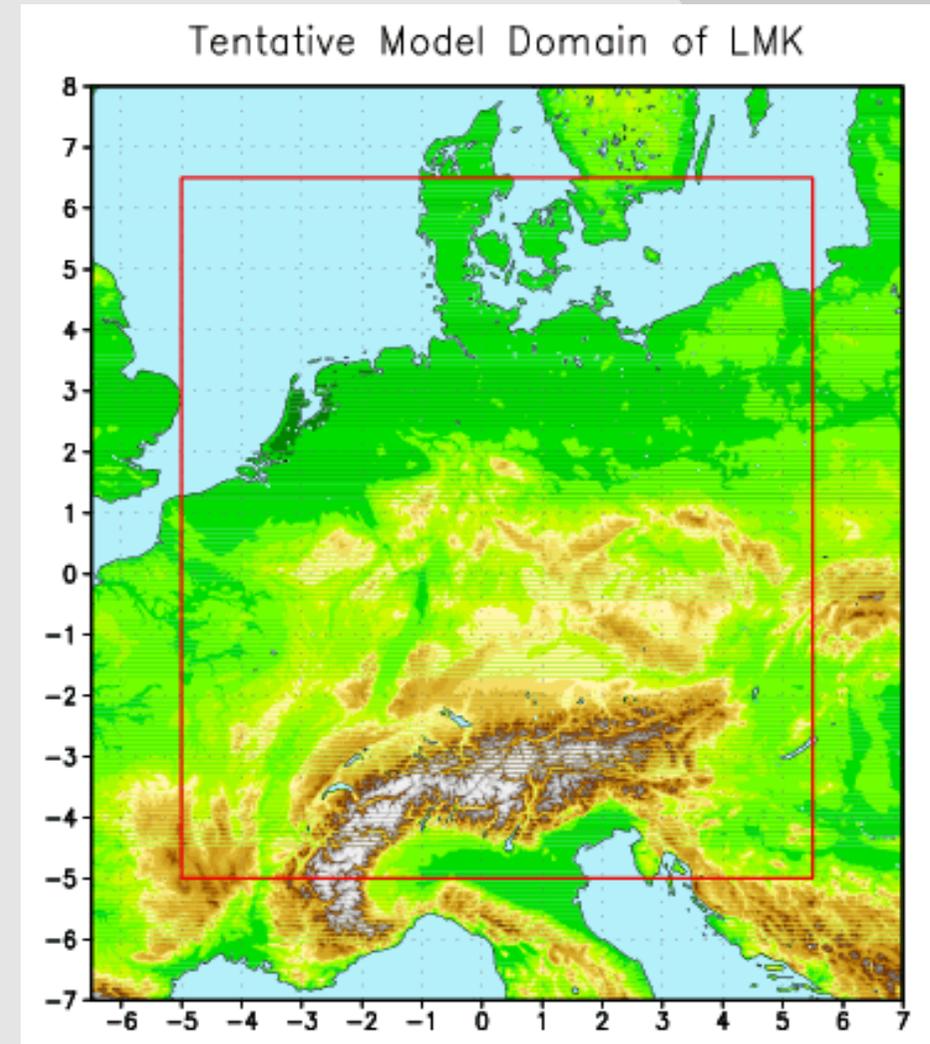


Kontinuierliche Verbesserung der Prognosegüte



LM-K – des DWD

- Gittermaschenweite: $\Delta x = 2.8$ km
- 421 x 461 x 50 Gitterpunkte,
~ 1200 * 1300 * 22 km³
unterste Schicht in 10 m über Grund
- Gebietsmitte: 10° E, 50° N
- Vorhersagedauer: 18 h
- 8 Vorhersagen pro Tag (0, 3, 6, ..., 21 UTC)
Randwerte von LM-E ($\Delta x = 7$ km)



Verbesserungspotenziale bei der Windleistungsprognose

Verbesserungen des Prognosefehlers sind superpositionierbar

Optimierungspotenzial durch Verbesserung der Wettermodelle 10-15%

Anwendung mehrerer Wettermodelle mit Klassifikation der Wettersituationen 15-20%

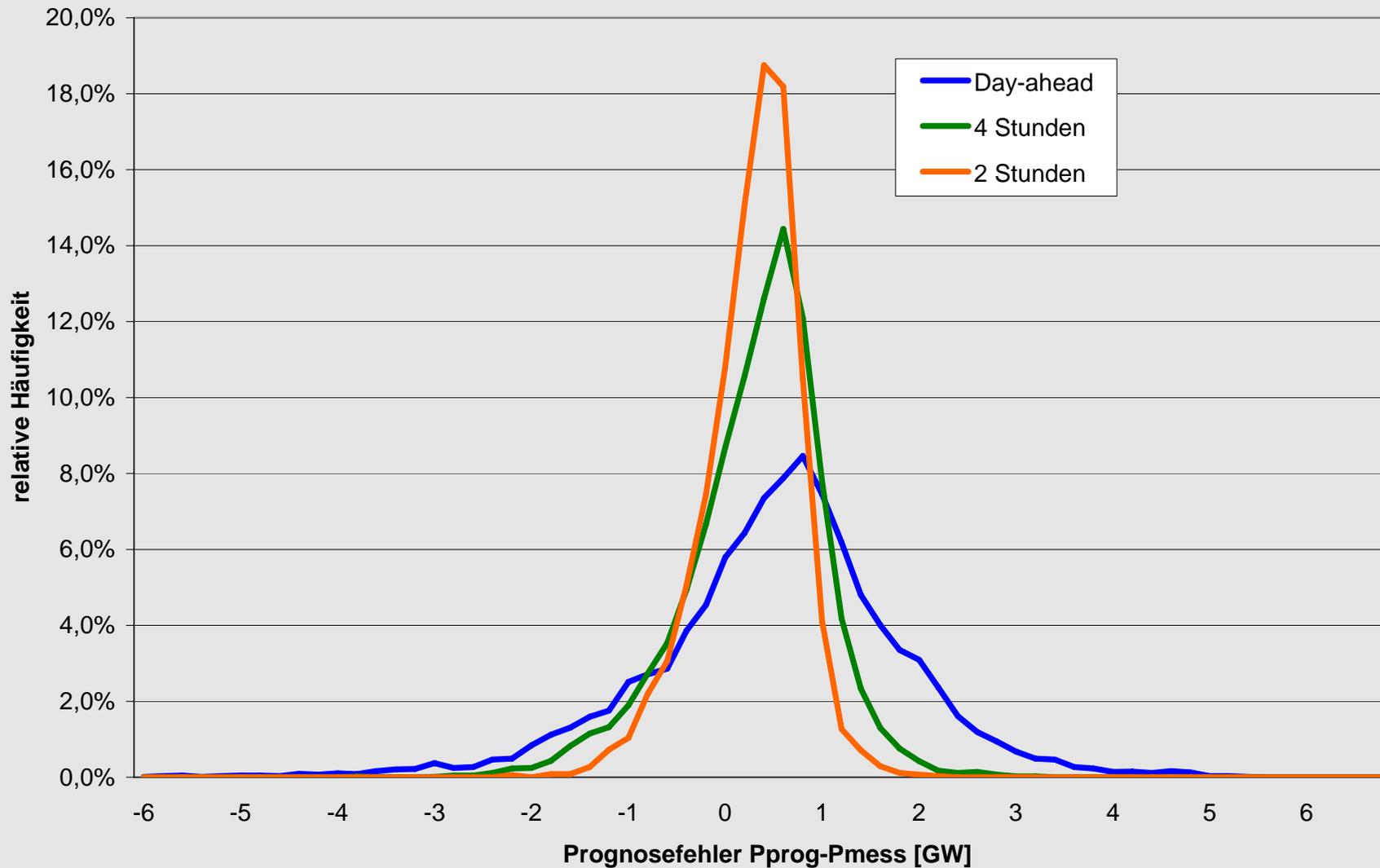
windparkspezifische Auswahl des Modells 8-10%

Selektion optimaler Eingangsdaten 8-10%

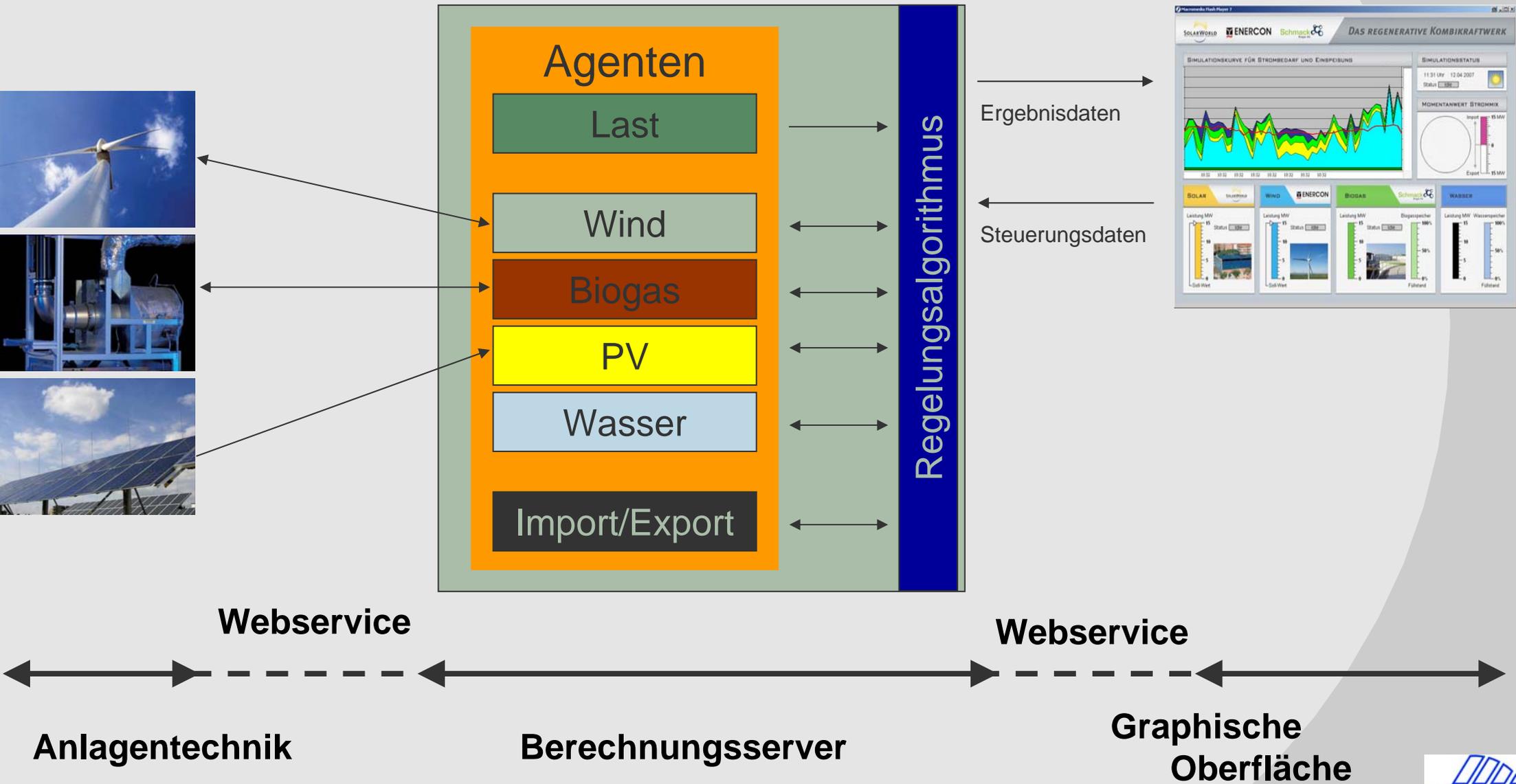
Gesamtverbesserung 35-40%

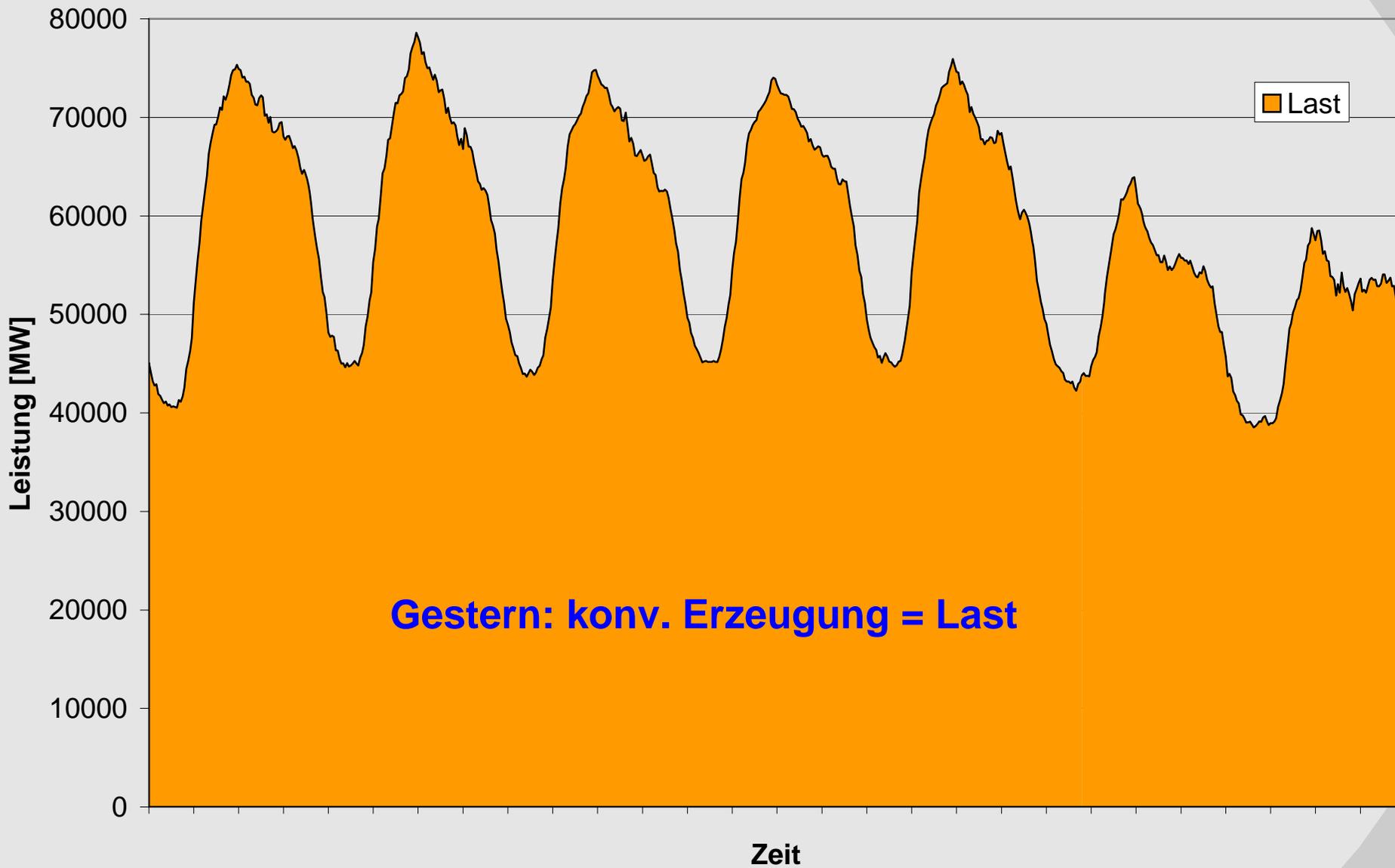
Windpark-Prognosefehler von 15% auf 9% – 9,75%

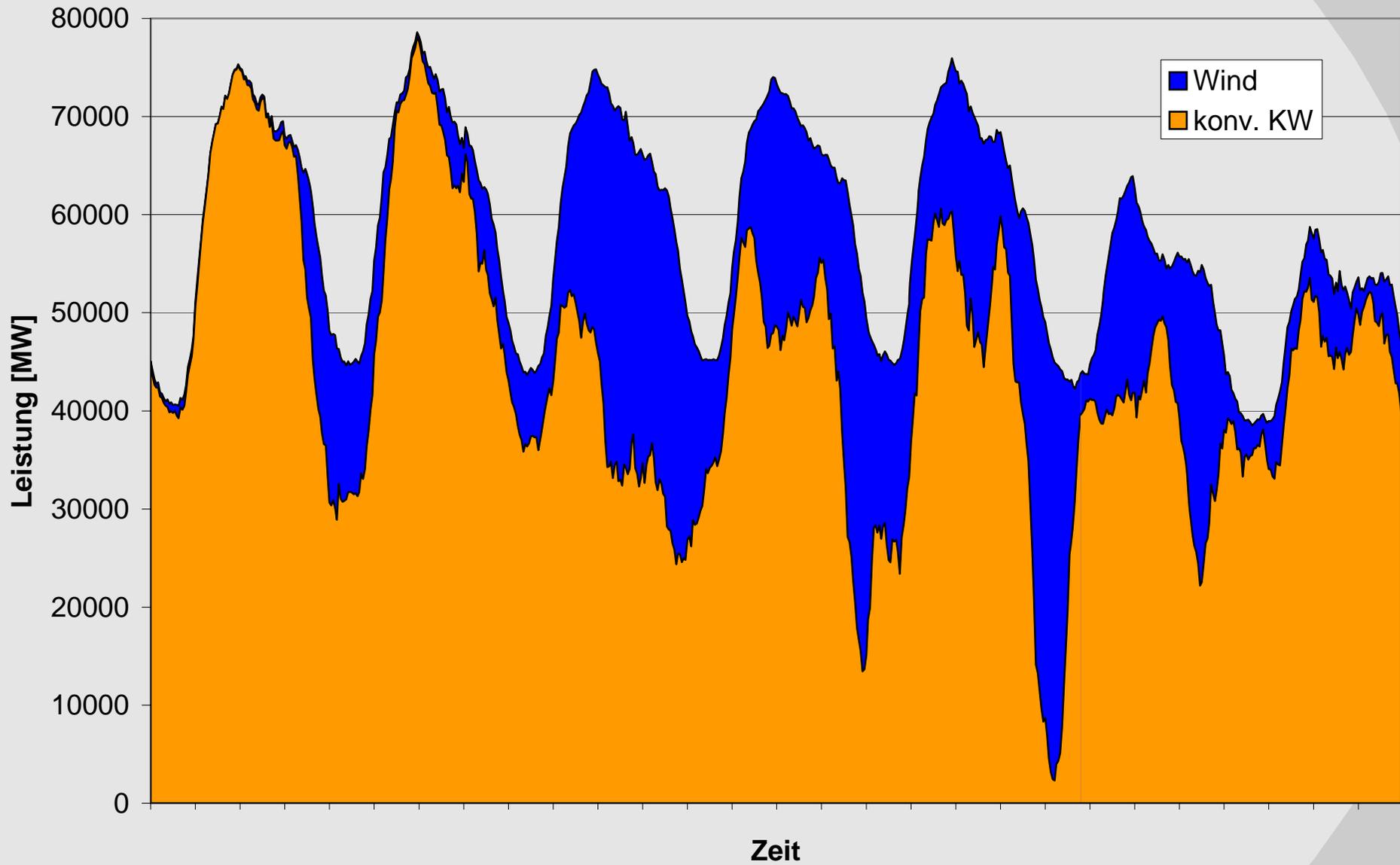
Verbesserungspotenziale bei der Windleistungsprognose

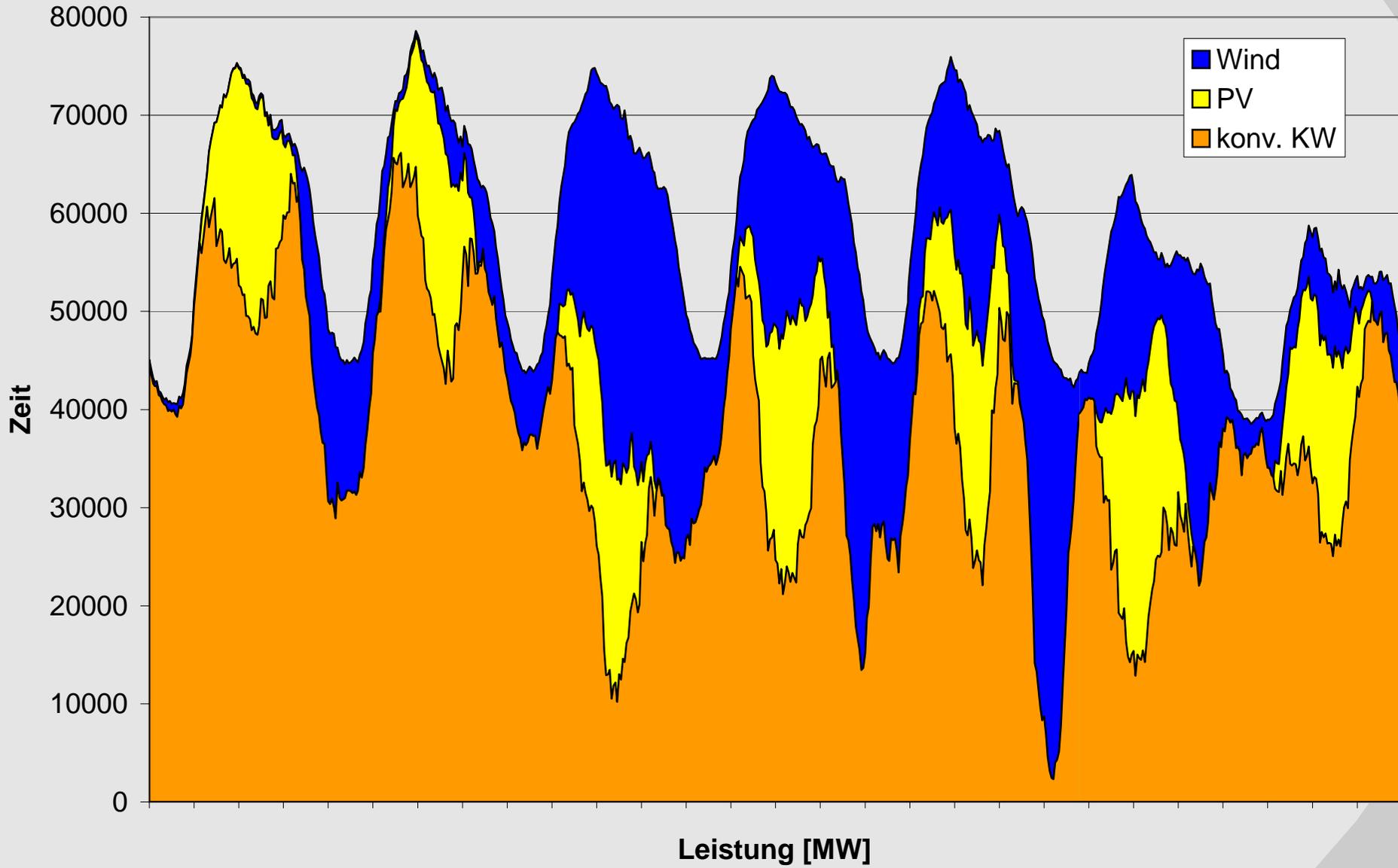


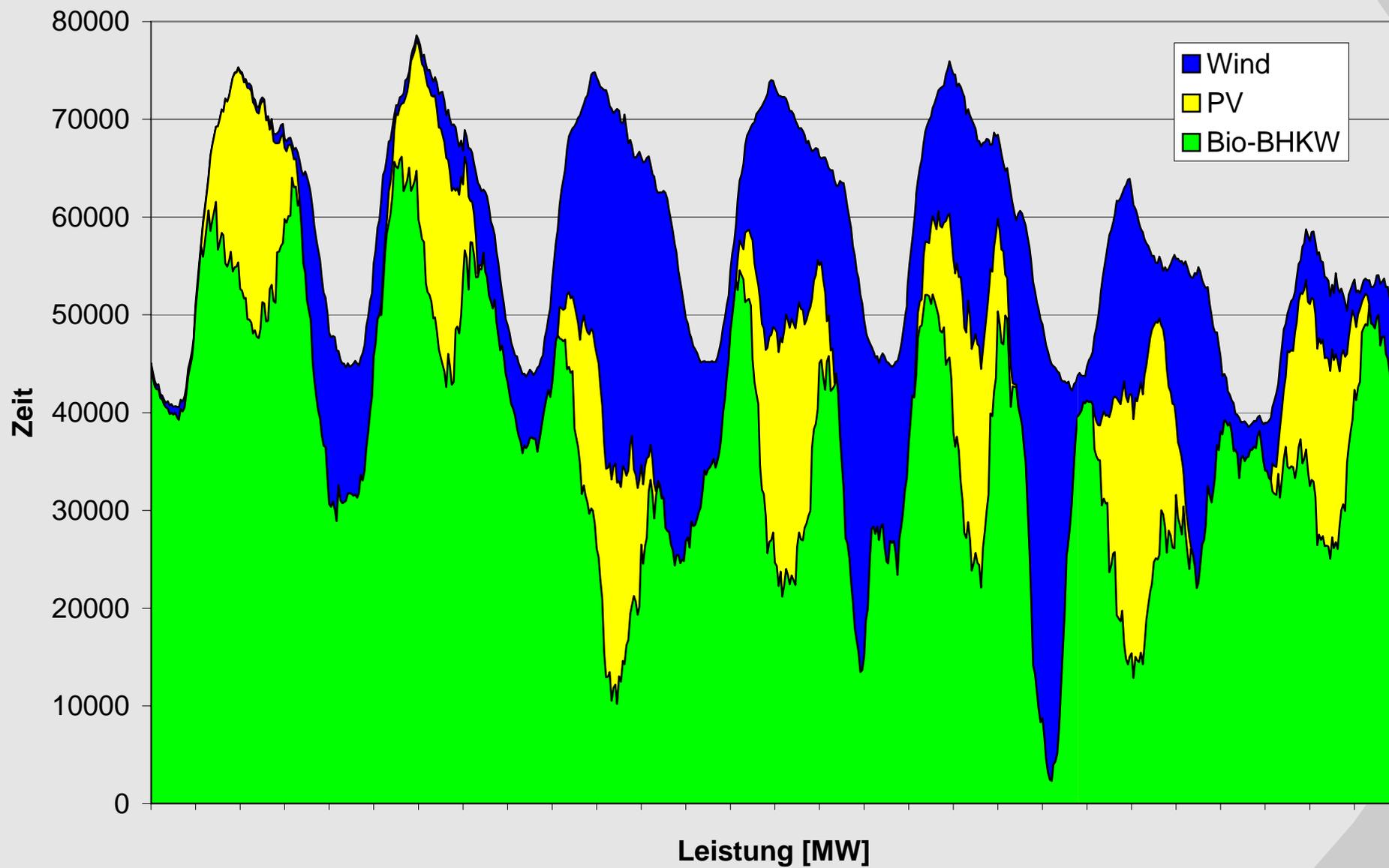
	NRMSE (Pn)	NRMSE (Pm)	Korrelation	AVG(Pm)	max PE	min PE
2h	1,5%	6,5%	0,997	7930	2593	-2515
4h	2,1%	9,2%	0,994	7988	4190	-2873
Day Ahead	3,7%	16,6%	0,980	7893	6307	-5008

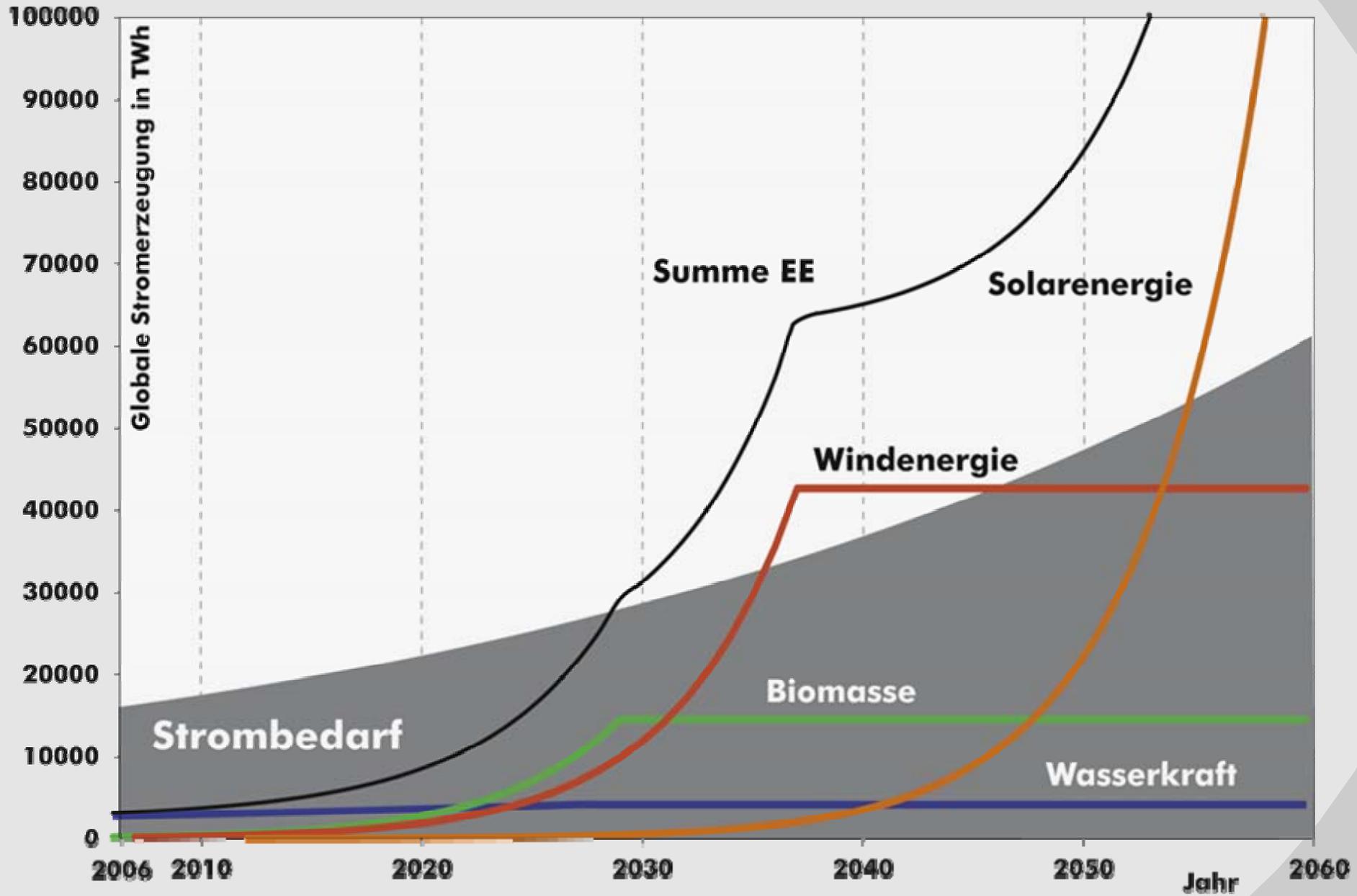


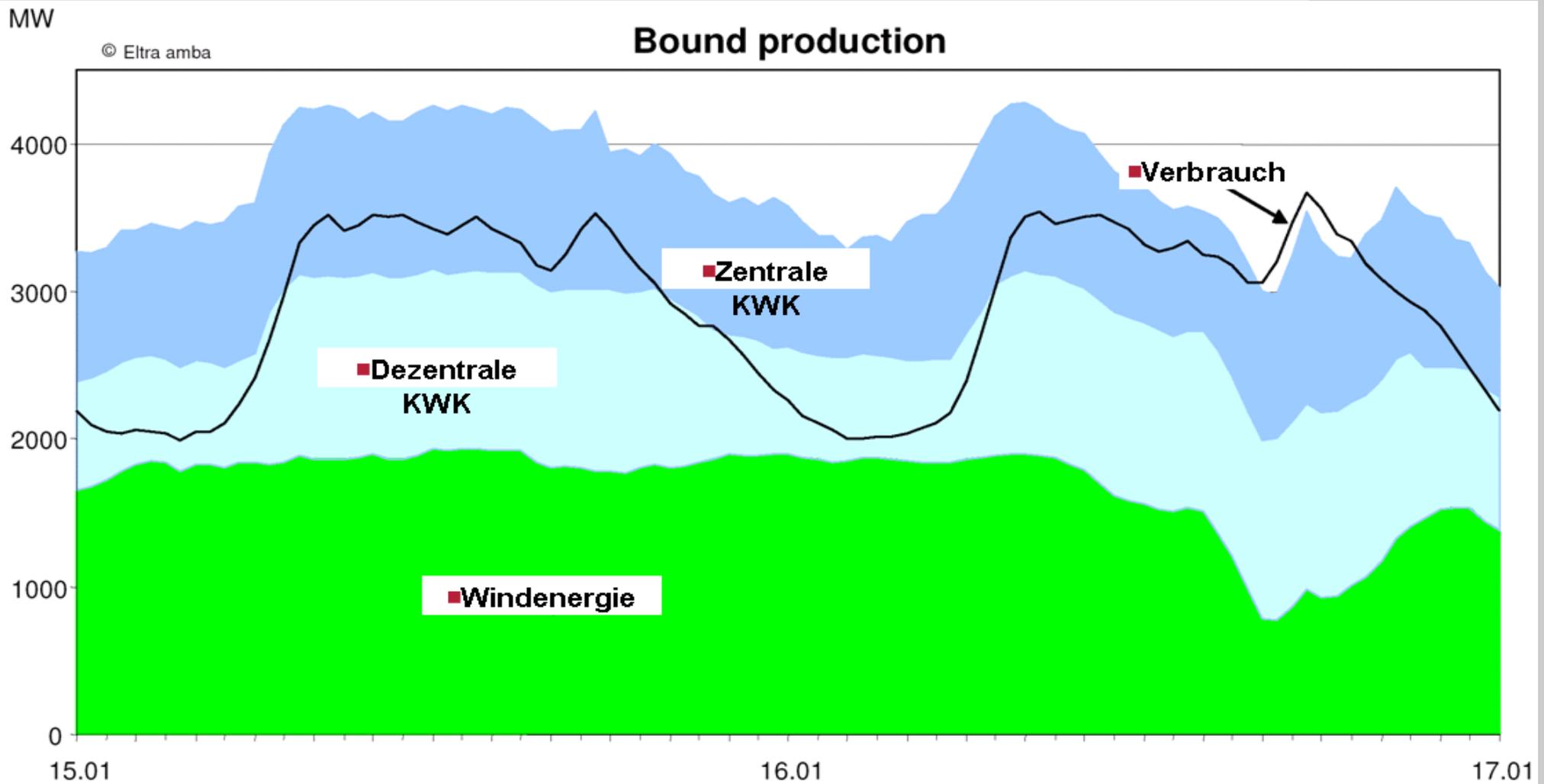




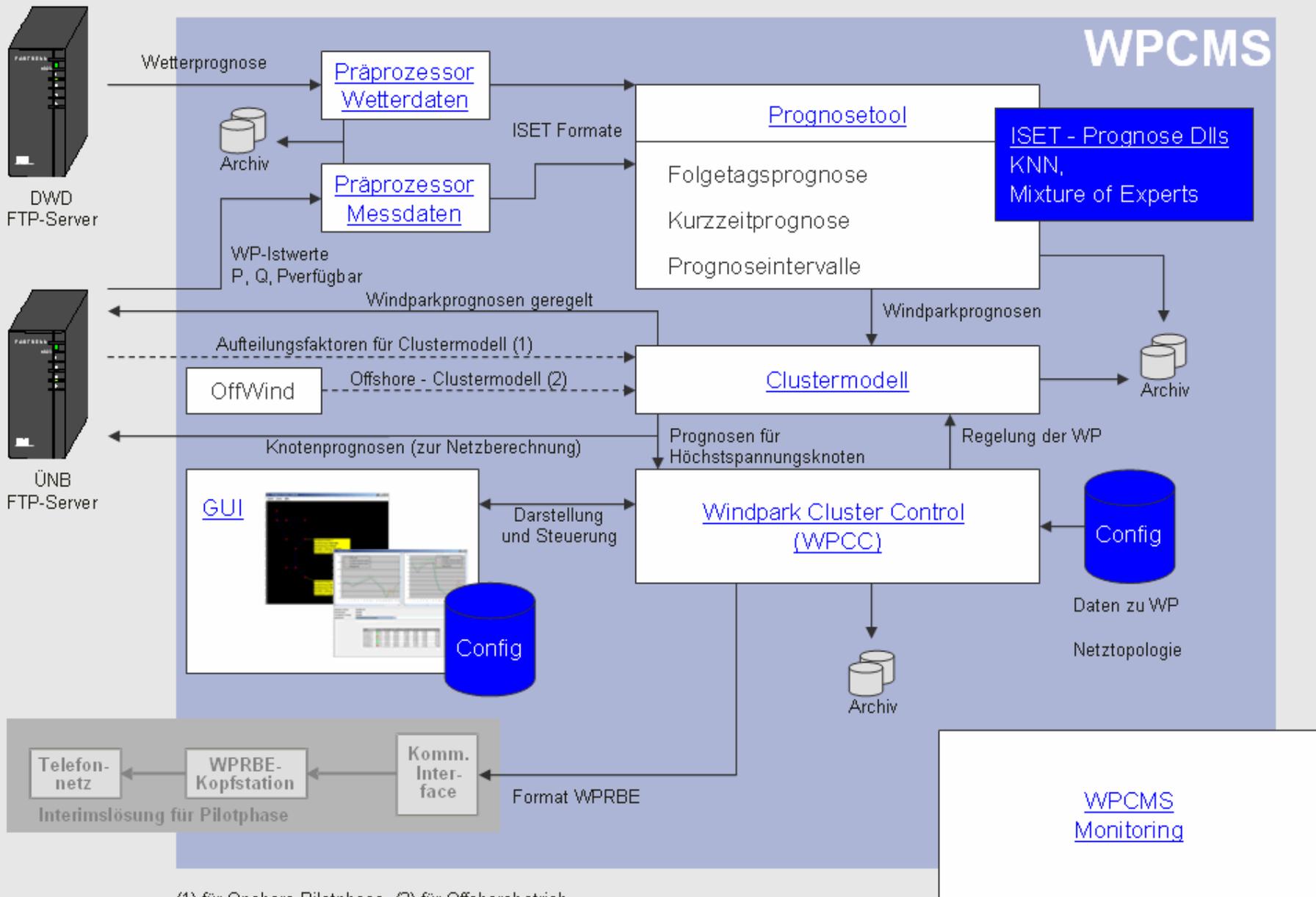








■ Abb. 2: Stromverbrauch, Erzeugung und Windenergieeinsp. über 2 Tage in Dänemark 2003



(1) für Onshore Pilotphase, (2) für Offshorebetrieb