

# Qualifizierte Prüfung (QPR) und das "Drumherum"

Seminar "Messung und Bewertung von Geruchsemissionen und -immissionen"  
IFU GmbH, Lichtenwalde (bei Chemnitz), 26.09.2006

Dipl.-Met. Joachim Namyslo  
Deutscher Wetterdienst, Abt. "Klima- und Umweltberatung"  
Sachgebiet "Entwicklung und Anwendung"  
Kaiserleistr. 44, 63067 Offenbach (Main)  
(Tel.: 069 / 8062 - 2967 , email: joachim.namyslo@dwd.de)

Ansprechpartner "QPR" im Deutschen Wetterdienst (DWD):  
Dipl.-Met. Johann Hessel (Tel.: -2910, Fax.: -2993 , email: johann-dirk.hessel@dwd.de)

# Änderungen TAL'86 (Anh. C) zu TAL'02 (Anh. 3) - Ausbreitungsrechnung -

## TAL'86

- **Gauss'sches** Ausbreitungsmodell
- **kein** Windprofil:  $U = \text{const} = f(h_q, h_a, m)$
- Statistik (AKS), **keine** Zeitreihe
- **keine** Winddrehung
- **3D-Windfelder** nur im **Sonderfall**, kein festgelegtes Verfahren
- **Schwachwindbedingung** ( $U \leq 1 \text{ m/s}$ ,  $H \geq 30\%$ ) → Sonderfall

## TAL'02

- **Lagrange'sches** Partikelmodell
- **Windprofil**:  $U = f(h_a, z_0, L_M(AK), h_m)$
- **Zeitreihenauswertung** (i.d.R.)
- **Winddrehung** in der Grenzschicht
- **3D-Windfelder** (diagnostisch), prognostisch: feste **Schnittstelle**
- Schwachwindbedingung ( $U < 1 \text{ m/s}$ ,  $H > 20\%$ ) → Zeitreihe

## QPR / Grundlagen (1)

- **TAL'02, Anhang 3, Kapitel 8: Meteorologische Daten**  
*"Liegen keine Messungen am Standort der Anlage vor, sind (meteorologische) Daten .... einer geeigneten Station ... zu verwenden. Die **Übertragbarkeit** dieser Daten auf den Standort der Anlage **ist zu prüfen** ..."*  
(z.B. Vergleich mit Daten aus Standortgutachten)
- **TAL'02, Nr. 4.6.2.5: Beurteilungsgebiet**  
(Radius 50-fache tatsächliche Schornsteinhöhe, mindestens 1 km)
- **Nr. 4.6.2.7/8: Messwerte** → mind. 1 Jahr für meteorologische Daten

"Denkschema" der TAL'86,  
besser: repräsentativer  
Anemometerstandort der  
Ausbreitungsrechnung (xa,ya)

## QPR / Grundlagen (2)

### Ausbreitungsrechnungen nach *Anhang 3* der TA Luft (2002)

- **Kapitel 8: Meteorologische Daten** *"einer Station des Deutschen Wetterdienstes oder einer vergleichbaren Station"*,  
**Grenzschichtprofile**  $U(z) = f(z, U_a, r_a, h_a, z_0, L_M, h_m)$ ,
- **Kapitel 10: Berücksichtigung von Orografie und Bebauung**,  
Beachtung der Regel "Geländesteigung < 1:5" (Potentialströmung)
- **Kapitel 11: Berücksichtigung von thermischen Windsystemen**,  
Kaltluftabfluss und Hangaufwind - sofern Einfluss auf konkretes Immissionsproblem wesentlich, Bewertung in der Praxis:  
Quellhöhe → "skalige Repräsentanz"

## QPR / Grundlagen (3)

- **Modellsystem AUSTAL2000**
- diagnostisches Windfeldmodell **TALdia** (Orografie, Bebauung) zur Erzeugung einer **Windfeldbibliothek** (2 Felder pro AK, nur windrichtungsabhängige Windfelder, **Potentialströmung**)
  - aus einem "**0-dimensionalen**" Messpunkt ( $x_a$ ,  $y_a$ ,  $h_a$ ) wird **näherungsweise** für jede erforderliche Ausbreitungssituation ein **3-dimensionales** Windfeld "entfaltet" (Messpunkt soll für den Aufpunkt alle meteorolog. Bedingungen enthalten)
  - Problem der thermischen Windsysteme (+ "Steigungsproblem")

## QPR / Novellierung

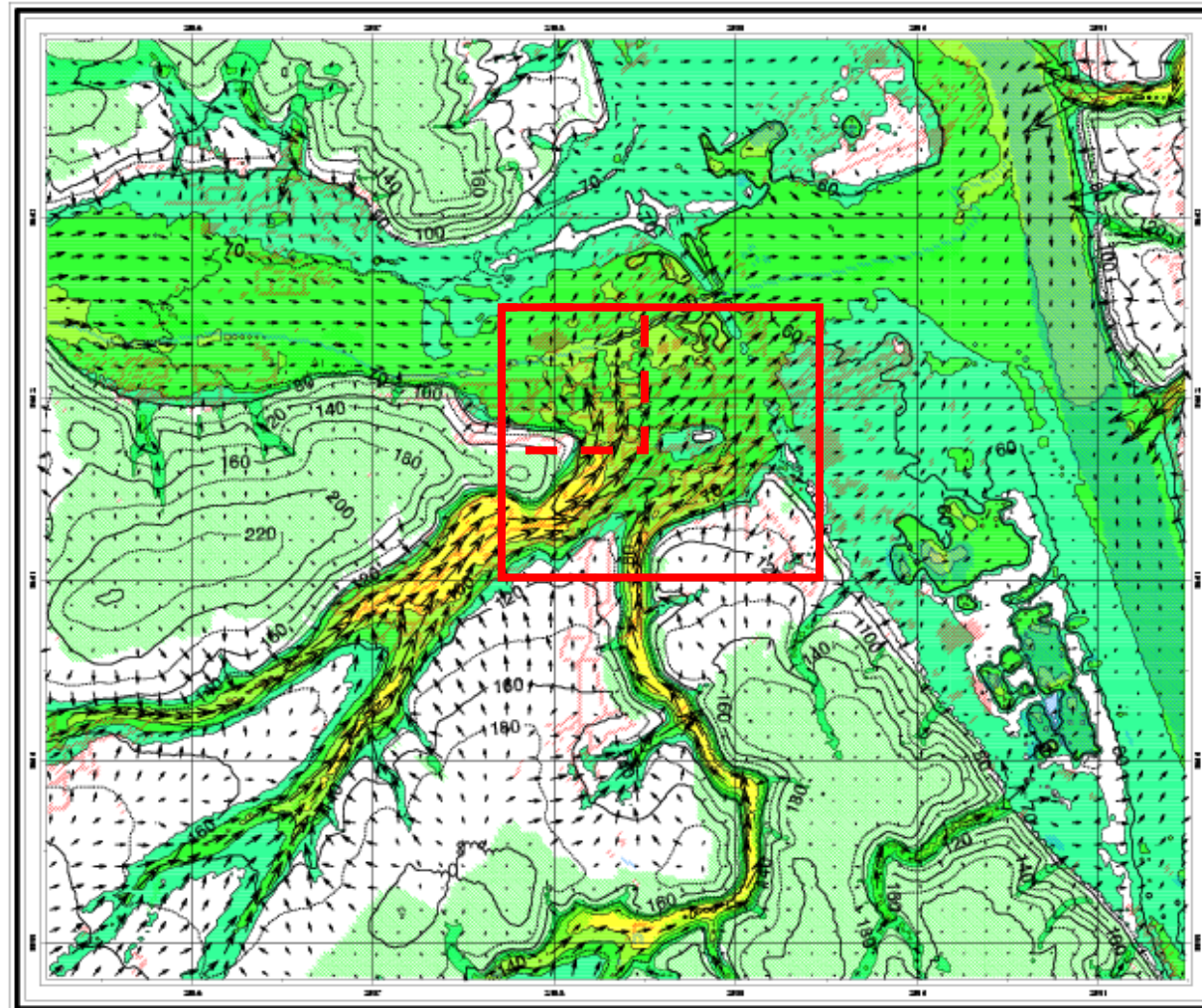
- Statistisches Windfeldmodell des DWD (SWM, 2005):  
**Weibullverteilung** (Weibullparameter, Schätzung  $H_{FF<1.0}$ )
- **Nutzung von Strömungsmodellen** zur objektiveren Schätzung von Kennwerten der erwarteten Windstatistik (bei stark gegliederter Orografie)
- Angabe der effektiven **Anemometerhöhen** auch im Text (Tabelle)

# QPR, Kapitel 6

**Einflüsse der Topographie auf die Luftströmung am Standort  
("Kernkapitel")**

## **Nutzung von Simulationsmodellen**

*objektive* Schätzung von Kenngrößen  
von  
am Stand-/Übertragungsort *erwarteten* Windstatistiken  
bei stark gegliederter Orografie



Kaltlufthöhe  
und Windfeld in  
der Gesamtschicht

nach 50 Minuten

→  $\Delta \approx 1.0 \text{ m/s}$

0 1000 Meter

Maßstab 1 : 30000



DWD 09/2006

Landnutzung

- Bebauung
- Wald
- Wasser

Kaltlufthöhe  
in Metern

- über 50
- 40 - 50
- 30 - 40
- 20 - 30
- 15 - 20
- 10 - 15
- 5 - 10
- unter 5

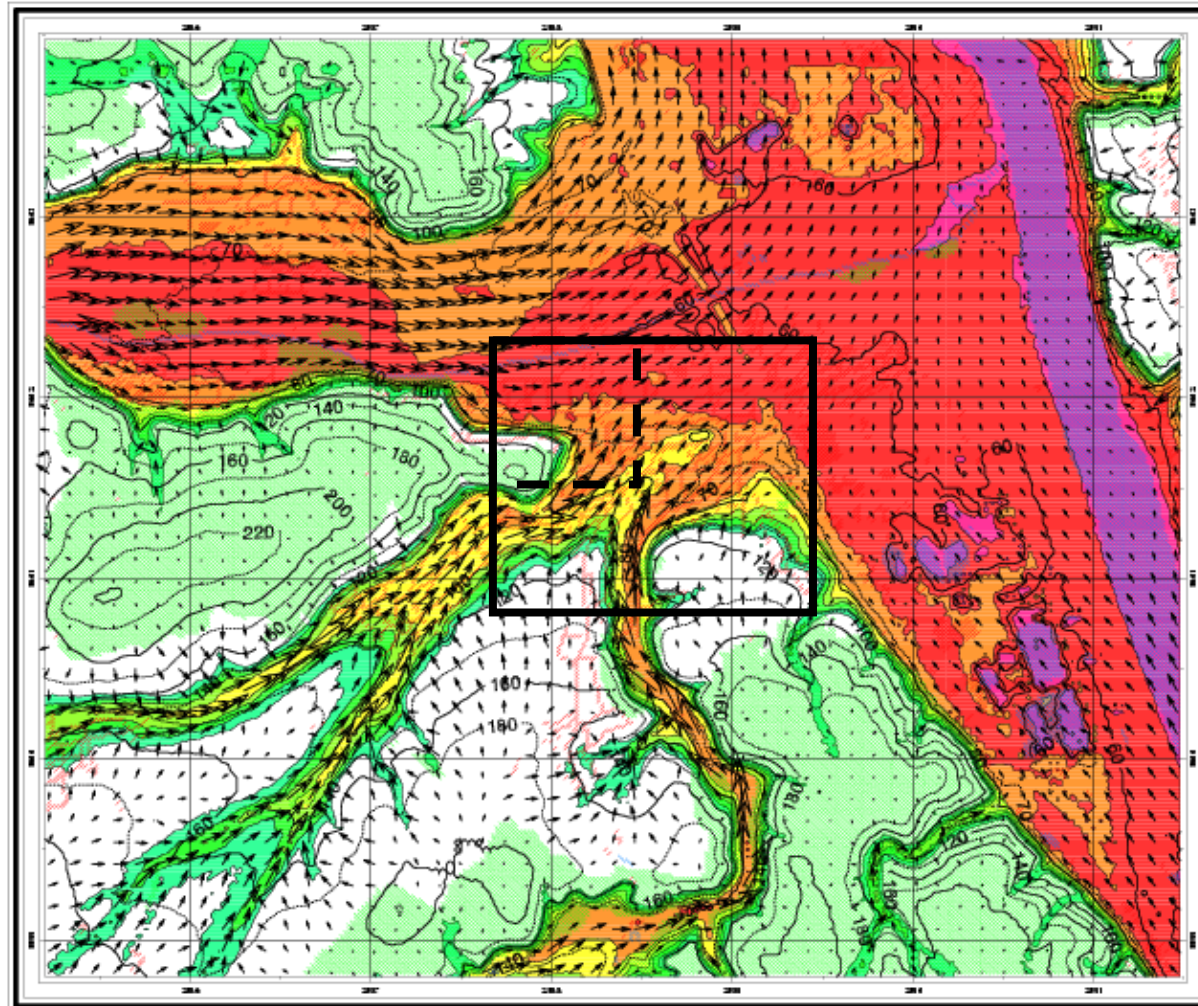
QPR:

Nutzung von KLAM\_21  
zur DD-/FF-Schätzung  
für stabile AK

$$t = t_0 + 50 \text{ min}$$

( $t_0 \approx$  Sonnenuntergang)

Im markierten Bereich des  
Rechtecks zum Zeitpunkt "t"  
Zustrom von Kaltluft aus  
südlichen Richtungen



Kaltluflhöhe  
und Windfeld in  
der Gesamtschicht

nach 150 Minuten

→  $\triangleq 1.0 \text{ m/s}$

0 1000 Meter

Maßstab 1 : 30000



DWD 09/2006

Landnutzung

- Bebauung
- Wald
- Wasser

Kaltluflhöhe  
in Metern

- über 50
- 40 - 50
- 30 - 40
- 20 - 30
- 15 - 20
- 10 - 15
- 5 - 10
- unter 5

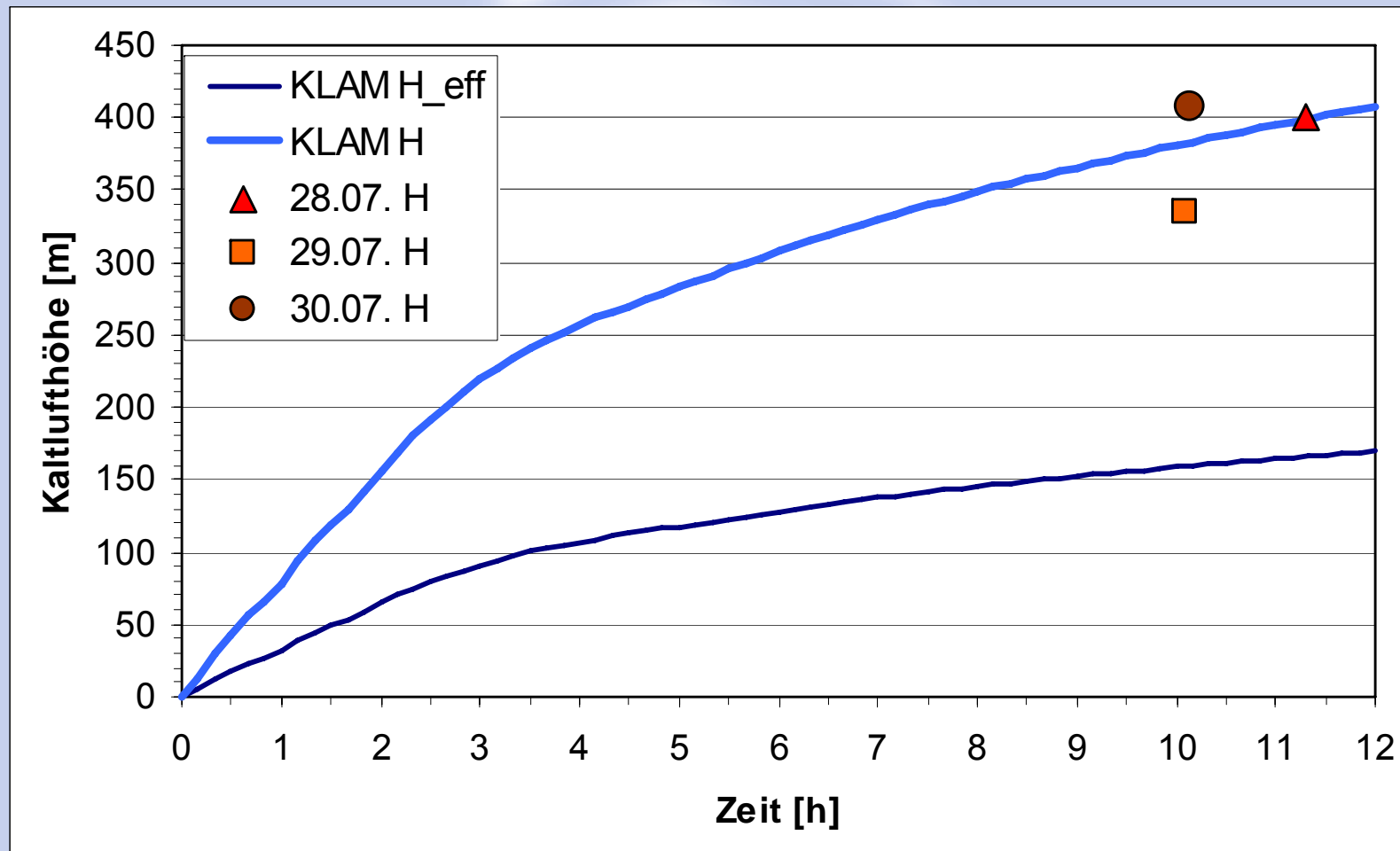
QPR:

Nutzung von KLAM\_21  
zur DD-/FF-Schätzung  
für stabile AK

$$t = t_0 + 150 \text{ min}$$

Im markierten Bereich des  
Rechtecks zum Zeitpunkt "t"  
Zustrom von Kaltluft aus  
südsüdwestlichen bis  
westlichen Richtungen

Vergleich von mit Radiosonden beobachteten und mit KLAM\_21 modellierten gesamten Kaltlufthöhen H



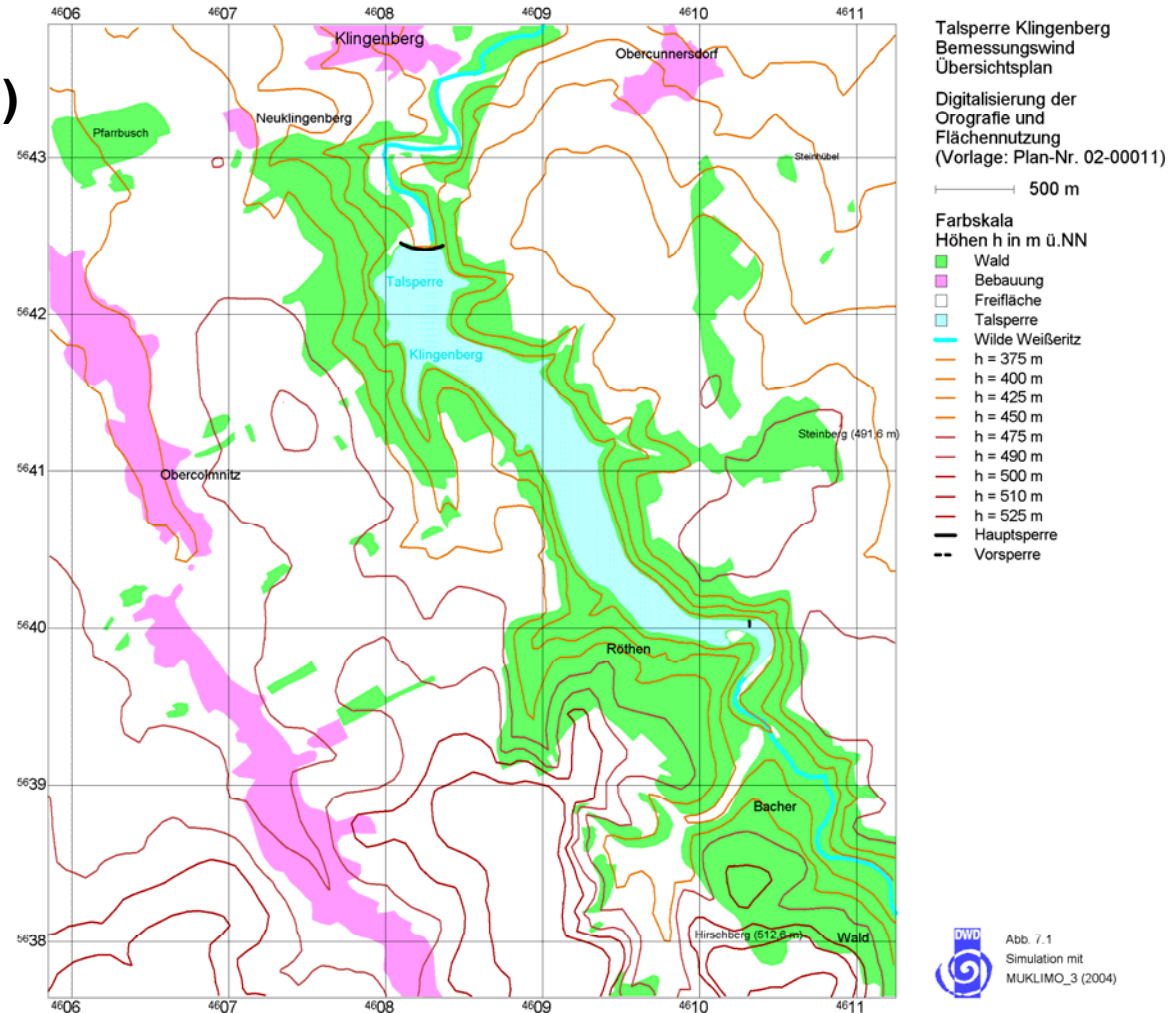
DWD, 2005:  
Bericht Nr. 127

### MUKLIMO\_3, Basisversion (= prognost. Strömungsmodell)

Topographie der Testrechnung:  
Orografie und Flächennutzung  
(Kerngebiet ca. 5.5 km × 6 km,  
"Reliefenergie"  $\Delta h$ :  
ca. 525 m ü.NN bis 375 m ü.NN)

### Rechnungen zum Test

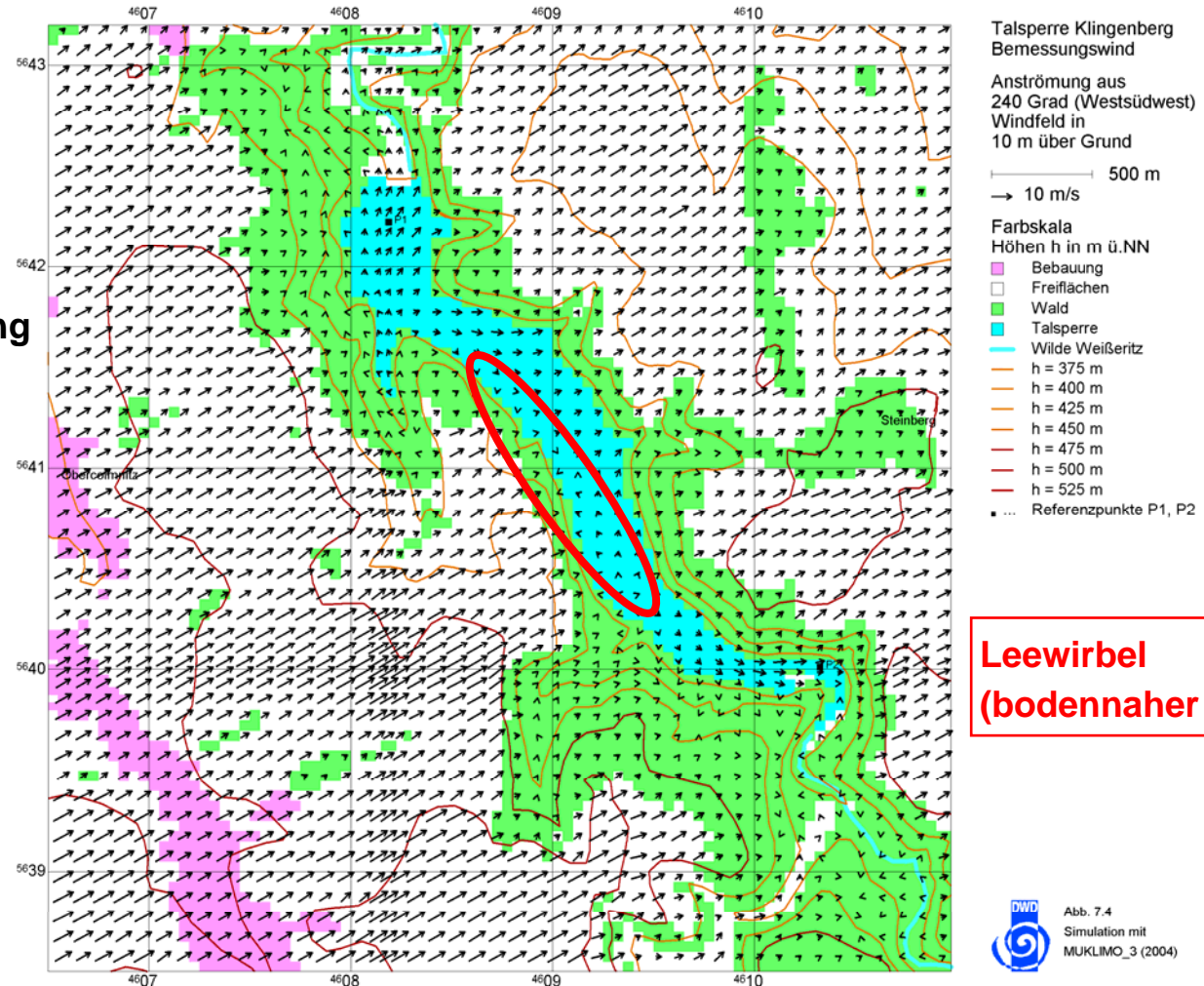
- PC-MUKLIMO für QPR  
(Anwendung der Transferfunktion)



Modellrechnungen  
MUKLIMO\_3 (Basisversion)

Horizontalwind in 10 m ü. Grund  
bei west-südwestlicher Anströmung

240 Grad  
10 m ü. Gr.

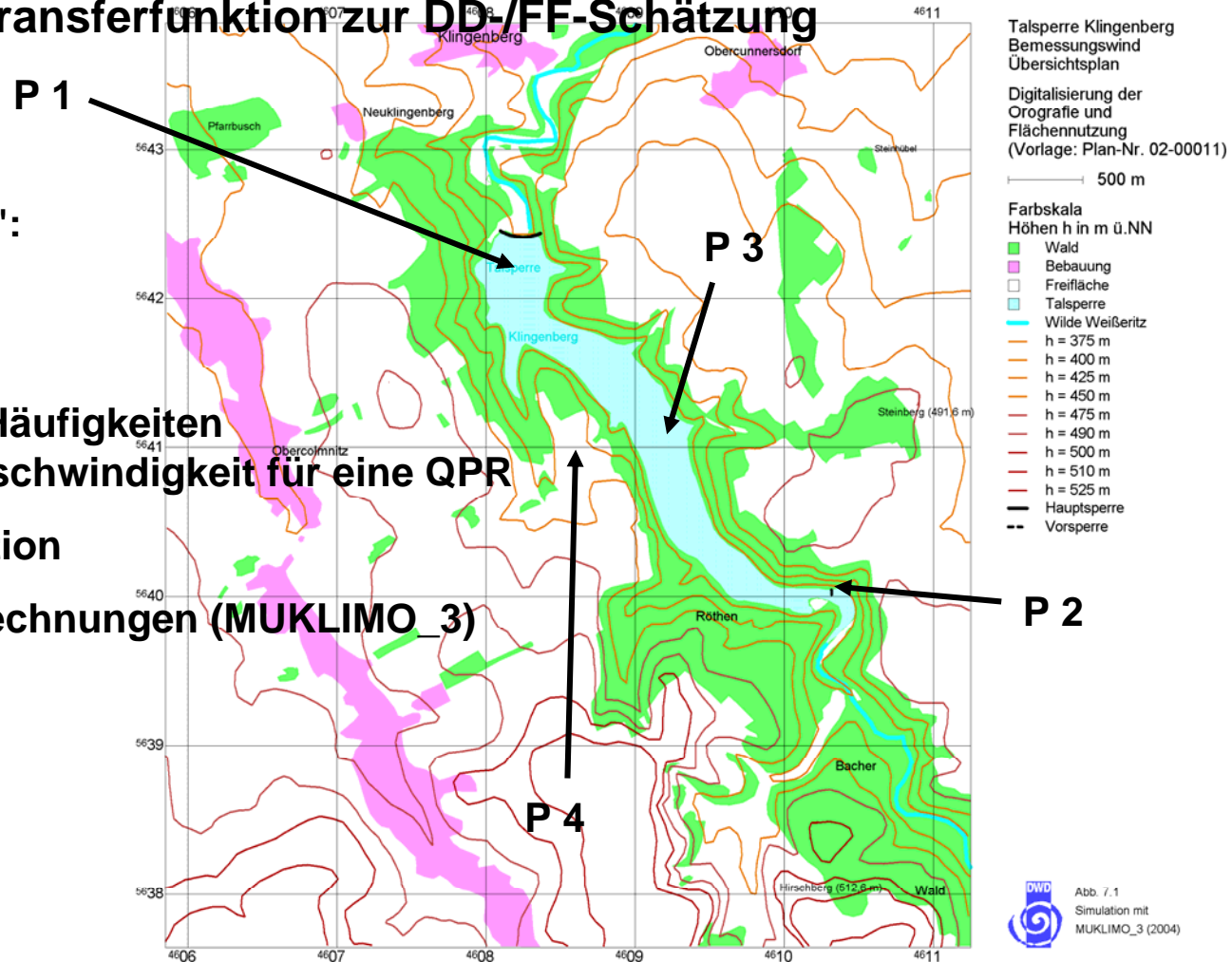


### QPR: Anwendung der Transferfunktion zur DD-/FF-Schätzung

Testrechnung  
"QPR / DD-Gleichverteilung":  
(Zielpunkte P1 bis P4)

objektive Schätzung von Häufigkeiten  
der Windrichtung und -geschwindigkeit für eine QPR

- Prinzip der Transferfunktion
- für *neutrale* Strömungsrechnungen (MUKLIMO\_3)



### QPR: Anwendung der Transferfunktion zur DD-/FF-Schätzung

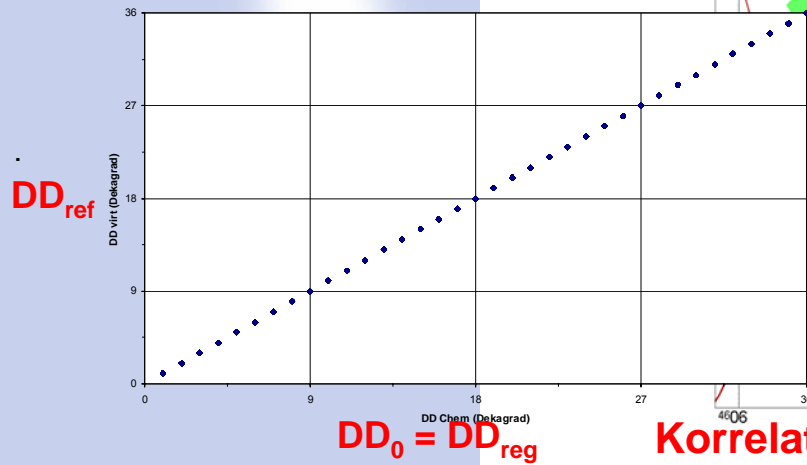
$$P_0 = P_{ref}$$

Topographie "Testrechnung":  
Kontrolle der Korrelation (DD)  
"Referenzwind als Regionalwind"

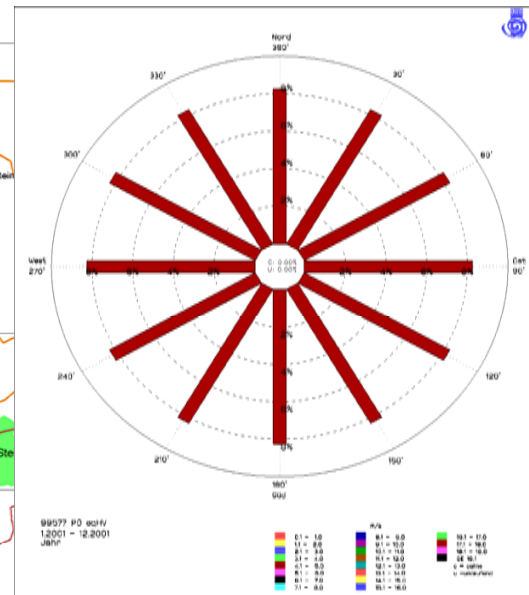
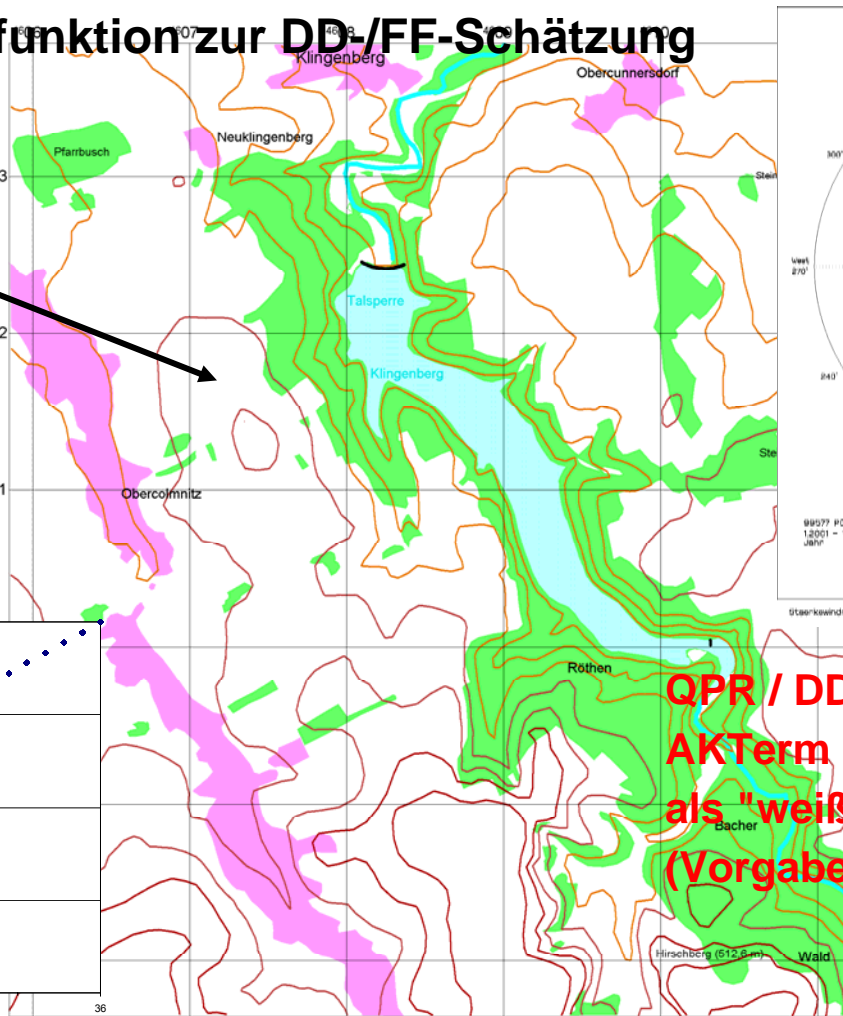
( $DD_{ref} = DD_{reg}$  ?)

neutral

DD Korrelation / P0 (neutral-labil)



Korrelation  $DD_{ref} / DD_0$

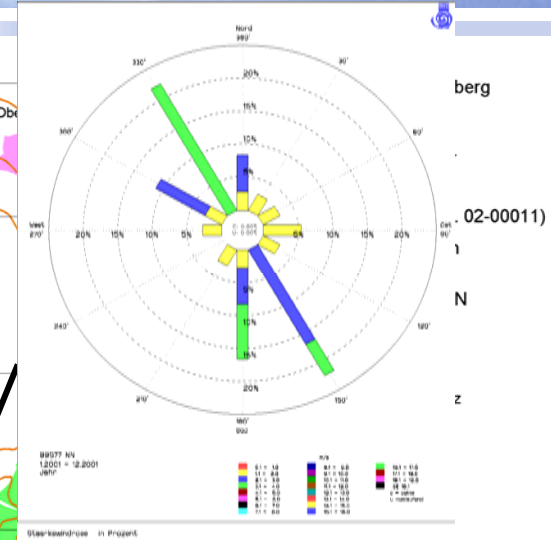
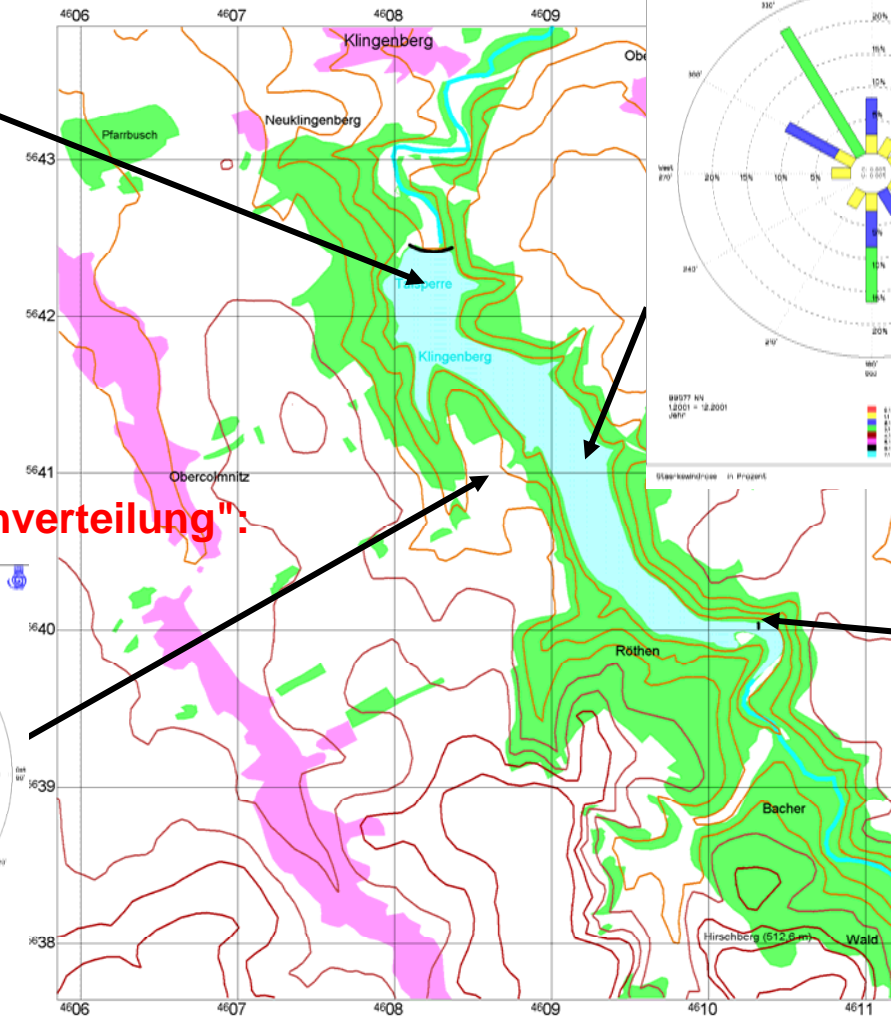
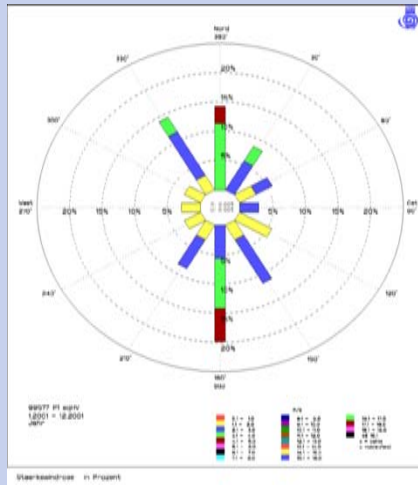


**QPR / DD-Gleichverteilung:**  
**AKTerm ( $FF_c = 5$  m/s, AK III/1)**  
**als "weißes Rauschen"**  
**(Vorgabe am Punkt " $P_{ref}$ ")**

Abb. 7.1  
Simulation mit  
MUKLIMO\_3 (2004)

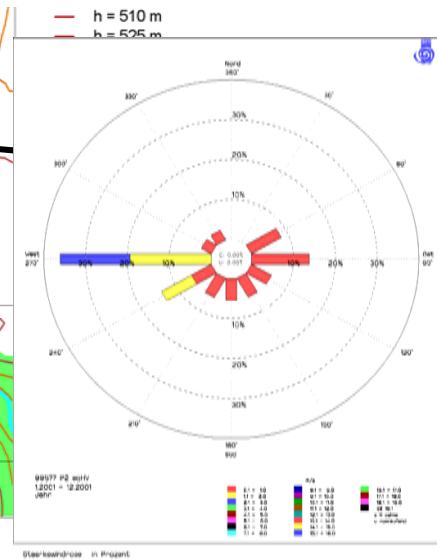
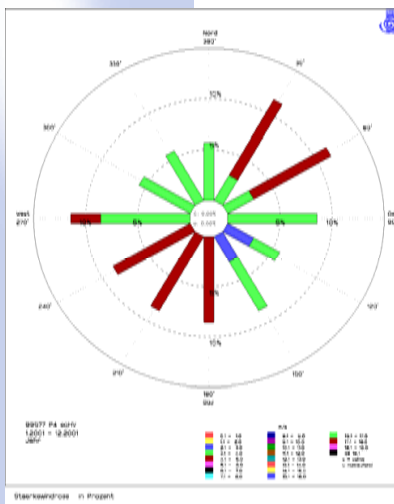
# Deutscher Wetterdienst

## Abteilung Klima- und Umweltberatung



Testrechnungen "QPR/DD-Gleichverteilung":

- neutral -



# QPR / Anwenderhinweise

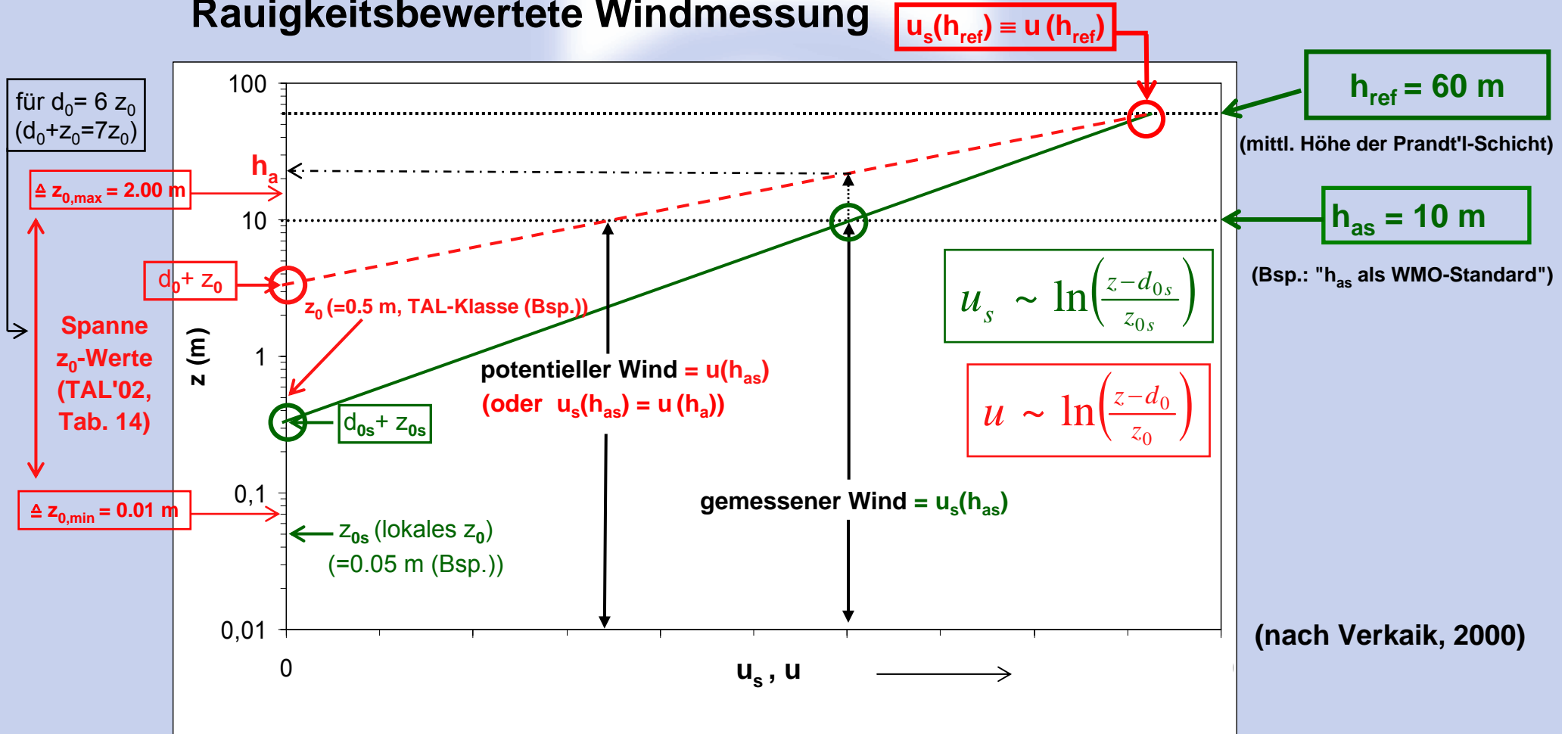
- **kein** Unterschied zwischen QPR für AKTerm oder AKS
- empfohlenen Anemometerstandort (xa,ya) im Kontext der **Modellorografie** ggf. abändern:  
echte (flache) Kuppenlage, Abstand zum numerischen Rand
- Rechnung mit **aufgelöster Bebauung**:  
Anemometerstandort gilt i.d.R. für eine **freie Anströmung**  
(Ausnahme: z.B. explizite Messung in Strassenschlucht)

**Mindestverständnis** der Meteorologie muss beim Anwender  
vorausgesetzt werden können,  
**wichtig: Rücksprache mit Genehmigungsbehörde (oder DWD)**

## Das "Drumherum"

- effektives  $z_0$  (**sektorabhängige** Rauigkeitsbewertung der DWD-Windmessdaten, **objektive** Verfahren)  
→ **Zeitreihe AKTerm** (neues Format)
- meteorologischer **Präprozessor** → **LMTerm**  
(im DWD z. Zt. Präprozessor des KNMI implementiert)
- Umrechnung von (DWD-)Referenzzeitreihen "Bodenwind"  
(**Transferfunktion**, **"virtuelle Windmessenstation"**)

## Rauigkeitsbewertete Windmessung



notwendig: aerodynamisch **belastbare** Windmessung (  $h_{as} \geq \max(10 \text{ m, } d_{0sx} + 6 \cdot z_{0sx}) < h_{ref}$  )

## "Effektive Anemometerhöhe" (Regionalwind-Konzept)

$$p_s = \frac{\ln \frac{h_{as} - d_{0s}}{z_{0s}}}{\ln \frac{h_{ref} - d_{0s}}{z_{0s}}}$$

**"Stationsexponent"**  
(Index "s" = "an der DWD-Station")

$$h_a = d_0 + z_0 \left( \frac{h_{ref} - d_0}{z_0} \right)^{p_s}$$

**Anemometerhöhe  $h_a$  für die  
Ausbreitungsrechnung**  
(z. Zt.  $h_a \geq h_{a,\min} = 4.0 \text{ m}$ )

(siehe z.Zt. unter <http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/leistungen.htm> → Statistiken)

## Effektives $z_0$ aus Winddaten

**Verkaik-Methode:** Verwendung gemessener maximaler Böenfaktoren  $G_m$

$$z_0 = \frac{z}{e^{\left( \frac{A_W C k u_x}{G_m - 1} \right)} + B}$$

$d = B z_0$ ,  $B=6$  (TAL'02)  
 $A_W$  = Dämpfungsfaktor  
(Wieringa)

München Flughafen (Erdinger Moos):

72844 10-Min Werte (Feb01-Jan06) mit  $FF_{\min} \geq 4$  m/s :  $u_x=2,78$  (Mittelwert) ;  $u_x= 2,91$  (Medianwert)

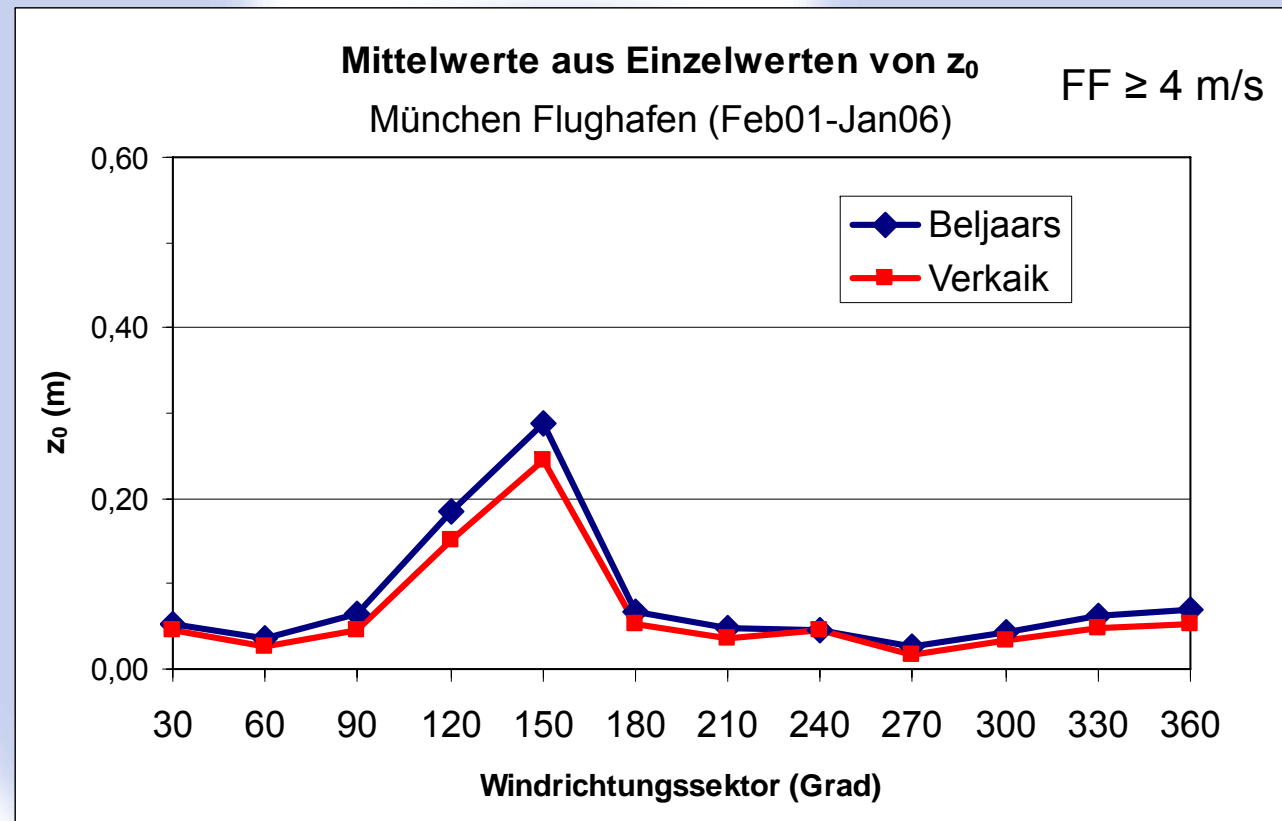
47894 10-Min Werte (Feb01-Jan06) mit  $FF_{\min} \geq 5$  m/s :  $u_x=2,78$  (Mittelwert) ;  $u_x= 2,67$  (Medianwert)

Literaturwerte nach Benschop und van der Meulen (2005) für KNMI-Stationen:

10-Min Daten:  $u_x=2,41$  ; 1-h Daten:  $u_x=2,99$

Kleines, etwa  
100-150 m  
entferntes Waldgebiet  
in 120 & 150 Grad  
bewirkt die größten  
 $z_0$ -Werte

In den anderen Sektoren  
liegen die  $z_0$ -Werte zwischen  
ca. 0,02 und 0,07 m



Mittelwerte über alle Richtungen:

$z_0$  Beljaars ( $\sigma_u/u$ ) : 0,041 m     $z_0$  Verkaik (G) : 0,032 m

→ Für Stations- $z_0$  muss Windrichtungshäufigkeit von Schwachwindlagen mit berücksichtigt werden

## Jahresimmissionsprognosen über Zeitreihenrechnung

**Erweiterung von AUSTAL2000 (Version 2.2.2) → A2K\_DWD**

- sektorabhängige Anemometerhöhe  $h_a$ (dd)
- Übernahme der Mischungsschichthöhe  $h_m$  aus AKTerm oder LMTerm
- LMTerm: Übernahme Monin-Obukhov-Länge  $L_M$

# Deutscher Wetterdienst

## Abteilung Klima- und Umweltberatung



### AKTerm (sektorabh. Rauigkeitsbewertung, Bsp.: $h_a = f(z_0, DD)$ )

- \* **AKTERM-Zeitreihe**, Deutscher Wetterdienst, Offenbach (KU11)
- \* Zeitraum 01.01.1995 - 31.12.1995
- \* mit Mischungsschichthoeh (Testwerte)
- \* anonymisierte Daten, Stand: 07.12.2004, Projekt: KB/3

Richtungsgemittelt:  
 $h_a = f(z_0)$   
 für 9  $z_0$ -Klassen:  
 0.01 m, ... , 2.00 m

+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	41	57	74	98	144	200	244	283	
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	40	58	102	144	183	(030)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	40	58	103	145	184	(060)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	40	59	104	145	185	(090)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	40	73	121	164	205	(120)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	57	97	149	193	234	(150)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	53	92	143	188	228	(180)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	52	72	115	169	214	254	(210)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	56	72	96	142	197	242	281	(240)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	51	71	114	168	213	253	(270)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	49	87	138	182	223	(300)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	53	69	92	138	193	238	277	(330)
+ Anemometerhoehen (0.1 m):	40	40	40	40	53	92	143	188	228	(360)

AK	10999	1995	01	01	00	00	1	1	210	56	1	3	1	402	6
AK	10999	1995	01	01	01	00	1	1	220	64	1	3	1	525	6
AK	10999	1995	01	01	02	00	1	1	260	68	1	3	1	607	6
AK	10999	1995	01	01	03	00	1	1	270	65	1	3	1	692	6
....															

DD FF AK  $h_m$

30-Grad-Sektoren

pro DD-Sektor für 9  $z_0$ -Klassen

## Sektorabhängige Rauigkeitslänge (A2K\_DWD)

$$u_a = u \left[ \frac{\ln\left(\frac{\bar{h}_{a,k} - d_0}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_{a,k}^{(i)} - d_0}{Z_0}\right)} \right]$$

$k$  = Rauigkeitsklassenindex,  $i$  = Windsektorindex

$Z_0 = Z_{0,k}$ : (konstante) Rauigkeitslänge (m) der Ausbreitungsrechnung

## Turbulenzparameter "Monin-Obukhov-Länge $L_M$ "

$$L_M = \frac{-\overline{\Theta}_v}{\kappa g} \frac{u_*^3}{w' \Theta'_v} \cong \frac{T_2}{\kappa g} \frac{u_*^2}{\Theta_*} \quad \sim \text{Impulsfluss / Wärmefluss}$$

- **Berechnung** der Monin-Obukhov-Länge  $L_M$  über die
  - Energiebilanzmethode
  - Gradientmethode

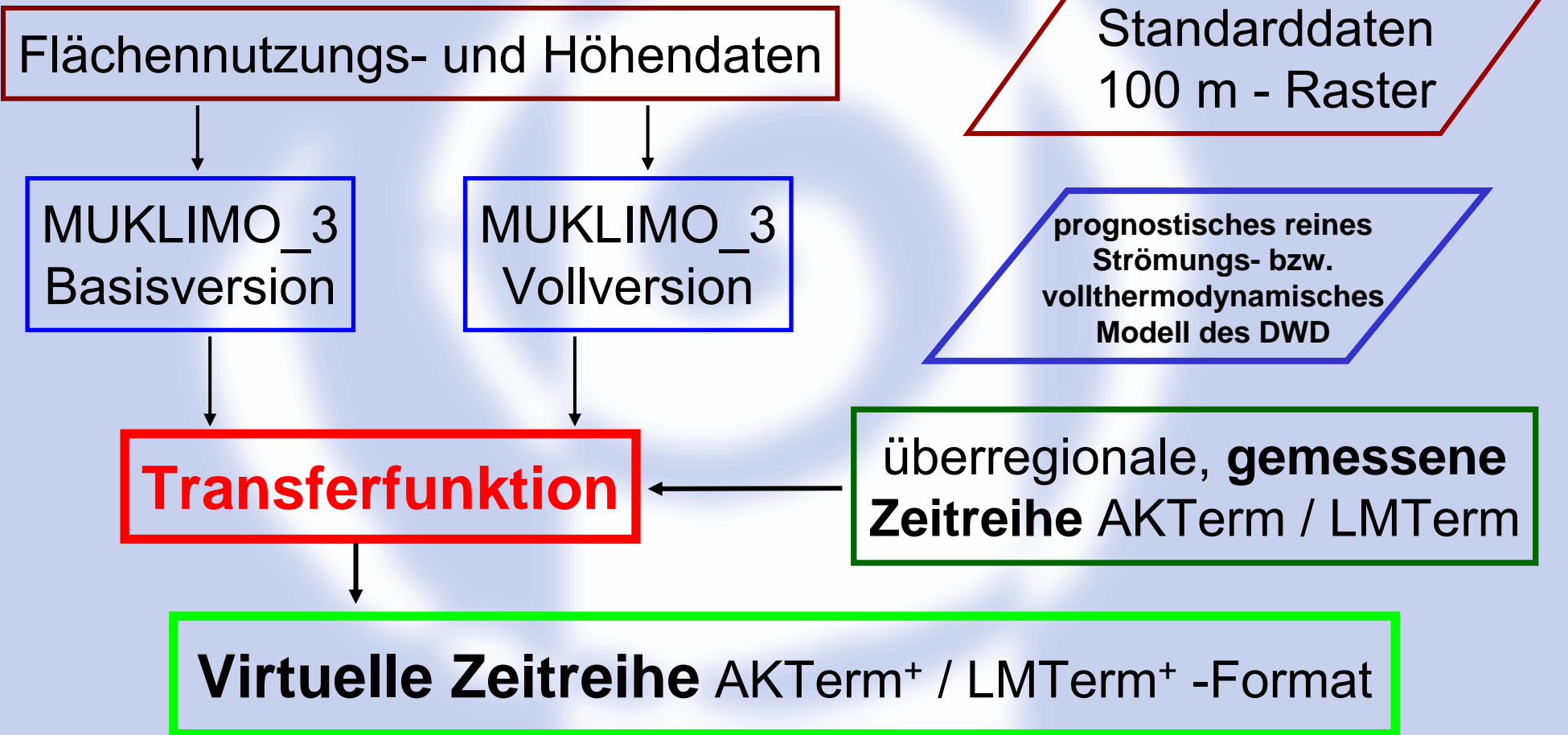
*Meteorologischer Präprozessor* (deRooy u. Holtslag, 1999)

- **Messung** z.B. anhand eines 3D (/2D) -Ultraschall-Anemometers

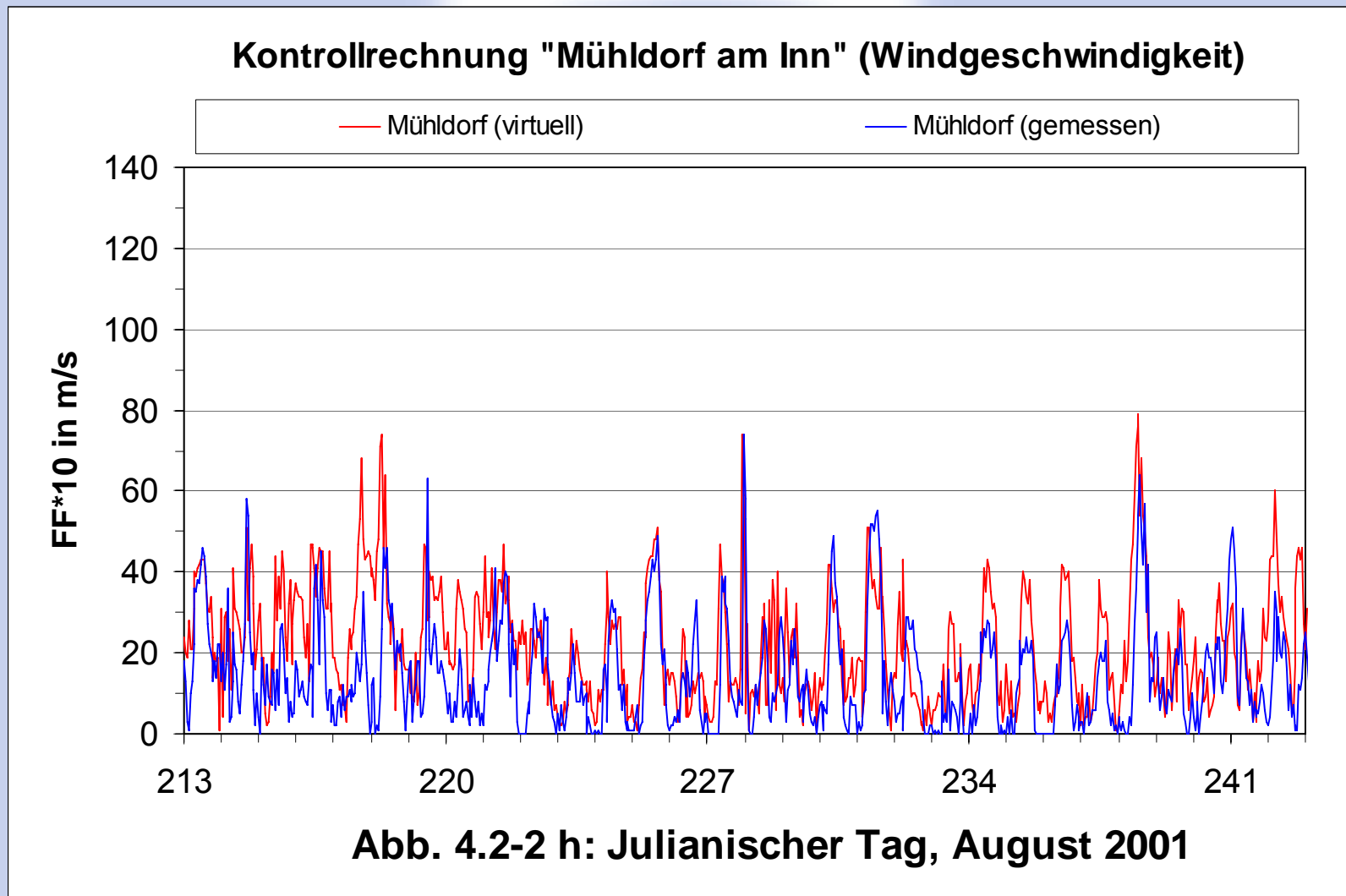


**Winddatenbereitstellung**  
für (fast) *jeden Ort* in Deutschland  
anhand einer  
(über)regional repräsentativen Routinemessreihe  
und einer  
**Transferfunktion** mittels MUKLIMO\_3-Modelleinsatz  
=  
**virtuelle Windmessstation**

## Virtuelle Windmessenstation (Standardverfahren)



virtuelle Windmessstation, Referenzreihe "Erdinger Moos" (1)



**Abb. 4.2-2 h: Julianischer Tag, August 2001**

virtuelle Windmessstation , Referenzreihe "Erdinger Moos" (2)

## Kontrollrechnung "Mühldorf am Inn" (Windgeschwindigkeit)

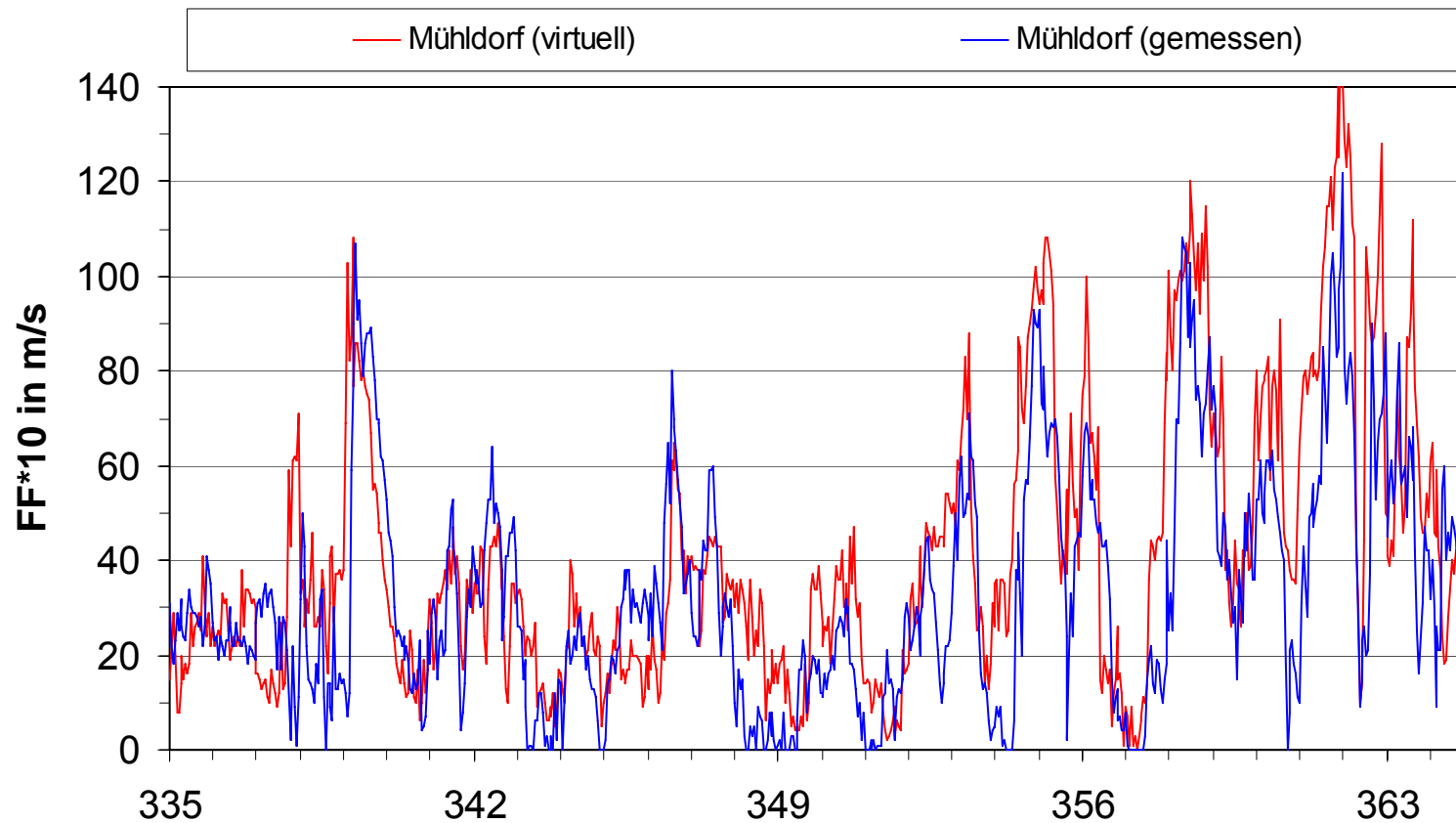


Abb. 4.2-2 n: Julianischer Tag, Dezember 2001

virtuelle Windmessstation , Referenzreihe "Erdinger Moos" (3)

## Kontrollrechnung "Mühldorf am Inn" (Windrichtung)

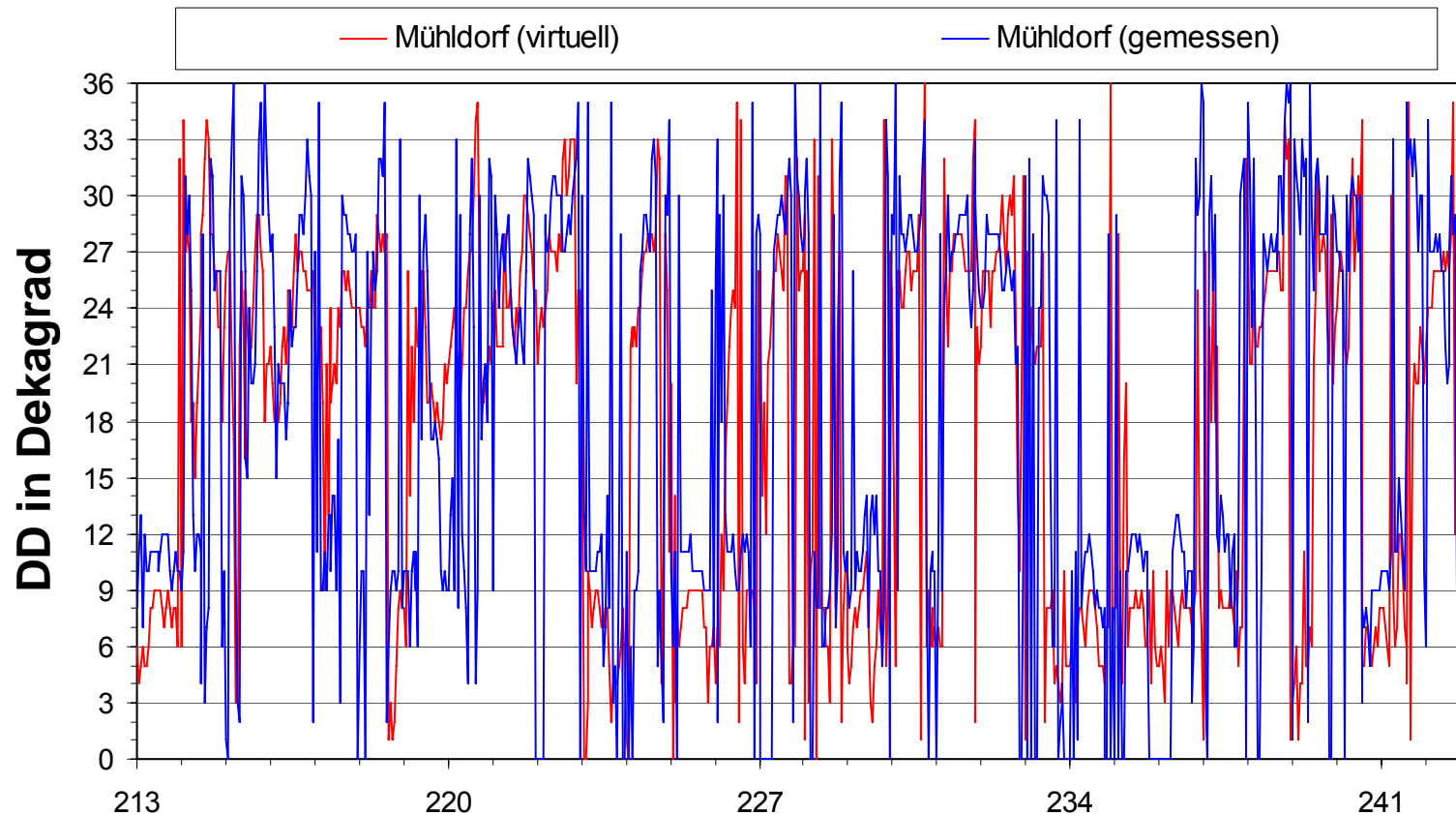


Abb. 4.2-3 h: Julianischer Tag, August 2001

virtuelle Windmessstation , Referenzreihe "Erdinger Moos" (4)

## Kontrollrechnung "Mühldorf am Inn" (Windrichtung)

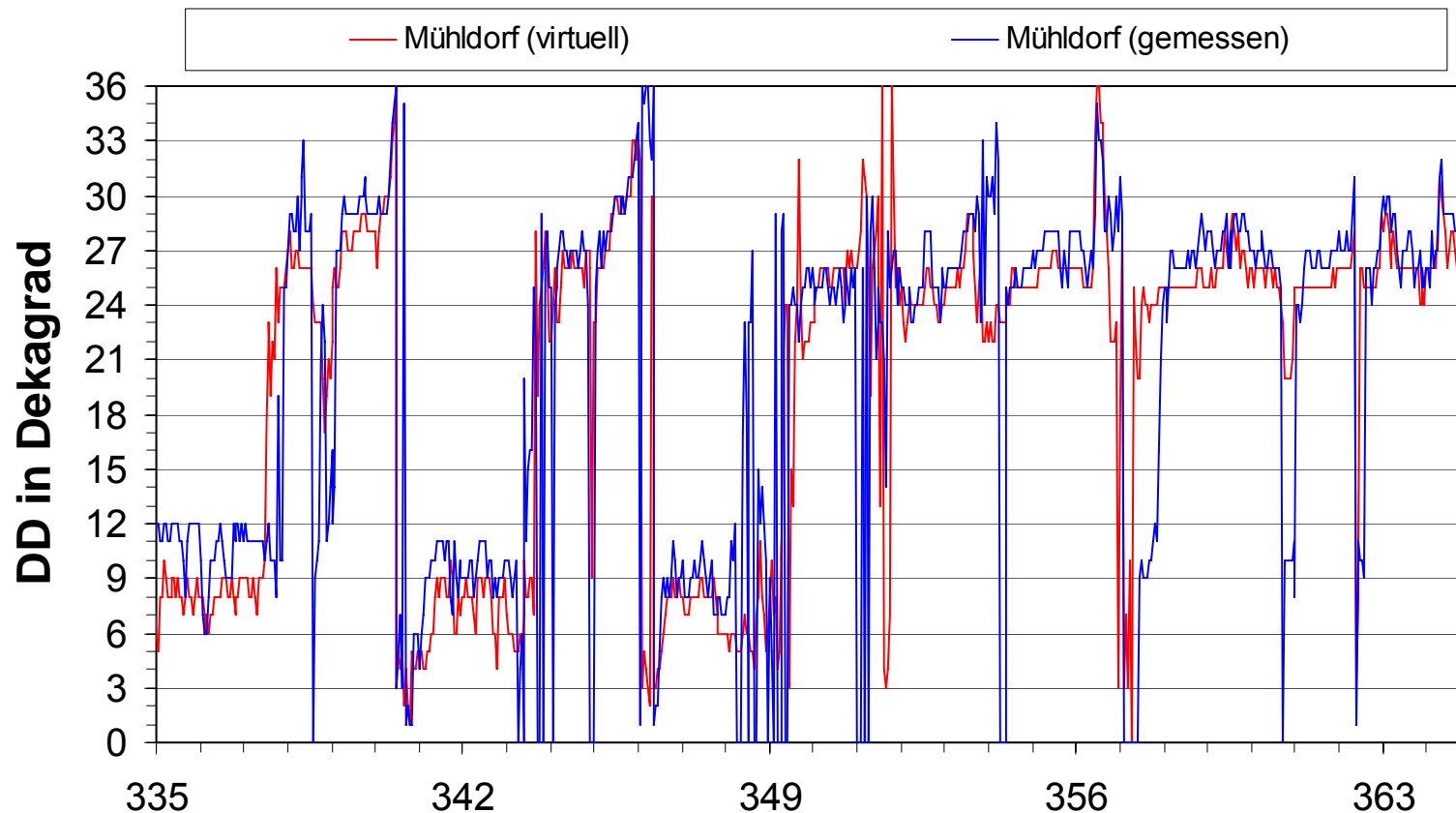


Abb. 4.2-3 n: Julianischer Tag, Dezember 2001

## virtuelle Windmessstation (5)

