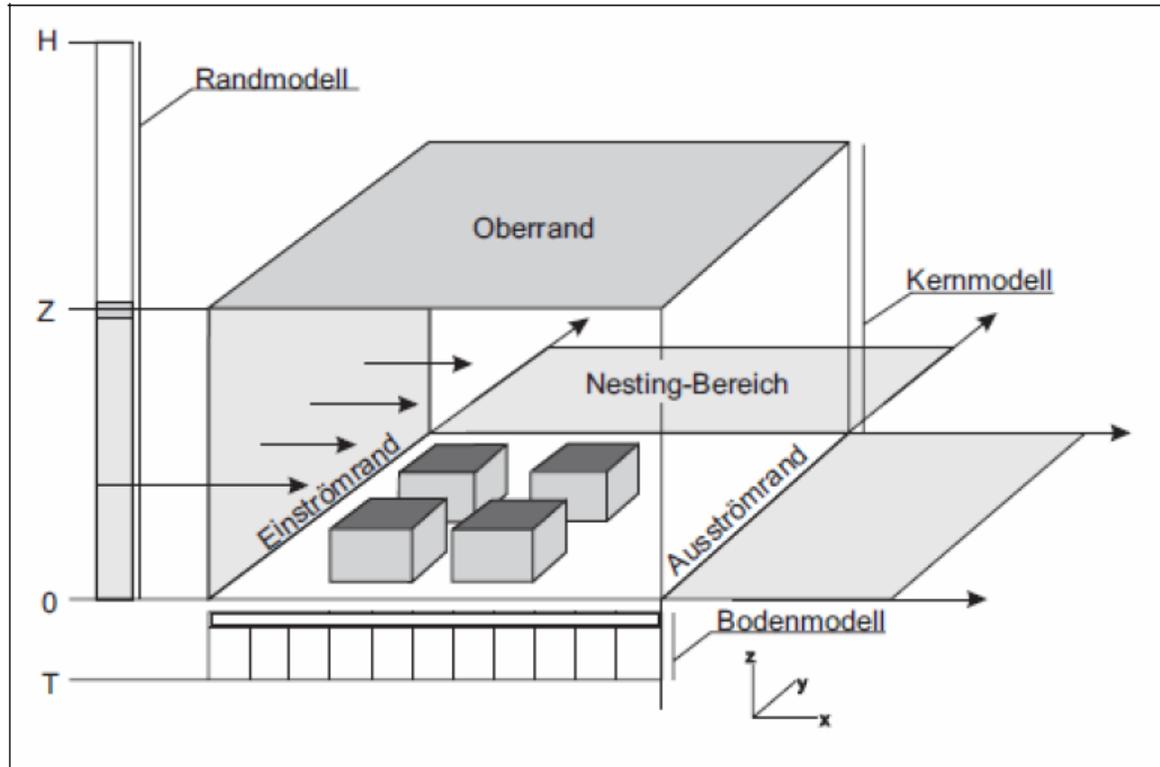


# Anwendbarkeit von Strömungsmodellen für praktische Fragestellungen

- Erfahrungsbericht -

Valeri Goldberg  
Professur für Meteorologie  
TU Dresden

Fragestellung	Projekt	Eingesetztes Modell
Repräsentativität von Punktmessungen	Metström-TurbEFA	HIRVAC, Envi-Met
Räumliche Interpolation von Windmessungen bei Orographieeinfluss	Advex	WITRAK
Wechselwirkung Bestandesstruktur-Bestandesklima	Enforchange	HIRVAC
Windklimatologie	RegKlam, Enforchange	WITRAK
Umströmung von Bauwerken/Gebäuden	RegKlam	WITRAK, Envi-Met
Wechselwirkung Stadtstruktur-Stadtklima	RegKlam, BfN-Projekte	HIRVAC, Envi-Met



- vollständiges 3D-nichthydrostatisches Atmosphärenmodell
- voll-implizites Lösungsverfahren (rel. große  $\Delta t$  möglich)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u_i \frac{\partial u}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x} + K_m \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2} \right) + f(v - v_g) - S_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u_i \frac{\partial v}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial y} + K_m \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x_i^2} \right) - f(u - u_g) - S_v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u_i \frac{\partial w}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial z} + K_m \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x_i^2} \right) + g \frac{\theta(z)}{\theta_{\text{ref}}(z)} - S_w$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$S_{u(i)} = \frac{\overline{\partial p'}}{\partial x_i} = c_{d,f} \text{LAD}(z) \cdot W \cdot u_i$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = K_h \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial x_i^2} \right) + \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{n,lw}}{\partial z} + Q_h$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} = K_q \left( \frac{\partial^2 q}{\partial x_i^2} \right) + Q_q$$

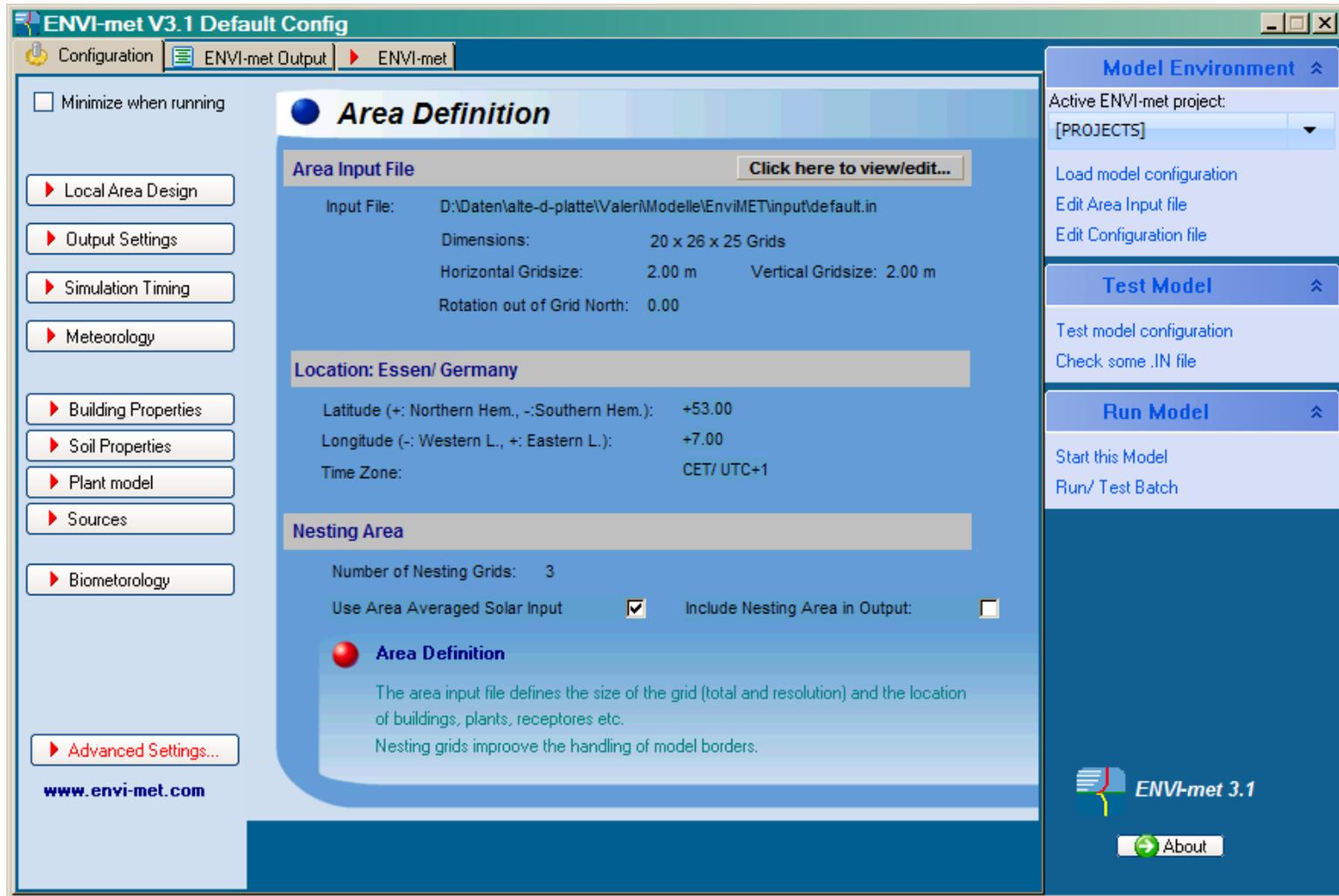
$$\frac{\partial E}{\partial t} + u_i \frac{\partial E}{\partial x_i} = K_E \left( \frac{\partial^2 E}{\partial x_i^2} \right) + \text{Pr} - \text{Th} + Q_E - \epsilon$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + u_i \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} = K_\epsilon \left( \frac{\partial^2 \epsilon}{\partial x_i^2} \right) + c_1 \frac{\epsilon}{E} \text{Pr} - c_3 \frac{\epsilon}{E} \text{Th} - c_2 \frac{\epsilon^2}{E} + Q_\epsilon$$

$$Q_E = c_{d,f} \text{LAD}(z) \cdot W^3 - 4c_{d,f} \text{LAD}(z) \cdot |W| \cdot E$$

$$Q_\epsilon = 1.5c_{d,f} \text{LAD}(z) \cdot W^3 - 6c_{d,f} \text{LAD}(z) \cdot |W| \cdot \epsilon$$

(Bruse, 2004)



**ENVI-met V3.1 Default Config**

Configuration | ENVI-met Output | ENVI-met

Minimize when running

▶ Local Area Design

▶ Output Settings

▶ Simulation Timing

▶ Meteorology

▶ Building Properties

▶ Soil Properties

▶ Plant model

▶ Sources

▶ Biometeorology

▶ Advanced Settings...

[www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)

### Area Definition

**Area Input File** [Click here to view/edit...](#)

Input File: D:\Daten\alte-d-platte\Valer\Modelle\EnviMET\input\default.in

Dimensions: 20 x 26 x 25 Grids

Horizontal Gridsize: 2.00 m    Vertical Gridsize: 2.00 m

Rotation out of Grid North: 0.00

**Location: Essen/ Germany**

Latitude (+: Northern Hem., -:Southern Hem.): +53.00

Longitude (-: Western L., +: Eastern L.): +7.00

Time Zone: CET/ UTC+1

**Nesting Area**

Number of Nesting Grids: 3

Use Area Averaged Solar Input     Include Nesting Area in Output:

**Area Definition**

The area input file defines the size of the grid (total and resolution) and the location of buildings, plants, receptors etc.

Nesting grids improve the handling of model borders.

**Model Environment** ⤴

Active ENVI-met project: [PROJECTS] ▼

Load model configuration

Edit Area Input file

Edit Configuration file

**Test Model** ⤴

Test model configuration

Check some .IN file

**Run Model** ⤴

Start this Model

Run/ Test Batch

**ENVI-met 3.1**

About

```

ENVimet Configuration Editor
File Edit Add Section Help Window

Rosenthal01.cf
% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3.0-----
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):           = Rosenthal01
Input file Model Area                 =[INPUT]\Rosenthal01.in
Filebase name for Output (Text):     =Wald100
Output Directory:                    =[OUTPUT]\Rosenthal01
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =22.06.2009
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):  =3:00:00
Total Simulation Time in Hours:       =45.00
Save Model State each ? min          =120
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]  =3
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =270
Roughness Length z0 at Reference Point =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]   =298
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =4
Relative Humidity in 2m [%]          =50
Database Plants                       =[input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )

[BUILDING] Building properties
Inside Temperature [K]                = 293
Heat Transmission Walls [W/m²K]        =1.94
Heat Transmission Roofs [W/m²K]       =6
Albedo Walls                          =0.2
Albedo Roofs                          =0.2

[TIMING] Update & Save Intervals
Update Surface Data each ? sec        =30.0
Update Wind field each ? sec          =900
Update Radiation and Shadows each ? sec =600
Update Plant Data each ? sec          =600

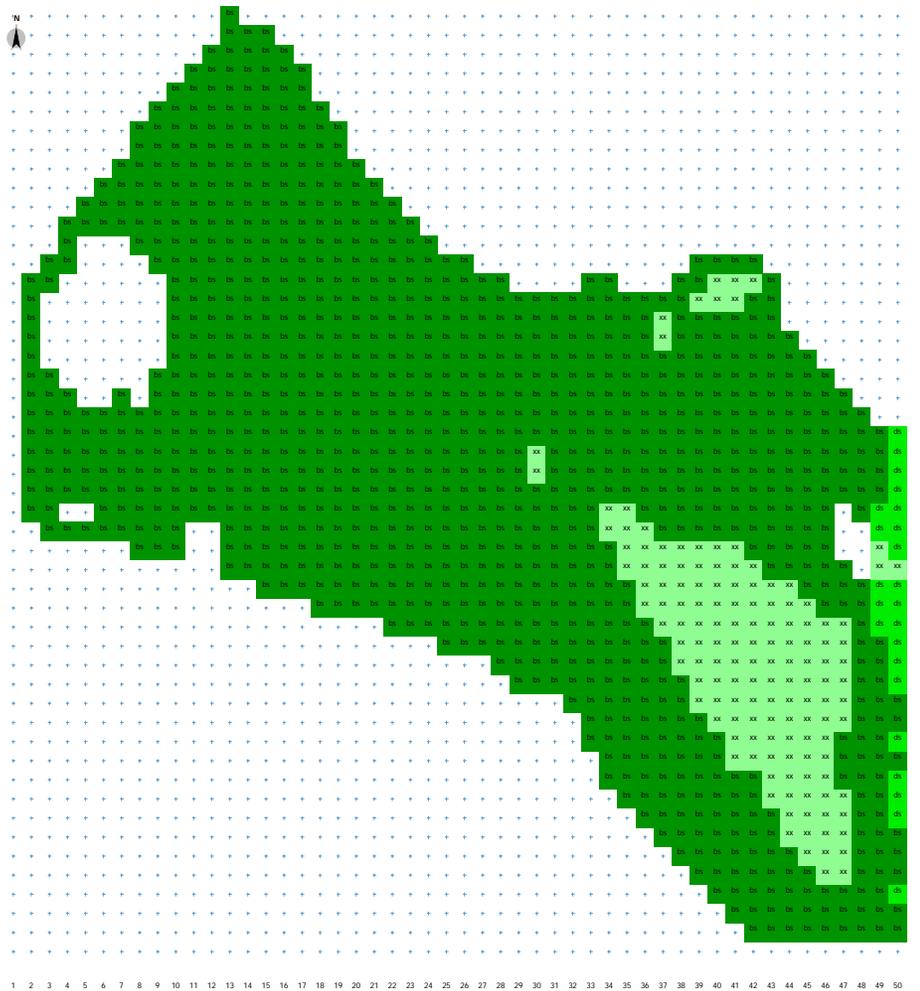
[SOLARADJUST]
Factor of shortwave adjustment (0.5 to 1.5) =1.0

[PMV] Settings for PMV-Calculation
Walking Speed (m/s)                   =1.3
Energy-Exchange (Col. 2 M/A)           =116
Mech. Factor                           =0.0
Heattransfer resistance cloths         =0.5

[RECEPTORS]
RECEPTOR 1 Co-ordinate                =1,1
% --remove line above if your receptors are in the area input file--
Save Receptors each ? min              =30.0

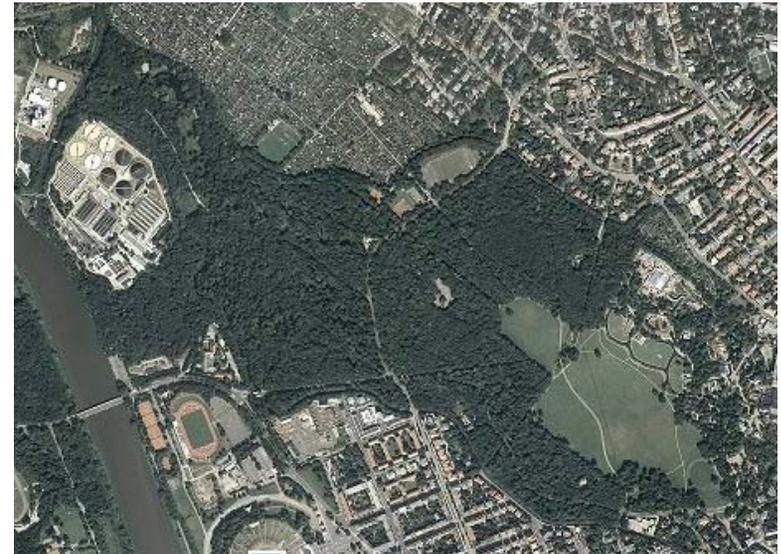
[CLOUDS]

```



**Envi-met Area  
Leipziger Rosenthal  
2.5 x 2.0 km<sup>2</sup>  
50 x 50 x 22 GP**

**BfN-Projekt „Urbane Wälder“**



<http://www.geocontent.de/>

## WITRAK (= Windfeld-, TRANsport- und Klimatologie-Programmsystem)

### Massenkonsistentes, diagnostisches Windmodell

4 Teilmodule:

- MCF (= Mass Consistent Flow Modell): diagnostische divergenzfreie Windfelder, Grundlage für die anderen Programme
- TRAJEK: Darstellung von Trajektorien
- TRADI: Schadstoffausbreitung bei vorgegebener Schadstoffquelle
- WIKLI (= WInd-KLIimatologie-Programm): Windklimatologien bei Vorgabe mindestens einer gemessenen Windstatistik

**Ziel des Modells:** Überführung eines Initialwindfeld  $(u_0, v_0, w_0)$  in ein divergenzfreies Windfeld  $(u, v, w)$ , wobei

$$u = u_0 + u^* \quad v = v_0 + v^* \quad w = w_0 + w^*$$

⇒ Berechnung der Korrekturterme (\*)

mit

$$u = u_0 + \frac{1}{2} \alpha_1^{-2} \frac{\partial \lambda}{\partial x}$$

$$v = v_0 + \frac{1}{2} \alpha_1^{-2} \frac{\partial \lambda}{\partial y}$$

$$w = w_0 + \frac{1}{2} \alpha_2^{-2} \frac{\partial \lambda}{\partial z}$$

und

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \frac{\alpha_1^2}{\alpha_2^2} \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = -2\alpha_1^2 \left( \frac{\partial u_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial y} + \frac{\partial w_0}{\partial z} \right)$$

unter Minimierung des Funktionals

$$F(u, v, w, \lambda) = \iiint \left[ \alpha_1^2 (u - u_0)^2 + \alpha_1^2 (v - v_0)^2 + \alpha_2^2 (w - w_0)^2 + \lambda \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] dx dy dz$$

**WiTraK NT 3.04** Windfeld-, Schadstofftransport- und Klimatologie-System

Kataster MCF Strömungsrechnungen Trajektorienberechnung Ausbreitungsrechnungen Klimatologie Grafik

### Kataster-Auswahl

Dresden

- BEISPIEL.KAT
- BONN.KAT
- DEMO.KAT
- Dresden.kat**
- DUSSELDORF.KAT
- EGGEGER.KAT
- EGGEGERVor.kat
- HLGHAUS.KAT
- KAARST.KAT
- KÖLNERBU.KAT
- mk250.kat

**Katastergrenzen**

Rechtswert : 5409.328 km - 5414.323 km  
Hochwert : 5655.629 km - 5660.624 km

Niedrigste Höhe im Kataster : 102 m  
Größte Höhe im Kataster : 177 m  
Mittl. Geländehöhe im Kataster : 118 m  
Mittlere Rauigkeitslänge : 0.01 m

Verfügbare Meßstationen: 0

**Grafiken**

- Topographie
- Landnutzung
- Anteil Wasser
- Anteil Feld
- Anteil Wald
- Anteil Vorstadt
- Anteil Stadt

**Kataster bearbeiten**

- Editieren
- Rauigkeit akt.
- Teilkataster

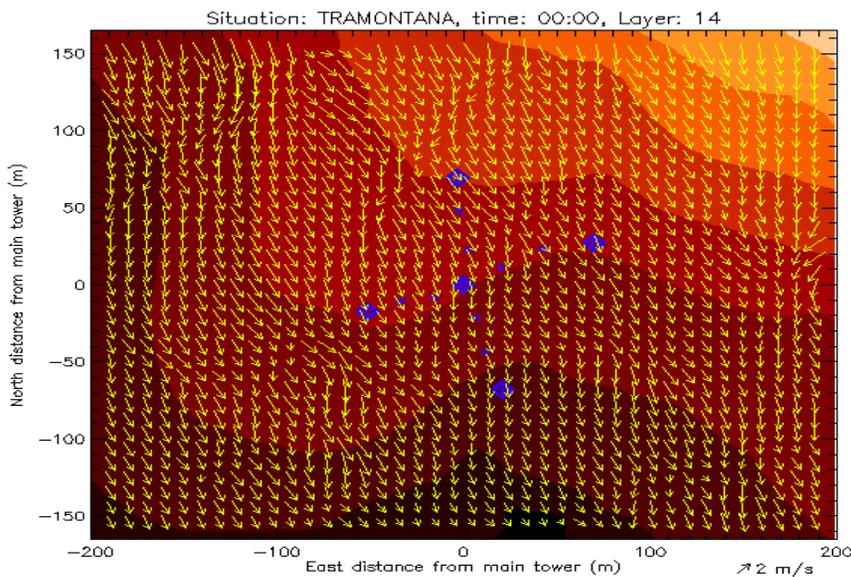
**Übernehmen** **Abbrechen**

IGM - Bereich Meteorologie  
Universität zu Köln

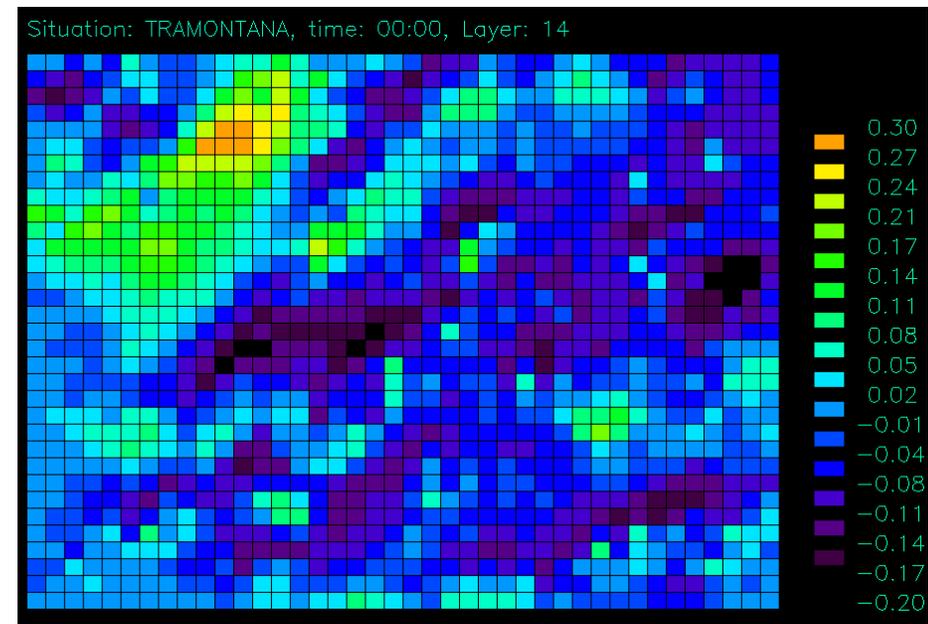
- Eingabedatensätze bearbeiten ▶
- Simulationen starten ...
- Statistik
- Windklimatologie berechnen
- Logdatei ansehen
- Klimatologiedaten sichern ...
- Klimatologiedaten laden ...
- Klimatologiedaten löschen ...
- Simulationsdaten löschen ▶
- Simulationssatz abbrechen ...

## **WITRAK-Simulation für eine Alpenregion (Tramontana)** **Gitterabstand 10m (ADVEX)**

Ziel: bessere räumliche Interpolation des Windfeldes zwischen den Messpunkten, Abschätzung der Vertikalkomponente



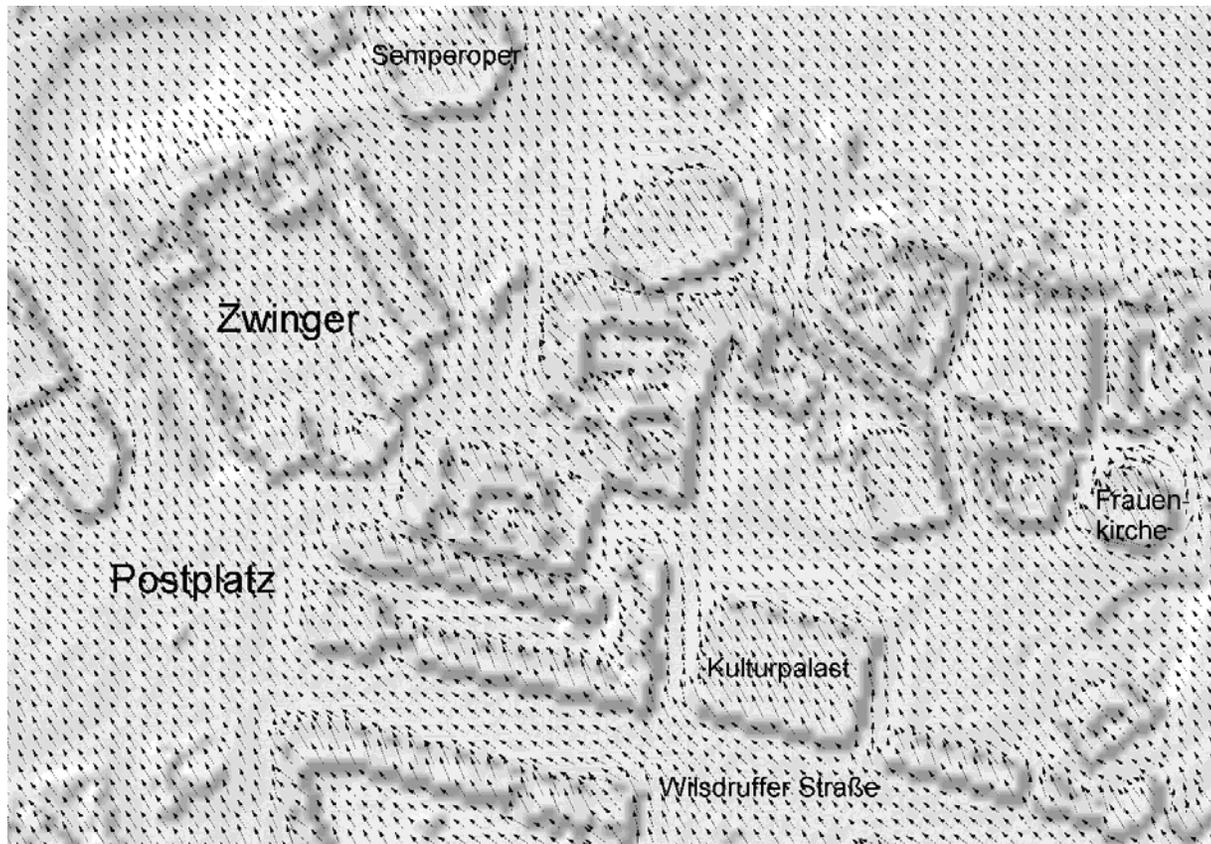
$V_h$

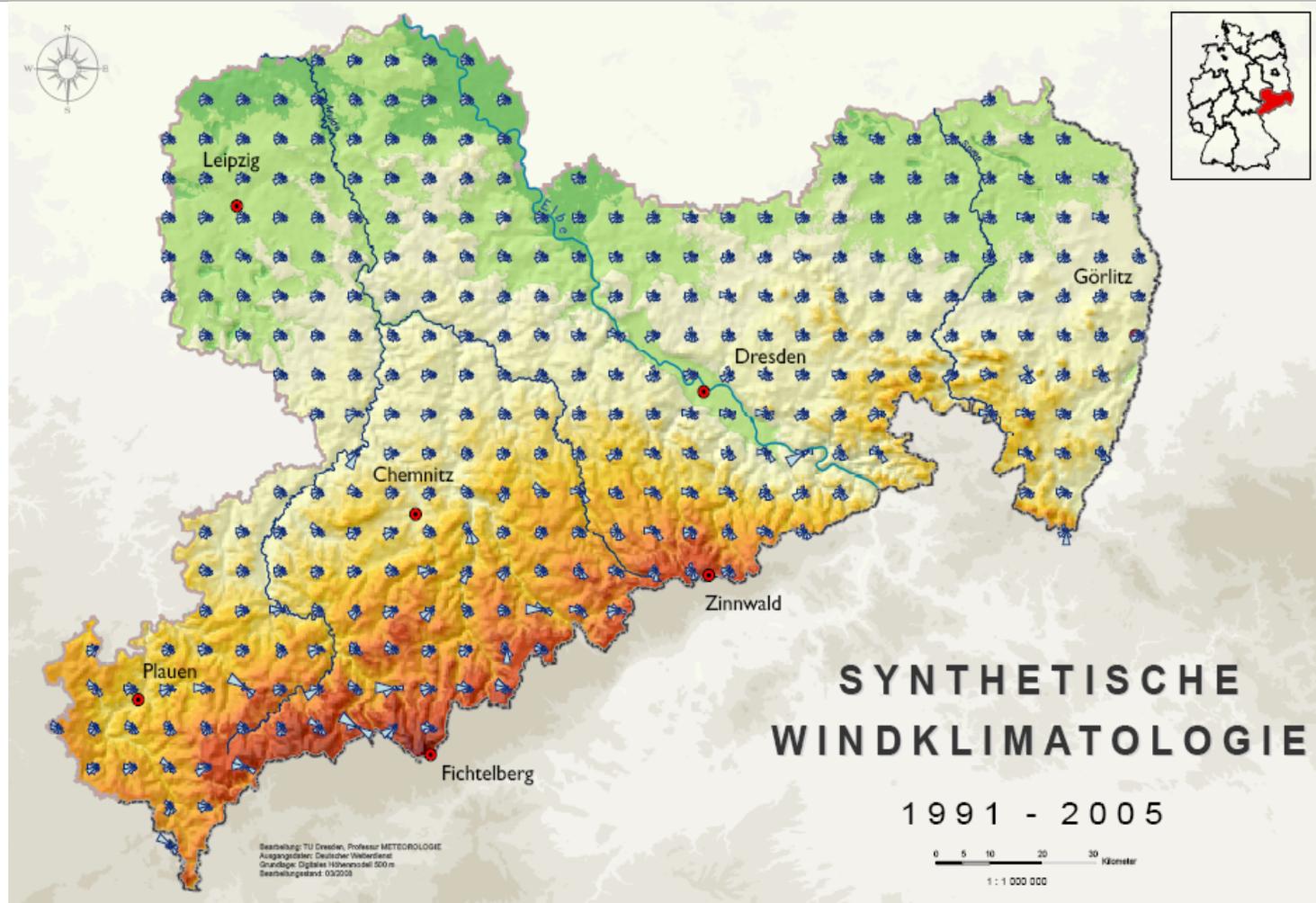


$V_z$

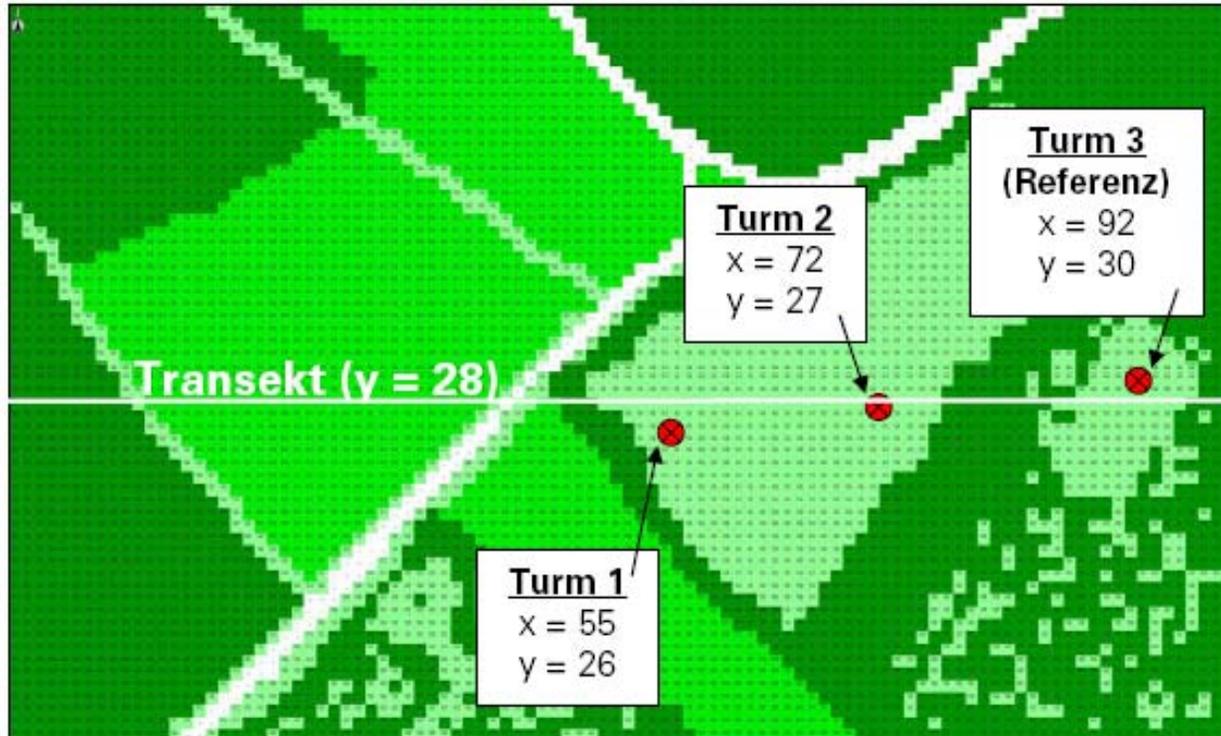
## WITRAK-Simulation für die Innenstadt von Dresden Gitterabstand 5m (BMBF-RegKlam)

Ziel: Untersuchung der Auswirkung des Stadtumbaus auf die Durchlüftungsverhältnisse





aus: Sachsen im Klimawandel – eine Analyse, SMUL/TUD, 2008

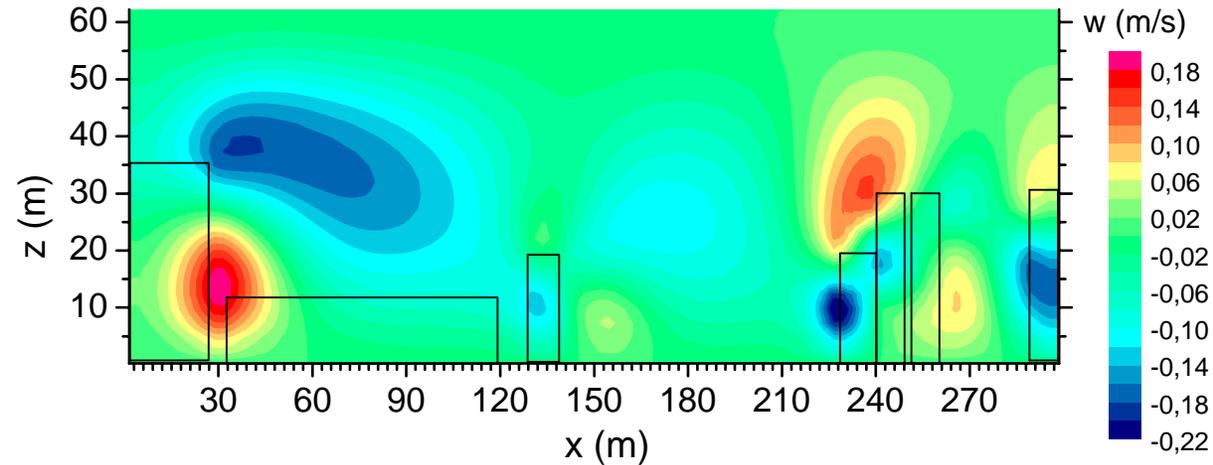
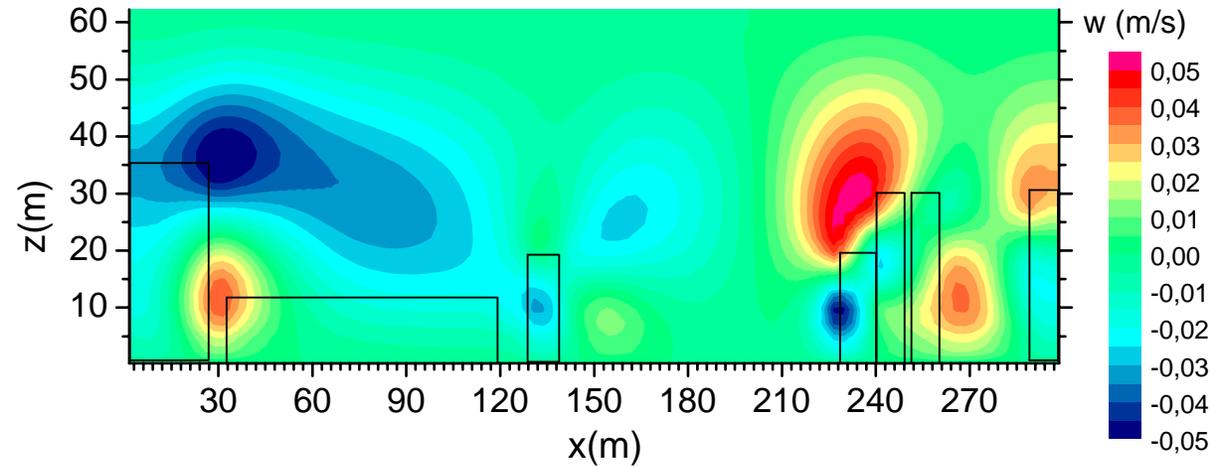
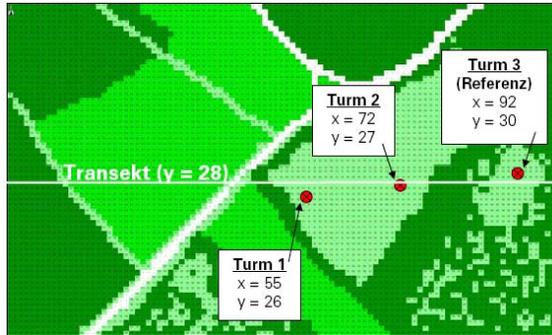


**Gitter: 300m x 180m x 62m**

**100 x 60 x 29 Gitterpunkte (Auflösung: horizontal 3m, vertikal 0,2-2,5m)**

**Strahlungstag, Sommersonnenwende**

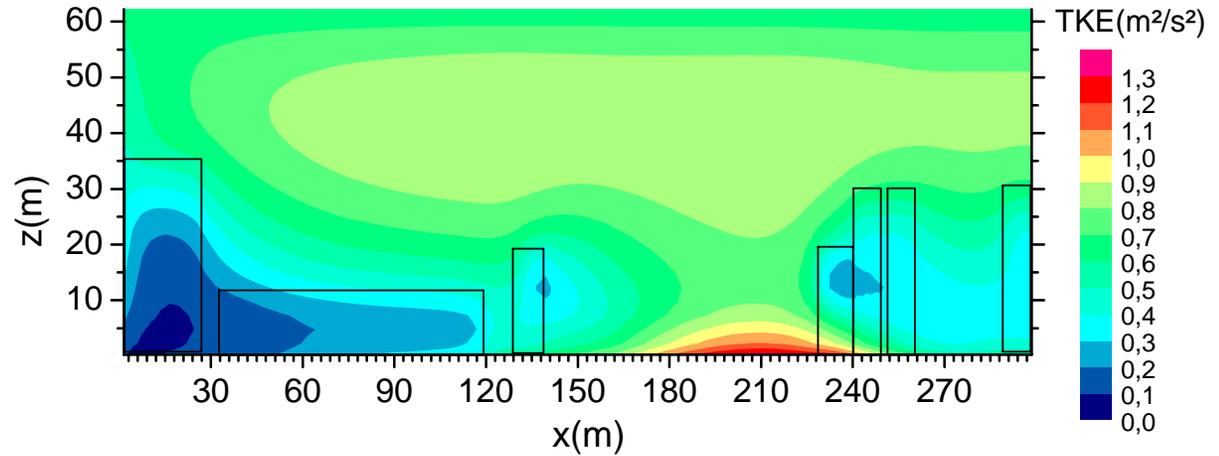
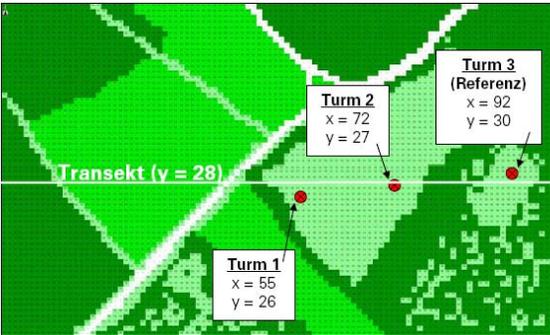
Aus: Hydrol.-Met. Projektarbeit M. Schaffer, 2009



**Vertikale Windgeschwindigkeit  
im Transekt, 14:00,**

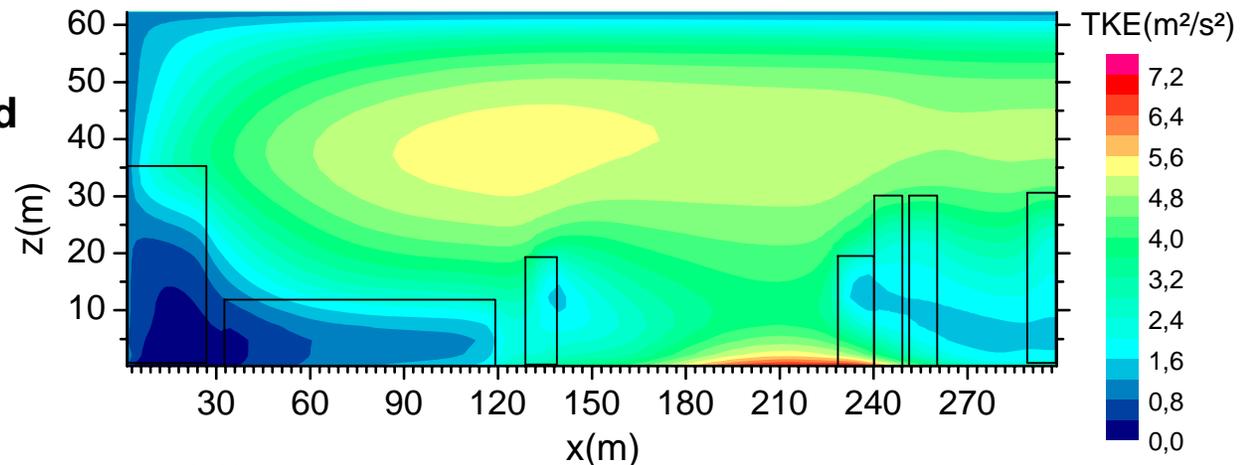
**Oben: wolkenlos, Schwachwind  
Unten: bedeckt, Starkwind**

Daten aus: Hydrol.-Met. Projektarbeit M. Schaffer, 2009

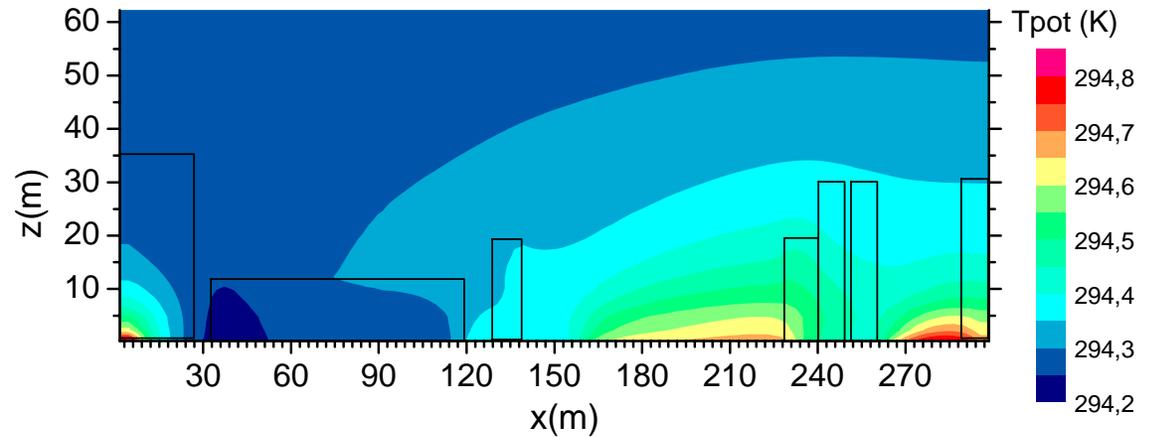
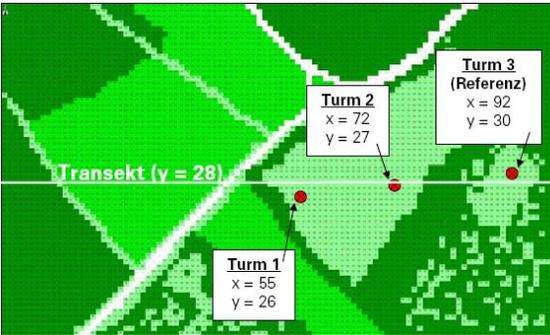


**TKE im Transekt, 14:00,**

**Oben: wolkenlos, Schwachwind**  
**Unten: bedeckt, Starkwind**



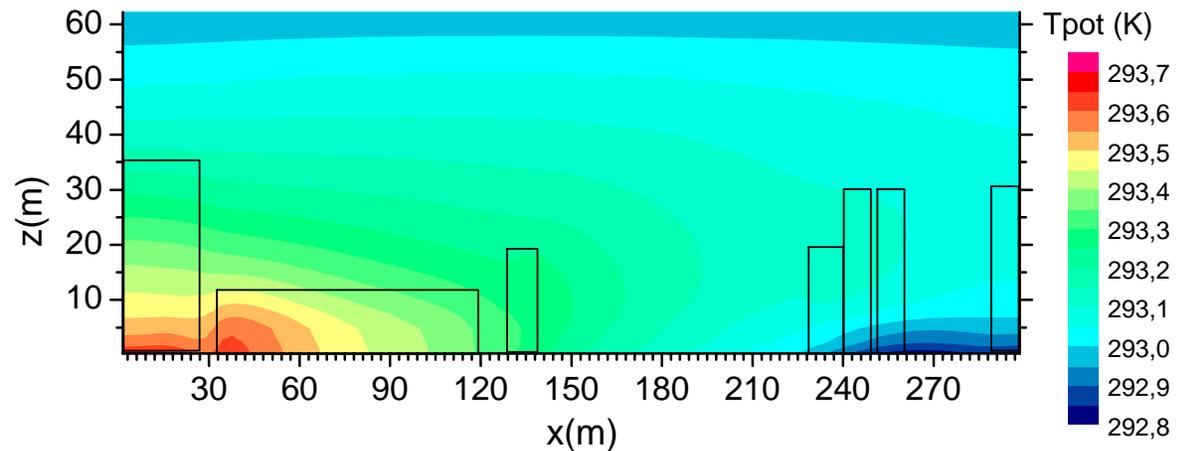
Daten aus: Hydrol.-Met. Projektarbeit M. Schaffer, 2009



**Tpot im Transekt, 14:00,**

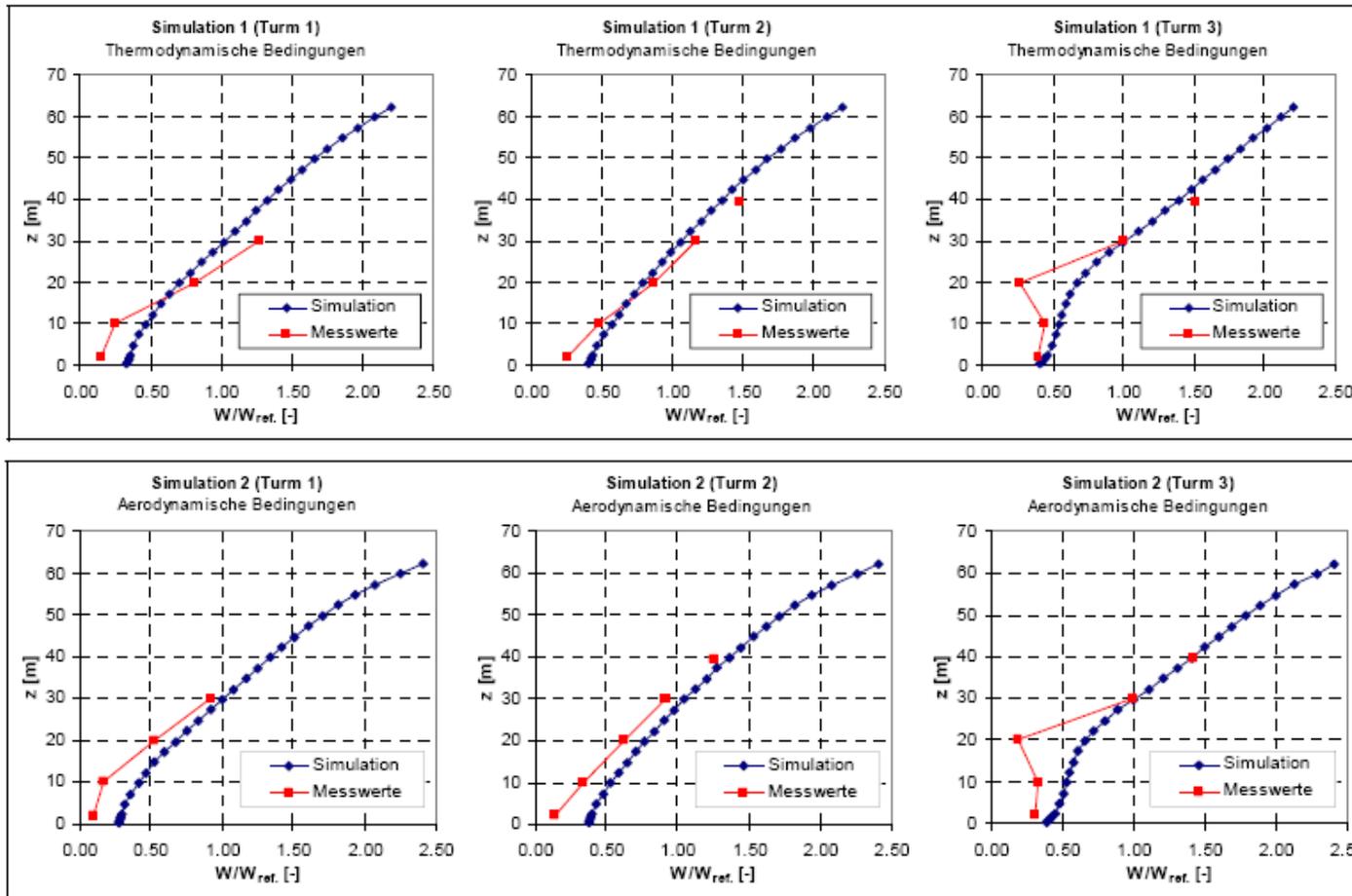
**Oben: wolkenlos, Schwachwind**

**Unten: bedeckt, Starkwind**

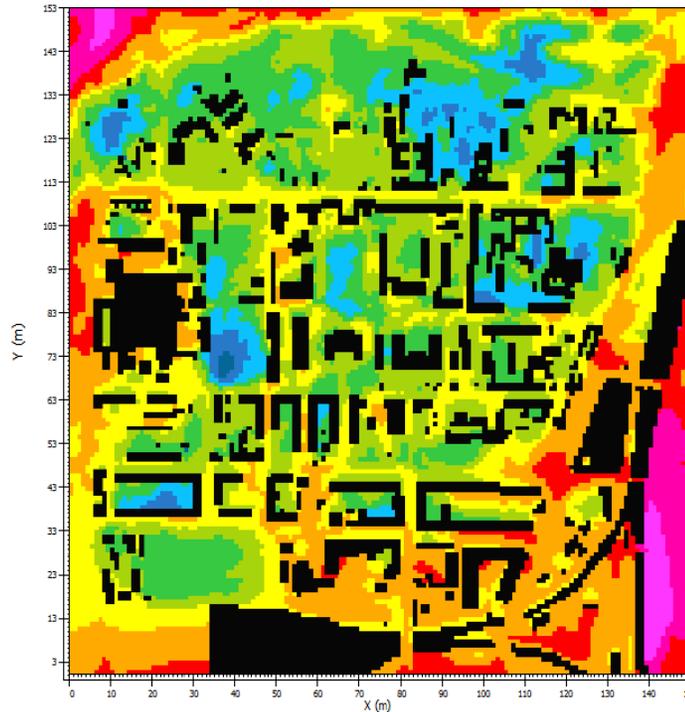


Daten aus: Hydrol.-Met. Projektarbeit M. Schaffer, 2009

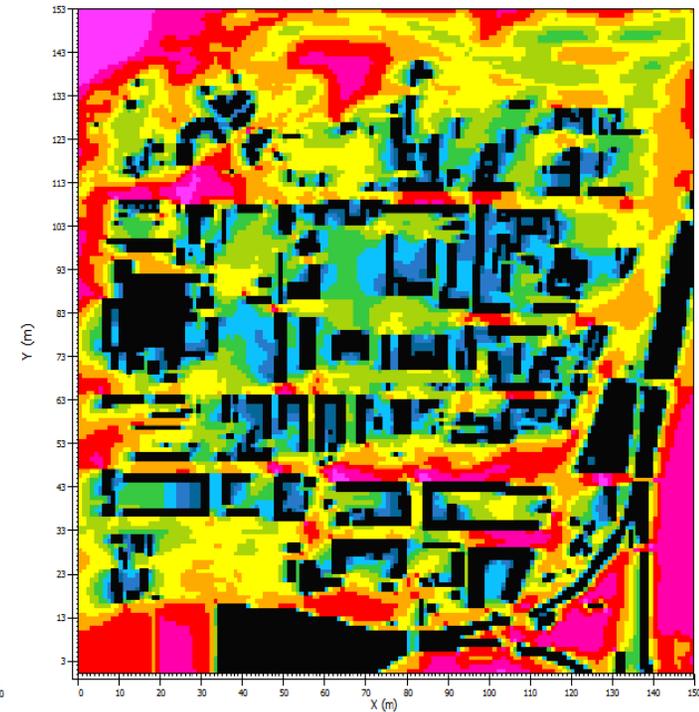
**Vergleich Messung – Modell (Tagesmittelwerte, normiert)**



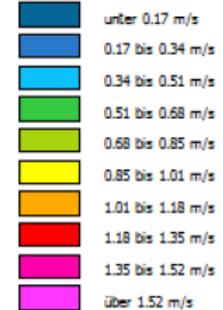
Aus: Hydrol.-Met. Projektarbeit M. Schaffer, 2009



**Pot. Temperature**



**Wind Speed**



**Envi-Met Simulation 23.06., 14:00**

Gitter: 1071m x 1050m x 62m

153 x 150 x 25 Gitterpunkte (Auflösung:

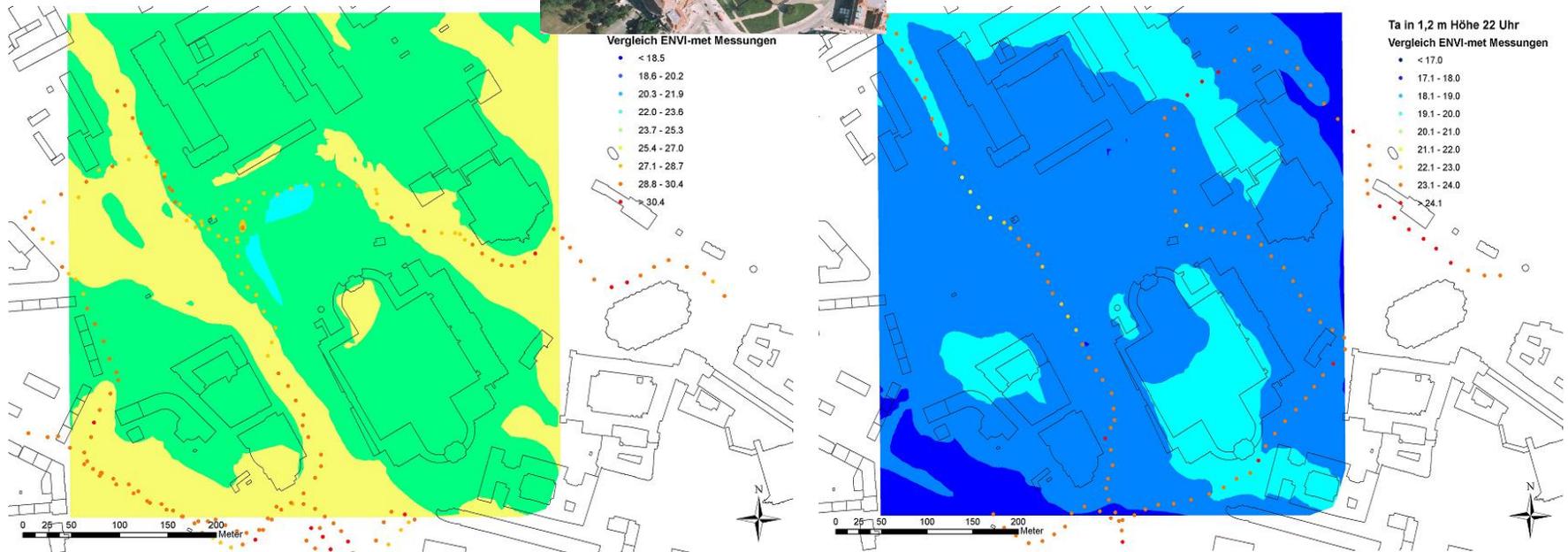
hor. 7m, vert. 0,2-2,5m)

Strahlungstag, Sommersonnenwende

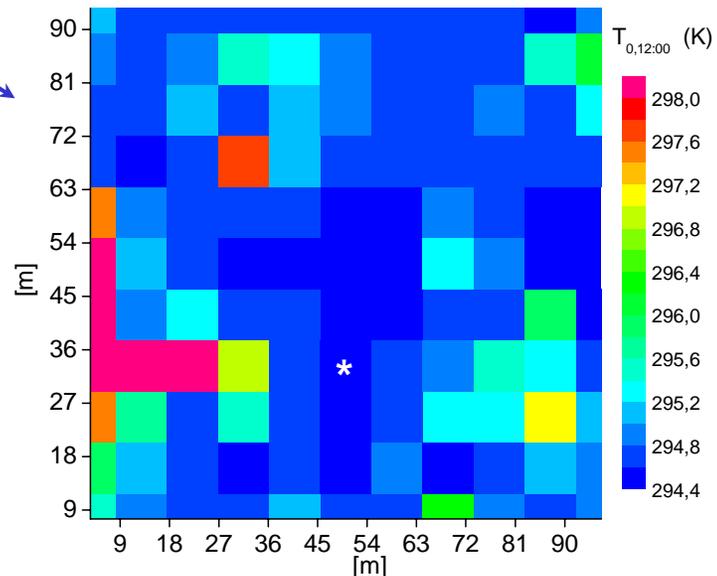
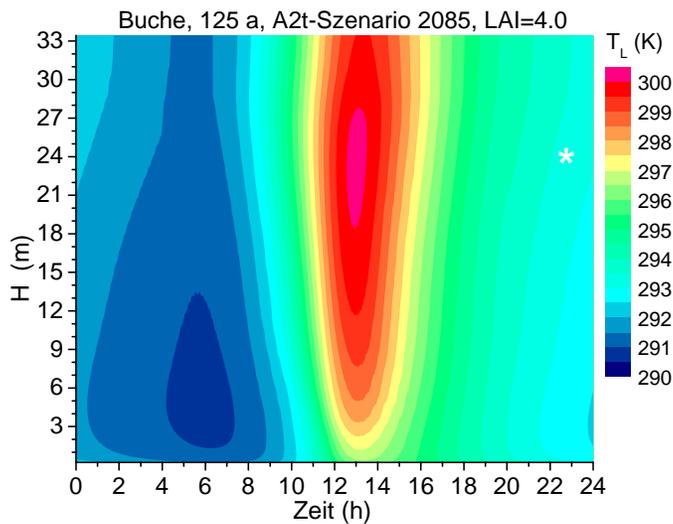
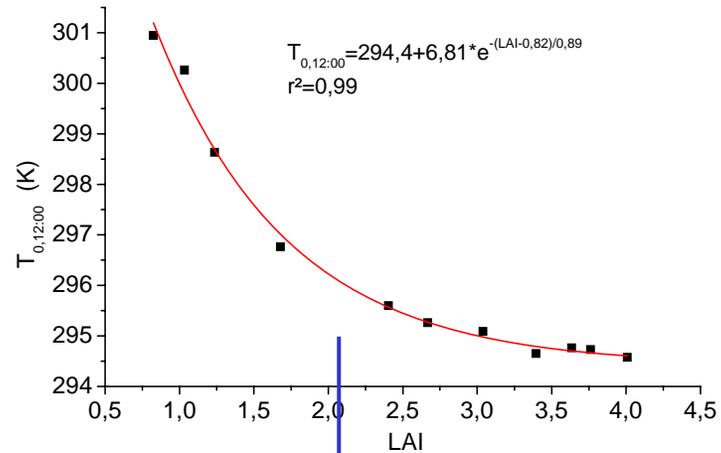
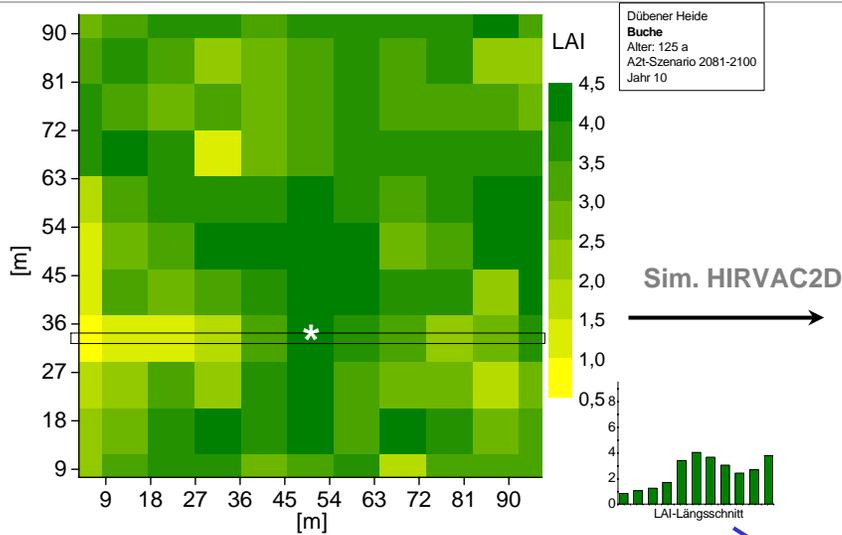
Aus: Hydrol.-Met. Projektarbeit M. Pistorius, 2010



Aus: Diplomarbeit F. Hegeholz, 2009



Vergleich Envi-Met mit Messwerten, 20.08.2009, 14:00 und 22:00 MEZ



Modell	Vorteile	Nachteile
WITRAK	Schnell im Rechnen, rel. große Gebiete simulierbar	Nur diagnostisch, damit große Einschränkung bei thermischen Effekten und bei großen Höhengradienten der Orographie (Probleme mit Massenkonsistenz in den Gitterflächen), für Fragestellungen in TurbEfa nur eingeschränkt einsetzbar
Envi-Met	Vollständiges 3D-Modell, sehr feine Auflösung möglich, natürliche und künstliche Hindernisse berücksichtigbar	Nur 1-Kern-Version für PC frei verfügbar, keine <i>open source</i> , rel. lange Rechenzeit, Probleme mit Modellfeuchte und realistischer Absoluttemperatur (zu „kalt“), Anpassung der Modellränder und Vegetationsparameter an Messwerte nur eingeschränkt möglich, Vertikalauflösung im unteren Modellbereich zu grob, keine Orographie
HIRVAC-2D	Schnell im Rechnen, große „Strecken“ simulierbar, hohe Modellstabilität, vollständiges Eingreifen in Programmcode, Dynamik und Thermodynamik „passen“ gut zu Messergebnissen, aufgrund hoher räuml. Auflösung gut kalibrierbar auf TurbeFa-Fragestellungen	eine Dimension fehlt (noch), Anwendbarkeit von RANS bei sehr kleinem Turbulenzmaßstab ist generell zu hinterfragen (Berücksichtigung von Large Eddies aber möglich!), keine Orographie