







DFG SPP 1276 MetStröm

# Turbulente Austauschprozesse zwischen Waldflächen und der Atmosphäre -> TurbEFA <-

Christian Bernhofer, Valeri Goldberg, Ronald Queck, Stefan Harmansa Institut für Hydrologie und Meteorologie, TU Dresden

Jörg Stiller, Fabian Schlegel Institut für Strömungsmechanik, TU Dresden

Veit Hildebrand, Thomas Eipper Institut für Luft- und Raumfahrttechnik, TU Dresden

Hans-Gerd Maas, Anne Bienert Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Dresden

Deutsche Forschungsgemeinschaft

DFG

MetStröm Workshop Tharandt, 9/10 September 2010

#### **MetStröm**

DFG Schwerpunktprogramm (SPP) 1276 MetStröm:

## Skalenübergreifende Modellierung in der Strömungsmechanik und Meteorologie

- Meteorologie Strömungsmechanik Angewandte Mathematik
- Konzepte für modell- und gitteradaptive numerische Simulationsverfahren in bi- oder tri-disziplinären Projekten
- u.a. Formulierung der Parametrisierungen bzw. Schließungsmodelle für die Effekte kleinskaliger, nicht aufgelöster Prozesse auf dynamisch adaptiven Gittern

- a) Großskalige Dynamik / Modelle
- b) Turbulenz / LES
- c) Mehrphasenströmungen (Wolken, Konvektion)

• ...

Turbulente
 Austauschprozesse zwischen
 Waldoberfläche und
 Atmosphäre

• ...

### Projektgruppe











DFG SPP 1276 MetStröm

# Turbulente Austauschprozesse zwischen Waldflächen und der Atmosphäre -> TurbEFA <-

Motivation, Ziele Projektdesign, Untersuchter Standort Teilziele

Produkte Probleme

Deutsche Forschungsgemeinschaft

DFG

MetStröm Workshop Tharandt, 9/10 September 2010

#### **Motivation**

Austauschprozesse zwischen Vegetation und Atmosphäre, insbesondere an und um Inhomogenitäten wie Waldkanten

- Energie- und Stoffflüsse:
  - (CO<sub>2</sub> Sequestration, Stoffdeposition, Stoffausbreitung, ...)
  - Beeinflussung der an die Vegetation angepassten turbulenten Grenzschicht (Quellflächenanalyse)
  - Advektion von Stoffen
- Impulsabsorption an und nach Waldkanten
  - (Sturmschäden, Oberflächenrauigkeiten)
  - Entwicklung von koherenten Wirbelstrukturen nach Rauigkeitssprüngen
  - Entwicklung einer entkoppelten Strömung im Bestandesraum
  - Überlagerung und Wechselwirkung unterschiedlicher
     Turbulenzskalen an der Grenzfläche Bestand AGS über Bestand

#### **Bsp.: Advektive Energie- und Stoffflüsse**

- Aufgrund fehlender räumlicher Repräsentativität können meteorologische Messungen allein die advektiven Flüsse nur unzureichend erfassen.
- Bisher vorhandene Modelle sind nicht geeignet für den "operativen" Einsatz, sie haben Schwierigkeiten in der
  - Darstellung der Spannweite von natürlichen Ereignisse (zeitl. + räuml.)
  - "echtzeitnahe" Simulation von konkreten Situationen



Kombination verschiedener Messungen zur Verbesserung von Modellsimulationen

#### **Ziele und Methoden**

- Erfassung der Waldkantenstruktur und der turbulenten Strömung im Bereich der Waldkanten
- Parametrisierung der Inhomogenitäten und Neubewertung der Messmethoden für Flüsse von Spurengasen
- Quantifizierung von Messunsicherheiten unter komplexen Bedingungen

- Vergleich von Felddaten aus Simulation, Freiland und Experiment
- Definition von Testfällen auf unterschiedlichen Skalenbereichen
- Modellbildung und Validierung, Quantifizierung von Unsicherheiten

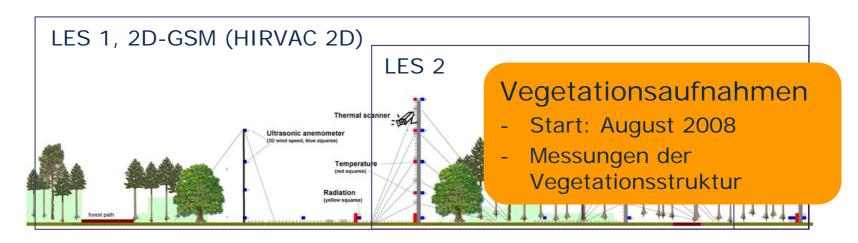
#### Projektübersicht

#### Freilandmessung

- Start: April 2008
- Messungen und Analyse bei realen Bedingungen

#### Windkanal

- Start: November 2007
- Messungen und Analyse am Modell



#### Grenzschichtmodellierung

- Start: September 2007
- 2D Strömungssimulation, 4m/0.5m, 1s; gemittelt

#### Large Eddy Simulation

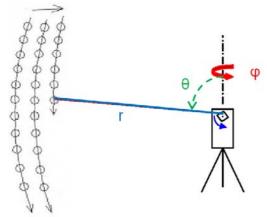
- Start: April 2008
- 3D Strömungssimulation,
   1m, <0.1s; turbulenzaufl.</li>



#### Vegetationsaufnahmen

#### Ziele:

- Hochaufgelöste Vegetationsverteilung als Modellinput
- Charakterisierung des Bestandes (Dichteverteilung der Vegetation, mittlerere Abstände ... )
- Aufnahme von Baumbewegungen (elastisch!)



Messprinzip terrestrisches Laserscanning



Terrestrischer Laserscanner Faro LS 880 (Reichweite: 800m, Scan Auflösung: 0.1°)



Animation der Punktwolke des Untersuchungsgebietes

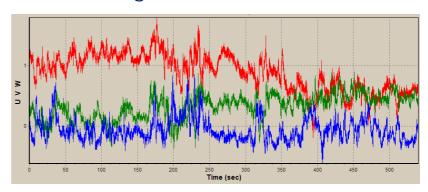
#### Freilandmessung

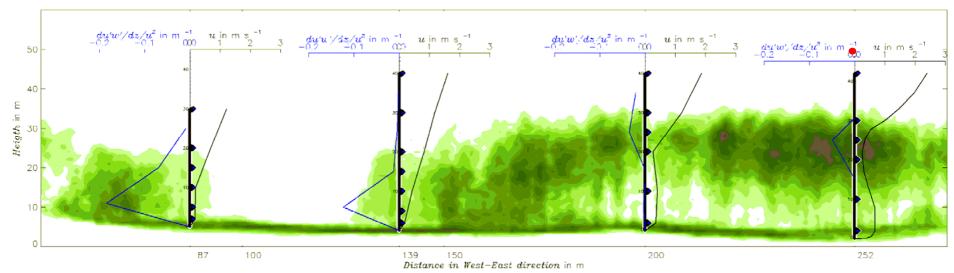
#### Ziele:

- Turbulenzmessungen (Skalare und Flüsse), Aufbereitung eines Vergleichsdatensatzes.
- Charakterisierung der Strömung durch Frequenzanalyse,
   Bestimmung von Reibungszahlen und Verhältniszahlen
- Parametrisierung und Validierung der Modelle



Hochfrequente Turbulenzmessungen (20 Hz) an 32 Positionen über ein Jahr





"Vegetation" (green): 2D Laser Voxel Space LVS derived by averaging the y-dimension (depth) of the 3D LVS; Black charts: mean measured wind speed; Blue charts: Change of drag force per horizontal momentum

#### Windkanal

#### Ziele:

- Strömungs- und Ausbreitungssimulationen als Referenz für numerische Modelle
- Vergleich der simulierten Strömung mit Freilandmessungen
- Messungen der Turbulenz und Windgeschwindigkeit im Nahfeld von Einzelobjekten



Windkanal – Außenansicht (Abmessungen 1.2m x 1.4m x 8m)

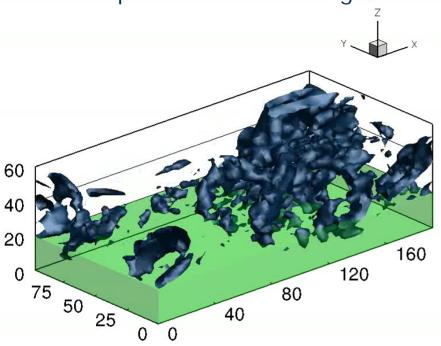


Windkanal - Innenansicht mit Modell des Untersuchungsgebiets

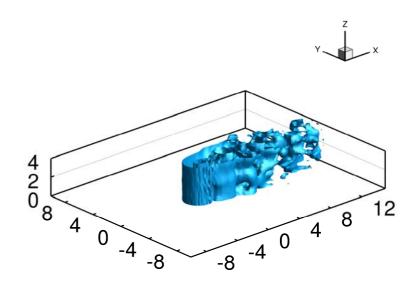
#### **Large Eddy Simulation**

#### Ziele:

- Simulation turbulenter Strukturen im Bereich der Waldkante
- Vergleich gemessene und modellierte Strömung, statistische Interpretation der Messergebnisse



Einfluss von Einzelobjekten
 (Baumstämme) auf die Anisotropie



Simulation des Modells nach Shaw und Schumann  $\lambda_2 h^2/\{U\}^2 = -0.4$  für homogenen Wald, LAI = 2

Stammraumsimulation anhand eines Einzelzylinders:

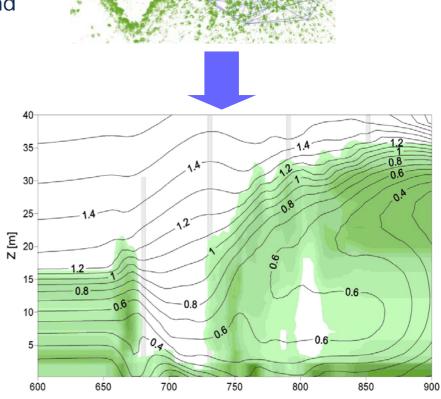
#### Grenzschichtmodell

#### Ziele:

- Hochaufgelöste Strömungssimulation mit strukturierter Vegetation
- Simulation von Stoff- und Energieflüssen
   → Quantifizierung von advektiven und lokalen Flüssen
- Statistische Interpretation der Freilandmessergebnisse

Validierung und Parametrisierung durch

- Freilandmessungen
- Windkanalmessungen
- LES



X [m] Anpassung der Vegetationsaufnahmen an Modellgebiet (Mittelung über 30 m breiten Streifen)

#### **Produkte**

- Vergleichsdatensatz (Methoden zur Aufarbeitung von Daten)
  - Freilandmessungen
  - Windkanal
  - LES
  - Grenzschichtmodel
- Methoden zur Erstellung von hochaufgelösten Vegetationsmodellen
- Ansätze zur Parametrisierung von Strömungsmodellen auf der Basis von hochaufgelösten Vegetationsmodellen
- Methoden zur Bestimmung von Stoff- und Energieflüssen aus der Kombination von Freilandmessung und Modell

### Workshop

#### **Problemstellung**

Kombination unterschiedlicher Methoden zur Beschreibung der Realität?

Die räumliche und zeitliche Diskretisierung ist zwischen den Ansätzen scheinbar vergleichbar

	räumliche Diskretisierung	Zeitschritt	Mittlungsintervall
Vegetationsaufnahmen	0.1 m 1 m		
Freilandmessung	0.2 m	0.05 s (20 Hz)	1800 s
Windkanal	3mm => 1.35 m Maßstab (1:450)	0.0008s => 0.36s (1250Hz => 2.8 Hz)	20 s => 150 min
Grenzschichtmodell	1m => 5m 10m	110s	stationärer Zustand
Large Eddy Simulation	1 m	<0.05 s	2500 s

#### Diskussionspunkte

- Vegetations- und Geländerfassung:
- Welche Auflösung der Vegetation (1D ... 3D, Voxelgröße) ist für die Modellierung und die Interpretation der Messungen sinnvoll?
- Welche Vegetationsparameter (mittlere Dichte, Verteilung) werden benötigt?
- Verdeckung von Bäumen Ist das Beersche Gesetz anwendbar?
- Wie sinnvoll ist die Kombination von "airborne" und terrestrischen Laserscannerdaten für die Zwecke des Projektes?
- Welche konkreten Verbesserungen in der Bestimmung des Stoff- und Energieaustausches ergeben sich aus der Verwendung von terrestrischen Laserscannerdaten?

#### Messung:

b

V V

• Wie kann eine konsistente Bestimmung von Modellparameter aus Messungen erfolgen (z.B. welcher

#### Wie können sich die Methoden ergänzen?

•

#### Wie sind Unterschiede in den Ergebnissen zu bewerten?

- •
- Wie können mit Hilfe von Experimenten Randbedingungen sinnvoll gestaltet werden?
- Welche Auflösung ist für Strömungsmodelle 1. Ordnung noch sinnvoll und physikalisch vertretbar?
- Wie können Parameter einer Modellklasse auf eine andere übertragen werden, bzw. was ist beim Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Modelle zu beachten?
- Was kann im Rahmen von Large-Eddy-Simulationen (LES) getan werden, um dem statistischen Charakter der realen Strömung gerecht zu werden?
- Wie sind die Perspektiven bei der Verbesserung von LES-Feinstrukturmodellen auf der Basis geeigneter Messungen im Windkanal und ggf. auch Feldmessungen.

#### Integration:

- Was geht an Messdaten in die Modelle wirklich ein, was wird von den Modellen gebraucht? Welche Daten sind am besten für den Vergleich mit Simulationen geeignet?
- Liefern Modelle das was zur Ergänzung von Messungen notwendig ist? Können Probleme bei der Messung (z.B. Schließungslücke, räumliche Repräsentativität) durch die Modellierung gelöst werden?
- Inwieweit können Modelle zur Optimierung von Messaufgaben genutzt werden (numerischer Messtisch)?
- Ist eine Generalisierung der Ergebnisse, bzw. eine Übertragung der für den Impulstransport gewonnenen Erkenntnisse auf andere Skalare möglich?