



# Anwendung verschiedener Schließungsansätze auf ein hoch aufgelöstes Vegetationsmodell - Vergleich von mittleren und turbulenten Strömungsgrößen

Stefan Harmansa, Valeri Goldberg, Bernhard Vowinckel

# Motivation

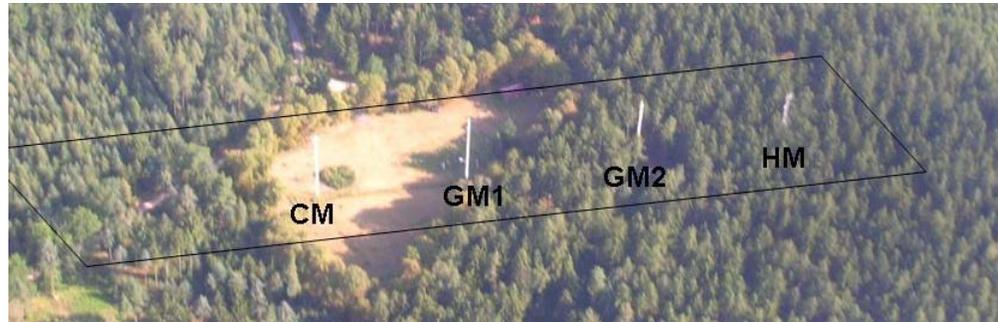
- Für die Simulation von Strömungen und turbulenten Austauschprozessen in Waldbeständen werden zum großen Teil sog. RANS mit Schließung 1,5. Ordnung verwendet.
- Mittlere Größen (z.B.  $\overline{u}, \overline{v}, \overline{w}$ ) werden direkt berechnet – turbulente Größen (z.B.  $\overline{u'w'}$ ) werden approximiert
- Zentrale Größe ist der turbulente Diffusionskoeffizient  $K$  → turbulente Flüsse werden über Fluß-Gradienten-Beziehungen (z.B.  $\overline{u'w'} = -K \frac{\partial \overline{u}}{\partial z}$ ) → K-Ansatz
- Problem: turbulente Transporte werden „wissentlich“ falsch bestimmt → nicht-lokale Transporte werden NICHT berücksichtigt
- Vorteil: geringer Rechenaufwand, Ergebnisse sind trotzdem verwendbar

# Motivation

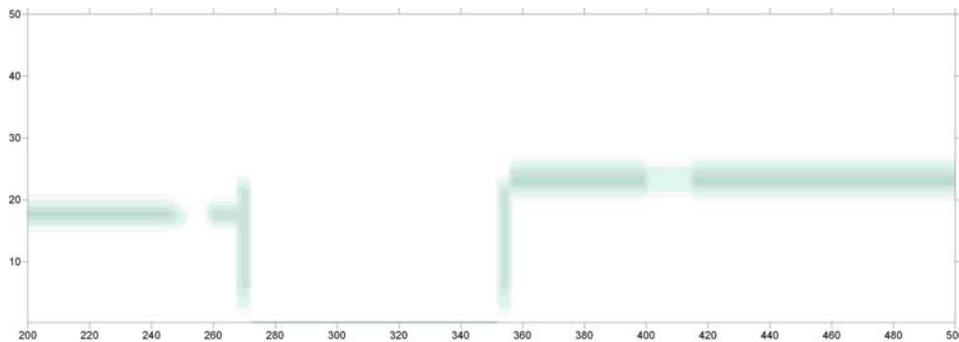
- Für eine genaue Strömungssimulation ist eine möglichst genaue Repräsentation der Vegetation im Modell nötig
- Bisher: Schätzung des Vegetationsmodell aus wenigen Bestandesinformationen (Baumart oder einem Blattflächenprofil)
- Aufnahmen der Bestandesstruktur mit terrestrischen Laserscans ermöglichte die Implementierung eines hochaufgelösten Vegetationsmodells vom Wildacker
- **Ziel: Wie arbeiten gängige Schließungsansätze innerhalb hochaufgelöster Vegetation für ein 2D-Strömungsmodell? Gibt es möglicherweise einen Ansatz, der am besten geeignet ist?**

# Methodik

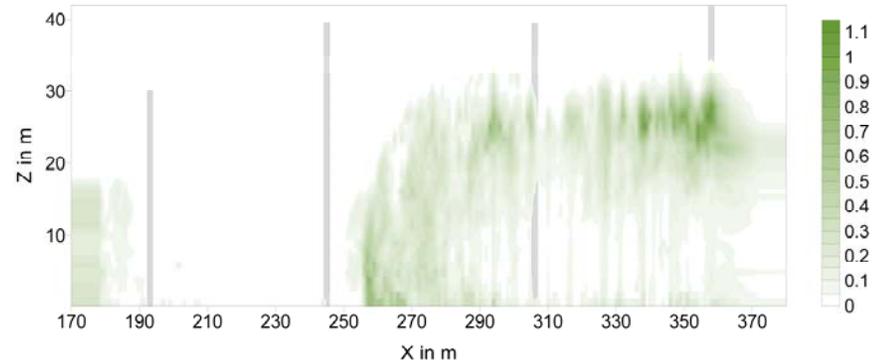
- Vegetationsmodell



Überflugfoto vom Wildacker mit Messtürmen  
(W. Junkermann, 31.07.2008)



geschätztes Vegetationsmodell



hochaufgelöstes Vegetationsmodell  
aus Scan-Daten

- Modellgleichungen

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

Bewegungsgleichungen

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} K \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \varepsilon_{ij3} \cdot f \cdot (u_j - u_{gj}) - C_D \cdot PAD \cdot U \cdot u_i$$

- Schließungsansätze

- **2 x k-l-Schließung (BYKOVA 1980, FISCHER etal. 2008) und (QUECK und BERNHOFER 2010)**
- **1 x k-ε-Schließung (FOUDHIL 2005)**
- **1 x k-ω-Schließung (SOGACHEV und PANFEROV 2006)**

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{K}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} + P - \varepsilon + S_k$$

Gleichungen für k = TKE und φ =  
Dissipation (ε) bzw. spez.  
Dissipation (ω=ε/k)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \frac{K}{\sigma_\varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x_j} + \frac{\varphi}{k} (c_{\varphi p} P - c_{\varphi \varepsilon} \varepsilon) + S_\varphi$$

- Für die Berechnung der Gleichungen wurde das SIMPLEC-Verfahren verwendet, d.h. zusätzlich wurde noch eine Druckkorrekturgleichung zur Bestimmung des kinematischen Drucks gelöst

- Modellbedingungen

- Geostrophischer Wind  $\sqrt{u_g^2 + v_g^2} = 20 \text{ m/s}$
- Windrichtung senkrecht zur Waldkante
- Neutrale Schichtung

- Vergleichsdaten aus Messungen

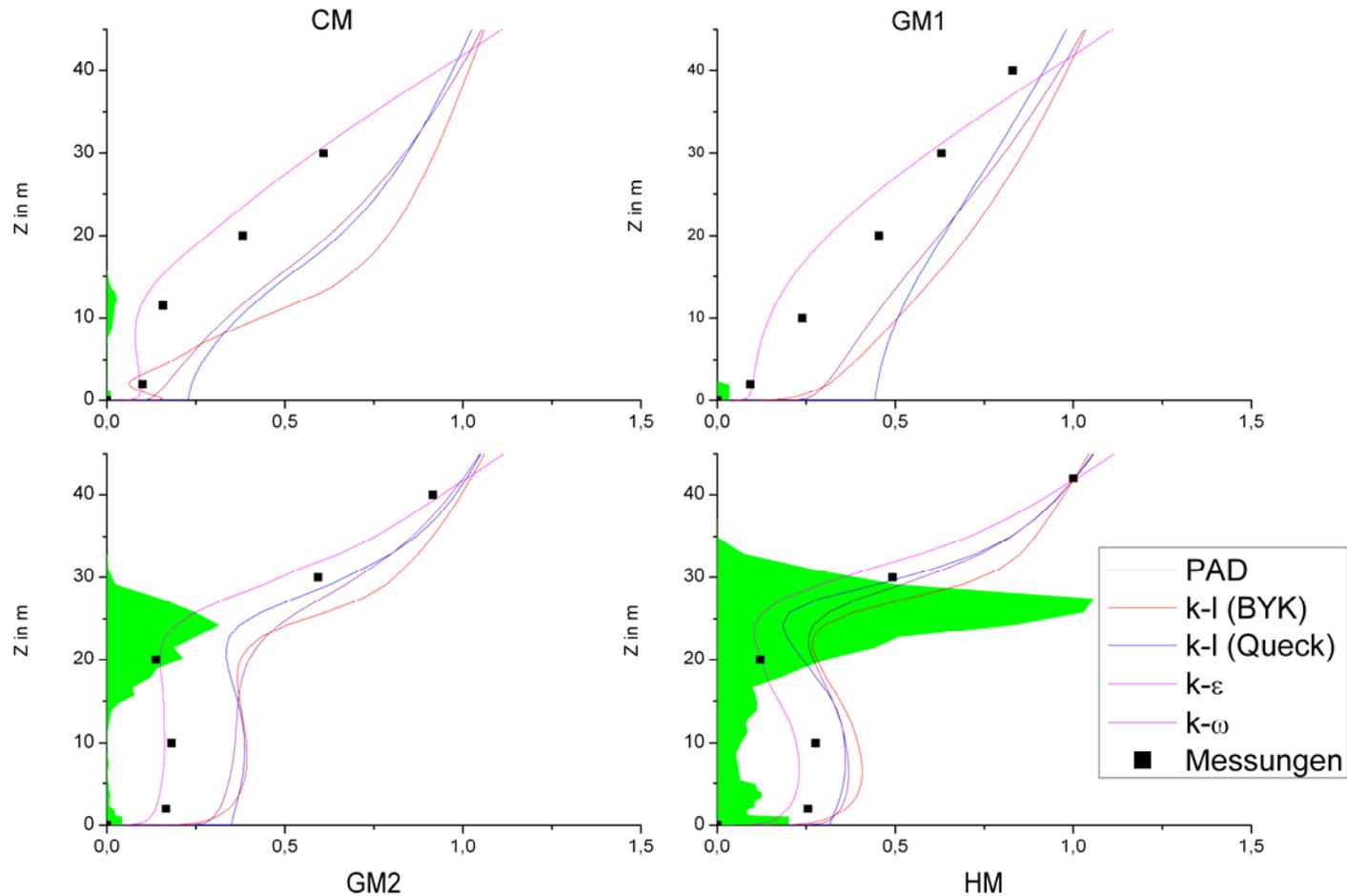
- Auswahl aller Daten, die folgende Bedingungen erfüllen:
  - Neutrale Schichtung (Stabilitätsindex zwischen -0,1 und 0,1)
  - Windrichtung zwischen 260° und 290° am Hauptturm (etwa senkrecht zur Waldkante)
- Alle Werte wurden bezüglich der Windgeschwindigkeit am Hauptturm normiert (dies wurde auch mit den Modellergebnissen vorgenommen)

Installationshöhen der  
Messsensoren an den  
Türmen

CM	GM1	GM2	HM
2	2	2	2
10	10	10	10
20	20	20	20
30	30	30	30
	40	40	42

# Ergebnisse

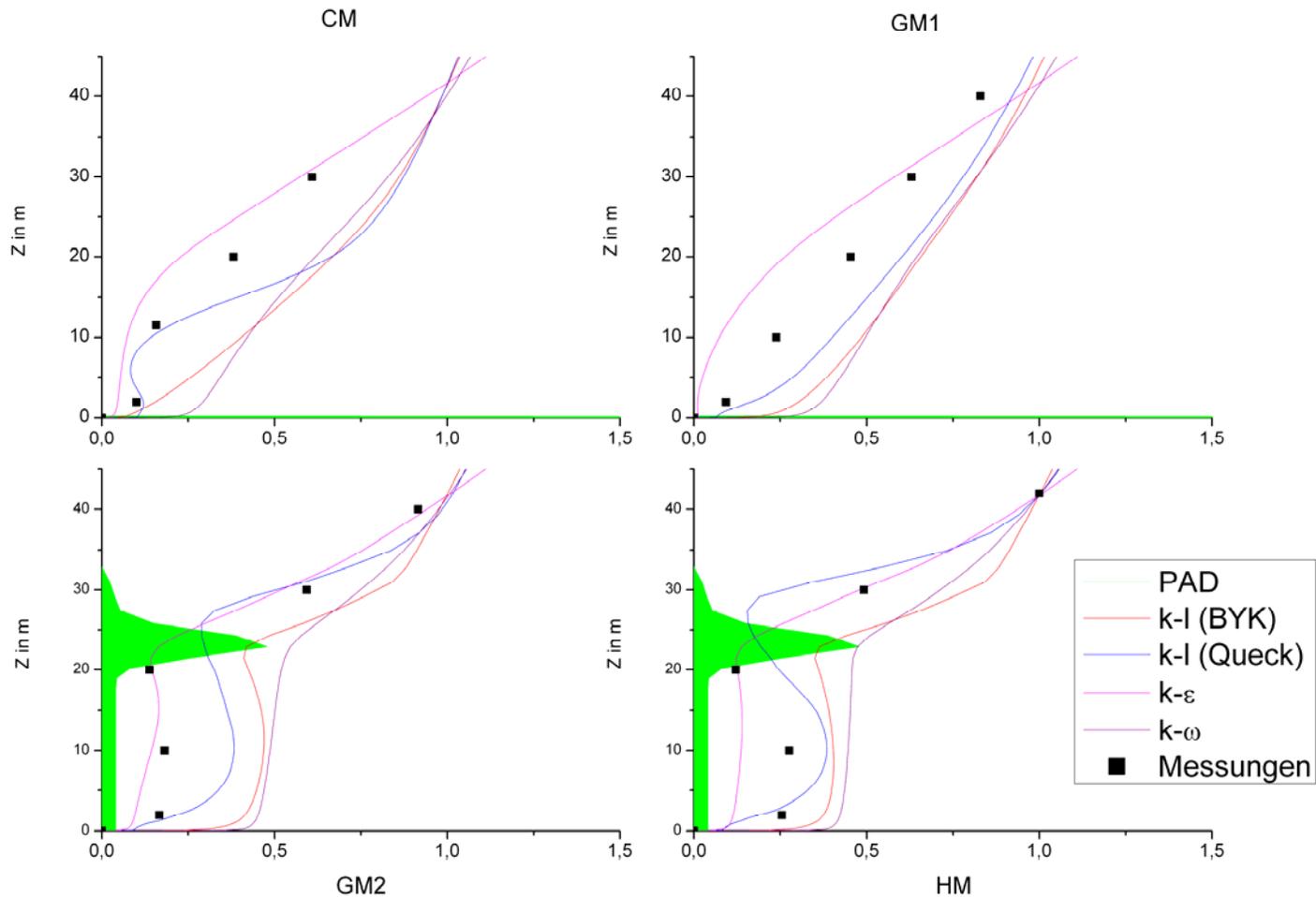
- Horizontalwind



Normierte Horizontalgeschwindigkeit aus Simulationen mit dem hochaufgelösten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

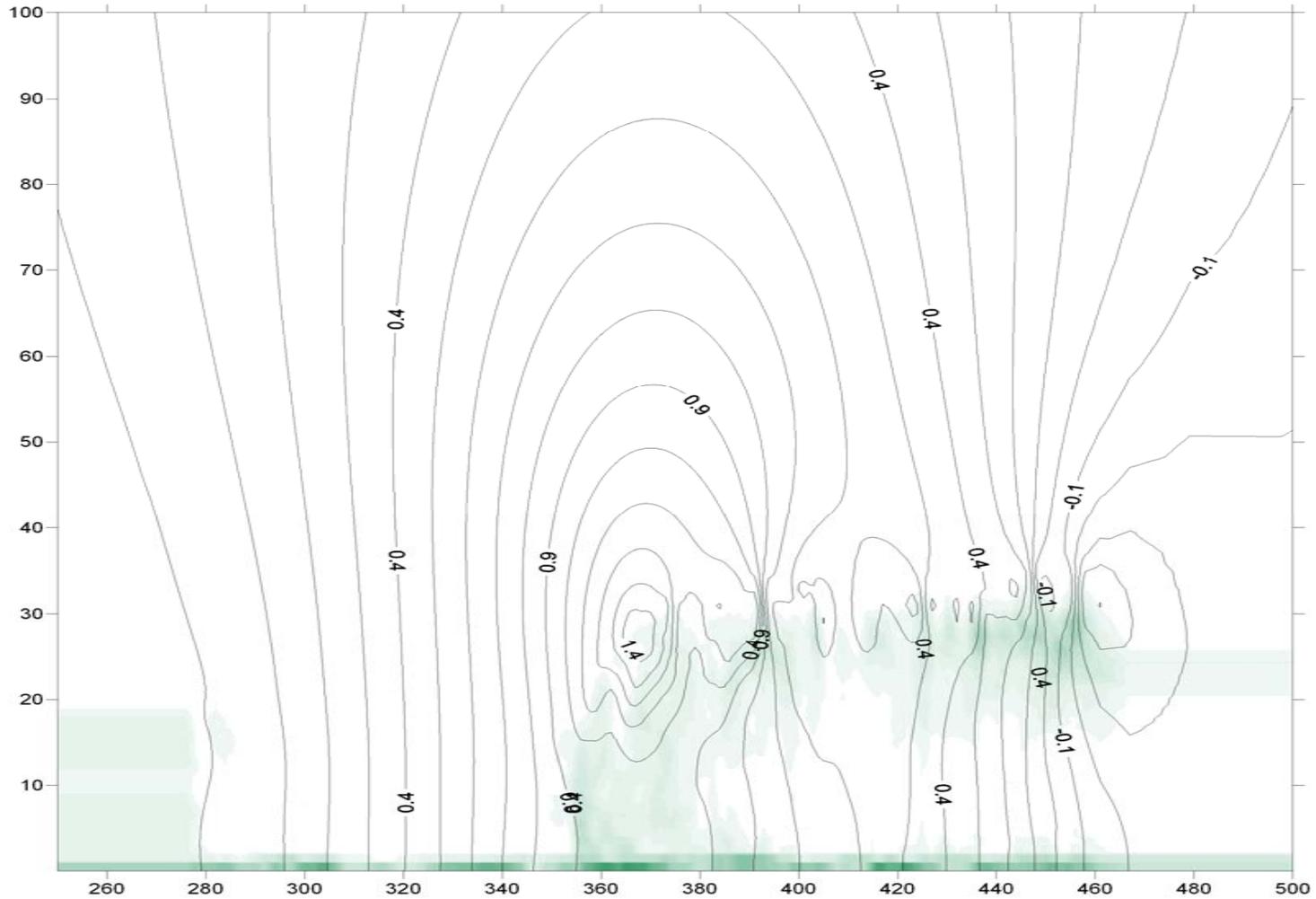
- Horizontalwind



Normierte Horizontalgeschwindigkeit aus Simulationen mit dem geschätzten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

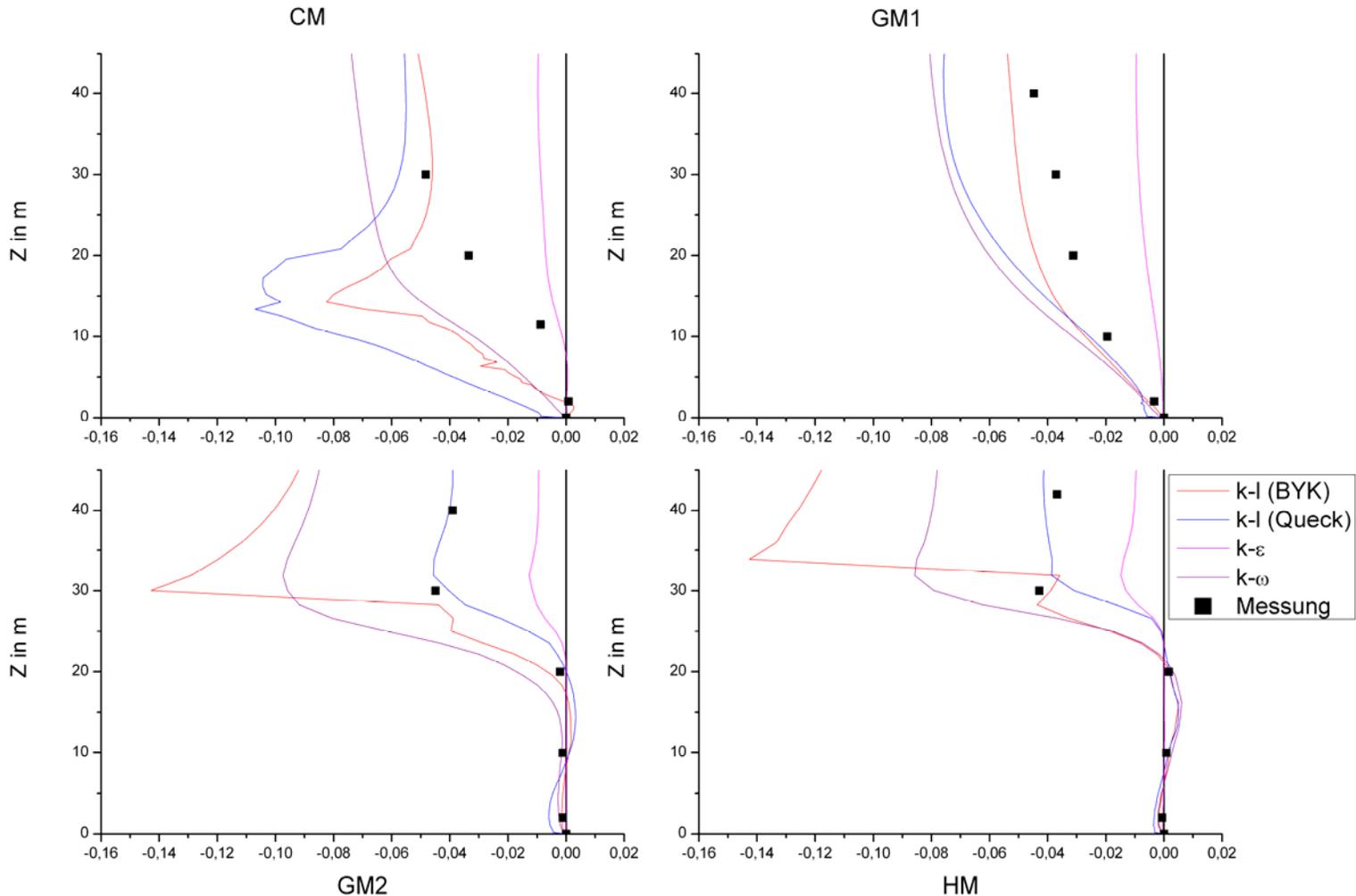
- Druckfeld



Druckfeld (in Pa) berechnet mit  $k-\varepsilon$ -Modell

# Ergebnisse

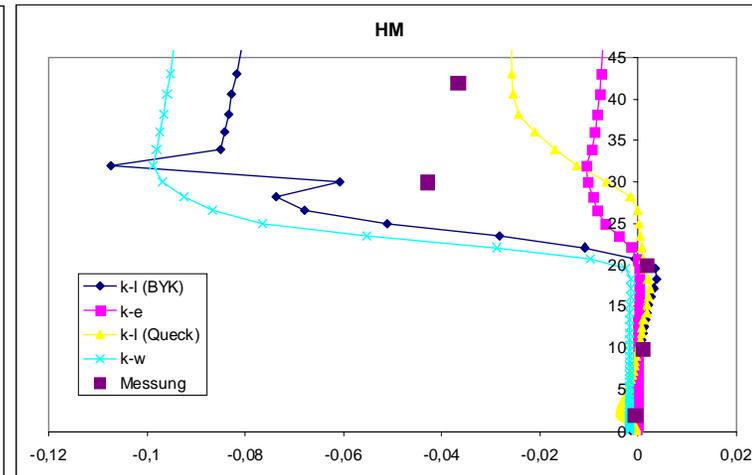
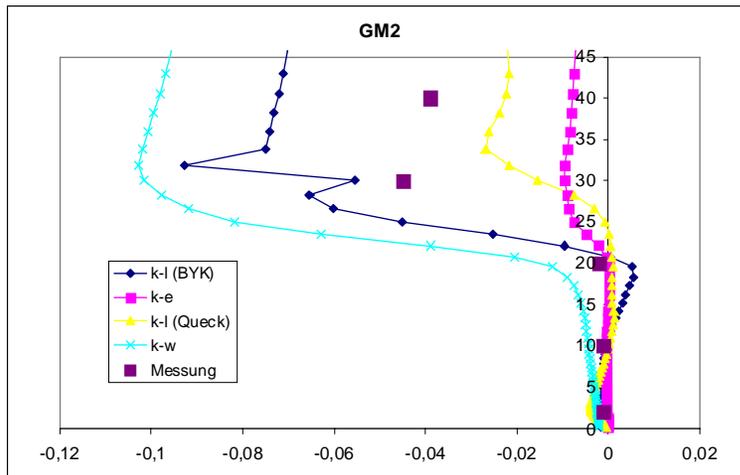
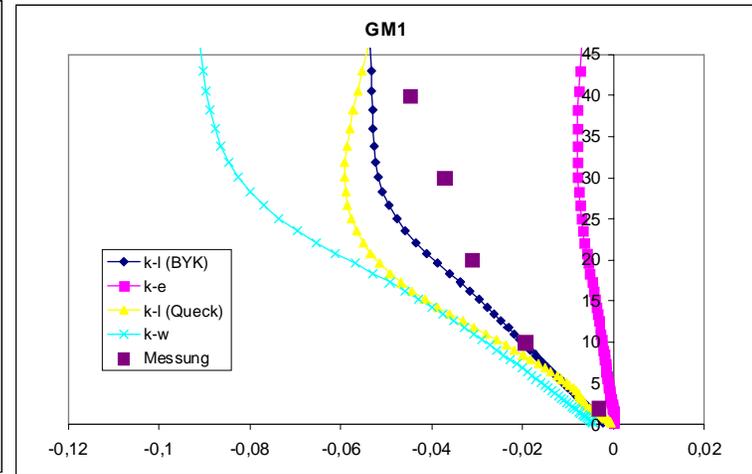
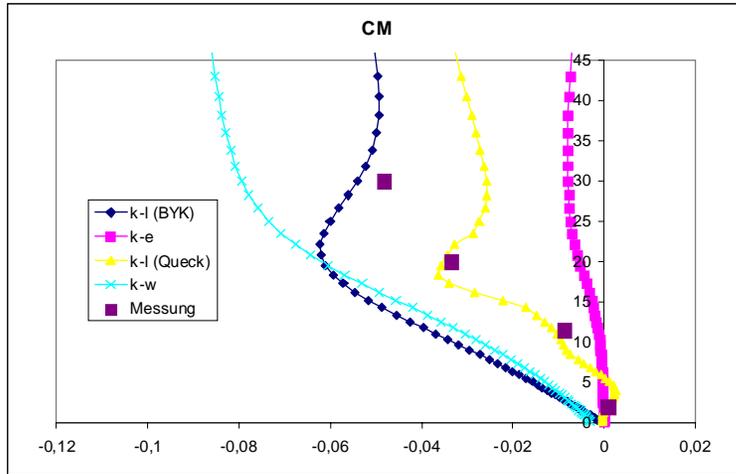
- Vertikaler turbulenter Impulstransport



Normierter vertikaler turbulenter Impulstransport aus Simulationen mit dem hochaufgelösten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

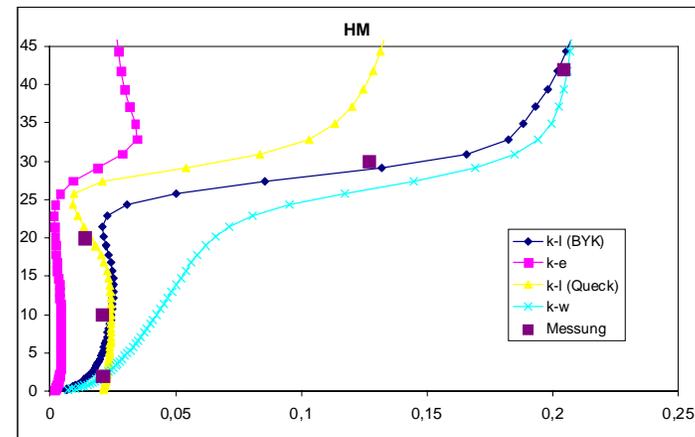
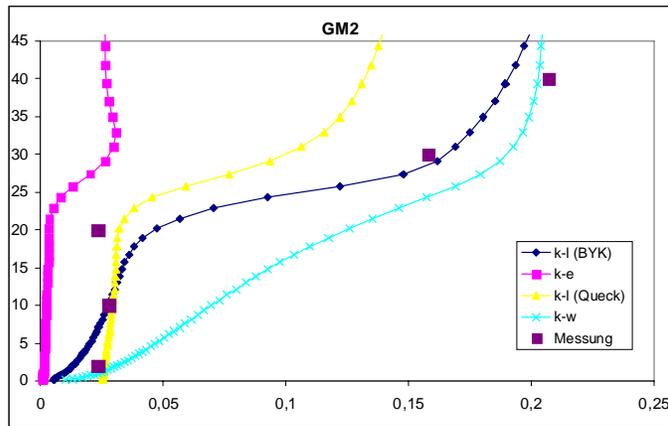
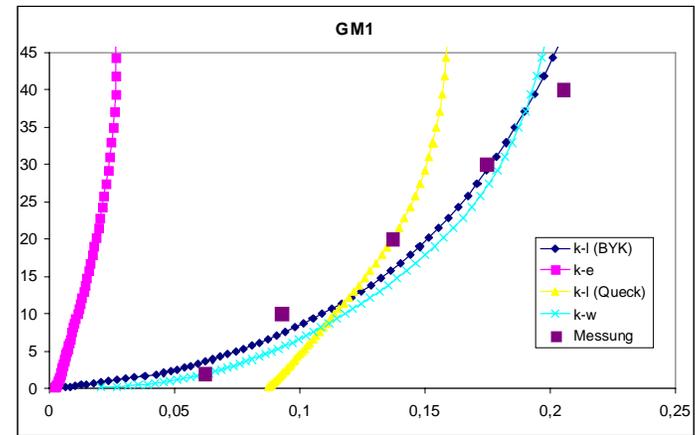
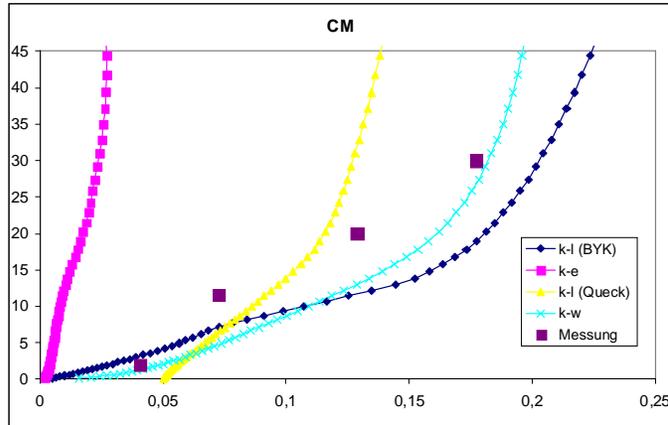
- Vertikaler turbulenter Impulstransport



Normierter vertikaler turbulenter Impulstransport aus Simulationen mit dem geschätzten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

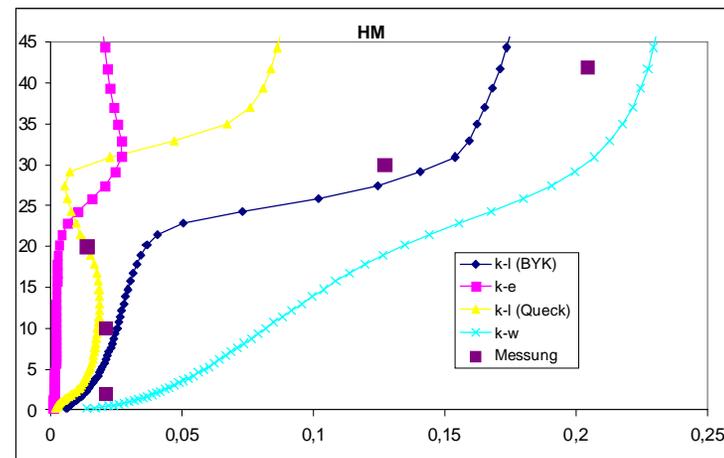
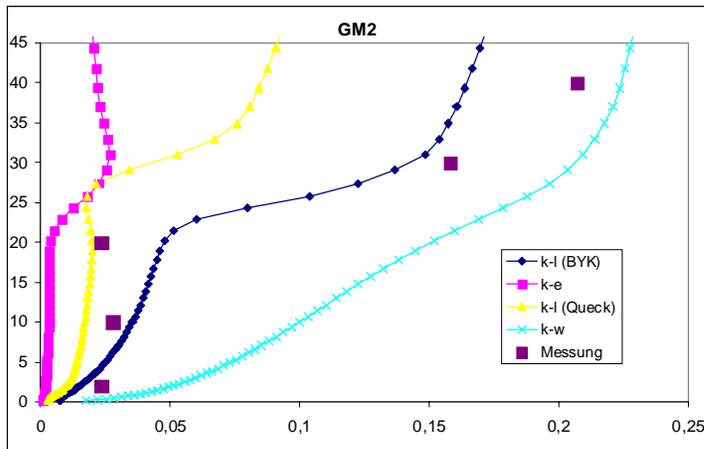
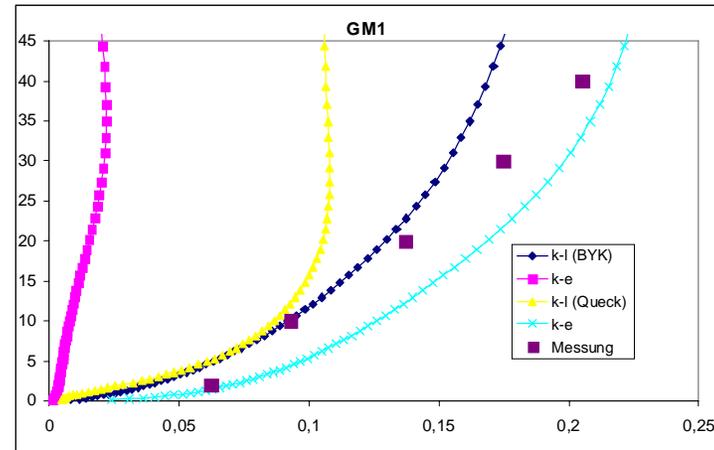
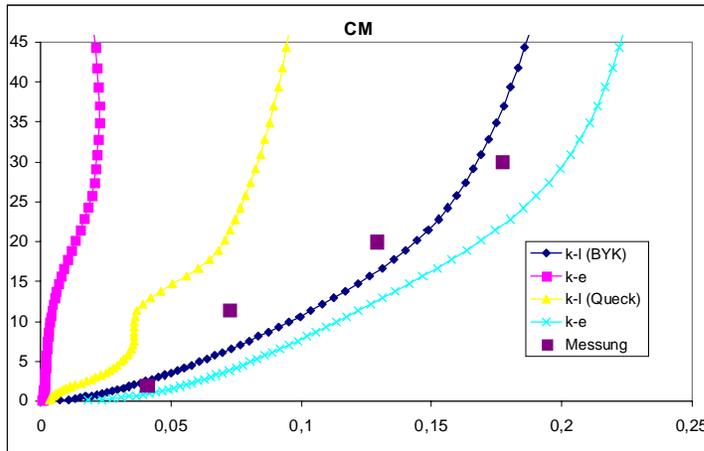
- Turbulente kinetische Energie (TKE)



Normierte TKE aus Simulationen mit dem hochaufgelösten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

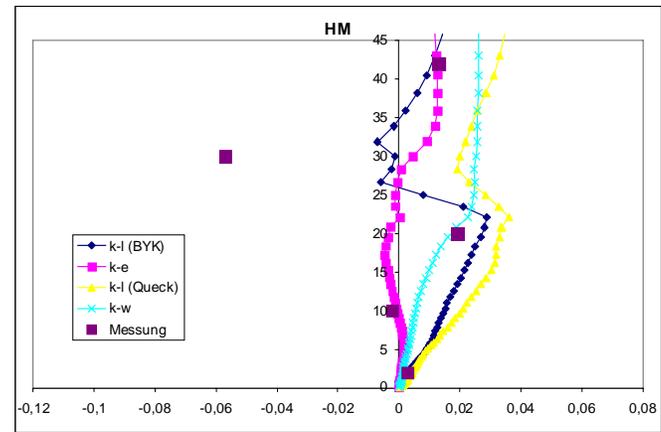
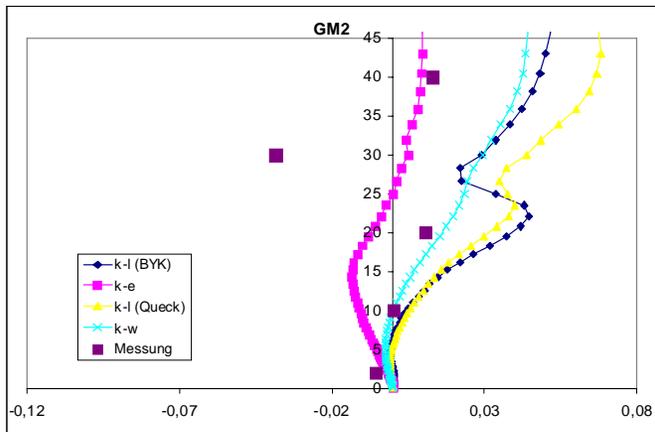
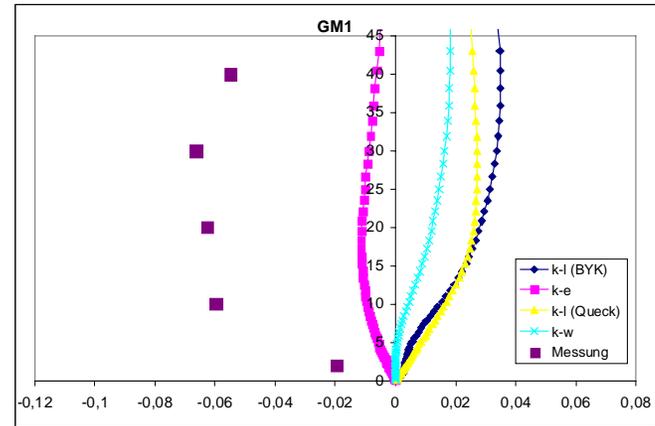
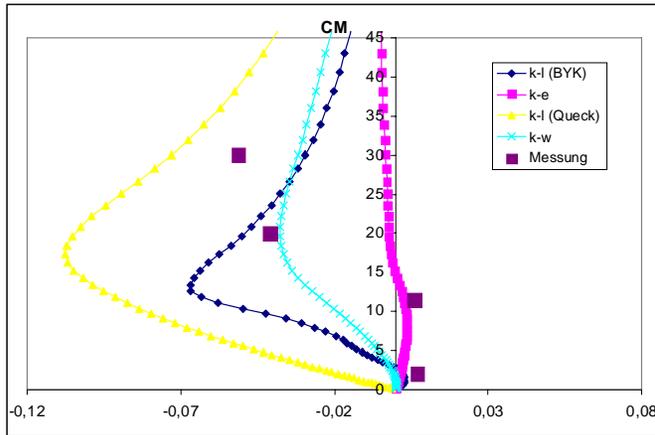
- Turbulente kinetische Energie (TKE)



Normierte TKE aus Simulationen mit dem geschätzten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

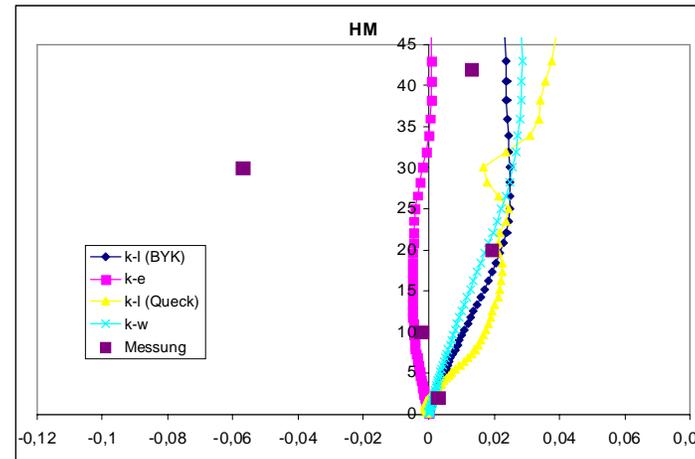
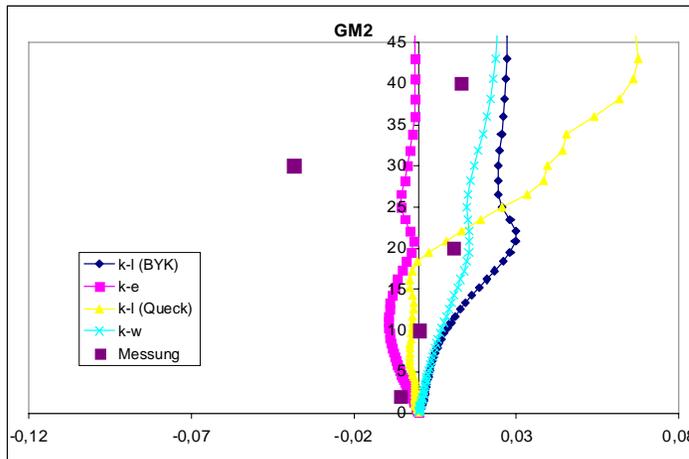
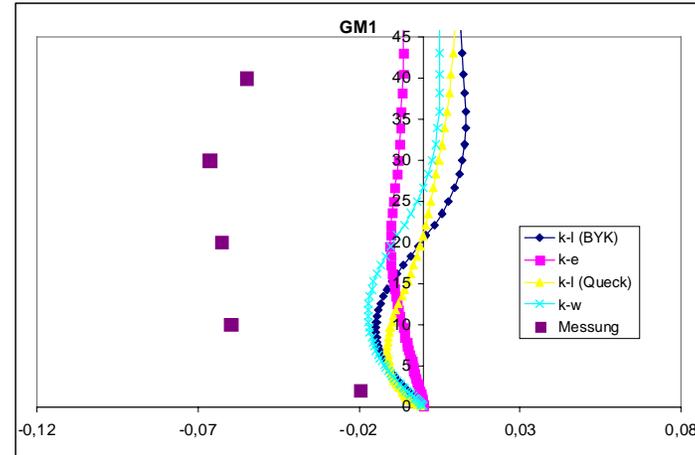
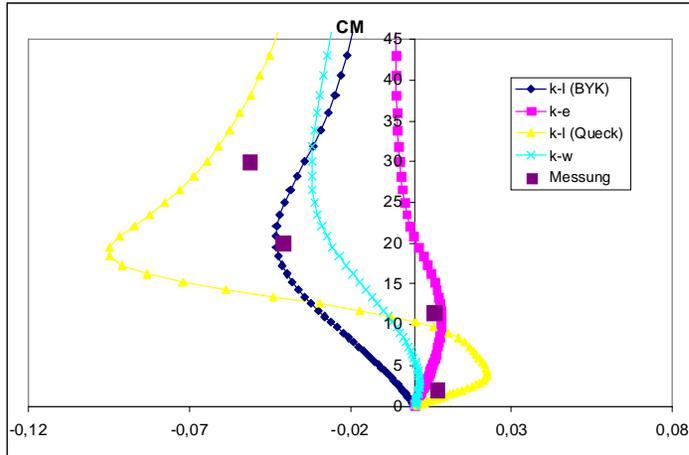
- Vertikalwind



Normierter Vertikalwind aus Simulationen mit dem hochaufgelösten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

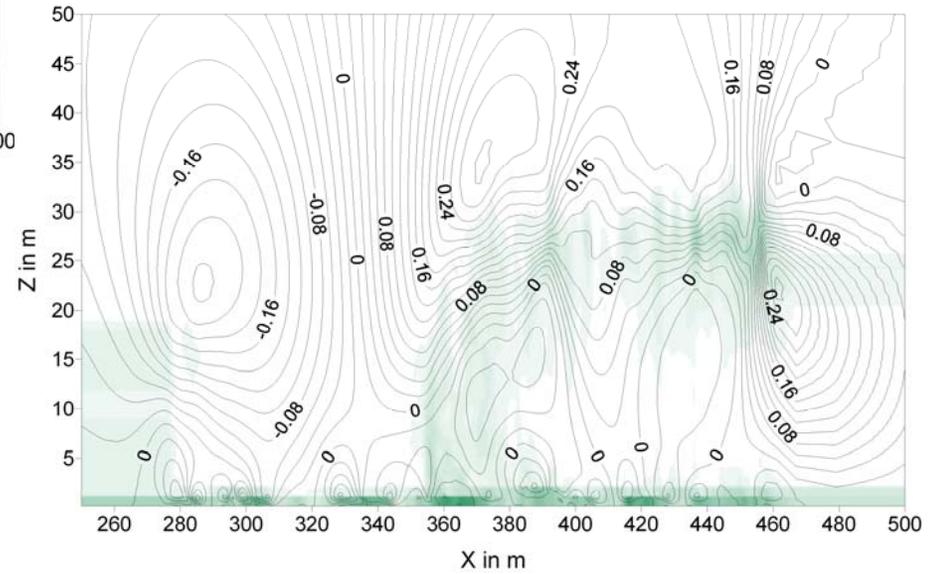
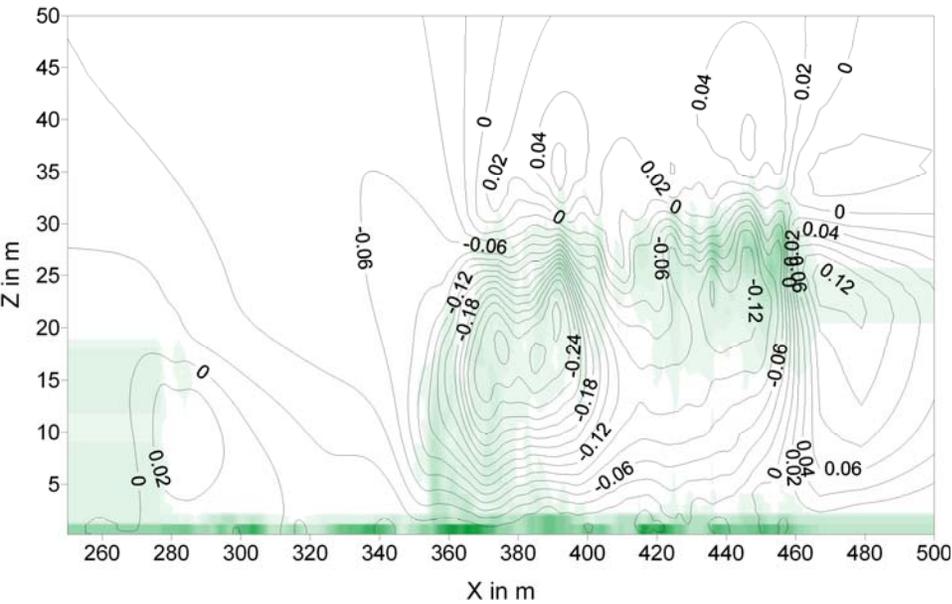
- Vertikalwind



Normierter Vertikalwind aus Simulationen mit dem geschätzten Vegetationsmodell

# Ergebnisse

- Vertikalwind



Felder des Vertikalwinds (in m/s) k- $\epsilon$ - (oben links) und k-l-(Queck)

# Zusammenfassung

- Alle Schließungsansätze waren in der Lage, einzelne Strömungseigenschaften relativ gut wiederzugeben → ABER keiner war in der Lage mittlere und turbulente Strömungseigenschaften gleichzeitig zu reproduzieren.
- Es sollte angestrebt werden, immer ein hochaufgelöstes Vegetationsmodell zu verwenden, sonst besteht die Gefahr, dass man die Schließung mehr an die Schätzung anpasst als an den eigentlichen Bestand.
- Eine Verbesserung der Turbulenzparametrisierung scheint nur über eine adäquate Berücksichtigung von nicht-lokal gebildeter Turbulenz möglich.
- Möglicher Weg: Ableitung der Turbulenzeigenschaften aus Freilandmessungen → Simulation des Verhaltens der Wirbel im Bestand mittels LES → Berechnung von Mittelwerten für Grenzschichtmodell