



RANS / LES Modus

2. Mrz 2018



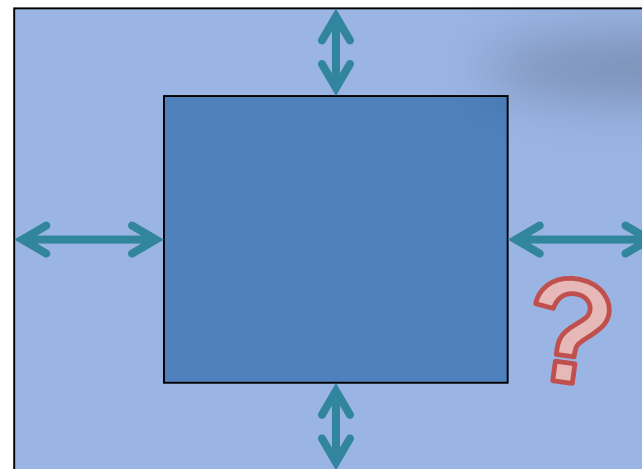
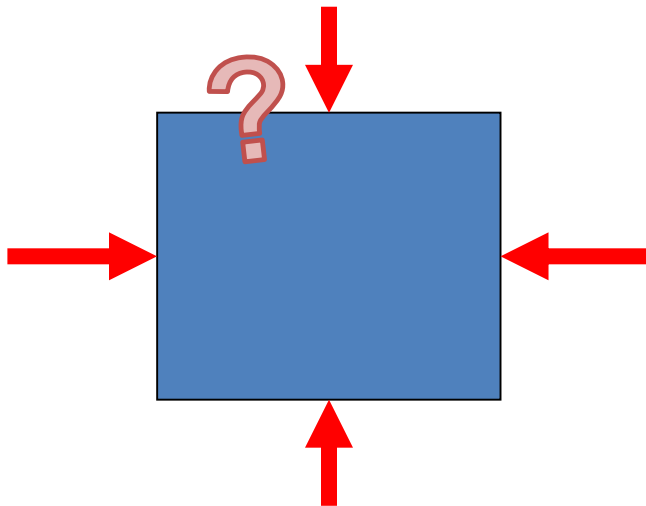
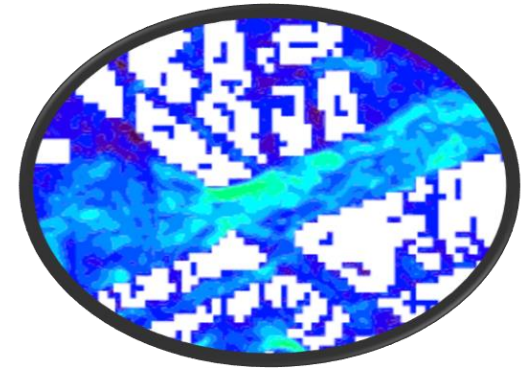
Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover

Themen des Vortrags

Diese Fragen werden im Vortrag behandelt:

- Wie nutze ich den RANS-Modus?
- Wie nutze ich den LES-Modus?
- Wie erzeuge ich Turbulenz?
- Welche Randbedingungen wähle ich?
- Wie groß muss das Modellgebiet sein?

RANS LES



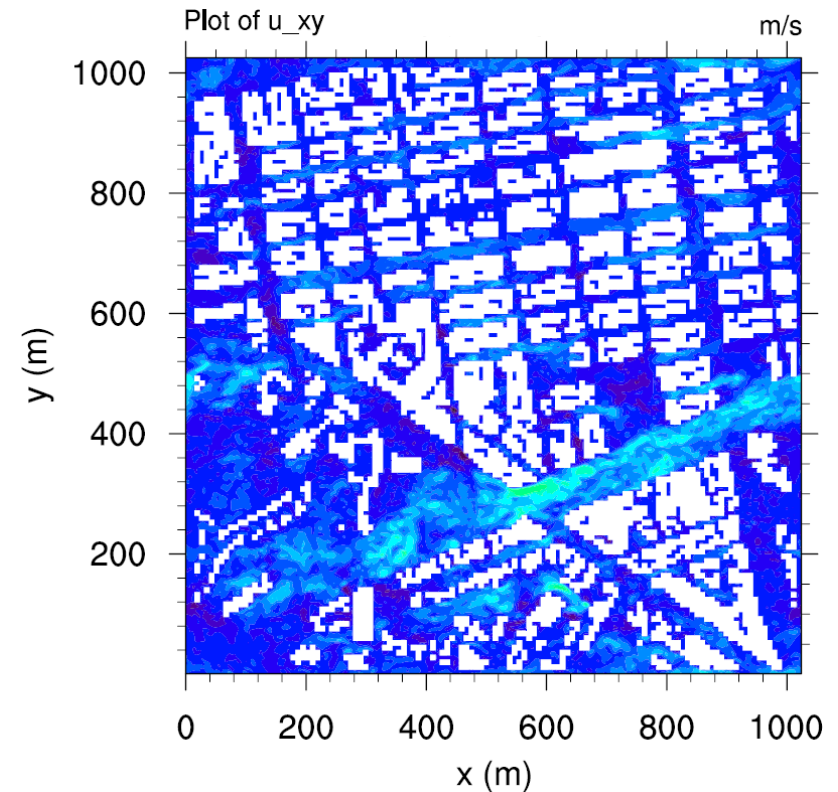
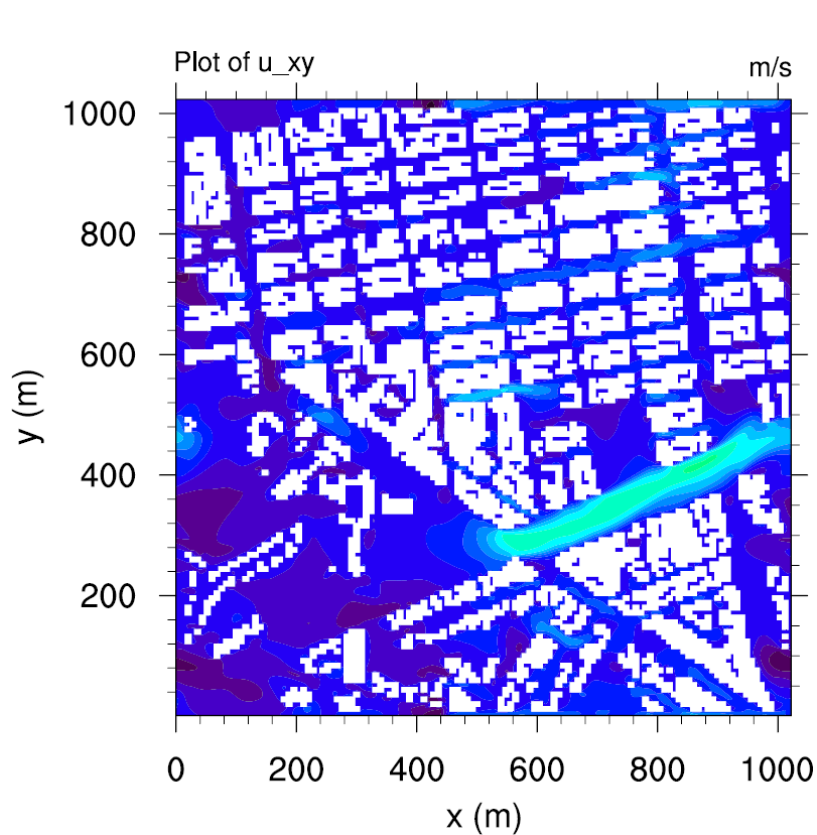
Unterschied zwischen RANS und LES

RANS:

- Lösen der Navier-Stokes Gleichungen für den mittleren Zustand

LES:

- Lösen der Navier-Stokes Gleichungen für den instantanen Zustand



└ RANS Modus

Implementierung des RANS Modus:

1. TKE-I Schließung

- prognostische Gleichung der TKE
- Dissipationsrate ε diagnostisch aus Mischungsweglänge l und TKE über Prandtl-Kolmogorov Beziehung

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \dots$$

$$\varepsilon = F(E, l)$$

$$K_m = c_m l \sqrt{E}$$

2. TKE- ε Schließung

- prognostische Gleichung der TKE und der Dissipationsrate ε
- zunächst Standard-TKE- ε Schließung, soll in Zukunft auf Kato-Launder-Schließung erweitert werden

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \dots$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \dots$$

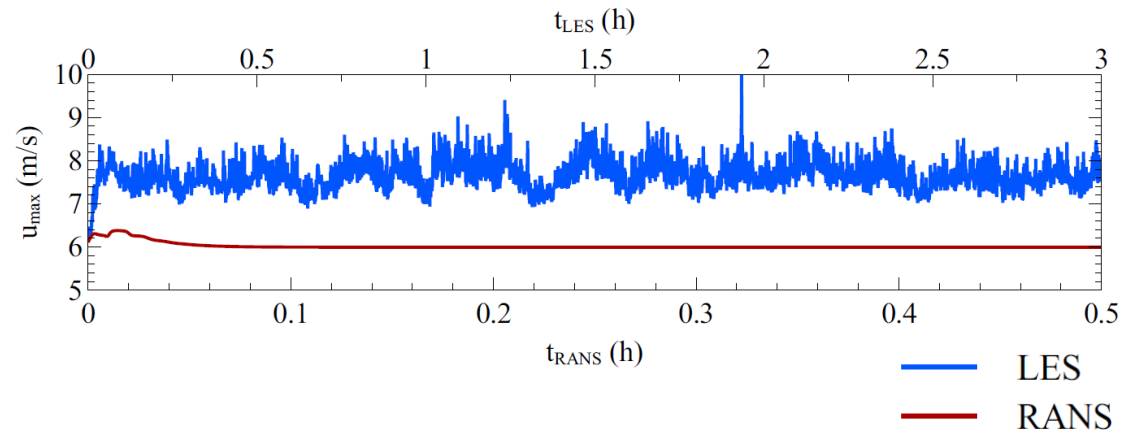
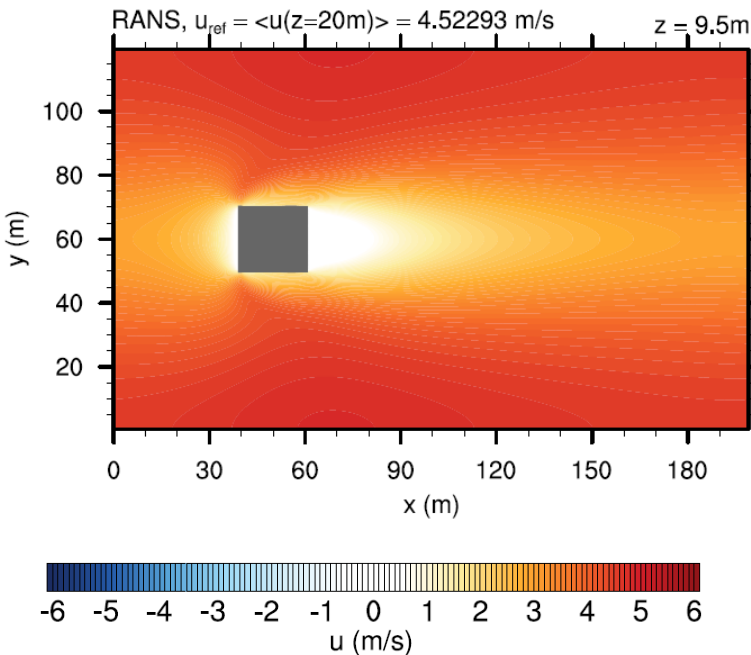
$$K_m = c_\mu \frac{E^2}{\varepsilon}$$

RANS Modus

Einschalten des RANS Modus:

```
&inipar ...  
    rans_mode = .true.,  
    turbulence_closure = ,TKE-1', /
```

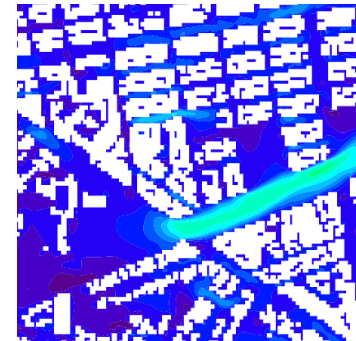
Ergebnisse einer Beispielrechnung:



└ RANS Modus

Stationäre Situation

- Randwerte stationär
- zu beachten:
 - Simulation kann abgebrochen werden, sobald stat. Zustand erreicht ist
- Anwendungsbeispiel:
 - mittlere Stadtbelüftung bestimmen
 - Ausbreitungsrechnung für konstante Quelle



Instationäre Situation

- Randwerte abhängig von der Zeit
- zu beachten:
 - langer Zeitraum muss simuliert werden
 - Randwerte müssen zeitlich variabel vorliegen
- Anwendungsbeispiel:
 - Tagesgang der Schadstoffemissionen
 - Auswirkung eines Frontendurchzugs auf die Luftqualität in der Stadt



└ LES Modus

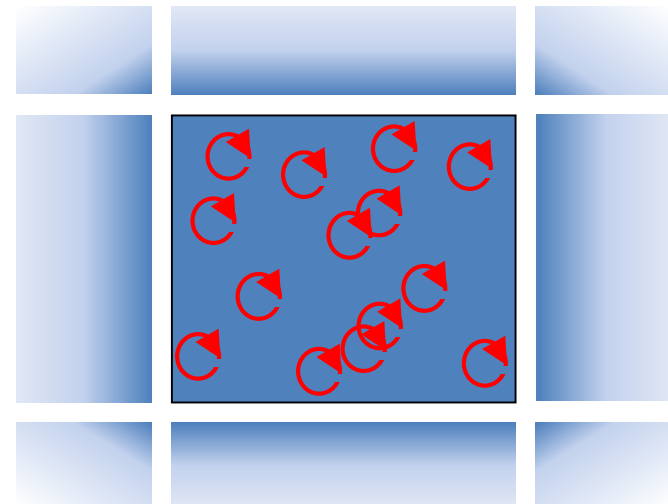
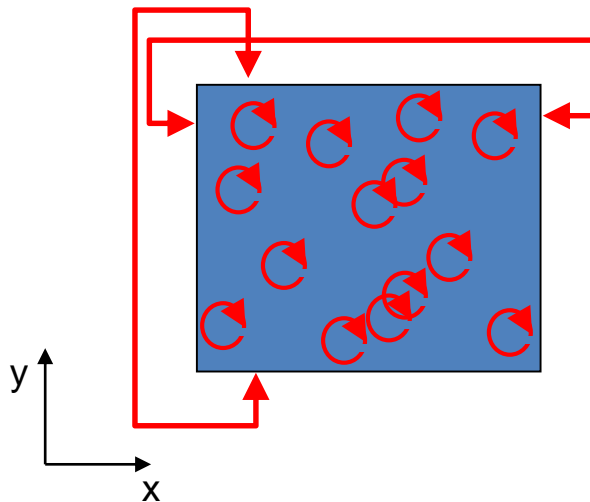
Verschiedene Methoden eine LES durchzuführen:

- Randbedingungen
 - zyklisch
 - offen entlang x-Richtung
 - laminares Einströmen
 - turbulentes Einströmen mit synthetischer Turbulenz
 - turbulentes Einströmen mit Recycling-Methode
 - Schichtung der Atmosphäre
 - neutrale Schichtung
 - labile Schichtung (Konvektion)
 - (stabile Schichtung)
- auch im RANS Modus möglich

LES Modus: zyklisches Modellgebiet

Warum zyklisches Gebiet?

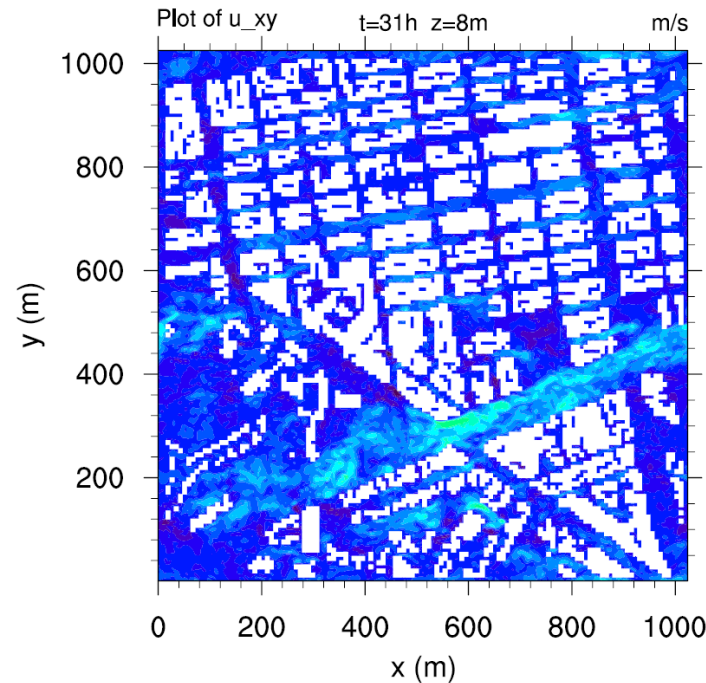
- Vorteile
 - am Modellrand müssen keine Turbulenzinformationen vorgeschrieben werden
- Nachteile
 - isolierte Strukturen können nicht oder nur mit einem großen Modellgebiet sinnvoll erfasst werden



LES Modus: Beispiel zyklisches Gebiet

- zyklische Ränder sind bereits voreingestellt
- zufällige Störungen helfen Turbulenz zu erzeugen

```
&inipar ...  
    bc_lr = „cyclic“, bc_ns = „cyclic“, / !default-Einstellung  
&d3par ...  
    create_disturbances = .T., /
```



LES Modus: Beispiel zyklisches Gebiet

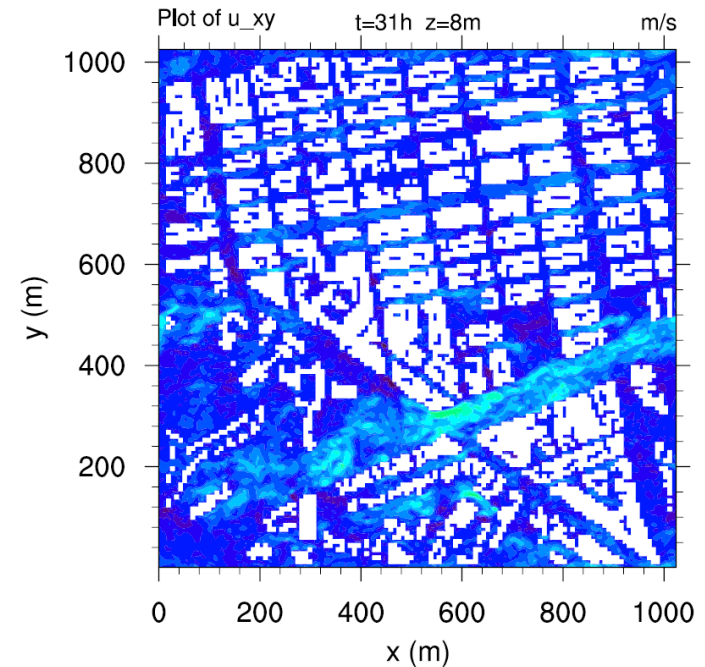
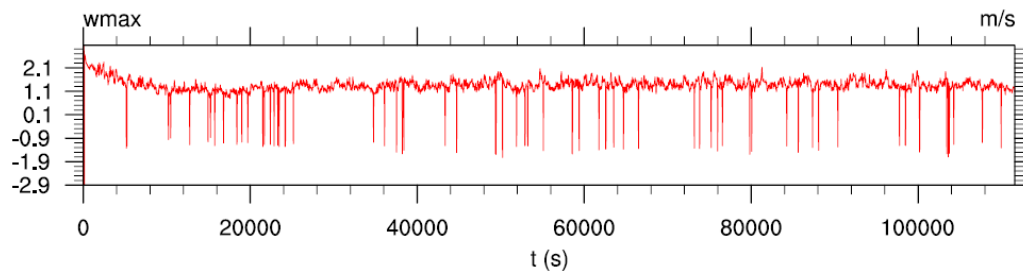
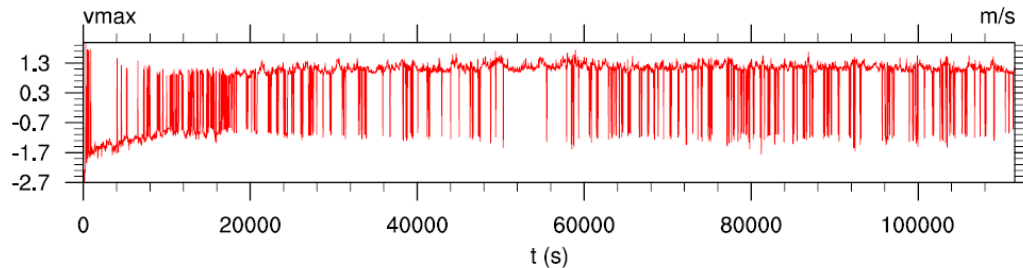
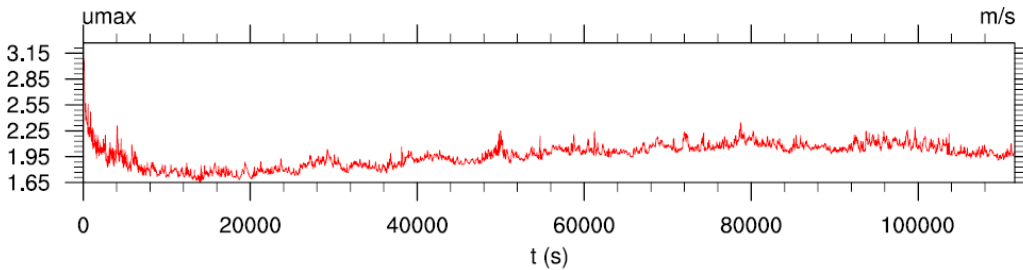
Überprüfe, ob Simulation turbulent ist:

- RUN_CONTROL
- Zeitreihen
- Schnitte

Run-control output:

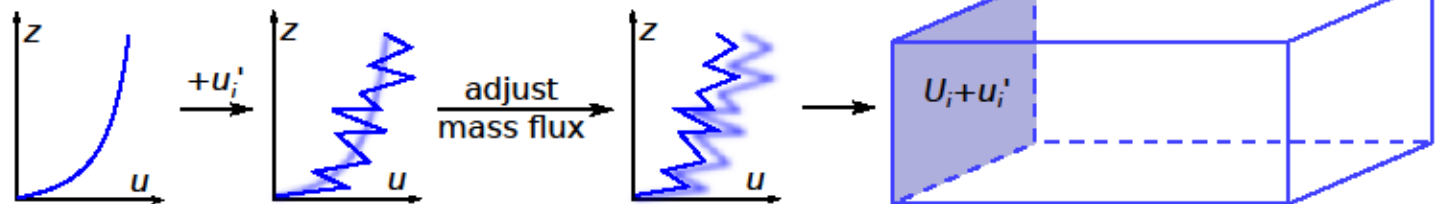
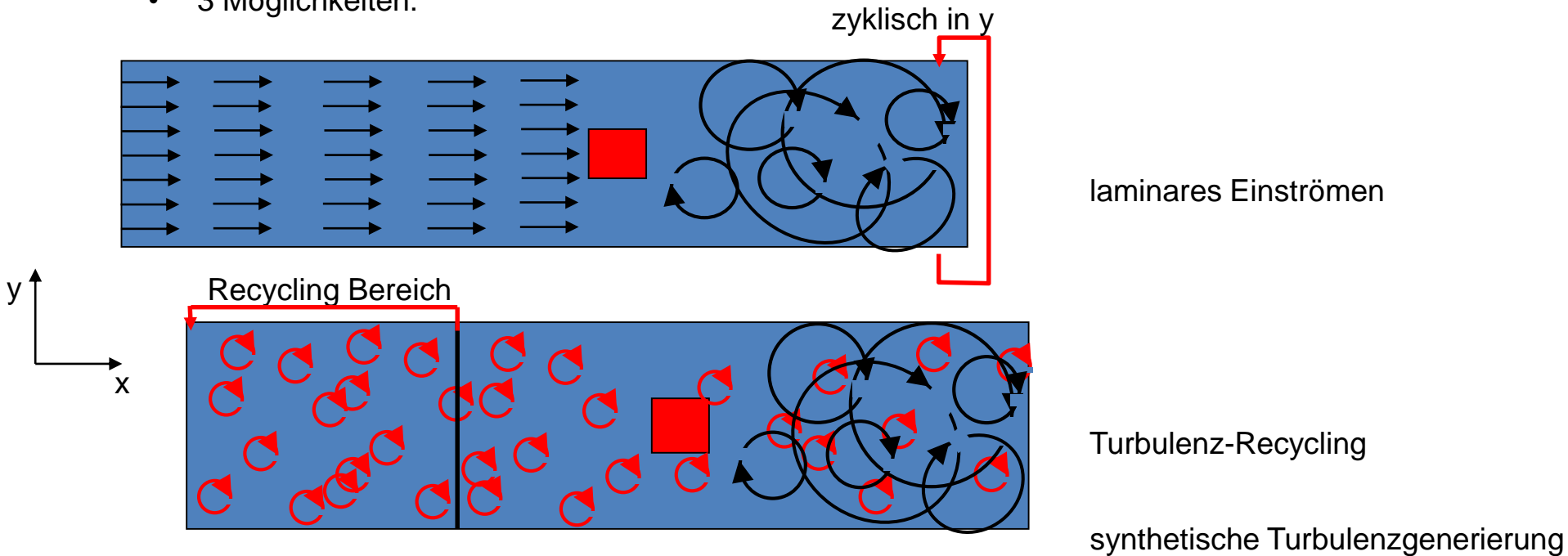
```
-----
```

RUN	ITER.	HH:MM:SS.SS	DT (E)	UMAX	VMAX	WMAX
0	0	00:00:00.00	2.5800A	2.7888D	-1.7832D	1.5170
0	3	00:00:07.23	2.3300A	3.0870	-2.0600	2.0147
0	5	00:00:12.45	2.6700A	2.6950	-1.9035	2.0051
0	7	00:00:18.00	2.8100A	2.5585	-1.8090	1.9636
0	10	00:00:26.49	2.8700A	2.5076	-1.7202	1.8987
0	12	00:00:32.41	2.9900A	2.4056	-1.6716	1.8896
0	14	00:00:38.50	3.0600A	2.3515	-1.6362	1.8776



LES Modus: Beispiel nicht-zyklisches Gebiet

- Randbedingung an offenen Rändern erfordern besondere Aufmerksamkeit
- Turbulenz muss entweder am Rand erzeugt oder eingeströmt werden
- 3 Möglichkeiten:



└ LES Modus: Laminares Einströmen

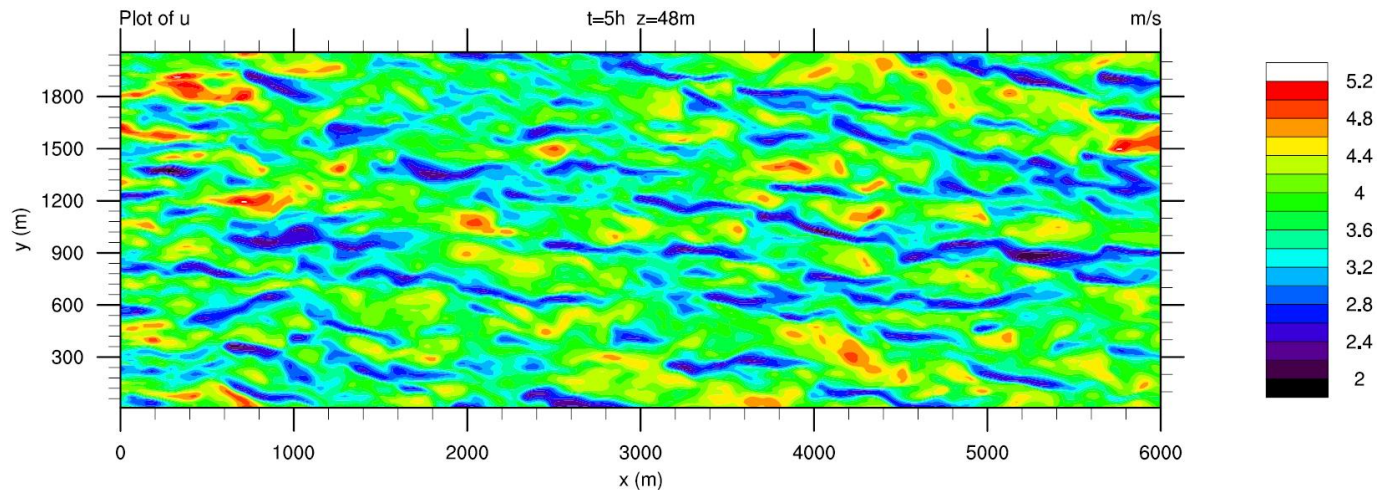
- offene Ränder sind (z.Z.) nur entlang Ost-West-Richtung möglich
- Initialprofile entsprechen mittleren Profilen am Einströmrand
- Störungen zur Turbulenzerzeugung müssen unter Umständen dauerhaft aufgeprägt werden

```
&inipar ...  
    psolver = „multigrid“,  
    bc_lr = „dirichlet/radiation“,  
    u_profile = ..., v_profile = ..., uv_heights = ..., /  
&d3par    create_disturbances = .T.,  
    disturbance_energy_limit = 0.1 !Wert ist situationsabhängig  
    .../
```

LES Modus: synthetischer Turbulenzgenerator

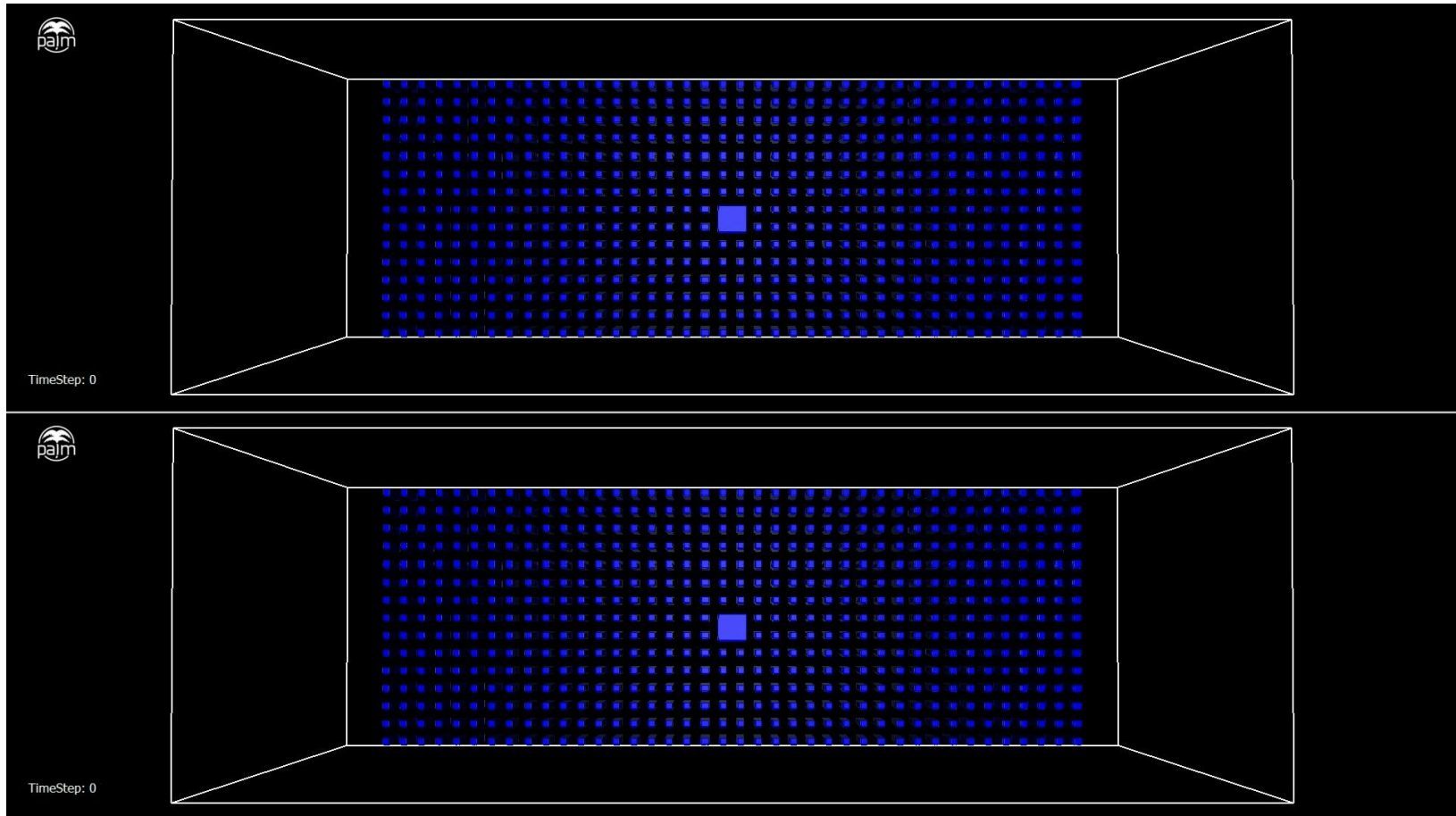
- generiert zufällige Turbulenz am Einströmrand
- Eigenschaften der Turbulenz werden mit vorgegebenen Profilen festgelegt
- benötigte Profile: u , v , w , Reynolds-Tensor ($u'^2, v'^2, w'^2, u'v', u'w', v'w'$)
→ ASCII-Tabelle (<jobname>_iprf) in INPUT Ordner
- Profile können aus Messungen oder aus anderen Simulationen berechnet werden

```
&inipar ...
    psolver = „multigrid“,
    bc_lr = „dirichlet/radiation“, /
&stg_par use_syn_turb_gen = .T., /
```



LES Modus: synthetischer Turbulenzgenerator

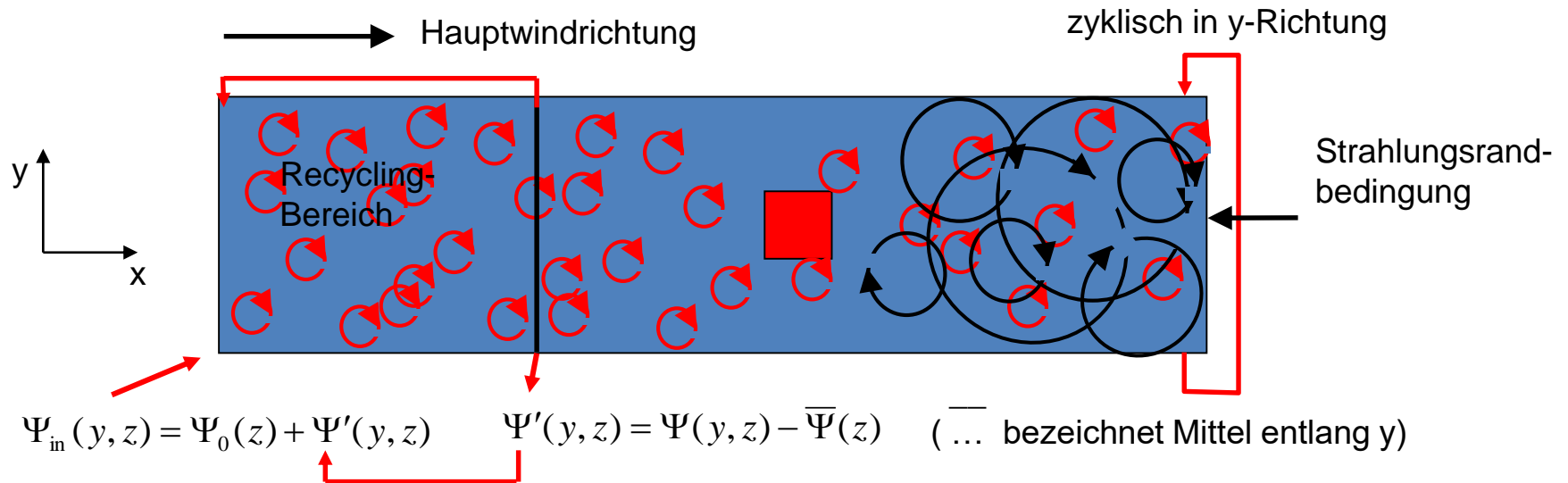
Vergleich zwischen laminarem und turbulentem Einströmen:



Details siehe: **Gronemeier, T., A. Inagaki, M. Gryscha, M. Kanda** (2015): *Large-Eddy Simulation of an Urban Canopy using a Synthetic Turbulence Inflow Generation Method*, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), Vol.71 (2015), No.4, I_43-I_48, DOI 10.2208/jscejhe.71.I_43

LES Modus: Turbulenz-Recycling

- am häufigsten genutzte Methode in PALM
- Turbulenz wird an Recycling-Ebene abgegriffen und an den Einströmrand kopiert

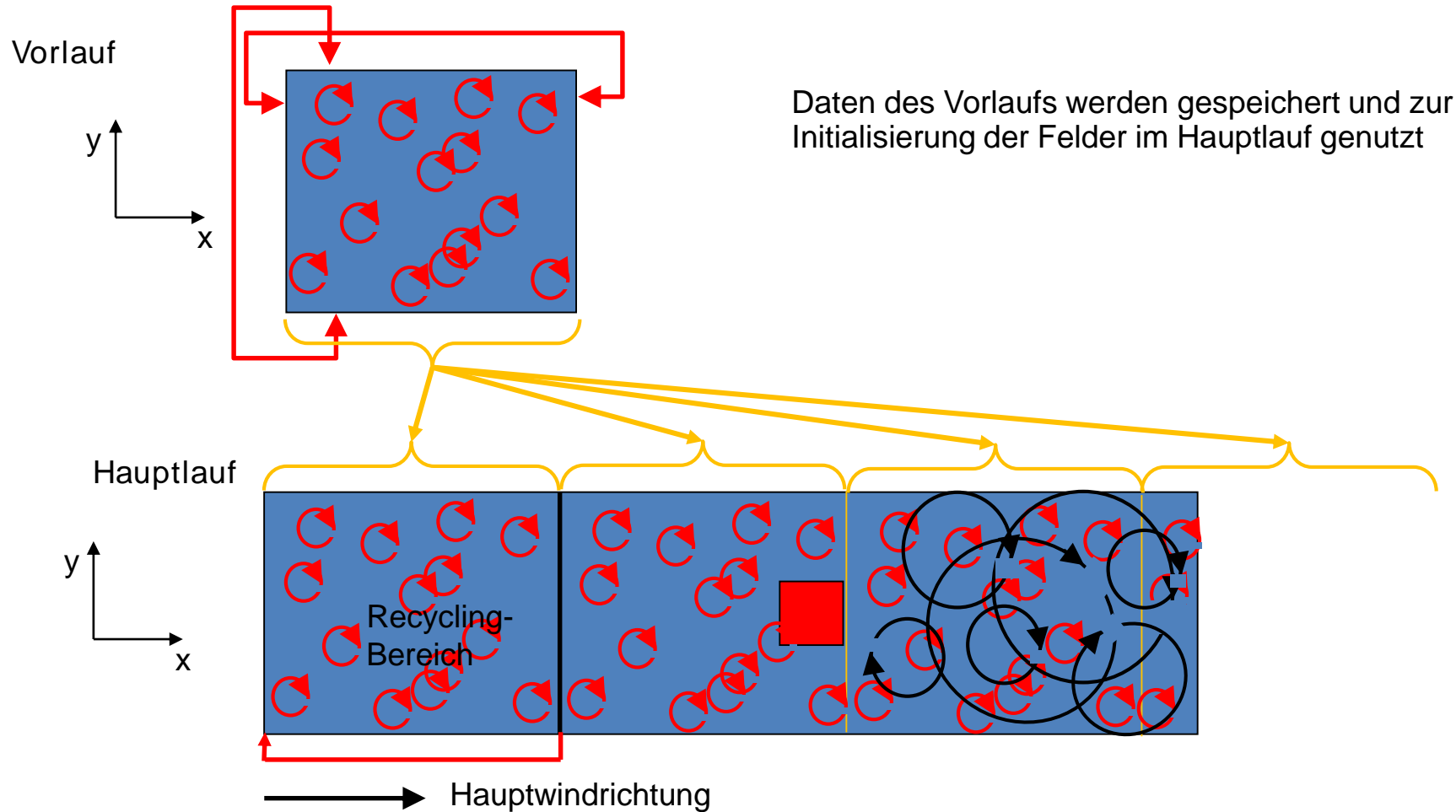


Wie bekommt man Turbulenz im Recycling-Bereich?

Ohne Turbulenz kann nichts recycled werden.

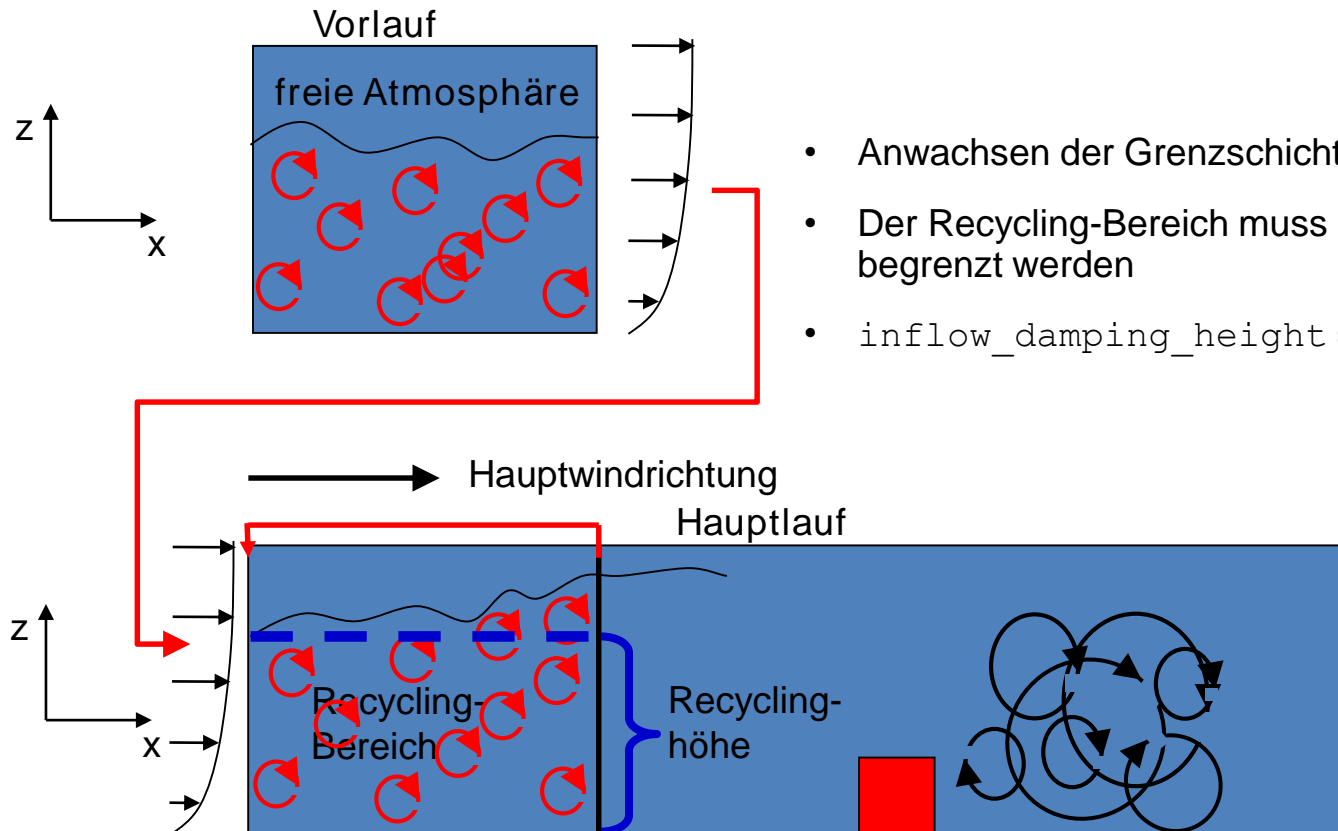
LES Modus: Turbulenz-Recycling

Initiale Turbulenz wird mit Hilfe eines Vorlaufs erzeugt, welcher zyklische Ränder und in der Regel ein kleineres Modellgebiet aufweist.



LES Modus: Turbulenz-Recycling

- Einströmprofile des Hauptlaufs müssen mit mittleren Profilen des Vorlaufs übereinstimmen
- I.d.R. werden Daten der letzten Profilausgabe des Vorlaufs genutzt
- Alternativ kann über `u_profile` und `v_profile` ein Profil vorgegeben werden (nicht empfohlen)



- Anwachsen der Grenzschicht muss beachtet werden
- Der Recycling-Bereich muss daher in der vertikalen begrenzt werden
- `inflow_damping_height` = ~Grenzschichthöhe

LES Modus: Turbulenz-Recycling

- Einstellungen in der Parameter-Datei
(blau: notwendig, schwarz: empfohlen)

```
&inipar
...
turbulent_inflow = .TRUE.,
bc_lr = 'dirichlet/radiation',
psolver = 'multigrid',
initializing_actions = 'cyclic_fill',
recycling_width = ...,
inflow_damping_height = ...,
conserve_volume_flow = .T.,
...
/
```

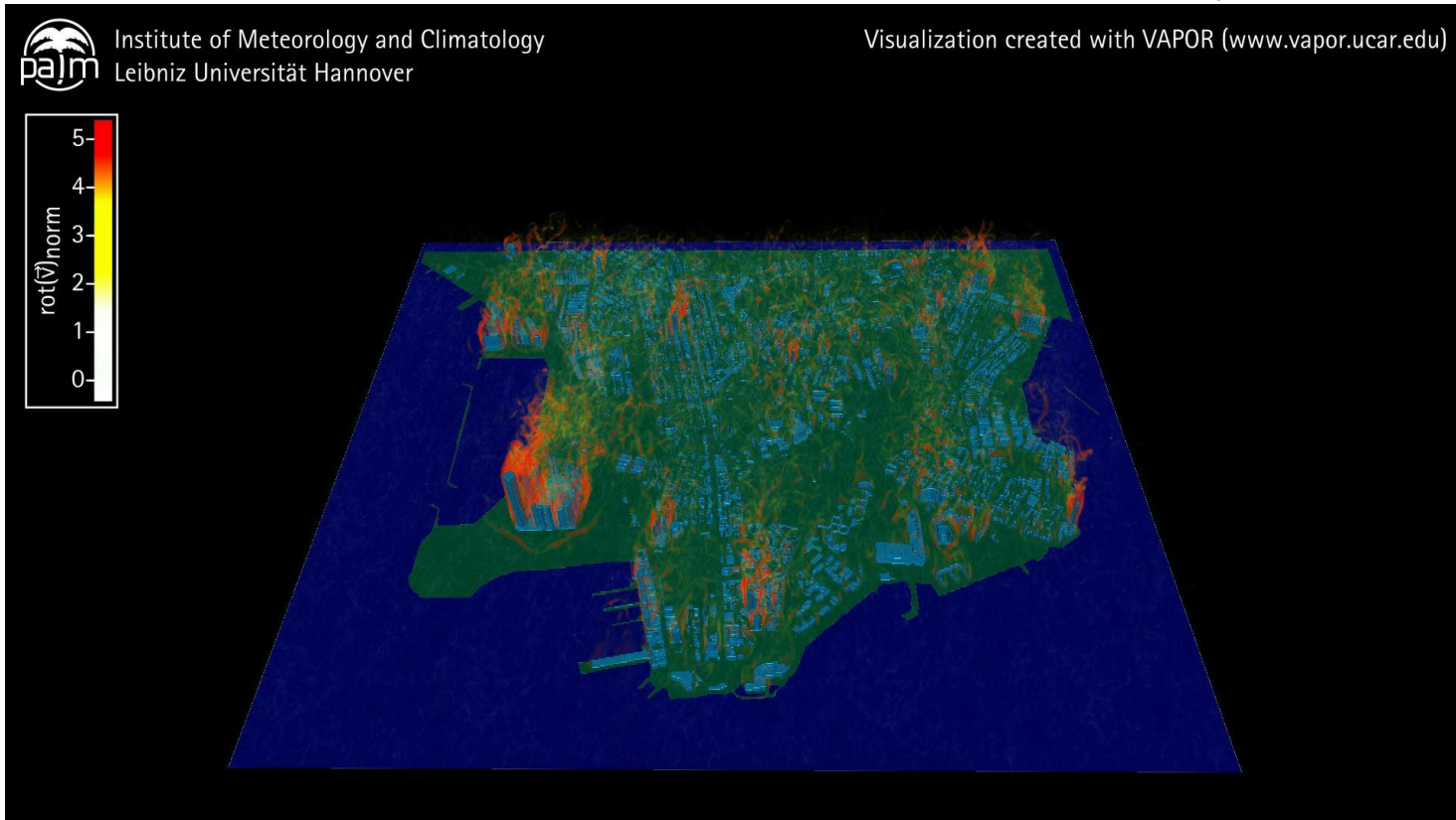
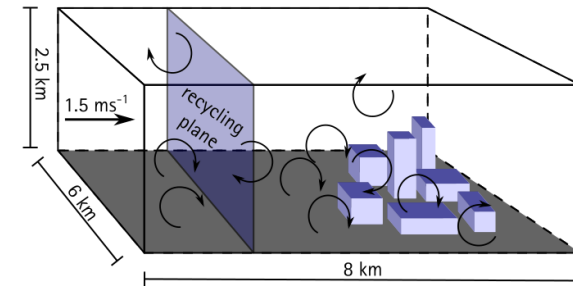
Länge des Recycling-Bereichs

Höhe des Recycling-Bereichs; falls Grenzschichthöhe des Vorlaufs vorliegt, wird diese automatisch als Höhe gesetzt, wenn diese Variable nicht gesetzt wird.

→ für weitere Hinweise, siehe Vortrag „Non-Cyclic Boundary Conditions“ (Teil des Palm Seminars)

LES Modus: Turbulenz-Recycling

Beispiel einer Rechnung mit Turbulenz-Recycling:



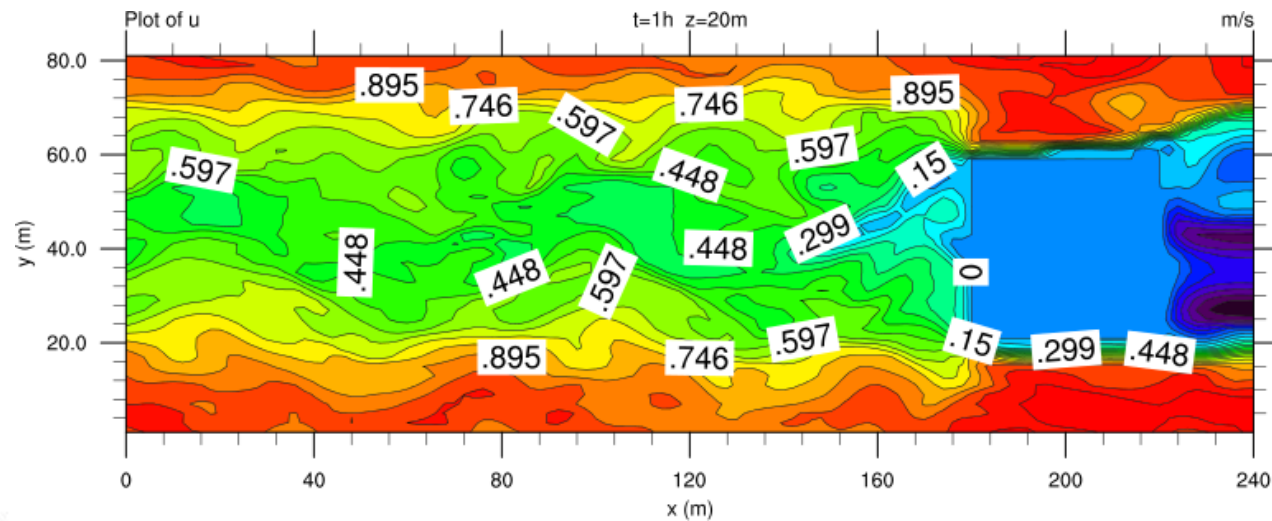
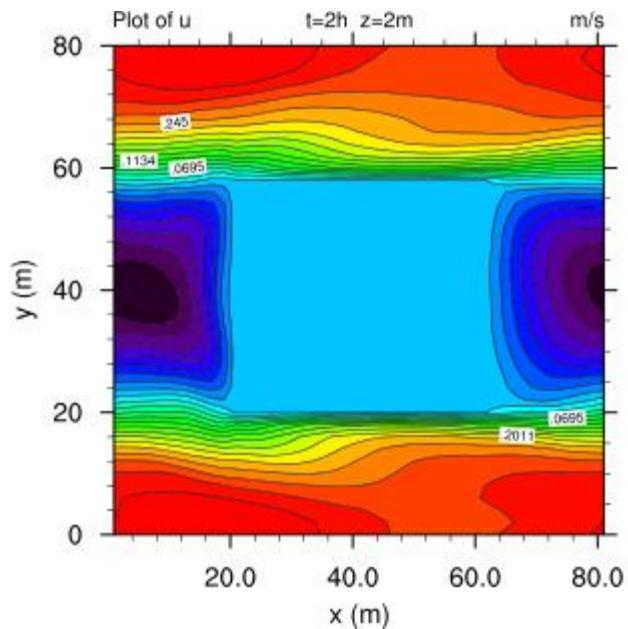
Details siehe: **Gronemeier, T., S. Raasch, E. Ng. 2017:** Effects of Unstable Stratification on Ventilation in Hong Kong. *Atmosphere.*, **8** (9), DOI 10.3390/atmos8090168.



LES Modus: Modellgebietsgröße

- Größe des Modellgebiets muss beachtet werden!
- bei zu kleinem Gebiet kann sich Turbulenz nicht richtig ausbilden
- Modellgebietsgröße ist abhängig von Problemstellung

Beispiel Würfelumströmung:

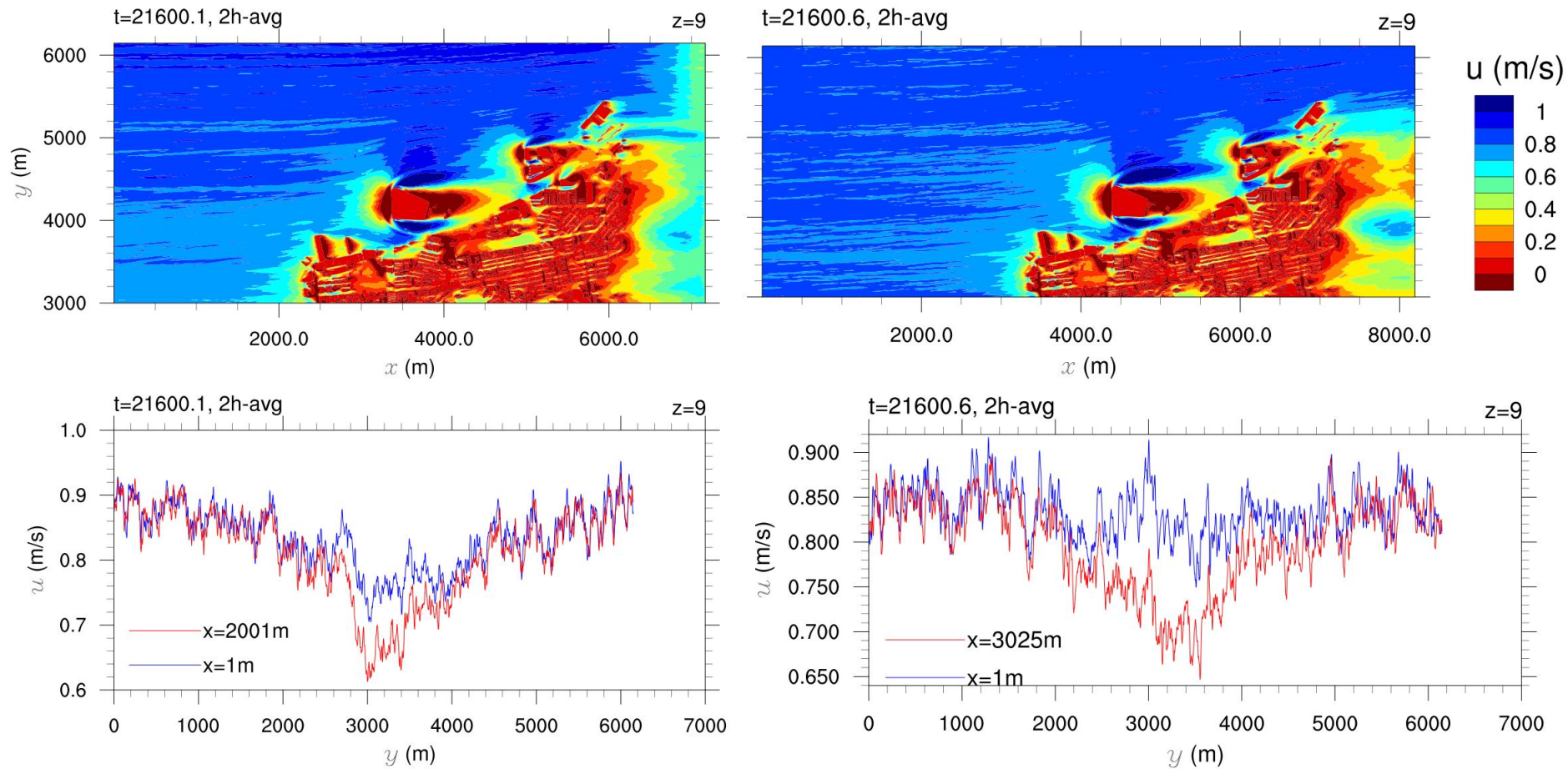


LES Modus: Modellgebietsgröße

Beispiel Stadt:

nicht-zyklische Ränder mit Turbulenz-Recycling am Westrand

links: Recyclingebene zu dicht an Stadt; rechts: ausreichend Abstand zw. Stadt und Recycling-Bereich



PALM4U Zukunft

Geplante Änderungen/Anpassungen, weitere Entwicklungen:

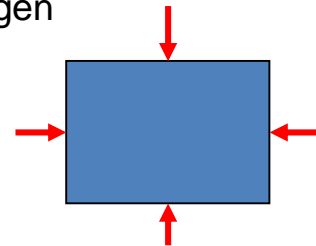
RANS

- Diffusionsberechnung anpassen: erlaubt größeren Zeitschritt / schnellere Simulation
- Erweiterung der TKE- ϵ Schließung: von Standard-Schließung zur Kato-Launder Schließung
- Abbruchkriterien zur Verfügung stellen: Lauf stoppt automatisch, sobald Stationarität erreicht ist
- nicht-zyklische Modellränder in alle Raumrichtungen

$$\frac{\partial}{\partial x_i} K_h \frac{\partial E}{\partial x_i}$$

Prod_{standard} → Prod_{KL}

```
IF (change_new < change_old) THEN
    BREAK
ENDIF
```



LES

- RANS-LES-Nesting: Turbulenzgenerierung an Übergängen ist noch nicht vollständig implementiert

