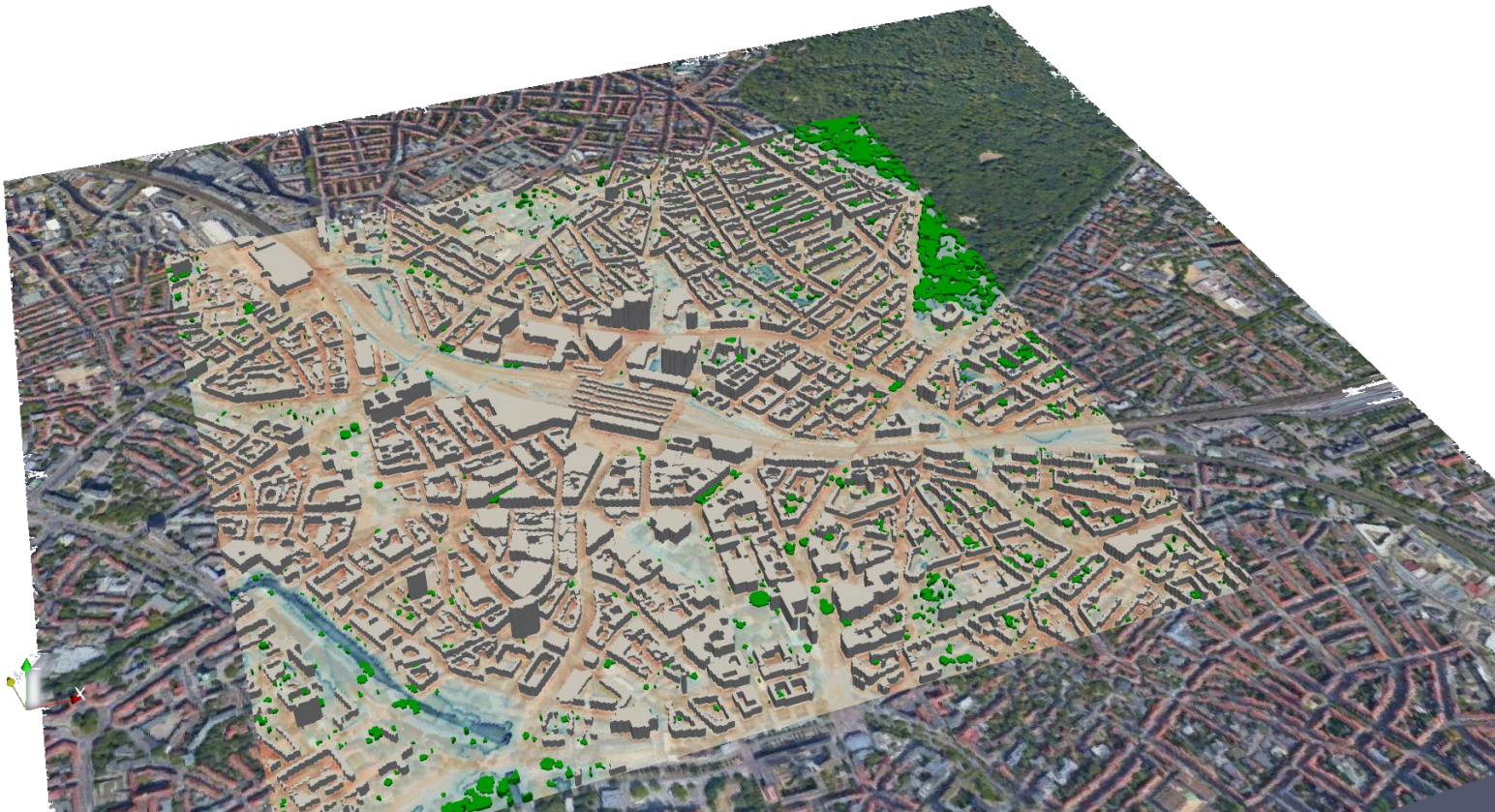


Stadtklima im Modell: Turbulenzauflösende Simulation urbaner Räume mit PALM



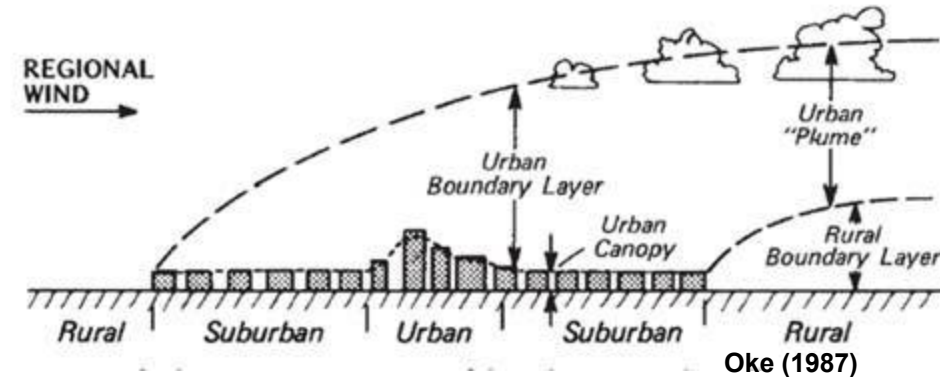
Die Notwendigkeit urbaner Klimamodellierung

- 4 Milliarden Menschen (> 54%) leben in städtischen Umgebungen (UN, 2016)
- Verändern natürlicher Bedingungen, Energiebedarf, Luftverschmutzung:
 - Städtische Wärmeinsel (Urban heat island, UHI)
 - Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen
- Physikalische Wechselwirkungsprozesse sind hochkomplex
- Klimawandel
- Vermeidung von “lock-in” Effekten

**Numerische Modellierung ist der Weg zur
Bewertung von Minderungs- und
Anpassungsstrategien für Städte**

Was urbane Grenzschichtmodelle leisten können

- Simulation physikalischer Prozesse in der urbanen Grenzschicht
- Untersuchung von Rückkopplungsprozessen zwischen städtischen und ländlichen Gebieten
- Bewertung potenzieller Minderungs- und Anpassungsstrategien
- Unterstützung bei Planung und Bau:
 - klimaresilienter Städte
 - gesunde Städte

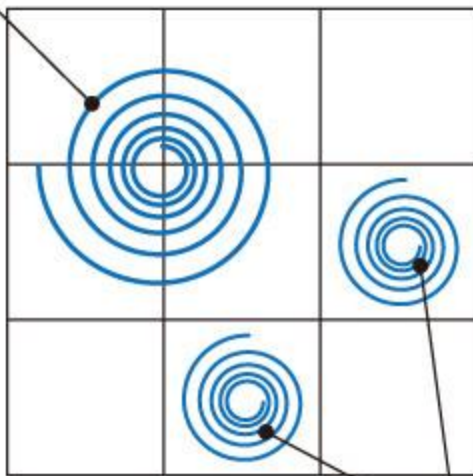


Was PALM leisten kann

- Das Mikroskalenmodell PALM 6.0
 - (Raasch & Schröter, 2001, Maronga et al. 2015, Maronga et al. 2019)
- Seit 1991 an der Leibniz Universität Hannover entwickelt
- Open Source (GNU GPL v3)
- Large-eddy Simulation (LES) – auch RANS+DNS Modus verfügbar
- Hochgradig optimiert und parallelisiert
- Besondere Merkmale:
 - Lagranges Partikelmodell (für passive Tracer, Wolkentropfen)
 - Vegetationsmodell
 - Self-nesting
 - Nesting in mesoskalige Modelle möglich
 - Parametrisierung von Wolkenphysik (Bulk Cloud Physics)
 - Interaktives Boden- und Strahlungsmodell
 - Anwenderschnittstelle zur Einbindung eigener Routinen

Was PALM leisten kann

Grid scale (GS)
Eddies are directly solved

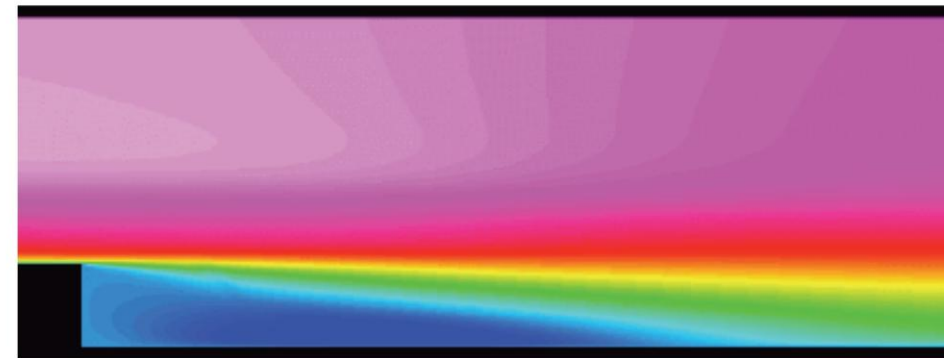


Sub-grid scale (SGS)
Eddies are modeled and solved

<https://www.cradle-cfd.com/media/column/a91>

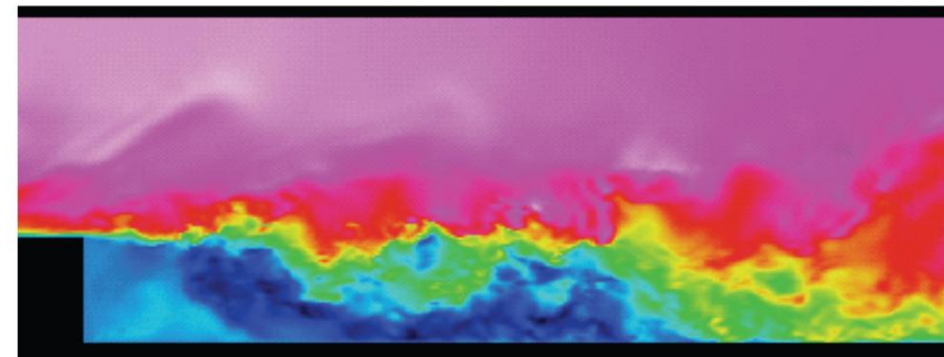
Estrado, Erron. (2019). Optimisation of Complex Geometry Buildings Based on Wind load Analysis.

10.13140/RG.2.2.14642.43200.



Source: Rémy Fransen, 3rd INCA colloquium, ONERA, Toulouse (2011)

RANS

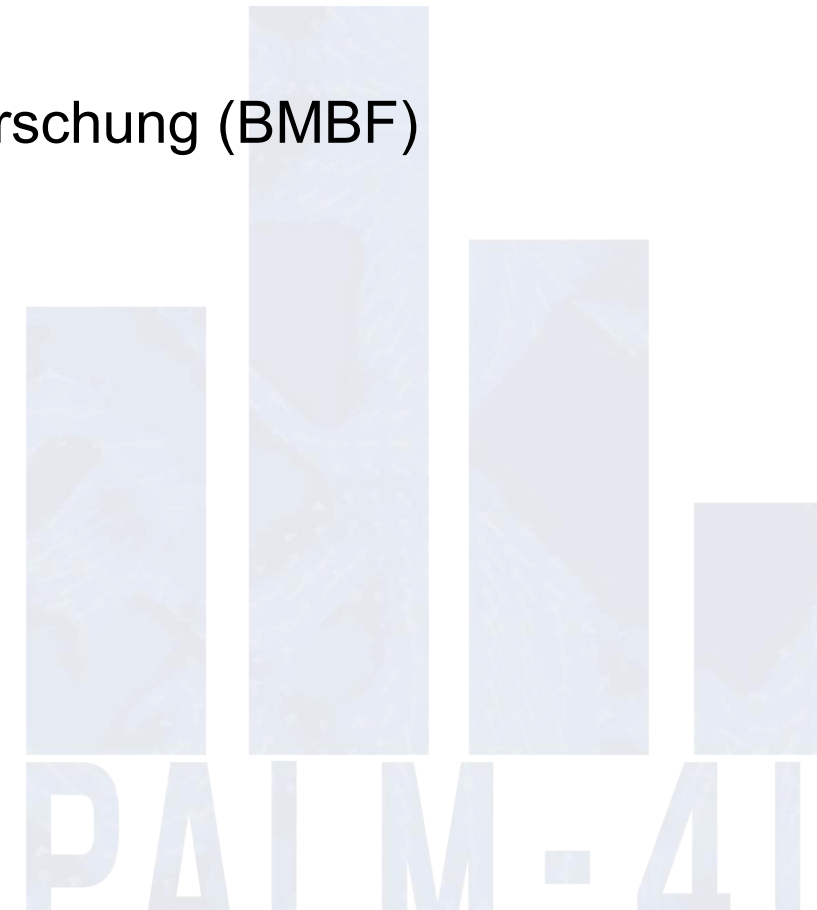


Source: Rémy Fransen, 3rd INCA colloquium, ONERA, Toulouse (2011)

LES

Was PALM-4U leisten kann

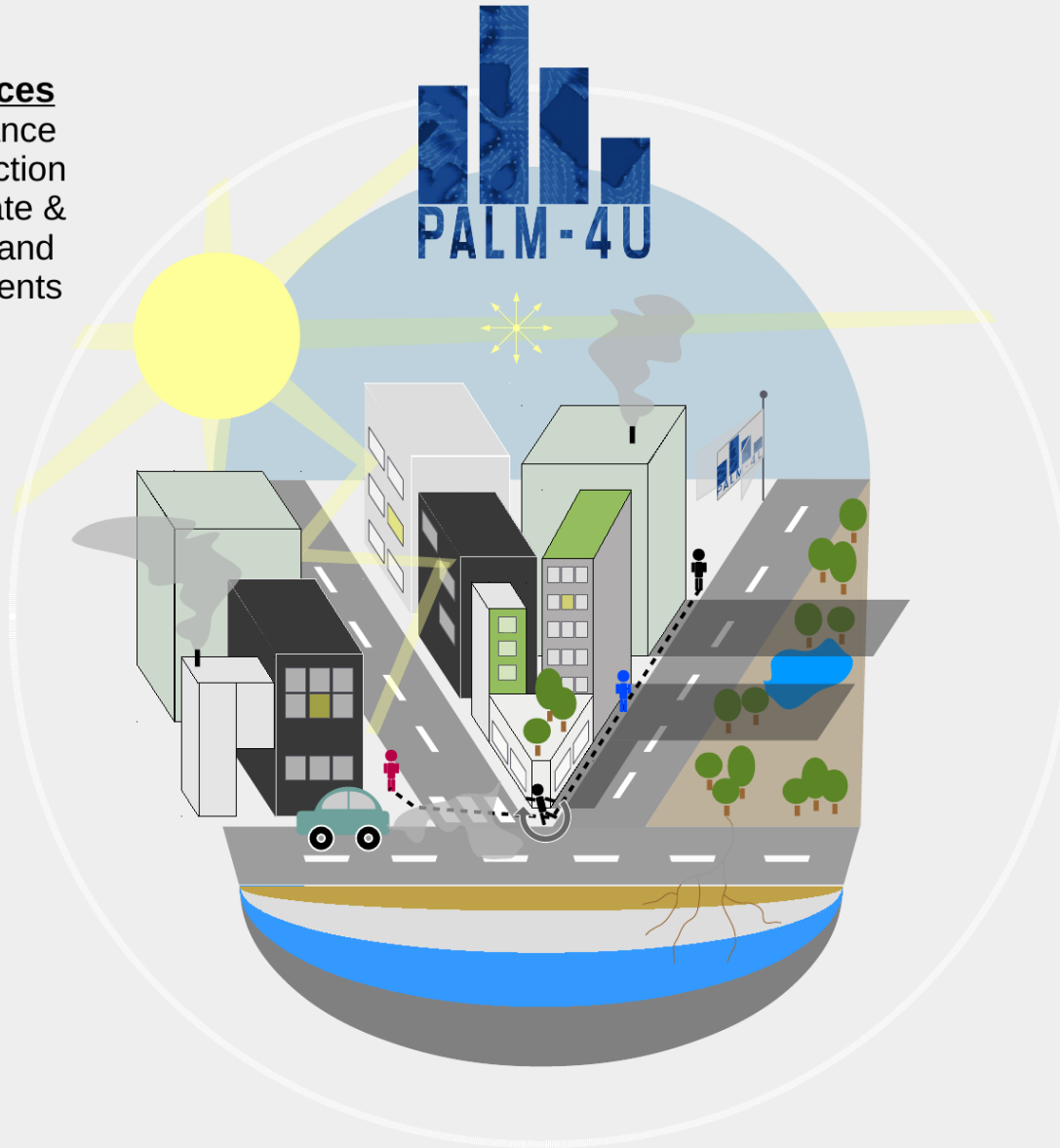
- PALM für urbane Anwendungen
 - (Maronga et al. 2019a, Maronga et al. 2019b)
- Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Gebäudelösendes Modell für ganze Städte
- Neue PALM-4U-Komponenten
 - Interaktionen innerhalb der urbanen Grenzschicht
 - Luftqualität (Gasphasenchemie, Aerosolphysik)
 - Gebäude- und Innenraumklima
 - Biometeorologie
 - ...





Urban surfaces

- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

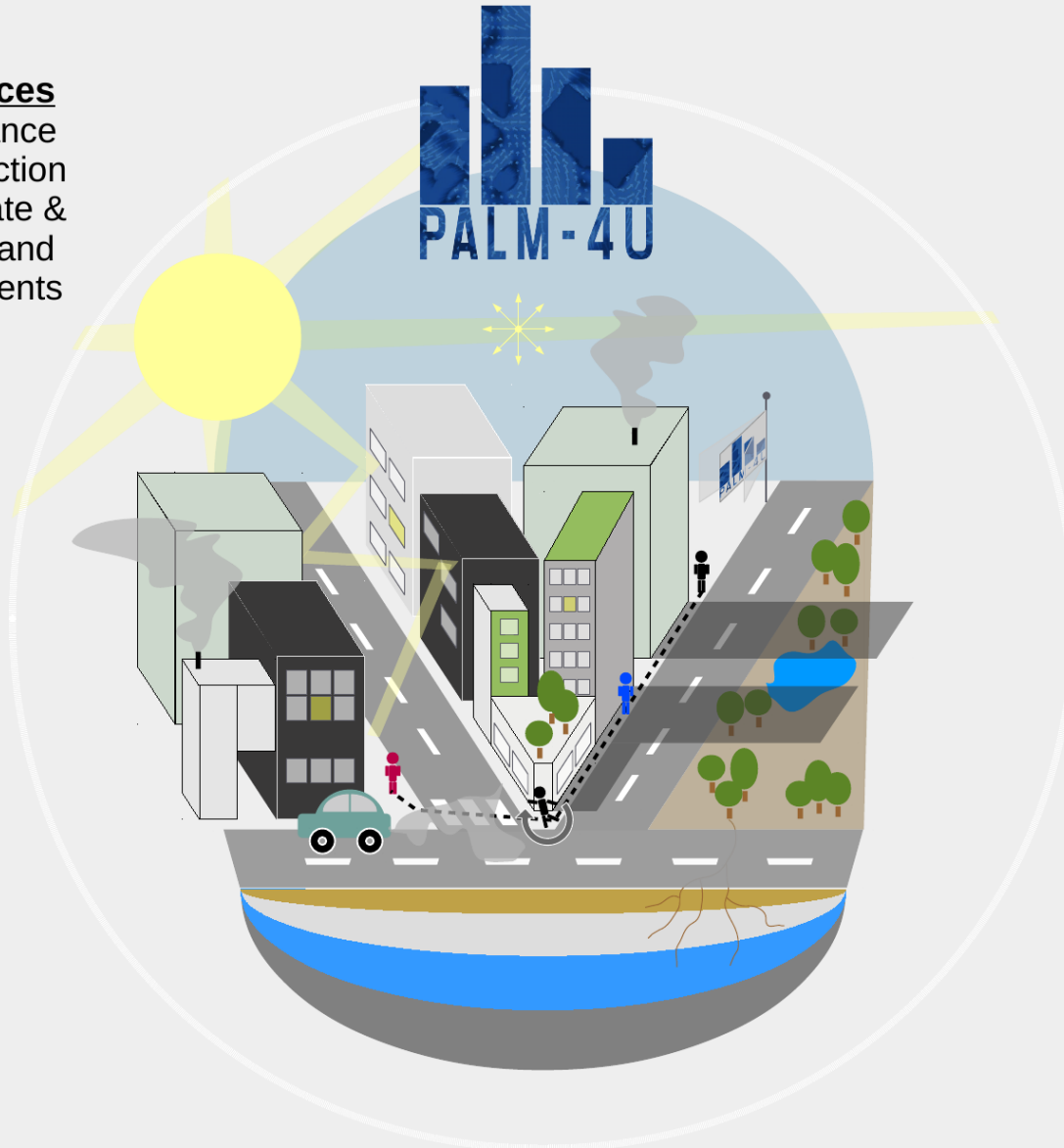


Urban surfaces

- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

Chemistry

- Transport
- Reactions
- Photolysis
- Emissions
- Aerosols



Urban surfaces

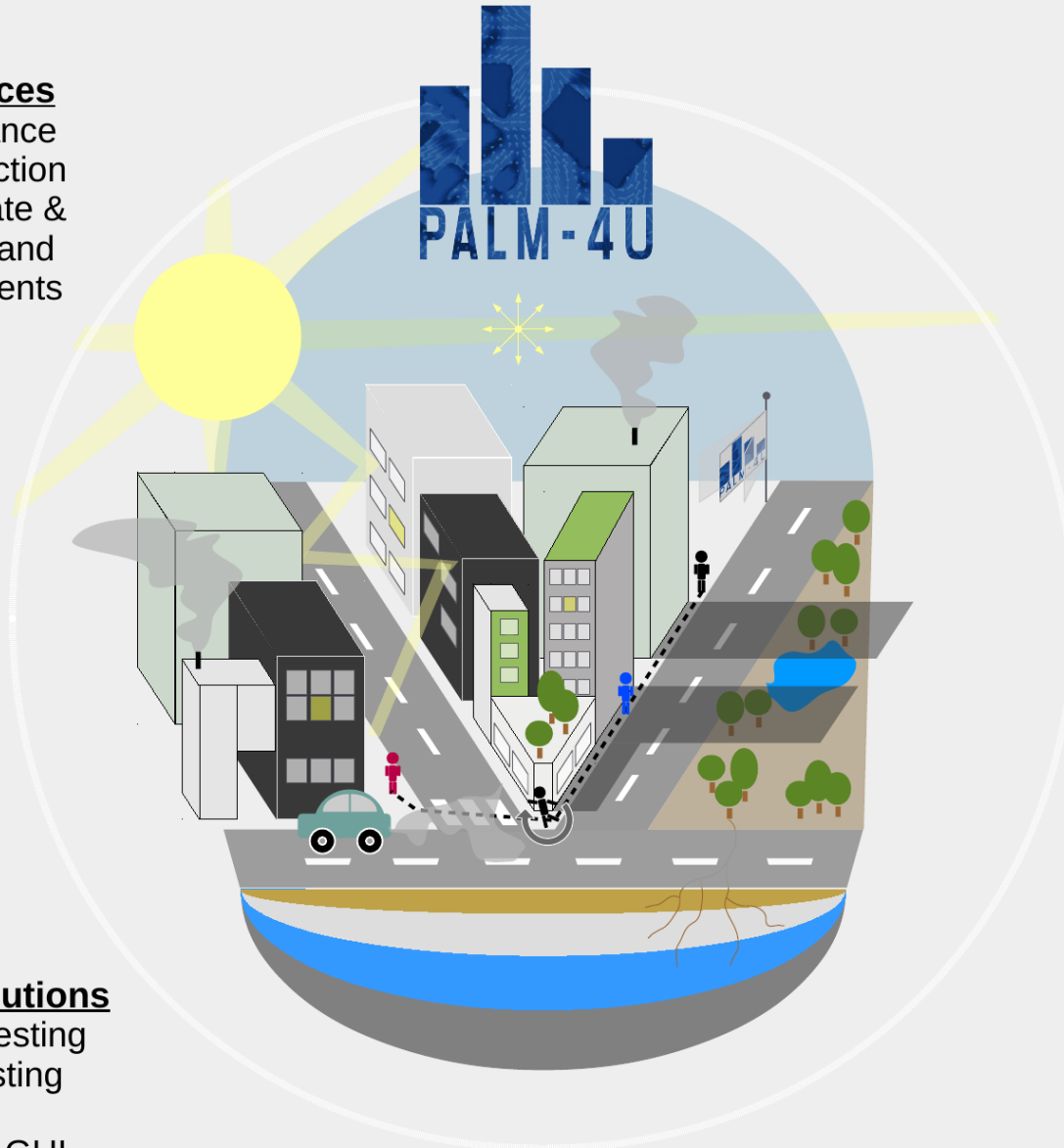
- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

Chemistry

- Transport
- Reactions
- Photolysis
- Emissions
- Aerosols

Technical solutions

- Mesoscale nesting
- LES-LES nesting
- RANS mode
- User-friendly GUI



Urban surfaces

- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

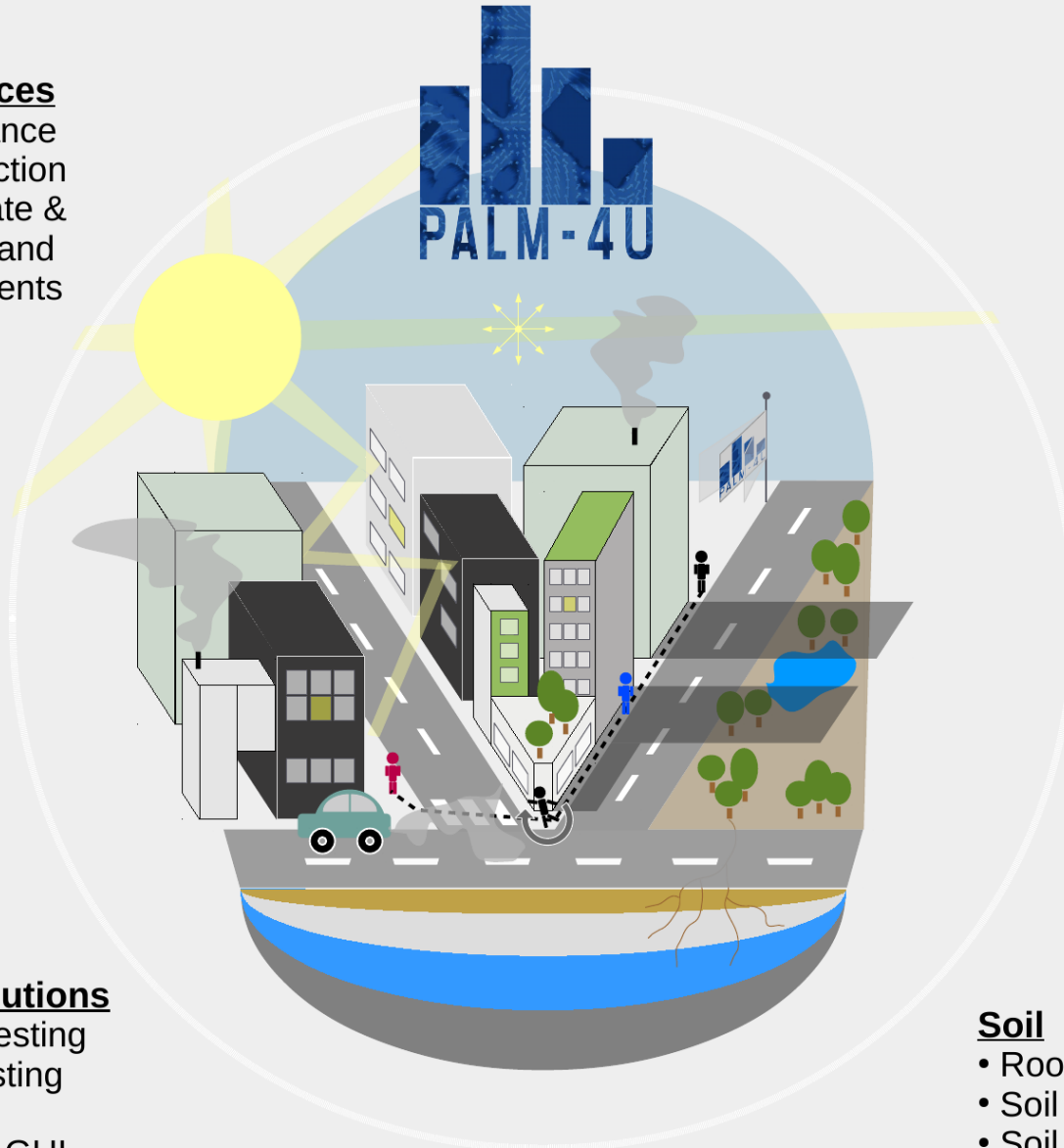


Chemistry

- Transport
- Reactions
- Photolysis
- Emissions
- Aerosols

Technical solutions

- Mesoscale nesting
- LES-LES nesting
- RANS mode
- User-friendly GUI



Soil

- Roots
- Soil temperature
- Soil moisture

Urban surfaces

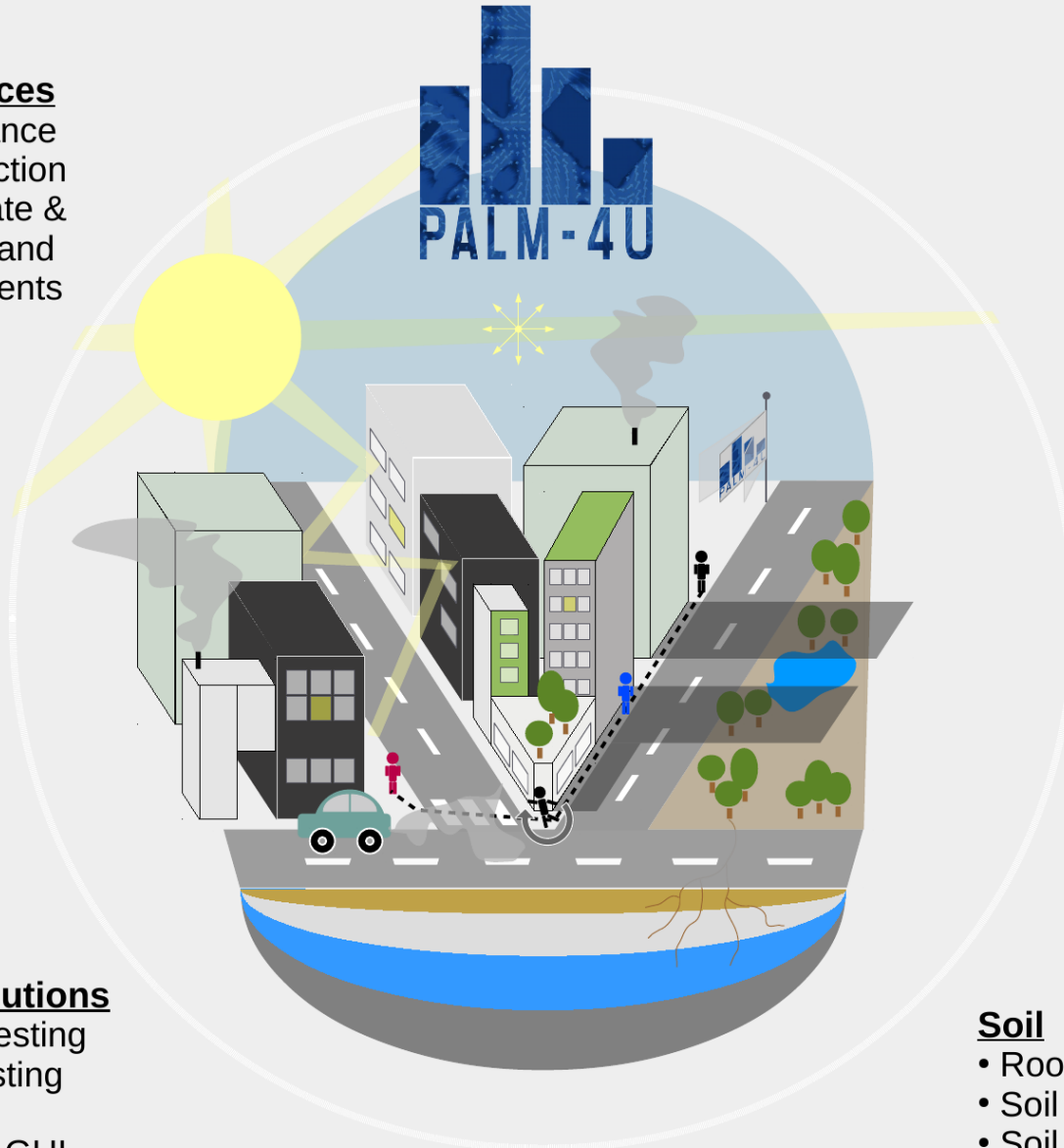
- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

Chemistry

- Transport
- Reactions
- Photolysis
- Emissions
- Aerosols

Technical solutions

- Mesoscale nesting
- LES-LES nesting
- RANS mode
- User-friendly GUI



Vegetation

- Energy balance
- Momentum sink
- Shading

Soil

- Roots
- Soil temperature
- Soil moisture

Urban surfaces

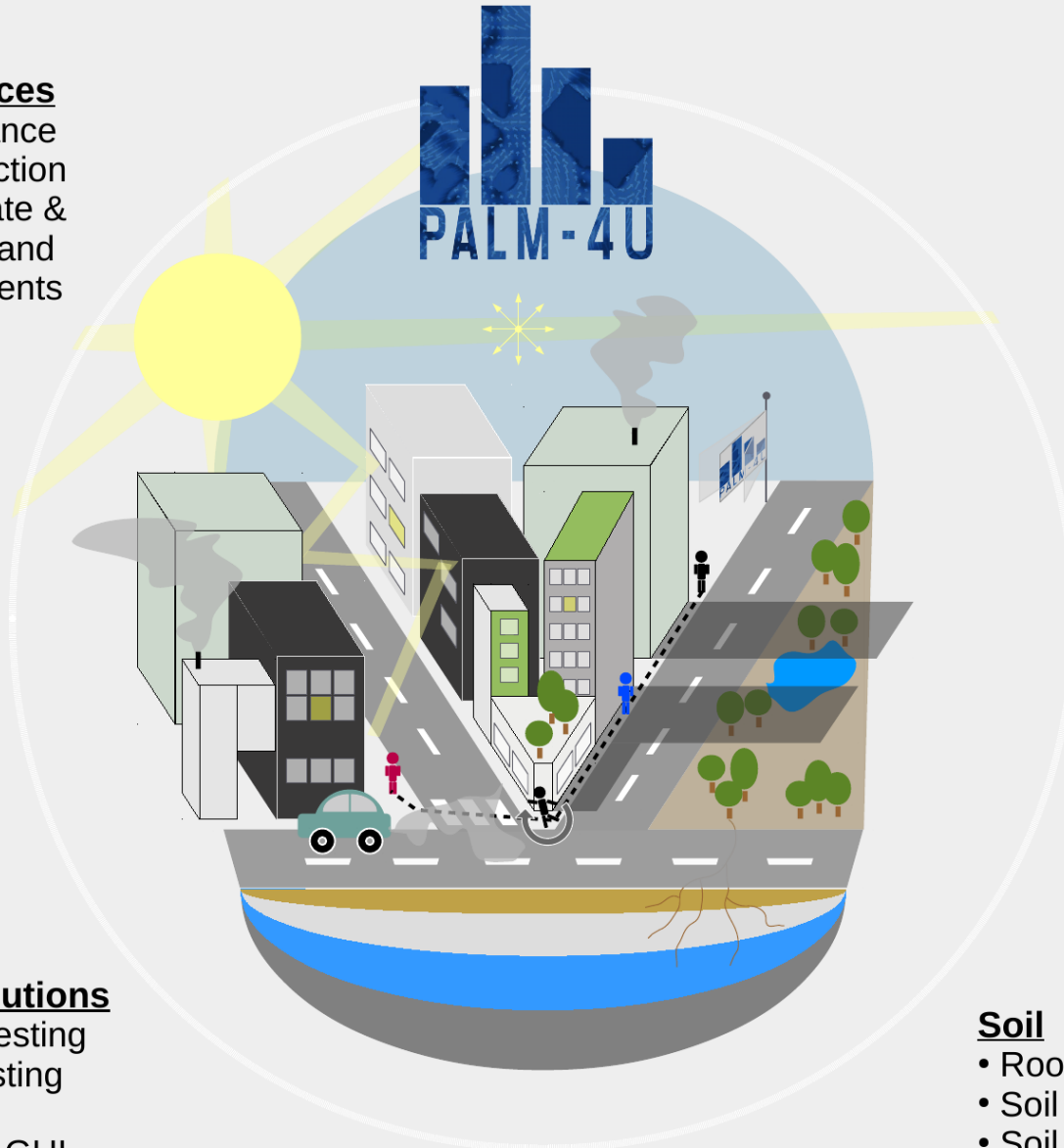
- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

Chemistry

- Transport
- Reactions
- Photolysis
- Emissions
- Aerosols

Technical solutions

- Mesoscale nesting
- LES-LES nesting
- RANS mode
- User-friendly GUI



Impact

- Multi-agent system
- Biometeorological analysis

Vegetation

- Energy balance
- Momentum sink
- Shading

Soil

- Roots
- Soil temperature
- Soil moisture

Urban surfaces

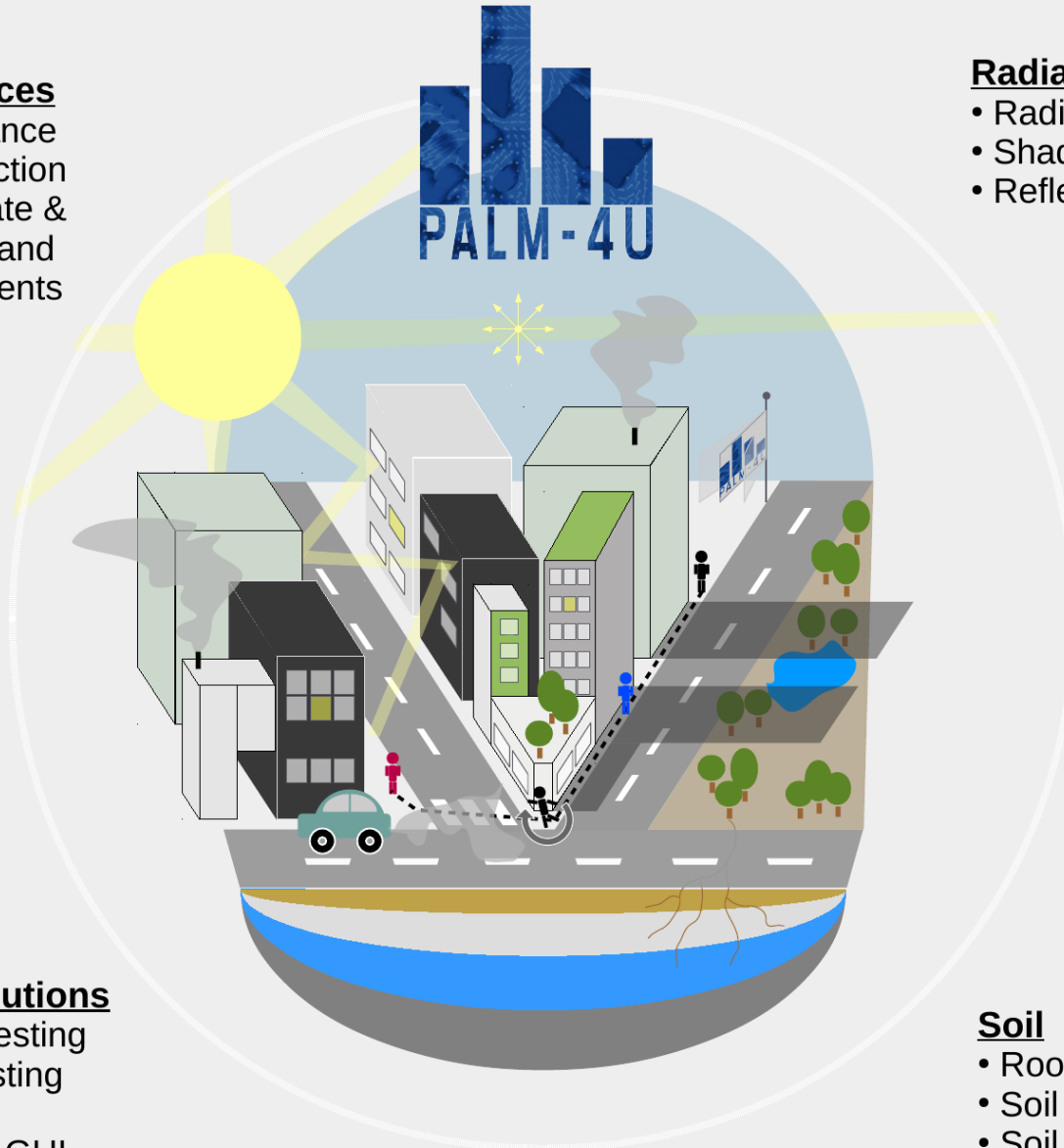
- Energy balance
- Heat conduction
- Indoor climate & energy demand
- Green elements

Chemistry

- Transport
- Reactions
- Photolysis
- Emissions
- Aerosols

Technical solutions

- Mesoscale nesting
- LES-LES nesting
- RANS mode
- User-friendly GUI



Radiation

- Radiation budget
- Shading
- Reflections

Impact

- Multi-agent system
- Biometeorological analysis

Vegetation

- Energy balance
- Momentum sink
- Shading

Soil

- Roots
- Soil temperature
- Soil moisture

Wie man PALM verwendet

Vorbereitung der Eingangsdaten:

- Palm Input Data Standard (PIDS)
 - **Statischer Treiber (Static Driver, SD)**
 - **Dynamischer Treiber (Dynamic Driver, DD)**
 - Chemie Treiber (Chemistry Driver)
 - Aerosoltreiber (Aerosol Driver)
 - Virtuelle Messungen (Virtual Measurements)
 - ...
- Verschiedene Werkzeuge und Skripte verfügbar



Static Driver vorbereitung mit QGIS

Einkaufsliste:

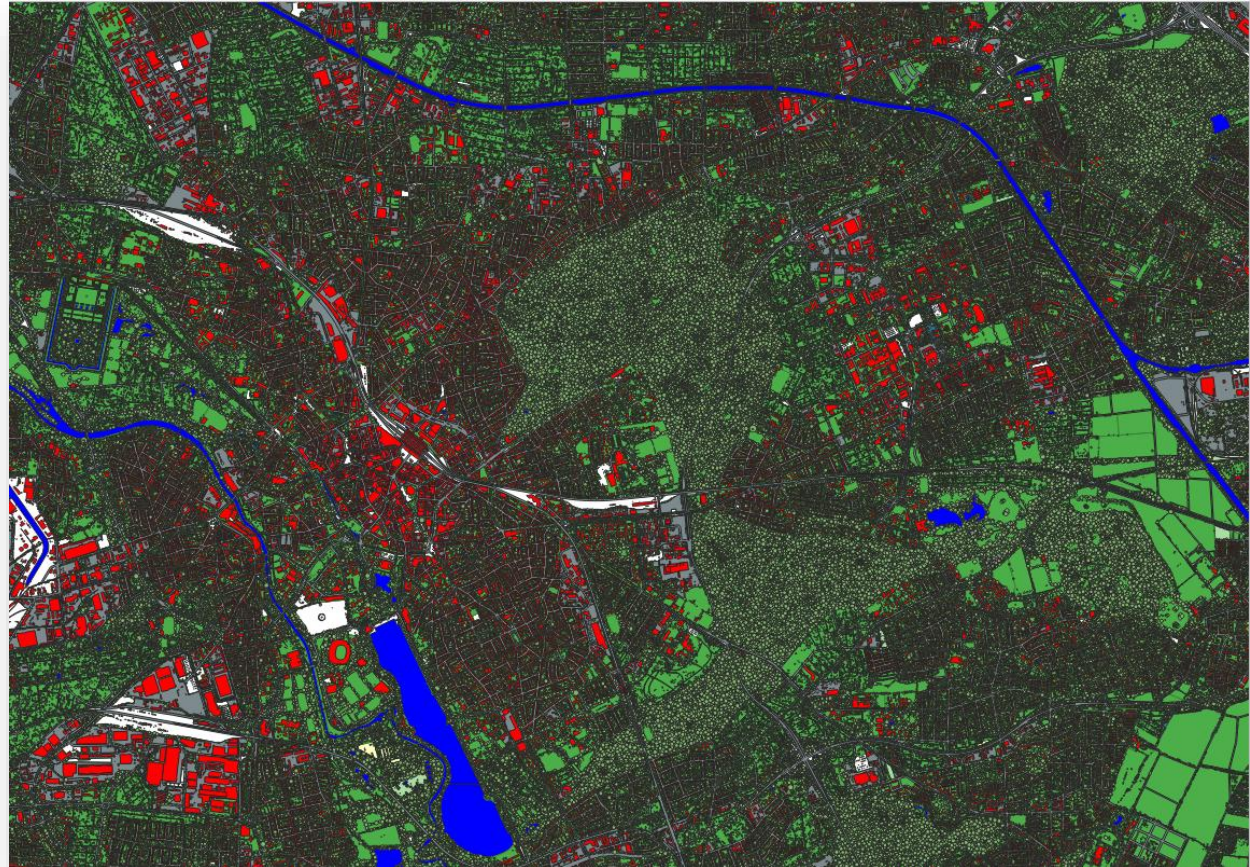
- Topographie
- Landbedeckung
 - Vegetation
 - Wasserflächen
 - Versiegelung
- Gebäude (LOD1 / LOD2)
- Bäume



Static Driver vorbereitung mit QGIS

Einkaufsliste:

- Topographie
- Landbedeckung
 - Vegetation
 - Wasserflächen
 - Versiegelung
- Gebäude (LOD1 / LOD2)
- Bäume



Static Driver in PALM

Raster im NetCDF Format:

- Gebäudetypen
- Gebäudehöhen
- Vegetationstypen
- Wassertypen
- Versiegelungsarten

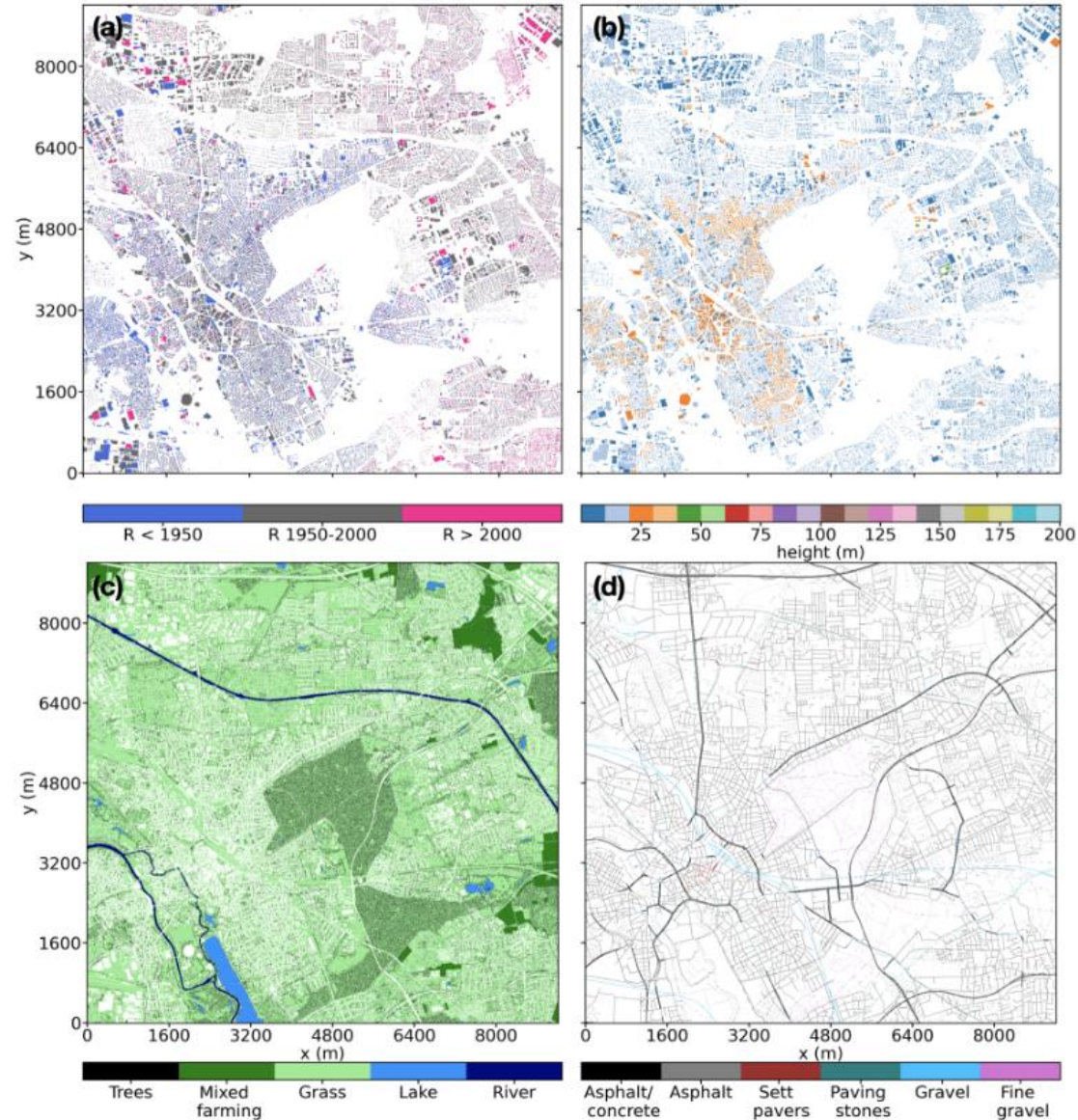
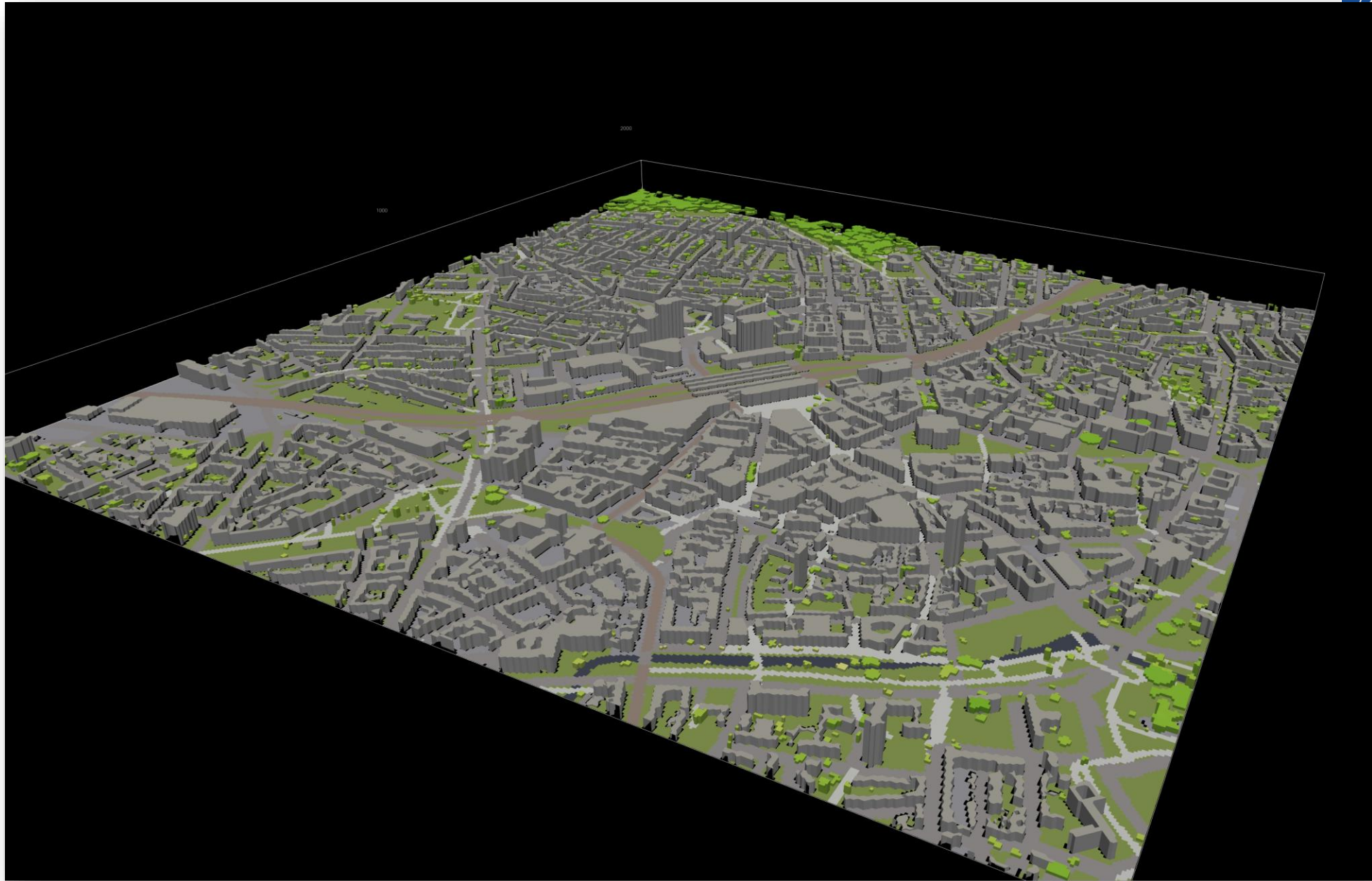
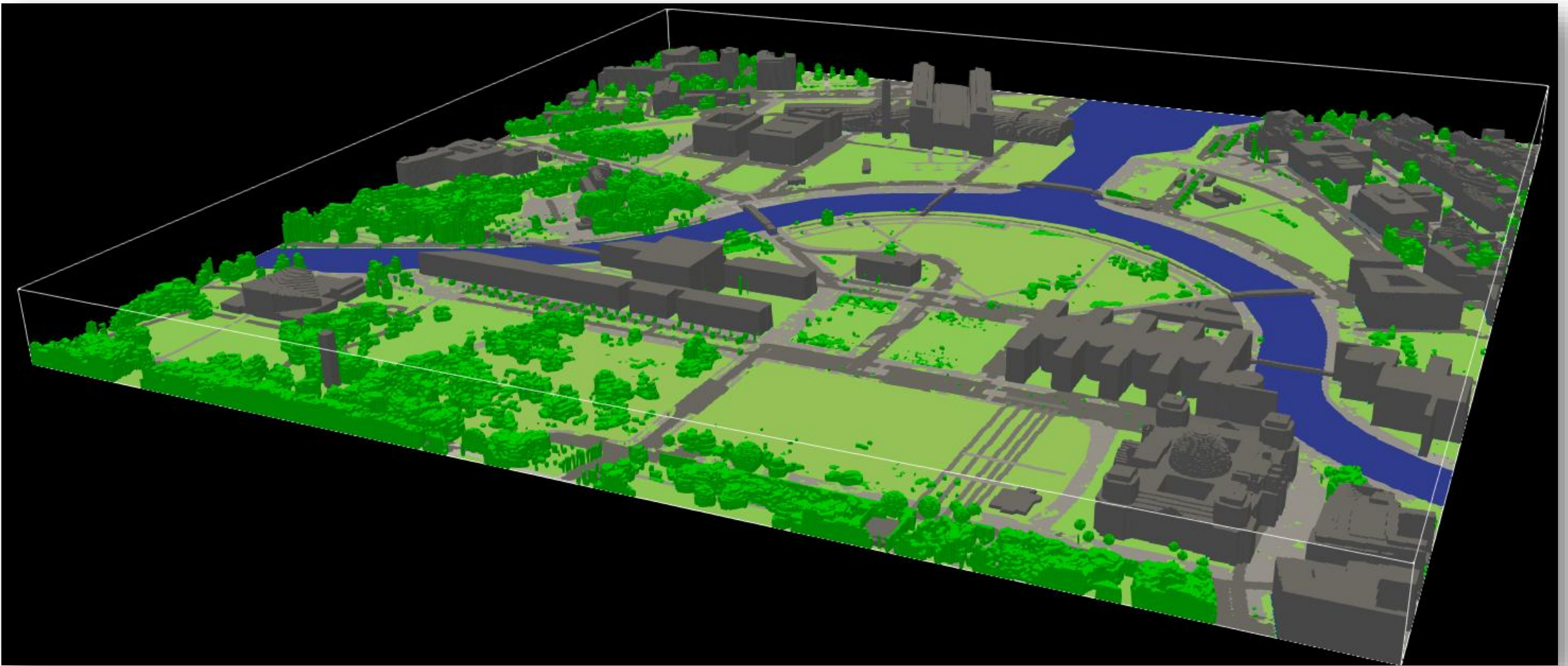


Abbildung erstellt von Kendra Heinemann

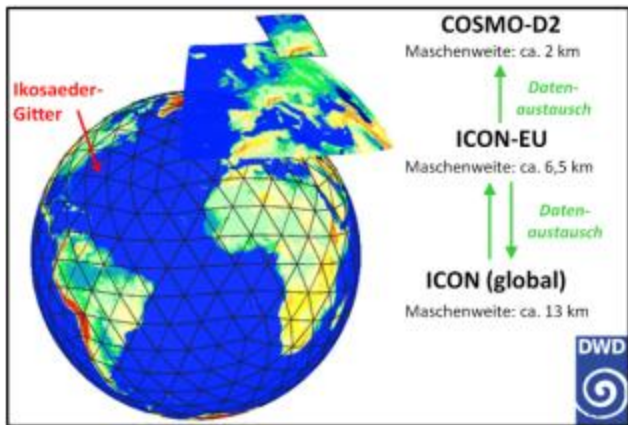




Dynamic Driver in PALM

Antrieb durch Mesoskaliges Modell:

- WRF
- COSMO
- ICON



PALM Steuerung

Szenariendefinition

- Eingabe-Parameterdatei
 - Initialisierung
- Verschiedene Abschnitte für unterschiedliche Modellteile

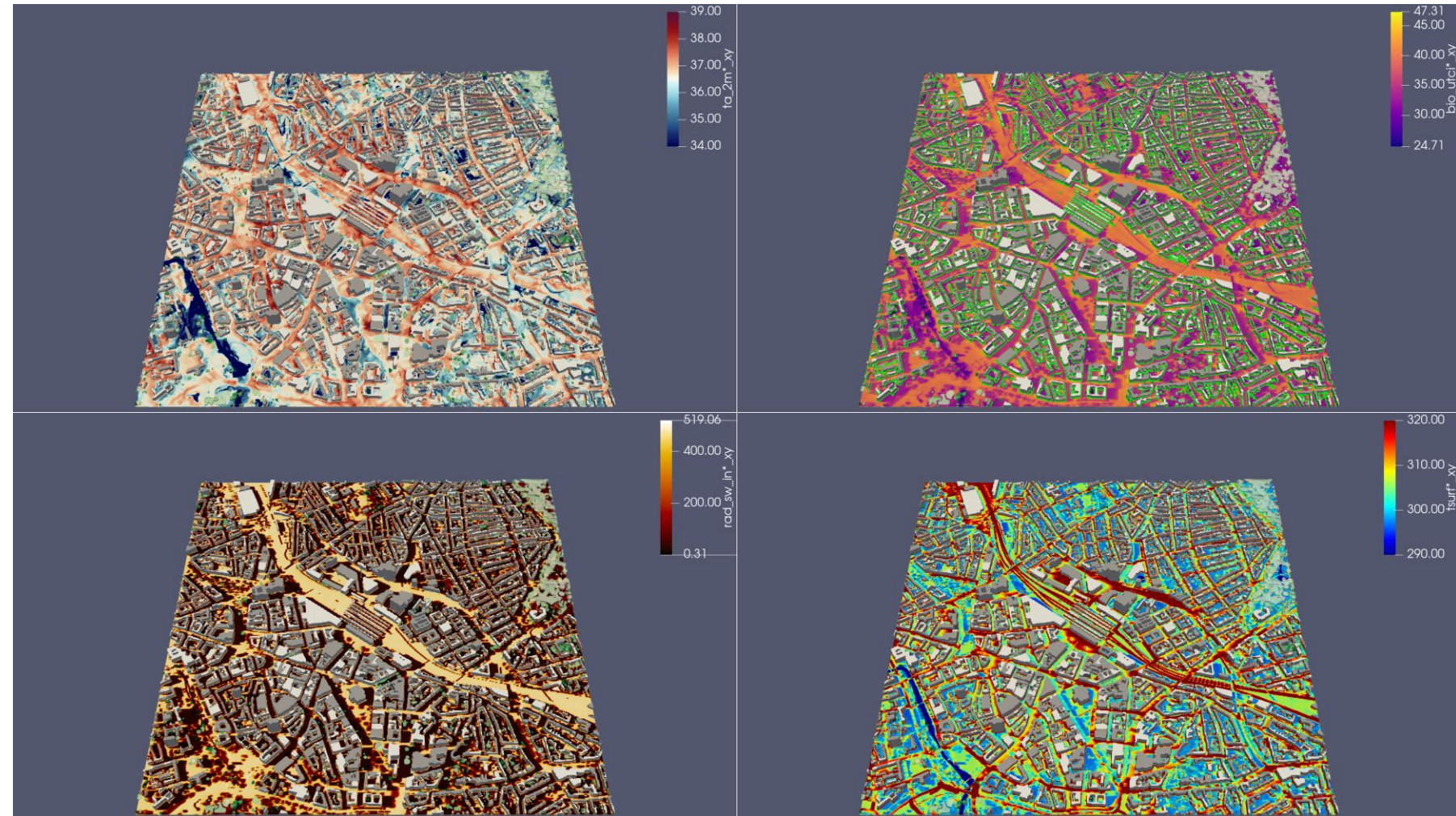
```

1 &initialization_parameters
2
3     nx = 511,
4     ny = 511,
5     nz = 128,
6
7     dx = 4.0,
8     dy = 4.0,
9     dz = 4.0,
10
11
12     fft_method = 'fftw',
13     psolver = 'multigrid',
14     ensemble_member_nr = 0,
15
16
17     initializing_actions = 'set_constant_profiles', ! constant vertical profiles are used,
18     pt_surface = 293.15,
19     q_surface = 0.005,
20
21     pt_vertical_gradient      = 0.0, 1.0,
22     pt_vertical_gradient_level = 0.0, 1600.0,
23
24     q_vertical_gradient      = 0.0, -0.004, 0.0,
25     q_vertical_gradient_level = 0.0, 1600.0, 1800.0,
26
27
28     ug_surface = 1.0,
29     vg_surface = 0.0,
30     origin_date_time = '2023-07-01 04:00:00 +00',
31
32
33     bc_uv_t = 'dirichlet',
34     bc_pt_b = 'dirichlet',
35     bc_q_b  = 'dirichlet',
36
37     reference_state = 'horizontal_average',
38
39     topography = 'read_from_file',
40
41     longitude = 9.7269,           ! Hannover longitude
42     latitude  = 52.3681,         ! Hannover latitude
43     humidity  = .T.,
44     constant_flux_layer = .T.,
45
46 !-- Wall/soil spinup
47 !-----
48     spinup_time      = 86400.0,
49     spinup_pt_mean    = 291.15,
50     spinup_pt_amplitude = 10.0,
51     dt_spinup        = 60.0,
52     data_output_during_spinup = .F.,

```

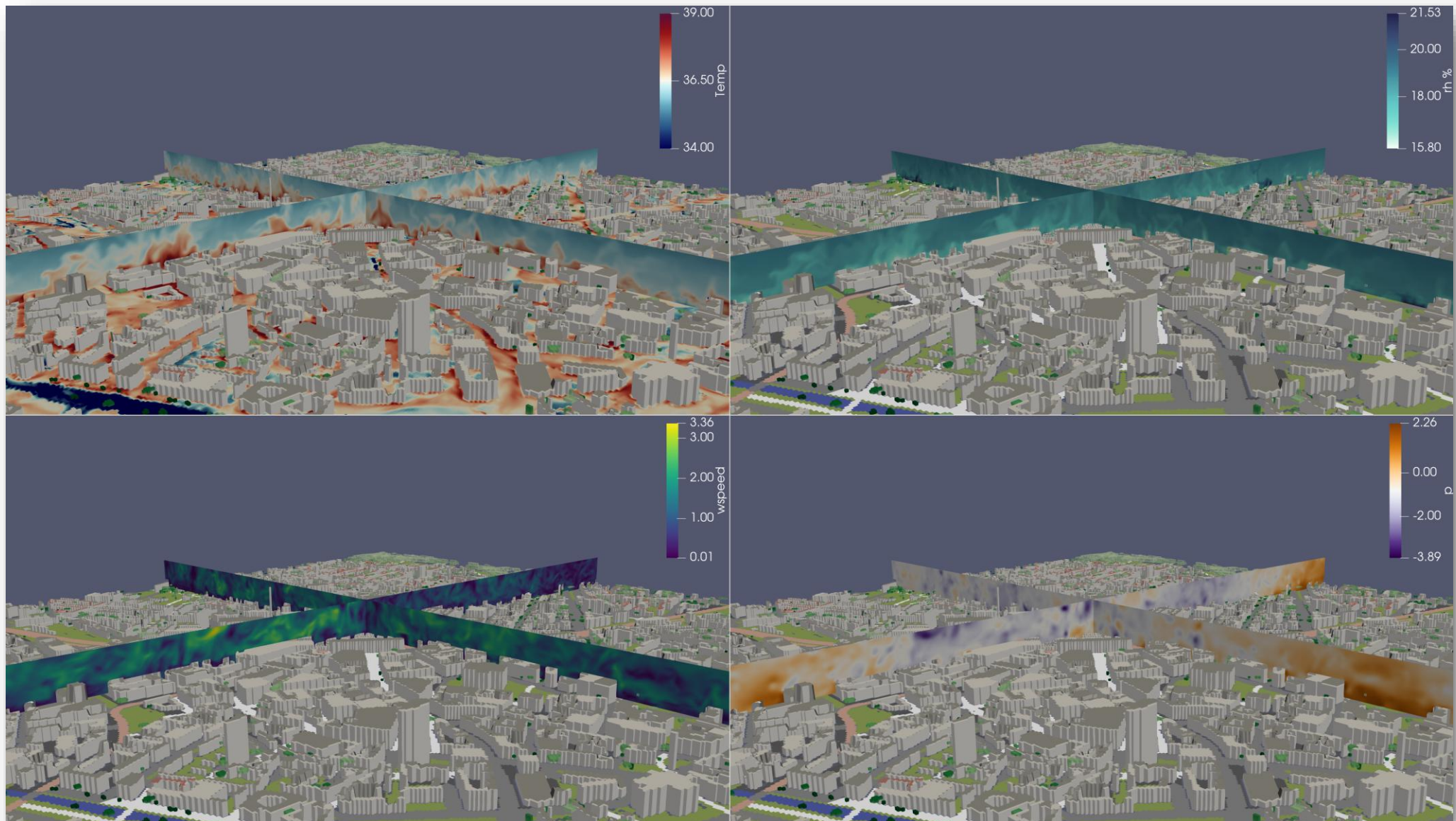
Starte PALM

- 2 x 2 km
- 4 m Gitterweite
- ~ 30 million Gitterpunkte
- 256 cores
- 24 h



PALM läuft auf einem Laptop genauso wie auf über 30,000 cores

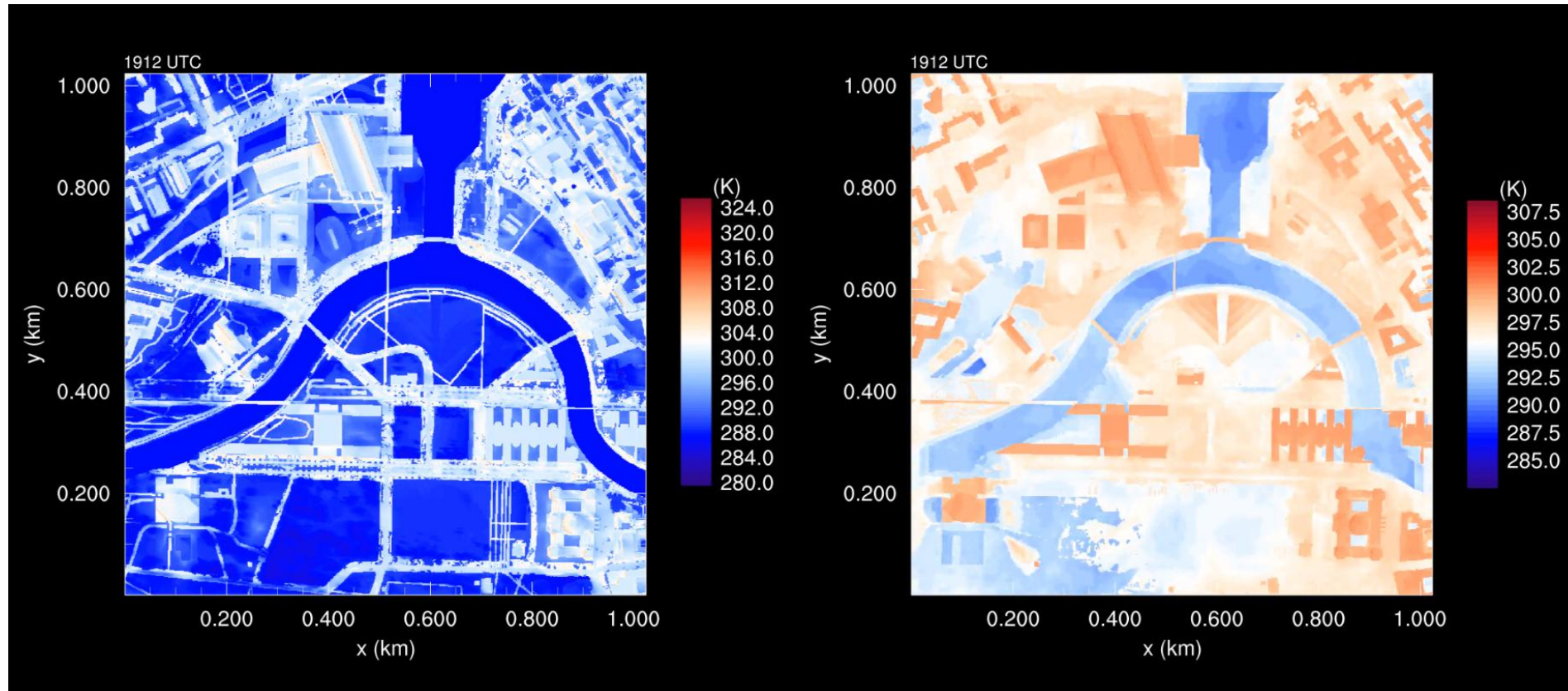




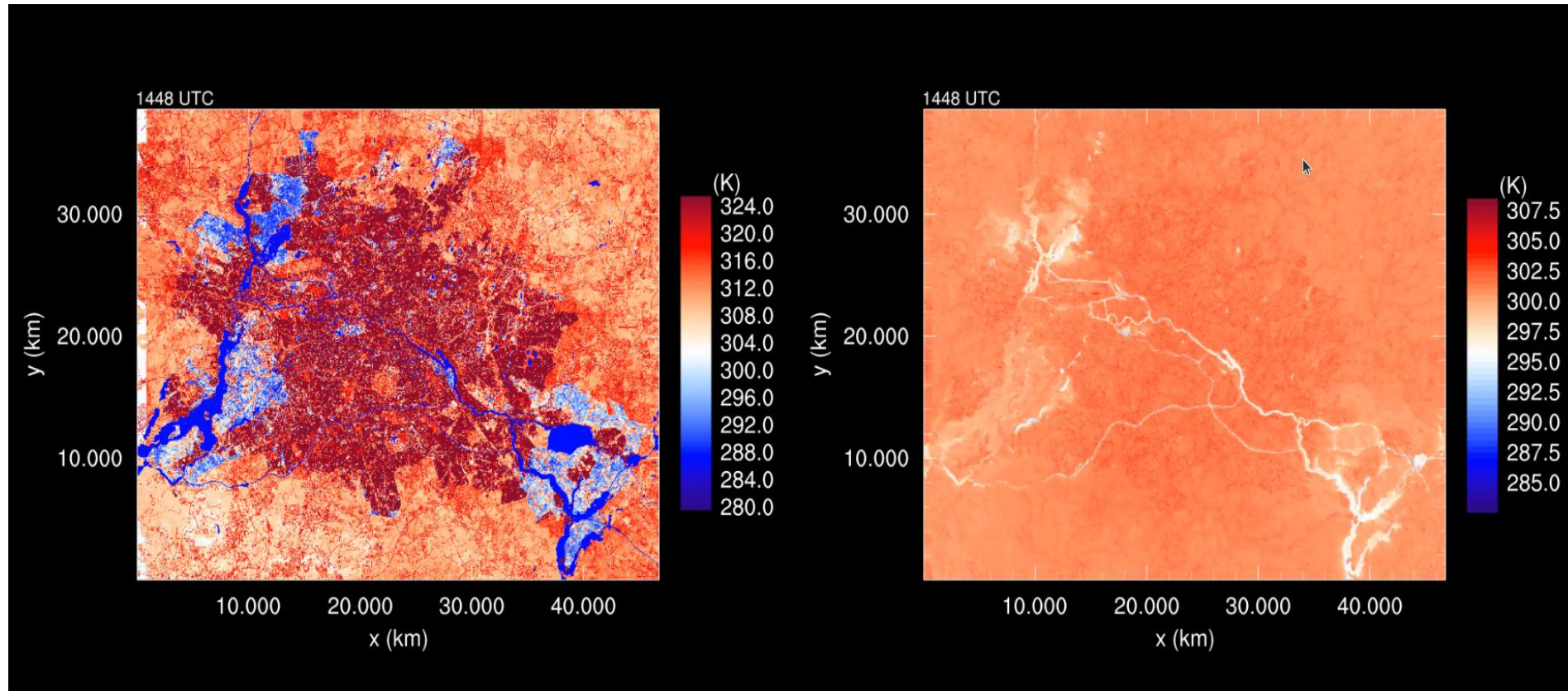
Wofür wir PALM verwenden

Eine exemplarische Auswahl abgeschlossener und laufender Projekte

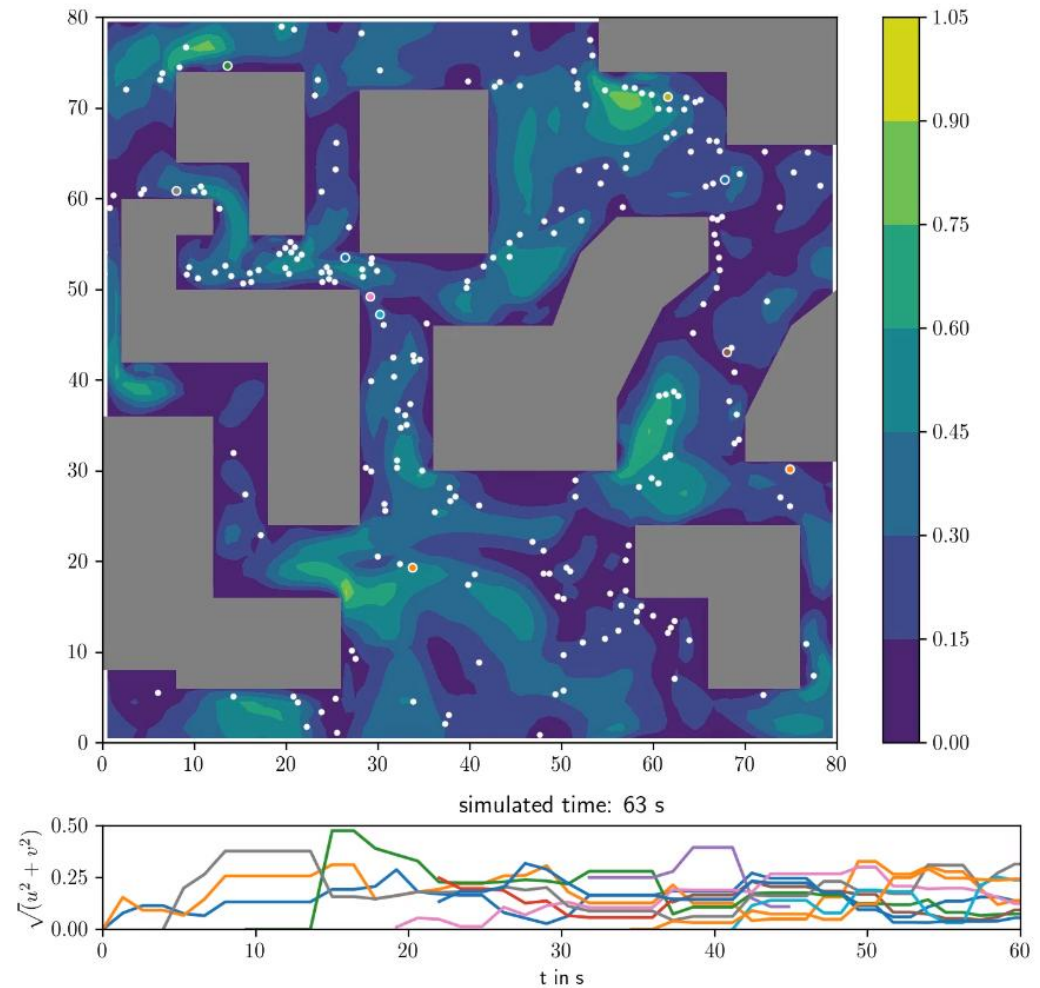
Wofür wir PALM verwenden - Berlin



Wofür wir PALM verwenden - Berlin

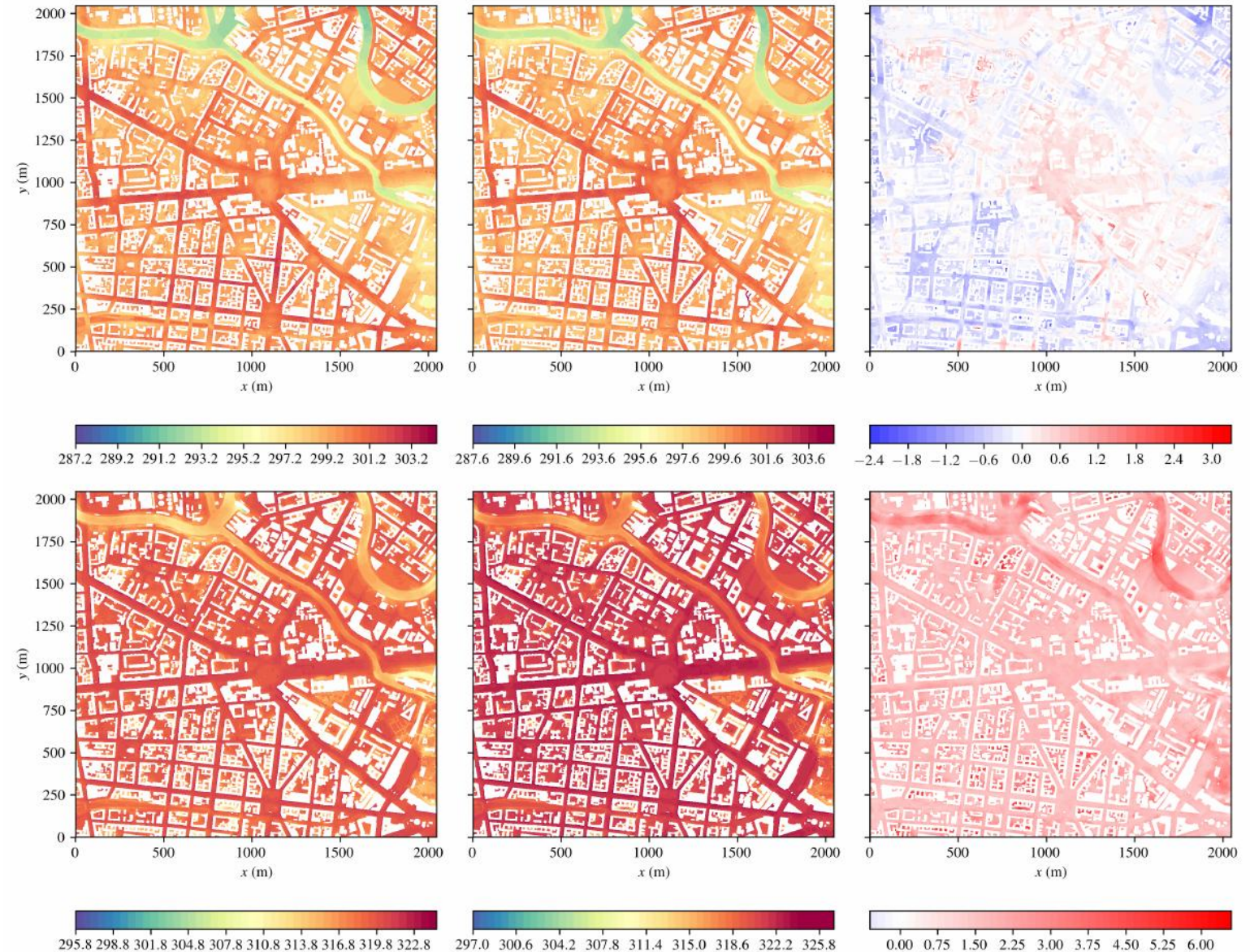


Wofür wir PALM verwenden – Wind Comfort

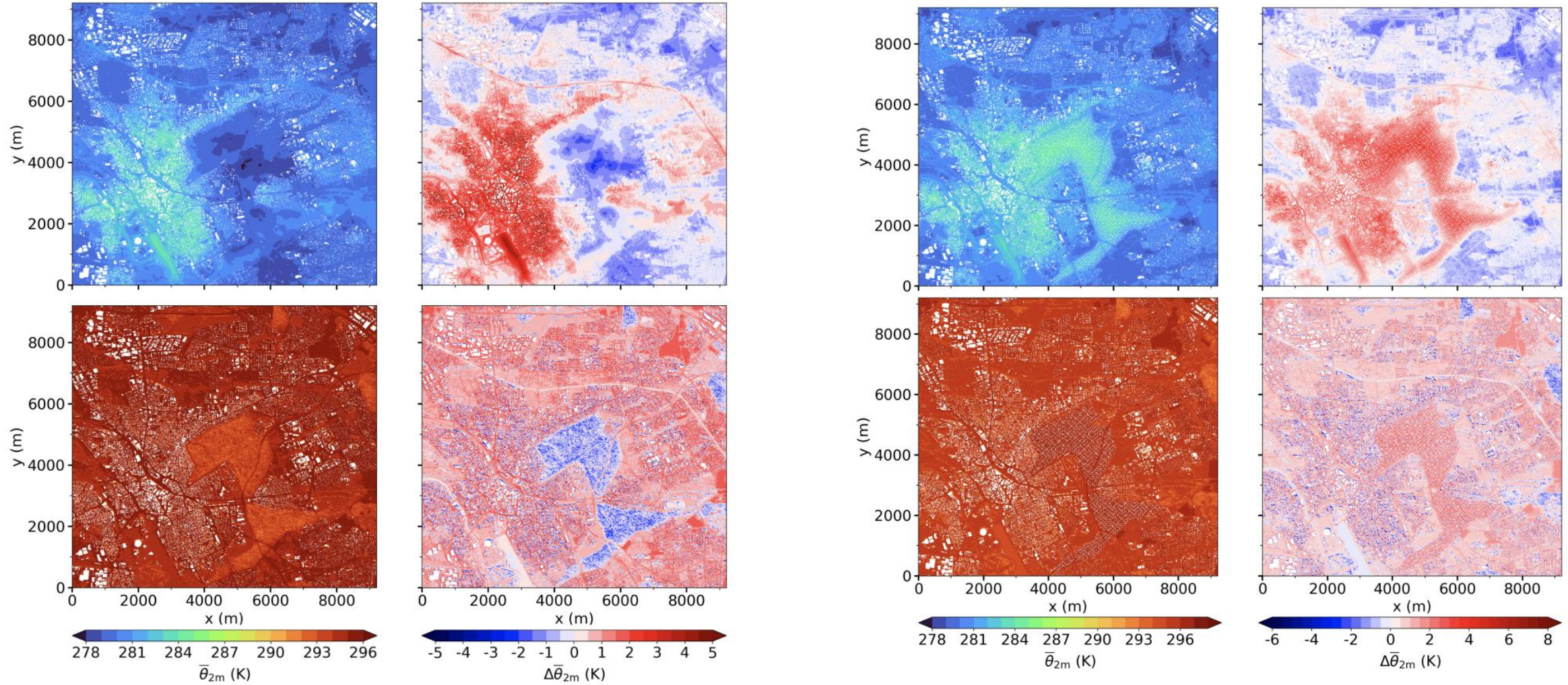


Wofür wir PALM verwenden – Building Retrofitting

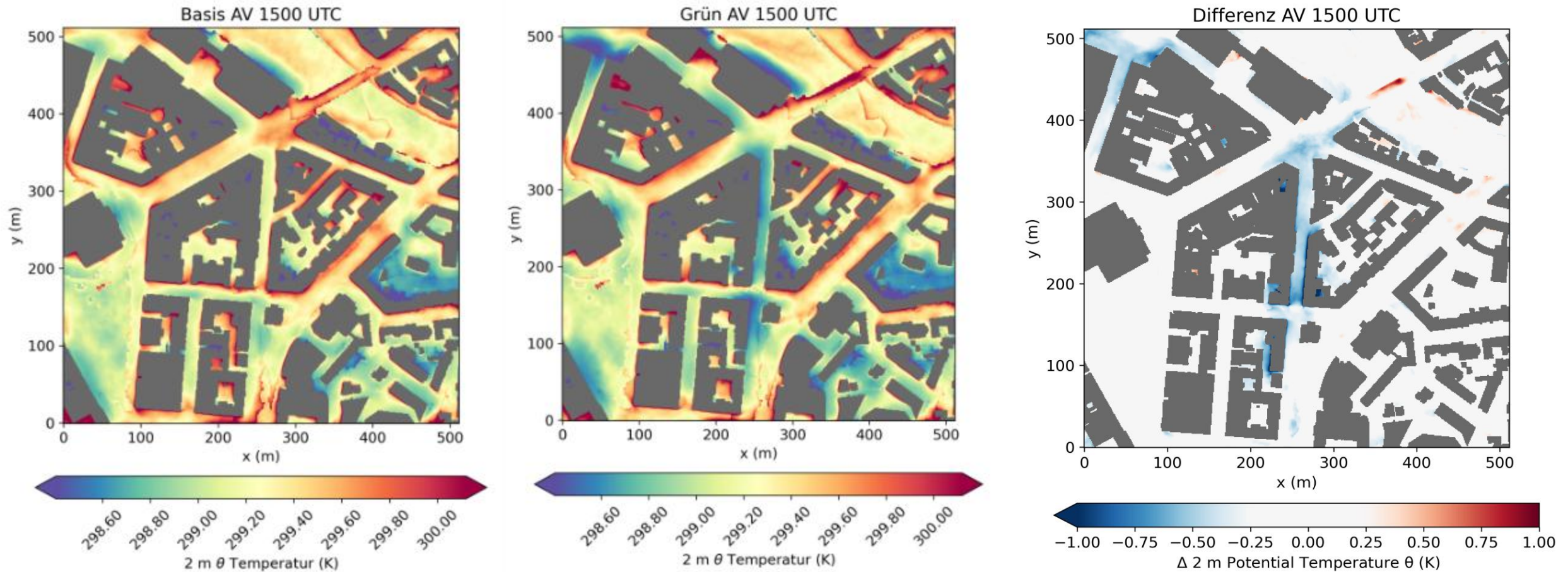
Maronga, B., M. Winkler, and D. Li, 2022: Can Areawide Building Retrofitting Affect the Urban Microclimate? An LES Study for Berlin, Germany. J. Appl. Meteor. Climatol., 61, 800–817, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-21-0216.1>.



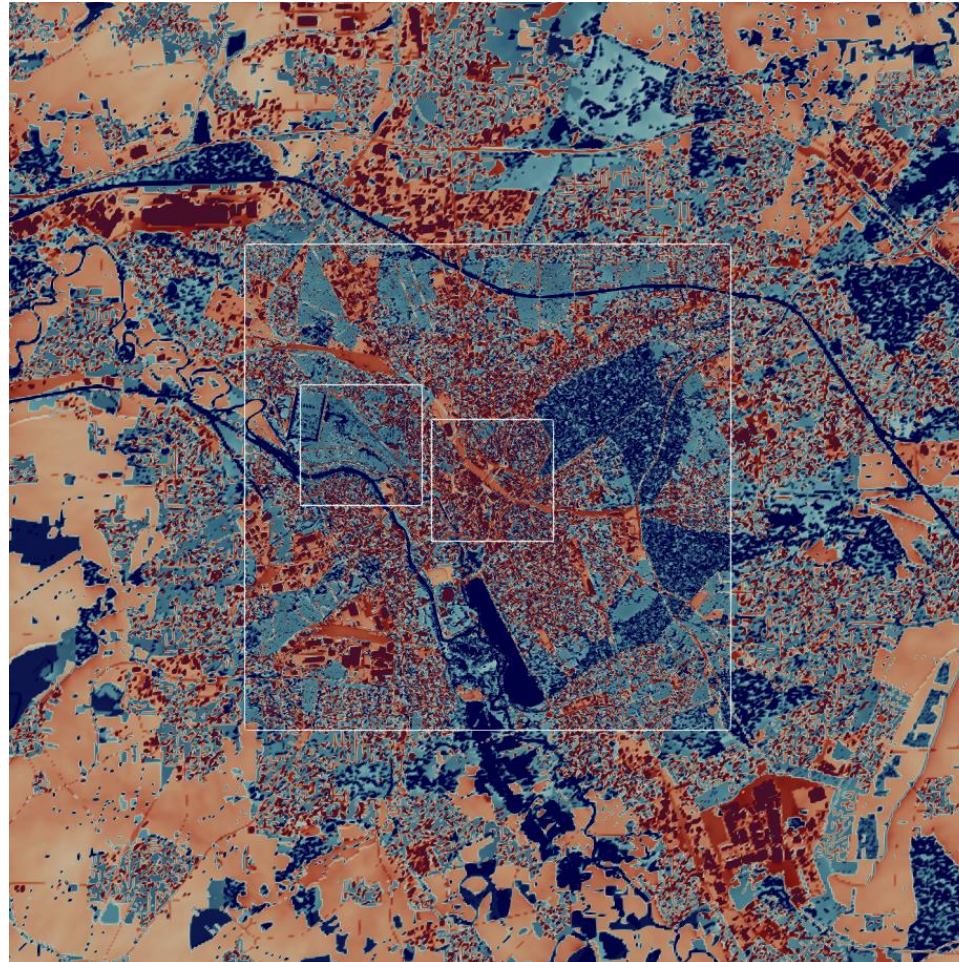
Wofür wir PALM verwenden - Stadtwald



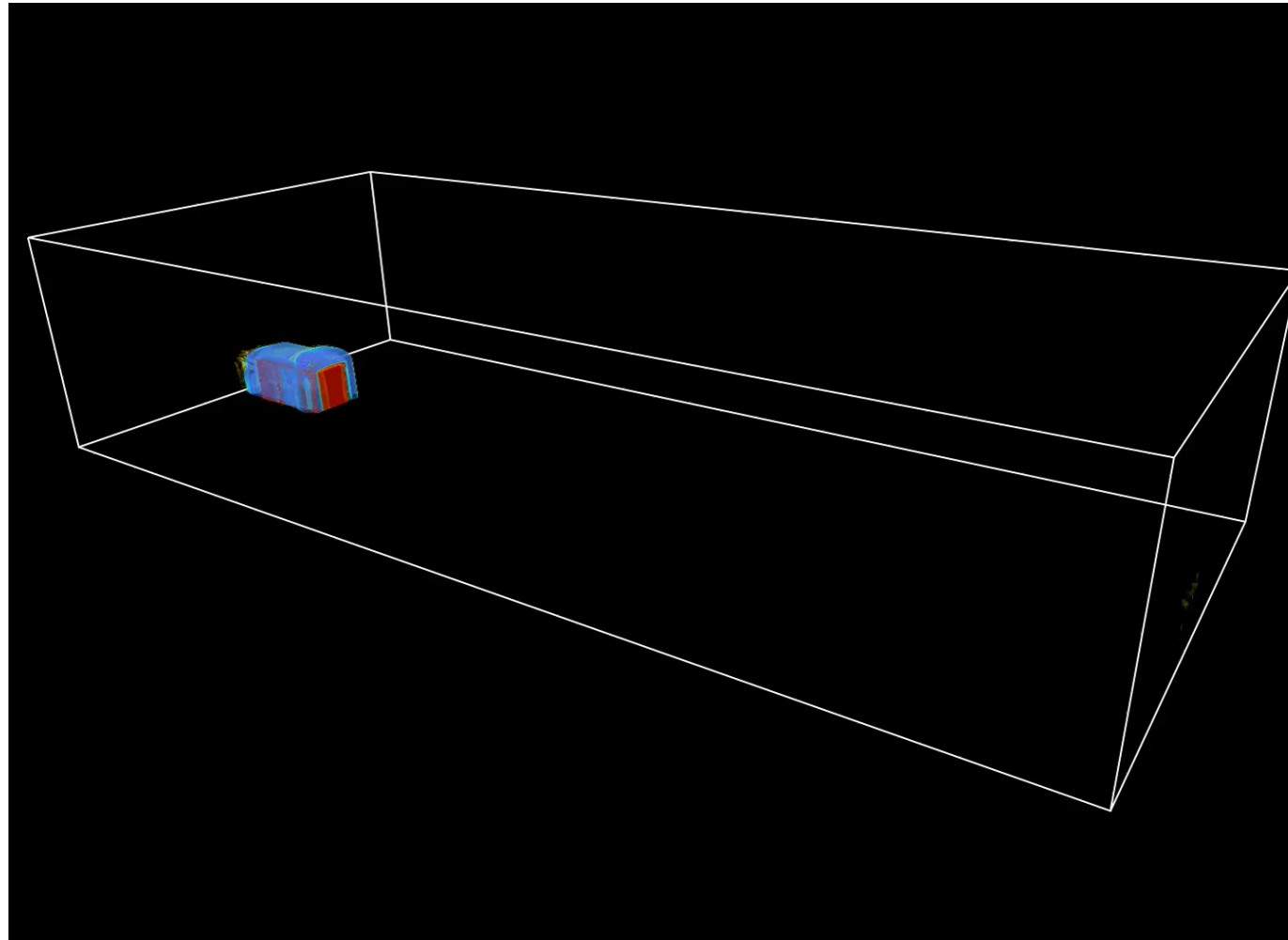
Laufende PALM Projekte - Fassadenbegrünung



Laufende PALM Projekte – 24h Vorhersage mit 4m Auflösung



Laufende PALM Projekte – Vehicle Induced Turbulence



Laufende PALM Projekte – Einfluss von PV auf das Mikroklima



Source: Andrew Glaser

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

