CFD Simulation von Kaltluftströmung Donaufeld, Wien





Document ID: Rheo2025041401

Kurzfassung und Interpretation der Simulationsergebnisse

- Im unverbauten Teil des Donaufeldes stellt sich in nahezu windstillen und wolkenlosen Nächten ein ausgeprägter, lokaler Kühleffekt ein. Auf Grund von Wärmeabstrahlung im unverbauten Gebiet, kombiniert mit Verdunstungskühlung von Böden und Vegetation (Evapotranspiration), beginnt nach Sonnenuntergang die Temperatur im Donaufeld schneller zu sinken als in benachbarten Stadtteilen mit höherem Versiegelungsgrad.
- Im Vergleich zu dicht bebauten Stadtteilen in der näheren Umgebung sind die bodennahen Lufttemperaturen in Teilen des Donaufelds im Verlauf der Nacht um 3,5 °C niedriger.
- Auf Grund der Orographie [Anm.: Höhenstruktur des Geländes] und Freiflächenstruktur in und um das Donaufeld ist der maximale Kühleffekt lokal begrenzt.
- Mangels signifikanter Geländeneigungen und relativ geringer Höhenunterschiede im betrachteten Gebiet sind die Kaltluftströmungen vergleichsweise langsam und deren Reichweite eingeschränkt. Bodennahe Hindernisse reduzieren die geringe Fliessgeschwindigkeit weiter.
- Die größten Temperaturunterschiede auf Grund der Kühlung unverbauter Flächen sind nach der Entfernung von etwa einem bis zwei Häuserblöcken wieder ausgeglichen und im Bereich der Temperaturen dicht bebauten Stadtgebietes.
- Auf Grund der sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten, ausgehend vom deutlich kühleren Donaufeld, ist die Reichweite der lokalen Kaltluftströme in kleineren, angrenzenden Gassen etwa einen Häuserblock und für breite Strassen maximal zwei Häuserblöcke.
- Die neuen Baufelder sind noch im Wirkungsbereich der vom Donaufeld ausgehenden Kaltluftströmungen und kühlere Luft umströmt die meisten Baufelder auf Fußgängerniveau (1,5m über Boden). Bereits einen Häuserblock südlich der neuen Baufelder, südlich vom Drygalskiweg, ist die Lufttemperatur um 2°C höher, im Vergleich zum zentralen Donaufeld.



Überblick der Simulationsgeometrie. Blick nach Norden.





Karte / Straßenplan, Quelle: wien.at/stadtplan (abgerufen: 20240322-1020) Die neuen Baufelder sind noch nicht im Plan erfasst.

Modell und Simulationsmethode

- Wir präsentieren Ergebnisse einer Kaltluftsimulation. Diese verwendet einen dichtebasierten, finite Volumen Navier-Stokes Gleichungslöser mit Turbulenzmodellierung (uRANS) und nutzt die CFD Softwarebibliothek OpenFOAM® Version v2412.
- Es wird eine instationäre (zeitabhängige) Simulation bis zur Einstellung des Strömungsgleichgewichtes durchgeführt. Die Simulation beginnt nach Sonnenuntergang. Es werden windstille und wolkenlose Bedingungen simuliert. Die Strömung wird durch Dichtegradienten angetrieben. Kaltluftentstehungszonen und die Orographie sind Eingabeparameter.
- Es handelt sich um ein 3D Simulationsmodell das auch in der Höhe vollständig simuliert (nicht modelliert) ist.
- Auswertung des instantanen Strömungsfeldes nach der Gleichgewichtseinstellung
- Zeitlich konstante Abkühlrate in den Kaltluftentstehungszonen
- Datenquellen Topographiedaten: BEV LiDAR Digital Terrain Model, BEV LiDAR Digital Surface Model, Häuser und Straßen: Openstreetmap, Optische Satellitendaten: Google Inc., segmentierte Vegetationszonen: eigene Arbeit, Baukörper der neuen Baufelder: modelliert nach öffentlich zugänglichen Plänen und Publikationen.
- Wälder und Baumgruppen sind als räumlich aufgelöste Vegetationszonen und mit entsprechenden Strömungswiderständen modelliert.
- Wiesen und Freiflächen sind von dichter bebauten Flächen segmentiert und die lokalen Abkühlraten entsprechend modelliert.
- Das gesamte Simulationsgebiet ist lateral mit $\Delta=3$ m aufgelöst.
- Modellierung der turbulenten, atmosphärischen Grenzschicht mit einem für atmosphärische Grenzschichten angepassten $k-\epsilon$ Turbulenzmodell
- Bodennahe räumliche Modellauflösung: lateral $\Delta_{x,y}=3,0$ m, vertikal $\Delta_z=1,2$ m
- Ausdehnung des simulierten Bereichs: 2,8 x 2,8 km² mit dem Donaufeld im Zentrum

Definition des Kaltlufttransportes

$$c = U \cdot \Delta T$$
 $\Delta T = T - T_r$

c ... Kaltlufttransport (Km/s)

U ... lokale Strömungsgeschwindigkeit (m/s)

 ΔT ... Temperatur
differenz der lokalen Temperatur (T) zur Referenztemperatur (T_r) (K)

Auswertung

Die Luftströmung wurde auf 1,5 m über Bodenniveau ausgewertet. Im folgenden dargestellte Größen sind 1) die Abweichung der thermodynamischen Lufttemperatur von einem im Simulationsgebiet gewählten Bezugswert, 2) die Strömungsgeschwindigkeit und 3) der Kaltlufttransport.



Visualisierung der Simulationsergebnisse





Temperatur
verteilung auf $1,5\,\mathrm{m}$ über Bodenniveau

-4,0°C kühler

+0,0 °C wärmer

Dunkelrote Bereiche entsprechen der Referenztemperatur für dicht bebautes, städtisches Gebiet.





Strömungsgeschwindigkeit auf 1,5 m über Bodenniveau

 $0\,\mathrm{m/s}$



Kaltlufttransport 1,5 m über Bodenniveau



0,0

 $1,0 \; ({\rm Km/s})$



Kaltlufttransport 1,5 m über Bodenniveau mit Strömungsrichtung

Die Geschwindigkeitsvektoren sind 1,5 m über Boden platziert und skaliert nach Strömungsgeschwindigkeit.

Literatur

- [1] Wossenu Abtew and Assefa Melesse. Evaporation and Evapotranspiration Measurements and Estimations. Springer, 2013.
- [2] Farshid Aram, Ester Higueras García, Ebrahim Solgi, and Soran Mansournia. Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4):e01339, April 2019.
- [3] Mairgareth A. Caird, James H. Richards, and Lisa A. Donovan. Nighttime stomatal conductance and transpiration in c3 and c4 plants. *Plant Physiology*, 143:4–10, 2007. Copyright 2007 American Society of Plant Biologists.
- [4] Silvina Dayer, José Carlos Herrera, Zhanwu Dai, Régis Burlett, Laurent J. Lamarque, Sylvain Delzon, Giovanni Bortolami, Hervé Cochard, and Gregory A. Gambetta. Nighttime transpiration represents a negligible part of water loss and does not increase the risk of water stress in grapevine. *Plant Cell Environ.*, 44:387–398, 2021.
- [5] Martial Haeffelin, Jean-François Ribaud, Jonnathan Céspedes, Jean-Charles Dupont, Aude Lemonsu, Valéry Masson, Tim Nagel, and Simone Kotthaus. Impact of boundary layer stability on urban park cooling effect intensity. Atmospheric Chemistry and Physics, 24(24):14101–14122, December 2024.
- [6] Cor Jacobsa, Lisette Kloka, Michael Brusec, João Cortesãod, Sanda Lenzholzerd, and Jeroen Klucka. Are urban water bodies really cooling? *Urban Climate*, 2020.
- [7] Tomoki Kiyono, Takashi Asawa, Akira Hoyano, and Katsuya Shimizu. Weighing whole tree transpiration rate of urban trees and analysis of trees morpho-physiological effects. In ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12 th Symposium on the Urban Environment.
- [8] Esmaiel Malek. Night-time evapotranspiration vs. daytime and 24 hour evapotranspiration. Journal Of Hydrology, 138:119–129, 1991.
- [9] Sam Miller. Applied Thermodynamics For Meteorologists. Cambridge University Press, 2015.
- [10] Viliam Novák. Evapotranspiration in the Soil-Plant-Atmosphere-System. Springer, 2012.
- [11] Klaus Reichardt and Luís Carlos Timm. Soil, Plant and Atmosphere. Springer, 2020.
- [12] Jonas Schwaab, Ronny Meier, Gianluca Mussetti, Sonia Seneviratne, Christine Bürgi, and Edouard L. Davin. The role of urban trees in reducing land surface temperatures in european cities. *Nature communications*, 2021.
- [13] Rachel A. Spronken-Smith. Energetics and Cooling in Urban Parks. PhD thesis, The University of British Columbia, 1994.
- [14] G. Sun, J.-C. Domec, and D.M. Amatya. chapter Forest Evapotranspiration: Measurement and Modelling at Multiple Scales, pages 32–50. This chapter is in the public domain. Forest Hydrology: Processes, Management and Assessment (eds D.M. Amatya, T.M. Williams, L. Bren and C. de Jong).
- [15] Y. Toparlar, B. Blocken, B. Maiheu, and G. J. F. van Heijst. The effect of an urban park on the microclimate in its vicinity: a case study for antwerp, belgium. *International Journal of Climatology*, 38(S1), December 2017.
- [16] Y. Toparlar, B. Blocken, B. Maiheu, and G. J. F. van Heijst. A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80:1613–1640, 2017.
- [17] Yuting Yang. Evapotranspiration Over Heterogeneous Vegetated Surfaces. Springer, 2015.
- [18] Yohannes Yihdego and John A. Webb. Comparison of evaporation rate on open water bodies: energy balance estimate versus measured pan. *Journal of Water and Climate Change*, 9(1), 2018.

Rheologic

Rheologic GmbH Liniengasse 40/12 1060 Wien

andras.horvath@rheologic.at www.rheologic.at +43 699 819 032 36

Data attribution and licences:

OpenFOAM licence: GPLv3. http://www.gnu.org/licenses/quick-guide-gplv3.html

Produced using Copernicus WorldDEM-30 © DLR e.V. 2010-2014 and © Airbus Defence and Space GmbH 2014-2018 provided under COPERNICUS by the European Union and ESA; all rights reserved.

The activities of Rheologic GmbH are not officially endorsed by the Provider, the Licensor or any other legal entities in charge of the Copernicus programme or the delivery of Copernicus data and information under the Copernicus programme.

Generated using Copernicus Climate Change Service information.

Carver, Robert W, and Merose, Alex. (2023): ARCO-ERA5: An Analysis-Ready Cloud-Optimized Reanalysis Dataset. 22nd Conf. on AI for Env. Science, Denver, CO, Amer. Meteo. Soc, 4A.1,

https://ams.confex.com/ams/103ANNUAL/meetingapp.cgi/Paper/415842

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut, J-N. (2017): Complete ERA5: Fifth

generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service (C3S) Data Store (CDS).

Hersbach et al, (2017) was downloaded from the Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store. We thank C3S for allowing us to redistribute the data.

The results contain modified Copernicus Climate Change Service information 2022. Neither the European Commission nor ECMWF is responsible for any use that may be made of the Copernicus information or data it contains.

 $\label{eq:openStreetMap} \begin{array}{l} \hline \mbox{OpenStreetMap}(\ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open data, licensed under the Open Data Commons Open Database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF).$ $https://www.openstreetmap.org/copyright \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF). \\ \ensuremath{\mathbb{R}}\xspace$) is open database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF) by the OpenStreetMap Foundation (O$

Stadtplan Wien licence: CC-BY-4.0 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Austrian Federal Office of Metrology and Surveying) data licence: CC-BY-4.0 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Google satellite data imagery attribution. This work includes data from: - Google - Airbus, - Maxar Technologies - CNES / Airbus - Geoimage Austria - Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO - TerraMetrics - Data LDEO-Columbia, NSF, NOAA, Imagery from the dates: 2004–2024