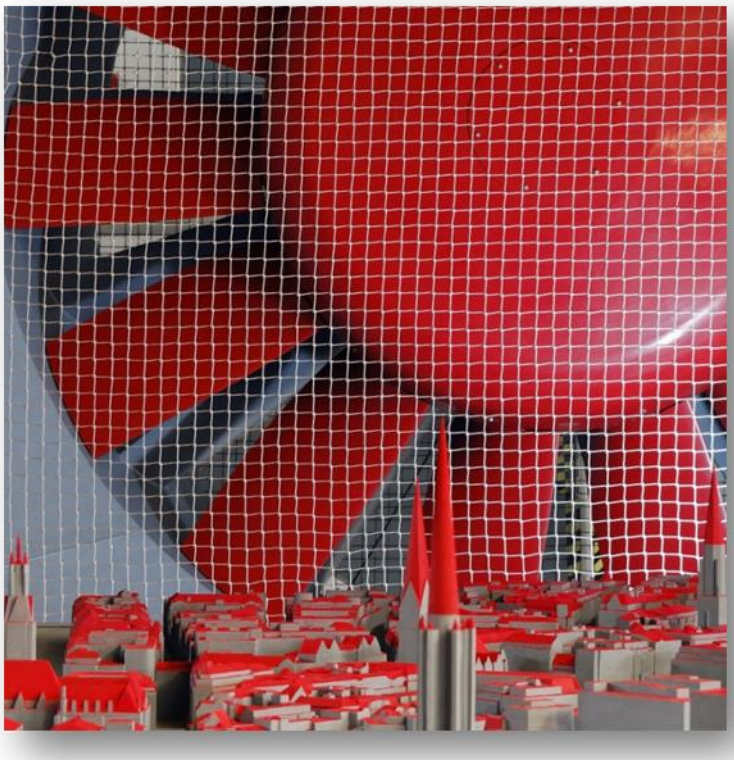
Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

METTOOLS XI

Meteorologisches Institut der Universität Hamburg
21.-23. September 2021

Tagungsprogramm und Kurzfassungen der Beiträge



DMG
Deutsche Meteorologische Gesellschaft

… ein herzliches Willkommen!

Die METTOOLS Tagungsreihe wird vom Fachausschuss Umweltmeteorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft koordiniert. In diesem Jahr wird die Veranstaltung vom Meteorologischen Institut am Centrum für Erdsystemwissenschaften und Nachhaltigkeit der Universität Hamburg organisiert.

Die METTOOLS XI war unter schwierigen Randbedingungen zu planen und wird erstmalig als Online-Veranstaltung realisiert. Trotz der organisatorischen Widrigkeiten erwarten uns erneut viele interessante Beiträge aus Praxis und Forschung. Dank Ihrer aktiven Unterstützung ist die Zahl der angemeldeten Teilnehmer groß und wir können uns über viele „neue“ Kolleginnen und Kollegen freuen.

Die Veranstaltungsreihe behandelt aktuelle umweltmeteorologische Fragestellungen und wendet sich an alle Akteur:innen in diesem Themenfeld. Sie soll eine Brücke bilden zwischen umweltmeteorologischer Forschung und Praxis. Neben der Vorstellung neuer Forschungsergebnisse bietet die Tagung die Möglichkeit zum breiten fachlichen Austausch zwischen den im Bereich Umweltmeteorologie tätigen Gutachter:innen und Expert:innen, Vertreter:innen von Behörden und Verbänden und Wissenschaftler:innen.

Auch wenn Kontakt und Erfahrungsaustausch im Rahmen einer digitalen Veranstaltung vielleicht etwas schwieriger sind als im Rahmen einer Präsenzveranstaltung, möchte ich alle Teilnehmenden bitten, sich aktiv an der Tagung zu beteiligen. Die METTOOLS XI ist ein „Community Effort“ und nur gemeinsam können wir den fachlichen Austausch in unserem Arbeitsbereich Umweltmeteorologie fördern. Für Ihre aktive Teilnahme danke ich Ihnen im Namen aller Akteur:innen und Teilnehmer:innen!

Herzliche Grüße, Ihr

Prof. Dr. Bernd Leitl
Vorsitz DMG Fachausschuss Umweltmeteorologie

<u>Anmerkungen zum digitalen Tagungsband:</u>
Das Tagungsprogramm mit Startzeiten der Beiträge ist für jeden der drei Veranstaltungstage einzeln den Fachbeiträgen vorangestellt.
Die Beiträge sind entsprechend der Reihenfolge im Tagungsprogramm zusammengestellt.
Beiträge junger Kolleg:innen, die am Wettbewerb um den Vortrags- und Posterpreis der DMG Nachwuchswissenschaftler:innen teilnehmen, sind im Tagungsprogramm mit (NW) markiert.
Die Fachbeiträge sind in den folgenden 4 Themengruppen zusammengefasst:

A: Umweltmeteorologische Messungen
B: Umweltmeteorologische Modellierung und Simulation
C: Umweltmeteorologische Probleme und Anwendungen in der Praxis
D: Datenmanagement in der Umweltmeteorologie

Inhaltsverzeichnis

Tagungsprogramm – Dienstag, 21.09.2021 **1**

Agnes Straaten, Stephan Weber: **3**
Auswirkungen des ersten deutschlandweiten COVID-19 Lockdowns auf größenklassifizierte Partikelflüsse in Berlin

Felix Ament, Bastian Kirsch, Milica Stankovic: **5**
FESST@HH HomeOffice Kampagne - Einblicke durch ein dichtes Stationsmessnetz in die Struktur des urbanen Lufttemperaturfelds

Uta Moderow, Valeri Goldberg, Astrid Ziemann, Marie-Luise Baldin, Lena Grossmann, Heidi Sinning, Christian Bernhofer: **7**
Thermische Belastung des Menschen in unterschiedlichen Strukturen - Ergebnisse aus Rucksackmessungen in einem Gründerzeitviertel

Markus Sulzer, Andreas Christen, Andreas Matzarakis: **9**
MoBiMet – Echtzeit-Monitoring zur Charakterisierung von thermischen Belastungssituationen an Arbeitsplätzen

Jan Konopka, Stephan Weber: **11**
Kohlenstoffaustausch eines extensiven Gründachs – Ergebnisse einer 5-jährigen Eddy-Kovarianz Untersuchung

Sascha Henninger, Christian Ihrig: **13**
Klimawandel im Weinbau – das Intermezzo im Unterstockbereich

Ronald Queck, Valeri Goldberg: **15**
Stadtklima auf der Mikroskale - Vergleich einer numerischen Simulation mit mobilen Messungen

Achim Holtmann, Ute Fehrenbach, Tom Grassmann, Fred Meier, Dieter Scherer, Benjamin Schmidt: **17**
Validierung des Stadtklimamodells PALM-4U: Methoden zur Ermittlung der Modellgenauigkeit

Umar Javed, Robert Wegener, René Dubus, Renate Forkel, Matthias Sühring, Franz Rohrer, Dieter Klemp: **18**
Validation of the photochemistry in the urban microscale model PALM-4U

Tobias Gronemeier, Kerstin Surm, Frank Harms, Bernd Leitl, Björn Maronga, Siegfried Raasch: **19**
Evaluierung des Modells PALM 6.0 im Bereich der städtischen Grenzschicht: Vergleich zwischen LES und Windkanalmessungen

Benedikt Seitzer, Bernd Leitl, Frank Harms: **21**
Der Einfluss von Fassadenrauigkeiten auf die wandnahe Turbulenzmodellierung mittels Windkanalexperimenten und Large-Eddy Simulationen in Stadtklima-modellen

Björn Maronga, Matthias Winkler, Dan Li: **23**
Welchen Einfluss haben Gebäudesanierungen auf das städtische Mikroklima? Eine LES-Studie für einen Stadtteil in Berlin

Poster-Beiträge

Holger Gerwig, Klaus Wirtz, Pia Hellebrandt, Hermann Jakobs, Ulf Janicke, Matthias Ketzel, Wolfram Schmidt und Helmut Lorentz: **25**
Modellierung von Ultrafeinpartikeln am und um den Flughafen Frankfurt a. M.

Armin Raabe, P. Holstein, G. P. Rodrigues, J.C. de Araujo: **27**
Direkte Messung des Tagesgangs der Verdunstung einer freien Wasserfläche

Gabriele Rau, Kathrin Baumann-Stanzer, Werner Knauder, Martin Piringer, Günther Schauberger, Alexander Hieden, Marlon Brancher, Ivonne Anders, Konrad Andre: **29**
Schutzabstandsberechnungen zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen unter Berücksichtigung des Klimawandels

Kathrin Baumann-Stanzer, Sirma Stenzel, Christian Maurer, Alexander Hieden, Christian Derler, Harald Lernbeiß, Bernhard Jandl-Scherf, Peter Mohr, Günter Kemminger: **31**
Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von ABC Gefahrenstoffen

Constanze Reinken, Christine Kaufhold, Felix Herz, Pablo Sebastia Saez, Niklas Anczykowski and Christian Dix: **33**
Vertical momentum flux measurements at an 80-m tall building in Hamburg - How does the wind behave at vertical walls?

Christ, S., Kowalczyk, L., Sampaio, F. and Wu, Y: **35**
Predicting surface temperatures at a vertical wall of a high-rise building in Hamburg

Lazemi L., Bath, O., Birmili, W., Flentje, H., Gerwig, H., Bastian, S., Meinhardt, F., Schwerin, A., Wiedensohler, A.,Wirtz, K., Weber, S.: **36**
Aerosol Signature Size Distributions: Comparison of different clustering methods applied to data from the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN)

Valeri Goldberg, Jule Morgenroth, Jonathan Müller, Astrid Ziemann: **38**
Einfluss der Umgebung eines Fließgewässers auf das urbane Mikroklima: Messungen und Modellsimulationen am Geberbach in Dresden

Ines Langer, Alexander Pasternack, Henning W. Rust und Uwe Ulbrich: **40**
Messungen der 2m Temperatur zur Evaluierung von PALM-4U

Alexander Pasternack, Ines Langer, Henning W. Rust und Uwe Ulbrich: **42**
Statistische Modellierung von Feuerwehreinsätzen für extreme Niederschlags-ereignisse über Berlin

Tagungsprogramm - Mittwoch, 22.09.2021 **43**

Volker Matthias, Markus Quante, Jan A. Arndt, Ronny Badeke, Lea Fink, Ronny Petrik, Josefine Feldner, Daniel Schwarzkopf, Eliza-Maria Link, Martin O.P. Ramacher, Ralf Wedemann: **45**
Luftqualität in Zentraleuropa während des COVID-19 Lockdowns: Einfluss von Emissionsänderungen

Ronny Petrik, Volker Matthias, Markus Quante, Jan A. Arndt, Ronny Badeke, Lea Fink, Josefine Feldner, Daniel Schwarzkopf, Eliza-Maria Link, Martin O.P. Ramacher, Ralf Wedemann: **47**
Luftqualität in Zentraleuropa während des COVID-19 Lockdowns: Welche Rolle spielt die Atmosphärendynamik?

Martin Schneider, André Glücksmann: **48**
Optimierung mesoskaliger Windfeldsimulationen für die Windenergie
Neue Anwendungen und Vorteile

Marita Boettcher, Finn Burgemeister, Karolin S. Ferner, K. Heinke Schlünzen: **50**
Fortschritt in Richtung Modellierung von Regenheterogenität in urbanen Gebieten

Abdul Samad, Ninoska Alejandra Caballero Arciénega, Talal Alabdallah, Ulrich Vogt: **51**
Application of urban climate model PALM-4U to investigate pollutant distribution in Stuttgart

Margarita Skoryi, Dr. Saskia Buchholz: **52**
Analyse der thermischen Wirkung von Dachbegrünung mittels Stadtklima-modellierung am Beispiel der Stadt Essen

Rainer Kunka und Frank-Christian Zacharias: **54**
Methodik zur Überprüfung von Standorten der Luftmessstationen gemäß 39. BImSchV

Akio Hansen, Felix Ament: **56**
Evaluation von Wind und Turbulenz in realistischen, mehrtägigen Large Eddy Simulationen mit PALM-4U

Henry Plischka, Johann Turnow, Nikolai Kornev: **58**
Large Eddy Simulation der Gasausbreitung in einem vereinfachten Gebäudekomplex mit synthetisch erzeugten Windfeldern

W. Kuttler und L. Katzschner: **59**
Stadtklimamanagement –anwendungsorientierte Daten für die Stadtplanung

Schlünzen, K. Heinke, Bangert, Max, Müller, Wolfgang J., Trukenmüller, Alfred, Fröhling, Catharina, Nickel-Kuhn, Julia, Pellmann, Anna: **61**
Verbindung von Wissenschaft und Praxis – Normen in der Umweltmeteorologie

Benjamin Schmidt, Tom Grassmann, Ute Fehrenbach, Achim Holtmann, Fred Meier, Dieter Scherer: **63**
Datenmanagement im [UC]²-Projekt - Ein praxisnaher Datenstandard und ein Datenmanagementsystem zur Interoperabilität von Klimamodell- und Observierungsdaten

Vivien Voss, K. Heinke Schlünzen, David Grawe: **65**
Entwicklung eines Datenstandards für mikroskalige Modellergebnisse

Angelika Heil, Andrea Lammert, Vivien Voss, K. Heinke Schlünzen: **66**
Workshop: Standardisierte, FAIRe und CF-konforme Veröffentlichung von Daten aus der Atmosphären- und Stadtklimaforschung

Tagungsprogramm - Donnerstag, 23.09.2021 **68**

Emeis, Stefan und Fallmann, Joachim: **69**
Stadtforschung, der schwierige Weg von der Erkenntnis zur Umsetzung

Trukenmüller, Alfred, Bangert, Max Jonas, Janicke, Ulf, Nickel-Kuhn, Julia, Pellmann, Anna: **71**
Umweltmeteorologie in der Verwaltungspraxis – VDI-Richtlinien der KRdL für die TA Luft 2021

Tobias Gronemeier, Christine Ketterer, Rainer Röckle: **73**
Praktische Anwendungen des mikroskaligen Stadtklimamodells PALM-4U im Bereich der Klimaanalyse

Astrid Ziemann, Valeri Goldberg, Andrea Chukwu, Uta Moderow: **75**
Ausprägung lokaler Wärmeinseln in Abhängigkeit von der Horizontüberhöhung: Modellsimulationen in Erfurt und Dresden

Günter Groß: **77**
Abschätzung des thermischen Komforts in Städten mit einem Agentenmodell

Yvonne Breitenbach, Volker Diegmann, Florian Tautz: **79**
Stadtweites Monitoring der Luftschadstoffbelastung mit Modellen

Cornelia Kalender, Ulf Winkelmann, Rüdiger Höffer: **81**
Experimentelle und numerische Modellierung eines bodennahen Ausbreitungs-geschehens innerhalb einer Gebäudegruppe

Simon Michel, Dr. Frank Harms, Prof. Dr. Bernd Leitl: **82**
Schwergasausbreitung von Gefahrenstoffen in industrieller Umgebung

Frank Harms, Bernd Leitl: **84**
Strength and weaknesses of reference data generated by state-of-the-art boundary layer wind tunnel measurements

Tagungsprogramm - Dienstag, 21.09.2021

09:00	Begrüßung Grußwort MI/CEN - Prof. Dr. Stefan Bühler Grußwort DMG - Prof. Dr. Clemens Simmer Hinweise zur Tagungsorganisation
09:30	**A01** - Straaten, A. (NW) Auswirkungen des ersten deutschlandweiten COVID-19 Lockdowns auf größenklassifizierte Partikelflüsse in Berlin
09:50	**A02** - Ament, F. FESST@HH HomeOffice Kampagne - Einblicke durch ein dichtes Stationsmessnetz in die Struktur des urbanen Lufttemperaturfelds
10:10	**A03** - Moderow, U. Thermische Belastung des Menschen in unterschiedlichen Strukturen - Ergebnisse aus Rucksackmessungen in einem Gründerzeitviertel
10:30	Pause
11:00	**A04** - Sulzer, M. (NW) MoBiMet – Echtzeit-Monitoring zur Charakterisierung von thermischen Belastungssituationen an Arbeitsplätzen
11:20	**A05** - Konopka, J. Kohlenstoffaustausch eines extensiven Gründachs – Ergebnisse einer 5-jährigen Eddy-Kovarianz Untersuchung
11:40	**A06** - Ihrig, Ch. (NW) Klimawandel im Weinbau - Das Intermezzo im Unterstockbereich
12:00	Pause
13:00	**A07** - Queck, R. Stadtklima auf der Mikroskale - Vergleich einer numerischen Simulation mit mobilen Messungen
13:20	**B01** - Holtmann, A. Validierung des Stadtklimamodells PALM-4U: Methoden zur Ermittlung der Modellgenauigkeit
13:40	**B02** - Javed, U. (Eng) Validation of the photochemistry in the urban microscale model PALM-4U
14:00	Pause

14:30	**B03** - Gronemeier, T. (NW) Evaluierung des Modells PALM 6.0 im Bereich der städtischen Grenzschicht: Vergleich zwischen LES und Windkanalmessungen
14:50	**B04** - Seitzer, B. (NW) Der Einfluss von Fassadenrauigkeiten auf die wandnahe Turbulenzmodellierung mittels Windkanalexperimenten und Large-Eddy Simulationen in Stadtklimamodellen
15:10	**B05** - Maronga, B. Welchen Einfluss haben Gebäudesanierungen auf das städtische Mikroklima? Eine LES-Studie für einen Stadtteil in Berlin
15:30	Pause
16:00	Poster – Forum **P1** Gerwig, H.: Modellierung von Ultrafeinpartikeln am und um den Flughafen Frankfurt a. M. **P2** Raabe, A.: Direkte Messung des Tagesgangs der Verdunstung einer freien Wasserfläche **P3** Rau, G.: Schutzabstandsberechnungen zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen unter Berücksichtigung des Klimawandels **P4** Baumann-Stanzer, K.: Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von ABC Gefahrenstoffen **P5** Dix. Ch.: Vertical momentum flux measurements at an 80-m tall building in Hamburg - How does the wind behave at vertical walls? (Eng) (NW) **P6** Wu, Y.: Predicting surface temperatures at a vertical wall of a high-rise building in Hamburg (NW) **P7** Lazemi, L.: Aerosol Signature Size Distributions: Comparison of different clustering methods applied to data from the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) (NW) **P8** Goldberg, V.: Einfluss der Umgebung eines Fließgewässers auf das urbane Mikroklima: Messungen und Modellsimulationen am Geberbach in Dresden **P9** Langer, I.: Messungen der 2m Temperatur zur Evaluierung von PALM-4U **P10** Pasternack, A.: Statistische Modellierung von Feuerwehreinsätzen für extreme Niederschlagsereignisse über Berlin
17:30	Umweltmeteorologie am Meteorologischen Institut der Universität Hamburg Live-Beiträge aus den Arbeitsbereichen Atmosphärenmessungen und Prozessmodellierung Technische Meteorologie / Windkanallabor
	Ende des Veranstaltungstages ca. 18:00 Uhr

Auswirkungen des ersten deutschlandweiten COVID-19 Lockdowns auf größenklassifizierte Partikelflüsse in Berlin

Agnes Straaten, Stephan Weber

Klimatologie und Umweltmeteorologie, Institut für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig

Der Ausbruch der weltweiten Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 hatte in vielen Ländern einen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lockdown mit Schließungen von Schulen, Kindertagesstätten, Einzelhandel und Co. sowie Kontaktbeschränkungen zur Folge, um das Ansteckungsgeschehen der Bevölkerung mit dem Virus SARS-CoV-2 zu verringern. Der damit verbundene Rückgang des Verkehrsaufkommens führte an vielen Orten der Welt zu einer Verbesserung der Luftqualität, insbesondere im Hinblick auf NO_2 (z.B. Gautam 2020; Lamprecht et al. 2021). Wie sich die Änderung der Verkehrsintensität als eine wichtige Partikelquelle jedoch auf städtische größenklassifizierte Partikelflüsse auswirkt, ist bisher unklar.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Stadtklima im Wandel“ ([UC]²) wurde im März 2017 eine Eddy-Kovarianz Messstation zur Bestimmung größenklassifizierter Partikelflüsse in Berlin errichtet. Die dort gemessenen größenklassifizierten Flüsse, basierend auf einem mehrjährigen und damit bisher einzigartigen Datensatz, zeigen sehr deutlich, dass das Untersuchungsgebiet netto eine Quelle von Partikeln mit einem dreijährigen mittleren Partikelfluss (F_{TNC}, 10 nm < D_p < 200 nm) von 1,19 x 10^8 m^{-2} s^{-1} darstellt (1,14 x 10^8 m^{-2} s^{-1} für ultrafeine Partikel (F_{UFP}), D_p < 100 nm; Zeitraum: 04/2017 – 03/2020).

Zur Untersuchung der COVID-19 Maßnahmen auf die größenklassifizierten Partikelflüsse wurden die Partikelmessdaten des Lockdown-Zeitraums (16. März 2020 bis 06. Mai 2020) denen der gleichen Zeiträume in den drei Referenzjahren (2017 – 2019) gegenüber gestellt. Eine vorherige Analyse der jeweiligen Quellbereiche im Untersuchungsgebiet beider Zeiträume zeigte sehr vergleichbare Quellflächen mit ähnlichen Anteilen an Landnutzungstypen, sodass eine gute Vergleichbarkeit der Messdaten hinsichtlich der COVID-19 Restriktionen gegeben ist. Erste Analysen zeigen eine deutliche, hoch signifikante Reduktion des mittleren F_{UFP} um - 33,2 % (- 33,9 % für F_{TNC}) bei einem Rückgang des Verkehrs in ähnlicher Größenordnung von - 37 % bzw. - 32 % an zwei nahgelegenen Verkehrszählstellen. Dabei wird eine Verschiebung der Häufigkeit von F_{UFP} im Lockdown von stärkeren Emissionsflüssen zu schwächeren Emissions- und Depositionsflüssen deutlich, so dass die Häufigkeit von Depositionsflüssen im Lockdown im Vergleich zum Referenzzeitraum generell zunimmt (Referenz: 5,7% vs. Lockdown: 8,9 %). Auch im mittleren Tagesverlauf größenklassifizierter Partikelflüsse werden die bereits beschriebenen Effekte sichtbar (Abb. 1). Diese Untersuchung verdeutlicht somit den starken Einfluss des KFZ-Verkehrs auf die Partikelflüsse an diesem Berliner Standort.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der erste wirtschaftliche und gesellschaftliche Lockdown im Jahr 2020 als Maßnahme zur Eindämmung der Corona-Pandemie, welcher mit einer deutlichen Reduktion der städtischen Verkehrsintensität in Berlin verbunden war, eine hoch signifikante Änderung in den größenklassifizierten Partikelflüssen zur Folge hatte. Diese Änderung von - 33,2 % im mittleren F_{UFP} ist vor allem durch eine Verschiebung der Häufigkeit von stärkeren Emissions- zu schwächeren Emissions- und Depositionsflüssen gekennzeichnet. Die Verkehrsintensität, welche an diesem Standort die Hauptquelle von UFP darstellt, ist somit

eine wichtige Stellschraube zur Verbesserung der Luftqualität hinsichtlich UFP und der damit einhergehenden Gesundheitsgefahren.

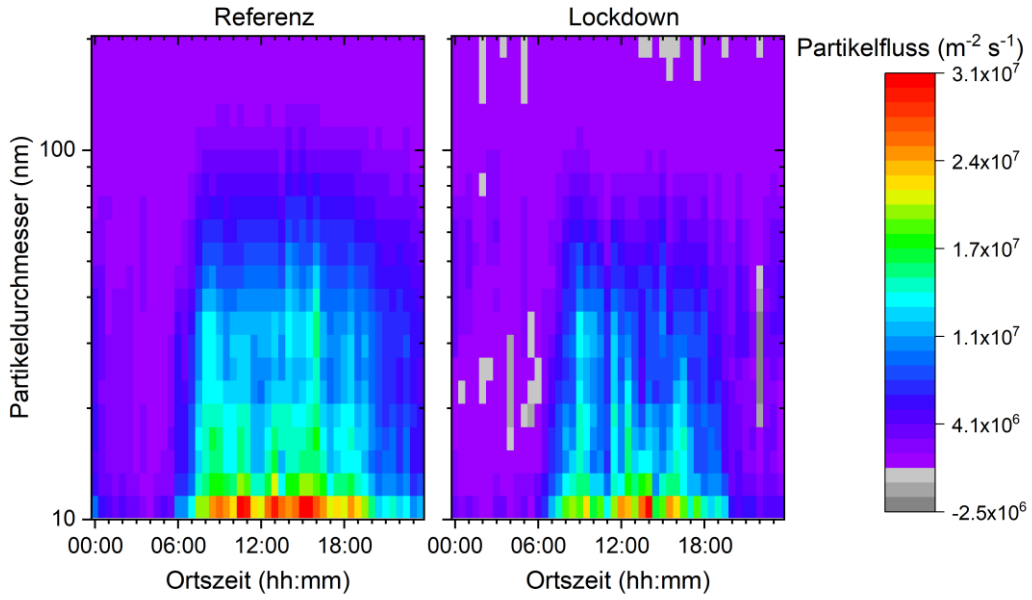


Abb. 1: Mittlerer Tagesgang größenklassifizierter Partikelflüsse für den Referenzzeitraum (links) und den Lockdownzeitraum (rechts).

Literatur

Gautam, Sneha (2020): COVID-19. Air pollution remains low as people stay at home. In *Air quality, atmosphere, & health*, pp. 1–5. DOI: 10.1007/s11869-020-00842-6.

Lamprecht, Christian; Graus, Martin; Striednig, Marcus; Stichaner, Michael; Karl, Thomas (2021): Decoupling of urban CO2 and air pollutant emission reductions during the European SARS-CoV-2 lockdown. In *Atmos. Chem. Phys.* 21 (4), pp. 3091–3102. DOI: 10.5194/acp-21-3091-2021.

FESST@HH HomeOffice Kampagne - Einblicke durch ein dichtes Stationsmessnetz in die Struktur des urbanen Lufttemperaturfelds

Felix Ament[1,2], Bastian Kirsch[1,2], Milica Stankovic[1]

1 Meteorologisches Institut, Universität Hamburg,
2 Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Viele für Anwender relevante, kleinräumige atmosphärische Prozesse wie Böenfronten oder Cold Pools (Kaltluftzellen) fallen durch die groben Maschen operationeller Messnetze der Wetterdienste mit typischen Stationsabständen von 30 km. Diesen blinden Fleck in der Submesoskala aufzuhellen, ist die Kernidee des FESSTVaL-Experiments (Field Experiment on submesoscale spatio-temporal variability in Lindenberg, www.fesstval.de), das vom Hans-Ertel-Zentrums des Deutschen Wetterdienstes initiiert wird. Die Hamburger Institute tragen mit einem dichten Netz aus rund hundert Messstationen zur erstmaligen Erfassung der raumzeitlichen Struktur von Cold Pools bei.

Die HomeOffice Kampagne FESST@HH ist im Sommer 2020 aus den Zwängen der Pandemiebedingungen entstanden, in der keine Forschungsreisen möglich waren. Dank Unterstützung vieler Freiwilliger ist es kurzfristig gelungen aus dem HomeOffice heraus ein dichtes Stationsmessnetz über dem Großraum Hamburg zu installieren (Abb. 1) und kontinuierliche Messungen von Mitte Juni bis Ende August 2020 zu betreiben. Dadurch ist – neben der Erfassung von Cold Pools – ein detaillierter, hochaufgelöster Datensatz zur Lufttemperaturverteilung in einem städtischen Gebiet entstanden.

Im ersten Teil der Präsentation werden wir die Messgeräte und die Messstrategie von FESST@HH vorstellen. Dabei bilden die auf Microcontroller-Basis selbstentwickelten APOLLO-Station (Autonomous Cold POoL LOgger) das Rückgrat der Kampagne. Sie zeichnen Lufttemperatur und Druck mit 1 Hz auf. Im Netzwerk werden diese 81 APOLLO-Stationen ergänzt durch 21 umfassend instrumentierte WXT-Stationen, an denen zusätzlich auch Wind, Luftfeuchte und Niederschlag erfasst wird.

Nach den technischen Grundlagen im ersten Teil betrachten wir exemplarische wissenschaftliche Ergebnisse der Kampagne. Dabei streifen wir nur kurz die beobachteten Cold Pools und fokussieren stärker auf urbane Effekte. Wir stellen die raumzeitliche Struktur der städtischen Wärmeinsel in der Lufttemperatur im Detail dar und gehen auf die Bedeutung der übergeordneten Wetterbedingungen, der Lage relativ zum Stadtkern und dem Einfluss der lokalen Bebauung ein. Zu dem quantifizieren wir im Netzwerk die Repräsentativität einer Einzelmessung. Diese wissenschaftlichen Auswertungen zeigen die Bandbreite der Anwendungen des aufbereiteten, qualitätskontrolliert und open-access publizierten Datensatzes (doi.org/10.25592/uhhfdm.8966) auf.

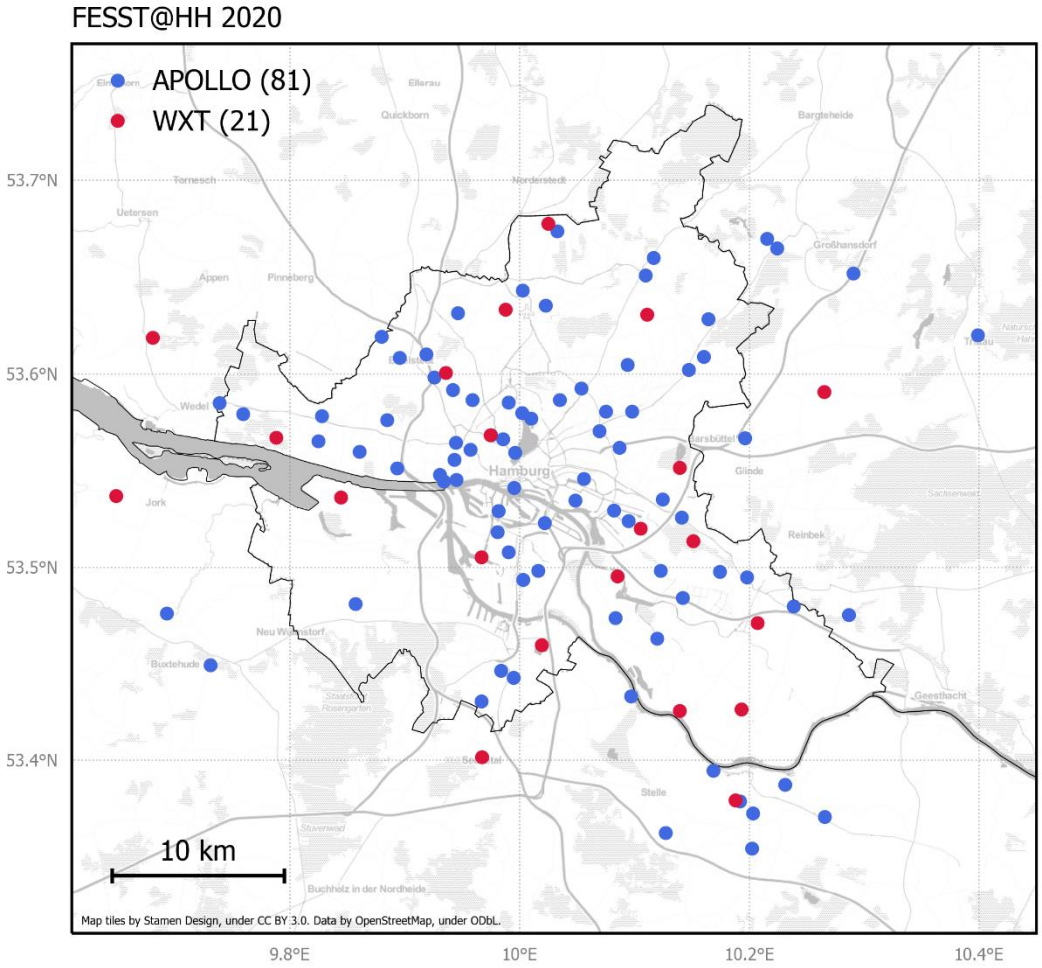


Abb. 1: Stationsnetzwerk während FESST@HH von Mitte Juni bis Ende August 2020.

Thermische Belastung des Menschen in unterschiedlichen Strukturen - Ergebnisse aus Rucksackmessungen in einem Gründerzeitviertel

Uta Moderow[1], Valeri Goldberg[1], Astrid Ziemann[1], Marie-Luise Baldin[2], Lena Grossmann[2], Heidi Sinning[2], Christian Bernhofer[1]

[1]Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, [2]Institut für Stadtforschung, Planung und Kommunikation der Fachhochschule Erfurt

Die klimatischen Wirkungen unterschiedlicher Stadtstrukturen auf das thermische Wohlbefinden des Menschen sind grundsätzlich bekannt (Mayer und Höppe 1987; Goldberg et al. 2013; Jamei und Rajagopalan 2019). Jedoch sind Messungen hierzu im urbanen Raum entlang verschiedener Stadtstrukturen, um deren Effekte im Tagesverlauf zu erfassen, eher unterrepräsentiert.

Um diese Lücke zu schließen, gab es in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Projekte und Initiativen. Die Messungen, die diesem Beitrag zugrunde liegen, wurden im Rahmen des Projekts HeatResilientCity (www.heatreslientcity.de) vorgenommen. Ziel war es, die Wirkung urbanen Grüns als auch grauer Strukturen in verschiedenen Umgebungen messbasiert zu erfassen, um die Wirksamkeit möglicher Anpassungsmaßnahmen an Hitze auch quantitativ beurteilen zu können. Zum anderen sollten Vergleichsdaten für die Stadtklimamodellierung erhoben werden. Aus diesem Anlass wurden Messgänge mit einem Messrucksack vorgenommen, um die Entwicklung meteorologischer Größen (Strahlung, Feuchte, Lufttemperatur, Wind) und die daraus resultierende thermische Belastung des Menschen entlang unterschiedlicher Stadtstrukturen zu erfassen. Dies erlaubte eine direkte und objektive Erfassung der Hitzebelastung eines Fußgängers mit einem typischen Weg durch ein Stadtquartier sowie die Einbeziehung markanter Punkte, um z.B. stark frequentierte Orte oder Einrichtungen mit vulnerablen Gruppen (z.B. Kindergärten) charakterisieren zu können. Darüber hinaus ist es mit diesen Messungen grundsätzlich möglich, in Quartieren Verlaufskontrollen zur Wirksamkeit von umgesetzten Anpassungsmaßnahmen an Hitze durchzuführen.

Abb. 1: Messgang mit Messrucksack im Rahmen des Projekts HeatResilientCity im Sommer 2019 (Foto: V. Goldberg)

Im Projekt HeatResilientCity wurden Rucksack-Messungen (Abb. 1) in zwei siedlungsstrukturell unterschiedlichen Stadtquartieren (industrieller Wohnungsbau der DDR in Dresden und Gründerzeitviertel in Erfurt) und an mehreren (sehr) warmen Tagen durchgeführt, sodass mit diesen auch Tagesgänge darstellbar sind. Von diesen Messungen stellen wir die Ergebnisse der Messungen in dem Gründerzeitviertel Erfurt vor, ergänzt um einen qualitativen Vergleich mit Mental Maps, in denen die Angabe der Bewohnenden bezüglich heißer Orte verortet wurde (vgl. Baldin und Sinning 2019).

Abbildung 2 zeigt die ausgewählten Strukturen für das Gebiet in Erfurt und die ermittelte

thermische Belastung des Menschen ausgedrückt als UTCI (Universal Thermal Climate Index; Jendritzky et al. 2012). Die Ergebnisse für beide Quartiere unterstreichen die Wichtigkeit und auch die Wirksamkeit von schattenwerfendem urbanen Grün für die Mitigation von Hitze. Straßenbäume in stark strahlungsexponierten Straßen sind wertvoll, da dadurch im Mittel der Hitzestress reduziert wird. Hingegen erhöhen helle Hausfarben die thermische Belastung für Fußgänger tagsüber erheblich, da diese durch die Strahlungsreflexion der Hauswände einer höheren Strahlungsbelastung ausgesetzt sind. Für Innenhöfe stellt sich eine Abhängigkeit von Gestaltung, Größe und umgebender Bebauung dar.

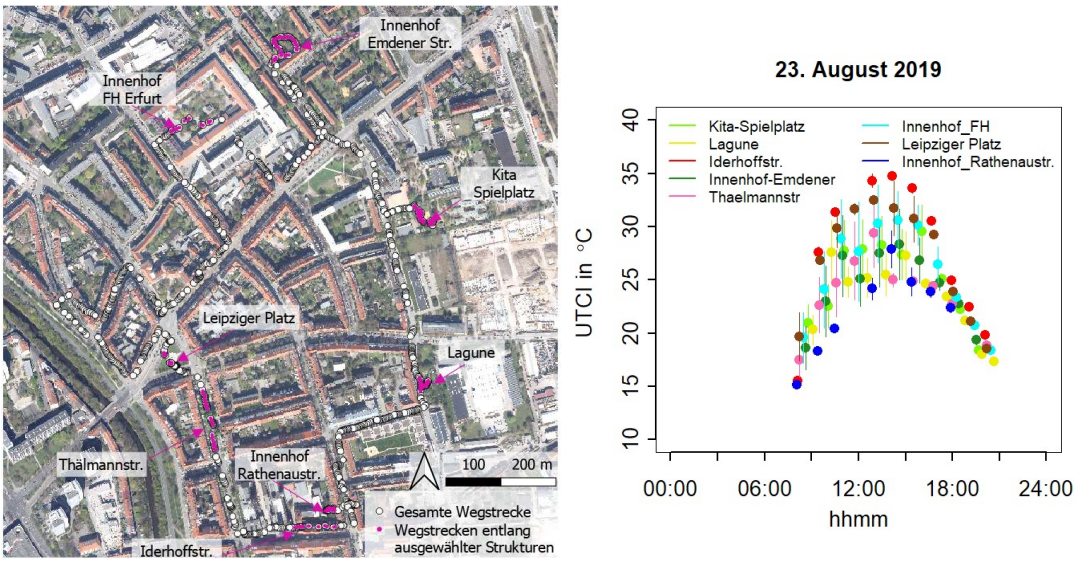


Abb. 2: Links: Lage der ausgewählten Stadtstrukturen im Gründerzeitviertel der Krämpfervorstadt in Erfurt, Hintergrund, Orthophoto aus dem Jahr 2019 (Quelle: GeoSN, dl-de/by-2-0). Rechts: UTCI im Tagesverlauf entlang der gekennzeichneten Strukturen, siehe linke Abb. Dargestellt ist der Mittelwert über den Zeitraum an dem die Struktur bemessen wurde (Punkt) und die zugehörige Standardabweichung (senkrechte Linie).

Literatur

Baldin, M.-L., Sinning, H.: HeatResilientCity, Hitzeresiliente Stadt- und Quartiersentwicklung in Großstädten, Ergebnisbericht zur Befragung 2018 in Erfurt, ISP-Schriftenreihe, Bd. 14, Erfurt. Abrufbar unter: https://www.fh-erfurt.de/fhe/fileadmin/Material/Institut/ISP/PDFs/Befragungsbericht_HeatResilientCity_ISP_Bd_14.pdf, 2019.

Goldberg, V., Kurbjuhn, C., and Bernhofer, C.: How relevant is urban planning for the thermal comfort of pedestrians? Numerical case studies in two districts of the City of Dresden (Saxony/Germany), 22, 739–751, 2013.

Jamei, E., Rajagopalan, P.: Effect of street design on pedestrian thermal comfort, Archit Sci Rev, 62, 92–111, https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1537236, 2019.

Jendritzky, G., Dear, R. de, and Havenith, G.: UTCI—Why another thermal index? Int J Biometeorol, 56, 421–428, https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7, 2012.

Mayer, H. and Höppe, P.: Thermal comfort of man in different urban environments, Theor Appl Climatol, 38, 43–49, https://doi.org/10.1007/BF00866252, 1987.

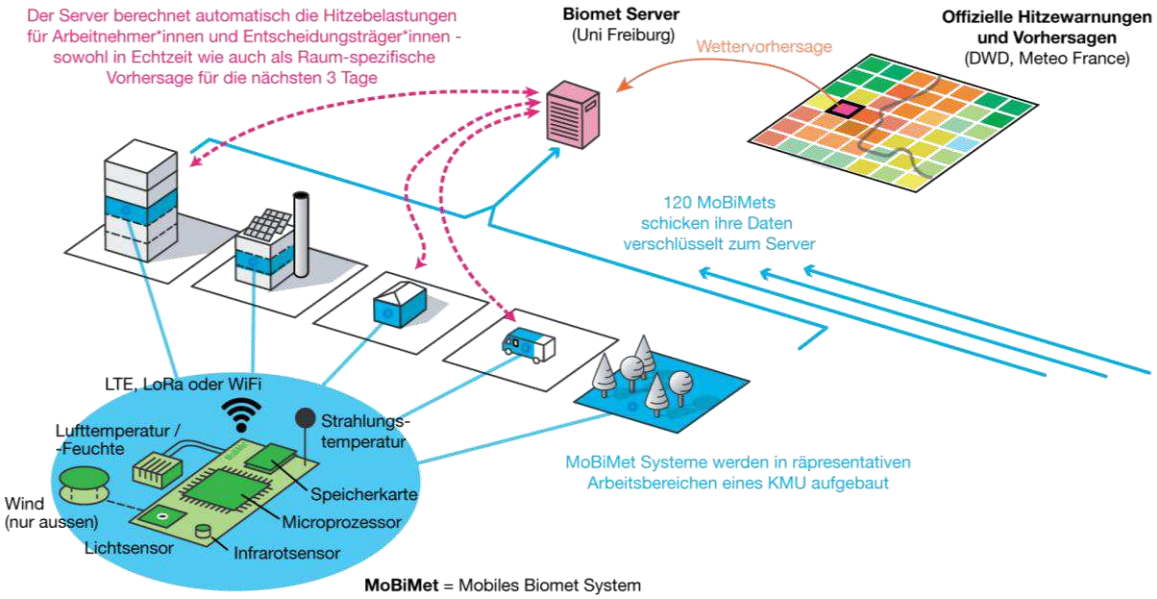
MoBiMet – Echtzeit-Monitoring zur Charakterisierung von thermischen Belastungssituationen an Arbeitsplätzen

Markus Sulzer[1], Andreas Christen1, Andreas Matzarakis[1,2]

[1]Professur für Umweltmeteorologie, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressource, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
[2]Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes

Der Klimawandel führt in Mitteleuropa zu einem häufigeren Auftreten von Hitzewellen, besonders belastet ist die Region südlicher Oberrhein. Thermische Belastungen am Arbeitsplatz können zu Konzentrationsstörungen, verminderter Arbeitsproduktivität oder sogar Arbeitsausfällen führen und zahlreiche Arbeitsabläufe negativ beeinflussen. Um die negativen Auswirkungen von Hitzewellen zu minimieren ist es daher wünschenswert, durch geeignete Anpassungsmaßnahmen die thermische Belastung am Arbeitsplatz und in kritischen Prozessabläufen zu minimieren. Im Rahmen des, von der Europäischen Union geförderten, INTERREG V Projekt „Clim'Ability Design" wird die thermische Belastung an verschiedenen Arbeitsplätzen in der Region südlicher Oberrhein erfasst und es werden Anpassungsstrategien entwickelt.

Um das Vorhaben mit quantitativen Informationen zu unterstützen, hat die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der DWD ein Echtzeit-Monitoring-System zur Bestimmung der thermischen Belastung von Arbeitssituationen in kleinen und mittleren Unternehmen aufgebaut. Das Echtzeit-Monitoring-System sammelt mittels Sensoren human-biometeorologische Daten an einer Vielzahl von repräsentativen Arbeitsplätzen in ausgewählten Unternehmen in der tri-nationalen Region Oberrhein (Schweiz, Frankreich und Deutschland). Diese Daten beschreiben die thermische Belastung über die Zeit und die kleinräumige Variabilität der Belastung von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern unter verschiedenen Arbeitssituationen.



Das Echtzeit-Monitoring System basiert auf verteilten Messungen, die mit den Wettervorhersagen für den Aussenraum verschnitten werden.

Es wird davon ausgegangen, dass an den Arbeitsplätzen innerhalb eines Unternehmens (z.B. klimatisiertes Büro, Fabrikhalle, Außenbereich etc.) und zwischen regionalen Standorten (Vogesen, Oberrheinebene, Schwarzwald etc.) erhebliche Unterschiede der thermischen Belastung auftreten. Daher ist das Ziel der Sensoren weniger eine exakte, sondern eine eher breite Erfassung von human-biometeorologischen Daten in Unternehmen.

Es wurde ein Netzwerk mit 120 low-cost Systemen zur Erfassung des thermischen Komforts im Innenraum bzw. überdachten Außenbereich entwickelt, welche auf einem netzwerkfähigen Microcontroller basieren. Diese sogenannten „MoBiMet“ Systeme (Mobile Biometeorology System) messen kontinuierlich Lufttemperatur, Luftfeuchte, Strahlungstemperatur, Licht, langewellige Strahlung und ausgewählte Sensoren auch Wind. Jeder MoBiMet ist netzwerkfähig und berechnet aktuelle thermische Belastungsindizes alle 10 Minuten. Die aktuellen Werte werden auf einem integrierten Display visualisiert. Die erhobenen Daten werden über WLAN oder LoRaWAN an einen Server der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg übertragen und werden auf einer Website als Zeitreihen dargestellt und für die statistische Auswertung archiviert.

Ein Netzwerk von mehr als 100 solcher MoBiMets wurde an verschiedenen Arbeitsplätzen in der Region südlicher Oberrhein ausgebracht. Diese Sensoren messen über den Sommer 2021 meteorologische Parameter sowie den thermischen Komfort an verschiedensten Arbeitsplätzen. Die Präsentation wird das Design, die Qualitätskontrolle sowie erste Resultate der MoBiMets aus dem Sommer 2021 beinhalten. Insbesondere soll die Frage beantwortet werden, wie groß die typische Variabilität zwischen den Arbeitsplätzen eines Unternehmens ist, wie groß die Variabilität zwischen verschiedenen Unternehmen in der gleichen Stadt ist, und auch die Variabilität zwischen verschiedenen Regionen / Höhenlagen. Diese Messungen bilden die Grundlage, um möglicherweise in Zukunft offizielle Warnungen zu präziseren und im Laufe des Projektes zusammen mit Wettervorhersagen und Klimaprojektionen für den Außenraum die Möglichkeit für arbeitsplatzspezifische Vorhersagen und Klimaprojektionen der thermischen Belastung zu eruieren.

Abbildung eines MoBiMets und der verwendeten Sensoren im 3D-gedruckten Gehäuse (0.15 m x 0.08 m x 0.2m).

Kohlenstoffaustausch eines extensiven Gründachs – Ergebnisse einer 5-jährigen Eddy-Kovarianz Untersuchung

Jan Konopka, Stephan Weber

Klimatologie und Umweltmeteorologie, Institut für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig

Die Begrünung urbaner Dachflächen gewinnt zunehmend an Interesse, da sie als Anpassungsstrategie an den Klimawandel verschiedene Vorteile mit sich bringt. Dazu zählen beispielsweise eine erhöhte Verdunstungskühlung an heißen Sommertagen sowie die Retention von Niederschlägen. Ein weiterer bedeutender Aspekt ist die Aufnahme von CO_2 aus der Atmosphäre über Photosynthese, wohin gehend Gründächer allerdings bislang wenig erforscht sind.

Wir haben hierzu die Variabilität des Kohlenstoffaustauschs zwischen Dachvegetation und Atmosphäre (kurz NEE = Netto-Ökosystem-Austausch) eines 8600 m² großen, nicht bewässerten extensiven Gründachs am Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) mittels Eddy-Kovarianz Methode über 5 Jahre (September 2014 bis August 2019) untersucht. Die Dachvegetation wird von *Sedum*-Arten dominiert und besitzt eine Substrattiefe von 9 cm.

Um die Qualität der Messungen zu überprüfen, haben wir eine Footprint- und Unsicherheitsanalyse durchgeführt. Des Weiteren wurde der NEE in Assimilation und Respiration nach Reichstein et al. (2005) partitioniert und die Einflüsse von Witterungsbedingungen, Trockenperioden und Bodenfeuchtegehalt auf den Kohlenstoffaustausch genauer untersucht.

Es konnte eine mittlere jährliche Nettoaufnahme von -141.1 g C m^{-2} mit einer Messunsicherheit von ±15.5 g C m^{-2} ermittelt werden. Einen entscheidenden Einflussfaktor stellte dabei die Wasserverfügbarkeit dar. So wurde deutlich weniger Kohlenstoff sequestriert in anhaltenden trockenen Perioden (z.B. 2018), während unter feuchten Bedingungen höhere Assimilationsraten beobachtet werden konnten. Nichtsdestotrotz verzeichnete das Gründach in jedem Jahr eine Nettoaufnahme von Kohlenstoff (Abb. 1). Die Untersuchung einer langanhaltenden Trockenphase im Jahr 2018 (67 Tage) zeigte zudem einen Trend mit schwach abnehmender Assimilation. Das trockenresistente *Sedum* schien hierbei dem Trockenstress weitestgehend entgegenzuwirken. Wie sich die Vegetation allerdings in der Zukunft bei zunehmenden Trockenphasen verhalten wird ist unklar. Eine Bewässerungsstrategie könnte demnach helfen die Assimilation auf einem optimalen Level bei einer standortspezifischen Bodenfeuchte von 0.14 m^3 m^{-3} zu halten.

Bodenkammermessungen an einem weiteren extensiven, allerdings kleineren Gründach in Braunschweig werden momentan ausgewertet und mit aktuellen Daten des BER-Gründachs (mittlerweile fast 7 Jahre Daten und weiterhin laufende Messungen) verglichen, um weitere Erkenntnisse über die Austauschprozesse zu erhalten.

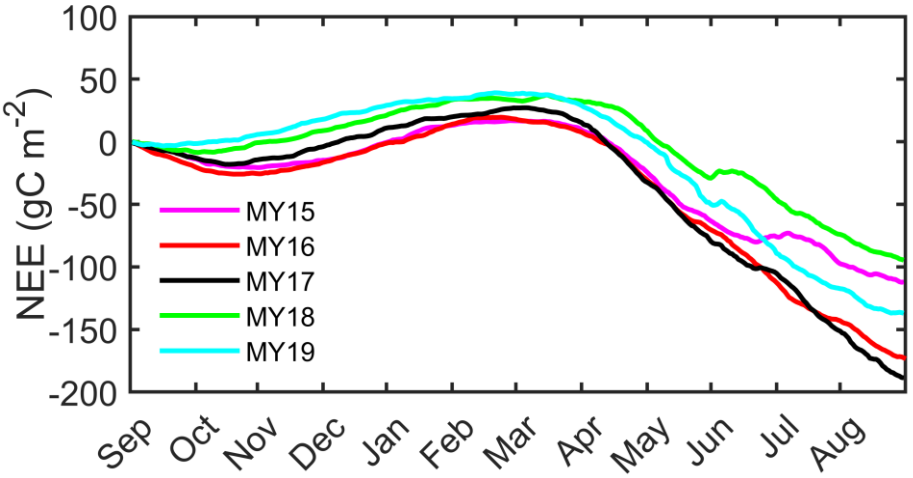


Abbildung 1: NEE als kumulative Darstellung für jedes Untersuchungsjahr (MY15-MY19). MY steht dabei für „Meteorologisches Jahr“ von September bis August des Folgejahres (z.B. MY15 = September 2014 bis August 2015).

Literaturverzeichnis

Reichstein, M., Falge, E., Baldocchi, D., Papale, D., Aubinet, M., Berbigier, P., et al. (2005). On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. Global Change Biology, 11, 1424–1439. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001002.x

Klimawandel im Weinbau – das Intermezzo im Unterstockbereich

Erprobung von Wasserpotentialmessungen sowie Untersuchungen der Holzhäckselabdeckung im Unterstockbereich auf die generative und vegetative Wuchsleistung von Vitis vinifera [cv. Riesling]."

Entwicklung einer meteorologisch-hydrologischen Messmethode im Weinbau als Anpassungsstrategie an den Klimawandel sowie für eine nachhaltige Wassernutzung

Univ. Prof. Dr. rer. nat. Sascha Henninger, M. Ed. Christian Ihrig,

Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Raum- und Umweltplanung – Geographie, Lehreinheit Physische Geographie

Der Klimawandel ist längst eines der größten Aufgabenfelder und Herausforderungen der Zukunft. Das folgende Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit dem Rebenwandel im Rahmen des rezenten Klimawandels. Ziel des Projektes ist es eine meteorologisch-hydrologische Messmethode zu generieren, die auf alle Weinbauregionen in Rheinland-Pfalz übertragen werden kann. Aufgrund der Veränderungen der Vegetationszeiten und einer Zunahme abiotischer Schäden (z.B. Sonnenbrand) sowie der Zunahme invasiver Schaderreger ist zunehmend eine Steigerung der Vulnerabilität des Ökosystems „Wingert" zu erkennen. Die Zunahme meteorologischer Ereignistage (u.a. Hitzetage) ist deutlich spür- und messbar und weist deutliche Auswirkungen auf die phänologische Entwicklung der Reben auf. Gleichzeitig steigt aber auch das Risiko von Schäden durch auftretenden Spätfrost. Winzer*innen sind daher an regional-/ lokalklimatischen Lösungsmöglichkeiten und Anpassungsstrategien interessiert. Das generelle Ziel muss es sein, Risiken für die Anbaufrucht zu reduzieren und auf die lokalklimatischen Auswirkungen des Klimawandels zu reagieren. Hierbei gilt es die Anpassungsfähigkeit an die zukünftigen klimatischen Herausforderungen in Bezug zum Weinbau zu stärken. Hierzu zählen Themenbereiche wie die Phänologie, der Bodentyp, der Huglin-Index, der Boden- und Lufttemperaturen, aber auch der Wasserhaushalt der Reben.

Grundlegend spielt das Wasserdargebot eine essentielle Rolle im Reifeprozess der Rebe. Demzufolge wird das Mikroklima in der Weinbauregion Rheinhessen mittels des Einsatzes der Scholander-Druckkammer untersucht. Die Bestimmung des Wasserstatus hinsichtlich der exakten Bewässerungssteuerung von Weinreben hat sich durch das frühmorgendliche und mittägliche Wasserpotential (Ψ) bewährt. Physiologische Prozesse, wie die stomatäre Leitfähigkeit der Blattschließzellen sowie das vegetative Wachstum, aber auch die Photosynthese, sind direkt oder indirekt an Ψ gekoppelt. Der Wasserhaushalt lässt sich darüber hinaus sowohl durch ein an Trockenstandorten angepasstes Bodenpflegesystem (Bodenabdeckung mit Holzhäcksel, Stroh etc.) deutlich verbessern. Die flächendeckende Bodenabdeckung unterstützt den Wasserhaushalt durch einen verminderten Oberflächenabfluss, durch eine verbesserte Infiltration und eine herabgesetzte Evaporation. Eine gezielte Bewässerung und/oder einer entsprechenden Bodenabdeckung in Steillagen haben sich bis dato positiv auf den Wasserhaushalt ausgewirkt. Des Weiteren wird das Mikroklima im Weinberg durch die Laubwandstruktur

mitbestimmt. Die durchgeführten Laubarbeiten nehmen immensen Einfluss auf die Photosyntheseleistung der Laubwand, was durch eine optimale Belüftung und Belichtung gewehrleistet wird. Hohe Photosyntheseleistung der Laubwand erzielen erhöhte Mostgewichte. Eine bedeutende Einflussgröße auf den Zuckerertrag betrifft das Blatt-Frucht-Verhältnis (BFV), welches eine optimale Zuckereinlagerung bei sieben Haupttriebblätter pro Traube vorweist (Riesling/Burgunder). Im praktischen Weinbau wird dies durch die Höhe der Laubwand realisiert. Verkürzte Laubwandstrukturen konnten bereits reduzierte Mostgewicht und eine Verzögerung der Reife vorweisen.

Daher ist es von höchstem Interesse herauszufinden, inwiefern sich eine Bodenabdeckung im Unterstockbereich von einer flächendeckenden bzw. moderaten Tropfbewässerung in einer Flachlage unterscheidet unter Berücksichtigung der Laubwandstruktur. Möglichkeiten zur Reduzierung des Wasserverbrauchs und zur Reifeverzögerung (Verminderung des Botrytisbefalls, Verlängerung der Reifedauer, Vermeidung zu hoher Alkoholgehalte) durch kürzere Laubwandhöhe bei Riesling in Flachlage sollen in diesem Projekt erprobt werden. Demzufolge wird das Mikroklima in der Weinbauregion Rheinhessen mittels des Einsatzes der Scholander-Druckkammer untersucht. Eine hohe Frequenz an Messungen soll Aufschluss über das Wasserpotential der Reben in den jeweiligen phänologischen Phasen unter Berücksichtigung des Wasserhaushaltes innerhalb der jeweiligen Untersuchungsfläche liefern. Die Versuchsparzelle ist mit der Rebsorte „Riesling“ bestückt und weist den Bodentyp „Lehm-Löss“ auf. Vergleichende Messungen von bereits etablierten *direkten* (Wasserpotentialmessung) und *indirekten* Trockenstressmessungen (Bodenfeuchtigkeit) mit der Wärmebildkamera werden miteinander korreliert. Da vorherrschende Witterungsbedingungen die Messwerte der mittäglichen Potentialmessungen beeinflussen können, werden diese mit dem Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft- und Blatttemperatur (VPD) in Zusammenhang gebracht. Das frühmorgendliche Blattwasserpotential und mittägliche Stammwasserpotential wird ab dem Austrieb (BBCH 10-19) im Dreitagesrhythmus bis zur Lese ermittelt. Die Versuchsfläche wird in vier verschiedene Parzellen unterteilt, welche sich wiederum in kurze (0,7m) und herkömmliche Laubwandlänge (1,30m) unterscheiden: V1 (Bewässerung: moderat) und V2 (keine Bewässerung – Holzhäcksel im Unterstockbereich) und V3 (keine Bewässerung: flächendeckende Holzhäcksel) und V4 (Kontrollvariante). Der Beginn einer moderaten Bewässerung ab einem Bewässerungsschwellenwert von Rieslingreben wird ab -0,25MPa realisiert, gemessen als Ψpd. Aufgrund einer festinstallierten Wetterstation in der Versuchsfläche ist es möglich, auf sowohl aktuelle als auch Klima-/ Wetterdaten vergangener Vegetationszeiten zurückzugreifen. Parallel hierzu wird die Bodenfeuchte mittels wöchentlicher Tiefenbohrung und Messsonden in unterschiedlichen Bodenabschnitten untersucht (FDR-Methode). Mit Beginn der Reife wird zusätzlich die Oberflächentemperatur (Bodentemperatur, Blatttemperatur) mittels Infrarotkamera Infrarotvideographie, sowie die max. Lufttemperatur mithilfe einer lokal aufgestellten Klimastation bestimmt und aufgezeichnet. Unter den Begriffen der generativen und vegetativen Wuchsleistung zählen die Gesamtsäure, Oechsle, Traubenertrag, Zuckerertrag aber auch das Schnittholz, welche in der Projektdurchführung mitberücksichtigt und ermittelt werden. Ziel dieses Projektes ist es, die optimale Bewässerungsmethode für weinbauliche Räume darzustellen, welche im Rahmen des Klimawandels zunehmenden Wasserbedarf verspüren, allerdings Grundwasservorräte nicht durch die landwirtschaftlichen Tätigkeiten beansprucht werden sollen. Die ressourcenschonende Nutzung unsere Naturgutes ist unabdingbar.

Stadtklima auf der Mikroskale - Vergleich einer numerischen Simulation mit mobilen Messungen

Ronald Queck, Valeri Goldberg

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie

Die zunehmende Bevölkerungskonzentration in großen Städten erfordert an vielen Stellen eine Verdichtung und Veränderung der Stadtstruktur. Vor dem Hintergrund des projizierten Klimawandels sollten die Wirkungen auf den thermischen Wirkungskomplex möglichst gut prognostiziert werden. Die BMBF Fördermaßname „Stadtklima im Wandel“ (Scherer et al. 2019) arbeitet dazu aktuell an der Weiterentwicklung und Evaluierung des Stadtklimamodells PALM-4U (Maronga et al., 2020), sowie an Methoden zur integrativen Analyse von Messdaten.

Ziel des hier vorgestellten Projektes ist die Bestimmung der biometeorologischen Exposition von Stadtbewohnern direkt aus Messungen im Freiland und der Vergleich dieser Messungen mit Berechnungen numerischer Modelle. Im Fokus steht dabei der Einfluss von unterschiedlichen Stadtbegrünungen und von Gewässern. Die hier vorgestellten - im August 2018 in Berlin durchgeführten - mobilen Messungen sind Teil eines qualitätsgesicherten Referenzdatensatzes, der unter Anderem zur Evaluierung einer vom Modul A der Fördermaßnahme durchgeführten Modellsimulation (VALM02) dient.

Für die thermische Belastung der Stadtbewohner sind nicht vorrangig die mittleren Wärmeinseleffekte der Gesamtstädte von 1-3 K, sondern die kleinräumigen Unterschiede in den Stadtgebieten von bis zu 10 K von Bedeutung. Abb. 1 zeigt exemplarisch die nächtlichen Temperaturmessungen eines mobilen Messsystems (Fahrrad) in den Berliner Stadtgebieten Charlottenburg und Tiergarten.

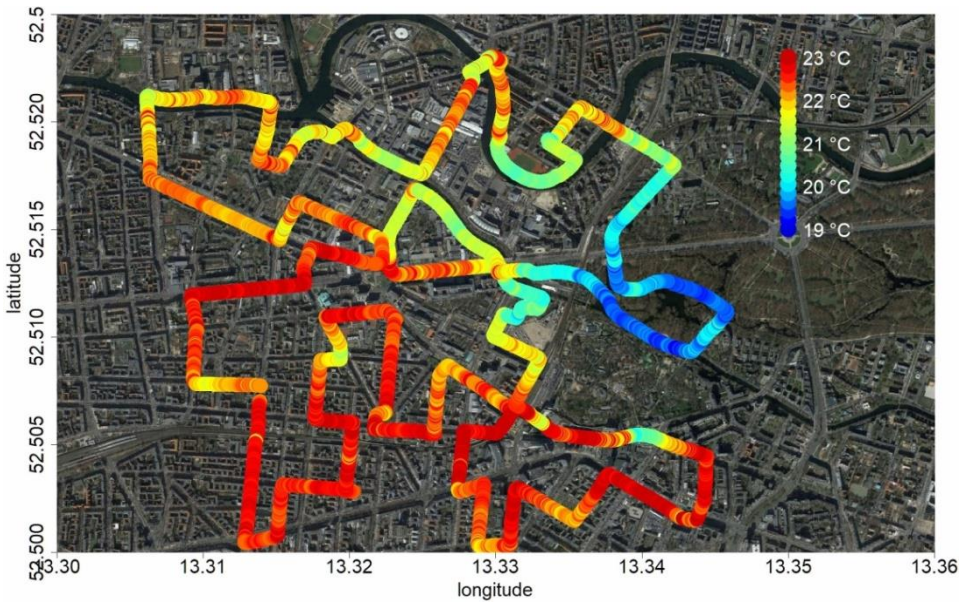


Abb. 1: Nächtliche Messungen der Lufttemperatur um den Campus der TU Berlin am 2018-07-16 gegen 24:00 MESZ, Messplattform: Fahrrad. Messhöhe: 1m (Luftbild im Hintergrund Google Earth 6/2016).

In den östlichen und nördlichen Bereichen mit höherem Vegetationsanteil und an den Wasserläufen der Spree kommt es zu einer größeren Abkühlung als im südlichen „trockeneren“ Bereich des Messgebiets, obwohl diese Stadtviertel am Tag eine niedrigere Strahlungsbilanz hatten als die Straßen entlang der Spree. Ein Grund für diese Verteilung könnte die Rolle der Verdunstung in der Energiebilanz sein, die durch die Vegetationsverteilung beeinflusst werden kann (Queck et al. 2019).

Vergleiche von mobilen Messdaten mit Simulationsdaten und stationären Messungen müssen den variablen Charakter turbulenter Größen und die raumzeitliche Repräsentativität mobiler Messungen berücksichtigen. Abb. 2 zeigt das Konzept, indem die Überschneidungsbereiche der Verteilungskurven berücksichtigt werden.

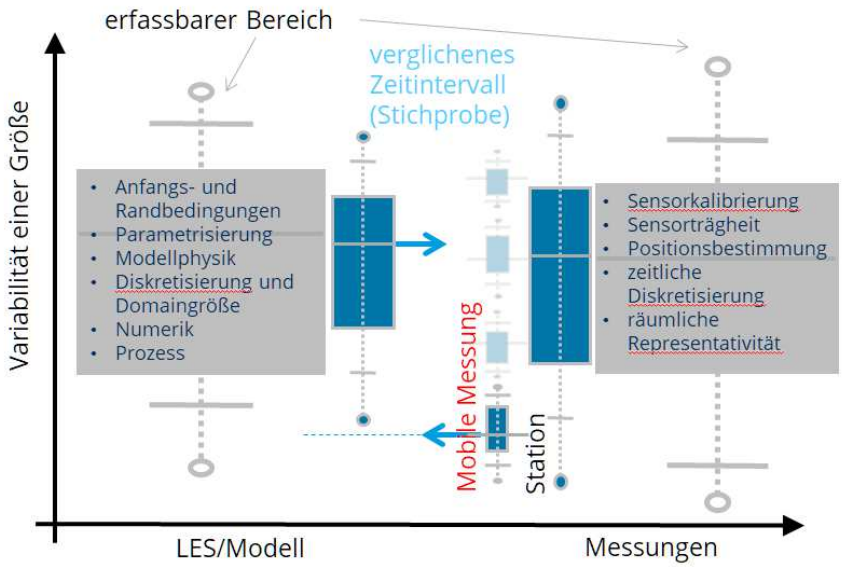


Abb. 2: Statistische Basis des Konzepts zum Vergleich von mobilen mit stationären Messungen und mit Modellsimulationen. Turbulente Größen können immer nur durch Stichproben verglichen werden, die je nach Methode einen anderen raumzeitlichen Ausschnitt repräsentieren.

Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit wurde die Segmentierung der Messdaten mit Verfahren der Clusteranalyse, Korrelationsmatrizen, Hauptkomponentenanalyse und FFT getestet. Da es bei allen Verfahren zu Fehlern kam, wird aktuell an einer an städtische Messungen angepassten Methode gearbeitet.

Literatur

Maronga B u. a. (2019) Development of a new urban climate model based on the model PALM – Project overview, planned work, and first achievements. Meteorologische Zeitschrift

Queck R, Maronga B, Goldberg V (2019) Multiskalige Erfassung und Prognose des Stadtklimas. In Flächennutzungsmonitoring XI. IÖR Schriften. RHOMBOS-Verlag Berlin, Dresden, S. 245–254

Scherer D, Ament F, Emeis S, Fehrenbach U, Leitl B, Scherber K, Schneider C, Vogt U (2019) Three-Dimensional Observation of Atmospheric Processes in Cities. Meteorologische Zeitschrift, 28:S,121–138

Validierung des Stadtklimamodells PALM-4U: Methoden zur Ermittlung der Modellgenauigkeit

Achim Holtmann, Ute Fehrenbach, Tom Grassmann, Fred Meier, Dieter Scherer, Benjamin Schmidt

Fachgebiet Klimatologie, Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin

Das neue Stadtklimamodell PALM-4U[1] wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Stadtklima im Wandel“[2] entwickelt, um stadtklimatologische Fragen aus Forschung und Praxis mit einem modernen, leistungsfähigen Werkzeug bearbeiten zu können.

Die Einführung dieses neuen Modells bedarf einer detaillierten Validierung, um die Belastbarkeit der Ergebnisse für unterschiedliche Anwendungen des Modells zu belegen. Insbesondere die Modellanwendung in der Praxis, etwa in Stadtplanungsbehörden, bedarf klarer Aussagen über die Modellgenauigkeit, um Entscheidungen, die auf der Anwendung von PALM-4U beruhen, abzusichern.

Im Rahmen des Projektes ist es unter anderem gelungen, die Großstadt Berlin in einer Large-Eddy-Simulation mit einer Gitterweite von 16 m zu simulieren. Zusätzlich wurden kleinere, genestete Domains mit einer Gitterweite von 2 m simuliert.

Für die Validierung der Simulationen wurden umfangreiche Messkampagnen für die simulierten Tage durchgeführt, die Referenzdaten für die Validierung lieferten. Modell- und Messdaten wurden in einen eigens entwickelten Datenstandard[3] überführt und über ein für diesen Zweck entwickeltes Datenmanagementsystem[4] ausgetauscht. Dadurch konnten Modell- und Messdaten verschiedener Institutionen mit einheitlichen Methoden automatisiert ausgewertet und für die Validierung genutzt werden.

Dieser Vortrag gibt erste Einblicke in die Ergebnisse der Validierung. Vor allem aber wird diskutiert, welche Methoden der Validierung zu welchen Aussagen über die Belastbarkeit der Modellergebnisse führen können. Dabei werden unterschiedliche Metriken der Validierung diskutiert und verglichen. Außerdem wird eine stationsweise Validierung einer Methodik gegenübergestellt, die Stationsdifferenzen und damit die räumliche Komponente der Modelldaten berücksichtigt.

---

[1] www.palm4u.org
[2] www.uc2-program.org
[3] www.uc2-program.org/uc2_datenstandard.pdf
[4] https://dms.klima.tu-berlin.de/

Validation of the photochemistry in the urban microscale model PALM-4U

Umar Javed[1], Robert Wegener[1, 2], René Dubus[1], Renate Forkel[3], Matthias Sühring[4], Franz Rohrer[1], Dieter Klemp[1]

[1]Forschungszentrum Jülich GmbH, IEK-8: Troposphäre, Jülich. [2]Jülich Aachen Research Alliance (JARA). [3]Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen. [4]Leibniz Universität Hannover (LUH), IMUK, Hannover

Urban air quality has gained significance over the past few decades due to the growing population density in cities. Knowledge of the distribution of pollutants in cities is essential to assess the actual burden of pollutants on the inhabitants. The diversity in spatial and temporal scales for cities leads to a large gradient in the distribution of pollutants over smaller distances (Fig. 1). The gradient in the distribution can truly be captured by only a combination of measurements and models. Large observation stationary networks along with episodically mobile measurement capabilities are at least already available in most parts of Europe and especially in Germany. The combination is often too complex to achieve due to large computational demands in models to simulate processes over micro to mesoscales. However, with the advancement of computational capabilities in recent times, the coupling between measurements and new generation Large-Eddy-Simulation (LES) models can be used to bridge the gaps to understand the distribution of pollutants in cities.

The BMBF project "Urban Climate Under Change [UC]^2" is constructed uniquely to study the urban climate in conjunction with model development based on simultaneous extensive measurements along with applications. The state-of-the-art model called PALM-4U (Maronga et al., 2020) has been developed within the project [UC]^2-MOSAIK to have a sublime spatial resolution down to 1m and allows the simulations of the three-dimensional atmospheric processes for a large area (approx. 2000 km2) with grid-resolved buildings. The different components like the dynamic core (Gronemeier et al., 2021) and surface temperature besides radiation (Resler et al., 2021) of the model have been effectively validated in the past. However, photochemistry requires further evaluation, especially the influence of building shadows on photolysis frequencies. The result of the photochemical assessment of the model will be shown in the prospect of future recommendations to further improve the model boundary conditions.

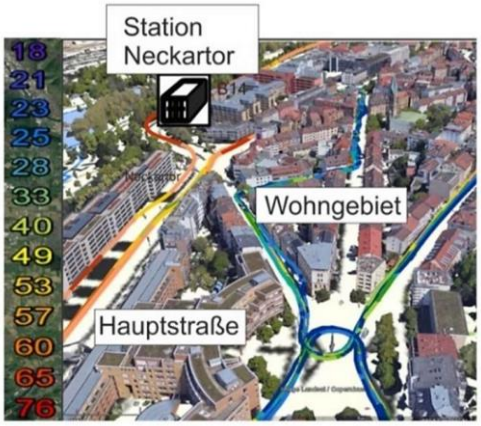


Figure 1 shows a spatial variability of the measured nitrogen dioxide (NO_2) mixing ratios in Stuttgart. The
colour scale for NO_2 is presented in parts per billion by volume (ppb_v) on the left side. These measurements were performed via MobiLab (mobile laboratory of FZJ) on 13.08.2018 during the first phase (2016-2019) of the BMBF research project [UC]^2-3DO. A large difference in NO_2 mixing ratios can be observed for the main road 'Hauptstraße' versus the residential area 'Wohngebiet'.

Evaluierung des Modells PALM 6.0 im Bereich der städtischen Grenzschicht: Vergleich zwischen LES und Windkanalmessungen

Tobias Gronemeier, Kerstin Surm, Frank Harms, Bernd Leitl, Björn Maronga, Siegfried Raasch

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover; Meteorologisches Institut, Universität Hamburg; Geophysikalisches Institut, Universität Bergen

Das LES Modell PALM wurde im Zuge des Forschungsprojekts „Stadtklima im Wandel [UC]^2“ (Scherer et al., 2019, doi: 10.1127/metz/2019/0913) für die Anwendung als Stadtklimamodell weiterentwickelt. Um zu gewährleisten, dass PALM belastbare Ergebnisse liefert, ist eine detaillierte Evaluierung des Modells unausweichlich. In früheren Studien wurde PALM bereits mehrfach evaluiert. Die in dieser Arbeit verwendete Modellversion unterscheidet sich nicht in den physikalischen Eigenschaften früherer Versionen, allerdings wurden auf technischer Seite viele Änderungen durchgeführt wie beispielsweise die Einführung verschiedener Oberflächenklassen oder die Erweiterung der Topographiedarstellung von einer 2,5-dimensinoalen Darstellung auf eine echte drei-dimensionale Repräsentation. Diese technischen Anpassungen können durch Umstrukturierung des Quelltexts zu Änderungen der Ergebnisse führen. Im Zuge der Umstrukturierung wurden ebenfalls Codedefekte behoben, was ebenso die Ergebnisse beeinflussen kann. Auch sei erwähnt, dass trotz gewissenhafter Prüfung auch neue Codedefekte Einzug in das Modell gefunden haben können. All diese technischen Änderungen erfordern daher eine Neuauflage der Evaluierung.

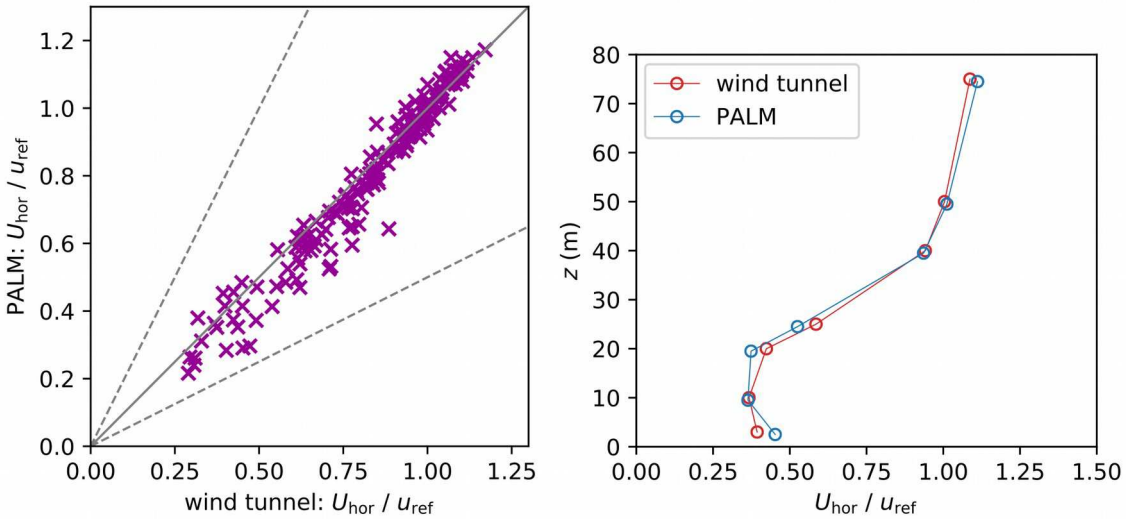
Aufgrund der großen Komplexität des Modells ist eine vollständige Evaluierung ein sehr langwieriger Prozess. Daher wurde beschlossen PALM in mehreren Teilen zu evaluieren. In der hier vorgestellten Arbeit liegt der Fokus auf dem dynamischen Kern des Modells. Der dynamische Kern bezeichnet die Berechnung des Windfelds. Dies dient als Grundlage für die Advektion im Modell und beeinflusst somit sämtliche Modellgrößen. Um die Evaluierung allein auf die Dynamik zu beschränken, wurden Vergleiche mit Windkanalmessungen durchgeführt, in denen jegliche Einflüsse von Temperatur oder Feuchte vernachlässigbar waren. Die Messungen wurden im Grenzschichtwindkanal „Wotan“ des Windkanal-Labors der Universität Hamburg durchgeführt und die Messergebnisse anschließend als Referenz für die Evaluierung von PALM verwendet. Für den Vergleich wurden Messungen an 25 verschiedenen Standorten in mehreren Höhen innerhalb eines Gebäudefelds verglichen. Das Gebäudefeld bildet einen Teil der HafenCity in Hamburg wieder. Die Messpunkte decken verschiedene Situationen im Gebäudefeld ab und beinhalten offene Freiflächen, Straßenschluchten, Straßenkreuzungen, sowie Messungen im Luv und Lee von Gebäuden.

Für die Evaluierung wurden verschiedener Kenngrößen ausgewertet, welche von Schatzmann et al. (2010, „COST 732 Model Evaluation Case Studies: Approach and Results“, Universität Hamburg, Deutschland) für eine umfangreiche Modellevaluierung empfohlen werden. Die Auswertung der Kenngrößen für verschiedene Ergebnisgrößen (Windgeschwindigkeit, Windkomponenten, Varianz, Turbulenzintensität, Längenskalen und verschiedene Formparameter der Windgeschwindigkeitsverteilung) zeigt, dass PALM eine sehr hohe Übereinstimmung mit den Messdaten des Windkanals erzielt. Die Kennzahlen liegen gänzlich innerhalb der akzeptablen Grenzwerte. Für die mittlere horizontale Windgeschwindigkeit U_{hor} liegen beispielsweise alle Messpunkte innerhalb einer Abweichung vom Faktor 2 (siehe Abbildung, rechts). Eine detailliertere Betrachtung der Ergebnisse in verschiedenen Messhöhen ergab, dass PALM auch die vertikale Verteilung der Windgeschwindigkeit an der Mehrzahl der

Messstationen gut wiedergibt (siehe Abbildung, links). Allerdings wurde auch festgestellt, dass die Windgeschwindigkeit nahe der Oberfläche leicht unterschätzt wird. Die mittlere Abweichung in der horizontalen Geschwindigkeit beträgt 9 % in 3 m über der Oberfläche. Diese Unterschätzung nimmt mit zunehmender Entfernung zur Oberfläche rasch ab und beträgt ab 40 m Höhe weniger als 2,5 %. Die geringeren Werte von U_{hor} wurden in Verbindung gebracht mit einer Überschätzung der Rauigkeit der Oberflächen. Diese entsteht zum einen über die Vorgabe der Rauigkeitslänge z_0, welche in der Simulation möglicherweise leicht höher angenommen wurde als die tatsächliche Rauigkeit im Windkanal. Zum anderen entsteht durch die Repräsentation der Gebäude in PALM eine erhöhte Rauigkeit. Hindernisse wie Orographie oder Gebäude werden in PALM auf das verwendete rechtwinklige Gitter interpoliert. Objekte, die nicht parallel zum Gitter ausgerichtet werden wie beispielsweise schräg zum Gitter ausgerichtete Hauswände erscheinen in der Folge als block-ähnliche Oberflächen mit einer deutlich erhöhten Rauigkeit. Dieser Effekt ist umso stärker ausgeprägt je näher sich der Messpunkt an einer entsprechenden Oberfläche befindet. An Orten, wo Gebäude parallel zum Modellgitter orientiert sind, tritt dieser Effekt nicht auf.

Der Vergleich zwischen PALM und Windkanalmessungen wurde abgeschlossen mit einem Vergleich der spektralen Energiedichte. Auch hier zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung. Die Analyse der Spektren zeigt eine leichte Verschiebung zu kleinskaliger Turbulenz in PALM in der Nähe von Oberflächen (Erdboden oder Dachflächen), was wieder auf die erhöhte Rauigkeit hinweist. In größeren Höhen stimmen die Spektren gut überein.

Zusammenfassend konnte in der Evaluierungsstudie gezeigt werden, dass PALM eine neutrale städtische Grenzschicht korrekt wiedergeben kann. Dies schließt sowohl die mittlere Strömung als auch die Turbulenzstatistik mit ein. In direkter Nähe zu festen Oberflächen wie dem Erdboden oder Hauswänden konnte eine Überschätzung der Rauigkeit festgestellt werden, welche sehr vermutlich mit einer höheren Annahme von z_0 in der Simulation im Vergleich zum Windkanal und der block-ähnlichen Repräsentation der Gebäude auf dem rechtwinkligen Rechengitter von PALM zusammenhängt. Dieser Effekt verringert sich deutlich mit zunehmendem Abstand zu festen Oberflächen.



Vergleich der normierten horizontalen Windgeschwindigkeit zwischen PALM und Windkanalmessungen. Links: Streudiagramm aller Messpunkte; rechts: Vertikalprofil an einer ausgewählten Messstation.

Der Einfluss von Fassadenrauigkeiten auf die wandnahe Turbulenzmodellierung mittels Windkanalexperimenten und Large-Eddy Simulationen in Stadtklimamodellen

Benedikt Seitzer, Bernd Leitl, Frank Harms

Meteorologisches Institut der Universität Hamburg

Durch den voranschreitenden Klimawandel, dessen Einfluss auf urbane Lebensräume sowie den gesundheitlichen Einfluss von Schadstoffen an hochfrequentierten Verkehrsadern müssen Stadtplaner und Entscheidungsträger Erkenntnisse aus der Mikrometeorologie in ihre Arbeit mit einbeziehen. Es ist notwendig, dass diese Erkenntnisse zuverlässige und repräsentative Prognosen liefern und durch Anwender sachgerecht interpretiert werden können. Insbesondere der wandnahe Windkomfort und die Gesundheitsbelastung durch bodennahe Schadstoffe spielen hier eine erhebliche Rolle. Wissenschaftlern und Planern stehen drei Klassen an Werkzeugen zur Verfügung: Feldmessungen, Windkanalexperimente und numerische Computersimulationen.

Die numerische Untersuchung des Stadtklimas setzt voraus, dass das Computermodell Turbulenzphänomene ausreichend nachbildet oder sogar explizit auflöst. Sollen wirbelauflösende Modelle in der Stadtplanung eingesetzt werden, so müssen sie zudem (kosten)effizient in Bezug auf die Rechenzeit beziehungsweise die notwendige räumliche Auflösung sein. Large-Eddy Simulationen (LES) berechnen die räumlich gefilterten Gleichungen und lösen somit nur die größeren Wirbel direkt auf, während die kleineren Wirbel parametrisiert werden. Zudem werden Geschwindigkeitswerte in den ersten an Oberflächen angrenzenden Gitterzellen durch Wandfunktionen vorgegeben. In vielen LES Modellen basieren diese auf der Monin-Obukhov Theorie, welche jedoch eine Homogenität der Oberflächenrauigkeit voraussetzt, welche im urbanen Umfeld nicht gegeben ist.

In diesem Beitrag werden Durchführung und Ergebnisse von zwei Windkanalexperimenten vorgestellt. Diese wurden entworfen, sodass der Einfluss kleinskaliger Fassadenrauigkeiten auf die Turbulenzcharakteristik einer wandnahen Strömung untersucht werden konnte. Zusätzlich werden die experimentellen Ergebnisse durch numerische Simulationen ergänzt. Hierfür wurde das LES-Modell *PALM* genutzt.

Abb 1: Windkanalexperimente zur Untersuchung wandnaher Turbulenz bei variierenden Fassaden. Links: horizontal gekippte Fassade. Rechts: freistehende Gebäude unterschiedlicher Fassadenrauigkeit.

Im in Abbildung 1 links dargestellten Experiment wurden Gebäudefassaden unterschiedlicher Rauigkeit horizontal gekippt in einer turbulenten Grenzschicht platziert. Mittels Laser Doppler Anenometer konnten die Hauptströmungsrichtung und die wandnormale Geschwindigkeitskomponente vermessen werden. Abbildung 2 zeigt die mittlere Windgeschwindigkeit parallel zur Wand bei unterschiedlichen Fassadenrauigkeiten. Die Ergebnisse der numerischen Simulationen werden ebenfalls dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die LES-Ergebnisse die gemittelten Windkanaldaten reproduzieren.

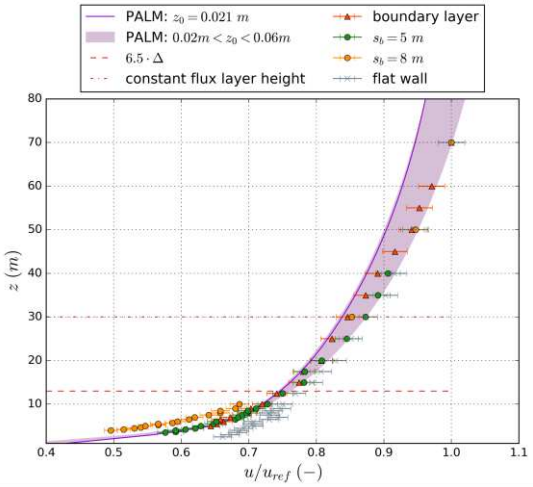


Abb 2: Normierte mittlere Windgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Fassadenrauigkeiten. Neben der Grenzschichtreferenz windaufwärts (rote Dreiecke) sind Messungen über einer sehr rauen (orangene Punkte), einer mäßig rauen (grüne Punkte) sowie einer glatten Wand dargestellt. In lila die PALM-Ergebnisse für unterschiedliche Rauigkeitslängen.

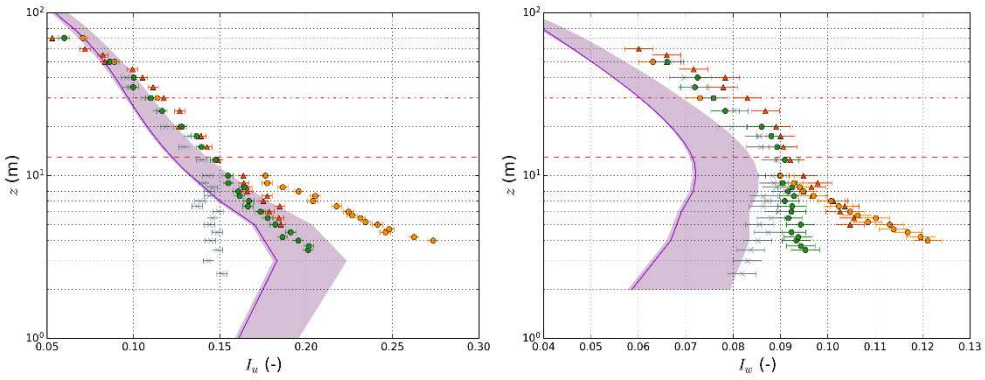


Abb 3: Turbulenzintensitäten bei unterschiedlichen Fassadenrauigkeiten.

Aus den gemessenen Zeitreihen wurden die wandparallelen und wandnormalen Turbulenzintensitäten aus Abbildung 3 berechnet. Deutlich sichtbar ist der variierende Einfluss der Fassadenrauigkeiten bis zur 5-fachen Rauigkeitshöhe (bis 10m Wandabstand). Im Vergleich mit den LES-Simulationen zeigt sich, dass die wandnormalen Wirbelkomponenten im LES-Modell deutlich kleiner sind als die im Windkanal gemessenen. Es ist zu prüfen, ob dies auf die nicht explizit aufgelösten Fassadenrauigkeiten zurückzuführen ist. Die angewandten Randbedingungen ermöglichen zwar eine korrekte Prognose der mittleren Windgeschwindigkeit, unterschätzen jedoch systematisch wandnormale Fluktuationen in der Anwesenheit von kleinskaligen Strömungshindernissen. Das in Abbildung 1 rechts gezeigte Experiment wird derzeit noch durchgeführt und ergänzt die Beobachtungen des vorgestellten Experiments um komplexere Strömungsfälle.

Welchen Einfluss haben Gebäudesanierungen auf das städtische Mikroklima? Eine LES-Studie für einen Stadtteil in Berlin

Björn Maronga[1], Matthias Winkler[2], Dan Li[3]

[1] Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover
[2] Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen
[3] Boston University, Boston, MA, USA

Die Strahlungsbilanz an Gebäudeoberflächen sowie die daraus resultierende Wärmespeicherung in Wänden und Dächern ist wesentlich für die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel verantwortlich. Die bauphysikalischen Parameter von Gebäuden spielen dabei eine entscheidende Rolle für die Wärmeleitung in die Wandschichten und können damit auch die Energiebilanz an den Oberflächen und damit die Flüsse von fühlbarer Wärme in die Atmosphäre beeinflussen. Die energetische Sanierung von Bestandgebäuden wird seit Jahrzehnten vor allem vor dem Hintergrund der Heizenergieeinsparung im Winter forciert, in dem eine verbesserte Isolierung Wärmeverluste durch die Wände reduziert. Eine energetische Sanierung kann allerdings auch im Sommer einen positiven Effekt haben, in dem die Aufheizung des Innenraums signifikant reduziert bzw. verzögert wird.

In dieser Studie widmen wir uns der Frage, ob eine flächendeckende energetische Sanierung Auswirkungen auf die Lufttemperaturen im Außenraum hat. In diesem Beitrag zeigen wir Ergebnisse von zwei hochaufgelösten LES-Simulationen mit dem Modell PALM für ein Stadtviertel in Berlin (Umgebung des Ernst-Reuter-Platzes). Das Modellgebiet umfasst dabei eine Größe von 2 x 2 km² bei einer Gitterbreite von 2 m. Um mittelfristige Effekte abzubilden haben wir hierbei eine Hitzeperiode von 7 Tagen simuliert. Abbildung 1 zeigt die Gebäudestruktur im Simulationsgebiet, wobei die Gebäude nach Baujahr und Nutzungsform klassifiziert wurden. Die Simulation für diesen Ist-Zustand vergleichen wir mit einem Szenariolauf, bei dem sämtliche Gebäude gemäß aktuellen KfW-Standard modernisiert wurden (d.h. Aufbringen einer Außendämmung und Erneuerung der Gebäudetechnik). PALM kann dabei sowohl die Bauphysik abbilden wie auch die Gebäudetechnik wie Klimaanlagen durch ein eingebettetes Innenraumklimamodul berücksichtigen. Der Vergleich der beiden Simulation zeigt, in wie weit flächendeckende Gebäudesanierungen eine Auswirkung auf die Temperaturen auf Straßenniveau im Außenraum sowie im Innenraum haben können.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Sanierungsszenario die Außentemperaturen im Tagesgang tagsüber signifikant höher und nachts niedriger sind als im Ist-Zustand, was auf den schlechteren Transport von Wärme in die tieferen Gebäudeschichten zurückgeführt werden kann. Die Simulationsdaten zeigen jedoch auch einen mittelfristigen Trend hin zu grundsätzlich wärmeren Temperaturen auf Straßenniveau, der sich erst nach mehreren Tagen Simulationszeit deutlich zeigt. Gleichzeitig bleibt es im Innenraum wie erwartet kühler. Die Ergebnisse der Studie weisen drauf hin, dass flächendeckende Gebäudesanierungen die städtische Wärmeinsel verstärken können und damit negative Auswirkungen auf die Hitzebelastung im Sommer haben können – insbesondere tagsüber -, wenn keine weiteren Anpassungsmaßnahmen wie hochreflektive Farben oder Fassadenbegrünung implementiert werden.

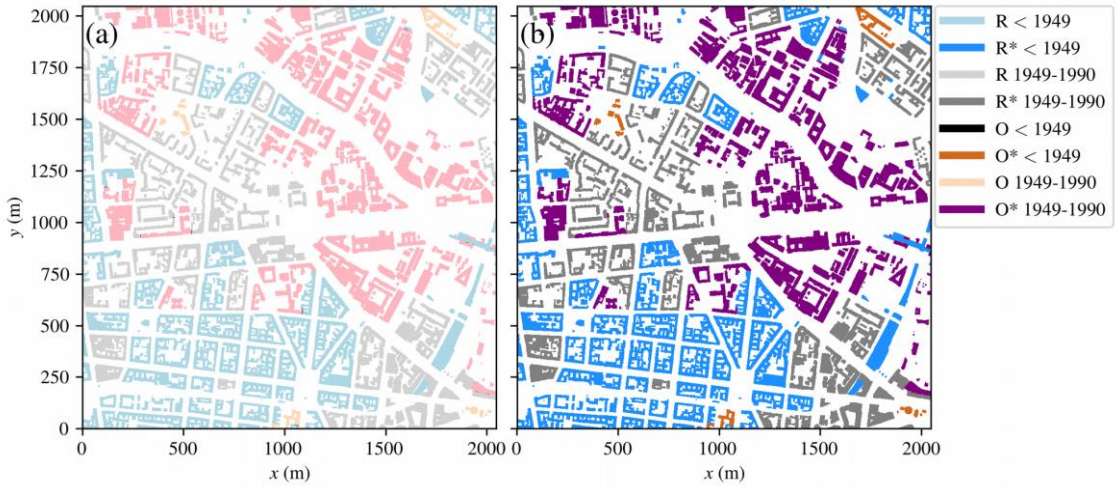


Abbildung 1: Gebäudetypologie im Simulationsgebiet nach Baualter und Nutzungsform. Mit * markierte Klassen stellen enegtisch sanierte Gebäude dar. Links: Ist-Zustand, rechts: Sanierungsszenario

Modellierung von Ultrafeinpartikeln am und um den Flughafen Frankfurt a. M.

Holger Gerwig [a], Klaus Wirtz [a], Pia Hellebrandt [b], Hermann Jakobs [c], Ulf Janicke [d], Matthias Ketzel [e], Wolfram Schmidt [f] und Helmut Lorentz [f]

[a] Umweltbundesamt, Dienststelle Langen; [b] MUVEDA, Aachen;
[c] Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln;
[d] Ingenieurbüro Janicke, Überlingen; [e] Aarhus University, Dänemark;
[f] Lohmeyer GmbH, Radebeul

Ultrafeine Partikel (UFP) zeigen bei mobilen Messungen eine hohe zeitliche und räumliche Variabilität in städtischen Bereichen (1). In Langzeitbeobachtungen wurden mehrjährige Trends der UFP-Konzentrationen an verschiedenen Stationstypen beobachtet (2). In epidemiologischen Studien sind negative Wirkungen auf die Gesundheit nicht deutlich von der Wirkung anderer Staubfraktionen abzugrenzen (3). Flughäfen wurden weltweit (4) sowie in Deutschland (5) als Quelle erhöhter UFP-Konzentrationen beobachtet. In der Umgebung des Flughafen Frankfurt a. M. wird seit 2009 in Langen (6), bzw. seit 2015 u. a. in Raunheim (7) Ultrafeinstaub gemessen.

Im hier beschriebenen Projekt (8, 9) wurde die Verteilung der Quellen (Kfz, Flughafen, Hintergrund) von UFP und anderer Luftschadstoffe in der Fläche rund um den Flughafen Frankfurt a. M. durch Kombination von drei Modellen für das Bezugsjahr 2015 ermittelt. Für die Partikelausbreitung von Flugzeugen und Kfz wurden die Programme LASPORT bzw. LASAT eingesetzt. Für den Hintergrund wurde das Chemische Transportmodell (CTM) „Europäisches Ausbreitungs- und Depositionsmodell EURAD“ mit dem „Modale Aerosol-Dynamik-Modul für Europa“ (MADE) benutzt.

Folgende Anforderungen wurden an die Modellrechnung gestellt:
- Beitrag nach Gruppen von Emittenten: Kfz, Flughafen, Hintergrund,
- Stoffe: UFP, Ruß, NO_x, SO_2, $PM_{2,5}$ und PM_{10},
- Modellgebiet Hintergrund maximal 6250 km x 5500 km,
- Inneres Modellgebiet 35 km x 35 km, Modellgebietshöhe: 2000 m,
- Berücksichtigung der Flugbewegungen bis 914 m,
- Dreidimensionale stündlich aufgelöste Konzentrationszeitreihen.

Bei der Betrachtung aller UFP-Emissionen (Anzahl freigesetzter nichtflüchtiger UFP) des Flughafens wurden die Flugzeugtriebwerke mit mehr als 90 % als Hauptemissionsquelle des Systems Flughafen, davon mehr als die Hälfte am Boden z. B. im „taxi“ Betrieb identifiziert. Der Flughafenbetrieb kann außerhalb des Flughafengeländes mehr als 25 % zur Konzentration der Gesamtpartikelanzahl beitragen. Dabei wurden für den Flugbetrieb nur die nicht-flüchtigen Partikel berücksichtigt.

In der Kartendarstellung (s. Abb. 1) werden erhöhte UFP-Werte aufgrund von Flughafenaktivität im Bereich Nord / Nordwest sowie Südwest über einige Kilometer Entfernung ermittelt.

Die Überprüfung der Modellergebnisse mit Messungen ergab, dass die grundsätzliche Eignung des Ansatzes durch eine gute Übereinstimmung der gemessenen und modellierten Stunden-, Wochen- und Jahresmittelwerte von PM_{10} und NO_x für den HLNUG-Messstandort in Raunheim

bestätigt wurde. Hinsichtlich der Jahresmittel der UFP-Anzahlkonzentration lagen die Modellergebnisse in der gleichen Größenordnung wie die Messwerte an Einzelpunkten im Modellgebiet. Die Modellierung erfasst jedoch noch nicht alle Details: Die ermittelten Modellzeitreihen gaben die zeitliche Dynamik der UFP im Jahresverlauf nicht wieder. Messreihen in Langen zeigten drei Jahre ein Maximum im Winter, die Modellierung des Hintergrundes und der Gesamtanzahl hingegen eines im Sommer.

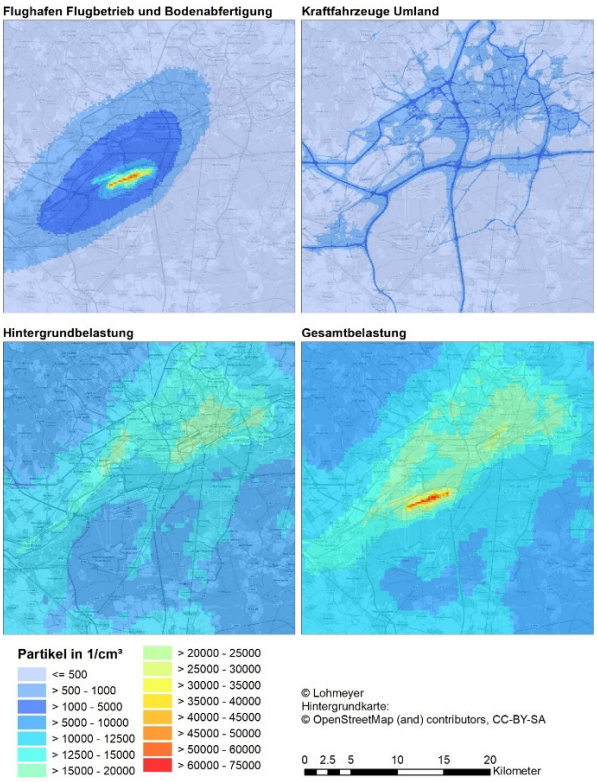


Abb. 1 Räumliche Verteilung für 2015 der Anzahlkonzentration von UFP in 1/cm³ für drei Quellgruppen und Gesamtbelastung im Rhein-Main-Gebiet um den Flughafen Frankfurt a. M.

Um eine genauere Quellenzuordnung erhöhter UFP-Konzentrationen mittels Modellrechnungen zu ermitteln, muss die Modellierung der Neubildung von Partikeln, unterschieden nach flüchtig und nicht-flüchtig, verbessert werden. Chemische Umsetzungsmodelle sowie Standard-Emissionsdatenbanken im Hinblick auf flüchtige UFP aus Flugzeugtriebwerken werden bereits weiterentwickelt (10). Für das Gebiet von Berlin und Umgebung werden Thermodesorber-Messungen zur Unterscheidung zwischen flüchtigen und nicht-flüchtigen Partikeln eingesetzt (11), die ebenfalls zu einer verbesserten Modellvalidierung beitragen können.

(1) Schneidemesser, E. et al. (2019), Sci. Tot. Env., 688, 691 - 700.
(2) Sun, J. et al. (2020), Atmos. Chem. Phys., 20, 7049–7068.
(3) Ohlwein, S. et al. (2018), UBA – Umwelt & Gesundheit, 5/2018.
(4) Stacey, B. (2019), Atmos. Env., 198, 463–477.
(5) Gerwig, H., Jacobi S., Travnicek, W., Wirtz, K. (2017), 51. MTK, Potsdam.
(6) Gerwig, H., Pecher, W. and Wirtz, K. (2011), 46. MTK, Schwerin.
(7) Rose, D., Jacobi, S. (2018), 1. Zwischenbericht zur Untersuchung der regionalen Luftqualität auf ultrafeine Partikel im Bereich des Flughafens Frankfurt. HLNUG, Wiesbaden.
(8) Lorentz, H. et al. (2019), VDI Berichte 2352,135 - 144.
(9) Lorentz, H. et al. (2021), Ultrafeinstäube im Umfeld großer Flughäfen (Kurztitel), UBA-Texte 14/2021.
(10) AVIATOR (2019), Assessing aViation emission Impact on local Air quality at airports: TOwards Regulation. EU Horizon 2020, Grant Agreement No 814801.
(11) ULTRAFLEB (2020): ULTRAfeinstaubbelastung durch FLughäfEn in Berlin. UBA, FKZ 3720 52 201 0.

Direkte Messung des Tagesgangs der Verdunstung einer freien Wasserfläche

A. *Raabe*[1], *P. Holstein*[2], *G. P. Rodrigues*[3], *J.C. de Araujo*[3]
[1]*Institut für Meteorologie, Univ. Leipzig, E-Mail: raabe@uni-leipzig.de*
[2]*Steinbeis Transferzentrum "TAAN", E-Mail: peter.holstein@stw.de*
[3]*Universidade Federal do Ceara, Fortaleza Brasilien E-Mail: jcaraujo@ufc.br*

Besonders in Gegenden, wo es zu bestimmten Jahreszeiten so gut wie überhaupt nicht regnet, ist für das Management der Wasserbereitstellung eine möglichst genaue Kenntnis von Wasserverlusten, die auch aufgrund von Verdunstung entstehen, von Interesse. Beispielsweise wird die Wasserversorgung im Bundesstaat Ceara (Brasilien) außerhalb der Regenzeit (Februar-Mai) faktisch zu 100% über künstlich angelegte Wasserrückhaltebecken gewährleistet. Von diesen Wasserflächen verdunsten bis zu 2600 mm ≙ 2600 l/m² Wasser über das Jahr hinweg. Ein Ziel des Wassermanagements ist nun eine Optimierung der Verdunstungsverluste durch geeignete Maßnahmen. Dafür sind Berechnungsmethoden für die Verdunstungsverluste notwendig, die jedoch durch entsprechende Messungen verifiziert sein müssen. In dem Fall hier wird unter Messung der direkte Wasserverlust eines Sees aufgrund von Verdunstung verstanden.

Übliche Berechnungsverfahren ermitteln die Verdunstung indirekt über meteorologische Größen, wie die Differenz ΔE zwischen dem Wasserdampfdruck an der Wasseroberfläche und in der darübergleitenden Luft (standardmäßig in 2 m Höhe, mittlere Dichte $\bar{\rho}$, Mittelwert des Luftdrucks $\bar{p}$) bei einer bestimmten Windgeschwindigkeit $\bar{u}$ unter Berücksichtigung eines den turbulenten Transportprozess beschreibenden Übertragungskoeffizienten C_E (Dalton-Zahl, BULK-Verfahren).

$$V = \bar{\rho} \cdot C_E \cdot \bar{u} \cdot \frac{0{,}622}{\bar{p}} \cdot \Delta E \left[\frac{kg}{m^2 \cdot s}\right]$$

Die in der Praxis zur Verdunstungsberechnung von Freiwasserflächen angewendete Dalton-Formel ähnelt diesem aus der Mikrometeorologie stammenden Berechnungsverfahren, nur dass über zwei Parameter (*a, b*) die berechneten Tageswerte der Verdunstung an die direkt gemessene Verdunstungsmengen eines bestimmten Messgebietes angepasst werden.

$$V_{Dalton} = (a + b \cdot \bar{u}) \cdot \Delta E \left[\frac{kg}{m^2 \cdot Tag}\right]$$

Setzt man in der DALTON-Formel $a = 0$, dann lässt sich die gemessene Größe b leicht in Beziehung zur Dalton-Zahl C_E setzen.

$$C_E = \frac{(V_{Dalton}/86400) \cdot \bar{p}}{\rho \cdot \bar{u} \cdot 0{,}622 \cdot \Delta E}$$

Das hier für die direkte Messung der Verdunstung eingesetzte Messsystem besteht aus **einem neu entwickelten akustischen Sensor**, der auf dem Boden eines im Freiwasser schwimmenden Verdunstungsbehälters befestigt ist. Mit dem Sensor wird die Laufzeit kurzer Ultraschallsignale zwischen dessen Position im Verdunstungsgefäß und der Wasseroberfläche bestimmt (Abb. 1) und so über die Schallgeschwindigkeit im Wasser die Entfernung zur Oberfläche gemessen (Echolot-Verfahren). Im Experiment wird infolge von Bewegungen der Wasseroberfläche sowie

thermischer Unterschiede im Wasser eine Unsicherheit in der Entfernungsmessung von 0,1 mm erreicht. Der über die Zeit hinweg sinkende Wasserstand H im Verdunstungsgefäß wird als Verdunstung $V = \Delta H/\Delta t$ $\left[\frac{mm}{h} = \frac{kg}{m^2 \cdot h}\right]$ gewertet, wobei die Empfindlichkeit der Messanordnung einen zuverlässigen Nachweis von Wasserstandänderungen über eine Stunde hinweg ermöglicht. Die Nachweisgrenze liegt bei 0,1 mm/h was einem latenten Wärmestrom von 60 W/m² entspricht.

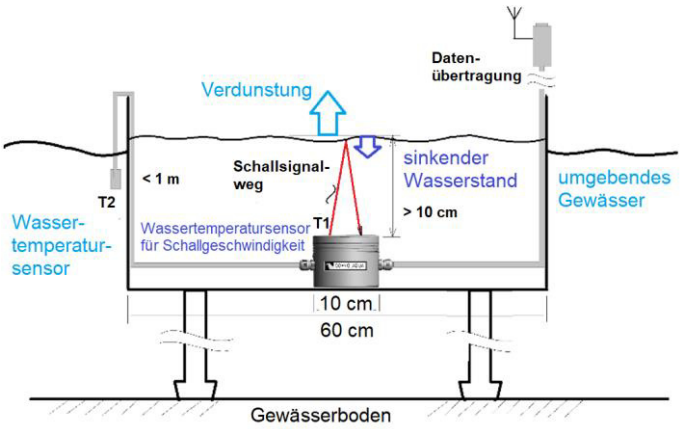


Abbildung 1: Links: Das Messprinzip entspricht dem Echolotverfahren. Rechts: Die derzeitige Ausführungsversion des Ultraschall-Sensors. Dieser steht in Verbindung mit einem Modul, das die Spannungsversorgung und die Verbindung zum Internet sichert.

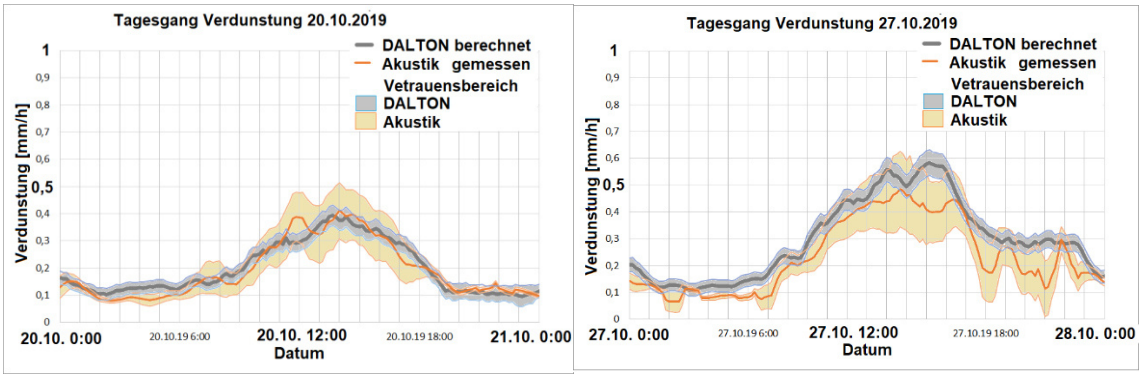


Abb. 2: Beispiele für Tagesgang der Verdunstung gemessen im Gaviao Reservoir (Ceara, Bras.) im Vergleich zum DATLON-Berechnungsverfahren. Der Vertrauensbereich der Methoden ist angegeben.

Damit ist eine Verifikation der Parameter *a* und *b* möglich, mit denen dann **auch stündliche Werte der Verdunstung einer freien Wasserfläche** bestimmt werden können (Abb. 2). Im Rahmen der Messgenauigkeit lassen sich der direkt gemessene Tagesgang der Verdunstung und der nach der BULK-Methode abgeschätzte in Übereinstimmung bringen für ein $a = 0$, $b = 0{,}0066 \frac{mm}{(m/s)\cdot hPa \cdot 1h}$, was auf eine Dalton-Zahl $C_E = 0{,}0025$ führt, ein Wert der hier ermittelt wird und gegenüber Angaben in der Literatur etwa doppelt so hoch liegt ($C_{E_Literatur} = 0{,}0012$).

Offenbar führt kein Weg daran vorbei, entsprechende Verdunstungs-Berechnungsverfahren für Freiwasserflächen an die jeweiligen Messgebiete anzupassen. Für ein entsprechendes Monitoring sind dazu Messverfahren notwendig, die auch den Tagesgang der Verdunstung direkt messen können. Der hier verwendete akustische Sensor erreicht die dafür erforderliche Empfindlichkeit und stellt dabei seine Einbindung in ein Messystem durch integrierte Datenkommunikation sicher.

Schutzabstandsberechnungen zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen unter Berücksichtigung des Klimawandels

Gabriele Rau[1)], Kathrin Baumann-Stanzer[1)], Werner Knauder[1)], Martin Piringer[1)], Günther Schauberger, [2)] Alexander Hieden[1)], Marlon Brancher[2)], Ivonne Anders[1)], Konrad Andre[1)]

[1)] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, A 1190 Wien
[2)] Universität für Veterinärmedizin, A 1220 Wien

Um den Schutz von Anrainern vor Geruchswahrnehmungen zu gewährleisten, werden im Falle von Tierhaltungsbetrieben seit vielen Jahren sogenannte Schutzabstände verwendet. Die Definition dieser Schutzabstände basiert auf einer festgelegten Häufigkeit, mit der die Geruchsschwelle von 1 GE/m³ überschritten wird. Dabei zählen nicht Mittelwerte, sondern Spitzenwerte im Zeitbereich eines menschlichen Atemzuges. In der gegenständlichen Arbeit werden drei Methoden zur Berücksichtigung dieser kurzfristigen Spitzenwerte im Ausbreitungsmodell LASAT angewandt: der konstante Faktor 4 der TA Luft, der stabilitätsabhängige peak-to-mean Ansatz nach Schauberger und Piringer sowie das Konzentrations-Varianz-Modell von Öttl und Ferrero. Für einen exemplarischen Tierhaltungsbetrieb werden richtungsabhängige Schutzabstände unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatischen Bedingungen berechnet und miteinander verglichen.

Die meteorologischen Daten wurden mit einem regionalen Klimamodell für das gegenwärtige (1981 bis 2010) und das künftige Klima (Periode 2035 bis 2065) ermittelt. Betrachtet werden zwei Bereiche mit hoher Tierhaltungsdichte nördlich und südlich des österreichischen Alpenhauptkamms. Beide Regionen liegen in der Klasse Cfb (warm-temperiert, ganzjährig feucht) nach der Klimaklassifikation von Köppen und Geiger. Im "business-as-usual" Szenario wird bis zur Jahrhundertmitte beispielsweise ein Temperaturanstieg um 1,4°C bis 1,5°C (~± 0.5 °C) erwartet. Die Veränderung der meteorologischen Parameter (Temperatur, Windgeschwindigkeit und Bewölkung) führt zu einer je nach Region unterschiedlich ausgeprägten Änderung der atmosphärischen Stabilität (Abbildung 1, links).

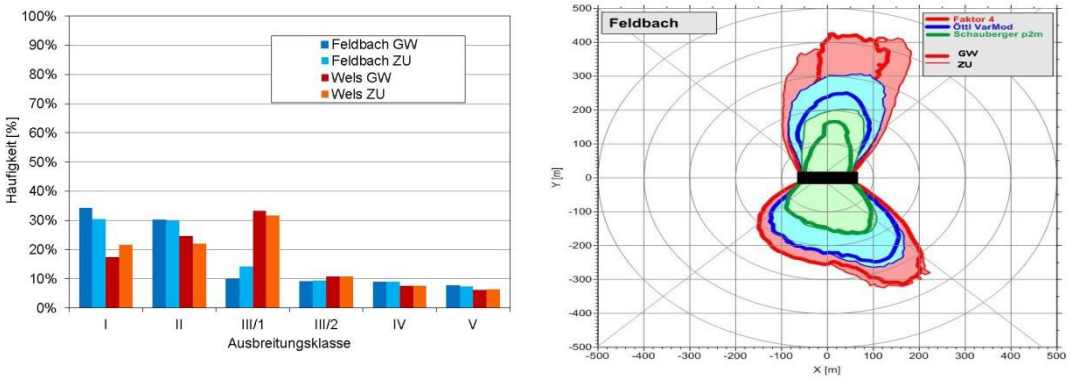


Abbildung 1: Links ...: Relative Häufigkeit der Ausbreitungsklasse nach Klug/Manier für das gegenwärtige Klima (GW) und das zukünftige Klima (ZU) in den beiden Regionen. Rechts … Schutzabstände für eine Überschreitungshäufigkeit von 10% in Feldbach.

Im Allgemeinen ergeben sich unter den künftigen klimatischen Bedingungen höhere Schutzabstände (Abbildung 1, rechts). Wohngebiete, die derzeit noch außerhalb der

Schutzabstände liegen, können durch den Klimawandel einer erhöhten Geruchsbelastung ausgesetzt sein. Das Konfliktpotential zwischen Wohnbevölkerung und Tierhaltungsbetrieben erhöht sich dadurch. Im Genehmigungsverfahren werden die Auswirkungen des Klimawandels aufgrund der in der Regel auf Jahrzehnte ausgelegten Lebensdauer solcher Betriebe zu berücksichtigen sein.

Generell werden mit dem konstanten Faktor 4 die größten Schutzabstände errechnet, gefolgt vom Konzentrations-Varianz-Ansatz und dem stabilitätsabhängigen peak-to-mean Ansatz. In Österreich wird in Zukunft bei Geruchsexpertisen und in Genehmigungsverfahren der Konzentrations-Varianz-Ansatz in Kombination mit einem Lagrange-Ausbreitungsmodell verwendet werden.

Weiterführende Literatur:

Baumann-Stanzer K, Knauder W., Piringer M., Schauberger G., Hieden A., Brancher M., Anders I., Andre K., 2021: Schutzabstandsberechnungen zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen unter Berücksichtigung des Klimawandels. "Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft" - Ausgabe 07/08-2021 "Umweltmeteorologie"

Öttl, D., Ferrero, E., 2017. A simple model to assess odour hours for regulatory purposes. Atmos. Environ. 155, 162-173.

Piringer, M., G. Schauberger, 1999: Comparison of a Gaussian Diffusion Model with Guidelines for Calculating the Separation Distance between Livestock Farming and Residential Areas to Avoid Odour Annoyance. Atmos. Env. 33, 2219 – 2228.

Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von ABC Gefahrenstoffen

Kathrin Baumann-Stanzer[1], Sirma Stenzel[1], Christian Maurer[1], Alexander Hieden[1], Christian Derler[2], Harald Lernbeiß[2], Bernhard Jandl-Scherf[2], Peter Mohr[3], Günter Kemminger[4]

[1] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
[2] JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH,
[3] Österreichisches Bundesministerium für Landesverteidigung,
[4] GIHMM Gmbh

Ausbreitungsmodelle liefern eine wesentliche Grundlage zur Lagebeurteilung in zivilen Notfällen mit Freisetzung gefährlicher Stoffe in die Atmosphäre, aber auch im Fall eines Kampfmitteleinsatzes. Bislang waren im Bereich der militärischen Entscheidungshilfesysteme vorwiegend noch einfache, aber robuste und wenig rechenintensive Verfahren im Einsatz, die auf aus Gauß-Modellen abgeleitete Templates zur raschen Festlegung von Gefahrenbereichen der NATO-Standards ATP-45 und AEP-45 beruhen. Besonders für den Fall, dass die Freisetzung nicht direkt beobachtet, sondern nur durch Messwerte von Sensoren detektiert wurde, ergeben diese Verfahren sehr große Gefahrenbereiche. Auch können mit diesen Methoden Einflüsse von Hindernissen, wie Gebäuden und Gelände nicht oder nur sehr vereinfacht berücksichtigt werden.

Übungsszenario „Schiffsunglück oder Terroranschlag bei Reichsbrücke Wien“
links: Sicht von fiktiver Quelle Richtung Nordosten
rechts: Gebäudeumrisse (grün) und Position der Quelle (rot) im Modellgebiet (Ausschnitt)

Im Projekt „Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von ABC Kampfmitteln und Lagebildverbesserung durch Sensordatennutzung“ (ABC-MAUS, 2019 – 2021) wurde das Entscheidungshilfesystem des Österreichischen Bundesheeres ABC-IS um Verfahren der groß- und kleinräumigen Ausbreitungsrechnung sowie Rückwärtsmodellierung ausgehend von neu entwickelten mobilen Sensoren erweitert, um ein verbessertes Lagebild nach CBRN-Kampfmitteleinsätzen zu erzielen. Für die kleinräumige Ausbreitung von atomaren, biologischen oder chemischen Freisetzungen wurde das für diesen Zweck gut geeignete Modell LASAT (z.B. Baumann-Stanzer et al. 2016) in ABC-IS implementiert. Für die Eingrenzung

möglicher Freisetzungsorte ausgehend von Messungen eines mobilen Sensormessnetzes wurden verschiedene Ansätze basierend auf Vorwärts- und Rückwärtsmodellierung auf ihre Praxistauglichkeit getestet.

Für die Folgenabschätzung im Fall eines Kernwaffeneinsatzes wird zukünftig in ABC-IS das für großräumige Ausbreitungsrechnung gut geeignete Lagrange Ausbreitungsmodell FLEXPART (Arnold et al., 2013; Maurer et al., 2018) basierend auf EZMW Modellvorhersagen eingesetzt werden. Hierfür wurde im Rahmen des Projektes auf Basis verfügbarer Informationen aus Kernwaffentests ein geeigneter Quellterm entwickelt.

Im Rahmen eines militärischen Planspiels im Juli 2021 wird anhand des kleinräumigen Übungsszenarios „Schiffsunglück oder Terroranschlag bei Reichsbrücke Wien“ die Anwendung der neuen Verfahren im Vergleich zu den früheren Methoden zur Lagebeurteilung getestet. Auch für das Szenario eines Kernwaffeneinsatzes mit großräumiger Ausbreitung wird ein fiktiver Einsatzfall betrachtet. Die Ergebnisse der Übungsszenarios und die Erkenntnisse aus dem Planspiel und der anschließenden Diskussion zwischen dem Projektteam und den zukünftigen NutzerInnen des militärischen Lagebeurteilungssystems werden im Rahmen des Tagungsbeitrags präsentiert.

Dank: Das zweijährige Forschungsprojekt „Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung von ABC Kampfmitteln und Lagebildverbesserung durch Sensordatennutzung“ (ABC-MAUS, 2019 – 2021) wird im Rahmen des Österreichischen Verteidigungsforschungsprogramms FORTE vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert.

Literatur:

Arnold, D., Seibert, P., Nagai, H., Wotawa, G., Skomorowski, P., Baumann-Stanzer, K., Polreich, E., Langer, M., Jones, A., Hort, M., Andronopoulos, S., Bartzis, J. G., Davakis, E., Kaufmann, P., and Vargas, A., 2013: Lagrangian Models for Nuclear Studies: Examples and Applications. In J. Lin, D. Brunner, C. Gerbig, A. Stohl, A. Luhar, and P. Webley (Eds.), Lagrangian Modeling of the Atmosphere (Volume Geophysical Monograph Series 26, pp. 329-348). American Geophysical Union, Washington, D. C. doi: 10.1029/2012GM001294.

Baumann-Stanzer, K., Skomorowski, P., Polreich, E., Trini Castelli, S., Leitl, B., Carny, P., and COST ES1006 Members, 2016: Atmospheric transport models for hazardous releases: variability and uncertainties – findings of COST Action ES1006 and operational experiences. Chemical Engineering Transactions 48, 6 pp.

Maurer, C., J. Baré, J. Kusmierczyk-Michulec, A. Crawford, P. W. Eslinger, P. Seibert, B. Orr, A. Philipp, O. Ross, S. Generoso, P. Achim, M. Schoeppner, A. Malo, A. Ringbom, O. Saunier, D. Quèlo, A. Mathieu, Y. Kijima, A. Stein, T. Chai, F. Ngan, S. J. Leadbetter, P. De Meutter, A. Delcloo, R. Britton, A. Davies, L. G. Glascoe, D. D. Lucas, M. D. Simpson, P. Vogt, M. Kalinowski, and T. W. Bowyer, 2018: International challenge to model the long-range transport of radioxenon released from medical isotope production to six Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty monitoring stations, Journal of Environmental Radioactivity, 192, 667-686. doi: 10.1016/j.jenvrad.2018.01.030.

Vertical momentum flux measurements at an 80-m tall building in Hamburg - How does the wind behave at vertical walls?

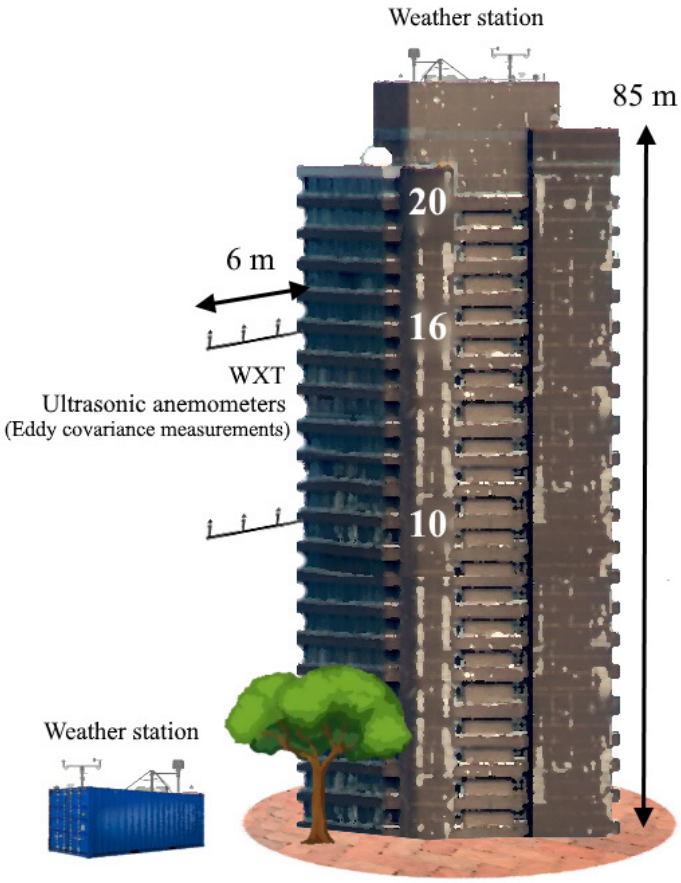
Constanze Reinken, Christine Kaufhold, Felix Herz, Pablo Sebastia Saez, Niklas Anczykowski and Christian Dix

University of Hamburg, Meteorological Institute

Wind is a strongly fluctuating parameter in highly structured terrain. At boundaries, wind gets slowed down because it exerts shear stress on the surface which is characterised by the friction velocity. In an earlier experiment, the so-called Kansas-Experiment, the atmosphere boundary layer and the role of turbulence were investigated at an idealised, horizontal and homogenous location in the 1960s. Previous analyses, including those done with data from the "Wettermast", the measuring facility of the University of Hamburg's Meteorological Institute, were able to investigate the impact of external conditions on the wind in the horizontal plane and determine the friction velocity for wind profiles near the ground. Parametrisations for this wind behaviour and momentum exchange at horizontal boundaries have already been successfully implemented in LES models. In large cities, however, where large man-made structures can block and deflect the wind, the assumption of horizontal surfaces becomes untenable.

As a part of the Lehrexperiment (LEX), which takes place annually as a field experiment conducted by M.Sc. students and researchers from University of Hamburg, a series of measurements will be executed within the project "Urban Climate Under Change [UC]2". Two outriggers with a total of six ultrasonic anemometers will be installed at heights of approximately 42.5 m (10th floor) and 68 m (16th floor) at the wall of the 85 m tall Geomatikum building in downtown Hamburg (see figure below). Over a two-week period from August 09th to 20th 2021, the temperature and the u, v, and w components of the wind will be observed with a frequency of 20 Hz to calculate the friction velocity on the vertical wall. Additional observations of temperature, humidity, pressure, radiation, and wind are measured on top of the Geomatikum, at the 16th floor and close to the ground. In a second step, the observed meteorological parameters are combined to derive a robust relationship to the friction velocity.

The fundamental tendencies of the horizontal plane are expected to apply well to the vertical plane, since basic physical laws like the exchange of momentum are equally valid for all spatial directions. However, we expect to find that the effect of stratification on the wind profile and the friction velocity is vastly different in the vertical than in the horizontal. Furthermore, the near-wall stratification itself is presumed to be affected by the heat emitted from the vertical wall. The assumption that upward motion only occurs as a consequence of unstable stratification must be dropped because wind can be deflected upward by the wall even despite the air is stably stratified. The current work aims at finding statistical relations and physical dependencies between friction velocity, stratification, wind, wall roughness and inflow length. Those can be utilised to develop a suitable parametrisation implemented in small-scale numerical models like PALM-4U.



Sketch of the experimental set-up at the Geomatikum of the University of Hamburg.
Floor 10, 16 and 20 are marked in white.
Created by Akio Hansen and Christine Kaufhold.

Predicting surface temperatures at a vertical wall of a high-rise building in Hamburg

Christ, S., Kowalczyk, L., Sampaio, F. and Wu, Y.

Meteorological Institute, Department of Earth Sciences, University of Hamburg

New local urban climate models can resolve buildings and vertical walls explicitly. However, most applied parametrizations for the heat fluxes are based on very idealized measurements at horizontal homogenous terrain. Considering the heterogeneous surfaces and vertical structures that strongly vary in height within cities raises the question of whether heat flux parametrization on the horizontal can also be applied to vertical walls. During a student seminar at the University of Hamburg, we address this issue within the framework of the "Urban Climate Under Change [UC]²" project.

Initially, the surface temperature is modelled based on a Taylor approximated surface radiation budget for the horizontal surface. The reference and input data are radiation and temperature observation values from the year 2020 in a one- and ten-minute resolution. These are recorded at the Wettermast Hamburg, a 300 m high transmission tower that is used as a measuring facility of the meteorological institute at the University of Hamburg. In a second step, the surface temperature for the vertical wall of the Geomatikum, a 24-level high-rise building in the centre of Hamburg, is predicted. To change the horizontal model into a vertical model, the positioning of the building, the sky view factor, and different angles of the direct radiation on the vertical wall are additionally included. The vertical model uses the shortwave and longwave radiation values measured by a pyrgeometer, pyranometer and sunshine recorder on the rooftop of the Geomatikum. The surface temperature model for the vertical wall is validated during a two-week measurement campaign at the Geomatikum in August 2021 with images of the building frontage from an infrared camera (MOBOTIX Mx-M16TB-R079).

For the horizontal model, a seasonal dependent RMSE resulted between 0.61 K and 1.45 K. As the basic physical laws are equally applicable for the vertical direction, we expect a similar good model fit in the vertical. Promising model results on the vertical may open the way for a successful implementation of heat fluxes on building frontages in microscale models, for example the PALM-4U urban climate model in the [UC]² project.

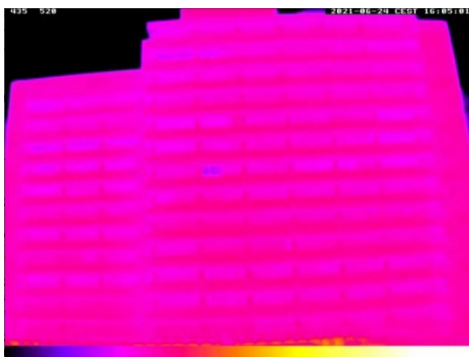


Image of a high-rise building frontage, made with the infrared camera (by Lange, I., 24th of June 2021).

Aerosol Signature Size Distributions: Comparison of different clustering methods applied to data from the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN)

Lazemi L[1], Bath O[2], Birmili W[2], Flentje H[3], Gerwig H[2], Bastian S[4], Meinhardt F[2], Schwerin A[2], Wiedensohler A[5],Wirtz K[2], Weber S[1]

[1] Climatology and Environmental Meteorology, Institute of Geoecology, Technical University of Braunschweig, Germany
[2] German Environment Agency (UBA), Dessau-Roßlau, Germany
[3] Deutscher Wetterdienst (DWD), Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg,Germany
[4] Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology, Dresden, Germany
[5] Leibniz Institute for Tropospheric Research (TROPOS), Leipzig, Germany.

The German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) was established in 2008 as a cooperative atmospheric observation network at 17 observation sites, designed for long-term observations of particle number size distributions (PNSD). GUAN data are instrumental in addressing research questions related to climate effects of aerosol and human exposure to (ultrafine) particles (Birmili et al. 2016). In this study, we analyse an hourly PNSD data set in the diameter size range of $20 < D_p < 800$ nm for the time period 2011 to 2014. Data from 14 GUAN sites were classified into four 'site types' including high altitude, rural, urban background and roadside environments.

The aim of our research is to understand the characteristics of local and regional aerosols and their sources, dynamics, and interactions. Hence, the information in the approx. 500×10^3 hourly PNSD was reduced to a number of signature size distributions at each site using clustering techniques (e.g. Beddows et al, 2009, von Bismarck-Osten and Weber 2014, Wegner et al, 2021). Two approaches (hierarchical- and K-means cluster analysis) were applied to classify the signature size distributions (SSDs) of particle number size distributions. The number of clusters was estimated by objective criteria such as the Silhouette index, the Dunn index, and the Cophenetic correlation coefficient (CPCC). Log-normal fitting, autocorrelation and spearman correlation were applied to the signature size distributions to compare the properties of size distributions at the different sites. Finally, the signature size distributions were analyzed for the relation with meteorological parameters by using a reanalysis data set (COSMO REA6) and an aerosol optical depth data product (NASA MERRA).

Our results indicate that the atmospheric particle number size distributions at a given observation site can be rather exhaustively broken down to a number of 5 to 8 clusters. Across different sites, many of these cluster size distributions show similar characteristics (shape, modal diameters, and diurnal cycle) that point to a wide-range presence of the same type of particle sources and processes. Cluster properties are studied related to the temporal occurrence as well as their temporal variability at different time scales (i.e., year-by-year, seasonal variation, monthly patterns of PNSDs) in order to work out the source-related and topographic effects related to different observation sites as well as overall meteorological conditions.

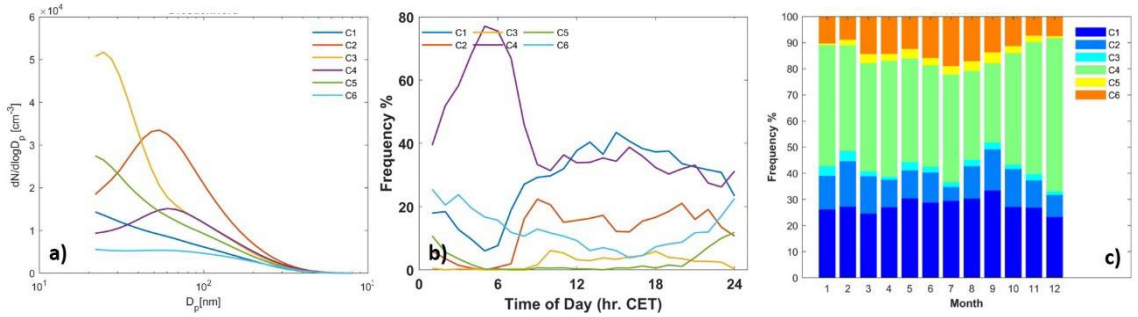


Figure 1. (a) Mean cluster size distributions (CSD), C1-C6, (b) Diurnal courses of CSD occurrences, (c) Mean seasonal courses of CSD occurrences at Dresden-Nord as an example site.

References:

Birmili, W., Weinhold, K., Rasch, F., Sonntag, A., Sun, J., Merkel, M., Wiedensohler, A., Bastian, S., Schladitz, A., Löschau, G., Cyrys, J., Pitz, M., Gu, J., Kusch, T., Flentje, H., Quass, U., Kaminski, H., Kuhlbusch, T. A. J., Meinhardt, F., Schwerin, A., Bath, O., Ries, L., Gerwig, H., Wirtz, K., and Fiebig, M.: Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN), Earth Syst. Sci. Data, 8, 355–382, https://doi.org/10.5194/essd-8-355-2016, 2016

Von Bismarck-Osten, C., & Weber, S. (2014). A uniform classification of aerosol signature size distributions based on regression-guided and observational cluster analysis. *Atmospheric Environment*, *89*, 346–357. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.050

Wegner, T., Hussein, T., Hämeri, K., Vesala, T., Kulmala, M., & Weber, S. (2012). Properties of aerosol signature size distributions in the urban environment as derived by cluster analysis. Atmospheric Environment, 61, 350–360. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.048

Beddows, David C. S., Manuel Dall'Osto, Roy M. Harrison, Manuel Dall'Osto, Roy M. Harrison, Manuel Dall'Osto, and Roy M. Harrison. 2009. Cluster Analysis of Rural, Urban, and Curbside Atmospheric Particle Size Data. Environmental Science and Technology 43(13):4694–4700.

Einfluss der Umgebung eines Fließgewässers auf das urbane Mikroklima: Messungen und Modellsimulationen am Geberbach in Dresden

Valeri Goldberg, Jule Morgenroth, Jonathan Müller, Astrid Ziemann

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie

Im Rahmen des Projektes „Blaues Band Geberbach“ (Landeshauptstadt Dresden, 2021) der Stadt Dresden ist die Freilegung eines z. T. verrohrten kleinen Fließgewässers (Geberbach) um urbanen Raum geplant. Die Revitalisierung beinhaltet zusätzlich Maßnahmen der Entsiegelung und Wiederbegrünung auch in der Umgebung des Geberbachs.

Vor diesem Hintergrund werden seit 2019 im erweiterten Einzugsgebiet des Geberbachs an mehreren automatischen Klimastationen zeitlich hochaufgelöste Daten für Lufttemperatur und Luftfeuchte kontinuierlich erfasst. Die stationären Stationen sind repräsentativ für verschiedene Klimatope (VDI-Richtlinie, 2015), d. h. es werden unterschiedliche Umgebungsbedingungen hinsichtlich Verbauung und Versiegelungsgrad und ihre Einflüsse auf das Mikroklima bewertet. Diese Messdaten wurden im Rahmen eines Studentenpraktikums im Juni 2020 durch Rundwege mit einem meteorologisch instrumentierten Messrucksack (Eigenbau TU Dresden, Professur Meteorologie) räumlich verdichtet. Auf diese Weise soll kontinuierlich der mikroklimatische Ausgangszustand vor Beginn der Revitalisierungsmaßnahmen mittels Messungen beprobt und eingeschätzt werden, um Änderungen nach der Durchführung von Maßnahmen festzustellen und ihre Wirksamkeit zu quantifizieren. Außerdem bieten insbesondere die Rucksackmessungen eine öffentlichkeitswirksame Maßnahme im Bereich der Umweltbildung und des Akzeptanzmanagements für die Revitalisierungsmaßnahmen.

Die Auswertung der Daten der Messstationen (zeitliche Auflösung 10 min) bzw. der mobilen Messungen (zeitliche/räumliche Auflösung 2 Sekunden, ca. 2 Meter) verdeutlicht den Einfluss der Unterlage (versiegelt, Brache oder Wiese) sowie der Umgebung (Sky View Faktor) auf die Verteilung der nächtlichen Temperaturminima in klaren Sommernächten bzw. den Einfluss von Beschattung auf die Temperaturverteilung am Tage. So traten in einzelnen Nächten Unterschiede in den Temperaturminima zwischen den Messstationen von mehreren Kelvin auf.

In Abb. 1 ist ein Beispiel für eine Messrunde im Geberbachgebiet dargestellt. Gut erkennbar sind die niedrigeren Temperaturwerte auf den großen Wiesenflächen im Nordosten des ca. 8 km langen Rundkurses.

Auf Basis von Simulationen mit dem Modell SOLWEIG aus dem QGIS-Modul UMEP (UMEP, 2021) wurde der potentielle Einfluss der Revitalisierungsmaßnahmen auf die mittlere Strahlungstemperatur (Tmrt) der Umgebung des Geberbachs untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der direkte Einfluss der Gewässerfreilegung auf die simulierte Tmrt aufgrund der geringen Flächenausdehnung gering bleibt. Deutlich stärker wirkt sich hier die Änderung der Umgebung durch Anlegen von kleinen Vegetationsflächen (wenige 100 m²) auf die Tmrt aus. Hier wurden Änderungsbeträge im Sommer abhängig von der Tageszeit von +/-10 K simuliert.

Zur weiteren Bewertung der SOLWEIG-Ergebnisse sind weitere Messgänge im Gebiet des Geberbachs geplant.

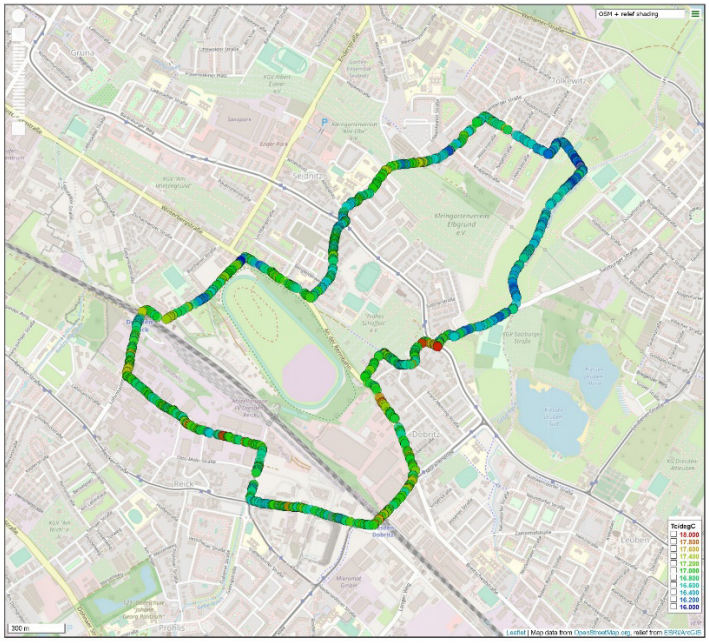


Abb. 1: Lufttemperatur (trendkorrigiert) im Geberbachgebiet am 26.06.2020, 05:04-06:50 MEZ.

Danksagung:

Installation und kontinuierliche Datenspeicherung der automatischen Messstationen wurden von der Landeshauptstadt Dresden gefördert. Besonderer Dank gilt auch den engagierten Studierenden, die über 5 Tage von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang die 8 km langen Messrunden abgesichert haben.

Literatur:

Landeshauptstadt Dresden, 2021: https://www.dresden.de/de/stadtraum/umwelt/umwelt/oberflaechenwasser/blaues-band-geberbach.php, zuletzt abgerufen: 28.06.2021

UMEP, 2021: https://plugins.qgis.org/plugins/UMEP/, zuletzt abgerufen: 29.06.2021

VDI-Richtlinie: VDI 3787 Blatt 1 Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. In: VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b Umweltmeteorologie. September 2015.

Messungen der 2m Temperatur zur Evaluierung von PALM-4U

Ines Langer, Alexander Pasternack, Henning W. Rust und Uwe Ulbrich

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie

Klimaanpassung ist in der Stadtentwicklung der Kontext von Stadtumbaumaßnahmen. Das innovative Stadtklimamodell PALM-4U (Maronga, et al. 2019), welches ein gebäudeauflösendes Modell mit einer Gitterweite von 1-10m ist, kann atmosphärische Prozesse simulieren und ist ein praxistaugliches Instrumentarium für Stadtplaner. Das Institut für Meteorologie der FU Berlin ist an der zweiten Programmphase von [UC]2 im Forschungsverbund 3DO+M beteiligt, welches u.a. das PALM-U Modell evaluiert.

In diesem Beitrag werden die Langzeitbeobachtungen der Lufttemperatur von Berlin zur Evaluierung des PAM-4 U Modells angewendet. Insgesamt stehen 32 Stationen des Stadtmessnetzes der Freien Universität Berlin, Institut für Meteorologie zur Verfügung, sowie acht weitere Stationen während einer Intensiven Messkampagne im Jahr 2018. Evaluiert wird der 16 Juli 2018 welches ein sonniger Tag (14h) mit einer maximalen Temperatur von 27.03°C (WMO 10381, Botanischer Garten) war. Da Berlin verschiedene Local Climate Zones (LCZs) nach (Stewart & Oke (2012)) aufweist, findet die Evaluierung in den entsprechenden LCZ's statt. Dies soll u.a auch die Unterschiede in der Temperatur zwischen Grünflächen- Wälder und Innenstadtbebauung (Abb. 1) aufzeigen, die den Interessen der Bewohner an der Naherholung dienen.

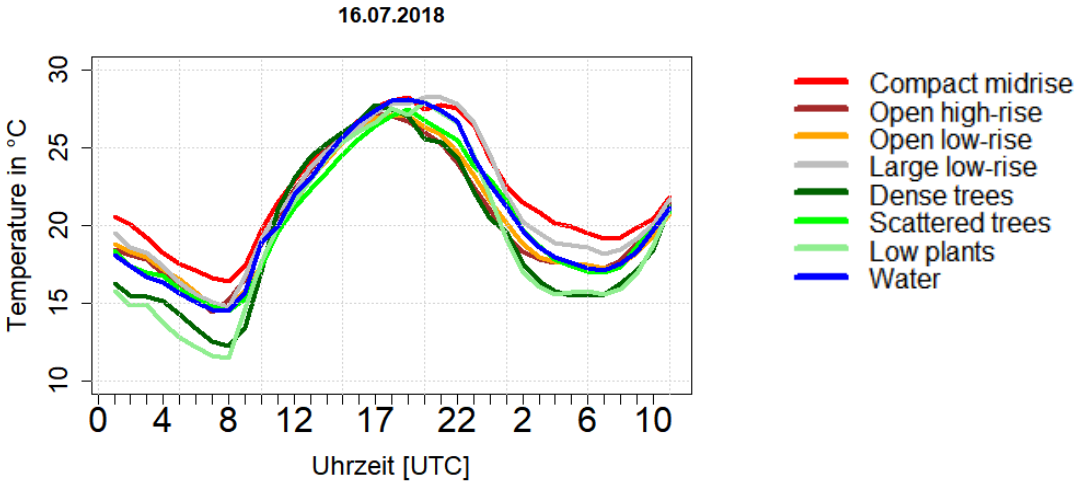


Abb. 1 Tagesgang der 2m Temperatur in den LCZ's für Berlin, 16.07.2018.

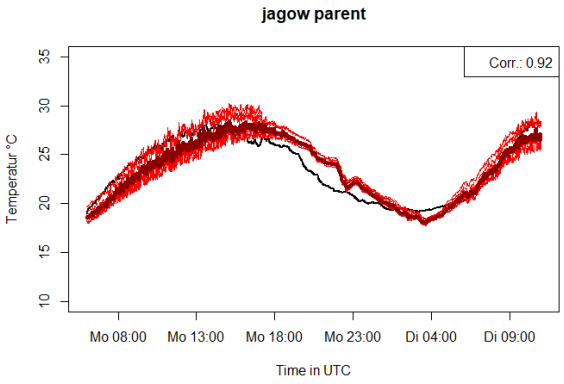


Abb. 2 Tagesgang der 2m Temperatur einer Innenstadtstation 16.07.2018, rot: PALM-4U, schwarz: Messung.

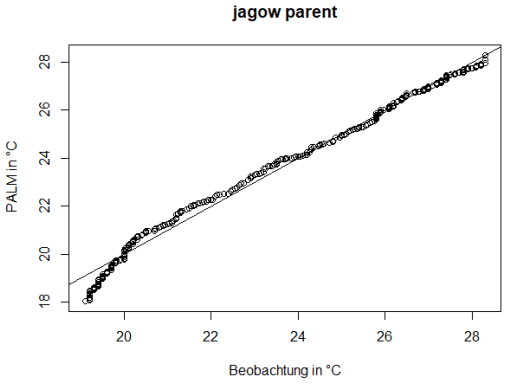


Abb. 3 QQ-Plot Darstellung der 2m Temperatur einer Innenstadtstation 16.07.2018.

Die Abb. 2 zeigt ein Beispiel eines Tagesgangs der 2m Temperatur vom 16.07.2018 einer Innenstadtstation (LCZ 2) im Vergleich zwischen Messung und dem Stadtklimamodell PALM-4U mit einer sehr guten Korrelation von 0.92. Durch die Quantil-Quantil-Plot Darstellung (Abb. 3), welches ein exploratives Werkzeug zwischen den Verteilungen von zwei numerischen Variablen ist, zeigt sich, dass die Temperaturabweichungen im Bereich bei 1K liegt, die im Tagesgang (Abb.2) gegen 21 Uhr zum Sonnenuntergang auftritt.

Diese Evaluierung dient der Praxistauglichkeit, durch die unterschiedlichen LCZ's und somit der Nutzungssituationen der kommunalen Verwaltung und anderer Akteure in der Stadt, um das Mikroklima mit Hilfe des Modells bestimmen zu können.

Literatur:

Maronga, B., G. Groß, S. Raasch, S. Banzhaf, R. Forkel, W. Heldens, F. Kanani-Sühring, A. Matzarakis, M. Mauder, D. Pavlik, J. Pfafferott, S. Schubert, G. Seckmeyer, H. Sieker, K. Winderlich (2019): Development of a new urban climate model based on the model PALM - Project overview, planned work, and first achievements, Met. Z., 28, 105-119 DOI: 10.1127/metz/2019/0909

Stewart, I.D., Oke, T.R. (2012) Local climate zones for urban temperature studies. Bull. Amer. Meteor. Soc. 93 1879-1900. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

Statistische Modellierung von Feuerwehreinsätzen für extreme Niederschlagsereignisse über Berlin

Alexander Pasternack, Ines Langer, Henning W. Rust und Uwe Ulbrich

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie

In Großstädten sowie städtischen Regionen sind die Auswirkungen von Extremereignissen (z. B. Starkregen) besonders stark spürbar. Da sich die durch gefährliche atmosphärische Ereignisse verursachten Probleme aufgrund des anthropogenen Klimawandels voraussichtlich verschärfen werden, ist eine angemessene Anpassungsplanung der städtischen Infrastruktur erforderlich. Dies erfordert nicht nur die weitere Erforschung möglicher Auswirkungen unter veränderten Klimabedingungen, sondern auch eine Überprüfung der praktischen Umsetzbarkeit für die betroffenen Interessengruppen und Akteure.

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprogramms "Stadtklima imWandel" ([UC]2) setzen wir Starkniederschlagsereignisse und die zugehörigen Feuerwehreinsätze über Berlin statistisch in Beziehung. Die Niederschlagsdaten basieren dabei auf zeitlich hoch aufgelösten Radardaten. Die Einsatzdaten der Berliner Feuerwehr sind zwar zeitlich und örtlich verfügbar, aber die Anzahl der registrierten Ereignisse ist gering und deren statistische Verteilung ist im Vergleich zu einem Poisson-Modell stark überdispersiv. Aufgrund dieses Problems verwenden wir ein s.g. zweiteiliges Hürdenmodell, wobei ein Teil die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Feuerwehreinsätzen und ein Teil die tatsächliche Anzahl von Einsätzen modelliert, wenn mindestens ein Einsatz stattfindet. In den entsprechenden statistischen Modellen werden die Parameter der Verteilungen durch additive Prädiktoren beschrieben, die auf der Niederschlagsdauer und -intensität sowie der Gebäudedichte basieren. Mit Hilfe einer Kreuzvalidierung über einen Datenzeitraum von 10 Jahren kann gezeigt werden, dass sowohl das Ereignis-Modell als auch das Modell für die Anzahl der Einsätze der Referenzklimatologie für große Gebiete in Berlin deutlich überlegen sind.

Tagungsprogramm - Mittwoch, 22.09.2021

09:20	Hinweise zur Tagungsorganisation
09:30	**B06** - Matthias, V. Luftqualität in Zentraleuropa während des COVID-19 Lockdowns: Einfluss von Emissionsänderungen
09:50	**B07** - Petrik, R. Luftqualität in Zentraleuropa während des COVID-19 Lockdowns: Welche Rolle spielt die Atmosphärendynamik?
10:10	**B08** - Schneider, M. Optimierung mesoskaliger Windfeldsimulationen für die Windenergie
10:30	Pause
11:00	**B09** - Böttcher, M. Fortschritt in Richtung Modellierung von Regenheterogenität in urbanen Gebieten
11:20	**B10** - Samad, A. (NW) Application of urban climate model PALM-4U to investigate pollutant distribution in Stuttgart
11:40	**B11** - Skoryi, M. Analyse der thermischen Wirkung von Dachbegrünung mittels Stadtklimamodellierung am Beispiel der Stadt Essen
12:00	Pause
13:00	**B12** - Kunka, R. Methodik zur Überprüfung von Standorten der Luftmessstationen gemäß 39. BImSchV
13:20	**B13** - Hansen, A. (NW) Evaluation von Wind und Turbulenz in realistischen, mehrtägigen Large Eddy Simulationen mit PALM-4U
13:40	**B14** - Plischka, H. (NW) Large Eddy Simulation der Gasausbreitung in einem vereinfachten Gebäudekomplex mit synthetisch erzeugten Windfeldern
14:00	Pause

14:30	**D01** - Kuttler, W. Stadtklimamanagement – anwendungsorientierte Daten für die Stadtplanung
14:50	**D02** - Schlünzen, H. Verbindung von Wissenschaft und Praxis – Normen in der Umweltmeteorologie
15:10	**D03** - Schmidt, B. Datenmanagement im [UC]²-Projekt - Ein praxisnaher Datenstandard und ein Datenmanagementsystem zur Interoperabilität von Klimamodell- und Observierungsdaten
15:30	Pause
16:00	**D04** - Voss, V. (NW) Entwicklung eines Datenstandards für mikroskalige Modellergebnisse
16:20	**D05** - Heil, A. Workshop: Standardisierte, FAIRe und CF-konforme Veröffentlichung von Daten aus der Atmosphären- und Stadtklimaforschung
17:20	Pause
17:30	Ehrungen
	Ende des Veranstaltungstages ca. 18:00 Uhr

Luftqualität in Zentraluropa während des COVID-19 Lockdowns: Einfluss von Emissionsänderungen

Volker Matthias[1], Markus Quante[1], Jan A. Arndt[1], Ronny Badeke[1], Lea Fink[1], Ronny Petrik[1], Josefine Feldner[1], Daniel Schwarzkopf[1], Eliza-Maria Link[1,2], Martin O.P. Ramacher[1], Ralf Wedemann[1,3]

[1]Helmholtz-Zentrum Hereon, Max-Planck-Straße 1, 21502 Geesthacht, Germany, [2]Leuphana Universität Lüneburg, Lüneburg, Germany, [3]Universität Hamburg, Hamburg, Germany

Die Emissionsänderungen aufgrund des COVID-19 Lockdowns, der die Ausbreitung des Coronavirus in Europa eindämmen sollte, stellte zweifellos die stärkste Reduktion seit Jahrzehnten dar. Dies betrifft insbesondere den Straßen- und Luftverkehr, aber auch die Bereiche Industrie und Energieerzeugung. In dieser Studie rekonstruieren wir den zeitlichen Verlauf der Emissionsänderungen in allen europäischen Ländern im ersten Halbjahr 2020 und quantifizieren ihren Einfluss auf die Konzentrationen der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2), Ozon (O_3) und Feinstaub ($PM_{2.5}$) durch Chemietransportmodellrechnungen. Wir analysieren die zeitliche und räumliche Verteilung der Konzentrationsänderungen und diskutieren dies in erster Linie im Kontext von luftchemischen Zusammenhängen. Eine detaillierte Betrachtung der meteorologischen Einflüsse erfolgt in einem weiteren Konferenzbeitrag.

Die Studie wurde mit dem Modellsystem COSMO-CLM/CMAQ für Europa auf einem 36 x 36 km² Gitter und einem darin genesteten Gitter mit 9 x 9 km² Auflösung durchgeführt. Die Emissionsdaten beruhen auf CAMS-REGAP-EU Version 3.1 für 2016 und wurden auf Basis der Emissionsentwicklung der vorigen Jahre pro Land und Emissionssektor bis 2020 fortgeschrieben. Die Emissionsänderungen aufgrund des Lockdowns wurden ebenfalls individuell für jedes Land für die Sektoren Straßenverkehr, Luftverkehr, Schifffahrt, Industrie und Energieerzeugung aus Proxydaten, wie Google Mobility Reports, Eurocontrol Flugdaten, AIS-Schiffspositionsdaten und Eurostat Energieverbrauch, berechnet. Abbildung 1 zeigt exemplarisch den zeitlichen Verlauf der Anpassungsfaktoren (sog. Lockdown Adjustment Factors, LAF) für Deutschland und Frankreich für die Sektoren Energieerzeugung, Industrie, Straßenverkehr und Flugverkehr.

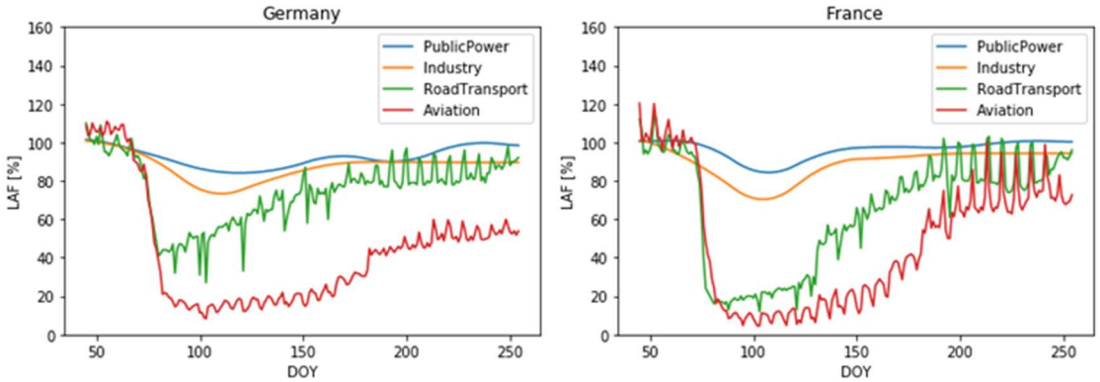


Abb.1: Lockdown Adjustment Factors (LAF, in %) für Deutschland (links) und Frankreich (rechts) für die Sektoren Energieerzeugung, Industrie, Straßenverkehr und Flugverkehr zwischen dem 19.2.2020 (Tag 50) und dem 6. September 2020 (Tag 250)

Chemietransportmodellrechungen mit und ohne Verwendung von LAFs wurden für den Zeitraum 20.12.2019 bis 30.6.2020 durchgeführt. Der Einfluss der Emissionsänderungen wurde für das zentraleuropäische Modellgebiet in halbmonatlichen Abschnitten für den Zeitraum vom 16.3.2020 bis 31.5.2020 ausgewertet. Die stärksten Konzentrationsänderungen zeigten sich in der zweiten Märzhälfte (16.3. – 31.3.). Die NO_2 Konzentrationen waren insbesondere in Norditalien und im südlichen Frankreich um bis zu 55 % zurückgegangen, in Deutschland betrugen die Rückgänge nur 15-25 % (siehe Abb. 2). Zugleich ging auch die Feinstaubkonzentration zurück allerdings nur um bis zu 14 % (nicht gezeigt). Die Ozonkonzentrationen stiegen aufgrund der zurückgegangenen Stickoxidemissionen in weiten Teilen Nordwesteuropas und in Norditalien sogar um bis zu 15 % an (Abb. 2). Im weiteren zeitlichen Verlauf verringerten sich die Auswirkungen des Lockdowns auf die Konzentrationsänderungen, in großen Teilen Zentraleuropas führten die Emissionsminderungen aufgrund des Lockdowns nun auch zu verringerten Ozonkonzentrationen. Dies steht im Zusammenhang mit den erhöhten Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) im Laufe des Frühjahrs, so dass nur noch wenige, hauptsächlich städtische, Gebiete VOC-limitiert waren. Stehen nur wenige VOC zur Oxidation von NO zur Verfügung, führen NO Emissionen zum Abbau von Ozon.

Ein Vergleich zwischen beobachteten und gemessenen Konzentrationen von NO_2, O_3 und $PM_{2.5}$ zeigte, dass das Modell die Messwerte und deren Änderungen weitgehend reproduzieren kann. Allerdings kann aus den modellierten Konzentrationen nicht auf die tatsächliche Emissionsänderung geschlossen werden. Die gemessenen Konzentrationen hingegen erlauben auch nur begrenzte Rückschlüsse auf Emissionsänderunegn.

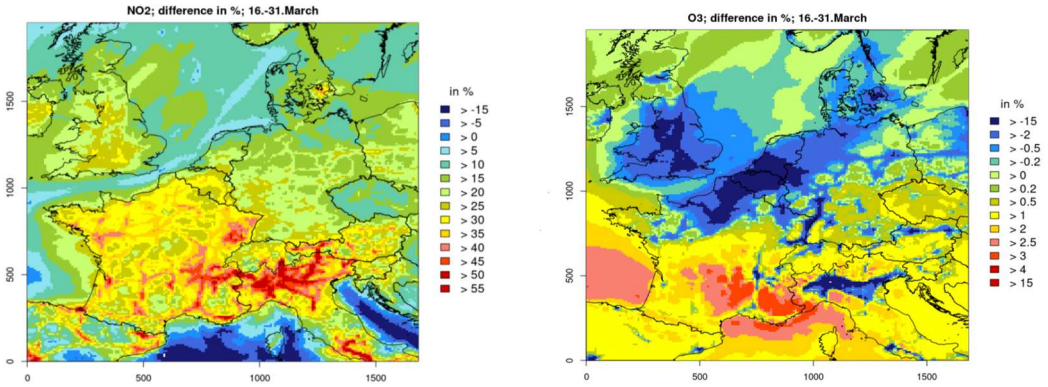


Abb.2: Änderungen der NO_2 Konzentrationen (links) und der Ozonkonzentrationen (rechts) in % aufgrund der durch den Lockdown bedingten Emissionsänderungen zwischen dem 16.3. und dem 31.3.2020. Positive Werte zeigen Konzentrationsrückgänge gegenüber einer Situation ohne Lockdown an.

In weiten Teilen Zentraleuropas sorgte der Lockdown zur Eindämmung der Ausbreitung von COVID-19 im Frühjahr 2020 zu massiven Rückgängen der Schadstoffemissionen, vor allem von Stickoxiden aus dem Verkehrssektor. In der Folge sanken in Ballungsräumen vornehmlich die NO2 Konzentrationen. Allerdings stiegen die Ozonkonzentrationen in der zweiten Märzhälfte als Folge des NOx Emissionsrückgangs in Nordwesteuropa teilweise leicht an. Der relative Rückgang der Feinstaubkonzentrationen fiel deutlich geringer als der der Stickoxide aus. Hier trägt der Verkehr weniger zu den Gesamtemissionen und zur Bildung sekundärer Aerosolpartikel bei. Unter anderen meteorologischen Bedingungen wäre der Effekt des Lockdowns auf die Schadstoffkonzentrationen deutlich anders ausgefallen. Diese Effekte werden in einem weiteren Beitrag zur METTOOLS untersucht.

Luftqualität in Zentraleuropa während des COVID-19 Lockdowns: Welche Rolle spielt die Atmosphärendynamik?

Ronny Petrik[1], Volker Matthias[1], Markus Quante[1], Jan A. Arndt[1], Ronny Badeke[1], Lea Fink[1], Josefine Feldner[1], Daniel Schwarzkopf[1], Eliza-Maria Link[1,2], Martin O.P. Ramacher[1], Ralf Wedemann[1,3]

[1]Helmholtz-Zentrum Hereon GmbH, Max-Planck-Straße 1, 21502 Geesthacht, Germany, [2]Leuphana Universität Lüneburg, Lüneburg, Germany, [3]Universität Hamburg, Hamburg, Germany

Die Emissionsänderungen aufgrund des COVID-19 Lockdowns stellte zweifellos die stärkste Reduktion seit Jahrzehnten dar. Besonders betroffen waren die Bereiche Straßen- und Luftverkehr, aber auch die Bereiche Industrie und Energieerzeugung. Durch aufwendige Rekonstruktion der Emissionsänderungen und unter Zuhilfenahme von Chemietransport-rechnungen lässt sich der Einfluss des Lockdowns auf verschiedene Luftschadstoffe systematisch quantifizieren; dies wird in einem anderen Konferenzbeitrag ausführlich diskutiert. Allerdings wollen wir in unserem Beitrag untersuchen, inwiefern meteorologische Bedingungen eine Lockdown-Phase beeinflussen. Dahingehend wird eine Lockdown-Situation in eben jenen Jahren der Vergangenheit nachgestellt, die sich atmosphärisch stark vom Jahr 2020 unterscheiden. Wir analysieren die zeitliche und räumliche Verteilung der Konzentrationen von Stickstoffverbindungen, Ozon und PM2.5 und bewerten den Einfluss der atmosphärischen Dynamik auf die Luftchemie. Diese Vorgehensweise gewinnt deshalb an Bedeutung, weil sich nicht alle unter COVID-19 simulierten / beobachteten Konzentrationsfelder allein durch den Einfluss einer Emissionsminderung erklären lassen.

Optimierung mesoskaliger Windfeldsimulationen für die Windenergie Neue Anwendungen und Vorteile

Martin Schneider, André Glücksmann

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2021 (EEG) sowie das nun verschärfte Klimaschutzgesetz sehen vor, dass in Deutschland in den kommenden Jahren die Treibhausgasemissionen stärker reduziert werden müssen und dementsprechend der Ausbau der Erneuerbaren Energien wie vor allem die Windenergie forciert werden soll. In diesem Zusammenhang wurde von anemos in dem Projekt: „Bereitstellung eines präzisen, validierten und aufbereiteten Datensatzes, zur kurzfristigen Umsetzung eines Windatlas am Umweltbundesamt (UBA)“ ein Windatlas für Deutschland entwickelt, welcher in Qualität und Genauigkeit neue Maßstäbe setzt. Zielsetzung des Windatlas Projektes war es zum Einen die Verbesserung der Datengrundlage für die Windenergienutzung und zum Anderen eine zusätzliche Unterstützung bei räumlichen Planungsfragen und Potentialabschätzungen.

Dafür mussten hohe Qualitätsstandards erfüllt werden: Hohe bis sehr hohe Korrelationen zu Messungen oder Erträgen, keinen signifikanten Fehler im Jahresgang sowie eine hohe Genauigkeit in der mittleren Windgeschwindigkeit.

Die Basis des neuen anemos Windatlas für Deutschland bilden die ERA5 Reanalysedaten, sowie ein auf Deutschland optimiertes Wettermodell. Die hohe Qualität des Windatlas wird durch das bei anemos bereits bewährte „Remodelling-Verfahren“ (Optimierungsverfahren) erreicht. Da generell in den Reanalysedaten systematische Abweichungen z.B. in der langjährigen mittleren Windgeschwindigkeit oder im Jahresgang vorhanden sind, konnte mittels des Remodelling-Verfahrens sowie einer zusätzlichen Implementierung einer Jahresgangkorrektur der Windatlas signifikant verbessert werden. Vor allem die Jahresgangkorrektur ermöglicht bei Langzeitbezügen von Kurzzeitmessungen und monatsabhängigen Restriktionen (Fledermaus) einen deutlichen Qualitätssprung welcher in der Arbeit von A. Basse gezeigt wird [*Basse, A., Callies, D., Grötzner, A., and Pauscher, L.: Seasonal effects in the long-term correction of short-term wind measurements using reanalysis data, Wind Energ. Sci. Discuss. [preprint], https://doi.org /10.5194/wes-2020-134, in review, 2021*].

Daneben bietet der neue Windatlas gegenüber den Vorgängern den wertvollen Vorteil bereits ca. 10 Tage nach Ende des Monats zur Verfügung zu stehen. Demnach können Betreiber, Portfolio-Manager und Betriebsführer nun zeitnah auf die aus dem Windatlas abgeleiteten anemos Ertrags- und Windindizes zugreifen. Für Ertragsgutachten stellen vor allem die bessere Korrelation und die Jahresgangkorrektur eine signifikante Verbesserung dar, da Restriktionen genauer berechnet werden können. Für Ersteinschätzungen ist die genaue mittlere Windgeschwindigkeit mit einer räumlichen Auflösung von bis zu 25 x 25 m² von Vorteil. Eine weitere Anwendung ist die schnelle und standortgenaue Berechnung des Windpotentials und der sektoriellen Weibullparameter.

Die Genauigkeit des Windatlas wurde durch den NEWA Ferry LiDAR Benchmark von B. Witha sowie einer internen und externen Verifizierung mit über 100 unabhängigen Windmessungen nachgewiesen [*Witha, B., A.N. Hahmann, T. Sile, M. Dörenkämper, Y. Ezber, E. Garcia-Bustamante, J. Fidel Gonzalez-Rouco, G. Leroy, J., Navarro, 2019: NEWA, Report on WRF model sensitivity studies and specifications for the mesoscale wind atlas production runs, https://zenodo.org/record/2682604#.XnH3GohKiHt*].

Zusätzlich wurde ein Vergleich von 26 unabhängigen Messungen zwischen den gängigen Mesoskala-Datensätzen NEWA (New European Wind Atlas), EMD-WRF Europe+ (EMD International A/S) und anemos (D-3km.E5) durchgeführt. Neben dem finalen standortgenauen anemos Windatlas (-site) werden die Atlas-Rohdaten (-raw) und die durch das Remodelling korrigierten 3km Daten (-cell) dargestellt, um die Verbesserung durch das Remodelling und durch die Korrektur auf den Standort darstellen zu können.

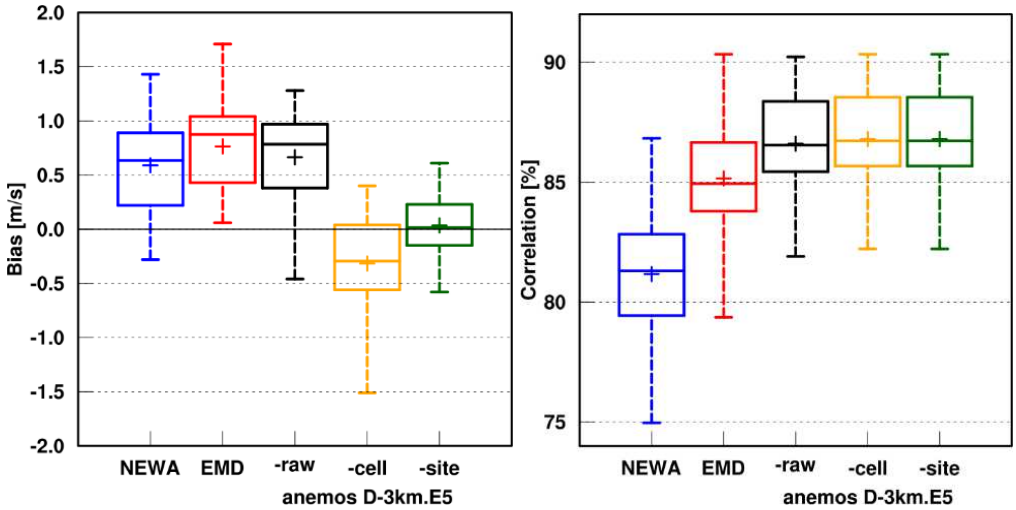


Abb.1: Dargestellt ist der mittlere Bias (links) und die Korrelation (rechts) der Windgeschwindigkeit für den NEWA, EMD und anemos Windatlas im Vergleich mit 26 unabhängigen Messungen (zeitliche Auflösung: 1h). Die Boxen stellen das 25 % - 75% Quartil - d.h. die mittleren 50% der Daten - und die Whisker (Antennen) das Minimum bzw. Maximum dar. Der Mittelwert (Median) ist durch ein Kreuz (Strich in der Box) markiert.

Abb.1 (links) zeigt, dass die Parametrisierungen und Einstellungen des WRF Modells entscheidend für die Korrelation der Windgeschwindigkeit ist. Demnach schneidet der anemos Windatlas um fast 10-%-Punkte besser ab als NEWA. Dies sieht bei Betrachtung des mittleren Bias der Windgeschwindigkeit ganz anders aus. Abb.1 (rechts) zeigt, dass sowohl EMD, NEWA und anemos-raw allesamt einen starken positiven Bias aufweisen. Durch das Remodelling und die letztendlich folgende Standortkorrektur (Höhen- und Rauhigkeitskorrektur) erfolgt eine signifikante Verbesserung auf einen mittleren Bias von ca. 0 m/s.

Die Ergebnisse zeigen ganz eindeutig, dass systematische Fehler in den mesoskaligen Simulationen korrigiert werden können. Für die Windenergieanwendung ist es daher unerlässlich die mesoskalige Simulation an reale Messungen anzupassen (Remodelling), ein mikroskaliges Downscaling auf den Standort zu implementieren und anschließend die Daten zu verifizieren, um einen Windatlas mit sehr hoher Qualität zu erreichen.

Fortschritt in Richtung Modellierung von Regenheterogenität in urbanen Gebieten

Marita Boettcher [1)], Finn Burgemeister [1)], Karolin S. Ferner [1, 2)], K. Heinke Schlünzen [1)]

1) Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, Bundesstr. 55, 20146 Hamburg
2) Climate Service Center Germany (GERICS), Helmholtz-Zentrum Hereon, Chilehaus, Fischertwiete 1, 20095 Hamburg

Städte verändern das regionale Klima und bewirken das lokal veränderte Stadtklima. Innerhalb der städtischen Hindernisschicht ist der mittlere Wind reduziert und die Turbulenz erhöht. Durch die Gebäude werden vertikale Winde induziert. Daraus resultiert auch Heterogenität im Regenmuster. Zwischen den Gebäuden, auf Plätzen und Fußwegen, kann dies für die Menschen unangenehme Folgen haben. Zusätzlich führen die versiegelten Flächen in einer Stadt zu verminderter Versickerung und einem erhöhten Oberflächenabfluss, einer der Ursachen für lokale Überflutungen im urbanen Raum.

Gestiegene Rechenkapazitäten erlauben hochauflösende Modellsimulationen in urbanen Gebieten mit einer horizontalen Gitterauflösung von deutlich unter 10 m. Die Berücksichtigung von meteorologischen Prozessen wie z. B. den Stadteinflüssen auf die Wolken- und Niederschlagsdynamik ist dabei möglich. Dies erlaubt uns den Einfluss von Regenereignissen, insbesondere Starkregenereignissen und Sturzfluten auf urbane Gebiete zu untersuchen. Allerdings ist die Modellgebietsgröße für höchstauflösende Modelle beschränkt und die Wolken- und Regenentwicklung passiert das Modellgebiet in kurzer Zeit, ohne dass sich Wolken bei einer advektiven Situation voll entwickeln zu können. Um dieses Problem zu bewältigen, benötigen die Modelle hochauflösende Informationen über Regenereignisse, die sich bereits außerhalb des Modellgebietes bilden und über die Stadt ziehen. Die Einflüsse der Stadt auf die Regenereignisse können dann untersucht werden.

In Hamburg sind die Daten eines X-Band Radars auf einer 100 m räumlicher und 30 s zeitlicher Auflösung sowie die Daten eines vertikal messenden Mikroregenradars (zeitliche Auflösung von wenigen Sekunden) über mehrere Jahre verfügbar. Die hochauflösenden Messungen sind für die Entwicklung einer Forcing-Methode für das mikroskalige, hindernissauflösende Transport- und Strömungsmodell MITRAS (Salim et al. 2019) genutzt worden. Mit der Forcing-Methode werden 2D und 3D Informationen über die Regenrate in dem Modellgebiet zusammengefasst. Mit dem Nudging-Ansatz werden die Informationen über die Regenrate zu den seitlichen und dem oberen Rand des Modellgebietes hinzugefügt. Zur Evaluierung der Methode werden Modellsimulationen mit verschiedenen synoptischen Grundbedingungen genutzt.

In diesem Beitrag wird die Forcing-Methode beschrieben und die Ergebnisse von verschiedenen Testfällen für ein Testgebiet in Hamburg präsentiert.

Salim M.H, Schlünzen K.H., Grawe D., Boettcher M., Gierisch A.M.U., Fock B.H. (2018): The microscale obstacle-resolving meteorological model MITRAS v2.0: model theory. Geosci. Model Dev., 11, 3427–3445, https://doi.org/10.5194/gmd-11-3427-2018.

Application of urban climate model PALM-4U to investigate pollutant distribution in Stuttgart

Abdul Samad, Ninoska Alejandra Caballero Arciénega, Talal Alabdallah, Ulrich Vogt*

University of Stuttgart, Institute of Combustion and Power Plant Technology (IFK), Department Flue Gas Cleaning and Air Quality Control, Germany

The air pollution situation in the German city of Stuttgart is of great importance as high pollutant concentrations are measured here as compared to other German cities. This is mainly due to its geographical location as it is situated in a basin surrounded by hills on three sides. This leads to reduced wind speeds that inhibit pollutant dispersion. One of the main contributors to the pollutant concentrations in the Stuttgart is local traffic. In this study, the urban climate model PALM-4U was applied to obtain the pollutant distribution along the federal highway B14 of Stuttgart in order to evaluate the impact of traffic on air quality.

The simulations were carried out in two areas of the city, namely Kaltental valley and Am Neckartor with the domain size of 1.6 km × 2 km and 3.2 km × 2 km respectively having grid size of 10 m for each domain. The federal highway B14 affects the air quality of both investigated areas. The influence of traffic emissions on the air quality of Stuttgart was studied for winterer and summer days. The winter simulation was performed for February 14, 2017 starting at 6:00 UTC and the summer simulation for July 8, 2018 starting at 04:00 UTC. These dates were selected since they correspond to the period when a measuring campaign in the domain areas took place. This enables a comparison of the measured and the modelled data. All the simulations were run with a spin up time of one day.

The static driver consisting of topographic data, geographical information, surface and vegetation data, etc. was acquired from German Space Agency (DLR). The dynamic driver including the dynamic information on the initial state of atmosphere was generated with the pre-processing tool INIFOR using German Weather Service (DWD) COSMO data as input data. Non-cyclic boundary conditions were used with no slip boundary condition at the bottom and free slip boundary condition at the top.

It can be concluded that the urban climate model PALM-4U is able to simulate the air pollutants of cities with complex topography, which makes it possible to analyze the pollutant's behavior. The results show that the air pollutants from traffic emissions on federal highway B14 are distributed in the investigated areas proving the significance of traffic on the air quality of the city. The comparison of model results with actual results showed a satisfactory correlation.

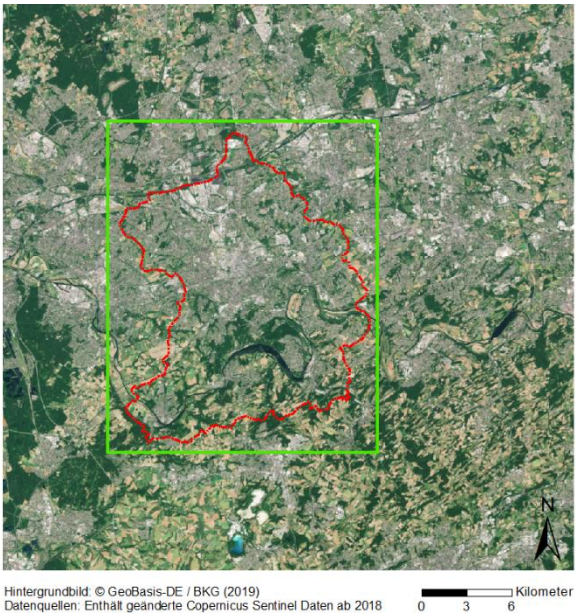
Analyse der thermischen Wirkung von Dachbegrünung mittels Stadtklimamodellierung am Beispiel der Stadt Essen

Margarita Skoryi[1], Dr. Saskia Buchholz[1]

[1]Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung, 63067 Offenbach (Deutschland)

Im Zuge des Klimawandels gewinnt die städtische Wärmeinsel zunehmend an Bedeutung bei einer klimaangepassten Stadtentwicklung. So steht es im Interesse der Stadtplanung Maßnahmen zu ergreifen, die sich positiv auf das Stadtklima auswirken. Der Erhalt und die Schaffung städtischer Grünflächen steht dabei im Fokus, konkurriert jedoch mit anderen flächenverbrauchenden Interessen wie zum Beispiel dem Wohnungsbau um die begrenzten Flächenressourcen der Stadt. Eine mögliche Option für die Erweiterung der grünen Infrastruktur bildet die Begrünung von Dachflächen und dehnt somit den Handlungsspielraum der Stadtplanung aus. Zu den vorteilhaften Wirkungen des Dachgrüns können neben der kühlenden Wirkung im Sommer ebenso positive Einflüsse hinsichtlich der Luftqualität, Lärmminderung, Gebäudeisolation, biologische Diversität und Entlastung der Abwasserinfrastrukturen durch Verzögerung des Niederschlagabflusses infolge der zusätzlichen Wasserspeicherung zählen. Anhand dieser ökonomischen und ökologischen Vorteile wächst das Interesse von Städten und Kommunen an Dachbegrünungsinitiativen und –förderungen als Werkzeug zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Für die Stadt Essen soll mithilfe von computerbasierter Stadtklimamodellierung eine wissenschaftliche und stadtplanungsrelevante Analyse der thermischen Effekte der Dachbegrünung auf Quartiers- und Gesamtstadtebene durchgeführt werden. Als Eingangsdaten kommen hierbei neben den bereits implementierten landbedeckungsspezifischen Daten ein Gründach- und ein Gründachpotentialkataster hinzu, basierend auf den Befliegungsdaten der Stadt Essen.



Modellgebiet (Rot: Stadt Essen, Grün: Kerngebiet der Modellrechnung)

Beim Gründachkataster wird die Verteilung der aktuellen Begrünungsformen (extensiv/intensiv) wiedergegeben wohingegen das Potentialkataster die überwiegend mögliche Begrünungsform wiederspiegelt. Insgesamt werden bei den Modellrechnungen drei Zustände verfolgt um die klimatischen Effekte zu quantifizieren: ohne Dachbegrünung, Dachbegrünung zum Zeitpunkt der Befliegung und maximal mögliche Dachbegrünung. Die Durchführung der Modellrechnungen erfolgt mittels des 3-dimensionalen mikroskaligen urbanen Klimamodells MUKLIMO_3. Für die Ermittlung der thermischen Wirkung der Dachbegrünung werden die Tagesgänge der Lufttemperatur sowie der gefühlten Temperatur ausgewertet. Letzteres wird durch das Klima-Michel-Modell errechnet und setzt sich zusammen als Funktion aus der Lufttemperatur, Wasserdampfdruck, Windgeschwindigkeit, mittlere Strahlungstemperatur, der metabolischen Rate des Menschens und der Wärmeisolation der Bekleidung.

Generell ist die potentielle Kühlwirkung der Dachbegrünung abhängig von der Art und Mächtigkeit des Dachsubstrates, deren Feuchte und der Art der Bepflanzung. Dementsprechend sind auch weitere Modellrechnungen geplant, die eine Bewässerung bzw. eine Verdunstungsoptimierung des Dachbegrünungssystems berücksichtigen. Besonders bei nicht bewässerter, extensiver Begrünung mit einer dünnen Substratschicht nimmt die Kühlwirkung bei Hitze und Niederschlagsarmut durch die schnellere Austrocknung des Substrates ab. Daher bieten diese Sensitivitätsstudien einen Überblick inwiefern die potentielle Kühlwirkung bei unterschiedlicher Wasserzufuhr aufrechterhalten werden kann. Begrünte Dachflächen können wiederrum durch das von verschiedenen urbanen Flächen zurückgehaltene Niederschlagswasser bewässert werden. Sie bilden ein wichtiges Element im Sinne des Schwammstadtprinzips.

Überprüfung von Standorten der Luftmessstationen gemäß 39. BImSchV

Rainer Kunka und Frank-Christian Zacharias

Dipl. Phys. und Dipl. Ing., bis 2016 und 2017 in der TLUG Jena

Einige wesentliche Anforderungen der 39. BImSchV lassen sich mit den folgenden Fragen zusammenfassen:

- Stehen die Luftmessstationen an der richtigen Stelle und wo müssten unter Umständen weitere neue Stationen aufgestellt werden?
- Sind die vorhanden Messungen an den Standorten repräsentativ für das jeweilige Gebiet?
- Wie kann man solche Überprüfungen grundsätzlich vornehmen?
- Wie viele Luftmessstationen sollte man mindestens in einer Stadt aufstellen?

Die Verordnung gibt teilweise sehr konkrete Anforderungen vor. Sind aber z. B. vorgeschriebene Mindestabstände zu Kreuzungen, dem Straßenrand und zu Gebäuden eine Garantie für einen richtigen Standort, oder bedarf es weiterer Überprüfungen?

Unter Anlage 3 B. Großräumige Ortsbestimmung der Probenahmestellen wird u. a. folgendes gefordert:

1.a): „Der Ort von Probenahmestellen, an denen Messungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit vorgenommen werden, ist so zu wählen, dass folgende Daten gewonnen werden:

Daten über Bereiche innerhalb von Gebieten und Ballungsräumen, in denen die höchsten Werte auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich direkt oder indirekt über einen Zeitraum ausgesetzt sein wird, der im Vergleich zum Mittelungszeitraum der betreffenden Immissionsgrenzwerte signifikant ist; Daten zu Werten in anderen Bereichen innerhalb von Gebieten und Ballungsräumen, die für die Exposition der Bevölkerung allgemein repräsentativ sind."

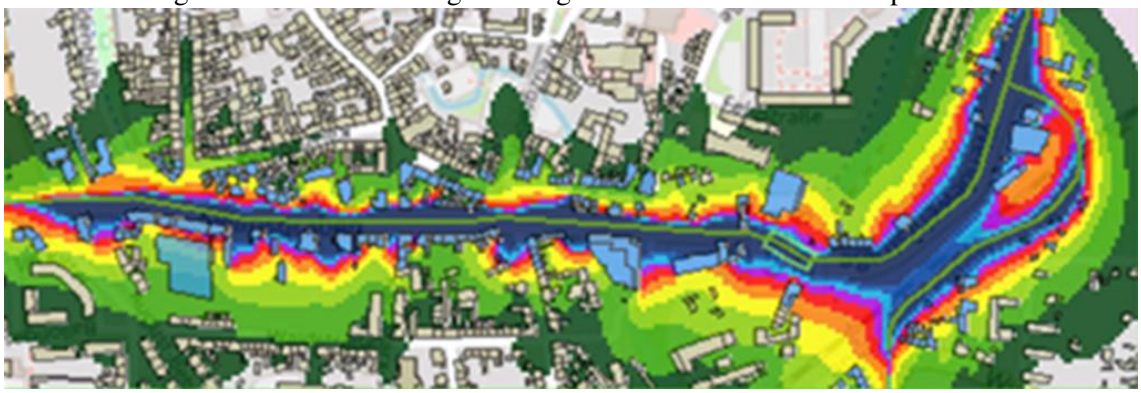
1.b): „Der Ort von Probenahmestellen ist im Allgemeinen so zu wählen, dass die Messung von Umweltzuständen, die einen sehr kleinen Raum in ihrer unmittelbaren Nähe betreffen, vermieden wird. Dies bedeutet, dass der Ort der Probenahmestelle so zu wählen ist, dass die Luftproben, so weit möglich, für die Luftqualität eines Straßenabschnitts von nicht weniger als 100 Meter Länge bei Probenahmestellen für den Verkehr repräsentativ ist."

Unter Anlage 3 C. Kleinräumige Ortsbestimmung der Probenahmestellen der 39. BImSchV wird u. a. folgendes gefordert:

„Bei allen Schadstoffen dürfen verkehrsbezogene Probenahmestellen zur Messung höchstens 10 Meter vom Fahrbahnrand entfernt sein; vom Fahrbahnrand verkehrsreicher Kreuzungen müssen sie mindestens 25 Meter entfernt sein. Als verkehrsreiche Kreuzung gilt eine Kreuzung, die den Verkehrsstrom unterbricht und gegenüber den restlichen Straßenabschnitten Emissionsschwankungen (durch Stop-and-go-Verkehr) verursacht."

Eine Messstation kann naturgemäß nur an einem Punkt Luftschadstoffkonzentrationen messen. Man müsste sehr viele Messstationen in einem Gebiet bzw. einer Stadt aufstellen, was sehr kostenintensiv wäre; dies würde aber auch nicht sicherstellen, dass die Stationen an repräsentativen Stellen messen. **Rein rechnerische Schadstoffausbreitungssimulationen in einem feinen Raster, maximal 10m, können hingegen Gebiete hinsichtlich der Schadstoffbelastung vollständig beschreiben.**

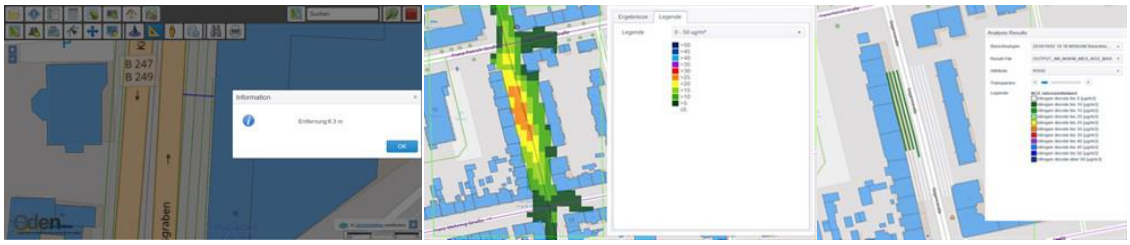
Die folgende Karte zeigt beispielhaft ein Gebiet von 1500m mal 450m. Die Farbabstufung gibt an, wie hoch die Schadstoffkonzentrationen für NO2 sind. Die Gebäude und Straßen wurden einem landesweiten GIS entnommen. Die Berechnungen erfolgten mit MISKAM in einer mikroskaligen 5m-Rasterauflösung in wenigen Stunden auf der Internetplattform ODEN.



Kartierung der Rasterergebnisse (um 90° gedreht)

Die Berechnungsergebnisse im Untersuchungsgebiet sind selbst für Fachleute nicht ohne weitere Hilfsmittel dahingehend zu interpretieren, wo eine oder mehrere Luftmessstationen gemäß den Anforderungen der 39. BImSchV positioniert werden müssten.

Mittels einer statistischen Auswertung der Raster-Berechnungsergebnisse werden Bereiche entlang der hochbelasteten Straßen erkannt und visualisiert, die die Anforderungen der 39.BImSchV erfüllen.



Statistische Auswertungen der Rasterergebnisse

Ein Zoom in die Karte zeigt hier rechts grüne Linien entlang der Straße, die Bereiche kennzeichnen, die zusammenhängende homogene Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Dort könnten Luftmessstationen installiert sein, um repräsentativ für ein Gebiet zu messen. Mindestlänge für erkannte Messabschnitte war 50 m, Mindestabstand von Kreuzungen war 25 m, die Linien wurden aus Maximalwerten abgeleitet. Die Geometrieanforderungen sind variabel wählbar.

Evaluation von Wind und Turbulenz in realistischen, mehrtägigen Large Eddy Simulationen mit PALM-4U

Akio Hansen, Felix Ament

Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Bundesstr. 55, 20146 Hamburg, Deutschland, akio.hansen@uni-hamburg.de

Durch den globalen Klimawandel verändert sich ebenfalls das kleinräumige Klima in der Stadt, wobei viele Effekte wie z.B. Hitzewellen oder Starkregen durch die hohe Bebauungsdichte größere Auswirkungen haben (Smith et al., 2014). Die gezielte Anpassung der Städte an die veränderten Bedingungen ist ein entscheidender Faktor, damit Städte auch in Zukunft lebenswerte Orte bilden. Dank der gestiegenen Rechenleistung in den vergangenen Jahren sind wirbelauflösende Large Eddy Simulation (LES)-Modelle wie PALM-4U (Maronga et al., 2015; Raasch und Schröter, 2001) nicht mehr auf idealisierte Konfigurationen beschränkt, sondern können realistische Simulationen mit realen Antriebsdaten für große Stadtgebiete berechnen. Diese realistischen LES Modelle helfen relevante Prozesse des Stadtklimas zu untersuchen und unser Verständnis zu erweitern. Zudem finden sie zunehmend Anwendung in der Praxis wie der Stadtplanung. Entscheidend für die Nutzung neuer Simulationswerkzeuge wie PALM-4U ist jedoch die Sicherstellung, dass atmosphärische Größen wie die Turbulenz sowie die zugrundeliegenden Prozesse realitätsnah wiedergegeben werden. Darüber hinaus ist die Evaluation relevant, um die Möglichkeiten und Grenzen des Modells zu kennen, sodass diese bei der Interpretation berücksichtigt und Fehlschlüsse vermieden werden.

Für das PALM-4U Modell wird untersucht, wie gut mesoskalige Größen bei Simulationen mit realem Antrieb repräsentiert werden und ob ein Mehrwert gegenüber dem antreibenden Modell zu identifizieren ist? Wie gut wird das Windfeld und die Turbulenz in der Grenzschicht wiedergegeben? Hieran anschließend wird die Frage diskutiert, wie hochaufgelöste LES-Modelle in der Praxis interpretiert werden können.

Zur Beantwortung der Fragen wurde mit dem PALM-4U Modell ein einwöchiger Zeitraum aus dem August 2020 mit realem Antrieb durch COSMO-D2 Analysen vom Deutschen Wetterdienst simuliert. Das Modellgebiet ist um den Wettermast Hamburg am östlichen Stadtrand zentriert und rund 6 x 6 x 3 km groß (Abb. 1). Die Auflösung beträgt 10 m in alle Richtungen, wobei eine zusätzliche Fallstudie mit 1 m Auflösung für ein kleineres Gebiet durchgeführt wurde. Die umfassenden und bis zu 20 Hz aufgelösten Beobachtungsdaten vom Wettermast Hamburg (wettermast.uni-hamburg.de) bis in 280 m Höhe dienen als Referenz. Diese Studie ist Teil des deutschlandweiten „Stadtklima im Wandel [UC]^2“ Projekts.

Die mesoskaligen, 10-minütigen Größen wie z.B. der 10 m-Wind und die 2 m-Temperatur werden von PALM-4U überwiegend vom antreibenden COSMO-D2 Modell ohne erkennbaren Mehrwert reproduziert. Trotz deutlich höherer Auflösung von 10 m gegenüber den 2,2 km vom COSMO-D2 Modell werden weiterhin nicht alle Grenzschichtprozesse explizit aufgelöst und zugleich ist das Modellgebiet zu klein für eine eigene Modellentwicklung. Hierdurch ist die atmosphärische Stabilität von PALM-4U sehr ähnlich zum COSMO-D2. Die Turbulenzintensität wird bei der 10 m aufgelösten PALM-4U Simulation deutlich unterschätzt, wohingegen die 1 m aufgelöste Simulation einen größeren Teil der Turbulenz direkt auflösen kann. Hierdurch

werden die Abweichungen zu den Messungen substantiell reduziert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Auflösung von 10 m für LES Modelle oftmals zu gering ist.

Die Ergebnisse werden im Rahmen des Vortrages diskutiert und Schlussfolgerungen zur Anwendung in der Praxis gezogen. Zusätzlich wird ein Ausblick zur Evaluation der Turbulenz an vertikalen Wänden mit Hilfe von Messungen an einer Hochhausfassade gegeben.

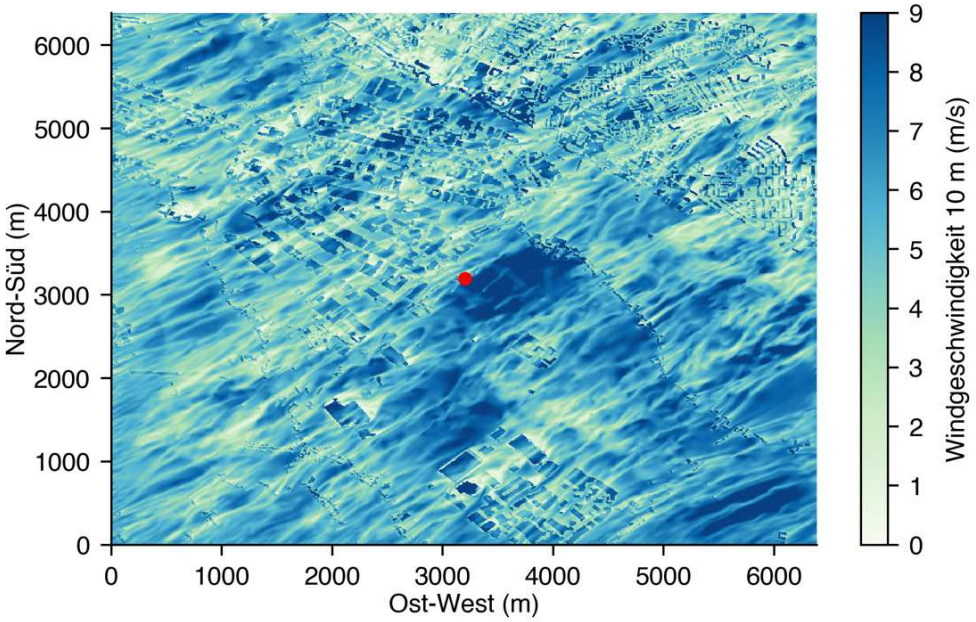


Abbildung 1: Simulierte, instantane 10 m-Windgeschwindigkeit im Modellgebiet von PALM-4U rund um den Wettermast Hamburg (roter Punkt).

Literatur:

Raasch, S. and M. Schröter (2001): PALM - a large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. Meteorol. Z. 10, 363–372.

Maronga, B., Gryschka, M., Heinze, R., Hoffmann, F., Kanani-Sühring, F., Keck, M., Ketelsen, K., Letzel, M. O., Sühring, M., and Raasch, S. (2015): The Parallelized Large-Eddy Simulation Model (PALM) version 4.0 for atmospheric and oceanic flows: model formulation, recent developments, and future perspectives, Geosci. Model Dev., 8, 1539-1637, DOI:10.5194/gmd-8-2515-2015.

Smith, K.R., A. Woodward, D. Campbell-Lendrum, D.D. Chadee, Y. Honda, Q. Liu, J.M. Olwoch, B. Revich, R. Sauerborn, 2014: Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-benefits. In: Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. Maccracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 709-754.

Large Eddy Simulation der Gasausbreitung in einem vereinfachten Gebäudekomplex mit synthetisch erzeugten Windfeldern

Henry Plischka, Johann Turnow, Nikolai Kornev

Universität Rostock

Zur Ermittlung von Sicherheitsabständen bei störfallbedingten Stofffreisetzungen können verschiedene Methoden der Gasausbreitungsberechnung verwendet werden. Vorwiegend wird hierzu die VDI Richtlinie 3783 Blatt 1 herangezogen und die Ausbreitung mit Hilfe von Gauß'schen Modellen abgeschätzt. Bei Freisetzungszenarien in komplexem Gelände mit Gebäuden und anderen Hindernissen führen diese Modelle zu großen Unsicherheiten in den Ergebnissen, welche mit modernen CFD-Methoden reduziert werden können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit neben der mittleren Konzentration auch zeitlich aufgelöste Informationen der Gasausbreitung zu gewinnen, die weitere Aussagen über die Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit von zündfähigen Konzentrationen an einem Ort zulassen.

In diesem Beitrag, der Teil eines Verbundprojektes aus der Universität Hamburg, dem Bundesamt für Materialforschung und der Universität Rostock ist, wird mit Hilfe transienter Large Eddy Simulationen (LES) die Ausbreitung von dichte-neutralem und schwerem Gas in einer vereinfachten industriellen Bebauung berechnet. Dabei werden das Geschwindigkeits- und Konzentrationsfeld für verschiedene Anströmrichtungen und Gasauslassöffnungen untersucht und mit Messwerten aus dem Grenzschichtwindkanal verglichen. Zur Verringerung der numerischen Kosten und einer höheren Flexibilität in der Vorgabe der Geschwindigkeitsprofile wird ein, durch synthetisch generierte Turbulenz erzeugtes, Windfeld verwendet. Zusätzlich werden andere, die Simulationszeit reduzierende Parameter, besprochen.

Die im Beitrag präsentierten Ergebnisse zeigen, dass durch Verwendung von LES mit synthetisch erzeugter Turbulenz am Einlass eine deutliche Verringerung der Rechenzeit sowie weiterhin gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen erreicht werden kann. Sowohl die Geschwindigkeitsfelder als auch die Gaskonzentrationen im bebauten Gebiet werden von der Simulation gut wiedergegeben, was beispielhaft an den Konturplots für den Gasaustritt im Dach einer großen Lagerhalle (Abb. 1) zu erkennen ist.

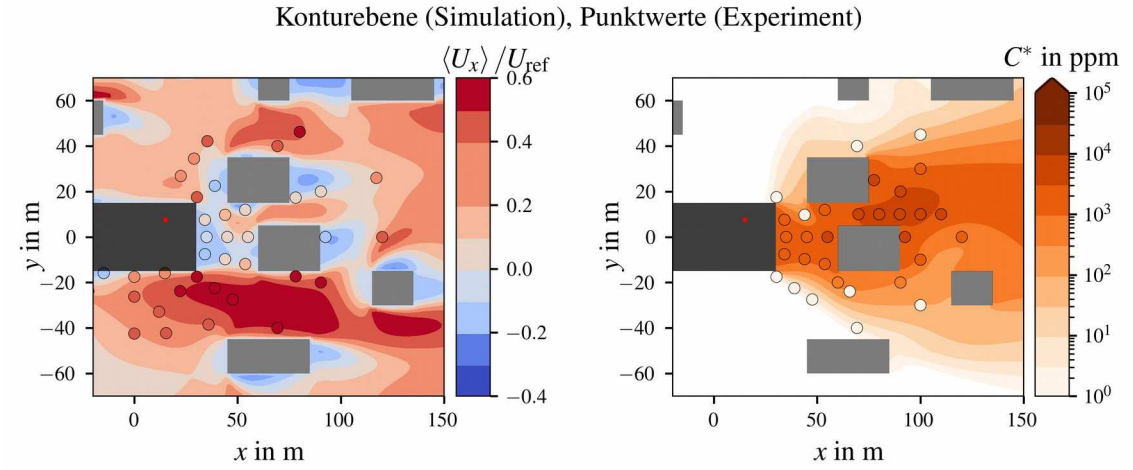


Abb. 1: Zeitlich gemittelte, normierte Geschwindigkeits- (links) und Konzentrationsfelder (rechts) in 2m über dem Boden, Kontur aus LES-Simulation und Punktwerte aus Windkanalmessungen, Gasaustritssquelle im Dach des Hauptgebäudes (rot markiert).

Stadtklimamanagement –anwendungsorientierte Daten für die Stadtplanung

W. Kuttler, Essen und L. Katzschner, Kassel

Städte sind hochkomplexe Gebilde, die die natürliche Erdoberfläche in vielfacher Hinsicht durch bauliche Tätigkeit verändern. Das betrifft nicht nur erhebliche Eingriffe in die Strömungsdynamik der urbanen Grenzschicht, sondern wegen der Verwendung meist kompakter Baumaterialien und technisch produzierter Abwärme auch die Strahlungs-und Wärmeströme an, unter- und oberhalb der Bodenoberfläche.

Hinzu treten nutzungsbedingte Beeinflussungen durch Kraftfahrzeugverkehr, Industrie, Gewerbe sowie Wohnen, die darüber hinaus die Luftqualität in unterschiedlich starkem Maße beeinträchtigen. Städte stecken in dem Dilemma, dass bei hoher Einwohnerdichte und Versiegelung der Oberfläche die Stadtbevölkerung erwartet, an einer lebenswerten Umwelt ohne gesundheitliche Einschränkungen partizipieren zu können.

Da der globale Klimawandel insbesondere die Städte mit seinen Auswirkungen betrifft, ist davon auszugehen, dass vornehmlich die städtische Überwärmung an Intensität zunimmt und sich die thermischen Beeinträchtigungen (z. B. Hitzewellen sowie dadurch erhöhte Morbiditäts- und Mortalitätsraten) steigern werden. Belüftungseinschränkungen führen zur Verminderung der Luftqualität (Stagnationsbedingungen oder Generierung temperaturabhängiger Luftschadstoffe), und lokale Konvektionen über urbanen Räumen können die Gefahr von Starkregenereignissen erhöhen.

Städte können bereits jetzt auf Grund ihrer Erwärmung gegenüber dem Umland als Vorboten des globalen Klimawandels gelten. Das bietet die Möglichkeit, umweltmeteorologisches und damit auch human-biometeorologisches Datenmaterial per Messung oder Simulation unter den gegenwärtig vorherrschenden Bedingungen in der städtischen Grenzschicht zu gewinnen und die Ergebnisse anwendungsorientiert aufzubereiten.

In der Diskussion um Flächenverbrauch in der Verbindung mit einer verdichteten Stadt tritt die stadtklimatische Abwägung immer mehr in den Vordergrund.

Hierzu bedarf es eines auf die Stadtplanungsebenen bezogenen Managementsystems, das durch technische Regeln abgesichert ist, um entsprechende Vorlagen für Planungsentscheidungen vorzulegen. Beispiele für die unterschiedlichen Skalenebenen, die das Klima und die Planung betreffen, enthält Abb.1. Aufgabe eines derartigen Systems ist dabei nicht nur die objektive Quantifizierung der Klima- und Luftqualitätseigenschaften, zum Beispiel durch Indices, darzustellen, sondern möglichst auch deren Zusammenführung in 2 verständlichen und damit entscheidungsvereinfachenden Maßzahlen sowie entsprechenden Karten (z. B. Stadtklimakarten) – quantifizierend und damit wertend – zu gewährleisten.

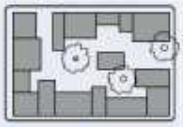
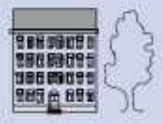
Administrativ	Planungsebene		Klimaebene	Fachbeitrag Klima	Anpassungsstrategien
	Regionalplan Ca. M 1:100.000 Genauigkeit: 100-500m	Mesoklima	**Regionalklima** Thermische und topografische bedingte Prozesse	Klimazone, Regionalklimaanalyse (Luftaustauschprozesse, Überwärmung)	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete „Klima“ (Luftaustausch und Flächenverteilung)
	Stadtentwicklung/ Flächennutzungsplan ca. M 1:10.000 Genauigkeit: 20-100m		**Stadtklima** Klimatope, Stadtstrukturtypen, „local climat zones“	Wechselwirkung Oberfläche – Atmosphäre Stadtklimaanalyse (Wärmeinsel Stadt, Belüftungsstrukturen)	Festsetzung „Klima“ (Vernetzung von Grünflächen, Belüftungskorridore, Flächennutzung, Gebäudevolumen)
	Bauleitplanung/ Stadtteil, Bezirk Ca. M 1:5.000 Genauigkeit: 10-20m		**Freiraumklima** Versiegelung, Gebäudekomplex und Vegetationsverteilung	Stadtklimaanalyse / Mikroklimamodellierung (Lokaler Luftaustausch Thermische Wechselwirkungen)	Festsetzung Maß der baulichen Nutzung (Gebäudestruktur, Freiflächenverteilung, Vernetzung und Ausstattung von Grünflächen, Belüftung)
	**Freiraumplanung Quartier** ca. M 1:2.000 Genauigkeit: 5-10m	Mikroklima	**Lokalklima** Straßenraum- und Innenhofklima	Mikroklimaanalyse (Human-Bioklima, Temperaturen, Strahlung, Wind)	Freiraumgestaltung (Gebäudestellung, Oberflächen, Versiegelung sowie Vegetationsart und -verteilung)
	**Objektplanung** Ca. M 1:500 Genauigkeit: 2-5m		**Gebäudeklima** Einzelne Objekte	Mikroklimaanalyse (Human-Bioklima, Strahlungsbilanzen und Gebäudeumströmung)	Auswirkung auf den Menschen (Schattenwurf, Oberflächen, Versiegelung)

Abbildung 1: Planungs- und Klimaebenen

Die Richtlinien des Fachbereichs Umweltmeteorologie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI RL) mit seinen beiden Fachausschüssen Luftqualität und Klima sind hierzu erste Adressen und ermöglichen einen anwendungsorientierten Umgang meteorologischer und lufthygienischer Daten. Entsprechende Beispiele sind den Themen Planungsrelevantes Stadtklima (VDI 3785 Bl. 1), Messungen und Modellierungen (VDI 3785 Bl. 2), Stadtklimakarten (VDI 3787 Bl. 1), Luftqualität in der Stadt-und Regionalplanung (VDI 3787 Bl. 3), Wind in bebauten Gebieten (VDI 3787 Bl. 4), Kaltluft-und Frischluftversorgung (VDI 3787 Bl. 5), Stadtentwicklung im Klimawandel(VDI 3787Bl. 8), Bedeutung der grünen Infrastruktur (VDI 3787 Bl. 9) sowie weiteren zugeordnet.

Literatur:

Die entsprechenden VDI Richtlinien sind bei der Geschäftsstelle VDI KRdL, Düsseldorf,zu erhalten.

Verbindung von Wissenschaft und Praxis – Normen in der Umweltmeteorologie

Schlünzen, K. Heinke[1], Bangert, Max[2], Müller, Wolfgang J.[3], Trukenmüller, Alfred[4], Fröhling, Catharina[5], Nickel-Kuhn, Julia[5], Pellmann, Anna[5]

1) Universität Hamburg, Meteorol. Inst.; heinke.schluenzen@uni-hamburg.de
2) BASF SE, Immission und Meteorologie, Ludwigshafen
3) Laatzen
4) Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
5) Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL), FB II-Geschäftsstelle, Düsseldorf

Historie: Bereits vor über 60 Jahren, 1957, wurde die VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (heute VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss) eingesetzt, um im staatsentlastenden Auftrag für die Luftreinhaltung Unterstützung zu leisten. Die dabei erarbeiteten VDI-Richtlinien und DIN-Normen sind auf die Notwendigkeiten der Praxis, also von Exekutive, Genehmigungsbehörden, Antragstellern und Gutachterbüros ausgerichtet. Die Standards überführen u. a. Forschungsergebnisse, Fragestellungen und Methoden in die (standardisierte) Anwendung. Heute heißt es neudeutsch „Stakeholder Involvement", wenn Forschung den Nutzer*innen zuhört, doch in der KRdL ist dies eine lang erprobte Praxis.

In der KRdL werden vier Themenbereiche der Luftreinhaltung zusammengeführt. Einer ist der Fachbereich II „Umweltmeteorologie". In diesem sind aktuell etwa 100 Standards erarbeitet worden, deren Entwicklung und Fortschreibung in den Fach-Ausschüssen „Luftqualität" und „Klima" erfolgt. Meteorologische, lufthygienische und klimatologische Fragestellungen der Luftreinhaltung werden bearbeitet und in VDI-Richtlinien und DIN-Normen entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik im Konsens der interessierten Kreise dargestellt. Mess-, Auswertungs- und Qualitätssicherungsmethoden werden dabei ebenso behandelt wie Methoden der Modellierung. Auch der Einfluss und die Auswirkungen der anthropogenen Aktivitäten auf das kleinräumige und regionale Klima werden beschrieben.

Der Ausschuss „Luftqualität" beschreibt in Richtlinien und Normen eine Vielzahl meteorologischer in-situ- und Fernerkundungs-Messverfahren für Wind, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Sichtweite und Turbulenz. Methoden zur Bestimmung und Modellierung der Ausbreitung für gas- und partikelförmige Spurenstoffe, von Geruchsstoffen sowie störfallbedingten Freisetzungen, der Emission aus Kraftfahrzeugen, von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen sind ebenso in Technische Regeln überführt wie mikro- und mesoskalige Windfeldmodelle, Depositionsmodelle, chemische Reaktionen oder die Berechnung von Abgasfahnen und Schornsteinhöhen. Von besonderer Bedeutung sind Methoden der Qualitätssicherung für die einzusetzenden Methoden. Viele Richtlinien werden in der TA-Luft genutzt (Beitrag Trukenmüller et al., diese Tagung).

Im Ausschuss „Klima" werden u. a. VDI-Richtlinien für die human-biometeorologische Bewertung der thermischen Komponente des Klimas, Methoden zur Beschreibung der Luftqualität für die Stadt- und Regionalplanung sowie zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden oder lokaler Kaltluft in bebauten Gebieten erstellt. Aber auch die kurz- und langwelligen Strahlungs-

ströme werden in Richtlinien abgebildet. Der Ausschuss „Klima“ standardisiert auch die Darstellung von Klima- und Lufthygienekarten für die Anwendung in Städten und Regionen (Beitrag Kuttler et al., diese Tagung).

Wie entsteht eine VDI-Richtlinie? Fragestellungen aus der Praxis sind der Ausgangspunkt, um nach Lösungen zu suchen, die technisch umsetzbar und wissenschaftlich belastbar sind. Ehrenamtliche Expert*innen aus allen am Thema interessierten Kreisen werden zu einem auf die Fragestellung bezogenen Richtlinienausschuss eingeladen. Dieser konzipiert und erarbeitet im Konsens einen VDI-Richtlinien-Entwurf, der nach Freigabe durch das Lenkungsgremium Fachbeirat im zuständigen Fachbereich „Umweltmeteorologie“ mit der Bezeichnung Gründruck in ein öffentliches Einspruchsverfahren geht. In diesem kann sich jede Person und Institution mit schriftlichen Einwendungen an der Richtlinienerstellung beteiligen. Die kritische Prüfung durch einen breiten, interessierten Kreis führt zu weiteren Verbesserungen des Richtlinienentwurfs. Einwender*innen werden im Richtlinienausschuss zudem persönlich angehört und erhalten für alle Vorschläge und Hinweise eine schriftliche Rückmeldung. Die überarbeitete Entwurfsfassung wird auch ins Englische übertragen und als VDI-Richtlinien-Weißdruck veröffentlicht. Alle 5 Jahre wird jede Richtlinie einer Revision unterzogen, um bestätigt oder überarbeitet zu werden. Zwischenzeitliche Hinweise auf notwendige Änderungen werden dabei aufgenommen.

Wozu werden VDI-Richtlinien genutzt? Im Weißdruck werden sie in Gesetzen (z. B. Bundes-Immissionsschutzgesetz), Rechtsverordnungen (z. B. Bundes-Immissionsschutzverordnung) und Verwaltungsvorschriften (z. B. TA Luft) mit dem jeweiligen Ausgabedatum zitiert. Zudem können aus VDI Richtlinien europäische (CEN) oder internationale (ISO) Normen entstehen.

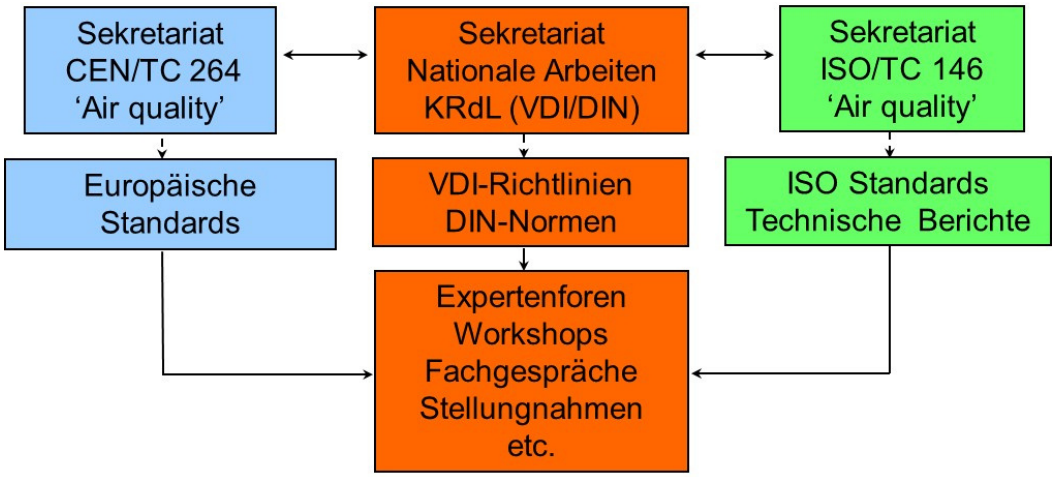


Abbildung 1: Einbindung der KRdL in die nationale (orange), europäische (blau) und internationale (grün) Normung zur Luftreinhaltung.

Wie geht die Standardisierung weiter? Die Methodik der Richtlinienarbeit hat sich bewährt, öffentliche Anhörungsverfahren sorgen für Transparenz. Die Transformationsprozesse der Gesellschaft (u. a. Veränderungen durch Klimawandel und Klimaanpassung) fließen bei Überarbeitungen in die VDI-Richtlinien ein. CEN und ISO Normen gewinnen an Bedeutung, da in andere Länder verlagerte Produktionsprozesse nun zwar nicht mehr bei uns, aber ggf. anderswo Luftbelastungen erzeugen. Internationalität stellt wie in der Wissenschaft so auch in der länderübergreifenden Normung eine Aufgabe von herausragender Bedeutung dar, denn, wie allseits bekannt, Luft kennt keine Grenzen!

Datenmanagement im [UC]²-Projekt - Ein praxisnaher Datenstandard und ein Datenmanagementsystem zur Interoperabilität von Klimamodell- und Observierungsdaten

Benjamin Schmidt, Tom Grassmann, Ute Fehrenbach, Achim Holtmann, Fred Meier, Dieter Scherer

Fachgebiet Klimatologie, Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin

Durch die zunehmende Leistungsfähigkeit urbaner Klimamodelle, sowie die steigende Verfügbarkeit geeigneter Rechner bzw. Rechencluster, steigt die Zahl der mit diesen Modellen untersuchten Fragestellungen. Neben klassischen Akteuren aus der klimatologischen bzw. meteorologischen Forschungsgemeinschaft, werden diese Modelle zunehmend auch von Wissenschaftlern anderer Fachbereiche, z.B der Stadtplanung, oder von staatlichen Stellen, z.B. für Umweltverträglichkeitsprüfungen genutzt. Gerade für diesen verbreiterten Anwenderkreis ist eine Validierung und fachlich fundierte Einschätzung der Genauigkeit von Klimamodellen von hoher Bedeutung.

Diese lassen sich durch den intensiven Vergleich von Observierungs- und Modelldaten gewinnen. So validierte Modelle können z.B. genutzt werden, um gerichtsfeste behördliche Entscheidungen zu begründen oder effektive Klimaanpassungsmaßnahmen auszuwählen. Für die Validierung muss das Format der gemessenen und der modellierten Daten vereinheitlicht werden, um die notwendige automatisierte räumliche und zeitliche Kombination von Mess- und Modellwerten zu ermöglichen. Zumeist wird für atmosphärische Daten das weit verbreitete NetCDF-Format gewählt. Zusätzlich sind die *Climate and Forecast*[1] (CF) Metadatenkonventionen weithin bekannt, wurden jedoch für Observierungsdaten bisher wenig angewandt. Zusätzlich gibt es für urbane Klimamodelle und Beobachtungen spezifische Daten, welche sich nicht kanonisch im CF abbilden lassen. Ein Beispiel ist die Darstellung von geneigten Oberflächen.

In der BMBF-Fördermaßnahme *Stadtklima im Wandel* (*Urban Climate Under Change*[2]; [UC]²) wird seit 2016 unter Mitarbeit von vielen Projektpartnern das LES-Modell PALM-4U zur Modellierung der urbanen Grenzschicht entwickelt und validiert. Um bei dieser Entwicklung eine Vielzahl verschiedener Observierungsdaten mit den Modellergebnissen vergleichbar zu machen, wurde der [UC]²-Datenstandard[3] entwickelt. Dieser Standard berücksichtigt sowohl die Anforderungen des neuen Stadtklimamodells PALM-4U, als auch verschiedenster Messverfahren. Er stellt sicher, dass die vorhandenen Daten und Metadaten plausibel und konsistent sind. Der Standard wurde gemeinsam mit Modellentwicklern, messend tätigen Institutionen und Anwendern des Models aus Wissenschaft, Wirtschaft und von staatlichen Institutionen entwickelt. Dateien in diesem Datenstandard sind in sich verständlich und tragen den Bedürfnissen einer Vielzahl von Anwendern Rechnung.

Der [UC]²-Datenstandard erweitert die CF-Konventionen, ist also CF-konform, und orientiert sich an zweiter Stelle an den COARDS-Konventionen. Obwohl er für ein spezifisches Projekt entwickelt wurde, sind die Festlegungen so getroffen worden, dass eine Übertragung auf andere

1 CF-Konventionen: http://cfconventions.org/

2 [UC]²-Website: www.uc2- program.org

3 [UC]²-Datenstandard: http://www.uc2-program.org/uc2_datenstandard.pdf

Forschungsprojekte und Anwendungen möglich ist. Er kann genutzt werden, um Modell- und Observierungsdaten in einem gemeinsamen Standard zu verwalten.

Weiterhin wurde im Rahmen der [UC]²-Fördermaßnahme ein *Datenmanagementsystem*[4] (DMS) entwickelt. Dieses Repository ermöglicht den Transfer und die Speicherung von Klimadaten, einschließlich einer Prüfung auf [UC]²-Datenstandardkonformität, über ein Webinterface oder eine RESTful-API. Durch ein benutzerfreundliches Interface wird die *Findability* der Daten erhöht, während der direkte Zugang zur API einen effektiven und automatisierten Transfer auch von großen Datenmengen ermöglicht. Neben der präferierten vollständigen Veröffentlichung erlaubt das DMS auch die Veröffentlichung von Daten unter verschiedenen Lizenzen, welche die Sichtbarkeit für verschiedene Nutzergruppen oder die Anwendung der Daten auf bestimmte Fälle beschränken.

Die Konformität der im Repository enthaltenen Daten mit dem [UC]²-Datenstandard wird durch eine automatisierte, umfangreiche Prüfung sichergestellt. Die verwendete Bibliothek ist als Pythonpaket[5] öffentlich verfügbar und kann auch außerhalb des DMS zur Konformitätsüberprüfung genutzt werden.

Sämtliche hier vorgestellte Software wurde *Open-Source* entwickelt, ist also frei verfügbar und kann dementsprechend für andere Anwendungsfälle umgewandelt werden oder als Vorlage dienen. Wir freuen uns über jeden Beitrag zur Verbesserung oder Erweiterung dieser Tools[6][7].

4 Datenmanagementsystem: dms.klima.tu-berlin.de

5 Gitlab uc2data: https://gitlab.klima.tu-berlin.de/klima/uc2data

6 Gitlab DMS Frontend: https://gitlab.klima.tu-berlin.de/klima/dms_frontend

7 Gitlab DMS Backend: https://gitlab.klima.tu-berlin.de/klima/dms_backend

Entwicklung eines Datenstandards für mikroskalige Modellergebnisse

Vivien Voss[1], K. Heinke Schlünzen[1], David Grawe[2]

1 Meteorologisches Institut, CEN, Universität Hamburg
2 CEN, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg

Mit Hilfe der hindernisauflösenden, numerischen Modellierung werden komplexe Prozesse auch in kleinräumig gegliederten Gebieten und innerhalb von Städten untersuchbar. Durch geringe Gitterweiten und numerischen Restriktionen benötigen derartig hochauflösende Berechnungen sehr viele Computerressourcen und sind daher nicht einfach wiederholbar. Eine Nachnutzung der Modelldaten ist für viele Bereiche prinzipiell von Interesse, wird jedoch gegenwärtig durch das Fehlen etablierter Datenstandards erschwert. Die Ausgabedateien verschiedener mikroskalischer Modelle sind typischerweise uneinheitlich in ihrer Datenstruktur und sie haben keine standardisierten Variablennamen. Weiterhin fehle oft hinreichende Angaben zum Modell-Setup.

In der Meteorologie bereits etablierte Datenkonventionen, wie z.B. der CMIP6 Standard oder die CF Metadatenkonvention, sind auf großskalige Klimamodelldaten zugeschnitten. Viele Größen und Variablen, die in der mikroskaligen hindernisauflösenden Modellierung relevant sind, sind in den Konventionen nicht erfasst. Dies betrifft sowohl die numerische als auch die physikalische Modellierung.

In dem vom BMBF geförderten Projekt AtMoDat (Atmospheric Model Data) [1] wird, aufgebaut auf etablierten Konventionen, eine Qualitätsrichtlinie für die standardisierte Veröffentlichung von Atmosphärenmodelldaten erstellt – der ATMODAT Standard [2]. Dieser soll in einem nächsten Schritt systematisch um die spezifischen Erfordernisse der mikroskaligen hindernisauflösenden Modellierung erweitert werden.

Bisher wurden mit Hilfe einer Online Umfrage (http://uhh.de/orm-survey) einige mikroskalige Modelle und deren Eigenschaften erfasst und Anregungen für einen Datenstandard gesammelt. Ergebnisse daraus werden vorgestellt. Einige typische Variablen, die von hindernisauflösenden Modellen verwendet werden (z.B. Gebäudestrukturen, Wandtemperaturen), sind identifiziert. Eine Beantragung sogenannter CF Standardnamen für diese Variablen ist in Vorbereitung.

Dieser Vortrag stellt die Anwendung des ATMODAT Standards beispielhaft für die Modellausgabe des Modells MITRAS vor. Basierend auf den Erfahrungen diskutieren wir Empfehlungen zur Erweiterung des Standards. Im dazugehörigen Workshop wird die Theorie einer ATMODAT-konformen Veröffentlichung von Modelldaten weiter vertieft und es werden Tools vorgestellt, die eine Datenstandardisierung erleichtern.

[1] https://www.atmodat.de.

[2] Ganske, A., Kraft, A., Kaiser, A. et al.: ATMODAT Standard (v3.0). World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ (2021). https://doi.org/10.35095/WDCC/atmodat_standard_en_v3_0.

Workshop: Standardisierte, FAIRe und CF-konforme Veröffentlichung von Daten aus der Atmosphären- und Stadtklimaforschung

Angelika Heil[1], Andrea Lammert[1], Vivien Voss[2], K. Heinke Schlünzen[2]

[1] Meteorologisches Institut, CEN, Universität Hamburg
[2] Deutsches Klimarechenzentrum, DKRZ, Hamburg

Die Atmosphärenmodellierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Klimaforschung. Atmosphärenmodelldaten sind nicht nur für die wissenschaftliche Zwecke von großem Interesse. Auch für Behörden, Firmen und verschiedenste Bereiche des Gesundheitswesens sind sie eine wichtige Informationsquelle.

Eine FAIRE Veröffentlichung von Atmosphärenmodelldaten gewährleistet, dass sie für ein breites Publikum nachnutzbar bleiben. Die FAIR Prinzipien legen fest, dass Daten und zugehörige Metadaten so aufbereitet und veröffentlicht werden, dass sie auffindbar (Findable), zugänglich (Accessible), im weiteren Sinne kompatibel mit Anwendungen und Workflows (Interoperable) und wiederverwendbar (Reusable) sind [1]. Die Umsetzung der FAIR Prinzipien beinhaltet die Etablierung und Anwendung fachspezifischer Daten- und Metadatenstandards. Bisher wurden derartige Standards, aufbauend auf den international vereinbarten Climate and Forecast (CF) Metadatenkonventionen [2], vorrangig für die Datenveröffentlichung von großen Vergleichsstudien mit regionalen und globalen Klimamodellen (CMIP) entwickelt. Diese lassen sich nur teilweise auf Daten hochauflösender Atmosphärenmodelldaten übertragen. Ein Teilbereich hierbei ist die mikroskalige Stadtklimamodellierung, für die es bisher keinen etablierten Datenstandard gibt. Auch können viele stadtklimaspezifischen Variablen nicht mit den CF Konventionen abgebildet werden. Um Daten aus diesem Bereich nachnutzbar veröffentlichen zu können, müssen bestehende Standards angepasst und um fachspezifische Elemente erweitert werden. Genau hier setzt das BMBF geförderte AtMoDat Projekt [3] an, in dessen Rahmen bereits eine erste Qualitätsrichtlinie zur standardisierten Publikation von Atmosphärenmodelldaten erarbeitet wurde [4].

Dieser Workshop befasst sich mit theoretischen und praktischen Aspekten einer FAIRen Veröffentlichung von Stadklimamodelldaten. Im ersten Teil des Workshops stellen wir das CF Metadatenkonzept vor; anschließend möchten wir im Dialog Ansätze entwickeln, dieses auf Stadtklimamodelldaten anzupassen. Ein Ziel ist, stadtklimaspezifischen Variablen zu identifizieren, deren FAIRe Veröffentlichung von vorrangiger Bedeutung für eine breite Nachnutzergruppe ist. Für diese Variablen sollen im Nachgang des Workshops, unterstützt durch das AtMoDat Projekt, sog. CF Standardnamen beantragt werden.

Im zweiten Teil des Workshops wird der atmodat data checker [5] vorgestellt, eine Python-basierte Open Source Software, mit dessen Hilfe sich die Konformität von Daten und Metadaten in Hinblick auf eine Qualitätsrichtlinie einfach überprüfen lässt. Eine Erweiterung dieses Tools ermöglicht zudem, die Standardisierung von Metadaten weitgehend zu automatisieren. Teilnehmende haben die Möglichkeit, die Funktionsweise der Software über ein Browser-gestützten Binder Terminal anhand verschiedener Testdaten selbst auszuprobieren.

[1] Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al.: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data 3, 160018 (2016). https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18.

[2] Eaton, B., Gregory, J., Drach, B. et al.: NetCDF Climate and Forecast (CF) Metadata Conventions V1.8 (release February 2020). Available at: https://cfconventions.org/Data/cf-conventions/cf-conventions-1.8/cf-conventions.html (last access: 22 June 2021).

[3] https://www.atmodat.de/ (last access: 22 June 2021).

[4] Ganske, A., Kraft, A., Kaiser, A. et al.: ATMODAT Standard (v3.0). World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ (2021). https://doi.org/10.35095/WDCC/atmodat_standard_en_v3_0.

[5] https://github.com/AtMoDat/atmodat_data_checker (last access: 22 June 2021).

Tagungsprogramm - Donnerstag, 23.09.2021

09:20	Hinweise zur Tagungsorganisation
09:30	**C01** - Emeis, S. Stadtforschung, der schwierige Weg von der Erkenntnis zur Umsetzung
09:50	**C02** - Trukenmüller, A. Umweltmeteorologie in der Verwaltungspraxis – VDI-Richtlinien der KRdL für die TA Luft 2021
10:10	**C03** - Gronemeier, T. (NW) Praktische Anwendung des mikroskaligen Stadtklimamodells PALM-4U im Bereich der Klimaanalyse
10:30	Pause
11:00	**C04** - Ziemann, A. Ausprägung lokaler Wärmeinseln in Abhängigkeit von der Horizontüberhöhung: Modellsimulationen in Erfurt und Dresden
11:20	**C05** - Groß, G. Abschätzung des thermischen Komforts in Städten mit einem Agentenmodell
11:40	**C06** - Diegmann, V. Stadtweites Monitoring der Luftschadstoffbelastung mit Modellen
12:00	Pause
13:00	**C07** - Kalender, C. Experimentelle und numerische Modellierung eines bodennahen Ausbreitungsgeschehens innerhalb einer Gebäudegruppe
13:20	**C08** - Michel, S. (NW) Schwergasausbreitung von Gefahrenstoffen in industrieller Umgebung
13:40	**C09** - Harms, F. Strength and weaknesses of reference data generated by state-of-the-art boundary layer wind tunnel measurements
14:00	Online-Abstimmung Vortrags- und Poster-Preis der DMG
14:10	Pause
14:30	Preisverleihung und Veranstaltungsabschluss
15:00	Treffen Mitglieder:innen/Interessierte FA Umweltmeteorologie der DMG • Organisatorisches • FA UMET-Treffen im Rahmen der DACH 2022 • Gewinnung neuer Mitglieder / Aktualisierung der Mitgliederliste • Beitrag des FA Umweltmeteorologie zur Arbeit der KRdL • weitere Themen ad hoc
	Ende des Veranstaltungstages ca. 16:00 Uhr

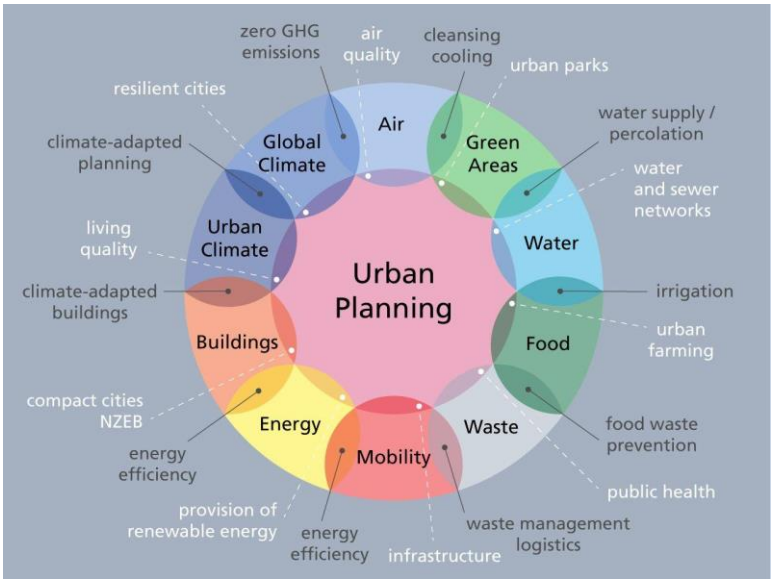
Stadtforschung, der schwierige Weg von der Erkenntnis zur Umsetzung

Emeis, Stefan[1] und Fallmann, Joachim[2]

[1]Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, stefan.emeis@kit.edu

[2]Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung – Troposphärenforschung (IMK-TRO), Karlsruhe, joachim.fallmann@kit.edu

Stadtforschung in den atmosphärischen Wissenschaften findet seit über 200 Jahren (Howard 1818-20) statt. Sie umfasst alle Themen und Einflüsse, die die Lebensqualität der Stadtbewohner beeinflussen. Hierzu zählen an prominenter Stelle die städtische Luftqualität, das Strahlungsklima, die Windverhältnisse in Städten und die städtische Wärmeinsel.

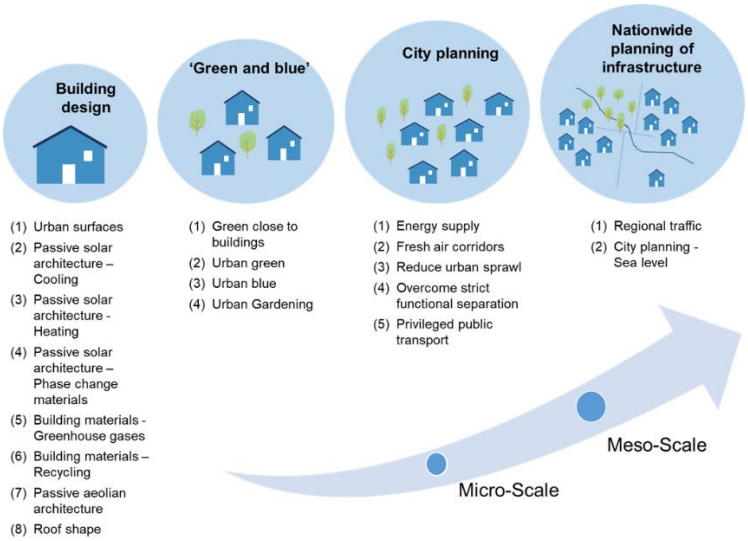


Exemplarische Themenfelder der Stadtplanung: Natur und Umweltaspekte (obere Hälfte) und ingenieurwissenschaftliche Aspekte (untere Hälfte) (aus: Fallmann und Emeis 2020)

Laut übereinstimmenden Analysen (z.B. Eliasson 2000; Mills et al. 2010; Parasee etal. 2019) haben die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse aus der Stadtklimaforschung bisher nur begrenzt Eingang in die Stadtplanung gefunden. In vier Bereichen, die sich von Mikro- bis zur Meso-Skala erstrecken, lassen sich hier Fortschritte erreichen: (1) Baumaterialien und Gebäudegestaltung, (2) Grün und Blau in der Stadt, (3) Stadtplanung und (4) Einbindung der Städte in regionale und überregionale Infrastrukturen. Der Beitrag wird hier Beispiele für alle vier Bereiche benennen.

Ein wesentliches Mittel um die Auswirkung von Maßnahmen in den vier zuvor genannten Bereichen zu beurteilen und auch unerwünschte Nebenwirkungen einzelner Maßnahmen auf andere Handlungsfelder im Vorfeld zu erkennen, sind holistische Simulationsmodelle wie PALM4U, die von Atmosphärenwissenschaftlern entwickelt wurden (Scherer et al. 2019), aber

durch eine entsprechende Oberfläche auch Planern zur Verfügung gestellt werden sollen. Pilotstudien, PALM4U einsatzfähig zu machen laufen derzeit. Der Beitrag wird Fragen zur Simulation der Luftqualität und der Strömung in komplexem Gelände mit PALM4U adressieren.



Bereiche für Handlungsfelder zur Schaffung nachhaltiger Städte, sortiert von kleinen Skalen (links) hin zu größeren Skalen (rechts) (aus Fallmann und Emeis 2021)

Die Schaffung nachhaltiger Städte mit gesunden Lebensbedingungen für die Bewohner liegt nicht in der Analyse und Bearbeitung von Einzelaspekten, sondern in einer umfassenden Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern, Stadtplanern und Architekten, um vorhandene Städte systematisch zu transformieren und neue städtische Gebiete von Anfang an nachhaltig zu planen. PALM4U ist auf dem Wege, ein wichtiges „Met-Tool“ für diesen Zweck zu werden.

Eliasson, I. 2000. The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning* 48, 1-2, 31–44.

Fallmann, J., S. Emeis, 2020. How to Bring Urban and Global Climate Studies together with Urban Planning and Architecture? Devel. Built Environ., **4**, 100023.

Fallmann, J., S. Emeis, 2021: How to bring urban climate studies to application – A meteorological view from five decades of urban climate research and results from a current study. IAUC Newsletter (submitted)

Howard, L. 1818-20. *The climate of London*. *Deduced from meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis*. London.

Mills, G; H. Cleugh; R. Emmanuel; W. Endlicher; E. Erell; G. McGranahan; E. Ng; A. Nickson; J. Rosenthal; K. Steemer. 2010. Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective). *Procedia Environmental Sciences* 1, 228–246.

Parsaee, M; M. M. Joybari; P. A. Mirzaei; F. Haghighat. 2019. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environ. Technol. & Innov.* 14, 100341.

Scherer, D., Antretter, F., Bender, S., Cortekar, J., Emeis, S., Fehrenbach, U., Gross, G., Halbig, G., Hasse, J., Maronga, B., Raasch, S., Scherber, K., 2019: Urban Climate Under Change [UC]2 – A National Research Programme for Developing a Building-Resolving Atmospheric Model for Entire City Regions. Meteorol. Z. (Contr. Atm. Sci.), 28, 95-104.

Umweltmeteorologie in der Verwaltungspraxis – VDI-Richtlinien der KRdL für die TA Luft 2021

Trukenmüller, Alfred[1], Bangert, Max Jonas[2], Janicke, Ulf[3], Nickel-Kuhn, Julia[4], Pellmann, Anna[4]

1) Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau; alfred.trukenmueller@uba.de
2) BASF SE, Immission und Meteorologie, Ludwigshafen
3) Ingenieurbüro Janicke, Überlingen
4) Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL), FB II-Geschäftsstelle, Düsseldorf

Umweltmeteorologie ist eine wissenschaftliche Disziplin, gleichzeitig ist Luftreinhaltung gesetzlich geregelte Verwaltungspraxis der staatlichen Umweltbehörden. Eine Brücke zwischen der Wissenschaft und den Rechtsnormen schlagen Technische Regeln, insbesondere die in diesem Beitrag vorgestellten Richtlinien aus dem Ausschuss „Luftqualität“ im Fachbereich II „Umweltmeteorologie“ der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss (siehe Beitrag Schlünzen et al., diese Tagung). Grundlage des staatlichen Handelns muss der Gleichheitssatz sein (Artikel 3 Grundgesetz), was ganz praktische Anforderungen an die einheitliche Bereitstellung, Aufbereitung und Qualitätssicherung umweltmeteorologischer Mess- und Simulationsdaten bei der Genehmigung von Anlagen unter dem Bundes-Immissionsschutzgesetz nach sich zieht.

In diesem Kontext ist die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft), die vom Bundeskabinett am 23.06.2021 in aktualisierter Fassung beschlossen wurde, eine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, die sich an die Genehmigungsbehörden wendet, und gleichzeitig eine Umsetzung der europäischen Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen in nationales Recht. Die TA Luft konkretisiert die unbestimmten Vorschriften des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zum Schutz vor und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen. Dies erfolgt in ihrer Nummer 4, insbesondere in Verbindung mit ihrem Anhang 2 zur Ausbreitungsrechnung, und in ihrer Nummer 5, insbesondere in Nummer 5.5 zur Ableitung von Abgasen. Für technische Regelungen verweist sie auf eine Reihe von VDI-Richtlinien, von denen viele eigens für diese Neufassung aktualisiert wurden. Bereits die erste Fassung der TA Luft von 1964 stützte sich auf 22 Richtlinien der damals 7 Jahre jungen VDI-Kommission Reinhaltung der Luft. In der TA Luft 2021 sind es 13 VDI-Richtlinien allein aus der Umweltmeteorologie und rund 80 aus anderen Bereichen, vor allem der Umweltmesstechnik. In diesem Abstract konzentrieren wir uns auf ausgewählte Beispiele aus der Umweltmeteorologie.

Windfeldmodelle: Luftschadstoffe, die eine Anlage in die Atmosphäre freisetzt, werden vom Wind- und Turbulenzfeld erfasst und in der Umgebung der Anlage ausgebreitet. Dieser Prozess beeinflusst die Immissionen der Luftschadstoffe, denen die Nachbarschaft und die Allgemeinheit ausgesetzt sind. In vielen Fällen lässt sich das Wind- und Turbulenzfeld in der Umgebung einer Anlage robust mit Hilfe der messwertgestützten Parametrisierung der Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 modellieren. Ist das Gelände jedoch sehr steil, stützt sich die TA Luft 2021 auf das prognostische mesoskalige Windfeldmodell der Richtlinie VDI 3783 Blatt 7 und verweist für die richtige Anwendung dieses Modells auf die Richtlinie VDI 3783 Blatt 16. In den bisher genannten Windfeldmodellen werden Gebäudestrukturen als Eigenschaften der Erdoberfläche

parametrisiert. Müssen jedoch Immissionskonzentrationen im unmittelbaren Einwirkungsbereich quellnaher Gebäude berechnet werden, empfiehlt die TA Luft 2021, den Einsatz des prognostischen Windfeldmodells für Gebäudeumströmung nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 zu prüfen.

Ausbreitungsrechnung: Das Wind- und Turbulenzfeld, die Dynamik der Abgasfahne (VDI 3782 Blatt 3) und der Übergang von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre in die Erdoberfläche im Rahmen der trockenen und nassen Deposition (VDI 3782 Blatt 5) haben wesentlichen Einfluss auf die Ausbreitung von Luftschadstoffen. Um diese Ausbreitung in ihrer Gesamtheit zu beschreiben, bedarf es eines Modells, das den Einfluss all dieser Prozesse zusammenfasst: des eigentlichen Ausbreitungsmodells. Dafür stützt sich die TA Luft 2021, wie schon die TA Luft 2002, auf das Modell der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Als Lagrange'sches Partikelmodell zeichnet es die Ausbreitung der Luftschadstoffe in unmittelbarer Nähe der Emissionsquellen besonders genau nach. Unterschiedliche Quellgeometrien wie Punkt-, Linien-, Flächen- und Volumenquelle können mit diesem Modelltyp direkt abgebildet werden, ebenso können komplexe Wind- und Turbulenzfelder unmittelbar eingebunden werden.

Die Modelle, mit denen die Ausbreitung der Luftschadstoffe berechnet werden kann, eignen sich auch dafür, eine Schornsteinhöhe zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen nach objektiven Kriterien festzulegen. Dafür greift die TA Luft 2021 – wie schon die oben erwähnte TA Luft 1964 – auf das bewährte Konzept der lange zurückgezogenen Richtlinie VDI 2289 Blatt 1 vom Juni 1963 zurück, setzt es jedoch mit dem neuen, oben skizzierten Ausbreitungsmodell um. Das Konzept wird mit einem unbestimmten Rechtsbegriff als „ausreichende Verdünnung der Abgase" bezeichnet.

Allerdings gilt diese Rechnung nur unter den dabei verwendeten Randbedingungen, insbesondere, dass Wind- und Turbulenzfeld und Abgasfahnenüberhöhung nicht wesentlich durch Gebäudeeinflüsse gestört werden. Diese Voraussetzung, unter dem unbestimmten Rechtsbegriff „ungestörter Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung" bekannt, bildet das zweite Kriterium für eine fachgerechte Ableitung von Abgasen. Die 2017 veröffentliche Neufassung der Richtlinie VDI 3781 Blatt 4 stellt das Konzept auf eine objektive, durch Windkanalexperimente abgesicherte Grundlage.

Außer auf die hier erwähnten verweist die TA Luft 2021 auf weitere Richtlinien des Fachbereichs Umweltmeteorologie der KRdL. Im Vollzug der TA Luft 2002 hat es sich bewährt, dem Gutachterwesen und der Behördenseite für die „Qualitätssicherung in der Immissionsprognose" die Richtlinie VDI 3783 Blatt 13 an die Hand zu geben. Sie erörtert mögliche Alternativen für einzelne Teile des Gutachtens und entwickelt Kriterien für die dabei anstehenden Entscheidungen. Die Richtlinie wird derzeit überarbeitet und an die Anforderungen der TA Luft 2021 angepasst. Im anschließenden öffentlichen Einspruchsverfahren zum Richtlinienentwurf kann jede und jeder mit einer eigenen Stellungnahme zur Qualität dieser Qualitätssicherungsrichtlinie beitragen.

Praktische Anwendungen des mikroskaligen Stadtklimamodells PALM-4U im Bereich der Klimaanalyse

Tobias Gronemeier, Christine Ketterer, Rainer Röckle

iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG, Freiburg

In den letzten Jahren wurde das Stadtklimamodell PALM-4U im Rahmen eines nationalen Forschungsprojekts entwickelt und für die Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt (Maronga et al., 2019, doi: 10.1127/metz/2019/0909). Im vorgestellten Praxisbericht wird aufgezeigt, wie PALM-4U in der Praxis für die Erstellung von stadtklimatologischen Untersuchungen angewendet werden kann. Neben den Vorteilen werden auch einige Schwierigkeiten in der Anwendung aufgezeigt.

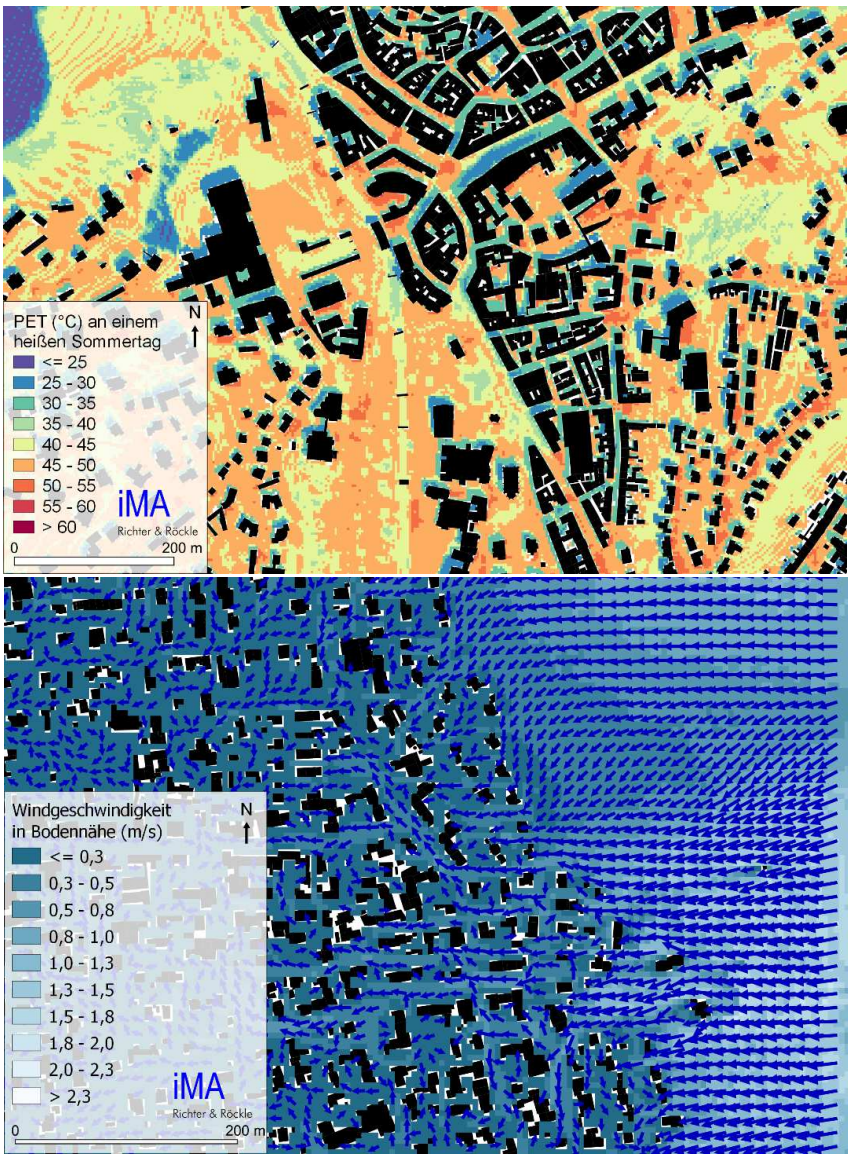
Die herausragenden Merkmale von PALM-4U sind die Berücksichtigung verschiedenster mikroskaliger Einflussfaktoren auf das Stadtklima bei hoher räumlicher Auflösung und gleichzeitig großer Gebietsabdeckung. Dies ermöglicht eine Analyse des Stadtklimas mit hoher Genauigkeit. PALM-4U kann dazu eingesetzt werden ganze Stadtteile mit hohem Detailgrad zu beurteilen. Über die integrierte Nesting-Schnittstelle können zudem Ergebnisse der Windfeldberechnung und der Temperaturverteilung aus externen Modellen eingespeist werden (Kadasch et al., 2020, 10.5194/gmd-2020-285). Dadurch lassen sich großräumige Effekte durch Vorgabe der übergeordneten Wind- und Temperaturverhältnisse in PALM-4U berücksichtigen. Rand- und Startwerte werden dabei aus bereits etablierten Modellen wie zum Beispiel FITNAH entnommen, welche mit gröberer räumlicher Auflösung größere Gebiete umfassen und so die großräumige Situation berücksichtigen.

Neben der Berechnung von Wind- und Temperaturfeldern bestimmt PALM-4U über interne Module auch die Verteilung verschiedener biometeorologischer Größen (Fröhlich und Matzarakis, 2020, doi: 10.5194/gmd-13-3055-2020) wie beispielsweise die physiologisch äquivalente Temperatur (PET). Dies kann dazu genutzt werden die thermische Belastung der städtischen Bevölkerung an typischen Sommertagen zu bestimmen (siehe Abbildung). Für die Bewertung der nächtlichen Belüftungsverhältnisse können die Ergebnisse von PALM-4U für die Berechnung von Kaltluftabflüssen hergezogen werden. Detaillierte Karten zeigen dabei die detaillierten Strömungsverhältnisse durch die verschiedenen Straßenzüge im untersuchten Stadtgebiet (siehe Abbildung). Dank der Berücksichtigung einzelner Gebäude können auch Aussagen zum Einfluss zukünftiger Planungen auf einzelne Parameter gemacht werden.

Bei der Anwendung von PALM-4U für Stadtklimauntersuchungen bestehen allerdings derzeit noch einige Schwierigkeiten. Die Erstellung der Eingangsdaten für PALM-4U ist dabei sicherlich die größte Herausforderung. Zwar liefert PALM-4U die Möglichkeit viele thermisch und strömungsrelevante Details zu berücksichtigen. Leider liegen die Daten für eine derart genaue Berücksichtigung häufig nicht oder nur für kleine Gebiete vor. Wo die Unterscheidung zwischen beispielsweise Industrie- oder Wohngebiet bei grobskaligen Modellen noch ausreicht, müssen genauere Daten über versiegelte Flächen und Art der Versiegelung sowie Gebäudeumrisse und -höhen verfügbar sein, um die Vorteile von PALM-4U ausschöpfen zu können. Zudem ist der Datenstandard für die Eingangsdaten von PALM-4U bisher noch nicht gut im Praxisbereich etabliert. Werkzeuge für die modellgerechte Aufbereitung von Eingangsdaten beschränken sich auf Speziallösungen für Einzelfälle und erschweren derzeit noch den Einsatz von PALM-4U.

Neben der Eingangsdaten-Problematik bestehen auch weitere Schwierigkeiten, welche die Verwendung der Ergebnisse erschweren. So besitzt PALM-4U kein geländefolgendes Koordinatensystem. Die Bauklötzchen-gleiche Darstellung der Orographie kann daher zu deutlichen Artefakten in den Ergebnisbildern führen und so von wesentlichen Ergebnissen ablenken oder diese sogar verschleiern. Zudem fehlen Standard-Auswertegrößen für die Beurteilung von Kaltluftabflüssen, welche aber dank der aktiven Weiterentwicklung von PALM-4U in kurzen Zeitabständen ständig erweitert werden.

Schlussendlich zeigt unser Erfahrungsbericht, dass PALM-4U durchaus großes Potential für die Analyse des aktuellen und auch zukünftigen Stadtklimas birgt und auch bereits angewendet werden kann. Herausforderungen bei der Anwendung bestehen allerdings noch, welche größtenteils darauf zurückzuführen sind, dass PALM-4U noch in der Entwicklung ist und das Modell bisher wenig Erfahrung im gutachterlichen Bereich gesammelt hat.



Beispielhafte Karten für PET an einem Sommertag (oben) und der bodennahen Windverhältnisse in der Nacht (unten) berechnet mit PALM-4U.

Ausprägung lokaler Wärmeinseln in Abhängigkeit von der Horizontüberhöhung: Modellsimulationen in Erfurt und Dresden

Astrid Ziemann, Valeri Goldberg, Andrea Chukwu, Uta Moderow

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie
Professur für Meteorologie

Mit den Besonderheiten des Stadtklimas verbundene thermische Belastungen der Stadtbewohner in Hitzeperioden spielen für die Stadt- und Umweltplanung eine zunehmende Rolle im Rahmen des Klimawandels. Um die tageszeitlich variable Ausprägung lokaler Wärmeinseln zu erfassen, stehen stationäre und mobile Messmethoden sowie Stadtklimamodelle unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung. Mit der Anwendung solcher Verfahren ist ein zeitlicher und personeller Aufwand verbunden, der in der planerischen Praxis nicht einfach umsetzbar ist. Um Wärmeinseln zu identifizieren und wirksame Anpassungsmaßnahmen an sommerliche Hitze für die Freiraum- und Gebäudegestaltung abzuleiten, werden in dieser Studie Zusammenhänge zwischen stadtmorphologischen Parametern und meteorologischen Daten betrachtet. Die abgeleiteten Beziehungen sollen eine praxistaugliche Anwendung ermöglichen.

Dazu werden Modellsimulationen mit SOLWEIG und ENVI-met für zwei Stadtquartiere in Dresden und Erfurt durchgeführt und ausgewertet. Basierend darauf werden Beziehungen zwischen Parametern aus manuell erstellten bzw. digitalen Objektmodellen (DOM) und Größen der Wärmebelastung (u. a. mittlere Strahlungstemperatur Tmrt, Universeller Thermischer Klimaindex UTCI) bestimmt. Die Arbeiten finden im Rahmen des BMBF-Projektes HeatResilientCity statt.

Für den lokalen Wärmeinseleffekt und seine raumzeitlichen Variationen spielt der Sky View Factor (SVF) eine Schlüsselrolle (siehe Dirksen et al., 2019). Dieser Parameter beschreibt den Anteil des sichtbaren Himmels an einem Ort und gibt Aufschluss über die Straßengeometrie und Bebauungsdichte sowie zur Verteilung von Bäumen und Sträuchern. Der SVF ist wichtig, um die Strahlungsbilanz in Modellen zu bestimmen und damit die mittlere Strahlungstemperatur (Tmrt) an einem Ort. Diese Größe ist ein zuverlässiger Prädiktor für die Hitzebelastung tagsüber bei hoher solarer Einstrahlung, aber auch nachts in Bezug auf eine verminderte langwellige Ausstrahlung bzw. die Wärmestrahlung von Baukörpern. Um den Einfluss des SVF auf Tmrt darzustellen, ist die möglichst detaillierte und aktuelle Beschreibung der urbanen Morphologie und Vegetation mit Hilfe hochauflösender DOMs essentiell (Lindberg und Grimmond, 2011). Je höher der SVF desto mehr Einstrahlung erfolgt tagsüber. Gleichzeitig sorgt ein höherer SVF nachts auch für eine größere Abstrahlung und kann damit für eine Verringerung von Tmrt und Wärmestress sorgen. Die Einflüsse der richtungsabhängigen Strahlungsexposition lassen sich mit dem integralen SVF, der einen gesamten Halbraum beschreibt, nicht darstellen. Wirkungsunterschiede des SVF in Abhängigkeit der Charakteristiken der horizonteinschränkenden Elemente (Gebäude vs. Vegetation) sind zu quantifizieren, um belastbare Beziehungen zwischen SVF und Wärmeinseleffekt aufzustellen.

Die Effekte unterschiedlicher SVF-Werte und die sich ändernde Exposition hinsichtlich Strahlung bewirken unterschiedliche Tmrt-Werte. Dies ist beispielhaft in Abbildung 1 für einen Sommertag und für einen Ausschnitt im Quartier des Gründerzeitviertels der Erfurter Oststadt dargestellt. Dabei wurde das Strahlungsmodell SOLWEIG angewendet (Lindberg et al., 2018). Grundlage

der Simulation sind ein DOM mit einer Auflösung von 1 m sowie realitätsnahe Vorgaben zu meteorologischen Größen. Die über die strahlungsreichen Tageszeiten gemittelte Tmrt weist die höchsten Werte an unbeschatteten (hoher SVF) oder nach Süden exponierten Orten auf. Dazu zählen einige offene Plätze und Innenhöfe oder Straßenzüge in West-Ost-Ausrichtung (z. B. Iderhoffstraße). Hier ist die thermische Belastung, ausgedrückt mit dem UTCI, tagsüber ebenfalls maximal. Orte mit geringer Tmrt findet man tagsüber dort, wo der SVF sehr gering ist, z. B. im Baumschatten (Abb. 1: an der Rathenaustraße 15). An diesen Orten ist, auch aufgrund der Gebäudenähe, die langwellige aufwärts gerichtete Ausstrahlung in der Nacht geringer und führt zu einer höheren nächtlichen Wärmebelastung.

Abb. 1: Mittlere Strahlungstemperatur als zeitlicher Mittelwert (9 bis 18 Uhr MEZ) am 26.07.2018 in der Erfurter Oststadt, Simulation mit SOLWEIG, DOM-Daten (Thüringer Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation, Geoportal Thüringen). Rechter Bildrand, Fotos des oberen Halbraums an zwei Standorten im Quartier (Aufnahme mit Messrucksack am 23.08.2019, oben: Nähe Rathenaustraße 15, unten: Rathenau-/Iderhoffstraße).

Literatur

M. Dirksen, R.J. Ronda, N.E. Theeuwes, G.A. Pagani, 2019: Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies, Urban Climate, 30, 100498, https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100498.

F. Lindberg, C.S. Grimmond, 2011: The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation. Theor. Appl. Climatol., 1050 (3), 311-323, https://doi.org/10.1007/s00704-010-0382-8.

F. Lindberg, C.S.B. Grimmond, A. Gabey, B. Huang, C. W. Kent, T. Sun, N. E. Theeuwes, L. Järvi, H. C. Ward, I. Capel-Timms, D. Wästberg, L. Xue, Z. Zhang, 2018: Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services, Environmental Modelling & Software, 99, 70-87, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020.

Abschätzung des thermischen Komforts in Städten mit einem Agentenmodell

Günter Groß

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover

Aufgrund der charakteristischen Temperaturverhältnisse in einer Stadt im Vergleich zum Umland ist die Betroffenheit und Vulnerabilität der Stadtbevölkerung besonders hoch. Während die größten Temperaturunterschiede urban-rural in den Nachtstunden auftreten, kann es tagsüber in den Innenstädten sehr warm werden. Für die Abschätzung der damit einhergehenden thermischen Belastung der Stadtbewohner wurden eine Reihe von Indizes entwickelt (PET, UTCI,..), für deren Berechnung die räumliche und zeitliche Verteilung verschiedener meteorologischer Größen bekannt sein muss. Stadtklimamodelle sind in der Lage, den sehr heterogenen Aufbau einer Stadt gut abzubilden und werden daher in der Regel zur Berechnung der notwendigen Feldverteilungen von z.B. Wind, Temperatur und Feuchte herangezogen. In Kombination mit Wirkmodellen oder weiteren Modellkomponenten (z.B. aus VDI 3787/2) kann schließlich die thermische Belastung des Menschen im urbanen Lebensraum bestimmt werden. Zur geeigneten Berücksichtigung sozioökonomischer Daten und individueller Besonderheiten werden auch Agentenmodelle eingesetzt. Dabei bewegt sich ein Kollektiv von Personen (“Agenten“) auf verschiedenen Wegen durch das mit dem Stadtklimamodell berechnete städtische meteorologische Umfeld und registriert dabei die lokal vorherrschenden Bedingungen im Hinblick auf thermischen Komfort.

Solche Agenten werden in dieser Studie benutzt und ihre Eigenschaften erweitert. Beim Gehen durch die Stadt gelangt der Agent innerhalb weniger Schritte in sehr verschiedene thermische Umgebungen, wenn er beispielsweise aus dem Schatten heraus auf einen sonnigen Platz tritt und später wieder in den Schatten. Sein thermisches Empfinden wird sich dabei nicht abrupt auf die lokal vorherrschenden Bedingungen einstellen, sondern erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung. Die hier eingeführten Agenten besitzen dann nicht nur die Eigenschaft „empfinden“, sondern haben zusätzlich noch ein „Erinnerungsvermögen“. In der Abbildung 1 ist eine solche Situation mit einem abrupten Übergang der Umgebungsbedingungen dargestellt. Das thermische Empfinden passt sich nicht sofort an die stationären Umgebungsbedingungen an, sondern erst allmählich. Ist der sonnige Bereich relativ schmal, dann ist die Adaptionszeit für den Agenten zu kurz und er erreicht nicht den Maximalwert der Umgebung. Auf der anderen Seite merkt der Agent nach Wiedereintritt in den Schatten woher er gekommen ist und die Erholungsphase stellt sich erst langsam ein. Bei einem längeren Weg durch sonnige Bereiche wird die thermische Belastung für den Agenten immer höher. Diese Akkumulation kann durch die Dosis, das Integral von z.B. PET über die Zeit, beschrieben werden. Überschreitet die Dosis einen individuellen Grenzwert dann ist die Situation für den Agenten derart belastend, dass er sich für Gegenmaßnahmen entschließt und beispielsweise Schatten aufsucht. Dem Agenten wird folglich noch die Eigenschaft „Verstand“ zugeordnet. Er sucht den nächstgelegenen Schatten auf, verbleibt dort in der thermisch angenehmen Umgebung bis er seinen individuellen Komfortbereich erreicht hat und geht erst dann weiter. In der Abbildung 2 sind exemplarisch die Wege von solchen „cleveren“ Agenten in einer Allee mit beidseitigem Baumschatten gezeigt. Bei der Bewegung vom Start in Richtung Ziel ändert der Agent bei Überschreitung seiner Grenzdosis abrupt den Weg und steuert den nächstgelegenen Schatten an. Nach einer Erholungsphase, deren Dauer von den thermischen Bedingungen im Schatten und dem individuellen Komfortempfinden

abhängt, tritt er aus dem Schatten mit einer deutlich niedrigeren thermischen Belastung heraus (Bildausschnitt) und setzt seinen Weg in Richtung zum Ziel fort. In dem sonnigen Bereich nimmt die Belastung allmählich erneut zu und der Vorgang kann sich, wie eben beschrieben, bei einem längeren Weg mehrfach wiederholen.

Das Agentenmodell ist für viele Fragestellungen aus dem Bereich Stadtmeteorologie sehr hilfreich, da individuelle Eigenschaften der Bewohner oder auch zulässige Laufwege berücksichtigt werden können. Das Dosiskonzept zusammen mit den „denkenden“ Agenten kann beispielsweise auch dazu verwendet werden, die Bereitstellung und Erreichbarkeit von Erholungsbereichen in Städten (z.B. Schatten) hinsichtlich Lage und räumlicher Ausdehnung zu verbessern.

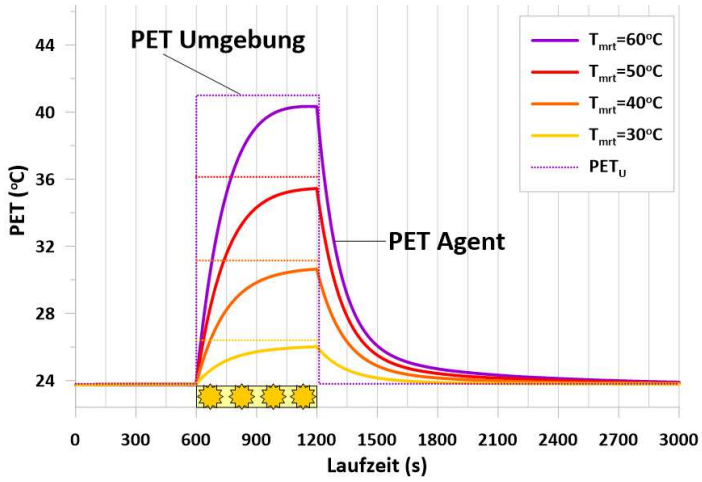


Abbildung 1: Thermische Belastung eines Agenten beim Weg vom Schatten in die Sonne und wieder in den Schatten für verschiedene Umgebungsbedingungen

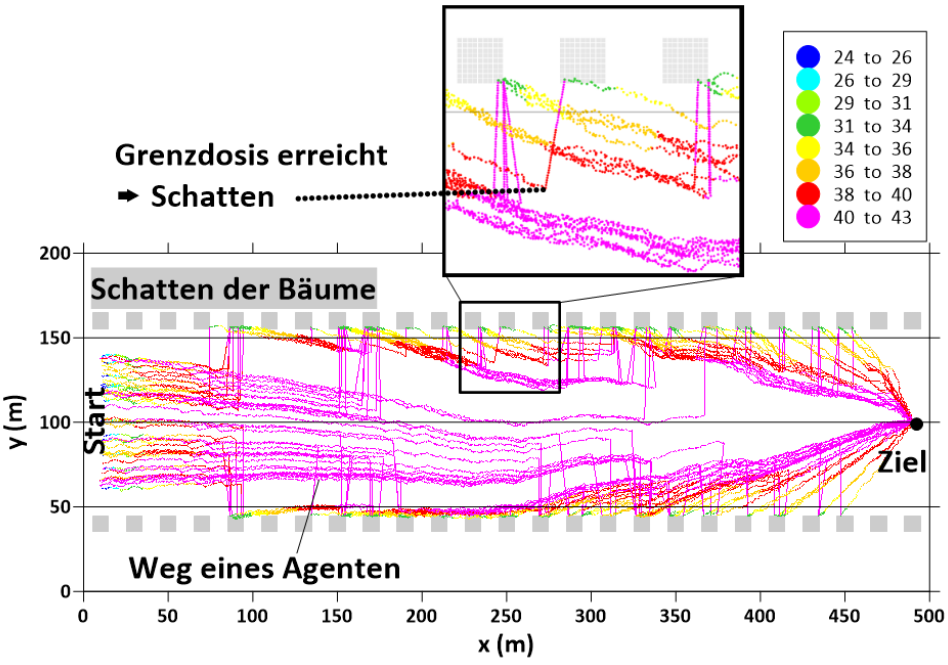


Abbildung 2: Laufwege und Veränderung der thermischen Belastung (PET) von Agenten vom Start zum Ziel mit Abzweigungen in Baumschatten bei Überschreitung der Grenzdosis.

Stadtweites Monitoring der Luftschadstoffbelastung mit Modellen

Yvonne Breitenbach, Volker Diegmann, Florian Tautz

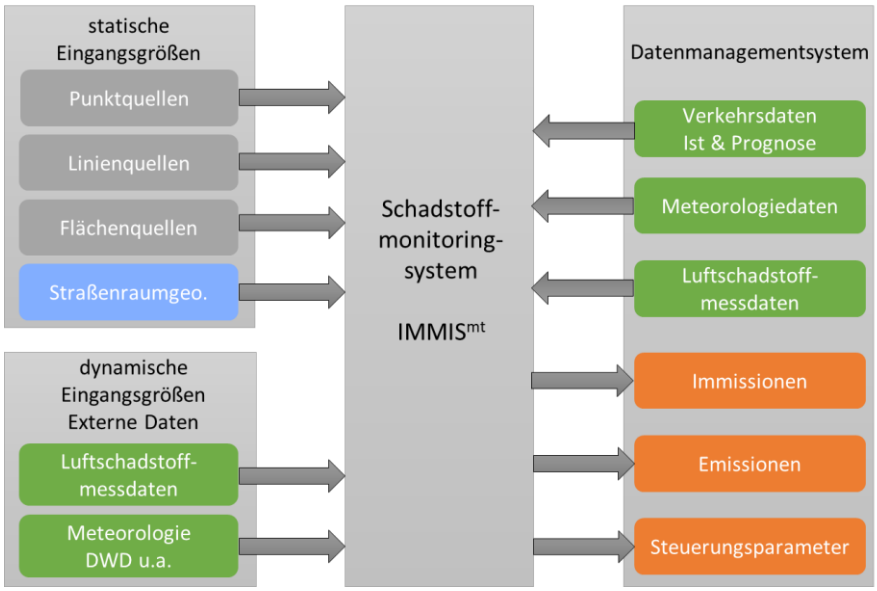
IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Im Fokus der derzeitigen Überwachung der Luftqualität steht die Einhaltung von Grenzwerten, deren Überschreitungen z.B. bei NO_2 fast ausschließlich an verkehrlichen Hotspots auftreten. Aus gesundheitlicher Sicht ist die alleinige Fokussierung auf Grenzwerte nicht ausreichend, sondern es muss stärker die Exposition der Bevölkerung mit Luftschadstoffen berücksichtig werden[1]. Daraus ergibt sich der Bedarf einer möglichst flächendeckenden Kenntnis der Belastungssituation insbesondere im urbanen Raum. Gerade bei stark verkehrsbezogenen Schadstoffen sollte möglichst die Kenntnis der Luftschadstoffbelastung an allen (Hauptverkehrs-)straßen auch unterhalb von Grenzwerten bekannt sein. Auch ein umweltsensitives Verkehrsmanagement (UVM[2]), mit dem derzeit eine Vielzahl von Städten versuchen, verkehrliche Maßnahmen unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung der Luftqualität zu optimieren, benötigt die Kenntnis über stadtweite aktuelle Belastungsdaten.

Die Überwachung der Luftqualität in Deutschland erfolgt gemäß den gesetzlichen Bestimmungen über Messungen. Diese Messungen müssen vorgegebenen Standards genügen und werden deshalb im Allgemeinen mit den entsprechenden Referenzverfahren durchgeführt, was aber mit einem hohen Aufwand und dementsprechend auch hohen Kosten verbunden ist und so die Anzahl von Messstandorten stark beschränkt. Alternative Messverfahren können nur mit einem Nachweis einer Äquivalenz herangezogen werden. Heute bereits anerkannte alternative Verfahren sind z.B. kostengünstige Messungen der NO_2-Konzentration mit Passivsammlern, die aber nur für Bestimmung von Mittelwerten über einen längeren Zeitraum (2 bis 4 Wochen) zum Einsatz kommen. Bei anderen kostengünstigen Verfahren, die auch eine höhere zeitliche Auflösung bereitstellen können, ist derzeit meist die Genauigkeit bzw. deren Langzeitstabilität nicht ausreichend. Neben dem Problem der Verfügbarkeit von günstigen kontinuierlich messenden Verfahren besteht für eine möglichst umfassende Überwachung der Luftqualität in Städten auch das Problem der Festlegung der Messstandorte, bei der gewährleistet werden muss, dass die Messungen repräsentativ für eine Beurteilung der Luftqualität sind.

Als Alternative zu einer rein auf Messungen basierenden Ermittlung der Luftqualität bieten sich Modellrechnungen an. Entsprechende Systeme, die unter der Verwendung von gemessenen und auch modellierten Daten zum Straßenverkehr, der gemessenen urbanen Hintergrundbelastung und gemessener Daten zur Meteorologie in stündlicher Auflösung die Luftqualität entlang von Hauptstraßen ermitteln laufen z.B. in den Städten Berlin, Potsdam und Braunschweig schon seit vielen Jahren. Die Autoren sind derzeit an dem Aufbau weiterer Systeme, z.B. in Wiesbaden, Kassel und Würzburg, beteiligt. Bei diesen neueren Systemen kommen zusätzlich noch Verfahren hinzu, die die Luftschadstoffbelastung kurzfristig, für bis zu 3 Stunden, und mittelfristig für den Folgetag vorhersagen.

[1] Schneider, A. et al. (2018): Quantifizierung von umweltbedingten Krankheitslasten aufgrund der Stickstoffdioxid – Exposition in Deutschland. Umweltbundesamt, März 2018.
[2] Diegmann, V. et al. (2020): Dynamisches umweltsensitives Verkehrsmanagement. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft V 321. 2020.



Datenflussschema eines Monitoringsystems zur Überwachung der urbanen Luftschadstoffbelastung

Aufgrund der komplexen Bedingungen, die zu einer in Hotspots auftretenden Luftschadstoffbelastung führen, muss bei einem modellbasierten Monitoring, das online für eine Vielzahl von Straßenabschnitten Ergebnisse liefern soll, ein Kompromiss zwischen gewünschter Genauigkeit und zur Verfügung stehender Rechenzeit gefunden werden. Außerdem ist bei der Konfiguration der Modellierung zu berücksichtigen, welche Eingangsdaten in welcher Qualität zur Verfügung stehen.

Im Vortrag werden die o. g. Systeme mit ihren jeweiligen Besonderheiten vorgestellt und die Verfügbarkeit bzw. Nutzbarkeit von verschiedenen Quellen der Eingangsdaten beschrieben und diskutiert. Ein wesentlicher Punkt dabei ist, die mit den Modellsystemen erreichbare Genauigkeit, die durch einen Vergleich von Mess- und Modelldaten beurteilt werden kann.

Nach den vorliegenden Erfahrungen mit existierenden Systemen ist die Einsatzfähigkeit von modellbasierten Monitoringsystemen bei Vorhandensein qualitativ angemessener und online verfügbarer Eingangsdaten für den Einsatzzweck einer umweltorientierten Verkehrssteuerung und auch für eine Expositionsermittlung gegeben. Bei der Expositionsermittlung kann mit diesen Belastungsdaten unter Zuhilfenahme der segmentbasierten Expositionsermittlung (SBE[3]) eine Betroffenheit ermittelt werden.

Mit einer Kombination eines modellbasierten Monitoringsystems mit günstigeren Messverfahren, wie es z.B. in Wiesbaden der Fall ist, kann die Nutzbarkeit der Messungen erhöht werden, in dem z. B. sich zeitlich verändernde Abweichungen zwischen den Verfahren zum Erkennen eines Drifts in den Messungen genutzt werden können. Mit der damit verbesserten Qualität der Messungen können wiederum Informationslücken z.B. hinsichtlich der räumlichen Verteilung der urbanen Hintergrundbelastung gefüllt werden.

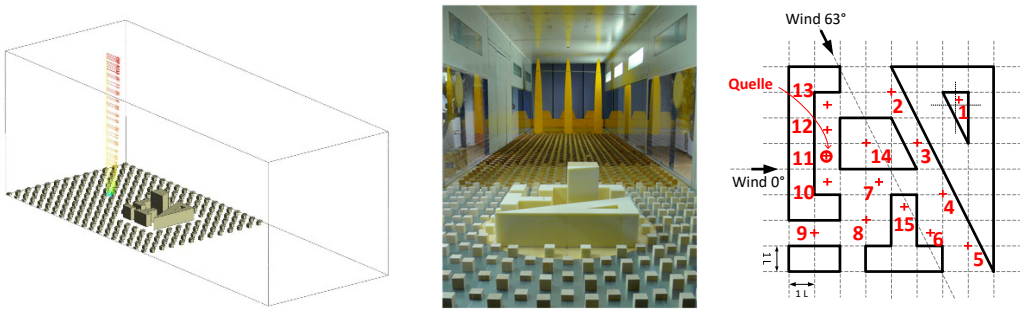
[3] Diegmann, V.; Wichmann, H. (2019): Bevölkerungsgewichtete Exposition - Darstellung einer Methode zur besseren Abschätzung von Gesundheitseffekten durch verkehrslenkende Maßnahmen. Umweltmedizin - Hygiene - Arbeitsmedizin 24 Nr. 6, S. 391-400. 2019.

Experimentelle und numerische Modellierung eines bodennahen Ausbreitungsgeschehens innerhalb einer Gebäudegruppe

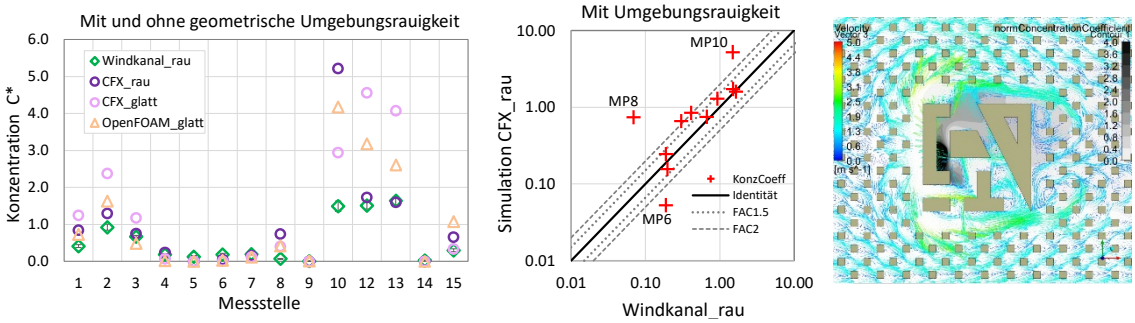
Cornelia Kalender, Ulf Winkelmann, Rüdiger Höffer

Windingenieurwesen und Strömungsmechanik (WIST), Ruhr-Universität Bochum

Dieser Beitrag zeigt Ergebnisse aus numerischen Simulationen mit zwei verschiedenen prognostischen Modellen im Vergleich zu experimentellen Windkanalversuchen. Untersucht wurden sowohl mittlere Konzentrationskoeffizienten als auch der mittlere Horizontalwind in fünfzehn bodennahen Messpunkten innerhalb einer fiktiven Gebäudeanordnung. Im Fokus dieser Arbeit steht die Erzeugung von hochwertigen und vergleichbaren Mess- und Simulationsdaten. Dies erfordert eine umfangreiche Kontrolle und Dokumentation der modellspezifischen Parameter und Einflussgrößen. Für eine optimale Vergleichbarkeit müssen, sowohl im Windkanal als auch im numerischen Modell, alle Randbedingungen, wie Eigenschaften der bodennahen Grenzschicht, Konfiguration der Tracer-Quelle, Durchführung und Datenauswertung bekannt und möglichst gleich oder ähnlich sein. In der numerischen Simulation kommen noch die Analyse der Gitterabhängigkeit sowie die Wahl der einzelnen numerischen Verfahren und Modelle hinzu. Im Windkanal spielt zusätzlich die Wiederholbarkeit der Messung und damit die Reproduzierbarkeit der Messdaten in dem komplexen Versuchsaufbau eine wichtige Rolle. Die Ergebnisse werden vor diesem Hintergrund analysiert und diskutiert und verschiedene Variationen verglichen. Die zeitlich gemittelte Simulationsmethode ermöglicht im Rahmen ihrer modellspezifischen Eigenschaften eine räumliche Betrachtung der mittleren Strömungs- und Konzentrationsfelder und kann die punktuellen Windkanaldaten sinnvoll ergänzen.



Links: Untersuchungsgebiet in Ansys® CFX, Mitte: Gebäudemodell im Grenzschichtwindkanal der Gruppe WIST, Rechts: Draufsicht der Geometrie mit Messpunkten und Quellposition.



Links: Mittlere norm. Konzentrationen (Wind 0°) mit und ohne geometrisch aufgelöster Umgebungsrauigkeit im numerischen Modell, Mitte: Streudiagramm der Konzentrationen Windkanal vs. Simulation (Wind 0°), Rechts: Konzentrationsverteilung (grau) und Strömungsvektoren (farbig) in CFX.

Schwergasausbreitung von Gefahrenstoffen in industrieller Umgebung

Simon Michel[1], Dr. Frank Harms[1], Prof. Dr. Bernd Leitl[1]

[1]Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg Deutschland

Störfallartige Freisetzungen von Gefahrenstoffen sind Sicherheitsrisiken in Fabriken oder während des Transports. Besonders im Falle von brennbaren oder toxischen Schwergasen, Gase mit einer höheren Dichte als die Umgebungsluft, sind große Gefahren für die Gesundheit präsent. Referenzdatensätze für Schwergasausbreitungen sind selten und befassen sich meist mit Ausbreitungen in unbebauter Umgebung.
Es wird die Erstellung eines neuen Datensatzes mit Hilfe des WOTAN-Windkanals des meteorologischen Institutes der Universität Hamburg für störfallmäßige Ausbreitungen von Schwergasen in industrieller Umgebung präsentiert. Diese Arbeit ist im Rahmen des AiF-Projektes „Entwicklung innovativer Softwaretools zur Simulation der Ausbreitung gasförmiger Gefahrstoffe in industrieller Umgebung“ entstanden.
Für die Ausbreitungsexperimente wurden zunächst zwei naturähnliche Windgrenzschichten in einem Maßstab von 1:100 im Windkanal modelliert. Diese Windgrenzschichten repräsentieren nach VDI 3783-12 eine mäßig raue und eine raue Anströmung.
In diese naturähnlichen Windgrenzschichten wird zunächst ein Modell eines idealisierten Gewerbegebietes mit einer Realabmessung von ca. 300 m x 300 m platziert. Das Modell wird aus drei verschiedenen Windrichtungen angeströmt. In der Mitte des Modells befindet sich ein Quellgebäude, aus dem aus verschiedenen Quellöffnungen Neutral- und Schwergase freigesetzt werden. Die Strömungsverhältnisse im Modellgebiet werden störungsfrei mit einem Laser Doppler Anemometer gemessen.
Für die Dispersionsexperimente werden in verschiedenen Konfigurationen kontinuierlich Neutral- und Schwergase freigesetzt. Die Ausbreitung der Gase innerhalb des Gewerbegebietmodells wird mit einem Flammenionisations-detektor gemessen.
Im Gewerbegebietmodell sind ca. 1.500 Konzentrationsmessungen und ca. 2.000 Strömungsmessungen durchgeführt worden.
Zwischen den Konzentrationsverteilungen des Neutral- und des Schwergases sind klare Unterschiede zu erkennen (Abb.1). Das Neutralgas vermischt sich direkt hinter der Quelle mit der Umgebungsluft und steigt schnell auf.
Das Schwergas hingegen bleibt zunächst konzentriert in Bodennähe in einer Höhe bis zu 1,5 m und bewegt sich in einer Wolke am Boden entlang und vermischt sich erst weiter entfernt von der Quelle mit der Umgebungsluft und steigt auf. Durch die höhere Dichte des Schwergases und der daraus folgenden Eigendynamik sind weitaus höhere mittlere Konzentrationen in Bodennähe messbar.
Messpunkte innerhalb der Schwergaswolke zeigen andere Charakteristiken als Messpunkte in der Neutralgaswolke auf. Während die Messungen der Neutralgasausbreitung kurzzeitige Phasen von reiner Frischluft zeigen, sind bei Messungen innerhalb der Schwergaswolke durch eine komplette Abwesenheit von Frischluft geprägt.

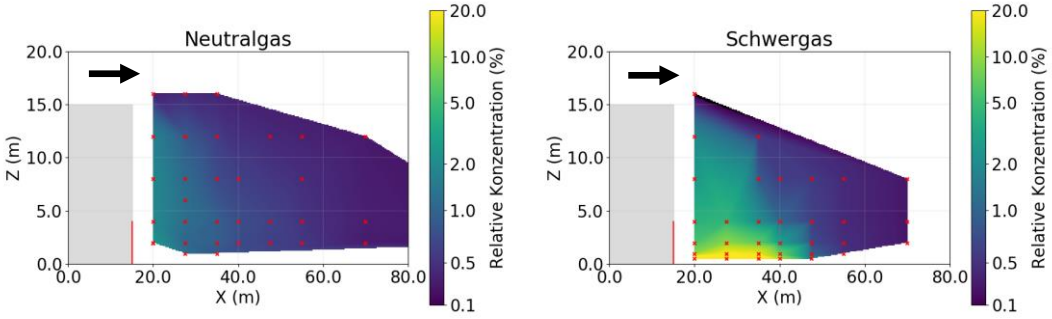


Abb.1. Kontinuierliche Gasausbreitung (8,3 m³/s Naturmaßstab) aus einer passiven Quelle (rot) an einer Gebäuderückseite. Links ein neutrales Gas, rechts ein schweres Gas mit einer Dichte von ca. 1,8 kg/m³. Rot markiert sind Messpunkte, Hauptwindrichtung markiert durch den Pfeil

Strength and weaknesses of reference data generated by state-of-the-art boundary layer wind tunnel measurements

F. Harms, Meteorologisches Institut der Universität Hamburg, EWTL, Hamburg, Germany

B. Leitl, Meteorologisches Institut der Universität Hamburg, EWTL, Hamburg, Germany

A basic requirement of any numerical model is its validation. The validation itself relies on the quality of reference data. Required data sets must fulfill certain requirements with respect to completeness, spatial and temporal resolution, accuracy, representativeness and documentation of the measured results (Schatzmann and Leitl, 2002). The focus of the present study is to analyze how well these requirements can be fulfilled by measurements in properly equipped boundary layer wind tunnels.

In order to analyze strength and weaknesses of wind tunnel testing, identical measurements using the same urban geometry (Figure 1) were carried out in five different wind tunnel labs in Germany. Identical source locations, measurement points and wind directions were selected for a set of flow and concentrations measurements. The aim of the round robin test was to identify what level of agreement can be achieved, when similar measurements are done in different boundary layer wind tunnels at different scales and measured by different personnel with different measurement equipment. Additionally, in each wind tunnel a number of sensitivity tests were carried out. These tests show how measurement results can be affected by differences in the modeled boundary layer flow, the model geometry and other operational factors.

The outcome of the round robin and sensitivity tests are used to update the German VDI-guideline 3783/12 for modelling flow and dispersion processes in the atmospheric boundary layer. The updated version will consider advances in wind tunnel modeling technology and instrumentation. Additionally, the guideline is aiming to establish a set of different complexity levels for different types of wind tunnel testing. Depending on the intended use of the model, different minimum standards need to be matched. This will balance the efforts for quality assurance and documentation with the desired accuracy of the model results.

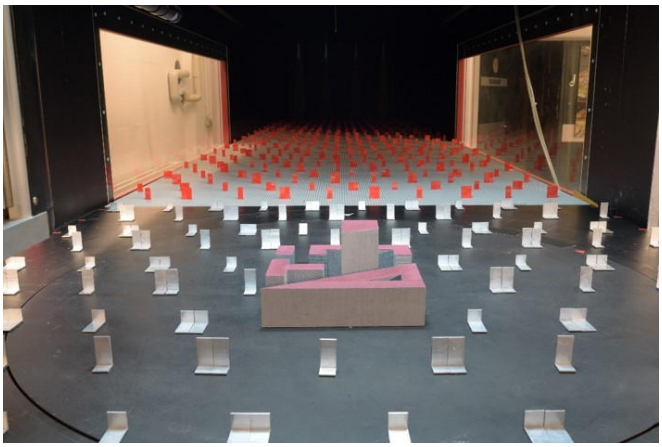


Figure 1: Idealized urban geometry in the boundary layer wind tunnel „Blasius“ at the University of Hamburg.

The presentation will illustrate results of the round robin test, show findings of the sensitivity studies and discuss how data sets from boundary layer wind tunnel measurements are expected to be generated to ensure a certain quality level to be reached.

A proper model validation is essential to harmonize results of numerical models. Numerous data sets generated by field or wind tunnel measurements are available to improve and validate numerical models. In many cases, the representativeness of these data sets are unknown or data sets are used for the wrong purpose. The present study will discuss strength and weaknesses of reference data generated by state-of-the-art boundary layer wind tunnel measurements.