

## METTOOLS IX

Programm, Übersicht, Kurzbeiträge

Tagung des Fachausschusses Umweltmeteorologie FAUMET  
der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft DMG e.V.  
vom 17. bis 19. März 2015  
in Offenbach (Main)

Veranstalter:

Deutsche Meteorologische Gesellschaft e.V., Deutscher Wetterdienst





Annalen der Meteorologie

## **METTOOLS IX**

Programm, Übersicht, Kurzbeiträge

Tagung des Fachausschusses Umweltmeteorologie FAUMET  
der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft DMG e.V.  
vom 17. bis 19. März 2015  
in Offenbach (Main)

Veranstalter:

Deutsche Meteorologische Gesellschaft e.V., Deutscher Wetterdienst



**DMG**

Deutsche Meteorologische Gesellschaft

**Deutscher Wetterdienst**  
Wetter und Klima aus einer Hand



ISSN der Online-Ausgabe: 2194-5934

ISSN der Druckausgabe: 0072-4122

ISBN der Online-Ausgabe: 978-3-88148-477-0

ISBN der Druck-Ausgabe: 978-3-88148-476-3

---

Nutzungsbedingungen:

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz:



Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden. Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Die in dieser Publikation veröffentlichten Texte werden allein von ihren jeweiligen Autoren verantwortet; die darin zum Ausdruck gebrachte Meinung entspricht nicht notwendig der Meinung des Herausgebers (Deutscher Wetterdienst).

---

**Herausgeber und Verlag:**

Deutscher Wetterdienst  
Fachinformationsstelle und  
Deutsche Meteorologische Bibliothek  
Frankfurter Straße 135  
63067 Offenbach am Main  
[www.dwd.de/bibliothek](http://www.dwd.de/bibliothek)  
[bibliothek@dwd.de](mailto:bibliothek@dwd.de)

**Redaktion und Layout:**

Tobias Fuchs, Ursula Klasen  
Deutscher Wetterdienst  
Klima- und Umweltberatung  
Frankfurter Str. 135  
63067 Offenbach am Main  
[faumet@dwd.de](mailto:faumet@dwd.de)

**Druck und Bindung:**

Druckerei des BMVI  
Referat Z25  
Robert.Schumann-Platz 1  
53175 Bonn

---

## Vorwort

---

Der Fachausschuss Umweltmeteorologie (FA UMET) der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V. und der Deutsche Wetterdienst (DWD) führen vom 17. bis 19. März 2015 die 9. Fachtagung METTOOLS durch. Tagungsort ist die Zentrale des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach (Main).

Mit der 9. METTOOLS-Tagung wird die Reihe der erfolgreichen Tagungen des DMG FA UMET fortgesetzt. Die bisherigen METTOOLS Tagungen fanden statt: in Leipzig (2012), in Hamburg (1990, 2009), in Garmisch-Partenkirchen (2007), in Essen (2003), in Stuttgart (2000), in Freiburg (1997) und in Hohenheim (1993).

Die Umweltmeteorologie ist das Teilgebiet der Meteorologie, das sich mit umweltrelevanten Fragestellungen beschäftigt. Die Erfassung durch menschengemachte Einflüsse bedingter umweltmeteorologischer Phänomene und Prozesse (z.B. der Luft- und Lärmbelastung in unseren dicht besiedelten Lebensräumen) basiert sowohl auf spezifischen Messungen (in situ und Fernerkundung, in den letzten Jahren zunehmend auch auf Basis von Satelliten) wie auch auf der Modellierung umweltrelevanter Größen.

Dabei umfasst die Umweltmeteorologie eine breite Palette von Aktivitäten, von grundlagenbezogener Forschung und Entwicklung über fallspezifische anwendungsbezogene Untersuchungen und Beratungen bis hin zu in Normen und Gesetzen vorgeschriebenen Bewertungen und Begutachtungen (z.B. im Kontext von Umweltverträglichkeitsprüfungen oder der TA Luft), auf deren Basis geeignete Abschwächungs- und Anpassungsmaßnahmen für Ballungsräume, Städte und Kommunen entwickelt werden können. Bei der Untersuchung der Fragestellungen der Luftreinhaltung sind auch deren Wechselwirkungen mit den regionalen und lokalen Ausprägungen des Klimawandels unerlässlich.

Die Arbeit des DMG-Fachausschusses Umweltmeteorologie lebt vom Engagement seiner Mitglieder. Daher freue ich mich über die zahlreichen Beiträge zur METTOOLS IX auf deren Basis ein sehr vielseitiges, alle wesentlichen Aspekte der Umweltmeteorologie adressierendes Tagungsprogramm zusammengestellt werden konnte.

Vor diesem Hintergrund wünsche ich allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der METTOOLS IX eine anregende Tagung mit vielen spannenden Vorträgen und Postern und fruchtbaren Diskussionen.

Tobias Fuchs  
Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Klima und Umwelt  
Vorsitzender des Fachausschusses Umweltmeteorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V.

**Aussteller / Sponsoren**

**EIGENBRODT®**

***Eigenbrodt GmbH & Co. KG***  
Baurat-Wiese-Strasse 68  
21255 Königsmoor



***Umweltconsulting GmbH***

***GEO-NET Umweltconsulting GmbH***  
Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover

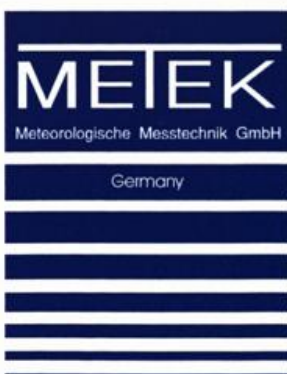


***GWU-Umwelttechnik GmbH***  
Bonner Ring 9  
50374 Erftstadt

**METEOSOLUTIONS**



***MeteoSolutions GmbH***  
Sturzstraße 45  
64285 Darmstadt



***METEK Meteorologische Messtechnik GmbH***  
Fritz-Straßmann-Straße 4  
25337 Elmshorn

## Übersicht der Vorträge

### Session 1: „Modellierung umweltmeteorologischer Größen“

Sitzungsleitung: J. Eichhorn, K.H. Schlünzen, K. Trusilova

<b>D. Grawe, W. Bächlin, H. Brünger, J. Eichhorn, J. Franke, B. Leitl, W. J. Müller, D. Öttl, M. Hefny Salim, K. H. Schlünzen, C. Winkler, M. Zimmer</b> <u>Übersichtsvortrag</u> - Überarbeitung einer Evaluierungsrichtlinie für prognostische mikroskalige Windfeldmodelle	20
<b>G. Rau, J. Vergeiner, M. W. Rotach</b> Vergleich von modellierten und gemessenen Windfeldern in einem Alpental	22
<b>J. Hofmeyer, M. Bruse</b> L-System-basierte Pflanzenmodellierung in ENVI-met	24
<b>U. Spank, T. Grünwald, U. Moderow, B. Köstner, C. Bernhofer</b> Analyse und Vergleich von Verdunstungsparametern ( $r_a$ , $r_c$ und $K_c$ ) abgeleitet aus 10 Jahren EC-Messung an landwirtschaftlichen Standorten im Osterzgebirge	25
<b>J. Förstner, D. Rieger, H. Vogel, B. Vogel</b> Ausbreitungsmodellierung mit COSMO-ART / ICON-ART beim DWD	27
<b>B. Leitl, S. Trini Castelli, K. Baumann-Stanzer</b> Validierung von Modellen zur Simulation von Gefahrstoffausbreitung in komplexen urbanen Strukturen - Inhalte und Ergebnisse der COST-Action ES1006	28
<b>D. Schindler</b> Analyse und statistisch-empirische Simulation von Luftschadstoffkonzentrationen an einer stark befahrenen Straße	30
<b>T. Nagel, A. Moldenhauer, T. Flassak</b> Vergleich von Immissionssimulationen in dichter Bebauung mit Messwerten	31
<b>F. Pfäfflin, V. Diegmann, R. Stern, W. Scholz</b> Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg	33
<b>K. Baumann-Stanzer, P. Carný, E. Polreich, P. Skomorowski, L. Liptak, D. Suchoň, E. Smejkalova</b> Vergleich der atmosphärischen Ausbreitungsmodelle der Modellsysteme TAMOS, ESTE und RODOS für radiologische Notstandssituationen	35

**Session 2: „Monitoringprogramme und Messkampagnen für umweltmeteorologische Fragestellungen“**

Sitzungsleitung: F. Beyrich, A. Raabe, S. Weber

**J.-D. Hessel, M. Roos, H. Noppel, K. Hoffmann**

Übersichtsvortrag - Stadtklimamessungen und Aktivitäten der Meteorologischen Messeinheiten des DWD

38

**K. Schäfer, M. Elsasser, J. M. Arteaga-Salas, J. Gu, M. Pitz, J. Schnelle Kreis, J. Cyrus, St. Emeis, A. S.H. Prevot, R. Zimmermann**

The role of meteorological conditions in the assessment of air pollution exposure due to urban emissions

40

**A. Rühling, U. Klenk, S. Jäckel**

Diffuse Staubemissionen von Fahrzeugbewegungen auf gewerblich-industriellen Betriebsgeländen – Die neue Richtlinie VDI 3790 Blatt 4

42

**I. Düring, W. Schmidt, A. Rauterberg-Wulff**

Mikroskalige Emissionsmodellierungen für den Straßenverkehr auf Basis von mobilen Messfahrten und Vergleich zu klassischen Verfahren

44

**F. Beyrich, V. Lehmann, R. Leinweber, E. Päschke, B. van Kesteren**

IR-Doppler-Lidar Messungen: Operationelle Erfahrungen und potenzielle Anwendungen für umweltmeteorologische Fragestellungen

46

**C. Schmitt**

Turbulenzdaten für Anwendungen in der Windenergie – Evaluation von Lidarmessungen

47

**Session 3: „Nutzungspotential fernerkundungsbasierter Daten für umwelt-  
meteorologische Anwendungen“**

Sitzungsleitung: T. Erbertseder, S. Wurzler

**T. Erbertseder, F. Baier, Th. Holzer-Popp, C. Bergemann, L. Klüser**

Übersichtsvortrag - Nutzungspotential der Satellitenfernerkundung für umweltmeteorologische  
Anwendungen

50

**J. Namyslo, M. Stengel**

Bestimmung von Ausbreitungsklassen nach TA Luft mit Wolkenbedeckungsgraden aus  
Satellitendaten

52

**S. Emeis, S. Helgert**

Nächtliche Grenzschichtwindmaxima: gewöhnliche und ungewöhnliche Auslösemechanismen

54

**E. Friese, H. Elbern**

Regional Air Quality Forecast and Analysis with EURAD-IM Embedded in the Copernicus  
Core and Downstream Atmospheric Service

56

**M. Schroedter-Homscheidt, N Killius, A. Benedetti**

Evaluierung von Global- und Direktstrahlungsvorhersagen des ECMWF – insbesondere  
auch von Strahlungsvorhersagen basierend auf den neuen MACC Aerosolvorhersagen

58

**T. Esch, W. Heldens, J. Zeidler, S. Buchholz, M. Kossmann**

Supporting Environmental Meteorology with Land Surface Parameters derived from Earth  
Observation Data

59

## **Session 4: „Urbane und Regionale Anpassung an den Klimawandel“**

Sitzungsleitung: P. Mahrenholz, U. Reuter

**P. Mahrenholz, I. Schauser, P. van R uth, A. Vetter**

 bersichtsvortrag -Ergebnisse einer aktuellen Verwundbarkeitsanalyse Deutschlands und darauf aufsetzende Vorschläge zur Anpassung an den Klimawandel 62

**S. Buchholz, M. Koßmann, M. Roos**

Klimaanpassungsstrategien für deutsche Städte: von Modellsimulationen bis zum Beratungs-instrument für die Stadtentwicklung 63

**U. Reuter, R. Kapp**

Städtebauliche Instrumente zur Sicherstellung einer klimagerechten Innenentwicklung am Beispiel Stuttgart 64

**V. Wirth, W. Bründl, U. Teichmann, M. Kossmann**

Anpassung an den Klimawandel in München - Grundlagen und kommunale Umsetzungsstrategie 66

**H. Lee, H. Mayer**

Mitigation of heat stress for pedestrians by different green scenarios: Numerical simulations for a residential district in Freiburg (Southwest Germany) 68

**H. Simon, M. Bruse**

Relevance of geometry and other basic parameters of urban trees on conditions of water and heat stress in long lasting heat waves – a simulation approach 70

**H. Noppel**

Beiträge des Deutschen Wetterdienstes zum Projekt KLIMPRAX – Geplante Arbeiten und erste Ergebnisse 71

**J. Hackenbruch, G. Schädler, H. Schipper**

Anwendung von Ergebnissen hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen auf städtische Ballungsräume 73

**A. Raabe, M. Barth, M. Wilsdorf**

Maximal möglicher Niederschlag verschiedener Wiederkehrzeiten und Klimawandel 74

**K. Jurisch, W. Hofstetter, A. Kress**

Mayors Adapt - eine neue EU-Initiative zur Anpassung an den Klimawandel 76

**Session 5: „Klimatologie und Luftreinhaltung für Städte und Gemeinden“**  
Sitzungsleitung: A. Matzarakis, D. Scherer

<b>W. Kuttler</b> Übersichtsvortrag - Globaler Klimawandel und städtische Luftqualität	79
<b>H. Brünger, V. Diegmann, L. Katzschner, W. Kuttler</b> Richtlinienarbeit des VDI zur Stadtklimatologie in Planungsprozessen	80
<b>J. Baumüller</b> Wärmeinsel in einer Großstadt mit ausgeprägter Topografie	82
<b>I. Maras, T. Schmidt, B. Paas, J. Stienen, C. Schneider</b> Interdisziplinäre Untersuchung kombinierter Belastungsfaktoren im urbanen Raum	83
<b>D. Scherer, U. Fehrenbach, D. Fenner, B. Jänicke, F. Meier</b> Ein Werkzeug zur Analyse Hitzestress-bezogener Mortalitätsrisiken am Beispiel Berlins	85
<b>F. Meier, B. Jänicke, F. Lindberg, D. Scherer, S. Schubert</b> Eine stadtweite Analyse der mittleren Strahlungstemperatur und mögliche Anwendungen am Beispiel Berlins	86
<b>A. Matzarakis, Y.-C. Chen, D. Fröhlich, M. Gangwisch, C. Ketterer, A. Peer, H. Staiger</b> Mikroskalige Modellierung von Eingangsgrößen und thermischen Indizes in komplexen urbanen Umgebungen	87
<b>H. Staiger, A. Matzarakis</b> Accuracy in determining the mean radiant temperature by instruments employed in urban human-biometeorology	89
<b>K. Baumann-Stanzer, G. Rau, C. Flandorfer, B. Leitl, S. Trini Castelli, E. Berbekar, K. Jurkacova, V. Fuka, G. Tinarelli, A. Petrov</b> COST Action ES1006 - Evaluierung atmosphärischer Ausbreitungsmodelle für unfallbedingte Freisetzungen in Städten oder Industriegebieten	91
<b>H. Hebbinghaus, S. Wurzler</b> Auswertungen der Inversionshöhen aus ca. 50 Jahren Radiosondendaten	93

**Session 6: „Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart und Zukunft“**  
Sitzungsleitung: W. Birmili, J. Namyslo, A. Ziemann

<b>S. Wurzler, H. Hebbinghaus, W. Straub, I. Steckelbach, T. Schulz, T. Schöllnhammer, S. Nowag, M. Memmesheimer, H. Jakob</b> <u>Übersichtsvortrag</u> - Verbessert Elektromobilität die Luftqualität? Eine Sensitivitätsstudie	96
<b>E. Mursch-Radlgruber, D. Hohenwarter</b> Meteorologische Messungen zur Charakterisierung der Schallausbreitung in größerer Entfernung	98
<b>A. Ziemann, D. Keith Wilson</b> Wie beeinflusst die Meteorologie das Lärmschutzpotenzial von Waldgebieten?	100
<b>A. Schady, A. Ziemann, D. Heimann</b> Einfluss von Meteorologie und Wald auf die Schallausbreitung	102
<b>W. Birmili, J. Sun</b> Schwarzer Kohlenstoff und ultrafeine Partikel im deutschen Messnetz für ultrafeine Partikel (GUAN): Trendanalysen 2009-2013	104
<b>A. Backes, A. Aulinger, J. Bieser, V. Matthias, M. Quante</b> Influence of ammonia emissions on aerosol formation in northern and central Europe	105
<b>V. Matthias, A. Aulinger, J. Bieser, B. Geyer, M. Quante</b> Modeling high aerosol loads in China in January 2013 with COSMO-CLM/CMAQ	107

## Übersicht der Poster

<b>C. Bergemann</b> Data Assimilation in the air quality model POLYPHEMUS/DLR using an Ensemble Kalman Filter	110
<b>M. Koßmann</b> Simulationen zur Durchlüftung von Tälern während windschwacher Strahlungsächte	111
<b>K. Pfannschmidt, C. Fischer</b> J2000-Klima – Ein Werkzeug zur flächendetaillierten Berechnung klimatologischer Leitparameter, Kennwerte und Trends aus gemessenen und projizierten Klimadaten	113
<b>H. Simon, M. Bruse</b> Simulation of indoor climate with façade dynamics & building – atmosphere interaction	115
<b>B. Bonn et al.</b> Die BÄRLIN2014-Kampagne: Messung des Vegetationseinflusses auf Luftqualität und Feinstaubbelastung in Berlin	118
<b>J. Heusinger, S. Weber</b> Quantification of the surface-atmosphere exchange of energy and carbon dioxide of an extensive urban green roof by eddy covariance measurements	119
<b>G. Mühlbacher, W. Bründl, U. Teichmann</b> Anpassung an den Klimawandel in München Messkonzept Projekt „München 2050“	121
<b>T. Einfalt, S. Jäckel</b> Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags mittels Wetterradar; Die neue Richtlinie VDI 3786 Blatt 20	124
<b>T. Fuchs</b> Der Copernicus Atmosphärendienst – eine Basis für operationelle umweltmeteorologische Anwendungen	126
<b>S. Jäckel</b> Elaborating meteorological standards – The work of ISO/TC 146/SC 5 Meteorology	127
<b>S. Krähenmann, A. Walter</b> Zukunfts-Wetterdatensätze (Testreferenzjahre) für die Planung klimagerechter Gebäude	130
<b>A. Kress, W. Hofstetter</b> KlimaScout – Das Wiki zur Anpassung an den Klimawandel	131
<b>A. Mahnke, W. Beckröge</b> Klimaanpassung im Regionalplan Ruhr	132
<b>U. Moderow, V. Goldberg, R. Hoffmann, C. Bernhofer</b> Die Kohlenstoffsенke urbanen Grüns – die große Unbekannte?	134
<b>M. Zak, P. Zahradnicek</b> Entwicklung des Thermalkomforts in Prag (Tschechische Republik) seit 1960	136

<b>V. Goldberg, S. Mittag, C. Pursche, A. Koszinski, C. Bernhofer</b> Einfluss von Flächennutzung und Witterung auf das Stadtklima von Dresden	138
<b>R. Günther</b> Simulation der städtischen Wärmebelastung mit einem mikroskaligen Modell und Abschätzung des Potenzials verschiedener Regenwassermaßnahmen – eine Fallstudie für Berlin	140
<b>S. Jochner, A. Menzel</b> Detektion der urbanen Wärmeinsel und Abschätzung von Klimafolgen mit Hilfe der Stadtphänologie	142
<b>L. Katzschner</b> Stadtklimaanalysen auf Grundlage verallgemeinerbarer Stadtstrukturtypen	144
<b>A. Mahnke, W. Beckröge</b> Untersuchungen zum Innenstadtklima der Metropole Ruhr	146
<b>B. Paas, I. Maras, T. Schmidt, J. Stienen, C. Schneider</b> Interdisziplinäre Analyse innerstädtischer Feinstaubbelastung in Aachen	148
<b>J. Fallmann, Stefan Emeis</b> Auswirkung von Strategien zur Verminderung der städtischen Wärmeinsel auf die urbane Luftqualität	149
<b>A. Aulinger, V. Matthias, D. Neumann, F. Herrmann, L. Kattner, A. Seyler, F. Wittrock, B. Mathieu-Üffing</b> Seasonal differences of the influence of ship emissions in the North Sea on air pollution ashore	152
<b>V. Goldberg, A. Kenner, U. Moderow, C. Bernhofer</b> Auswirkung veränderter Stadtvegetation und Bebauung auf die verkehrsbedingten Emissionen in Leipzig	154
<b>J. Thudium, C. Chélala</b> Probabilistische Immissionsprognose für PM10 in der Ost- und Zentralschweiz	155

**PROGRAMM der METTOOLS<sup>ix</sup> Tagung**

**Dienstag, 17.03. bis Donnerstag 19.03.2015 im Konferenzbereich der Zentrale des Deutschen Wetterdienstes in 63067 Offenbach**

Details unter: <http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/lumet/veranstaltungen.htm>

**Dienstag, 17.03.2015**

Übersichtsvorträge 25 min, Vorträge 20 min (jeweils inkl. 5 min Diskussion)

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
08:00 Uhr	Anmeldung, Aufbau Poster		
10:00 Uhr	<b>Eröffnung METTOOLS<sup>ix</sup></b> Grußworte DWD, DMG und Stadt Offenbach		
10:30 Uhr	<b>Session 1 „Modellierung umweltmeteorologischer Größen“ (Sitzungsleitung J. Eichhorn, K.H. Schlünzen, K. Trusilova)</b>		
10:30 Uhr	<b>D. Grawe, W. Bächlin, H. Brünger, J. Eichhorn, J. Franke, B. Leiti, W. J. Müller, D. Ötli, M. Hefny Salim, K. H. Schlünzen, C. Winkler, M. Zimmer</b>	Meteorologisches Institut, Universität Hamburg	Übersichtsvortrag: Überarbeitung einer Evaluierungsrichtlinie für prognostische mikroskalige Windfeldmodelle
10:55 Uhr	<b>G. Rau, J. Vergeiner, M. W. Rotach</b>	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Wien, Österreich	Vergleich von modellierten und gemessenen Windfeldern in einem Alpenal
11:15 Uhr	<b>J. Hofmeyer, M. Bruse</b>	Universität Mainz	L-System-basierte Pflanzenmodellierung in ENVI-met
11:35 Uhr	<b>U. Spank, T. Grünwald, U. Moderow, B. Köstner, C. Bernthofer</b>	Technische Universität Dresden	Analyse und Vergleich von Verdunstungsparametern (ra, rc und Kc) abgeleitet aus 10 Jahren EC-Messung an landwirtschaftlichen Standorten im Osterzgebirge
11:55 Uhr	<b>J. Förstner, D. Rieger, H. Vogel, B. Vogel</b>	Deutscher Wetterdienst, Offenbach	Ausbreitungsmodellierung mit COSMO-ART / ICON-ART beim DWD
12:15 Uhr	<b>B. Leiti, S. Trini Castelli, K. Baumann-Stanzer</b>	Universität Hamburg	Validierung von Modellen zur Simulation von Gefahstoffausbreitung in komplexen urbanen Strukturen - Inhalte und Ergebnisse der COST-Aktion ES1006
12:35 Uhr	Diskussion		
12:50 Uhr	<b>MITTAGSPAUSE</b>		
14:00 Uhr	<b>D. Schindler</b>	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	Analyse und statistisch-empirische Simulation von Luftschadstoffkonzentrationen an einer stark befahrenen Straße
14:20 Uhr	<b>T. Nagel, A. Moldenhauer, T. Flassak</b>	Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe	Vergleich von Immissionssimulationen in dichter Bebauung mit Messwerten
14:40 Uhr	<b>F. Pfäfflin, V. Diegmann, R. Stern, W. Scholz</b>	IVU Umwelt, Freiburg	Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg
15:00 Uhr	<b>K. Baumann-Stanzer, P. Camy, E. Polreich, P. Skomorowski, L. Liptak, D. Suchoň, E. Smejkalova</b>	ZAMG, Wien, Österreich	Vergleich der atmosphärischen Ausbreitungsmodelle der Modellsysteme TAMOS, ESTE und RODOS für radiologische Notstandssituationen
15:20 Uhr	Diskussion		
15:30 Uhr	<b>KAFFEEPAUSE + Posterrundgang (Vorstellung 1 min/Poster vor Ort) ▶ Übersicht der Poster im Anhang</b>		

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
16:30 Uhr	<b>Session 2 „Monitoringprogramme und Messkampagnen für umweltmeteorologische Fragestellungen“ (Sitzungsleitung: F. Beyrich, A. Raabe, S. Weber)</b>		
16:30 Uhr	J.-D. Hessel, M. Roos, H. Noppel, K. Hoffmann	Deutscher Wetterdienst, Offenbach	Übersichtsvortrag: Stadtklimamessungen und Aktivitäten der Meteorologischen Messeinheiten des DWD
16:55 Uhr	K. Schäfer, M. Elsasser, J. M. Arteaga-Salas, J. Gu, M. Pitz, J. Schnelle Kreis, J. Cyrys, St. Emels, A. S.H. Prevot, R. Zimmermann	Karlsruhe Institute of Technology (KIT)	The role of meteorological conditions in the assessment of air pollution exposure due to urban emissions
17:15 Uhr	A. Rühling, U. Klenk, S. Jäckel	Müller-BBM, Karlsruhe	Diffuse Staubemissionen von Fahrzeugbewegungen auf gewerblich-industriellen Betriebsgebieten – Die neue Richtlinie VDI 3790 Blatt 4
17:35 Uhr	I. Düring, W. Schmidt, A. Rauterberg-Wulff	Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe	Mikroskalige Emissionsmodellierungen für den Straßenverkehr auf Basis von mobilen Messfahrten und Vergleich zu klassischen Verfahren
17:55 Uhr	F. Beyrich, V. Lehmann, R. Leinweber, E. Päschke, B. van Kesteren	Deutscher Wetterdienst, Lindenberg	IR-Doppler-Lidar Messungen: Operationelle Erfahrungen und potenzielle Anwendungen für umweltmeteorologische Fragestellungen
18:15 Uhr	C. Schmitt	Juwi Energieprojekte, Würzburg	Turbulenzdaten für Anwendungen in der Windenergie – Evaluation von Lidarmessungen
18:35 Uhr	Diskussion		
18:45 Uhr	Ende der Vorträge		
19:00 Uhr	<b>ICE-BREAKER im Konferenzbereich des DWD</b>		

### Mittwoch, 18.03.2015

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
08:30 Uhr	<b>Session 4 „Urbane und Regionale Anpassung an den Klimawandel“ (Sitzungsleitung: P. Mahrenholz, U. Reuter)</b>		
08:30 Uhr	P. Mahrenholz, I. Schausser, P. van Rühl, A. Vetter	Umweltbundesamt, Dessau	Übersichtsvortrag 1: Ergebnisse einer aktuellen Verwundbarkeitsanalyse Deutschlands und darauf aufsetzende Vorschläge zur Anpassung an den Klimawandel
08:55 Uhr	S. Buchholz, M. Koßmann, M. Roos	Deutscher Wetterdienst, Offenbach	Übersichtsvortrag 2: Klimaanpassungsstrategien für deutsche Städte: von Modellsimulationen bis zum Beratungsinstrument für die Stadtentwicklung
09:20 Uhr	U. Reuter, R. Kapp	Amt für Umweltschutz, Stadt Stuttgart	Städtebauliche Instrumente zur Sicherstellung einer klimagerechten Innenentwicklung am Beispiel Stuttgart
09:40 Uhr	V. Wirth, W. Bründl, U. Teichmann, M. Kossmann	Referat für Gesundheit und Umwelt, Stadt München	Anpassung an den Klimawandel in München - Grundlagen und kommunale Umsetzungsstrategie
10:00 Uhr	H. Lee, H. Mayer	Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg	Mitigation of heat stress for pedestrians by different green scenarios: Numerical simulations for a residential district in Freiburg (Southwest Germany)
10:20 Uhr	Diskussion		
10:30 Uhr	<b>KAFFEEPAUSE + Präsentation Aussteller</b>		

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
11:00 Uhr	H. Simon, M. Bruse	Universität Mainz	Relevance of geometry and other basic parameters of urban trees on conditions of water and heat stress in long lasting heat waves – a simulation approach
11:20 Uhr	H. Noppel	Deutscher Wetterdienst, Offenbach	Beiträge des Deutschen Wetterdienstes zum Projekt KLIMPRAX – Geplante Arbeiten und erste Ergebnisse
11:40 Uhr	J. Hackenbruch, G. Schädler, H. Schipper	Karlsruhe Institute of Technology (KIT)	Anwendung von Ergebnissen hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen auf städtische Ballungsräume
12:00 Uhr	A. Raabe, M. Barth, M. Wilsdorf	Leipziger Institut für Meteorologie (LIM)	Maximal möglicher Niederschlag verschiedener Wiederkehrzeiten und Klimawandel
12:20 Uhr	K. Jurisch, W. Hofstetter, A. Kress	Klima-Bündnis, Frankfurt/Main	Mayors Adapt - eine neue EU-Initiative zur Anpassung an den Klimawandel
12:40 Uhr	Diskussion		
12:50 Uhr	<b>MITTAGSPAUSE</b>		
14:00 Uhr	<b>Session 5 „Klimatologie und Luftreinhaltung für Städte und Gemeinden“ (Sitzungsleitung: A. Matzarakis, D. Scherer)</b>		
14:00 Uhr	W. Kuttler	Universität Duisburg-Essen	Übersichtsvortrag: Globaler Klimawandel und städtische Luftqualität
14:25 Uhr	H. Brünger, V. Diegmann, L. Katzschmer, W. Kuttler	VDI, Düsseldorf	Richtlinienarbeit des VDI zur Stadtklimatologie in Planungsprozessen
14:45 Uhr	J. Baumüller	Universität Stuttgart	Wärmeinsel in einer Großstadt mit ausgeprägter Topografie
15:05 Uhr	I. Maras, T. Schmidt, B. Paas, J. Stienen, C. Schneider	RWTH Aachen	Interdisziplinäre Untersuchung kombinierter Belastungsfaktoren im urbanen Raum
15:25 Uhr	Diskussion		
15:35 Uhr	<b>KAFFEEPAUSE</b>		
16:05 Uhr	D. Scherer, U. Fehrenbach, D. Fenner, B. Jänicke, F. Meier	Technische Universität Berlin	Ein Werkzeug zur Analyse Hitze-stress-bezogener Mortalitätsrisiken am Beispiel Berlins
16:25 Uhr	F. Meier, B. Jänicke, F. Lindberg, D. Scherer, S. Schubert	Technische Universität Berlin	Eine stadtweite Analyse der mittleren Strahlungstemperatur und mögliche Anwendungen am Beispiel Berlins
16:45 Uhr	A. Matzarakis, Y.-C. Chen, D. Fröhlich, M. Gangwisch, C. Ketterer, A. Peer, H. Staiger	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	Mikroskalige Modellierung von Eingangsgrößen und thermischen Indizes in komplexen urbanen Umgebungen
17:05 Uhr	H. Staiger, A. Matzarakis	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	Accuracy in determining the mean radiant temperature by instruments employed in urban human-biometeorology
17:25 Uhr	K. Baumann-Stanzer, G. Rau, C. Flandorfer, B. Leith, S. Trini Castelli, E. Berbekar, K. Jurkacova, V. Fuka, G. Tinarelli, A. Petrov	ZAMG, Wien, Österreich	COST Action ES1006 - Evaluierung atmosphärischer Ausbreitungsmodelle für unfallbedingte Freisetzungen in Städten oder Industriegebieten
17:45 Uhr	H. Hebbinghaus, S. Wurzel	LANUV NRW, Recklinghausen	Auswertungen der Inversionshöhen aus ca. 50 Jahren Radiosondendaten
18:05 Uhr	Diskussion		
18:15 Uhr	<b>ENDE Vorträge</b>		

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
19:15 Uhr	Beginn Abendessen im Restaurant „Alter Bahnhof“ in Heusenstamm		
22:15 Uhr	Ende Abendessen		

### Donnerstag, 19.03.2015

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
08:30 Uhr	<b>Session 3 „Nutzungspotential fernerkundungsbasierter Daten für umweltmeteorologische Anwendungen“ (Sitzungsleitung: T. Erbertseder, S. Wurzler)</b>		
08:30 Uhr	T. Erbertseder, F. Baier, Th. Holzer-Popp, C. Bergemann, L. Klüser	DLR, Oberpfaffenhofen	Übersichtsvortrag: Nutzungspotential der Satellitenfernerkundung für umweltmeteorologische Anwendungen
08:55 Uhr	J. Namyslo, M. Stengel	Deutscher Wetterdienst, Offenbach	Bestimmung von Ausbreitungsklassen nach TA Luft mit Wolkenbedeckungsgraden aus Satellitendaten
09:15 Uhr	S. Emeis, S. Helgert	IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen	Nächtliche Grenzschichtwindmaxima: gewöhnliche und ungewöhnliche Auslösemechanismen
09:35 Uhr	E. Friese, H. Elbern	Universität Köln	Regional Air Quality Forecast and Analysis with EURAD-IM Embedded in the Copernicus Core and Downstream Atmospheric Service
09:55 Uhr	Diskussion		
10:05 Uhr	KAFFEEPAUSE		
10:35 Uhr	M. Schroedter-Homscheidt, N Killius, A. Benedetti	DLR, Oberpfaffenhofen	Evaluierung von Global- und Direktstrahlungsvorhersagen des ECMWF - insbesondere auch von Strahlungsvorhersagen basierend auf den neuen MACC Aerosolvorhersagen
10:55 Uhr	T. Esch, W. Heidens, J. Zeidler, S. Buchholz, M. Kossmann	German Aerospace Center, Wessling	Supporting Environmental Meteorology with Land Surface Parameters derived from Earth Observation Data
11:15 Uhr	<b>Session 6 „Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart und Zukunft“ (Sitzungsleitung: W. Birmili, J. Namyslo, A. Ziemann)</b>		
11:15 Uhr	S. Wurzler, H. Hebbinghaus, W. Straub, I. Steckelbach, T. Schulz, T. Schöllnhammer, S. Nowag, M. Mermesheimer, H. Jakob	LANUV NRW, Recklinghausen	Übersichtsvortrag: Verbessert Elektromobilität die Luftqualität? Eine Sensitivitätsstudie
11:40 Uhr	E. Mursch-Radlgruber, D. Hohenwarter	Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich	Meteorologische Messungen zur Charakterisierung der Schallausbreitung in größerer Entfernung
12:00 Uhr	A. Ziemann, D. Keith Wilson	Technische Universität Dresden	Wie beeinflusst die Meteorologie das Lärmschutzpotenzial von Waldgebieten?
12:20 Uhr	A. Schady, A. Ziemann, D. Heimann	DLR, Oberpfaffenhofen	Einfluss von Meteorologie und Wald auf die Schallausbreitung
12:40 Uhr	Diskussion		

Zeit	Autoren / Ko-Autoren	Institut des Hauptautors	Thema
12:50 Uhr	<b>MITTAGSPAUSE</b>		
14:00 Uhr	W. Birmili, J. Sun	Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig	Schwarzer Kohlenstoff und ultrafeine Partikel im deutschen Messnetz für ultrafeine Partikel (GUAN): Trendanalysen 2009-2013
14:20 Uhr	A. Backes, A. Aulinger, J. Bieser, V. Matthias, M. Quante	Heimholtz-Zentrum, Geesthacht	Influence of ammonia emissions on aerosol formation in northern and central Europe
14:40 Uhr	V. Matthias, A. Aulinger, J. Bieser, B. Geyer, M. Quante	Heimholtz-Zentrum, Geesthacht	Modeling high aerosol loads in China in January 2013 with COSMO-CLM/CMAQ
15:00 Uhr	<b>ENDE DER TAGUNG</b>		
15:00 Uhr	<b>Abbau Aussteller + Poster</b>		



**Wir wünschen Ihnen eine gute Rückreise.**

Autoren / Ko-Autoren		Institut des Hauptautors		Thema
C. Bergemann		DLR, Oberpfaffenhofen		Data Assimilation in the air quality model POLYPHEMUS/DLR using an Ensemble Kalman Filter
M. Koßmann		Deutscher Wetterdienst, Offenbach		Simulationen zur Durchlüftung von Tälern während windschwacher Strahlungsnächte
K. Pfannschmidt, C. Fischer		TLUG Thüringen, Jena		J2000-Klima – Ein Werkzeug zur flächendetaillierten Berechnung klimatologischer Leitparameter, Kennwerte und Trends aus gemessenen und projizierten Klimadaten
H. Simon, M. Bruse		Universität Mainz		Simulation of indoor climate with façade dynamics & building – atmosphere interaction
B. Bonn et al.		IASS, Potsdam		Die BÄRLIN2014-Kampagne: Messung des Vegetationseinflusses auf Luftqualität und Feinstaubbelastung in Berlin
J. Heusinger, S. Weber		Technische Universität Braunschweig		Quantification of the surface-atmosphere exchange of energy and carbon dioxide of an extensive urban green roof by eddy covariance measurements
G. Mühlbacher, W. Bründl, U. Teichmann		Deutscher Wetterdienst, München		Anpassung an den Klimawandel in München Messkonzept Projekt „München 2050“
T. Einfalt, S. Jäckel		hydro & meteo, Lübeck		Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags mittels Wetterradar: Die neue Richtlinie VDI 3786 Blatt 20
T. Fuchs		Deutscher Wetterdienst, Offenbach		Der Copernicus Atmosphärendienst – eine Basis für operationelle umweltmeteorologische Anwendungen
S. Jäckel		VDI, Düsseldorf		Elaborating meteorological standards – The work of ISO/TC 146/SC 5 Meteorology
S. Krähenmann, A. Walter		Deutscher Wetterdienst, Offenbach		Zukunfts-Wetterdatensätze (Testreferenzjahre) für die Planung klimagerechter Gebäude
A. Kress, W. Hofstetter		Klima-Bündnis, Frankfurt/Main		KlimaScout – Das Wiki zur Anpassung an den Klimawandel
A. Mahnke, W. Beckröge		Regionalverband Ruhr, Essen		Klimaanpassung im Regionalplan Ruhr
U. Moderow, V. Goldberg, R. Hoffmann, C. Bernhofer		Technische Universität Dresden		Die Kohlenstoffsenke urbanen Grüns – die große Unbekannte?
M. Zak, P. Zahradnicek		Tschechisches Hydrometeorologisches Institut, Prag		Entwicklung des Thermalcomforts in Prag (Tschechische Republik) seit 1960
V. Goldberg, S. Mittag, C. Pursche, A. Koszinski, C. Bernhofer		Technische Universität Dresden		Einfluss von Flächennutzung und Witterung auf das Stadtklima von Dresden
R. Günther		Leibniz Universität Hannover		Simulation der städtischen Wärmebelastung mit einem mikroskaligen Modell und Abschätzung des Potenzials verschiedener Regenwassermaßnahmen – eine Fallstudie für Berlin
S. Jochner, A. Menzel		Technische Universität München		Detektion der urbanen Wärmeinsel und Abschätzung von Klimafolgen mit Hilfe der Stadtphänologie
L. Katzschner		Universität Kassel		Stadtklimaanalysen auf Grundlage verallgemeinerbarer Stadtstrukturtypen
A. Mahnke, W. Beckröge		Regionalverband Ruhr, Essen		Untersuchungen zum Innenstadtklima der Metropole Ruhr
B. Paas, I. Maras, T. Schmidt, J. Stienen, C. Schneider		RWTH Aachen		Interdisziplinäre Analyse innerstädtischer Feinstaubbelastung in Aachen
J. Fallmann, S. Emeis		IMK-IFU, Garmisch-Partenkirchen		Auswirkung von Strategien zur Verminderung der städtischen Wärmeinsel auf die urbane Luftqualität
A. Aullinger, V. Matthias, D. Neumann, F. Herrmann, L. Kattner, A. Seyler, F. Wittrock, B. Mathieu-Uffing		Helmholtz-Zentrum, Geesthacht		Seasonal differences of the influence of ship emissions in the North Sea on air pollution ashore
V. Goldberg, A. Kenner, U. Moderow, C. Bernhofer		Technische Universität Dresden		Auswirkung veränderter Stadtvegetation und Bebauung auf die verkehrsbedingten Emissionen in Leipzig
J. Thudium, C. Chélaia		Oekoscience, Chur, Schweiz		Probabilistische Immissionsprognose für PM10 in der Ost- und Zentralschweiz

Poster

Anhang

Session 1:  
**„Modellierung umweltmeteorologischer Größen“**

## Überarbeitung einer Evaluierungsrichtlinie für prognostische mikroskalige Windfeldmodelle

*David Grawe<sup>1)</sup>, Wolfgang Bächlin<sup>2)</sup>, Harald Brünger<sup>3)</sup>, Joachim Eichhorn<sup>4)</sup>, Jörg Franke<sup>5)</sup>,  
Bernd Leitl<sup>1)</sup>, Wolfgang J. Müller<sup>6)</sup>, Dietmar Öttl<sup>7)</sup>, Mohamed Hefny Salim<sup>1)</sup>, K. Heinke Schlüenzen<sup>1)</sup>,  
Christoph Winkler<sup>8)</sup>, Matthias Zimmer<sup>9)</sup>*

- 1) *Meteorologisches Institut, cen, Universität Hamburg, Bundesstr. 55, 20146 Hamburg, Deutschland, david.grawe@uni-hamburg.de*
- 2) *Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, Deutschland*
- 3) *Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Deutschland*
- 4) *Institut für Atmosphärenphysik, Universität Mainz, Mainz, Deutschland*
- 5) *Vietnamese-German University, Binh Duong New City, Vietnam*
- 6) *Laatzen, Deutschland*
- 7) *Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, Österreich*
- 8) *Ingenieurbüro Winkler, Würselen, Deutschland*
- 9) *Umweltministerium Rheinland-Pfalz, Mainz, Deutschland*

### EINLEITUNG

Für die Untersuchung von Schadstoffausbreitung im Einflussbereich komplexer Hinderniskonfigurationen werden häufig hindernisauflösende prognostische mikroskalige Windfeldmodelle verwendet. Beim Einsatz dieser Modelle insbesondere im Rahmen von Genehmigungsverfahren sollten einheitliche Vorgaben befolgt werden. Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN hat daher die Richtlinie 3783 Blatt 9 veröffentlicht, mit der die Eigenschaften solcher Modelle überprüft werden können. Diese Richtlinie wurde bereits zur Evaluierung mehrerer mikroskaliger Windfeldmodelle angewandt. Seit der ersten Veröffentlichung der Richtlinie (VDI, 2005) wurden neue Vergleichsdatensätze erstellt und die numerischen Modelle wurden fortentwickelt. Diese Entwicklungen werden in der hier präsentierten Fortschreibung der Richtlinie berücksichtigt.

### METHODE

Die Evaluierung wird in mehrere Abschnitte unterteilt, die teils nur vom Modellentwickler und teils auch vom Modellanwender zu befolgen sind. Die allgemeine Evaluierung durch den Modellentwickler stellt Anforderungen an die Dokumentation, die Nachvollziehbarkeit und die Realisierung des Modells. Die wissenschaftliche Evaluierung stellt Anforderungen bezüglich der Modelltheorie, der Gleichungen, Parametrisierungen und Randbedingungen. Um die Güte der Modellergebnisse zu beurteilen führt der Modellentwickler mehrere vorgeschriebene Testrechnungen durch und vergleicht diese mit anderen Ergebnissen des gleichen Modells, mit analytischen Lösungen oder mit Vergleichsmessungen aus Experimenten.

Modellinterne Vergleiche werden durchgeführt um fundamentale Eigenschaften wie die Symmetrie der Ergebnisse und den Einfluss der Integrationszeit, Anströmgeschwindigkeit, Gitterauflösung und Ausrichtung der Hindernisse im Modellgitter zu prüfen. Durch Vergleiche mit analytischen Lösungen werden die Eigenschaften einer leeren Grenzschicht und die Unabhängigkeit der Lösung von der Anströmrichtung im numerischen Gitter geprüft. Zur Prüfung der physikalischen Eigenschaften des Modells werden Vergleiche mit Referenzdaten aus Messungen durchgeführt für unterschiedlich komplexe Hinderniskonfigurationen: Einzelgebäude mit unterschiedlichen Aspektverhältnissen, sowie die Wechselwirkungen mehrerer Gebäude.

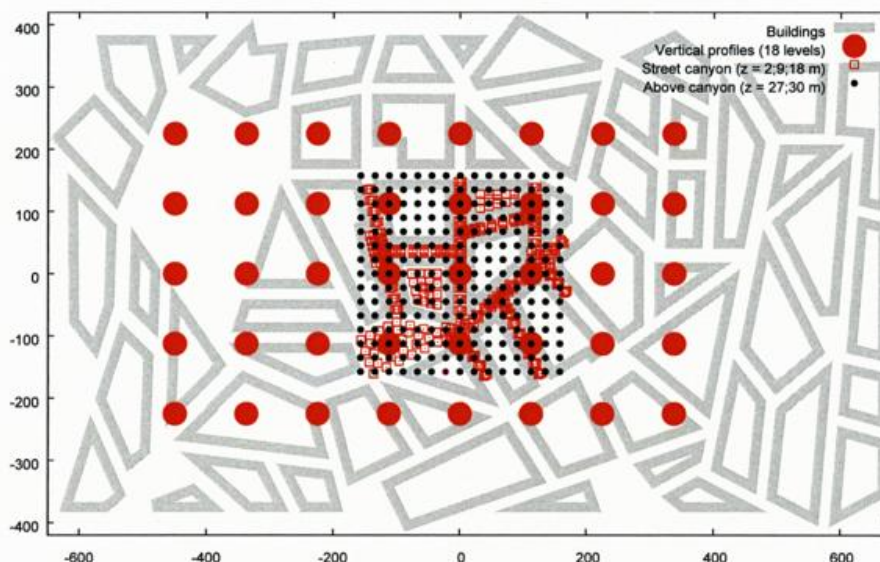
Alle Testfälle werden mit einem punkweisen Vergleich zwischen Modellergebnis und Referenzdatensatz beurteilt. Der Modellentwickler prüft an jedem Vergleichspunkt ob das Modellergebnis innerhalb einer erlaubten Abweichung um das Ergebnis des Referenzdatensatzes liegt. Der Anteil der Vergleichspunkte die dieses Kriterium erfüllen wird als Trefferquote bezeichnet. Für eine erfolgreiche Evaluierung muss die Trefferquote für jeden Vergleichsfall oberhalb eines Schwellwertes liegen.

Zusätzlich müssen sowohl Modellentwickler als auch Modellanwender Anforderungen bezüglich der Gitterauflösung, Laufzeittest der Modellvariablen und zur Evaluierung der Modellergebnisse erfüllen.

#### ÜBERARBEITUNG DER TESTFÄLLE

Die Richtlinie fordert in mehreren Testfällen den Vergleich der Modellergebnisse mit Referenzdatensätzen aus Windkanalmessungen. Dabei werden mit Balken, Würfel oder Quader meist einfache Hindernisgeometrien angenommen, die gut in einem kartesischen Modellgitter abbildbar sind. Bei diesen bestehenden Testfällen wurden die Vergleichskriterien überarbeitet. Im Rahmen der Aktualisierung der Richtlinie wurde jedoch insbesondere ein neuer Datensatz mit komplexer Hinderniskonfiguration aufgenommen, mit dem die Güte der Modellergebnisse im Einfluss der Wechselwirkung mehrerer Gebäude geprüft wird, wobei die Gebäude nicht exakt in einem kartesischen Gitter abbildbar sind.

Der neu aufgenommene komplexe Testfall basiert auf Datensatz BL3-3-1 der CEDVAL-LES Datenbank der Universität Hamburg (CEDVAL-LES, 2014). Die Gebäudekonfiguration besteht aus 60 Gebäuden mit drei unterschiedlichen Höhen. Alle Dächer sind flach. Die Gebäude sind geometrisch als Blockrandbebauung angeordnet, um einen typischen europäischen Innenstadtbereich abzubilden (siehe Abbildung). Als Vergleichsdaten liegen Messungen des Horizontalwindes an 40 regelmäßig angeordneten vertikalen Profilen, sowie in mehreren Horizontalschnitten oberhalb (2 Schichten) und innerhalb der Straßenschluchten (3 Schichten) vor.



*Abbildung: Horizontalschnitt der Hinderniskonfiguration für den neu aufgenommenen komplexen Testfall. Graue Schattierung kennzeichnet die Gebäude. Symbole kennzeichnen die Messorte für Vertikalprofile (rote Punkte), Horizontalschnitte innerhalb der Straßenschlucht (rote Kästchen) und Horizontalschnitte oberhalb der Straßenschlucht (schwarze Punkte).*

#### AUSBLICK

Der Entwurf der überarbeiteten Richtlinie steht 2015 zur Verfügung.

#### LITERATURANGABEN

CEDVAL-LES (2014). Compilation of Experimental Data for Validation of Microscale Dispersion Models. <http://www.mi.uni-hamburg.de/cedval-les>, (03.03.2014)

VDI (2005). VDI Richtlinie 3783, Blatt 9, Umweltmeteorologie – Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle – Evaluation für Gebäude- und Hindernisumströmung. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Düsseldorf, Deutschland.

## Vergleich von modellierten und gemessenen Windfeldern in einem Alpenal

Gabriele Rau<sup>1)</sup>, Johannes Vergeiner<sup>2)</sup>, Mathias W. Rotach<sup>3)</sup>

1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Hohe Warte 38, 1190 Wien, Austria.  
Gabriele.Rau@zamg.ac.at

2) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Fürstenweg 180, A 6020 Innsbruck, Austria

3) Institut für Meteorologie und Geophysik (IMGI), Innrain 52, A 6020 Innsbruck, Austria

Im Alpenraum stellen steile Hänge, lang andauernde Schwachwindepisoden, nächtliche Kaltluftabflüsse und Starkwind eine große Herausforderung für Ausbreitungsmodelle dar. Diagnostische Windfeldmodelle haben klare Begrenzungen in ihrer Anwendbarkeit, während komplexere Modelle wie WRF (Grell et al., 2005) und Analysetools wie INCA (Haiden et al., 2010) realistischere Windfelder liefern können. In der vorgestellten Studie wurde untersucht, welche Modelle unter den eingangs genannten Bedingungen belastbare Ergebnisse liefern. Von besonderem Interesse war dabei die Tauglichkeit der Windfelder als Input für nachgeschaltete Ausbreitungsmodelle.

Die Daten für den Vergleich zwischen Modellen und Messungen wurden im Rahmen der „Innsbruck Box“ (Stiperski et al., 2012) vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck (IMGI) erhoben. Aus den Messreihen wurden vier mehrstündige Episoden für die nähere Untersuchung ausgewählt. Für die Vergleiche wurden Messungen am Talboden (545 m MSL) bis hinauf zu den benachbarten Hängen (1009 m MSL) verwendet. Die Stationen sind in den Abbildungen zu sehen. Die Station Kolsass (Talboden) diente als Input für die Windfeldmodellierung mittels LASAT (Janicke, 2013) und GRAMM (Oettl, 2000). Darüber hinaus wurden die Episoden auch mit dem auf den ECMWF-Feldern basierenden mesoskaligen Modell WRF (Grell et al. 2005) und dem an der ZAMG entwickelten Analyse- und Nowcasting-System INCA (Haiden et al. 2010), das auf ALARO aufbaut, simuliert und mit den Messungen verglichen. Sowohl die WRF- als auch die INCA-Felder wurden von einer horizontalen Auflösung von 1 km auf 50 m Auflösung interpoliert. Abbildung 1 zeigt ein aus INCA-Analysen gewonnenes Windfeld.

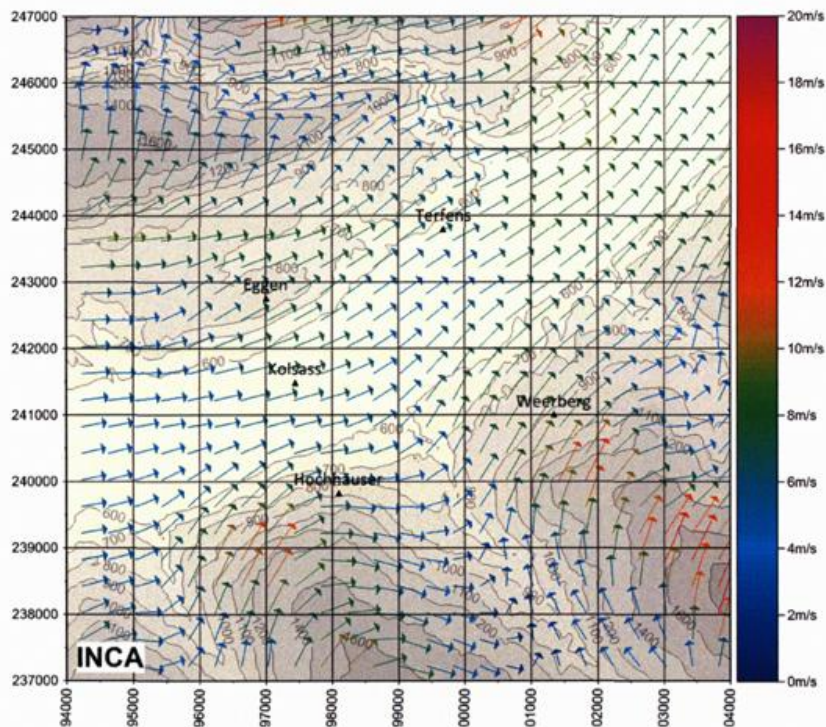


Abbildung 1: Windfeld aus INCA-Interpolation für eine Starkwindepisode (5.2.2014, 18 Uhr). Grau hinterlegt ist die Topographie des Untersuchungsgebiets.

Die Geländestrukturen (zum Beispiel das Tal zwischen den Stationen Hochhäuser und Weerberg) werden von INCA gut wiedergegeben.

Für die Interpolation der WRF-Felder war aufgrund der Steilheit des Geländes eine starke Glättung der Topographie notwendig, was sich in der Auflösung der interpolierten Windfelder deutlich zeigt (vor allem südlich des Inntals). Die Abbildung 2 zeigt für denselben Zeitpunkt das aus WRF abgeleitete Windfeld.

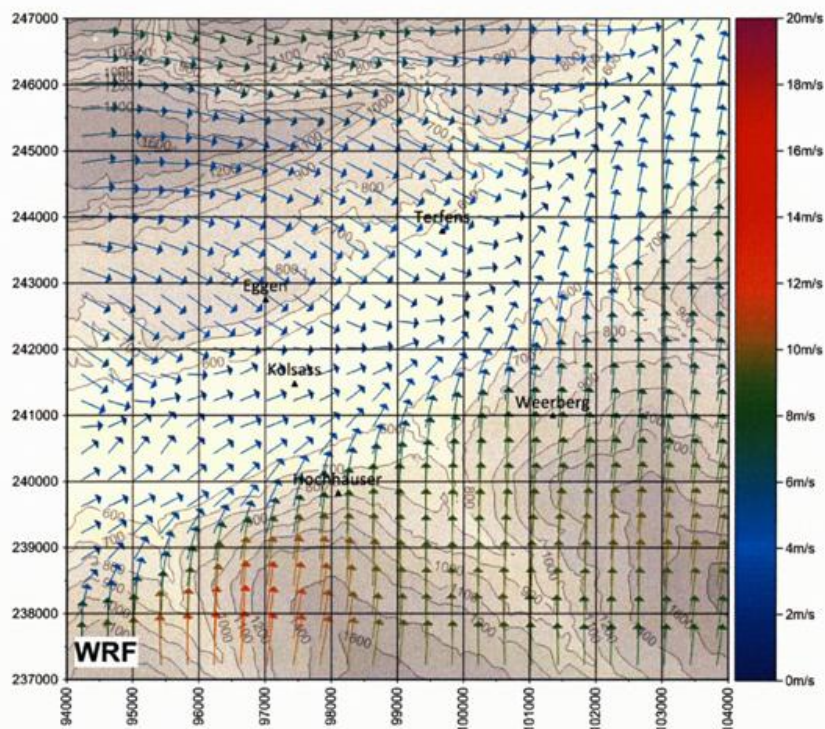


Abbildung 2: Windfeld aus WRF-Interpolation für eine Starkwindepisode (5.2.2014, 18 Uhr). Grau hinterlegt ist die Topographie des Untersuchungsgebiets.

Da die Untersuchungen zum Zeitpunkt der Einreichung noch nicht abgeschlossen waren, sind die Ergebnisse derzeit noch als vorläufig zu betrachten.

In dieser Präsentation werden exemplarisch die verschiedenen Modellierungsergebnisse gezeigt und an den Stationen den gemessenen Zeitreihen gegenübergestellt. Weiters wird die Bedeutung der Unterschiede für die Immissionsmodellierung bodennahe Quellen im Alpenraum abgeschätzt.

### **Literatur:**

- Grell, G. A., Peckham, S. E., Schmitz, R., McKeen, S. A., Frost, G., Skamarock, W. C., and Eder, B.: Fully coupled on-line chemistry within the WRF model, *Atmos. Environ.*, 39, 6957–6975, 2005
- Haiden, T. et al. (2010): Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) - System description. ZAMG report, 60p. [http://www.zamg.ac.at/fix/INCA\\_system.pdf](http://www.zamg.ac.at/fix/INCA_system.pdf)
- Janicke, U. (2013): Reference book on LASAT 3.3
- Oettl, D. (2000): Weiterentwicklung, Validierung und Anwendung eines Mesoskaligen Modells. Diss., Institut für Geographie, Universität Graz, p.155.
- Oettl, D., Uhrner, U. (2010): Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL (Graz Lagrangian Model Vs. 4.10. Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA17C, Technische Umweltkontrolle, Bericht: Lu-10-08, 107 S
- Stiperski I, Rotach MW, Gohm A: 2012, Boundary Layer Measurements in Complex Terrain: Innsbruck-Box, session AS2.1, Air-Land Interactions, Geophysical Research Abstracts, EGU2012-8863, 2012.

## **L-System-basierte Pflanzenmodellierung in ENVI-met**

*Jan Hofmeyer<sup>1)</sup>, Prof. Dr. Michael Bruse<sup>2)</sup>*

*1) Environmental Modelling Group, Department of Geography - Johannes Gutenberg University Mainz;  
E-Mail: hofmeyer@uni-mainz.de*

*2) Environmental Modelling Group, Department of Geography - Johannes Gutenberg University Mainz;  
E-Mail: bruse@uni-mainz.de*

Im Zuge aktueller Klimaanpassungsstrategien und Planungsmaßnahmen zur klimagerechten Stadtentwicklung gewinnen numerische Modelle zunehmend an Bedeutung und Beachtung. Insbesondere mikroklimatische Simulationen, wie sie beispielsweise mit ENVI-met (<http://www.envi-met.com/>) durchführbar sind, können einen entscheidenden Beitrag zur Planung liefern.

Wir stellen hier ein Softwarewerkzeug zur interaktiven, visuellen Modellierung von dreidimensionalen Pflanzen für das Mikroklimamodell ENVI-met vor. Dabei handelt es sich um eine L-System-basierte Erweiterung des ENVI-met Modells, die unter Berücksichtigung botanischer Gesetzmäßigkeiten eine benutzergesteuerte und hochauflösende Generierung von Pflanzen und entsprechender Kennwerte wie etwa der Blattflächendichte ermöglicht.

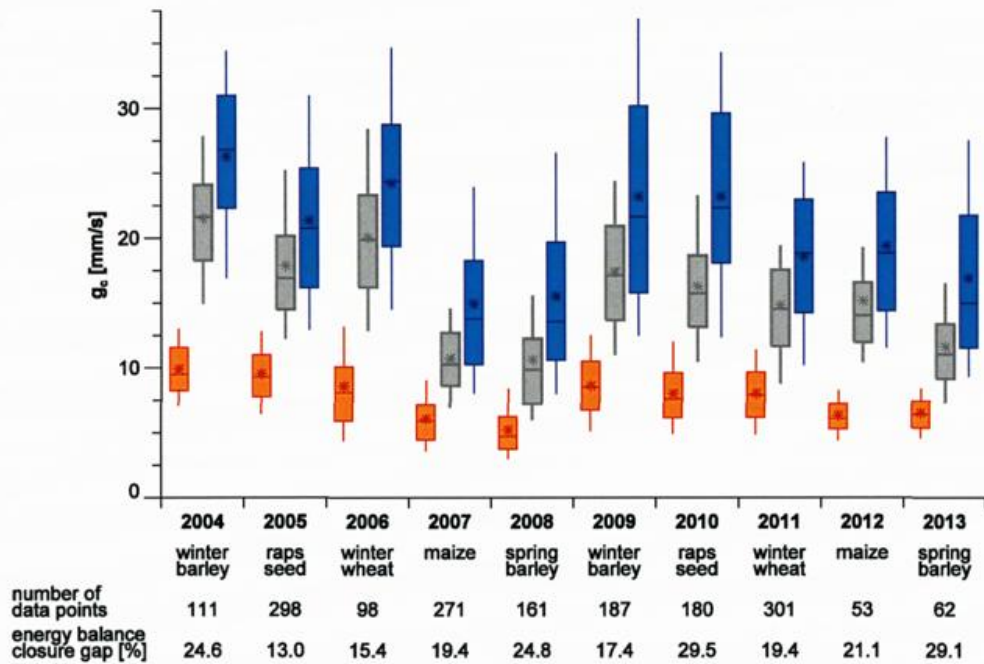
## Analyse und Vergleich von Verdunstungsparametern ( $r_a$ , $r_c$ und $K_c$ ) abgeleitet aus 10 Jahren EC-Messung an landwirtschaftlichen Standorten im Osterzgebirge

Uwe Spank<sup>1,2</sup>, Thomas Grünwald<sup>1</sup>, Uta Moderow<sup>1</sup>, Babara Köstner<sup>1</sup>, Christian Bernhofer<sup>1</sup>

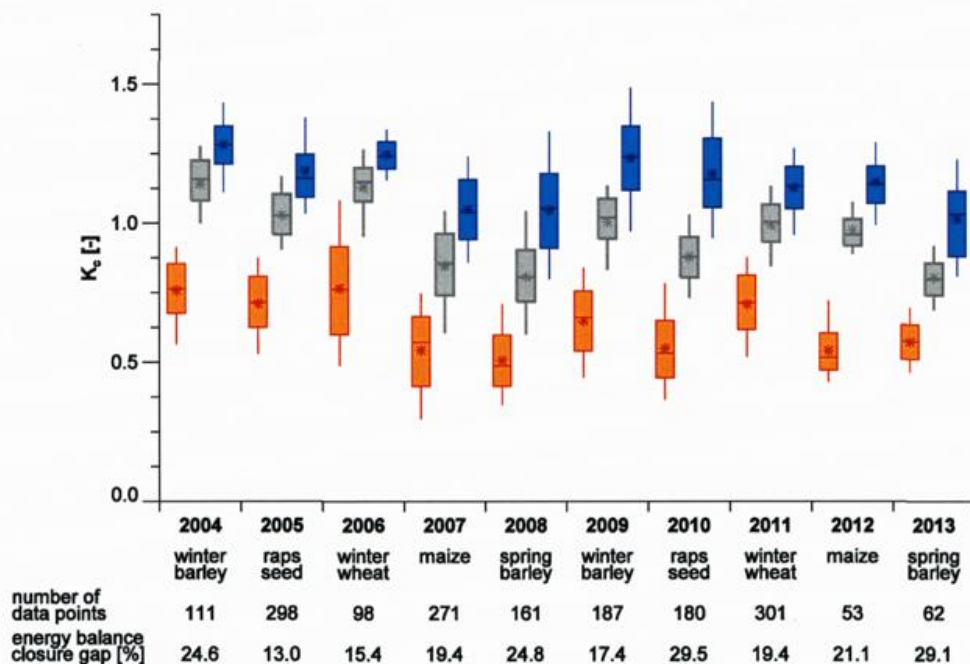
1) Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur Meteorologie

2) Uwe.Spank@tu-dresden.de

Das Einschichtverdunstungsmodell nach Penman-Monteith (Big-Leaf-Modell) ist ein weitverbreiter, physikalisch-begründeter Ansatz zur Beschreibung der Evapotranspiration von landwirtschaftlich genutzten oder anderen mit niedriger Vegetation bewachsenen Standorten. Das Modellkonzept basiert auf einer Analogie zu einem elektrischen Stromkreis mit zwei in Serie geschalteten Widerständen. Die beiden Widerstände ( $r_a$  und  $r_c$ ) charakterisieren dabei das Verdunstungsverhalten, welche einerseits durch den aerodynamischen Austausch und andererseits durch die pflanzenphysiologische Kontrolle bestimmt wird. Eine generalisierte Variante des Penman-Monteith-Modell stellt die FAO-Grasflächen-Referenzverdunstung dar, bei der die beiden Widerstände genormt für eine standardisierte Oberfläche (Gras, 12 cm hoch, Albedo 0.23) festgelegt sind. In der weiteren Verwendung wird die berechnete Grasflächen-Referenzverdunstung  $ET_0$  mit einem Skalierungsfaktor (Crop Coefficient,  $K_c$ ) versehen und zur Berechnung der realen Verdunstung über unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen eingesetzt. Beide Konzepte, die direkte Parametrisierung von  $r_a$  und  $r_c$  als auch die Skalierung von  $ET_0$  via  $K_c$ , finden in Verdunstungs- bzw. Wasserhaushaltsmodellen breite Anwendung. Im tatsächlichen praktischen Einsatz stellt jedoch oftmals die Verfügbarkeit von gesicherten Parameterwerten als auch die große Varianz der Parameter in Anhängigkeit von phänologischen, pflanzenphysiologischen und anderen Umweltfaktoren eine große Herausforderung dar und limitiert häufig die Qualität der Simulationsergebnisse. In unserer Studie wurden 10-jährige Datenreihen von zwei Eddy-Kovarianz (EC-) Messstationen im Osterzgebirge analysiert und zur experimentellen Bestimmung sowohl der beiden Widerstände ( $r_a$  und  $r_c$ ) als auch des Skalierungsfaktor ( $K_c$ ) verwendet. Im Rahmen dessen konnten für 6 unterschiedliche landwirtschaftliche Kulturen (Wintergerste, Raps, Winterweizen, Mais, Sommergerste und Dauergrünland) solide Parametersets für die Verwendung in Verdunstungs- bzw. Wasserhaushaltsmodellen abgeleitet werden. Es ist hervorzuheben, dass der Datenbestand des einen Standorts zwei volle Fruchtfolgezyklen (Wintergerste, Raps, Winterweizen, Mais, Sommergerste) umfasst. Dadurch konnten gezielte Untersuchungen bezüglich der Korrelation zwischen verdunstungsbeschreibenden Parametern und phänologischer Entwicklung erfolgen. Ein weiterer wichtiger Bestandteil der gesamten Studie war eine umfassende Analyse und Bewertung von Messunsicherheiten. Dabei wurde sowohl die Wirkung auf die Ableitung der Parameter als auch die Wirkung auf die Simulationsergebnisse untersucht. Besondere Aufmerksamkeit erhielt in diesem Zusammenhang die adäquate Berücksichtigung und anwendungsorientierte Korrektur der bei EC-Messungen auftretenden „Schließungslücke“. Die Ergebnisse unserer Studie repräsentieren damit ein interessantes Fallbeispiel bezüglich der Kumulation aber auch bezüglich der Kompensation von Messunsicherheiten innerhalb der Modellkette. Im Weiteren wird der Nexus zwischen Mess-, Parameter-, Modell- bzw. Simulations- und Evaluierungs- bzw. Validierungsunsicherheit diskutiert und anschaulich präsentiert.



Maximale Bestandesleitfähigkeit  $g_c$  im Frühsommer (Phase mit höchster Bruttoprimärproduktion) abgeleitet aus halbstündlichen EC-Messdaten der Agrarmessstation Klingenberg im Osterzgebirge; dargestellt: 10, 25, 50, 75 und 90%-Perzentil sowie arithmetisches Mittel; die unterschiedlichen Farben korrespondieren mit der zur Verdunstungsbestimmung herangezogenen Methodik; orange: direkt via EC gemessener Wasserdampffluss, blau: via Eddy-Kovarianz-Energiebilanzmethode ( $LE = R_N - G - H$ ) bestimmter Wasserdampffluss, grau: Wasserdampffluss mit Schließungslückenkorrektur via Bowen-Verhältnis



Maximaler Crop Coefficient,  $K_c$  im Frühsommer (Phase mit höchster Bruttoprimärproduktion) abgeleitet aus halbstündlichen EC-Messdaten der Agrarmessstation Klingenberg im Osterzgebirge; dargestellt: 10, 25, 50, 75 und 90%-Perzentil sowie arithmetisches Mittel; die unterschiedlichen Farben korrespondieren mit der zur Verdunstungsbestimmung herangezogenen Methodik; orange: direkt via EC gemessener Wasserdampffluss, blau: via Eddy-Kovarianz-Energiebilanzmethode ( $LE = R_N - G - H$ ) bestimmter Wasserdampffluss, grau: Wasserdampffluss mit Schließungslückenkorrektur via Bowen-Verhältnis

## Ausbreitungsmodellierung mit COSMO-ART / ICON-ART beim DWD

*Jochen Förstner<sup>1)</sup>, Daniel Rieger<sup>2)</sup>, Heike Vogel<sup>2)</sup>, Bernhard Vogel<sup>2)</sup>*

*1) Deutscher Wetterdienst (DWD), Referat FE 14, Frankfurter Str. 135, 63067 Offenbach a. M.,  
E-Mail: jochen.foerstner@dwd.de*

*2) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Postfach 3640,  
76021 Karlsruhe*

In den Modellsystemen COSMO-ART und dem sich derzeit in Entwicklung befindlichen ICON-ART ist die Online-Kopplung der Vorhersagemodelle des DWD mit den am KIT entwickelten Modulen für “Aerosols and Reactive Trace Gases” umgesetzt.

Dabei erfolgt die Prognose der Konzentrationen von Aerosolpartikeln oder chemischen Substanzen unter Verwendung der Verfahren für Advektion und Diffusion, die auch für die spezifischen Feuchten im Modell eingesetzt werden, ergänzt um spezielle Routinen zur Behandlung von Emission, Sedimentation und Depositionsprozessen.

Hauptanwendungsgebiete beim DWD sind die Vorhersage von Aschekonzentrationen für die Flugmeteorologie im Falle von Vulkanausbrüchen, sowie die Dispersion von Mineralstaub – insbesondere aus der Sahararegion – und damit einhergehende Strahlungswechselwirkungen. Zukünftig soll ICON-ART neben dem vom DWD betriebenen Partikeldispersionsmodell außerdem für die Ausbreitungsrechnung von Radionukliden im Falle von Störfällen eingesetzt und im Rahmen von Übungsszenarien – wiederum auch im Hinblick auf die Anforderungen der Luftfahrt – weiterentwickelt werden.

Das Gesamtpaket der ART-Module erlaubt darüber hinaus die Studie komplexer Zusammenhänge in der Atmosphäre im wissenschaftlichen Umfeld. Dies sind zum Beispiel Wechselwirkungen verschiedenster Aerosolpartikel mit der Strahlung und Wolkenmikrophysik oder auch die Bildung von sekundären Aerosolpartikeln aus der Gasphase.

Es werden Beispiele zu den genannten Hauptanwendungsgebieten gezeigt. Darüber hinaus werden erste Ergebnisse von ICON-ART präsentiert und dessen aktueller Entwicklungsstand thematisiert. Der Ausblick in die nahe Zukunft wird deutlich machen, welche erweiterten Möglichkeiten und Anwendungsgebiete dieses neue Modellsystem bietet.

## Validierung von Modellen zur Simulation von Gefahrstoffausbreitung in komplexen urbanen Strukturen - Inhalte und Ergebnisse der COST-Action ES1006

Bernd Leitl<sup>1)</sup>, Silvia Trini Castelli<sup>2)</sup>, Kathrin Baumann-Stanzer<sup>3)</sup> und COST Action Mitglieder

1) Meteorologisches Institut der Universität Hamburg, bernd.leitl@zmaw.de

2) Institute of Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council, Turin, Italien

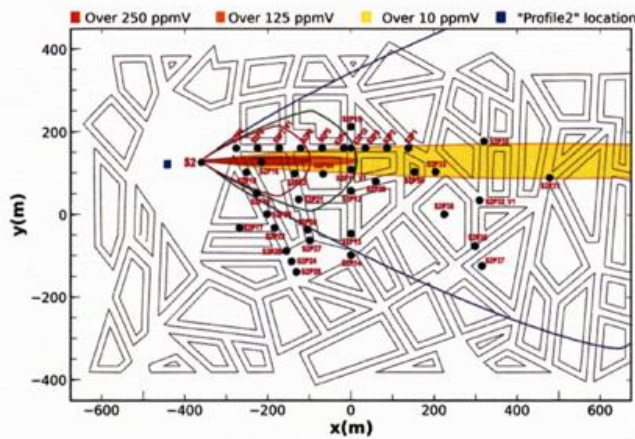
3) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG, Wien, Österreich

### Motivation

Trotz umfangreicher Sicherheitsvorschriften treten regelmäßig lokale Freisetzungen gefährlicher Luftschadstoffe auf. Beim Transport, der Lagerung oder bei der Verarbeitung extrem toxischer Gefahrgüter oder auch als Bestandteil von Brandgasen können selbst geringe Freisetzungsmengen in Stadtgebieten verheerende Auswirkungen haben. Die störfallbedingte Freisetzungen von Gefahrstoffen in komplexen urbanen Strukturen stellen immer wieder eine besondere Herausforderung für Einsatz- und Rettungskräfte dar. Innerhalb kürzester Zeiträume müssen die Ausbreitung von Gefahrstoffen für relevante Freisetzungsdauern prognostiziert, Gefahrenbereiche identifiziert und entsprechende Schutz- und Rettungsmaßnahmen organisiert und logistisch umgesetzt werden. Die durchschnittliche Dauer einer Schadstofffreisetzung in einem Stadtgebiet wird zum Beispiel von FISCHER et al. (2012) mit etwa 30 Minuten angegeben. Die für die Ausbreitungssimulation verwendeten Werkzeuge reichen von einfachen empirischen Verfahren, über Gaußmodelle bis hin zu numerischen Strömungs- und Transportmodellen, wie sie im Rahmen der Luftqualitätsüberwachung und -prognose verwendet werden. Je nach Komplexität und Ergebnisgüte werden die verschiedenen Modelltypen mit unterschiedlichem Erfolg in den verschiedenen Phasen der Störfallmodellierung, (a) Gefahrenabwehr / Störfallplanung, (b) Einsatzfall und (c) Störfall-Nachbereitung und -Analyse, eingesetzt. Welches Modell für welche Modellierungsaufgabe verwendet wird, entscheiden unter anderem die Verfügbarkeit von Modellen und Hardwareressourcen, einsatztaktische Überlegungen und nicht zuletzt rechtliche bzw. politische Rahmenvorgaben. Häufig werden dabei die individuellen Möglichkeiten und Grenzen von etablierten Modellen, verschiedene Anwendungsstrategien oder neue Modellansätze nicht hinreichend berücksichtigt. Diesem Problem widmete sich COST Action ES1006. Ziele der Action waren die Erstellung eines Katalogs des in Europa typischerweise für die lokale Störfallmodellierung in komplexen Geometrien verwendeten Modelltypen, die Evaluierung der Eignung verschiedener Modelltypen und -ansätze für die spezielle Modellierungsaufgabe sowie die Ableitung grundlegender Empfehlungen für den möglichst sicheren Einsatz vorhandener und zukünftiger Werkzeuge im Rahmen der Störfallmodellierung auf der lokalen Skala.

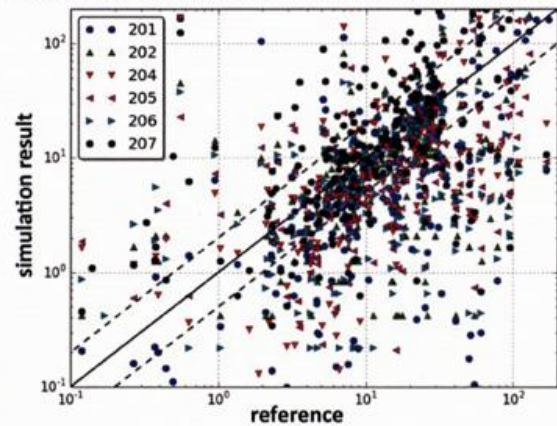
### Inhalt und Ergebnisse

COST Action ES1006 wird im April 2015 erfolgreich abgeschlossen. Der Beitrag liefert eine zusammenfassende Darstellung der im Rahmen der Action durchgeführten Arbeiten. Es wird das erstellte 'Model Inventory' vorgestellt. Weiterhin werden die im Rahmen der Action erzeugten, anwendungsspezifischen Referenzdatensätze für die anwendungsspezifische Modellvalidierung erläutert. Die durchgeführten Modelltests haben gezeigt, dass mit einer zum Teil erheblichen Bandbreite möglicher Ergebnisse von Ausbreitungssimulationen zu rechnen ist, auch wenn die Randbedingungen der Ausbreitungssimulationen vergleichsweise eindeutig vorgegeben werden können. In Abbildung 1 ist beispielhaft das Ergebnis einer einfachen Ausbreitungssimulation mit einem etablierten Störfallwerkzeug dargestellt. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die anonymisierten Ergebnisse von Simulationsrechnungen für eine geometrisch vereinfachte Stadtstruktur. Auf der Abszisse aufgetragen ist der Vergleichs- bzw. Referenzwert einer dimensionslosen mittleren Gefahrstoffkonzentration, die Ordinate bildet das entsprechende Modellergebnis ab. Selbst für die dargestellten Ergebnisse semi-komplexer Simulationsmodelle ergibt sich eine signifikante Streuung der Ergebnisse über den gesamten, relevanten Bereich der Immissionskonzentrationen. Sicherheit, zum Beispiel für Auswirkungsbetrachtungen, wäre im vorliegenden Fall nur über einen erheblichen 'Sicherheitsaufschlag' auf die Modellergebnisse zu erreichen, der allerdings gleichzeitig das Gefahrengebiet überproportional vergrößert.



**Abb. 1:** Ergebnis der Ausbreitungssimulation mit einem einfachen Störfallmodell.

**model vs. reference for medium-complexity simulation tools**



**Abb. 2:** Vergleich Referenz/Simulation für Modelle mittlerer Komplexität.

Die bei Validierungsexperimenten gemachten Erfahrungen bilden die Grundlage für Schlussfolgerungen bezüglich des Einsatzes verschiedener Modelltypen und Simulationsverfahren. Das von der Action entwickelte 'Model Evaluation Protocol' und die 'Best Practise Guidance' Empfehlungen zum Einsatz von Ausbreitungsmodellen bei räumlich und zeitlich begrenzten Störfällen in Stadtgebieten werden erläutert. Der Beitrag von BAUMANN-STANZER et al. vervollständigt die Vorstellung der vierjährigen europäischen Initiative mit einer detaillierteren Zusammenfassung der durchgeführten Validierungsexperimente ('blind'/'non-blind' Tests).

#### Literatur

FISCHER, S., SCHATZMANN, M., LEITL, B., HERTWIG, D., HARMS, F., PATNAIK, G., BORIS, J., 2012: Mit CT-Analyst im Störfalleinsatz "vor die Lage kommen". Bevölkerungsschutz 2/1012, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, BMI (Hrsg.)

BAUMANN-STANZER, K., LEITL, B., TRINI CASTELLI, S., BERBEKAR, E., JURCAKOVA, K., FUKA, V., TINARELLI, G. PETROV, A., und COST ES1006 Mitglieder: COST Action ES1006 - Evaluierung atmosphärischer Ausbreitungsmodelle für unfallbedingte Freisetzungen in Städten oder Industriegebieten (ebd.)

# Analyse und statistisch-empirische Simulation von Luftschadstoffkonzentrationen an einer stark befahrenen Straße

*D. Schindler*

*Professur für Meteorologie und Klimatologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Deutschland,  
dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de*

An stark befahrenen innerstädtischen Straßen verursacht die verkehrsbedingte Emission von Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) einen bedeutenden Beitrag zu den straßennah gemessenen Konzentrationen von CO, NO und NO<sub>2</sub> und modifiziert die lokale Konzentration von Ozon (O<sub>3</sub>). Da hohe Konzentrationen dieser Luftschadstoffe mehrere nachteilige Wirkungen für die Stadtbevölkerung haben, besteht großes Interesse an der Abschätzung des Einflusses verkehrsbedingter und meteorologischer Größen auf die straßennahe Luftschadstoffimmissionssituation. Nur genaue Kenntnisse über den hinter der zeitlichen Entwicklung der straßennah gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen stehenden Determinismus ermöglichen das zielführende Ergreifen von Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität.

In diesem Beitrag sollen Ergebnisse aus einer Untersuchung vorgestellt werden, die zum Ziel hat, den Einfluss verkehrsbezogener und meteorologischer Einflussgrößen auf die lokale CO-, NO-, NO<sub>2</sub>- und O<sub>3</sub>-Immission abzuschätzen. Die Luftschadstoffkonzentrationen wurden im Zeitraum Juni 2009 bis Dezember 2012 an der Straßenstation „Schwarzwaldstraße“ in Freiburg gemessen, die von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) betrieben wird. An dieser Straßenstation wird der umfangreichste Satz lufthygienischer, meteorologischer und verkehrsbezogener Messgrößen im gesamten Luftmessnetz der LUBW erhoben.

Die Ergebnisse einer univariaten Korrelationsanalyse zeigen, dass die zeitliche Entwicklung der straßennah gemessenen Konzentrationen von CO, NO und NO<sub>2</sub> wesentlich stärker mit verkehrsbezogenen Variablen (Pkw-Dichte, Nutzfahrzeugdichte) korreliert sind als mit meteorologischen Variablen und Zeitvariablen (z. B. Wochentag, Tageslänge). Im Gegensatz dazu ist die straßennah gemessene O<sub>3</sub>-Konzentration stärker mit meteorologischen Variablen (kurzweilige Strahlung aus dem oberen Halbraum, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung) korreliert. Die Korrelation der untersuchten Luftschadstoffkonzentrationen mit den zur Verfügung stehenden externen Variablen wird allerdings durch die in allen Luftschadstoffkonzentrationszeitreihen sehr stark ausgeprägte Autokorrelation überlagert. Zur Simulation der zeitlichen Entwicklung der straßennah gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen wird daher ein nichtlineares, autoregressives neuronales Netz mit externer Eingabe (NARX) parametrisiert, mit dem auf Stundenbasis die lokalen CO-, NO-, NO<sub>2</sub>- und O<sub>3</sub>-Konzentrationen verlässlich simuliert und für den Vorhersagehorizont von einem Tag plausibel prognostiziert werden können.

Aus den erzielten und präsentierten Ergebnissen kann gefolgert werden, dass sich eine Veränderung der straßennahen Luftqualität nur durch die Veränderung der verkehrsbedingten CO-, NO- und NO<sub>2</sub>-Emission herbeiführen lässt. Meteorologische Einflussfaktoren tragen nur bedingt zu Veränderungen der straßennahen Immissionssituation bei.

## Vergleich von Immissionssimulationen in dichter Bebauung mit Messwerten

Torsten Nagel<sup>1)</sup>, Antje Moldenhauer<sup>2)</sup>, Thomas Flassak<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe, [info.ka@lohmeyer.de](mailto:info.ka@lohmeyer.de)

<sup>2)</sup> Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Mohrenstraße 14, 01445 Radebeul

Verkehrsbedingte Immissionsberechnungen für die Luftreinhalteplanung zeigen an dicht bebauten Straßen oft gute Übereinstimmungen mit Messwerten an den Hauptverkehrsstraßen und sind Grundlage für flächenhafte Darstellungen (z.B. LUBW, 2010), die jedoch abseits der Hauptverkehrsstraße je nach angewendetem Modell deutliche Unterschiede aufweisen. Für Ausarbeitungen zur Landshuter Allee in München (Lohmeyer, 2012), an deren Dauermessstelle der Landesüberwachungsbehörde (LÜB) NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte über 85 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2011 gemessen wurden, legte das LfU Bayern auch Messwerte in abzweigenden Straßenräumen vor (LfU, 2012). Mit den Modellen **MISKAM** und **LASAT** (diagnostisches Windfeldmodell) erfolgten flächendeckende Modellierungen und Vergleiche mit diesen Messdaten.

Aus den Verkehrsbelegungsdaten (DTV 140 000 Kfz/24h, LKW-Anteil 6.8% auf 8 Fahrspuren) wurden mit den verfügbaren Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1; UBA, 2010), aus Messfahrten abgeleiteten Verkehrssituationen und der Flottenzusammensetzung von München die motorbedingten Emissionen für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2,direkt</sub> auf allen Straßenabschnitten berechnet (vgl. Lohmeyer, 2012). Die horizontale Auflösung des Rechengitters betrug bei MISKAM im Zentrum 2 m, außen größer. Bei LASAT betrug sie 2.5 m, um bei einer feinen Auflösung auch die Emissionen umliegender Hauptverkehrsstraßen ausreichend zu berücksichtigen. Die vertikale Auflösung wurde bei beiden Modellen bis in eine Höhe von 3 m mit 0.6 m, bis in 30 m Höhe bis 3 m und bis zur Gesamthöhe von 500 m größer festgelegt. Die Berechnung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes berücksichtigt eine lokalrepräsentative Windverteilung (Station München Lothstraße, Messhöhe: 32 m über Grund, Hauptwindrichtung Südwest, Nebenmaximum bei östlichen Winden, mittlere Windgeschwindigkeit ca. 3 m/s) und eine aus Messungen im Stadtgebiet von München abgeleitete NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung von 28 µg/m<sup>3</sup>. Die fahrzeugerzeugte Turbulenz wurde bei MISKAM durch eine vertikale Anfangsverdünnung der Emissionen sowie durch die windgeschwindigkeitsabhängige Skalierung der Konzentration entsprechend Schädler et al. (1996), bei LASAT mit einer Parametrisierung nach Bäumler (2003) und Stern und Yamartino (2001) berücksichtigt. Die NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlung erfolgte mit dem vereinfachten Chemiemodell nach Düring et al. (2011).

**Abb. 1** zeigt die Berechnungsergebnisse für die Modellierung mit MISKAM und LASAT jeweils im Vergleich mit den Messungen. Einen Überblick über den Vergleich mit Messdaten zeigt der Scatterplot in **Abb. 2**. In dem von der Hauptverkehrsstraße abgeschirmten Hinterhof der Landshuter Allee werden die NO<sub>2</sub>-Immissionen von beiden Modellen um etwa 25% überschätzt. MISKAM und LASAT treffen den Messwert an der Dauermessstelle sehr gut (Abweichungen bis 6%). Für die MISKAM-Rechnung trifft dies mit wenigen Ausnahmen auch auf die Bereiche der Nebenstraßen zu bei mittlerer Abweichung von den Messdaten ohne Hinterhofstandort unter 10%. Mit dem Modell LASAT wird die Schadstoffbelastung an fast allen Messorten mit Ausnahme der Dauermessstation überschätzt und beträgt im Mittel in den Nebenstraßen fast 40%. In den Nebenstraßen werden in Entfernungen bis 150 m von der Landshuter Allee über 40 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert; MISKAM und die Messdaten zeigen dies bis maximal 50 m Entfernung. Die mit dem prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM berechneten Ergebnisse stimmen überwiegend sehr gut mit Messdaten überein. Mit LASAT und diagnostischem Strömungsmodell wird vor allem in den Nebenstraßen eine deutliche Überschätzung der Konzentrationen prognostiziert. Im Bereich von Straßenschluchten mit einer Vielzahl von Gebäuden und komplexen gebäudebedingten Strömungsbeeinflussungen ist eine prognostische Modellierung der Gebäudeumströmungsverhältnisse zu bevorzugen.

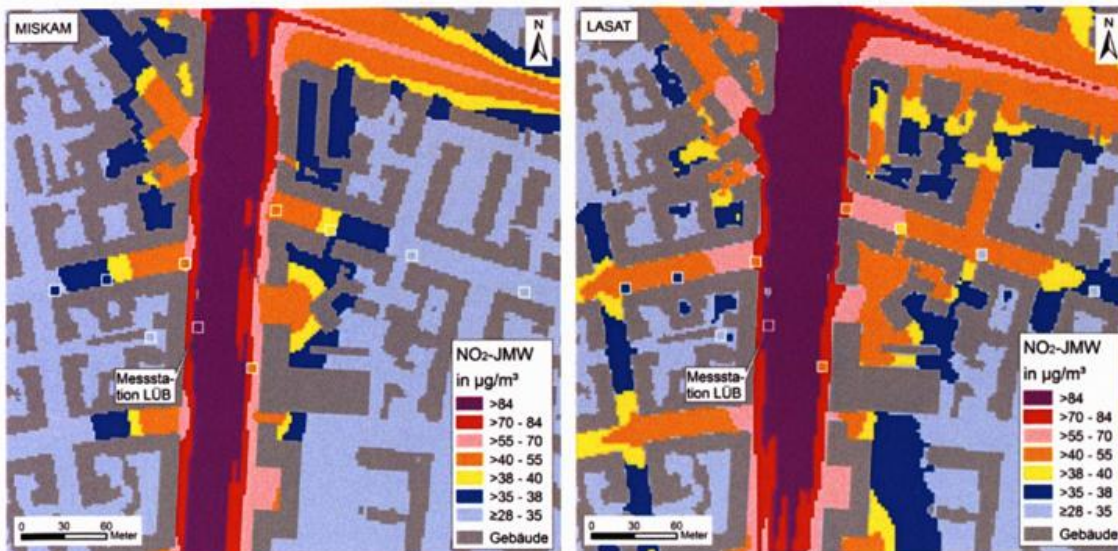


Abb. 1: Berechneter  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwert im Bereich der Landshuter Allee in München im Vergleich zu den Messdaten im Untersuchungsgebiet.

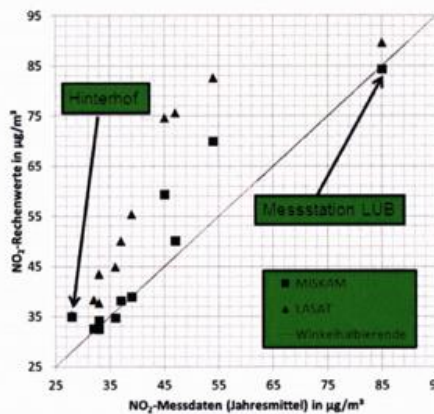


Abb. 2: Vergleich Messung-Rechnung für die Messdaten im Untersuchungsgebiet

#### Literaturangaben

**DÜRING, I., BÄCHLIN, W., KETZEL, M., BAUM, A., FRIEDRICH, U., WURZLER, S., 2011:** A new simplified  $\text{NO}/\text{NO}_2$  conversion model under consideration of direct  $\text{NO}_2$ -emissions. Meteorol. Z., Vol. 20, 067-073.

**LfU, 2012:**  $\text{NO}_x$ -Projekt (LfU-Vorhaben TLK 01U-10540): Untersuchung der räumlichen Verteilung der  $\text{NO}_2$ -Belastung im Umfeld von vorhandenen, hoch belasteten Luftmessstationen (unveröffentlicht).

**LOHMEYER, 2012:** Verkehrsbedingte Immissionen - Wirksamkeit eines Tempolimits auf einer Stadtautobahn in München. ([www.muenchen.de/rathaus/dms/Home/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Dokumente/Luft und Strahlung/Luftreinhalteplan/5\\_lrp\\_anlage\\_3.pdf](http://www.muenchen.de/rathaus/dms/Home/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Dokumente/Luft%20und%20Strahlung/Luftreinhalteplan/5_lrp_anlage_3.pdf))

**UBA, 2010:** Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Januar 2010. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin.

**LUBW, 2010:** Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten – Grundlage HBEFA 3.1, Leitfaden. ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de))

**SCHÄDLER, G., BÄCHLIN, W., LOHMEYER, A., VAN WEES, T., 1996:** Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138).

**BÄUMER, D., 2003:** Transport und chemische Umwandlung von Luftschadstoffen im Nahbereich von Autobahnen – Numerische Simulationen. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe Nr. 32. Juni 2003.

**STERN, R. UND YAMARTINO, R.J., 2001:** Development and first evaluation of micro-calgrid: a 3-D, urban-canopy-scale photochemical model. Atmospheric Environment 35, 149-165.

## Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg

*Pfäfflin, F.<sup>1)</sup>, Diegmann, V.<sup>1)</sup>, Stern, R.<sup>1)</sup>, Scholz, W.<sup>2)</sup>*

*1) IVU Umwelt GmbH, Emmy-Noether-Str. 2, 79110 Freiburg, fp@ivu-umwelt.de*

*2) LUBW, Griesbachstr. 1, 76185 Karlsruhe, Werner.Scholz@lubw.bwl.de*

In einem Projekt im Auftrag der LUBW (IVU Umwelt, 2014) wurde die Immissions-Vorbelastung für das gesamte Gebiet von Baden-Württemberg für die Luftschadstoffe Stickstoffdioxid, Partikel PM10 und Ozon im Jahr 2010 ermittelt. Dabei werden neben der allgemeinen Hintergrundbelastung die Emissionen genehmigungsbedürftiger Anlagen, kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen, des Verkehrs und weiterer Quellen berücksichtigt.

Um zu flächendeckenden Aussagen der Luftschadstoffbelastung zu kommen, gibt es zwei verschiedene Verfahren. Zum einen kann auf der Basis eines möglichst dichten Messnetzes mit mathematischen Methoden der Interpolation der Raum zwischen den Messpunkten gefüllt werden. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die flächenhaften Ergebnisse an den Messstellen und in deren näherer Umgebung den gemessenen Werten weitgehend entsprechen. Zum anderen können auf der Basis eines Emissionskatasters und meteorologischer Daten mit Modellen Ausbreitungsrechnungen durchgeführt werden, die flächendeckende Modellergebnisse liefern. Dieses Verfahren hat den Vorteil, in Gebieten, die weit von Messstationen entfernt sind, realistischere Werte zu liefern als eine Interpolation, da Emissionsstrukturen und die Ausbreitung beeinflussende Parameter berücksichtigt werden. Außerdem lassen sich auf Basis von Modellen Szenarien und Prognosen berechnen. Um die jeweiligen Vorteile beider Verfahren zu nutzen, besteht ein dritter Ansatz in der Kombination der beiden Verfahren. In diesem Projekt wurde dieser kombinierte Ansatz gewählt und die Methoden der Ausbreitungsmodellierung auf der Basis von hochauflösenden Emissionskatastern und Daten zur Meteorologie mit denen der Interpolation von gemessenen Schadstoffkonzentrationen in stündlicher Auflösung kombiniert.

Die Berechnungen und Auswertungen wurden aufgrund der starken orographischen Gliederung Baden-Württembergs mit einer Auflösung von 500 x 500 m<sup>2</sup> durchgeführt. Die Immissions-Vorbelastung wurde dabei flächendeckend bestimmt

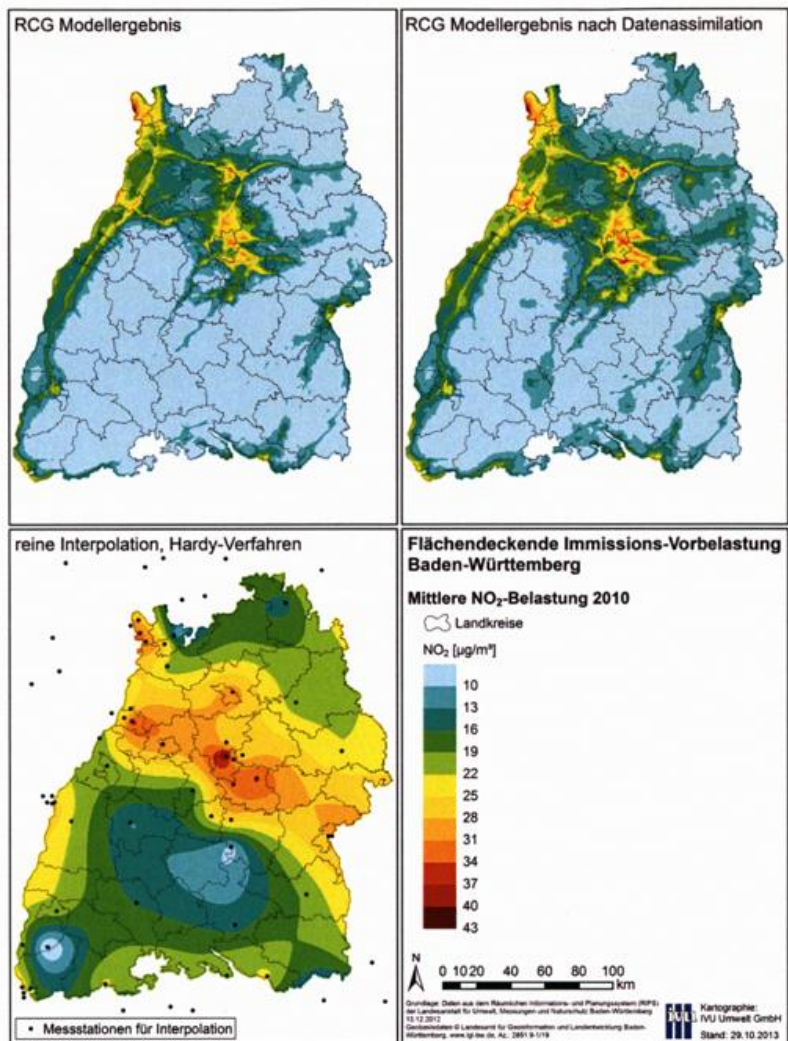
- für das Jahr 2010, den sogenannten Basisfall,
- zur Ermittlung der Beiträge der drei Quellengruppen Industrie und Gewerbe, Verkehr sowie kleine und mittlere Feuerungsanlagen,
- für je ein Szenario zur Berechnung des Minderungspotenzials bei einer pauschalen Minderung der Emissionen in Baden-Württemberg um 25 %, 50 % und 100 % sowie
- als Prognose für das Jahr 2020.

Die Aufbereitung der meteorologischen Daten und die Erstellung der Eingangsfelder für die Ausbreitungsrechnung erfolgte mit dem Analysesystem TRAMPER (Reimer & Scherer, 1992). Die Modellierung der Vorbelastung mit dem dreidimensionalen chemischen Transportmodell REM/CALGRID (RCG, Stern et al, 2008). RCG wird zur Bestimmung der Luftqualität in der europaweiten und der nationalen Raumskala in einer Auflösung von ca. 15 x 15 km<sup>2</sup> eingesetzt und in der urbanen Raumskala, wie im hier vorgestellten Projekt, bis zu einer Auflösung von circa 440 x 500 m<sup>2</sup>.

Die Aufbereitung der Messdaten, die Datenassimilation der Modellergebnisse und die Kombination von Modell- und Messdaten erfolgten mit dem System FLADIS (Diegmann & Wiegand, 2000). Dazu wurden einerseits die Schadstoff-Messdaten interpoliert und andererseits die Ergebnisse der RCG-Ausbreitungsrechnungen einer Datenassimilation mit der Optimalen Interpolation (OI) unterzogen und dann beide Teilergebnisse gekoppelt (s. Abbildung).

Mit Hilfe des statistischen Verfahrens der Kreuzvalidierung ermöglicht FLADIS Aussagen über die Güte der

berechneten flächenhaften Darstellung in Abhängigkeit vom angewendeten Berechnungsverfahren. Dafür ist das „leave-one-out“-Verfahren entsprechend der VDI Richtlinie 4280 Blatt 5 „Ermittlung der Unsicherheit räumlicher Beurteilungen der Luftqualität“ implementiert und wurde hier angewendet. Bezüglich der Messwerte weisen beispielsweise bereits die reinen RCG-Modellergebnisse für NO<sub>2</sub> an den Messorten ein Bestimmtheitsmaß von knapp 77 % auf. Das 30 %-Datenqualitätsziel der 39. BImSchV für Modellergebnisse wird allerdings nicht an allen Stationen erreicht. Durch Datenassimilation steigt das Bestimmtheitsmaß auf 91 % und das Datenqualitätsziel wird an allen Stationen eingehalten. Die Kopplung der assimilierten RCG-Modellergebnisse mit den interpolierten Messwerten erhöht das Bestimmtheitsmaß auf rund 96 %. Der Einfluss des Interpolationsverfahrens auf das Bestimmtheitsmaß spiegelt sich aufgrund des hohen Modelanteils erst in der dritten Nachkommastelle wieder.



Eines der zahlreichen Ergebnisse des Projekts ist beispielsweise die Wirkung einer 25-prozentigen Minderung aller anthropogenen Emissionen in Baden-Württemberg. Diese führt gegenüber dem Basislauf im Untersuchungsgebiet zu großflächigen Abnahmen der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte, die unterproportional zur NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung sind und in weiten Teilen des Landes etwa zwischen 15 und 20 % liegen. Die erreichbare PM10-Minderung ist geringer, da PM10 wegen des hohen Anteils sekundärer Aerosole zu einem größeren Maße von außerhalb Baden-Württembergs emittierenden Quellen beeinflusst wird als NO<sub>2</sub>. Für Ozon werden für die 25 %-Minderung großflächig Zunahmen der Jahresmittelwerte um die 2 % berechnet. In den emissionstärkeren Gebieten sind die Zunahmen größer und erreichen lokal bis zu 8 %. Geringe Ozonabnahmen zeigen sich im Südschwarzwald.

#### Literaturangaben

- Diegmann, V.; Wiegand, G., 2000: FLADIS - A system for extending air pollution point data to continuous spatial information (according to EU Council Directive 96/62/EC). In: Longhurst, W. S.; Brebbia, C. A.; Power, H. (Ed.): Air Pollution VIII. WIT Press
- IVU Umwelt, 2014: Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010. Ausbreitungsrechnungen unter Verwendung des landesweiten Emissionskatasters und unter Berücksichtigung von gemessenen Immissionsdaten. Auftraggeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) Baden-Württemberg. Veröffentlichung durch den Auftraggeber.
- Reimer, E.; Scherer, B., 1992: An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling. Air Poll. Modelling and its Applications IX. Plenum Press
- Stern, R.; Bultjes, P.; Schaap, M.; Timmermans, R.; Vautard, R.; Hodzic, A.; Memmesheimer, M.; Feldmann, H.; Renner, E.; Wolke, R.; Kerschbaumer, A., 2008: A model inter-comparison study focusing on episodes with elevated PM10 concentrations. Atmospheric Environment 42 S. 4567-4588

## Vergleich der atmosphärischen Ausbreitungsmodelle der Modellsysteme TAMOS, ESTE und RODOS für radiologische Notstandssituationen

*Kathrin Baumann-Stanzer<sup>1)</sup>, Peter Carný<sup>2)</sup>, Erwin Polreich<sup>1)</sup>, Paul Skomorowski<sup>1)</sup>, Ludovit Liptak<sup>2)</sup>,  
Dušan Suchoň<sup>2)</sup>, Eva Smejkalova<sup>2)</sup>*

1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Austria, 1190 Wien, Hohe Warte 38,  
[k.baumann-stanzer@zamg.ac.at](mailto:k.baumann-stanzer@zamg.ac.at)

2) ABmerit, Slovak Republic, 917 01 Trnava, Hornopotocna 1

### 1. Einleitung

In Österreich stehen dem staatlichen Krisen- und Katastrophenmanagement im Fall einer radiologischen Notstandssituation die Ergebnisse mehrerer atmosphärischer Ausbreitungsmodelle als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung. Gegenstand dieser Studie ist ein Vergleich von Szenarienrechnungen mit diesen Ausbreitungsmodellen bei identen meteorologischen Eingangsdaten. Im Modellsystem TAMOS (Pechinger et al., 2001) ist FLEXPART 6.2 (Stohl et al., 1998) implementiert. Im Entscheidungshilfesystem ESTE (Carný et al., 2014) kommt ebenfalls ein Lagranger Modellansatz zum Einsatz. Vom Entscheidungshilfesystem RODOS werden Ergebnisse der Gaußmodelle ATSTEP (Forschungszentrum Karlsruhe) und RIMPUFF (Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy, Dänemark) sowie des Partikeldiffusionsmodells DIPCOT (Environmental Research Laboratory) gezeigt.

### 2. Ergebnisse

Die Modellläufe wurden hinsichtlich der Wahl der diversen Eingangsparameter (Quellterm, Wahl der Modellauflösung und -niveaus) soweit möglich aufeinander abgestimmt. Für 5 verschiedene Wetterperioden wurden Analysedaten des EZMW in 0,2° horizontaler Auflösung aufbereitet.

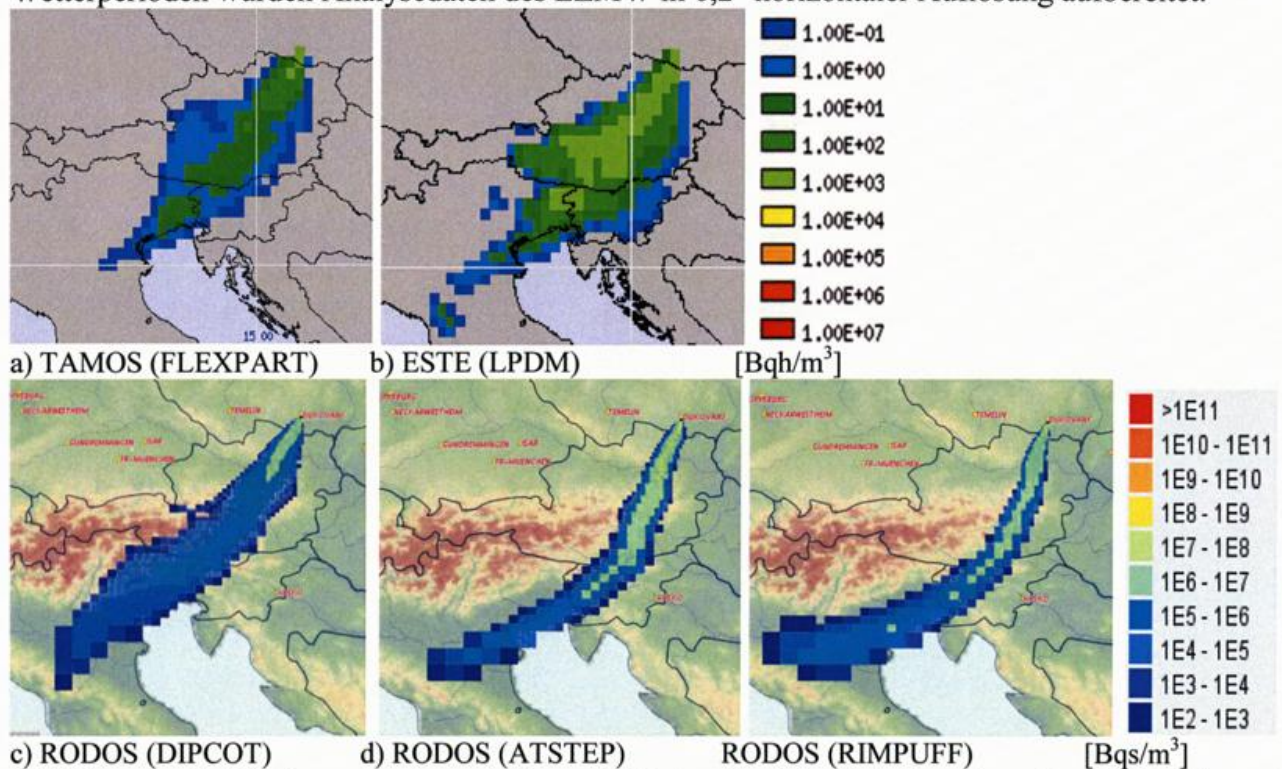


Abbildung 1: Cs-137-Konzentrationsverteilung in Bodennähe integriert über die ersten 24 Stunden nach Beginn der fiktiven Freisetzung in Dukovany am 6.7.2013 3UTC.

Es wurden insgesamt 56 Vergleichsszenarien untersucht: je 2 Quellterme für einen mittleren/einen schweren Unfall in den AKWs Dukovany (3 Episoden), Krsko und Leibstadt (je 2 Episoden) mit jeweils zwei Freisetzungshöhen (Carny et al., 2003-2014). Zum Vergleich der TAMOS- und ESTE-Modellergebnisse wurde die ENSEMBLE-Plattform genutzt. Ein Übertragen der RODOS-Ergebnisse auf die ENSEMBLE-Plattform war nicht möglich, da ENSEMBLE variable Gitterdistanzen nicht vorsieht.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen exemplarische Ergebnisse dieses Modellvergleichs für zwei ausgewählte Fallstudien. Es wird deutlich, dass die Verteilungsmuster der Lagrangen Ausbreitungsmodelle (TAMOS, ESTE und RODOS-DIPCOT) erwartungsgemäß ähnlicher sind als die Ergebnisse der beiden Gaußmodelle. Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Verlagerung der radioaktiven Wolke sowie in den berechneten Immissionsfeldern sind, abgesehen von der unterschiedlichen räumlichen Auflösung, einerseits auf eine unterschiedliche Behandlung des Vertikaltransports, andererseits auf geringfügige Unterschiede in den Parametrisierungen zur Berechnung der nassen und trockenen Deposition zurück zu führen.

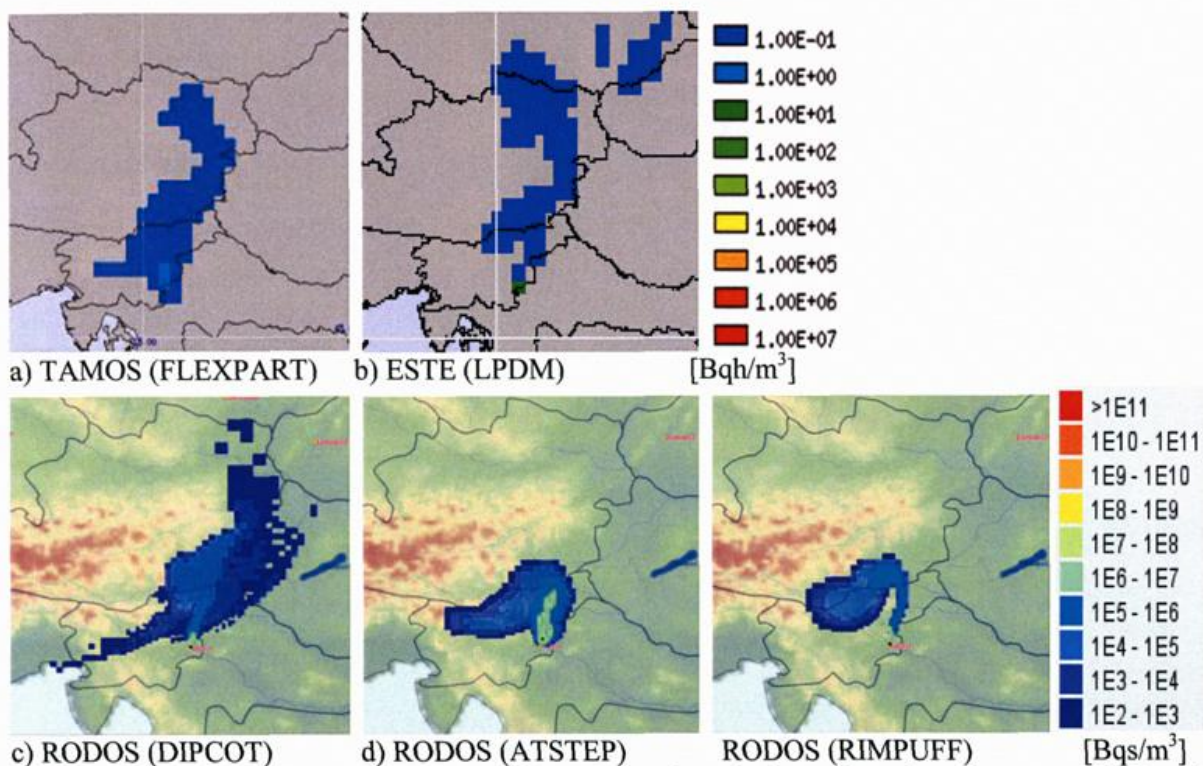


Abbildung 2: Cs-137-Konzentrationsverteilung in Bodennähe integriert über die ersten 24 Stunden nach Beginn der fiktiven Freisetzung in Krsko am 27.1.2014 0UTC.

## Literatur

- PECHINGER U., LANGER, M., BAUMANN, K., PETZ, E., 2001: The Austrian Emergency Response Modelling System TAMOS. *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, 2, 99-103.
- STOHL, A., HITTENBERGER, M., WOTAWA, G., 1998: Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against largescale tracer experiment data, *Atmos. Environ.*, 32, 4245-4264.
- CARNY, P., SUCHON, D., CHYLY, M., SMEJKALOVA, E., KRPELANOVA, M., LIPTAK, L., FABOVA, V., 2014: ESTE EU Austria v.2.12, User Manual, Project No.BMLFUW-UW.1.1.9/00013-V/7/2014.
- CARNY, P., KRPELANOVA, M., LIPTAK, L., SMEJKALOVA, E., CHYLY, M., 2003-2014: Database of Basic Source Terms of European NPPs for Emergency Response Purposes, License to the BMLFUW No. 003/BMLFUW.

Session 2:  
**„Monitoringprogramme und Messkampagnen  
für umweltmeteorologische Fragestellungen“**

## Stadtklimamessungen und Aktivitäten der Mobilen Messeinheiten des DWD

*Johann-Dirk Hessel<sup>1</sup>, Marita Roos<sup>1</sup>, Dr. Heike Noppel<sup>1</sup>, Kristin Hoffmann<sup>2</sup>*

1) *Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, D-63067 Offenbach, Klima.Offenbach@dwd.de*

2) *Deutscher Wetterdienst, Michendorfer Chaussee 23 Hs. 2, D-14473 Potsdam, Klima.Potsdam@dwd.de*

Die WMO (World Meteorological Organization) definiert das Stadtklima als „...gegenüber dem Umland verändertes Lokalklima“. Dieses betrifft sowohl meteorologische/klimatologische Parameter wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Wind als auch immissionsrelevante Kenngrößen wie z.B. Luftqualität und Lärm.

Klima- und Umweltdienstleistungen sind eine Kernaufgabe des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Auf Grund des fortschreitenden Urbanisierungsprozesses in Deutschland – mehr als 70% der Bevölkerung leben mittlerweile in Städten – kommt entsprechenden Produkten zur Verbesserung der Lebensqualität in Städten, der Infrastrukturnutzung und der Stadtplanung im DWD eine große und zukünftig weiter zunehmende Bedeutung zu. Sie bilden einen wichtigen Baustein der klimatologischen Beratung für Entscheidungsträger aus Politik, Behörden und der Wirtschaft. Die Klimaberatungsprodukte des DWD basieren auf räumlich hoch aufgelösten Wirkmodellsimulationen für Zeitskalen in Vergangenheit und Zukunft, unterstützt durch klimatologische belastbare Beobachtungs- und Messdaten. In diesem Zusammenhang stellt die WMO fest, dass es einen großen Bedarf an meteorologischen Messdaten innerhalb städtischer Strukturen gibt (OKE, 2006).

In der Vergangenheit mussten Messstationen DWD-Messnetzes aus städtischen Gebieten in die normenkonforme freie Umgebung der Städte verlegt werden, um so entsprechende international und national gültige Beobachtungsrichtlinien einzuhalten. Diese Richtlinien wurden allerdings für andere Fragestellungen als die der Stadtklimatologie konzipiert.

Exemplarisch seien hier die Verlegung der Stationen

Hamburg – St. Pauli nach Hamburg-Flughafen Fulsbüttel,

Karlsruhe nach Rheinstetten,

Freiburg (Innenstadt) nach Freiburg-Flugplatz,

in das städtische Umland genannt.

Es werden folglich aktuell durch den DWD so gut wie keine operationellen Beobachtungen in Städten durchgeführt. Zur Schließung dieser Lücke und der weiteren Sicherstellung einer Erfassung städtischer Messdatensätze richtet der DWD (Abteilung Klima- und Umweltberatung) innerhalb der nächsten Jahre ein klimatologisches Sondermessnetz von bis zu acht Messstationen in ausgewählten Städten Deutschlands ein. Ziel ist es, auf dieser Basis meteorologische Daten im verdichteten urbanen Raum zu gewinnen, die belastbares Datenmaterial für die wissenschaftliche Klimaanalyse und -bewertung innenstädtischer Verhältnisse im Vergleich zum Umland, aber auch im Vergleich zu anderen Städten in Deutschland, zur Verfügung stellen. Die Messdaten dieser innerstädtischen Standorte werden u.a. für

- die Dokumentation und das Monitoring des Stadtklimas,
- die Validierung von Modellrechnungen,
- Prozessstudien zum besseren Verständnis von Wärmebelastungen in Innenstädten

im Rahmen von Untersuchungen zum Stadtklima der Zukunft benötigt und bereitgestellt. Es wird bei der Festlegung der einzelnen Standorte der Stadtklimastationen möglichst konform mit den Empfehlungen der WMO für Messungen in Städten (OKE, 2006) vorgegangen. Eine erste dieser Stationen hat in Berlin (Alexanderplatz) im vergangenen Jahr den Betrieb aufgenommen.

Das entstehende Stadtklimamessnetz ermöglicht außerdem, die Anzahl der Städte, die in die regelmäßige Indikatoren-Ermittlung zur Wärmebelastung (BAU-I-1) und zum sommerlichen Wärmeineffekt (BAU-I-2) der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) eingehen, zu erhöhen.

Diese operationellen Routinemessungen können durch den Einsatz von temporären Messsystemen durch die Mobilien Messeinheiten (MME) des DWD ergänzt werden. Aktuelle Beispiele hierzu finden sich in den Berichten zu den Kooperationsprojekten mit den Städten Frankfurt (FRÜH et al., 2011), Köln (LANUV, 2013), Jena (HOFFMANN et. al., 2014) und Offenbach (KOSSMANN et. al., 2014). Die MME bietet den Vorteil des verbundenen Einsatzes verschiedener Messsysteme zur dreidimensionalen Erfassung des Stadtklimas während einzelner Fallstudien. So kommen hier neben Profilmessfahrten zur horizontalen Abdeckung auch Mastmessungen, SODAR und Radiosonden zur vertikalen Erfassung stadtklimatischer Parameter zum Einsatz.

In Zusammenarbeit des DWD mit dem Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, der Stadt Halle (Saale) und der Halleschen Verkehrs-AG wurden im vergangenen Jahr drei Straßenbahnzüge durch die MME mit Messgebern zur Erfassung der Lufttemperatur und Luftfeuchte u. a. im Außenbereich ausgerüstet. Ziel der Messungen ist die flächige Erfassung beider Klimaparameter über einen längeren Zeitraum hinweg. So ergibt sich die Möglichkeit, die Struktur und Intensität der Wärmeinsel am Beispiel der Stadt Halle auch in Abhängigkeit der Wetterlagen, Jahreszeiten und städtischer Bebauungsstrukturen zu untersuchen.

#### Literaturangaben :

FRÜH, B., M. KOSSMANN, M. ROOS, 2011a: Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 237, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201106095249>

FRÜH, B., P. BECKER, T. DEUTSCHLÄNDER, J.-D. HESSEL, M. KOSSMANN, I. MIESKES, J. NAMYSLO, M. ROOS, U. SIEVERS, T. STEIGERWALD, H. TURAU, U. WIENERT, 2011b: Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 50, No. 1, 167-184.

HOFFMANN, K., W. BIVOUR, B. FRÜH, M. KOSSMANN, P.-H. VOSS, 2014: Klimauntersuchungen in Jena für die Anpassung an den Klimawandel und seine erwarteten Folgen: ein Ergebnisbericht. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 243, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2014081210079>

KOSSMANN, M., H. NOPPEL, B. FRÜH, 2014: Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Offenbach am Main als Grundlage zur Anpassung an den Klimawandel. Ergebnisbericht der Kooperation zwischen der Stadt Offenbach und dem Deutschen Wetterdienst.

LANUV, 2013: Klimawandelgerechte Metropole Köln, Abschlussbericht. LANUV-Fachbericht 50.

OKE, T. R., 2006: Initial Guidance to obtaining representative meteorological observations at urban Sites. Instruments and observing methods, WMO Report No. 81, WMO/TD-No. 1250.

## The role of meteorological conditions in the assessment of air pollution exposure due to urban emissions

Klaus Schäfer<sup>1)</sup>, Michael Elsasser<sup>2), 5), †</sup>, Jose M. Arteaga-Salas<sup>2), 6)</sup>, Jianwei Gu<sup>3)</sup>, Mike Pitz<sup>3)</sup>, \*, Jürgen Schnelle-Kreis<sup>2), 6)</sup>, Josef Cyrus<sup>3)</sup>, Stefan Emeis<sup>1)</sup>, Andre S.H. Prevot<sup>4)</sup>, Ralf Zimmermann<sup>2), 5), 6)</sup>

1) Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Meteorology and Climate Research, Department of Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen, Germany; email: klaus.schaefer@kit.edu

2) Helmholtz Zentrum München, German Research Centre for Environmental Health (HMGU), Joint Mass Spectrometry Centre, Cooperation group „Comprehensive Molecular Analytics“, Neuherberg, Germany

3) Helmholtz Zentrum München, German Research Center for Environmental Health (HMGU), Institutes of Epidemiology I and II (EPI), Neuherberg, Germany

4) Paul Scherrer Institute (PSI), Gasphase and Aerosol Chemistry Group, Villigen, Switzerland

5) University of Rostock, Institute of Chemistry, Chair of Analytical Chemistry, Joint Mass Spectrometry Center, Rostock, Germany

6) HICE – Helmholtz Virtual Institute of Complex Molecular Systems in Environmental Health - Aerosols and Health, [www.hice-vi.eu](http://www.hice-vi.eu)

†) now at: Deutscher Wetterdienst, Met. Obs. Hohenpeißenberg, Hohenpeißenberg, Germany

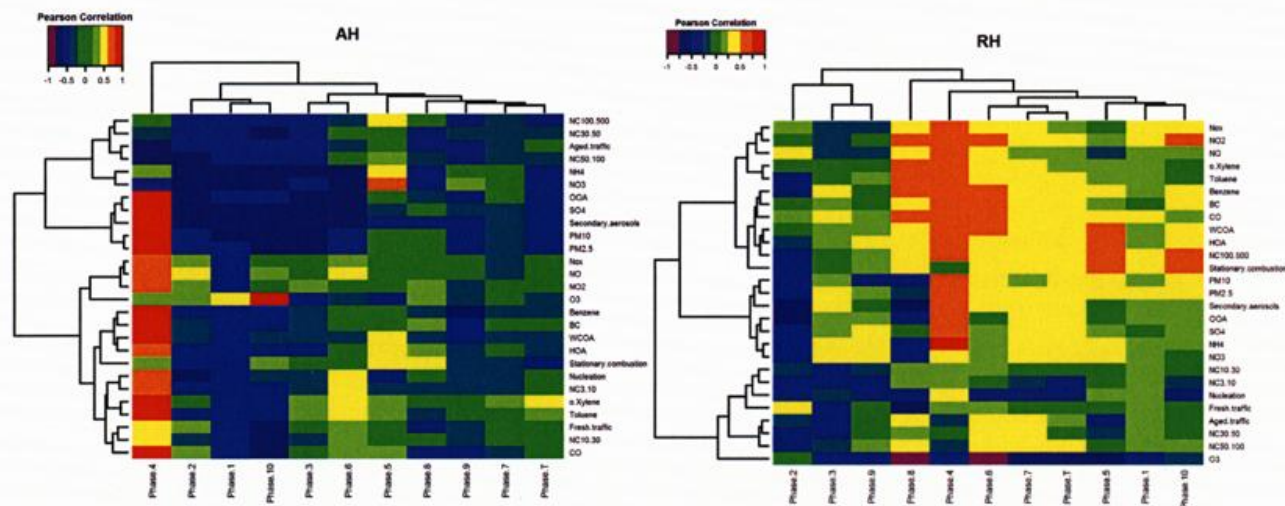
\*) now at: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Germany

A study of the assessment of air pollution exposure in the case of Augsburg, Germany, during winter (31 January - 12 March 2010) is presented. Investigations were performed on the basis of particle size distributions (PSD) (5 modes, 5 positive matrix factorization (PMF) factors) (Gu et al., 2011), aerosol composition via aerosol mass spectrometry (4 non-refractory components, 3 PMF factors from the organic PM composition) (Elsasser et al. 2012) and further air pollutants (7 gases and VOC, BC, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) and meteorological measurements, including mixing layer height (MLH), with one-hourly temporal resolution. The topic of meteorological influences upon nearly all air pollutants with high temporal resolved data is studied in a comprehensive view. The high temporal resolution enabled to differentiate the relevant processes as emissions, transport and mixing as well as solar heating which are of different temporal variation during the day. Source apportionment from both organic PM composition and PSD agree and show that the main emission sources of PM exposure are road traffic as well as stationary and wood combustion. But the values of the secondary aerosol factor are very often the highest ones.

Data were assigned to 10 temporal phases (see Figure) to apply the hierarchical clustering analysis with the Ward method (Ward, 1963) of cross-correlations of each air pollutant and PM component and of the correlations of each pollutant with all meteorological parameters (e.g. absolute and relative humidity see in the Figure). This provided two clusters: “secondary compounds of PM<sub>1</sub> and fine particles” and “primary pollutants (including CO and benzene) and accumulation mode particles”. It was found generally that wind speed (negative), wind direction, MLH (negative) and relative humidity (positive) influence primary pollutants and accumulation mode particle concentrations. Temperature (negative), absolute humidity (negative) and also relative humidity (positive) were relevant for secondary compounds of PM and fine particle concentrations. Correlations indicate the new result that secondary PM compound concentrations depend on absolute humidity also and primary pollutant concentrations on relative humidity only. This means that secondary aerosol forming processes are dependent from meteorological parameters including absolute humidity.

During a short-term phase of “wet” snow fall with strong PMC (particle mass concentration) increase the clustering provides different results than for the other 9 phases. Nucleation and Aitken mode particles and the fresh traffic aerosol were only weakly dependent on meteorological parameters and thus were driven by emissions.

The results of this case study on the basis of hourly-mean data and thus daily variations provide new implications for the sensitivity of PM compounds and gaseous air pollutants to meteorological parameters and as a consequence to a change of climate. General circulation and chemistry transport models which are applied to calculate such influences of climate change upon air quality need detailed information about the processes to be simulated. The statistical investigations of meteorological influences upon PM compounds and gaseous air pollutants as shown here for nearly all air pollutants provide such information in the present atmosphere.



Heatmap with Pearson intercorrelations between pollutants and absolute humidity as well as relative humidity during the total measurement period (each temporal phase and total period) showing different clusters including the dendrogram on the columns and rows. The correlations are coloured according to the scale on the top-left corner.

The application of various complex statistical methods to analyze measured ambient air data was advantageous because an alternatively applied tropospheric chemical model requires a good emission inventory which is not available real time normally. Further, a scaling problem exists. Appropriate to the point measurements, a small-scale or box model is required with a corresponding emission inventory which must be calculated also.

#### References

- ELSASSER, M., CRIPPA, M., ORASCHE, J., DECARLO, P.F., OSTER, M., PITZ, M., CYRYS, J., GUSTAFSON, T.L., PETTERSSON, J.B.C., SCHNELLE-KREIS, J., PRÉVÔT, A.S.H., AND ZIMMERMANN, R., 2012: Organic molecular markers and signature from wood combustion particles in winter ambient aerosols: aerosol mass spectrometer (AMS) and high time-resolved GC-MS measurements in Augsburg, Germany, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 6113–6128.
- GU, J. W., PITZ, M., SCHNELLE-KREIS, J., DIEMER, J., RELLER, A., ZIMMERMANN, R., SOENTGEN, J., STOELZEL, M., WICHMANN, H. E., PETERS, A., AND CYRYS, J., 2011: Source apportionment of ambient particles: Comparison of positive matrix factorization analysis applied to particle size distribution and chemical composition data, *Atmos. Environ.*, 45, 1849–1857.
- WARD, J.H., 1963: Hierarchical grouping to optimize an objective function, *J. Am. Stat. Assoc.*, 58, 236–244.

## Diffuse Staubemissionen von Fahrzeugbewegungen auf gewerblich-industriellen Betriebsgeländen – Die neue Richtlinie VDI 3790 Blatt 4

*Axel Rühling<sup>1)</sup>, Ulrich Klenk<sup>2)</sup>, Simon Jäckel<sup>3)</sup>*

1) Müller-BBM GmbH, Schwarzwaldstr. 39, 76137 Karlsruhe, [axel.ruehling@mbbm.com](mailto:axel.ruehling@mbbm.com)

2) Bergische Universität Wuppertal, Rainer-Gruenter-Straße, 42119 Wuppertal

3) Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf

Derzeit wird die neue Richtlinie VDI 3790 Blatt 4 [1] zu diffusen Staubemissionen von Fahrzeugbewegungen auf gewerblich-industriellen Betriebsgeländen erarbeitet. Diese Richtlinie soll es ermöglichen, die Beiträge diffuser Staubemissionen, die aus Fahrbewegungen auf industriellen und gewerblichen Betriebsflächen entstehen, zu quantifizieren.

Die bislang in der Richtlinie VDI 3790 Blatt 3 [2] zu diffuse Emissionen aus Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern angegebene Berechnungsmethode, die auf Datensätzen der US-EPA (Environmental Protection Agency) AP-42 [3] basiert, wird derart modifiziert, dass sie den hiesigen (bundesrepublikanischen) Verhältnissen und den Randbedingungen der industriell-gewerblichen Fahrbewegungen (tendenziell niedrigere Fahrgeschwindigkeiten und höhere Fahrzeuggewichte als auf öffentlichen Straßen) entspricht.

Um die Datenlage zu Staubemissionen fahrender LKW auf befestigten – nicht öffentlichen – Verkehrswegen zu verbessern, wurden durch die Bergische Universität Wuppertal ergänzend zu bereits im Jahr 2011 erhobenen Daten [4] weitere Abhängigkeiten des Emissionsfaktors und die Anwendbarkeit der Emissionsfaktorberechnung nach EPA untersucht. Hierzu wurden die Partikelanzahlkonzentrationen im Nahbereich einer Fahrstrecke bei bekannter Staubbelastung der Oberfläche, bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten, bei Änderung der Anzahl der Achsen durch absenkbare Hinterachse und bei unterschiedlicher Masse (Beladung) gemessen.

Der Vergleich der Staubemissionsfaktoren zeigt eine Übereinstimmung der Größenordnung, jedoch überschätzt die EPA-Formel die gemessenen Emissionsfaktoren für PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> vor allem bei niedrigen Fahrgeschwindigkeit zum Teil deutlich.

PM-Frak-tionen	Emissionsfaktor E(PM <sub>x</sub> ) / g VKT <sup>-1</sup>						AP-42 Stand 2011 / g VKT <sup>-1</sup>	
	14.380 kg			31.500 kg			14.380 kg	31.500 kg
	10 km h <sup>-1</sup>	20 km h <sup>-1</sup>	30 km h <sup>-1</sup>	10 km h <sup>-1</sup>	20 km h <sup>-1</sup>	30 km h <sup>-1</sup>	1...88 km h <sup>-1</sup>	1...88 km h <sup>-1</sup>
E(PM <sub>2,5</sub> )	0,332	1,295	5,719	2,193	5,683	14,860	9,664	21,504
E(PM <sub>10</sub> )	2,076	6,327	30,909	8,243	22,267	55,195	39,944	88,882
E(PM <sub>15</sub> )	5,041	12,506	73,361	17,431	48,871	121,264	49,608	110,386

Abbildung: Vergleich US EPA AP-42 mit Untersuchungsergebnissen

Eine Modifikation der Parameter der EPA-Formel für Fahrzeuggewichte  $> 8 \text{ Mg}$  liefert eine bessere Übereinstimmung der berechneten  $\text{PM}_{10}$  Emissionsfaktoren ohne Fahrgeschwindigkeitsbezug ( $29,3 \text{ g VKT}^{-1}$  bzw.  $61,2 \text{ g VKT}^{-1}$ ) mit den gemessenen Werten bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $30 \text{ km h}^{-1}$  ( $30,9 \text{ g VKT}^{-1}$  bzw.  $55,2 \text{ g VKT}^{-1}$ ).

Weitere messtechnische Untersuchungen sollen die funktionalen Zusammenhänge zwischen dem Staubemissionsfaktor und den Einflussgrößen wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Verschmutzung der Fahrbahn etc. statistisch absichern.

Richtlinien und Normen als technisch-wissenschaftliche Regeln dienen Anwendern, Herstellern und Behörden als wichtige Entscheidungshilfen und Informationsquellen. Dies gilt insbesondere für die technische Regelsetzung im Umweltschutz. Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN ist mit ihren 1200 Experten in 170 Arbeitsgruppen an der Erstellung des Regelwerks aktiv beteiligt, indem sie gemeinsam mit allen interessierten Kreisen und in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit den Stand von Wissenschaft und Technik in VDI-Richtlinien und DIN-Normen festhält. Der Fachbereich II "Umweltmeteorologie" beschäftigt sich auf nationaler und internationaler Ebene mit allen meteorologischen Fragestellungen des Umweltschutzes.

An dieser Stelle sei allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung der Richtlinie VDI 3790 Blatt 4 mitwirken, gedankt.

#### LITERATUR:

- [1] VDI 3790-4 (in Vorbereitung) Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Fahrbewegungen auf industriellen und gewerblichen Betriebsflächen
- [2] VDI 3790-3:2010 Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen - Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern
- [3] US EPA: AP 42, Fifth Edition. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources.
- [4] KLENK, ULRICH: Staubemissionen durch LKW-Verkehr auf befestigten Betriebsstraßen, LANUV-Fachberichte. Bd. 45. Recklinghausen, 2013

## Mikroskalige Emissionsmodellierungen für den Straßenverkehr auf Basis von mobilen Messfahrten und Vergleich zu klassischen Verfahren

Ingo Düring<sup>1)</sup>, Wolfram Schmidt<sup>1)</sup>, Dr. Annette Rauterberg-Wulff<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG; [ingo.duering@lohmeyer.de](mailto:ingo.duering@lohmeyer.de)

<sup>2)</sup>Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin

Im Rahmen von Luftreinhalteplanungen ist die genaue Modellierung der fahrzeugbedingten Emissionen entscheidend für eine sachgerechte und fundierte Maßnahmenplanung. Neben den Verkehrsmengen und Zusammensetzungen hat die Fahrdynamik der Kraftfahrzeuge einen großen Einfluss auf die Menge der Schadstoffemissionen. So werden im Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) für Stau teilweise doppelt so hohe Emissionsfaktoren wie für dichten Verkehr angegeben.

Zur Berechnung der straßenverkehrsbedingten Emissionsfaktoren wird in der Bundesrepublik standardmäßig das HBEFA verwendet. Die Berücksichtigung der Fahrdynamik ist dort durch die Festlegung sog. Verkehrssituationen gegeben. Die Emissionsfaktoren für die einzelnen Verkehrssituationen wurden mit dem Emissionsmodell PHEM der Universität Graz auf der Basis fahrzeugspezifischer Emissionskennfelder sowie repräsentativer Fahrkurven (Geschwindigkeits-Zeitdiagramme) berechnet.

In der Praxis erfolgt die Festlegung der Verkehrssituationen in der Regel anhand des Straßentyps, des Gebietstyps, des Tempolimits sowie einer qualitativen Beschreibung des Verkehrsflusses lt. HBEFA. Die Genauigkeit hierbei ist z.T. von der Erfahrung des Bearbeiters abhängig und kann damit subjektiv geprägt sein.

Genauer ist hingegen die Ermittlung der fahrzeugspezifischen Emissionen auf der Basis von Fahrkurven (siehe Beispiel in **Abb. 1**), die durch „mit-schwimmen“ im Verkehr (floating car) aufgenommen werden. Die emissionsseitige Auswertung der Fahrkurven kann entweder über Regressionsmodelle oder direkt mit PHEM (siehe Beispiel in **Abb. 2**) erfolgen.

Regressionsmodelle leiten z.B. durch den Vergleich der in HBEFA für die einzelnen Verkehrssituationen ausgewiesenen kinematischen Kenngrößen Reisegeschwindigkeit und RPA mit den messtechnisch erfassten Werten sowie deren Korrelation mit den NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren eine zutreffende Verkehrssituation für die jeweiligen Straßenabschnitte ab.

Andere Verfahren gehen bei der Beschreibung der Verkehrssituationen von verkehrstechnischen Kapazitätsbetrachtungen aus.

Im Vortrag wird ein Vergleich verschiedener Verfahren zur Bestimmung der Verkehrssituationen und –emissionen anhand der Ergebnisse aus Untersuchungen aus einem abgeschlossenen Forschungsprojekt für das sächsische LfULG (Schmidt et al., 2014) sowie eines derzeit laufenden Projektes in Berlin gegeben. Es werden Beurteilungsmaßstäbe aufgezeigt, um die verkehrstechnisch basierte Verkehrslage in die Verkehrsqualitäten und Verkehrssituation passend zum HBEFA zu übersetzen. Im Vordergrund steht dabei die Identifizierung von Stauanteilen und der Einfluss von Lichtsignal-Koordinierungen, da hier die größten Minderungspotenziale für die Kfz-Emission durch Maßnahmen der Verkehrssteuerung gesehen werden.

HBEFA: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.2. (aktualisierte Version vom 25.07.2014). Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin.

Schmidt, W., Richter, F., Körner, M. (2014): Entwicklung und Anwendung einer Methodik für die Ermittlung von Fahrmustern als Grundlage für eine qualifizierte Emissions- und Immissionsprognose von Straßen. Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Schriftenreihe, Heft 21/2014, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/22453>.

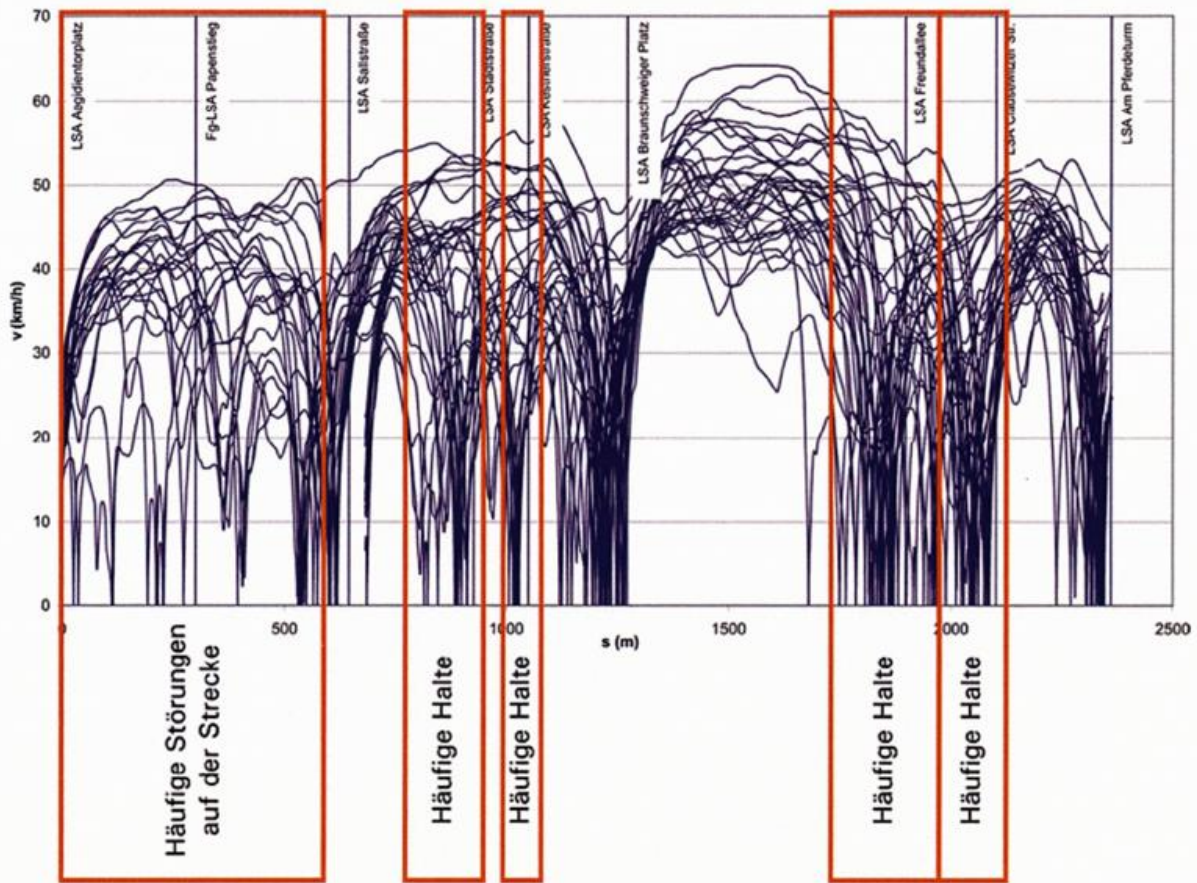


Abb. 1: Beispiel für messtechnisch erfasste Fahrkurven

**Zeitlicher Verlauf der NO<sub>x</sub>-Emissionen während eines Fahrzyklusses  
zweier exemplarisch ausgewählter PKW-Emissionskonzepte**

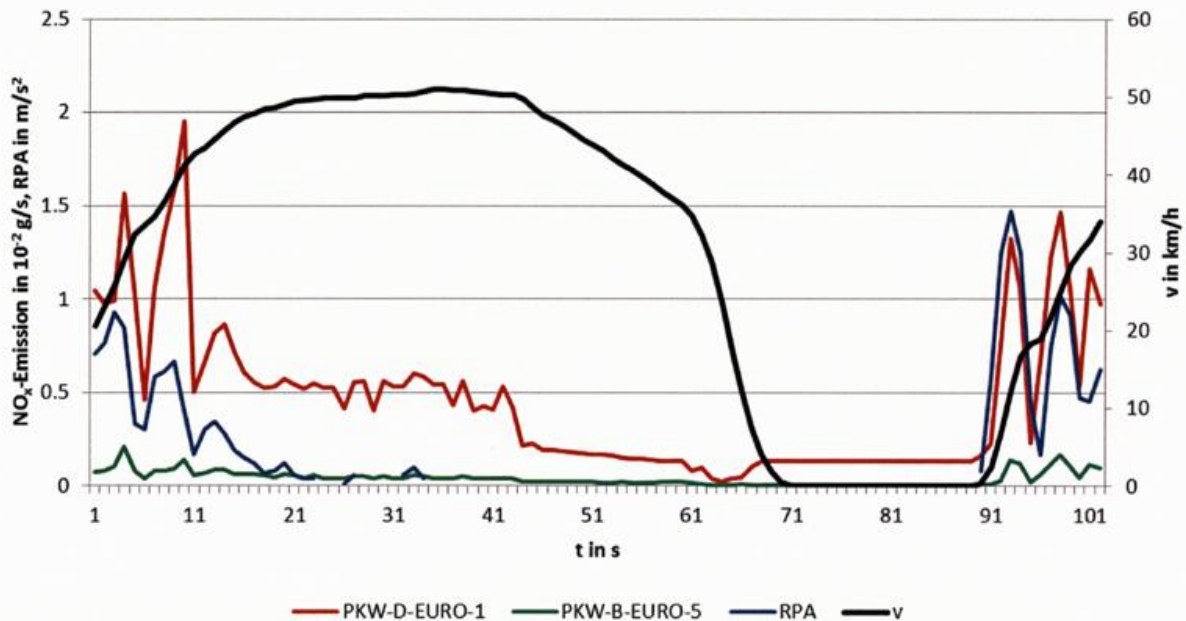


Abb. 2: Beispiel für den mit PHEM berechneten zeitlichen Verlauf von NO<sub>x</sub>-Emissionen in Abhängigkeit von der Reisegeschwindigkeit (v) und des Beschleunigungsverhaltens (RPA) für zwei PKW-Emissionskonzepte

## IR-Doppler-Lidar Messungen: Operationelle Erfahrungen und potenzielle Anwendungen für umweltmeteorologische Fragestellungen

Frank Beyrich, Volker Lehmann, Ronny Leinweber, Eileen Päsche und Bram van Kesteren

Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg – Richard-Aßmann-Observatorium, Am Observatorium 12, 15848 Tauche – OT Lindenberg, Email: [frank.beyrich@dwd.de](mailto:frank.beyrich@dwd.de)

In den letzten Jahren sind, insbesondere durch die Anforderungen der Windenergiebranche nach umfangreichen Datensätzen zum vertikalen Windprofil in Höhen bis etwa 250 m über Grund, kompakte Infrarot-Doppler-Lidar Messsysteme verschiedener Hersteller kommerziell verfügbar geworden. Die Systeme erlauben neben der Detektion der Intensität des aus der Atmosphäre an Aerosolen oder Wolkenteilchen rückgestreuten Lasersignals unter Ausnutzung des Doppler-Effektes eine Bestimmung der Radialkomponente des Windgeschwindigkeitsvektors in Strahlrichtung. Über eine geeignete Scan-Geometrie können hieraus gleichermaßen der horizontale Windvektor und der Vertikalwind ermittelt werden. Die Kombination eines sog. VAD Scan (bei Rotation des Lasers um 360 Grad werden für eine definierte Anzahl von Azimutwinkeln, mindestens jedoch vier, und konstantem Elevationswinke Laserpulse ausgesandt) mit einer rein vertikal ausgerichteten Messung erlaubt parallel die Bestimmung der Vertikalwindvarianz und des vertikalen Gradienten des Horizontalwindes, d.h., von Parametern, die sowohl die auftriebs- als auch die scherungsbedingte Turbulenzproduktion in der atmosphärischen Grenzschicht charakterisieren.

Am Meteorologischen Observatorium Lindenberg – Richard-Aßmann-Observatorium des DWD werden seit mehr als zwei Jahren derartige Systeme erprobt und ihre Eigenschaften im operationellen Dauerbetrieb untersucht. In dem Vortrag werden Ergebnisse von Vergleichsmessungen eines Doppler Lidars „Streamline“ (Halo Photonics Ltd., UK) mit Windmessungen am 99m-Mast auf dem Grenzschichtmessfeld Falkenberg (siehe Abb. 1), mit einem Doppler-Sodar-System und mit einem 482-MHz Windprofiler Radar vorgestellt. Weiterhin werden Probleme der zeitlichen und räumlichen Abtastung in Verbindung mit der jeweils gewählten Scan-Geometrie sowie potenzielle Anwendungen zur Ableitung umweltmeteorologisch relevanter Grenzschichtparameter (Windprofil, Turbulenz, Mischungsschichthöhe) diskutiert.

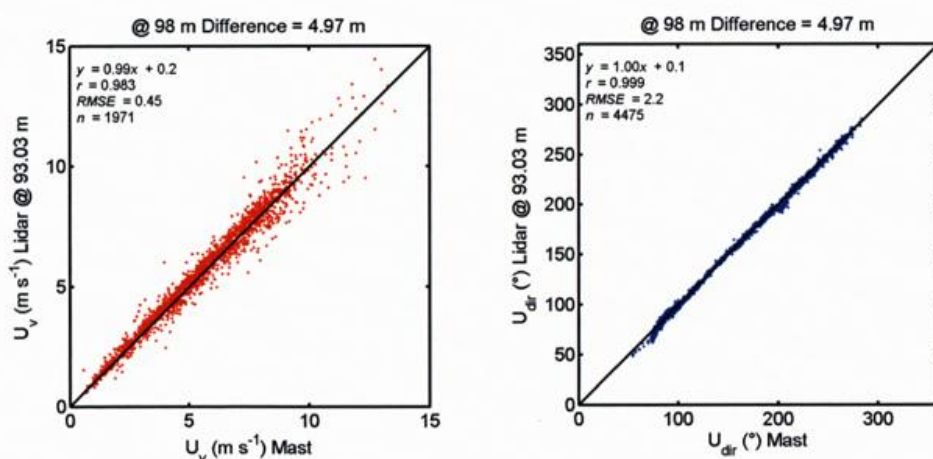


Abb. 1 – Vergleich von Messungen der Windgeschwindigkeit und Windrichtung zwischen IR-Doppler-Lidar und Schalenstern / Windfahne am 99m Mast auf dem GM Falkenberg über einen Zeitraum von einem Monat

# Turbulenzdaten für Anwendungen in der Windenergie – Evaluation von Lidarmessungen

*Carolin Schmitt<sup>1)</sup>, David Hilbert<sup>2)</sup>, Markus Weimbs<sup>1)</sup>*

*1) juwi Energieprojekte GmbH*

*2) Senvion*

## **Einleitung**

Lidarmessungen mit bodengebunden Windprofilern wie dem WindCube v2 haben mittlerweile breiten Einzug im Bereich der Messverfahren für die Windenergie gehalten, sind dabei aber immer noch Teil von weitreichenden Vergleichsstudien mit den auf Messmasten eingesetzten, herkömmlichen Cup Anemometern. Hierbei wird allerdings der Schwerpunkt stets auf den Vergleich und die Anwendbarkeit für Windgeschwindigkeiten gelegt.

Ein weiterer wichtiger Punkt im Site Assessment für einen Windpark liegt jedoch neben der möglichst genauen Ermittlung der mittleren Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe auch in der Bestimmung der Turbulenzintensität um hier Standsicherheitsbedingungen für verschiedenen Windturbinenklassen zu ermitteln. Für diesen Punkt liegen bis dato allerdings deutlich weniger Untersuchungen vor, um einen Abgleich mit theoretischen Verfahren und Grenzwerten zu erlauben.

Die genaue Bestimmung der „Ambient Turbulence“ an einem Standort ist jedoch ein wichtiger Grundschrift zur Verringerung von Unsicherheiten bei der Abschätzung der „Effektiven Turbulenz“ die eine Anlage an einem Standort erfährt. Mit den immer grösser werdenden Nabenhöhen (140m) und Rotordurchmessern (125 m) begibt man sich mittlerweile in Bereiche, die in den seltensten Fällen noch von einem Messmast abgedeckt werden. Ebenfalls werden viele Parks im komplexen, bewaldeten Gelände geplant, wo keine Anlagenposition mit einer anderen exakt vergleichbar ist.

Hier werden meist analytische Verfahren angewendet, um horizontale und vertikale Turbulenzabschätzungen zu interpolieren und darauf basierend die Parkplanung auszulegen. An dieser Stelle können verbesserte Turbulenzmessungen und die Integration neuer Verfahren zu einem optimierten Windparklayout und verringerten Projektrisiken führen.

## **Vorgehen**

Verschiedene Messungen in zwölf unterschiedlichen Windparks werden hier genutzt, um Lidar Turbulenzen (40–200m) über verschiedene Messperioden von zwei bis acht Monaten zu untersuchen. Für alle Standorte liegen hier gleichzeitige Daten von Messmasten (80-100m) zum Vergleich vor. Hierbei werden unterschiedlich komplexe, bewaldete und freie Standorte betrachtet um einen ersten Überblick über die Sensitivität für verschiedene Umgebungsbedingungen zu bekommen. Neben dem reinen Datenvergleich können so auch analytische Ansätze zur vertikalen und horizontalen Turbulenzinterpolation bewertet werden.

Während die Genauigkeit der Windgeschwindigkeitsmessung mit Lidar bereits weiträumig untersucht und quantifiziert ist, herrschen für den Bereich der Turbulenzmessung, auch bedingt durch das unterschiedliche Messverfahren, noch viele Unsicherheiten.

Es gibt sowohl Studien (Sathe et al, 2011) die darlegen, dass die in der Windenergie verwendeten, kommerziellen Lidare Turbulenz nicht in wissenschaftlich ausreichender Genauigkeit messen könne, während auf der anderen Seite (Barker et al. 2012) dargestellt wird, dass die Ansätze zur Verwendung von Lidar-Turbulenz funktionieren.

Innerhalb dieser Untersuchung werden zwei Hauptpunkte dieser Fragestellung beleuchtet:

- Die generellen Turbulenzmessungen von Lidar und Cup Anemometer werden in operationellen Messkampagnen verglichen. Hier zeigt sich, dass in fast allen Fällen die Genauigkeit der Lidarturbulenzen in akzeptablem Bereich liegt und für Site Suitability Analysen geeignet ist
- Die vertikale Verteilung der Turbulenz wird mit den bisher verwendeten analytischen Ansätzen verglichen. Hier wird deutlich, dass diese Methoden der vertikalen Turbulenz-extrapolation z.T. signifikante Abweichungen zu den Messdaten zeigen, und oft eine deutlich zu geringen Turbulenzabnahme mit der Höhe vorgeben.

### **Zusammenfassung**

Die Möglichkeiten zur Verwendung von Turbulenzdaten aus Lidarmessungen und der Zugewinn an Genauigkeit können anhand verschiedener Beispiele verdeutlicht werden. Gerade für geplante Parks mit größerer Nabenhöhe und weiterer Ausdehnung bietet die schnelle und flexible Messung mit Lidargeräten im Park eine gute Möglichkeit, sowohl das vertikale als auch das unterschiedliche horizontale Verhalten der Ambient Turbulence zu quantifizieren, und ggf. auch nicht zutreffenden Annahmen aus analytischen Ansätzen zu überprüfen.

Session 3:  
**„Nutzungspotential fernerkundungsbasierter  
Daten für umweltmeteorologische  
Anwendungen“**

## Nutzungspotential der Satellitenfernerkundung für umweltmeteorologische Anwendungen

*Thilo Erbertseder, Frank Baier, Thomas Holzer-Popp, Christoph Bergemann und Lars Klüser*

*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, 82234 Weßling,  
Deutschland*

Die Satellitenfernerkundung ermöglicht für die Umweltmeteorologie relevante Parameter global, kontinuierlich und flächendeckend auf einem konsistenten und räumlich integrierenden Gitternetz zu erfassen. Somit lassen sich die Verteilung und Variabilität der atmosphärischen Zusammensetzung sowie die Beschaffenheit der Landoberfläche auf verschiedensten Skalen beobachten und analysieren. In Ergänzung zu traditionellen Messverfahren (z.B. in-situ) und der numerischen Modellierung hat sich die Satellitenfernerkundung in den letzten Jahren als komplementäre Daten- und Informationsquelle zu etablieren begonnen. Der Beitrag soll einen Überblick über aktuelle Verfahren, Anwendungen und Entwicklungen geben. Der Schwerpunkt soll dabei auf den Möglichkeiten zur Beobachtung der atmosphärischen Zusammensetzung liegen sowie den Entwicklungen im Rahmen des Europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus.

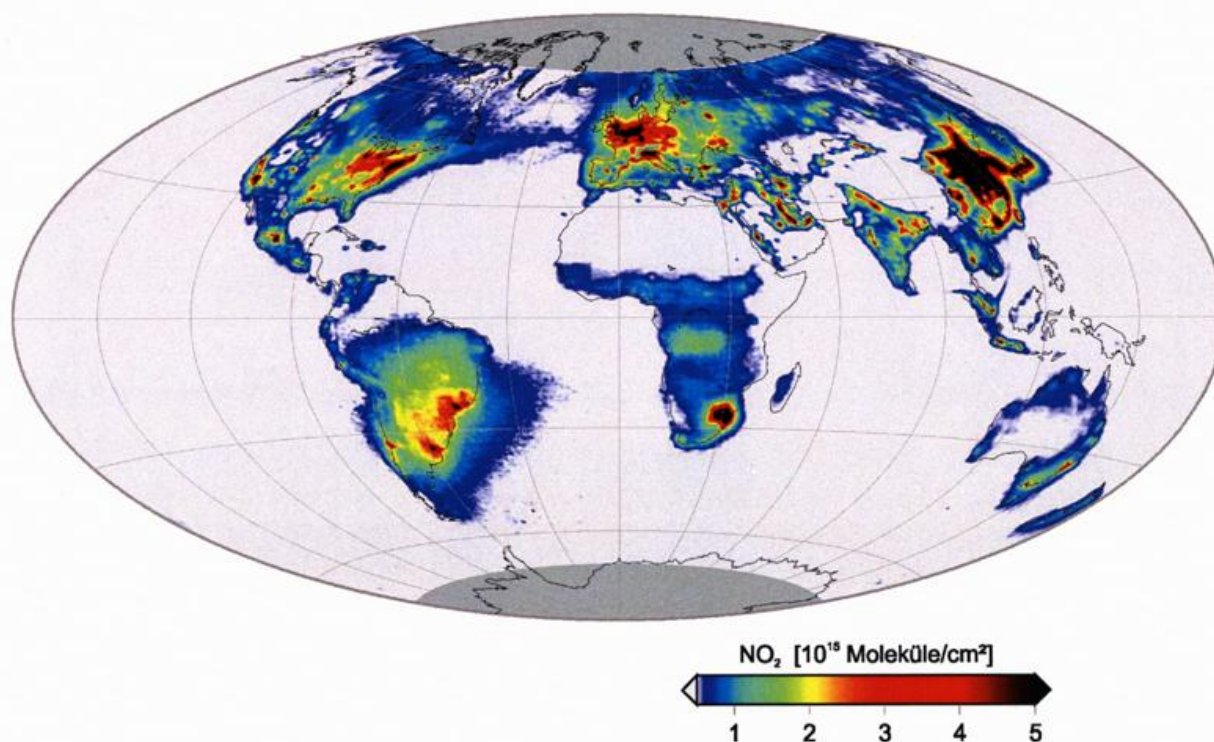


Abb. 1: Globaler anthropogener Fußabdruck der Luftverschmutzung (NO<sub>2</sub>) nach Auswertung von Satellitendaten des Instruments GOME-2. Dargestellt ist der Mittelwert von 2007 bis 2013.

Satellitengestützte Beobachtungen von operationellen meteorologischen Plattformen aus werden zunehmend zur Quantifizierung von troposphärischen Spurengasen und Aerosolen eingesetzt. Sie liefern dadurch komplementäre Daten für den Bereich Luftqualität, Gesundheit und Energie. Neben den regulativen Größen NO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> kann zunehmend auch die Aerosolzusammensetzung quantifiziert werden. Dabei kann zwischen natürlichen (Seesalz, Mineralstaub) und anthropogenen Komponenten (Ruß, Nitrate, Sulfate) unterschieden werden. Diese Daten liefern somit wertvolle Informationen bei der Berichterstattung von

Grenzwertüberschreitungen im Rahmen der EU Feinstaubrichtlinie, da die Emissionsquelle großräumig analysiert, die räumliche Ausdehnung der Grenzwertüberschreitung besser bestimmt und der natürliche Feinstaubanteil berücksichtigt werden kann. Mittels thermaler Satellitenfernerkundung kann zudem eine weitere Charakterisierung von Aerosolen aufgrund unterschiedlicher Extinktionseigenschaften erfolgen. Es werden Beispiele zur Quantifizierung von Mineralstaub und Vulkanasche präsentiert. Weitere Anwendungsgebiete sind die Vermessung der städtischen Wärmeinsel vom Satelliten aus sowie die Beobachtung von Treibhausgasen und der Einhaltung von Reduktionszielen wie sie von der Europäischen Kommission für Kohlendioxid vorgegeben sind.

Durch den Einsatz von Datenassimilationsverfahren und Inversionsverfahren können Satellitendaten, in-situ Messungen, Chemie-Transport Modelle und Emissionskataster kombiniert und somit integrierte Vorhersagen und Analysen für umweltmeteorologische Anwendungen erstellt werden. Dabei können die Stärken der einzelnen Komponenten besser genutzt werden. Eher statische Emissionskataster werden gerade während Schadstoffepisoden durch aktuelle in-situ- und Satellitendaten ergänzt. Das Herannahen von grenzüberschreitenden oder interkontinentalen Transporten wird durch die Satellitendaten im Vorfeld berücksichtigt, während in-situ-Daten gerade auf der lokalen Skala den wesentlichen Informationsgehalt bereitstellen. Es werden Beispiele zu Prognosen der atmosphärischen Zusammensetzung gezeigt und ihre Anwendung als Dienste zur Information der Öffentlichkeit und zur Unterstützung von Risikopatienten und das Gesundheitswesen.

## Bestimmung von Ausbreitungsklassen nach TA Luft mit Wolkenbedeckungsgraden aus Satellitendaten

Joachim Namyslo<sup>1)</sup>, Martin Stengel<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> DWD, Abteilung Klima- und Umweltberatung

<sup>2)</sup> DWD, Abteilung Klimaüberwachung, CM SAF

Die "Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz", die "Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft" in der Fassung aus dem Jahr 2002, erwartet für Ausbreitungsrechnungen – z.B. mit dem Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 – u.a. die Angabe eines Parameters zur Beschreibung des Stabilitätszustandes der bodennahen atmosphärischen Grenzschicht. Nach dem Kapitel 8.4 im Anhang 3 "Ausbreitungsrechnung" der TA Luft (2002) soll dies über die Angabe eines Wertes der Monin-Obukhov-Länge ( $L_M$ ) – oder alternativ über eine Ausbreitungsklasse (AK) – erfolgen.

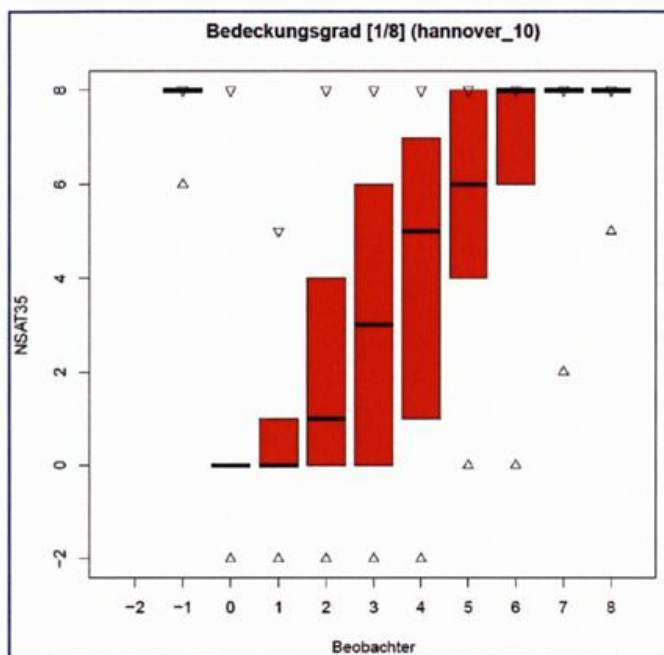
AK-Klassen als „integrale“ Stabilitätsbewertung der gesamten Grenzschicht sind für Regelwerke zu kerntechnischen Anlagen oder auch im Kontext von spezifischen VDI-Richtlinien (z.B. VDI 3783/1 zu Störfallrechnungen) weiterhin relevant. Die Bestimmung der AK erfolgt über die Tabelle 1 des Anhangs A der Richtlinie VDI 3782 Blatt 1 (August 2009). Hier werden die (stündlichen) Eingangsparameter Windgeschwindigkeit und Gesamtbedeckungsgrad mit Wolken nach Tag- und Nachtstunden unterschieden in Klassen mit entsprechend unterschiedlich definierten Klassenbreiten zugeordnet. Eine wesentliche Nebenbedingung ist dabei die Unterscheidung von Gesamtbedeckungsgraden, die nur hohen Wolken (Cirren) zuzuordnen sind. Der Bedeckungsgrad mit Wolken ist daher ein wesentlicher Parameter, der bisher in der Regel nur über Augenbeobachtungen als belastbar angesehen wurde. Wie in anderen modernen europäischen Wetterdiensten auch, so legt die Umsetzung der aktuellen, weniger personalintensiven Messnetzkonzeption des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auch für die bisherigen, expliziten Augenbeobachtungen den Übergang auf eine rein instrumentelle und möglichst automatisch gewonnene Messwertebasis nahe. Entsprechend können Zeitreihen von aus Satellitendaten abgeleiteten Wolkenbedeckungsgraden durch die CM SAF Gruppe des DWD bereitgestellt werden (Stengel u.a., 2014). Die zu Achtern umgerechneten prozentualen Wolkenbedeckungsanteile werden dabei aus binären Informationen einer 7x7-Matrix von 5km x 5km großen Wolkenmaskenpixeln abgeleitet. Die Gesamtmaske mit 49 Pixeln umfasst somit eine Fläche von 35 km x 35 km („NSAT35“) und wurde über den zu Vergleichszwecken betrachteten SYNOP-Stationen zentriert.

Am Beispiel der Station Hannover (SY 10338) zeigt die Abbildung 1 für die beobachteten niedrigen (0/8 und 1/8) und hohen (7/8 und 8/8) Wolkenbedeckungsgrade (N) eine sehr gute Übereinstimmung mit den aus Satellitendaten gewonnenen Gesamtbedeckungsgraden. Für den auch noch als niedrig einzustufenden N=2/8 und die mittleren N (3/8 bis 6/8) sind die Verteilungen erwartungsgemäß breiter. So wird z.B. für ein beobachtetes N=3/8 zwar der Median auch mit 3/8 in der NSAT35-Klasse berechnet, aber hier treten mit signifikanten Häufigkeiten auch NSAT35-Bedeckungsgrade von 0/8 bis 6/8 auf. Bei der AK-Bestimmung (VDI 3782/1) wirken sich diese Abweichungen wegen der mit „0/8 bis 6/8“ oder „3/8 bis 5/8“ teilweise sehr breiten N-Klassen im Vergleich zu den AKsyn-Klassen aber nicht wesentlich negativ auf die über SYNOP- und NSAT35-Daten bestimmten AKNSAT-Klassen aus. Entsprechend „verschlanken“ sich graphisch die in der Abbildung 2 gezeigten Verteilungen von Klassenwerten in der Regel zum „Median“ in den jeweils zutreffenden Klassenkombinationen, wenn das 1. und 3. Quartil ebenfalls in diesen Klassen liegen.

### Literatur:

Stengel, M., Kniffka, A., Meirink, J. F., Lockhoff, M., Tan, J., Hollmann, R., 2014: CLAAS: the CM SAF cloud property data set using SEVIRI, Atmos. Chem. Phys., 14, 4297-4311, doi:10.5194/acp-14-4297-2014.  
VDI 3782 Blatt 1, 2009: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen.  
VDI 3783 Blatt 1, 1987: Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der Atmosphäre – Ausbreitung von störfallbedingten Freisetzungen – Sicherheitsanalyse.

## Abbildungen



### Hannover (SY 10338), stündliche Werte, 2010

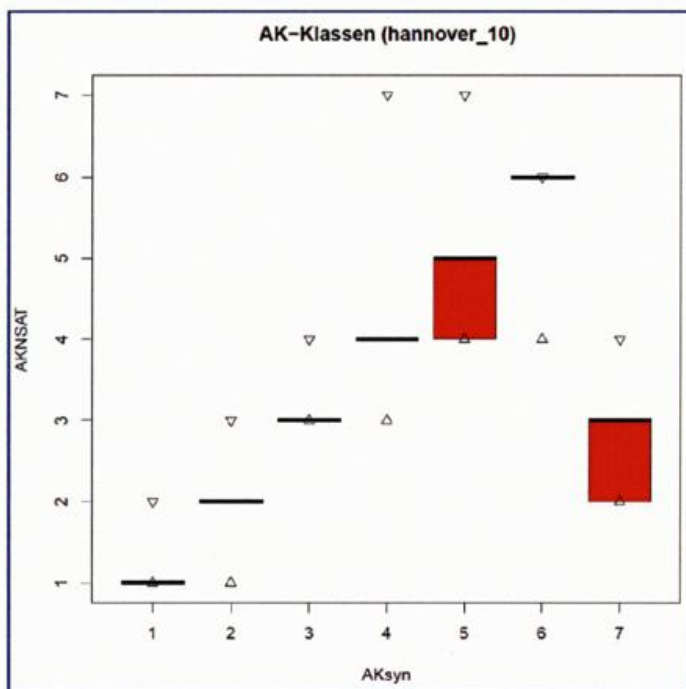
- 1 – Himmel nicht erkennbar
- 2 – Fehldaten

#### Box-Plot für Klassen:

- ▽ 97,5tes Perzentil
- 3. Quartil
- Median
- 1. Quartil
- △ 2,5tes Perzentil

CMSAF-Daten

Abb. 1: Vergleich von aus Augenbeobachtungen („Beobachter“) und aus Satellitendaten („NSAT35“) abgeleiteten Gesamtbedeckungsgraden mit Wolken.



### Hannover (SY 10338), stündliche Werte, 2010

#### Ausbreitungsklassen (AK) nach RL VDI 3783 Blatt 1:

- 1 – AK I („sehr stabil“)
- 2 – AK II („stabil“)
- 3 – AK III/1 („neutral-stabil“)
- 4 – AK III/2 („neutral-labil“)
- 5 – AK IV („labil“)
- 6 – AK V („sehr labil“)
- 7 – UNDEF / Fehldaten

Abb. 2: Vergleich von nur aus SYNOP-Daten („AKsyn“) und aus SYNOP- und Satellitendaten („AKNSAT“) abgeleiteten Ausbreitungsklassen (AK). Zu den „Box-Plot-Darstellungen für Klassen“ siehe Abb. 1. Die Darstellung z.B. nur des „Medians“ bedeutet, dass auch das 1. und 3. Quartil der entsprechenden Klassenkombination zuzuordnen ist.

## Nächtliche Grenzschichtwindmaxima: gewöhnliche und ungewöhnliche Auslösemechanismen

*Emeis, Stefan<sup>1)</sup>, Helgert, Sophia<sup>1)2)</sup>*

*1) Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen, stefan.emeis@kit.edu*

*2) derzeit Studentin an der Universität Innsbruck, sophia.helgert@t-online.de*

Normalerweise entstehen nächtliche Grenzschichtwindmaxima (gewöhnlich mit dem englischen Begriff „low-level jets“ bezeichnet und als LLJ abgekürzt) durch die Abkühlung des Bodens infolge thermischer Ausstrahlung bei wolkenarmen oder wolkenfreien Himmel. Bei bestehendem, ausreichendem synoptischen Druckgradienten führt die plötzlich verschwindende Bodenreibung infolge des bei stabiler Schichtung stark reduzierten turbulenten vertikalen Impulsflusses zu einem Überschießen des Windes (in der Regel über die Stärke des geostrophischen Windes hinaus) und damit zur Bildung eines LLJ. Deshalb tritt dieses Phänomen in der Regel schon in der ersten Nachthälfte auf und dauert maximal bis zum nächsten Morgen, wenn nach Sonnenaufgang die wieder einsetzende thermisch induzierte vertikale Durchmischung das Phänomen beendet. Das Phänomen LLJ hat Bedeutung für den nächtlichen Ferntransport von Luftbeimengungen sowie für den Ertrag höherer Windkraftanlagen.

Fernerkundung durch Sodar-Messungen genauso wie auch Windlidar-Messungen sind eine gute Methode, das Phänomen LLJ zu beobachten und längere Zeitreihen zu gewinnen, die dann auch statistisch ausgewertet werden können. In Emeis (2014) sind bereits zwei Jahre Sodarmessungen in der Stadt Hannover in Norddeutschland ausgewertet worden und statistisch analysiert worden.

Ebenso liegen Messungen mit einem RASS (radio-akustisches Sondierungssystem) für den Nordrand der Stadt Augsburg in Süddeutschland vor (Emeis et al. 2009, 2011). Diese Messungen, die neben dem Wind- und Turbulenzprofil auch das Temperaturprofil liefern, sind jetzt analog zu den Hannoveraner Daten statistisch ausgewertet worden. Dabei hat sich gezeigt, dass es neben dem klassischen LLJ-Phänomen, das bereits kurz nach Sonnenuntergang in der ersten Nachthälfte beginnt, ein zweites auslösendes Moment für LLJ gibt, das mit der Nähe der Bergkette der Alpen südlich von Augsburg verbunden ist, und das zu einer Bildung von LLJ in den frühen Morgenstunden kurz vor Sonnenaufgang führt.

Ursächlich für den zweiten LLJ-auslösenden Mechanismus ist ein Vorgang, der als „Alpines Pumpen“ (Lugauer und Winkler 2005) bezeichnet wird. Hierbei kommt es während der Nacht bei klarem Himmel zu einem kalten Wind, der von den Alpen weg weht. Umgekehrt gibt es tagsüber einen Wind, der auf die Alpen zu weht. Ursache ist die stärkere Abkühlung in der Nacht und ebenso die stärkere Erwärmung tagsüber der hoch gelegenen Alpen im Vergleich zur Luft in der gleichen Höhe über dem Alpenvorland. Das Alpine Pumpen ist also eine thermische Sekundärzirkulation ähnlich dem Land-Seewindsystem.

Dieses Alpine Pumpen führt nun dazu, dass kalte Luft in klaren Nächten auch das Lechtal, das sich von Augsburg nach Süden bis hin zu den Alpen erstreckt, hinunter nach Norden fließt und in den frühen Morgenstunden die Stadt Augsburg erreicht. Dort schiebt sich dann diese kalte Luft unter die dort liegende wärmere Luft und hebt diese etwas an. In dem Moment, in dem sich die kalte Luft unter die bereits dort liegende Luft schiebt, wird die Bodenreibung für die dort liegende Luft schlagartig verringert. Bei ausreichendem synoptischen Druckgradient führt dies – wie beim klassischen LLJ – zur Ausbildung eines Grenzschichtwindmaximums, das für Schadstofftransporte durchaus relevant sein kann.

Die RASS-Messungen zeigen für diese Fälle in der bodennahen Schicht von ca. hundert Metern Dicke eine Winddrehung auf Süd in den frühen Morgenstunden verbunden mit einer Temperaturabnahme. Gleichzeitig steigt die Windgeschwindigkeit in der Schicht über der Kaltluft deutlich an und es kommt zur Ausbildung eines LLJ.

Zusätzlich zur Beschreibung dieses ungewöhnlichen Auslösemechanismus für LLJ gibt der Beitrag einen Vergleich der Häufigkeiten und Eigenschaften der LLJ zwischen Nord- und Süddeutschland. Es zeigt sich, dass klassische LLJ in Süddeutschland offensichtlich nur 2/3 so häufig wie in Norddeutschland auftreten (in 14,5 % aller Nächte gegenüber 21 % in Hannover). Hinzu kommen die zuvor beschriebenen ungewöhnlichen Fälle (2,5 % aller Nächte). Aber auch die Summe beider Phänomene zusammen ist geringer als die Zahl der Fälle in Norddeutschland. Es zeigen sich auch Unterschiede in den Großwetterlagen (siehe auch Abb. 1), die das Auftreten von LLJ in Norddeutschland und Süddeutschland begünstigen.

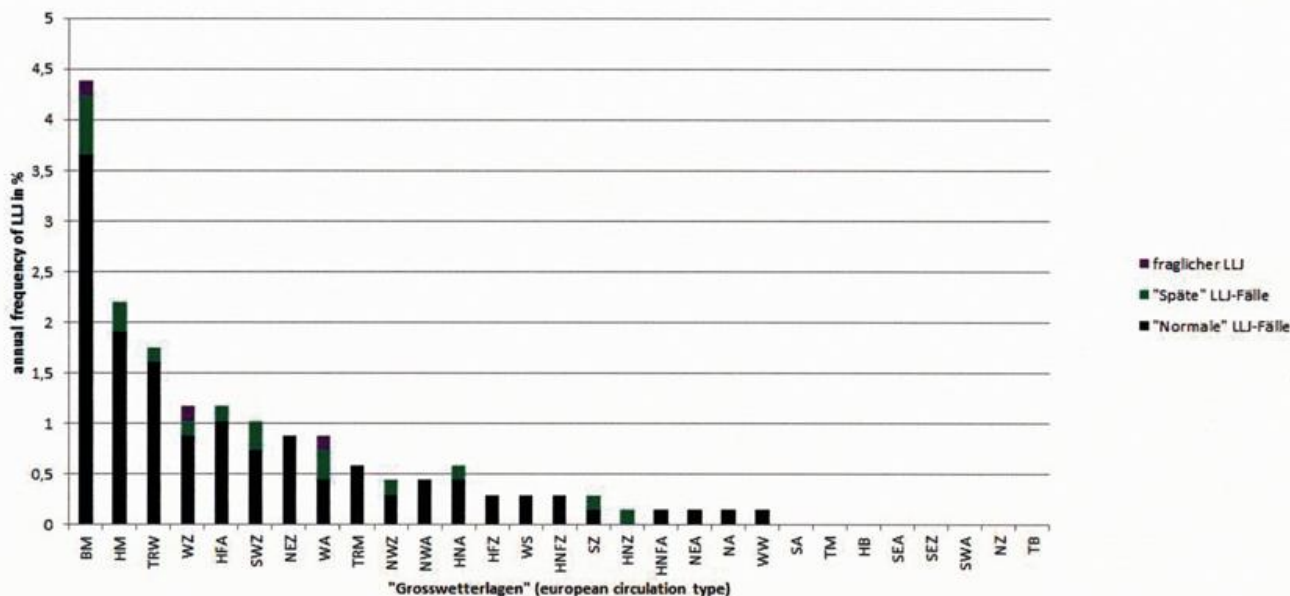


Abb. 1. Häufigkeit des Auftretens von LLJ in Prozent aller ausgewerteten Nächte nach Großwetterlagen für Augsburg für Beobachtungen in den Jahren 2008 bis 2014 (insgesamt wurden 684 Nächte ausgewertet). Schwarz: klassische LLJ, grün: durch Alpines Pumpen ausgelöste LLJ, lila: unklare Fälle.

Der Beitrag zeigt die Eignung bodengestützter Fernmessverfahren wie Sodar, RASS oder Windlidar, die Wind- und Schichtungsphänomene in der atmosphärischen Grenzschicht im Laufe des Tages zu beobachten und ausreichend Informationen für deren Interpretation zu liefern.

EMEIS, S., 2014: Wind speed and shear associated with low-level jets over Northern Germany. Meteorol. Z. 23, 295-304.

EMEIS, S., SCHÄFER, K., MÜNKEL, C., 2009: Observation of the structure of the urban boundary layer with different ceilometers and validation by RASS data. Meteorol. Z. 18, 149-154.

EMEIS, S., SCHÄFER, K., MÜNKEL, C., FRIEDL, R., SUPPAN, P., 2011: Evaluation of the interpretation of ceilometer data with RASS and radiosonde data. Bound.-Lay. Meteorol. 143, 25-35.

LUGAUER, M., WINKLER, P., 2005: Thermal circulation in South Bavaria – climatology and synoptic aspects. Meteorol. Z. 14, 15-30.

## Regional Air Quality Forecast and Analysis with EURAD-IM Embedded in the Copernicus Core and Downstream Atmospheric Service

*Elmar Friese<sup>1)</sup>, Hendrik Elbern<sup>1,2)</sup>*

*1) Rhenish Institute for Environmental Research at the University of Cologne, Aachener Str. 201-209, 50931 Köln, [ef@eurad.uni-koeln.de](mailto:ef@eurad.uni-koeln.de), [he@eurad.uni-koeln.de](mailto:he@eurad.uni-koeln.de)*

*2) Institute for Energy and Climate Research 8 (Troposphere), Research Centre Jülich*

The European Copernicus programme, previously known as Global Monitoring for Environment and Security (GMES), is an EU-wide flagship programme that aims to support policymakers, economy and citizens with enhanced environmental information. Copernicus is expected to evolve towards a full operational status in 2014-15.

The Rhenish Institute for Environmental Research (RIU) as partner in the atmospheric Copernicus services MACC I-III (Monitoring of Atmospheric Composition and Climate) and its precursor projects contributes to the Copernicus Core Atmospheric Service with daily air quality forecasts and analyses for Europe. Downstream services for Middle Europe and the Ruhr Area in Northrhine-Westfalia were developed in the GMES project PASODOBLE. RIU provides environmental information by combining air quality modeling and observational data like satellite retrievals and in situ data by advanced data assimilation techniques. Three operational services have been set up, which provide daily 96/72h air quality forecasts and analyses of the previous 24 hours for different regions with specific horizontal resolutions:

- Europe with a horizontal resolution of 15 km
- Middle Europe with 5 km horizontal resolution
- Rhein-Ruhr-Area with 1 km horizontal resolution

AQ forecasts and analyses are produced with the comprehensive Eulerian Chemistry Transport Model EURAD-IM (Memmesheimer et al., 2004, Friese and Ebel, 2010). EURAD-IM includes 3d-var and 4d-var chemical data assimilation (Elbern et al., 2007) and is able to run in nesting mode. As meteorological driver the Weather Research and Forecasting (WRF) Model is applied. To provide the air quality analysis, EEA near real time surface in situ observations, NO<sub>2</sub> column retrievals from OMI and GOME-2, and MOPITT CO profiles are assimilated each hour using intermittent 3d-var. Special events like Sahara dust outbreaks or wild fires are captured due to the use of products from the Copernicus Atmospheric Service: boundary values of gases and aerosols are taken from the coupled meteorological and chemical C-IFS forecast operated at the ECMWF, and wild fire emissions are provided by the Global Fire Assimilation System GFAS (Kaiser et al., 2012). A further product of the EURAD-IM air quality service addressing human health is the provision of birch pollen forecasts. Pollen forecasts for olive, grass, and ragweed are under development.

The presentation of service products is internet-based and the service for each region consists of

- Hourly 2d-images and 2d-images of daily mean and daily maximum of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, and PM<sub>2.5</sub> for forecast days D+0, D+1, and D+2 and for the D-1 analysis.
- Animations with flow overlays for NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, temperature and relative humidity.
- Meteo-/Chemograms for selected cities.
- Validation products.

Figure 1 shows example of these service components. The services are accessible through the website <http://eurad.uni-koeln.de>. All services include a comprehensive evaluation that consists of time-series of skill scores for hourly concentrations, daily average, and the weekly cycle of several air pollutants, and plots of satellite column retrievals derived from the air quality analysis and forecast. The components of the validation process are regularly produced on a daily basis and public accessible on the service website. Due to supported computational operation on two independent platforms, ECMWF and Research Center Jülich and the application of a sophisticated scheduling system, the air quality services proved to perform highly reliable on a 24 hours over 7 days a week level.

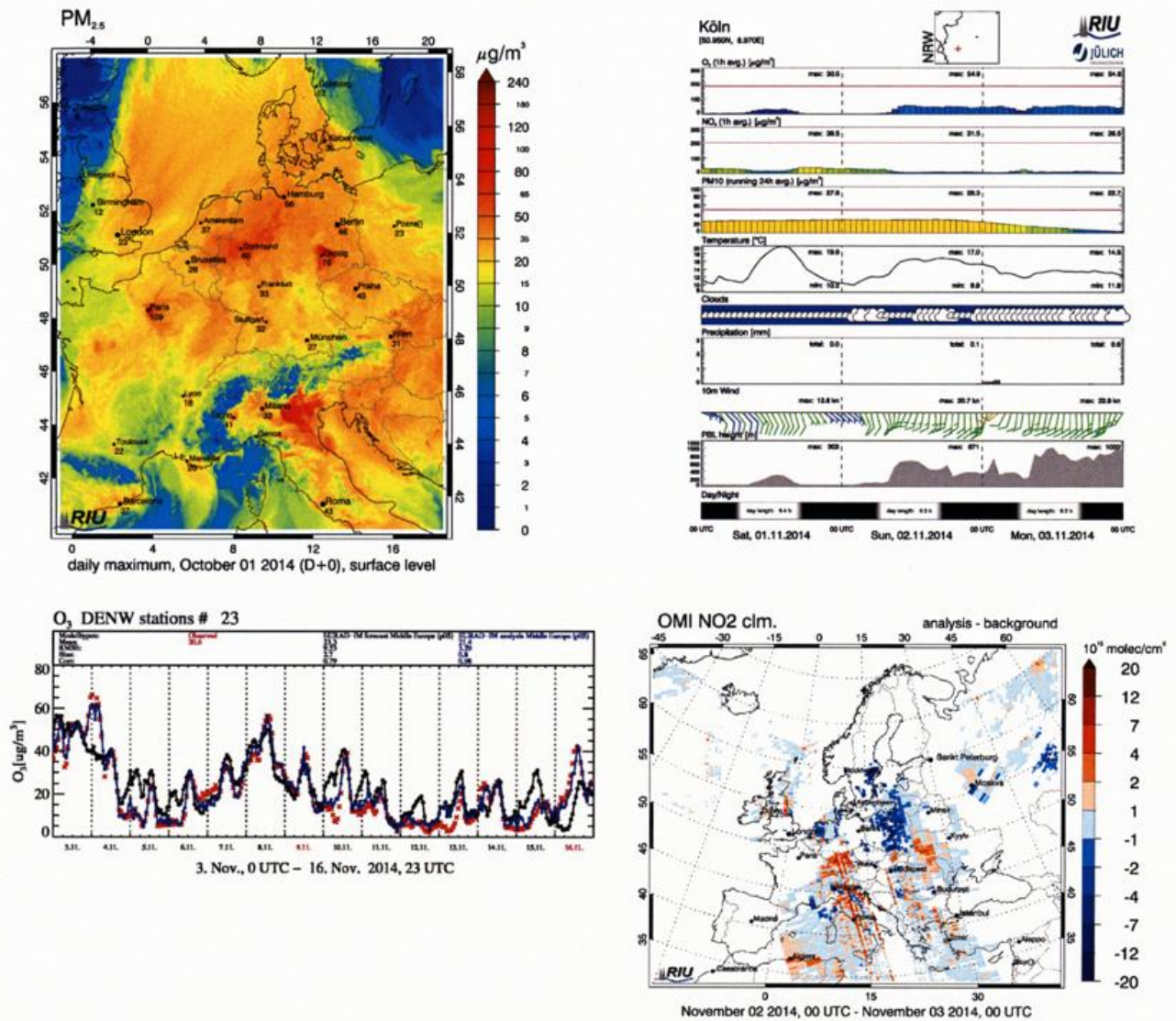


Figure 1: examples of the EURAD-IM air quality service. Upper panel: forecast products, lower panel: validation products. Upper left: forecast of the PM<sub>2.5</sub> daily maximum for October 1, 2014 for Middle Europe with 5 km horizontal resolution. Upper right: Meteo-/Chemogram for Köln derived from the 1 km forecast for the Rhein-Ruhr-Area. Lower left: Ozone time series for November 3 to 16, 2014 averaged over measurement sites in NorthRhine Westfalia, red: observations, black: forecast, blue: analysis. Lower right: analysis minus background model equivalents of OMI NO<sub>2</sub> column retrievals for November 2, 2014.

Elbern, H., Strunk, A., Schmidt, H., and Talagrand, O., 2007: Emission rate and chemical state estimation by 4-dimensional variational inversion, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 3749-3769.

Friese, E. and Ebel, A., 2010: Temperature dependent thermodynamic model of the system H<sup>+</sup>-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Na<sup>+</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Cl<sup>-</sup>-H<sub>2</sub>O, *J. Phys. Chem. A*, 114, 11595-11631.

Memmesheimer, M., Friese, E., Ebel, A., Jakobs, H.J., Feldmann, H., Kessler, C., and Piekorz, G., 2004: Long-term simulations of particulate matter in Europe on different scales using sequential nesting of a regional model, *Int. J. Environm. and Pollution*, 22, (1-2), 108-132.

## **Evaluierung von Global- und Direktstrahlungsvorhersagen des ECMWF - insbesondere auch von Strahlungsvorhersagen basierend auf den neuen MACC Aerosolvorhersagen**

*Marion Schroedter-Homscheidt<sup>1</sup>, Niels Killius<sup>1</sup>, und Angela Benedetti<sup>2</sup>*

*1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen*

*2) European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Reading, Großbritannien*

Vorbemerkung: Angesichts der internationalen Ko-Autorenschaft reichen wir diesen Abstract in englischer Sprache ein – der Vortrag wird selbstverständlich auf Deutsch gehalten werden.

Solar surface irradiance forecasting is of major importance for the management of the solar energy capacities providing larger shares of our electricity supply due to the energy system transition process. Especially, applications from the grid management sector require intra-day and day-ahead irradiance forecasts in hourly resolution. Any operation strategies for electricity grids and the electricity trading will take such forecasting into account in future. We evaluate the leading irradiance forecasts provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) with respect to scattered cloud situations and strong aerosol load conditions being most relevant for forecasting of large solar shares in the grid.

Photovoltaics and non-concentrating solar thermal technologies require mainly global horizontal irradiance (GHI) forecasts but also together with good knowledge on the direct/diffuse irradiance split for the calculation of irradiance on tilted surfaces. Nowadays numerical weather prediction schemes typically provide global irradiances only, but mostly no direct normal irradiance (DNI) forecasts. The ECMWF has recently changed its output variable selection in order to include direct irradiances. Additionally, the European Copernicus program MACC project's near-real time services provide daily analysis and forecasts of various parameters based e.g. on new aerosol properties. The operational ECMWF/IFS forecast system will profit on the medium term from the MACC aerosol forecasts.

This evaluation is done at the Plataforma Solar de Almeria (PSA) and twelve BSRN stations within the Meteosat Second Generation satellite's field of view. The availability of satellite data allows the discrimination of scattered cloud cases from overcast cloud cases and cloud free situations in the evaluation. It was found that the inclusion of the new aerosol climatology in October 2003 improved both the GHI and DNI forecasts remarkably, while the change towards a new radiation scheme in 2007 had only minor and partly unfavorable impacts on the performance indicators. For GHI, larger RMSE values are found for broken/overcast conditions than for scattered cloud fields. For DNI, the findings are opposite with larger RMSE values for scattered clouds compared to overcast/broken cloud situations. The new aerosol capabilities improve DNI forecasts in clear sky cases, but cloudy cases are even getting worse.

## Supporting Environmental Meteorology with Land Surface Parameters derived from Earth Observation Data.

*Thomas Esch<sup>1)</sup>, Wieke Heldens<sup>1)</sup>, Julian Zeidler<sup>1)</sup>, Saskia Buchholz<sup>2)</sup>, Meinolf Kossmann<sup>2)</sup>*

*1) German Aerospace Center, Department German Remote Sensing Data Center, Münchner Straße 20, 82234 Wessling, Germany*

*2) Deutscher Wetterdienst, Department Climate and Environment Consultancy, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach, Germany*

Earth Observation (EO) satellites provide up-to-date, area-wide, and consistent data on the status and development of the Earth's surface. Based on EO imagery, various parameters characterising the surface type and landscape morphology can be derived in a high spatial resolution and temporal frequency. Regarding the support of environmental meteorology and corresponding modeling frameworks of all kind of temporal and spatial scales, remote sensing is particularly suited to provide standard model input related to i) land cover and land use, ii) topography, surface morphology, surface roughness, and iii) seasonal or multi-temporal land surface dynamics.

We present state-of-the-art methods for the derivation of land surface variables that show a high potential to support environmental meteorology. This includes parameters and geo-information products describing land cover and land use type, albedo, surface temperature, leaf area index (LAI), net primary productivity (NPP) of vegetation, urban fraction and settlement pattern, vegetation fraction, impervious surface fraction, built-up density, building volume, urban material types, surface roughness, or seasonal and multi-temporal surface variations and land use changes. We illustrate data sets and results generated at global scale down to regional and local scales including parameters, which characterize material types or morphological structures at the level of building blocks or even single houses. This examination of EO-based land surface parameters and indicators is complemented by concrete applications and implementations, e.g., urban morphology and land use characterization with EO for the use in urban climate models.

The insufficient availability of area-wide input data and their limited spatial and temporal resolution restricts the validity of model results derived from detailed land surface and urban parameterization schemes used for example in regional climate models. Especially the information on the third dimension is crucial for applied research on the urban scale. The availability of very high spatial resolution (30 m) global data sets is essential for applications and further developments in meteorological and climate model. With this contribution we want to enhance the scientific, but also operational exploitation of existing and emerging opportunities for environmental meteorology arising from EO techniques and data, in particular in view of the up-coming European fleet of Sentinel satellites. Therewith, we aim at stimulating novel ideas and activating discussions on where and how next generation EO-derived products can support and improve environmental meteorology.



Fig. 1: Global net primary productivity (NPP) for the year 2014, derived from SPOT-Vegetation data.

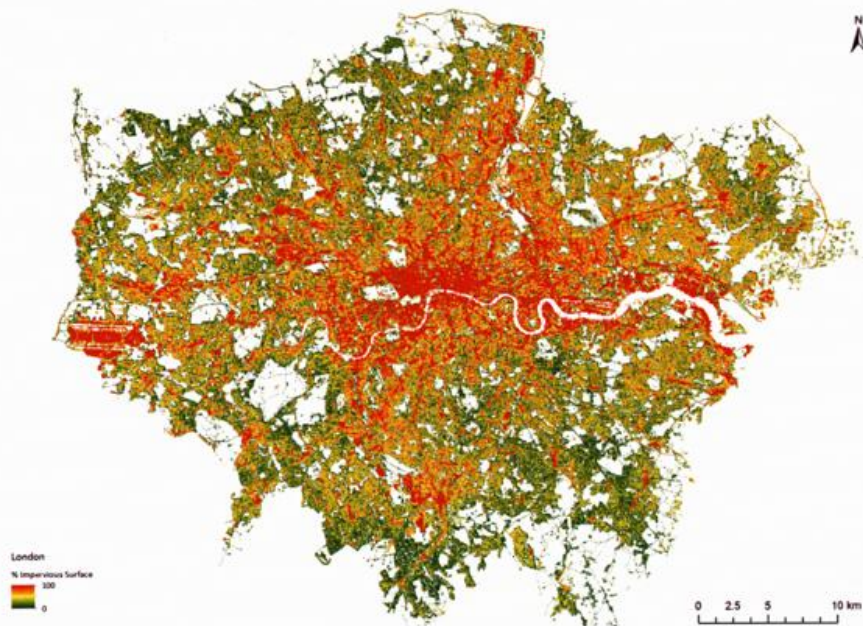


Fig. 2: Modeled imperviousness for London (UK), based on seasonality indices derived from Landsat data.



Fig. 3: Regional characterization of building volumes generated on the basis of TanDEM-X height data.

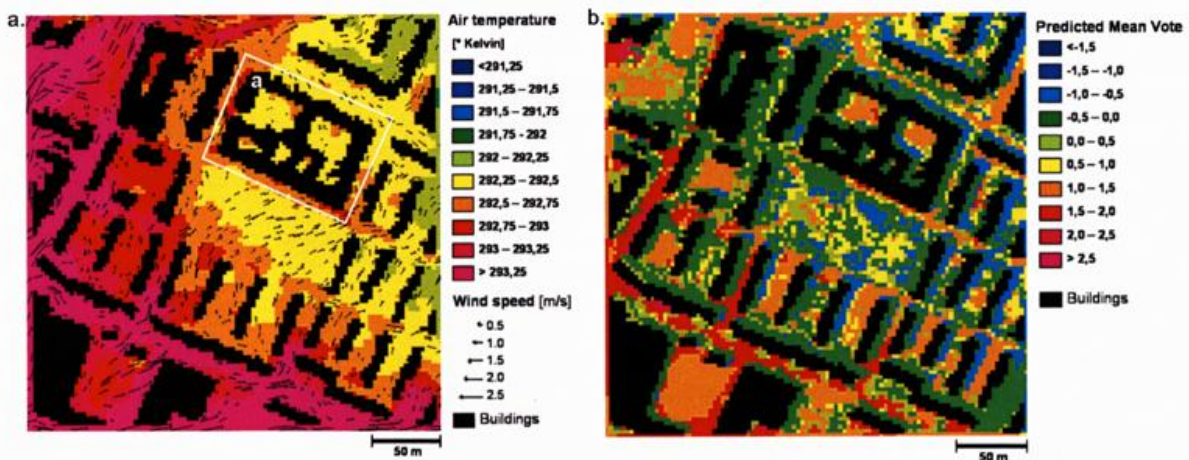


Fig. 4: Simulation results of ENVI-met model for air temperature and wind speed (a), as well as human comfort index PMV (b), using input data from remote sensing.

Session 4:  
**„Urbane und Regionale Anpassung an den  
Klimawandel“**

## Ergebnisse einer aktuellen Verwundbarkeitsanalyse Deutschlands und darauf aufsetzende Vorschläge zur Anpassung an den Klimawandel

Petra Mahrenholz, I. Schauser, P. van Rühl, A. Vetter

Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau, [petra.mahrenholz@uba.de](mailto:petra.mahrenholz@uba.de)

Im Frühjahr 2015 wird der erste Monitoringbericht zu beobachteten Klimafolgen und eingeleiteten Anpassungsaktivitäten in Deutschland veröffentlicht. Dieser Bericht geht auf Ergebnisse eines UBA-Projektes zurück, welche in Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Institutionen und Ressortforschungseinrichtungen von Bund und Ländern entstanden. Zeitgleich beendet das UBA ein Gemeinschaftsprojekt mit 16 Bundesbehörden aus neun Ressorts zur Ermittlung der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Unterstützt durch ein wissenschaftliches Konsortium wurde in einer neuen, auf Wirkungsketten aufbauenden Methodik eine Sektoren übergreifende Analyse der Vulnerabilität durchgeführt, die neben Klimaszenarien auch sozio-ökonomische Szenarien – wie die demografische Entwicklung und den Landnutzungswandel in Deutschland – sowie sektorale und sektorenübergreifende Anpassungskapazitäten berücksichtigt. Im Ergebnis entstand die bisher umfassendste Vulnerabilitätsanalyse für Deutschland, die als state of the art-Forschung gelten kann und die als wissenschaftliche Basis für den nächsten Meilenstein zur Weiterentwicklung der Deutschen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel dient. Passfähig hierzu entwickelte das UBA in Zusammenarbeit mit Dutzenden Akteuren aus Wissenschaft, Verwaltungspraxis, Unternehmen und Verbänden ein Set darauf aufsetzender Instrumente und Maßnahmen zur Anpassung, durch deren Umsetzung die ermittelten Verwundbarkeiten reduziert werden könnten. Der Vortrag gibt einen Überblick über die Methoden und Ergebnisse dieser drei Projekte, wobei der Schwerpunkt des Vortrags auf den Ergebnissen der Vulnerabilitätsanalyse mit Blick auf die unterschiedlichen räumlichen Auswirkungen des Klimawandels liegt. Bei der Diskussion von Instrumenten und Maßnahmen wird der Vortrag jene in den Mittelpunkt rücken, die für staatliche Institutionen auf regionaler und lokaler Ebene spannend sind.

### Literaturangaben

S. GREIVING, M. ZEBISCH, S. SCHNEIDERBAUER, C. LINDNER, J. LÜCKENKÖTTER, M. FLEISCHHAUER, W. KAHLNBORN and I. SCHAUSER: A consensus based vulnerability assessment to climate change in Germany. - In: International Journal of Climate Change Strategies and Management (in Veröff.).

C. KIND, A. VETTER and R. WRONSKI: Development and Application of Good Practice Criteria for Evaluating Adaptation Measures. In: W. Leal (Ed.) Handbook of Climate Change Adaptation. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.

P. MAHRENHOLZ and N. SALZBORN: Vulnerability and risks of a high impact world and adaptation approaches supporting transformative processes. (In Chinese Translation Version).- In: Zhou Ke & Cao Xia (Eds.) On the Long March to "Ecological Civilization" – Issues of Socio-Ecological Transformation, the 3rd China-EU Socio-Ecological and Legal Forum Sept. 26-27, 2013, Taiyuan, China. Beijing: Law Press China, 2014.- S. 128-143.

P. MAHRENHOLZ and A. VETTER: Klimawandel – Kommunen passen sich an. Teil III: Instrumente zur Erleichterung der Anpassung an den Klimawandel.- In: Chanc/ge (2013) 3, S. 34-36.

S. SCHNEIDERBAUER, I. SCHAUSER, M. FLEISCHHAUER, S. GREIVING, W. KAHLNBORN, C. LINDNER, J. LÜCKENKÖTTER and M. ZEBISCH: Collaborating for assessing the vulnerability to climate change in Germany – a network of science and public authorities. – In: Impacts World 2013 Conference Proceedings. Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research, pp: 861 - 867. DOI: 10.2312/ pik. 2013.001

A.VETTER and I. SCHAUSER: Anpassung an den Klimawandel : Priorisierung von Maßnahmen innerhalb der Deutschen Anpassungsstrategie.- In: Gaia 22 (2013) 4, S. 248-254.

## **Klimaanpassungsstrategien für deutsche Städte: von Modellsimulationen bis zum Beratungsinstrument für die Stadtentwicklung**

*Saskia Buchholz<sup>1)</sup>, Meinolf Kofmann<sup>1)</sup>, Marita Roos<sup>1)</sup>*

*1) Deutscher Wetterdienst, Abteilung Klima- und Umweltberatung, Frankfurter Straße 135, D-63067 Offenbach, E-Mail: Saskia.Buchholz@dwd.de*

Städte und Ballungsräume sind besonders vulnerabel gegenüber den Folgen des Klimawandels, zum einen weil die Mehrheit der deutschen und europäischen Bevölkerung in Städten lebt und zum anderen weil sie eine entscheidende Rolle für den ökonomischen und sozialen Wohlstand, einschließlich Gesundheitsvorsorge, spielen. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels z.B. an Starkregenereignisse und Hitzeperioden ist nur eine der vielen Herausforderungen die Städte heute und in Zukunft zu bewältigen haben. Dennoch wird die Notwendigkeit zur Anpassung von einer großen Mehrheit der deutschen Städte und Gemeinden gesehen. Durch die gezielte Anpassung an die Folgen des Klimawandels wird die Widerstandsfähigkeit der Städte gegenüber Klimaextremen verbessert und somit die Zukunftsfähigkeit, die Lebensqualität und die Wirtschaftskraft des Standortes gesichert.

Die Durchführung von Stadtklimauntersuchungen mit dem Ziel der Identifizierung geeigneter Anpassungsmaßnahmen ist mit hohen Kosten und hohem Personaleinsatz verbunden. Deshalb gibt es nur eine kleine Zahl von Städten in Deutschland und Europa für die Anpassungsstrategien vorhanden sind und bereits in der Planung umgesetzt werden. Insbesondere kleine und mittelgroße Städte und Gemeinden, für die keine individuellen Untersuchungen vorliegen oder finanzierbar sind, benötigen fachliche Hilfe bei der Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel.

Der Deutsche Wetterdienst unterstützt die Städte und Gemeinden indem er beispielsweise die Wirksamkeit städtebaulicher Handlungskonzepte und Maßnahmen die zu einer Reduzierung der thermischen Belastung in Städten beitragen können, mit Hilfe des mikroskaligen Stadtklimamodells MUKLIMO\_3 systematisch untersucht. Im Mittelpunkt der genannten Untersuchungen steht die Simulation der städtischen Wärmeinsel einer virtuellen Stadt (positive Temperaturdifferenz zwischen der Stadt und dem Umland, mit maximalen Werten in den Abend- und Nachtstunden). Die Bezeichnung „Virtuelle Stadt“ steht für das Konzept der idealisierten Darstellung der Stadt in einem Klimamodell. Die Heterogenität der Stadtstruktur wird auf ein Minimum beschränkt um Änderungen des städtischen Klimas aufgrund einer Anpassungsmaßnahme untersuchen zu können.

Um die Sensitivität der städtischen Wärmeinsel und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen zu untersuchen, werden eine Vielzahl von Experimenten durchgeführt die sich vom Referenzlauf jeweils in der Änderung einer Einflussgröße unterscheiden. Verschiedenartige städtische Bebauungsstrukturen, Grün- und Wasserflächen werden auf ihre Eignung zur Entlastung der lokalen und städtischen Überwärmung untersucht. Änderungen der Stadtgröße, des Versiegelungsgrades und der Bebauungsdichte werden ebenso berücksichtigt wie die physikalischen Eigenschaften verschiedener Oberflächen (z.B. Albedo und Wärmespeicherkapazität). Die klimatische Wirkung der Anpassungsmaßnahmen wird für eine typische sommerliche Wettersituation im Juli berechnet. Um die Wirkung einzelner Anpassungsstrategien auf das thermische Befinden eines Menschen zu übertragen wird zusätzlich zur Beurteilung der Lufttemperatur auch die „Gefühlte Temperatur“ berechnet.

Aufbauend auf den Ergebnissen der systematischen und idealisierten Stadtklimasimulationen entwickelt der Deutsche Wetterdienst eine interaktive Webanwendung (nationale Klimadienstleistung) zur Unterstützung der Städte und Gemeinden bei der Maßnahmenplanung zur Minderung der Wärmebelastung in Städten. Die Webanwendung wird bereits bestehende Angebote für den Sektor Stadt- und Raumplanung ergänzen und konkretisieren.

## **Städtebauliche Instrumente zur Sicherstellung einer klimagerechten Innenentwicklung am Beispiel Stuttgart**

*Ulrich Reuter\*, Rainer Kapp*

*Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie  
\*ulrich.reuter@stuttgart.de*

Vor dem Hintergrund des regionalen Klimawandels in Mitteleuropa stellt Hitze ein Problem hinsichtlich des Aufenthalts von Menschen im städtischen Raum dar. Infolge der Intensivierung von Hitze und des demographischen Wandels, der die Risikogruppe der Senioren anwachsen lässt, wird dessen Bedeutung sogar noch zunehmen. Zu den verschiedenen möglichen Maßnahmen im Umgang mit Hitze zählen auch planerische Lösungen, die einen präventiven Charakter haben. Sie dienen der klimawandelangepassten Umgestaltung von städtischen Räumen insbesondere auch im Rahmen eines gesetzlich geforderten Innenentwicklungsvorrangs.

In Stuttgart wurde 2011/2012 das Stuttgarter Klimawandelanpassungskonzept KLIMAKS erarbeitet und vom Gemeinderat verabschiedet. Es enthält derzeit 53 Maßnahmen aus allen Anpassungsbereichen, insbesondere aber auch aus dem Bereich der Stadtentwicklung/-planung. Viele dieser Maßnahmen werden schon umgesetzt als eine logische Folge oder Weiterentwicklung jahrzehntelanger Bemühungen im Bereich Stadtklimatologie zur nachhaltigen Stadtentwicklung. Die Umsetzung lässt sich nur in enger konstruktiver Zusammenarbeit mit der Stadtplanung/-erneuerung bewirken.

Aktuell wird die in Stuttgart etablierte Informationsplattform „Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart“ (NBS, ca. 350 Bauflächen im Bestand) um einen „Klimaplanungspass Stuttgart“ (KlippS) als Grundlage für weitere planerische Entscheidungen erweitert. Dieser Pass soll Auskunft über die klimatischen Rahmenbedingungen am jeweiligen Standort geben. Innerhalb eines Förderprojektes (KLIMOPASS) wurde dazu gemeinsam mit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Meteorologie und Klimatologie ein humanbiometeorologisches Screening-Verfahren zur Bewertung des thermischen Komforts von innerstädtischen Flächen entwickelt und testweise auf Bauflächenpotenziale in Stuttgart angewendet. Nach entsprechender Auswertung erfolgt dann sukzessive die Erstellung der Klimaplanungspässe sowie die Implementierung der entsprechenden Inhalte in die NBS-Datenbank bzw. in das städtische GIS.

Wesentliche Vorteile dieses neuen Verfahrens sind zum einen die abgestufte Vorgehensweise mit der mithilfe einer standardisierten transparenten Methode frühzeitig Leitplanken gezogen werden können, zum anderen die flächendeckende einheitliche Ermittlung der Notwendigkeit vertiefender Untersuchungen (numerische Simulationen), deren Ergebnisse dann wiederum die konkrete Planung mit steuern (Variantenauswahl und -optimierung). Die Durchführung dieser Simulationen und deren Auswertung bedeuten allerdings nach wie vor einen nicht unerheblichen Zeitaufwand und verlangen viel Erfahrung.

Weiterhin wurde ein Rahmenplan „Halbhöhenlagen“ erarbeitet zur Sicherstellung von Frisch-/Kaltluftabfluss in die Innenstadt. Neben seiner Aufgabe zur Entwicklung und Umsetzung städtebaulicher Ziele versteht sich der Rahmenplan Halbhöhenlagen deshalb als lokaler Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel und zu einer ausgewogenen, nachhaltigen und somit qualifizierten Innenentwicklung.

Für den dicht bebauten Stuttgarter Westen ist ein Rahmenplan „Talgrund“ in Arbeit, der den Wärmeeintrag vermindern und die nächtliche Abkühlung fördern soll. Als Einzelmaßnahmen vorgesehen sind dabei beispielsweise verbesserte Grünausstattung/Grünvernetzung, Straßenbäume entlang Gebäudesüdseite, Gebäudeblockoptimierung, strukturelle Anpassungen zur Verbesserung der Durchlüftung bzw. hinsichtlich der Eindringtiefe nächtlicher Kaltluftströme. Die Stärke dieses Planungsinstruments liegt in seiner engen Verknüpfung von Umweltbelangen mit den zu berücksichtigenden städtebaulichen Erfordernissen. Gleichzeitig trägt es dem Umstand Rechnung, dass eine isolierte stadtklimatische Begutachtung kleinerer

Einzelbauvorhaben auf Probleme der Maßstabsgröße stößt, wenn die durch das Bauvorhaben zu erwartenden Veränderungen quantitativ beschrieben werden sollen.

Ein Rahmenplan schafft grundsätzlich keine veränderte Rechtslage, aber bei entsprechender Akzeptanz dieses (nicht förmlichen) Planungsmittels durch die Immobilienwirtschaft kann die Gemeinde mit vertretbarem Aufwand großflächig ihre städtebaulichen Zielsetzungen transparent und operabel machen. Dies setzt eine fixierte aktuelle städtebauliche Konzeption voraus, die gleichzeitig abwägungsfehlerfrei förmlich planbar sein muss, damit städtebauliche Vertretbarkeit gegeben sein kann.

Zur Verbesserung der Qualitäten im Bestand wurden in Stuttgart stadtspezifische Förderprogramme entwickelt und aufgelegt.

Ergänzend zu diesen präventiven planerischen Maßnahmen konnte durch ein weiteres Förderprojekt (HITWIS) auch die Optimierung des Stuttgarter Heizwarnsystems durchgeführt werden, so dass im Bedarfsfall schneller und effizienter informiert und gehandelt werden kann.

Im Vortrag werden die Instrumente und erste Erfahrungen mit deren Anwendung vorgestellt.

# Anpassung an den Klimawandel in München Grundlagen und kommunale Umsetzungsstrategie

Veronika Wirth<sup>1</sup>, Werner Bründl<sup>1</sup>, Ulrich Teichmann<sup>1</sup>, Meinolf Kossmann<sup>2</sup>

1) Landeshauptstadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt, Umweltvorsorge, Luftreinhaltung im Verkehr und Stadtklima, [lrp.rgu@muenchen.de](mailto:lrp.rgu@muenchen.de)

2) Deutscher Wetterdienst, Zentrales Klimabüro, Offenbach

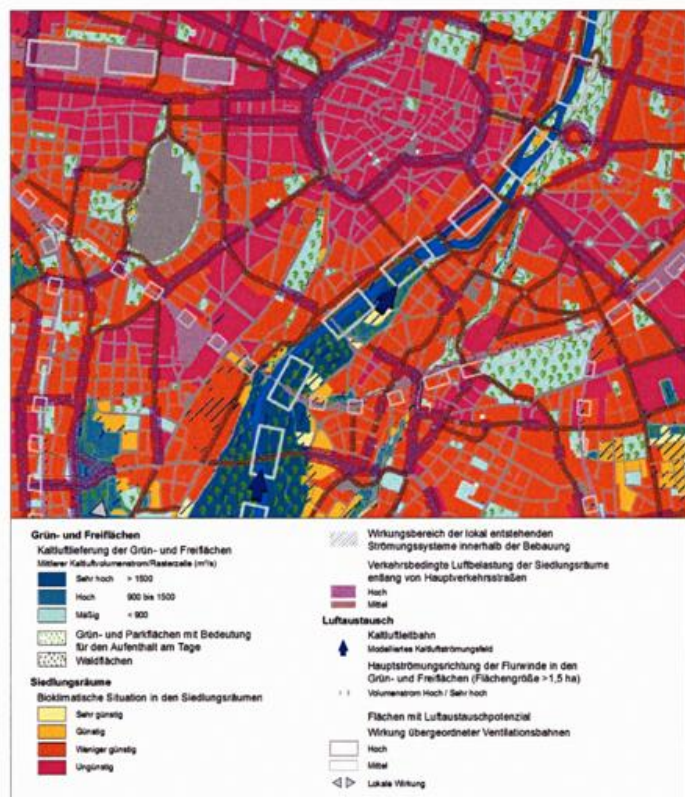
## Einleitung

Das Thema Anpassung an den Klimawandel wird für Kommunen immer wichtiger: Städte müssen sich auf veränderte klimatische Rahmenbedingungen einstellen. Auch in der Landeshauptstadt München (LH München) ist diese Thematik von Bedeutung (LH MÜNCHEN 2013, 2014a). Der Stadtrat beauftragte das Referat für Gesundheit und Umwelt mit der Entwicklung eines Maßnahmenkonzepts zur Anpassung an den Klimawandel in enger Zusammenarbeit mit den betroffenen städtischen Akteuren.

## Datengrundlagen

Für die Analyse des Ist-Zustandes wurde eine Stadtklimaanalyse erstellt (LH MÜNCHEN 2014b). Modelliert wurden folgende meteorologische Größen: Lufttemperatur in 2m Höhe über Grund (14:00, 22:00, 4:00), nächtliche Abkühlung, bioklimatische Situation während einer austauscharmen Strahlungsnacht, Kaltluftvolumenstrom (22:00, 4:00), autochthones Strömungsfeld und Windgeschwindigkeiten (22:00, 4:00). Die Ergebnisse wurden in einer Analysekarte der klima- und immissions-ökologischen Funktionen für das Stadtgebiet - Klimafunktionskarte aggregiert (s. Abb. 1). Zudem wurde eine stadtklimatische Bewertungskarte erstellt.

*Abb. 1: Ausschnitt Analysekarte der klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Stadtgebiet München (LH MÜNCHEN 2014b)*



Um Aussagen für die Zukunft treffen zu können, ist die LH München eine Kooperation mit dem deutschen Wetterdienst eingegangen. Der DWD erstellt auf Basis von Simulationen mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO\_3 und regionalen Klimasimulationen eine Klimaprojektion auf der städtischen Skala für die nächsten 50 Jahre. Vorgesehen ist hierbei, das MUKLIMO\_3 Modell mit dem regionalen COSMO-CLM Modell zu koppeln, um das so genannte „alpine Pumpen“ zu berücksichtigen, eine regionale thermische Ausgleichsströmung zwischen den Alpen und dem Alpenvorland, die bei austauscharmen Situationen nachts kühle Luft bis in das Stadtgebiet von München führt (KOSSMANN et al. 2014, GRAF 2014, MÜHLBACHER et al. 2015).

Für das Münchner Stadtgebiet liegen auch Daten aus den früheren Untersuchungen von STADTKLIMA BAYERN (BRÜNDL et al. 1986) vor.

### **Vorgehensweise zur Entwicklung einer kommunalen Umsetzungsstrategie**

Eine Veränderung des Klimas betrifft zahlreiche Lebens- und Arbeitsbereiche. Daher wurde ein breiter Prozess gestartet und eine geeignete Arbeitsgruppenstruktur entwickelt: eine Projektgruppe zur Steuerung des Prozesses und fünf thematische Arbeitsgruppen (AGs), abgestimmt auf fachlicher und organisatorischer Ebene: AG Stadtentwicklung und Grünräume (Quartiersebene), AG Stadtgrün und Gebäude (Objektebene), AG Wasser und Niederschlag, AG Landnutzung und Naturhaushalt sowie AG Gesundheit. Insgesamt wurden 16 Dienststellen der LH München einbezogen. In den Projekt- und Arbeitsgruppen wurden bereits einige Ergebnisse erarbeitet, die in der Folge dargestellt werden.

### **Ergebnisse**

Die erwarteten thermischen Veränderungen führen zu Auswirkungen auf verschiedene Arbeitsbereiche der LH München, in der Folge sind einige Beispiele genannt (Auswirkungen durch veränderte Niederschlagsmuster werden in diesem Artikel nicht betrachtet, da die Arbeiten erst im Anfangsstadium sind). Die erwartete Zunahme von Hitzeextremen und längere Dauer von Hitzeperioden führt zu zunehmendem Hitzestress und zu ungünstigeren Wohn- und Arbeitsverhältnissen insbesondere in dicht bebauten Bereichen. Zudem ist München eine sehr stark wachsende Stadt: Prognosen gehen von einer Bevölkerungszunahme von rund 200.000 Einwohnern in den nächsten 20 Jahren aus. Wohnbauflächen werden auf innerstädtischen Konversionsflächen, am bisherigen Stadtrand sowie durch Nachverdichtung geschaffen. Die Veränderung der thermischen Verhältnisse führt auch u.a. zu gestiegenen Anforderungen an Grünflächen (Luftaustausch, Aufenthaltsqualität aus klimatischer Sicht an heißen Tagen und unter Berücksichtigung des ganzen Jahres, veränderte Freiraumnutzung). Weiterhin wird eine verminderte Vitalität der Stadtbäume erwartet (Veränderung der Standorteigenschaften, Schädlingsbefall).

In der LH München werden bereits Maßnahmen umgesetzt, die der Anpassung an veränderte thermische Verhältnisse dienen. Beispiele sind unter anderem Bebauungspläne, bei deren Aufstellung klimatische Untersuchungen auf mikroklimatischer Ebene gefordert und berücksichtigt werden, Maßnahmen zur Sicherung und Vernetzung der Grünflächen, Gebäudesanierungen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes, Förderprogramme zur Begrünung und Entsiegelung sowie eine Verbesserung der Baumstandorte. Allerdings sehen alle Arbeitsgruppen Bedarf zu weitergehenden Maßnahmen bzw. Weiterentwicklung bestehender Maßnahmen.

### **Bisherige Erfahrungen - Wünsche der Planer und Akteure in der Umsetzung**

Fundierte und belastbare Datengrundlagen sind ein wesentlicher Beitrag zur Bewusstseinsbildung und eine Entscheidungsgrundlage für die städtischen Akteure. Die stadtklimatischen Belange finden in der Abwägung aufgrund des enormen Siedlungsdrucks und der in der Regel nur allgemeinen („weichen“) rechtlichen Festsetzungen in der Abwägung oft keine bzw. nur eine nachrangige Berücksichtigung. Eine große Herausforderung ist derzeit: wie können unter dem Druck der Nachverdichtung bestmögliche stadtklimatische Bedingungen erhalten werden bzw. geschaffen werden?

### **Literatur**

BRÜNDL, W., MAYER, H., BAUMGARTNER, A., 1987: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten – STADTKLIMA BAYERN. Abschlussbericht zum Teilprogramm Klimamessungen in München. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Materialien 43, München.

GRAF, M., 2014: Identifizierung und Klimatologie des alpinen Pumpens aus einer regionalen Klimasimulation, Bachelor-Arbeit an der Katholischen Universität Eichstätt, 67 S.

KOSSMANN, M., TRUSILOVA, K., MÜHLBACHER, G., GRAF, M., 2014: Alpine pumping and urban climate in the alpine foreland. Proceedings of the 7th Japanese German Urban Climate Meeting, 06-10 October 2014, Hannover, 6 S.

LH MÜNCHEN 2013: Beschluss der Vollversammlung des Stadtrats vom 27.11.2013, Vorlagen-Nr. 08-14 / V13228

LH MÜNCHEN 2014a: Beschlussvorlage für die Vollversammlung des Stadtrat am 17.12.2014, Vorlagen-Nr. 14-20 / V 01810

LH MÜNCHEN 2014b: Stadtklimaanalyse Landeshauptstadt München. Erstellt von GEO-NET. 61 S.

MÜHLBACHER et al. 2015: Alpines Pumpen: Messungen. eingereicht als Poster, METTOOLS IX.

## Mitigation of heat stress for pedestrians by different green scenarios: numerical simulations for a residential district in Freiburg (Southwest Germany)

*Hyunjung Lee, Helmut Mayer*

*Chair of Meteorology and Climatology, Albert-Ludwigs-University of Freiburg, Werthmannstr. 10, D-79098 Freiburg, email: hyunjung.lee@meteo.uni-freiburg.de*

Simulations of regional climate change in Central Europe project not only an enhancement of the near-surface air temperature  $T_a$ , but also an increase in the frequency, intensity and duration of embedded heat waves. Combined with the demographic change, which leads to a higher fraction of the risk group "elderly people", this future atmospheric situation presents urban planning with the challenge, to develop and apply methods in a preventive way in order to mitigate the regionally predetermined heat stress on the local urban scale for pedestrians. Several investigations have shown that the promotion of urban green turns out to be as particularly effective to achieve mitigation aims under the point of view of urban human-biometeorology.

Against this background specific numerical simulations by use of the ENVI-met model, version 4.0 BETA - including the sub-module BioMet, version 1.0, for the calculation of the physiologically equivalent temperature PET as a thermo-physiologically assessment index - were conducted in a residential district in Freiburg, a mid-size city in Southwest Germany. Their general aim was to quantify the potential of three different green scenarios for the maintaining of thermal comfort for pedestrians during severe heat. The current situation in this district characterised by regularly arranged three-storey buildings in E-W and N-S orientation, street canyons in the same directions, grassland and trees represents scenario A. In scenario B, only all trees were removed. Thus, buildings, streets and grassland remained. In scenario C, the complete urban green was removed, i.e. the urban district consisted of only buildings and asphalt surfaces.

Severe heat is described by  $T_a$  and the soil surface temperature  $T_s$  in terms of meteorology, while human heat stress is quantified by the mean radiant temperature  $T_{mrt}$  and PET in terms of urban human-biometeorology. For each of the three scenarios, the simulations were performed on a clear-sky day (27 July 2009), which is characteristic for the current summer in Central Europe, and a day (4 August 2003) within the severe heat wave in August 2003. It exemplarily represents the future thermal conditions in Central Europe due to regional climate change.

On 27 July 2009, additional experimental investigations on human thermal comfort were carried out at five sites within this residential district. Their results enabled the validation of the  $T_a$ ,  $T_{mrt}$  and PET simulation results for the scenario A.

For each of the three scenarios, the simulations provide  $T_a$ ,  $T_s$ ,  $T_{mrt}$  and PET results in different spatial scales. They were averaged over the period 10-16 CET as it represents the typical time scale of outdoor heat for Central European city dwellers on clear-sky summer days. The spatially detailed results are analysed on the micro-scale as well as for selected sectors, e.g. both sidewalks of an E-W oriented street canyon.

The essential results of this investigation are:

- The validation of simulation results show that the ENVI-met model, version 4.0 BETA, including the sub-module BioMet, version 1.0, is capable of simulating heat and human thermal comfort outdoors in terms of  $T_a$ ,  $T_{mrt}$  and PET on a hot summer day quite well. Weaknesses of previous versions of ENVI-met are eliminated to a great extent in its version 4.0 BETA.
- Taking account of the different characteristic time scales of  $T_a$ ,  $T_s$ ,  $T_{mrt}$  and PET, the magnitude of their spatial and temporal intra-urban variations enables the estimation of the mitigation potential for local heat by different land use scenarios.

- For the analysed land use scenarios, grassland areas instead of asphalt contribute to a stronger reduction of mean  $T_a$  in the daytime than the addition of trees to grassland.
- The shading effect of trees leads to a stronger reduction of mean  $T_{mrt}$  in the daytime than the replacement of asphalt by grassland. At night, trees cause a slight increase of mean  $T_{mrt}$ , while it is reduced through the replacement of asphalt by grassland.
- For inland cities in Central Europe, PET is mostly governed by  $T_{mrt}$  on clear-sky summer days. Therefore, trees lead to a stronger reduction of mean PET in the daytime than the replacement of asphalt by grassland. At night, the replacement of asphalt areas by grassland causes slightly lower mean PET values.
- Within the investigation area, daytime heat stress for pedestrians is strongest for all analysed land use scenarios at the S-facing sidewalk and lowest at the N-facing sidewalk.
- Shading the direct solar radiation by tree canopies represents the most effective local method to mitigate severe daytime heat for pedestrians at the S-facing sidewalk. It leads to a lowering of human thermal sensation by two levels from "hot" to "slightly warm" (ASRAE thermal sensation scale).
- PET and  $T_{mrt}$  show a relatively close correlation both in the day- and in the night-time, while PET and  $T_a$  are closely correlated only in the night-time. This confirms results of other investigations that despite the tendency of many researchers to focus on  $T_a$ , the radiant exchange represents the dominant factor affecting human thermal comfort during severe heat.
- Due to the strong dependence of PET on  $T_{mrt}$  on a heat wave day, the estimation of PET by a multiple regression including  $T_{mrt}$  and  $T_a$  as independent variables does not lead to distinctly more reliable results than by a linear regression using only  $T_{mrt}$  as independent variable.

## **Relevance of geometry and other basic parameters of urban trees on conditions of water and heat stress in long lasting heat waves – a simulation approach**

*Helge Simon<sup>1)</sup>, Prof. Dr. Michael Bruse<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> *Environmental Modelling Group, Department of Geography - Johannes Gutenberg University Mainz  
[simonhe@uni-mainz.de](mailto:simonhe@uni-mainz.de)*

<sup>2)</sup> *Environmental Modelling Group, Department of Geography - Johannes Gutenberg University Mainz  
[bruse@uni-mainz.de](mailto:bruse@uni-mainz.de)*

Many studies indicate that climate change will lead to an increased amount and a higher intensity of severe heat waves and dry spells. These extreme conditions will be even more concerning in urban areas where increased heat loads due to the density of urban structures and the amount of sealed surfaces are issues already. Many climate change adaptation strategies developed these days advice to introduce more so called “green technologies” into the urban structure to mitigate the effects of the urban heat island and to increase thermal comfort. Vegetation in general and trees in particular, however, will only fulfil their intended beneficial effects on the microclimate under unstressed biological conditions. Conditions typical of heat and dry waves such as limited soil water supply and increased air temperatures, on the other hand, impede the biological active complex and lead to water and heat stress of the vegetation. In conditions like these, the desired effects of the green technologies are significantly reduced, and even damages to the trees may occur.

This article will analyse how plant vitality and consequently the effectiveness of vegetation is influenced by basic parameters like plant geometry, leaf area density, and root distribution. In order to do so, the microclimate model ENVI-met is used to model various trees and to simulate plant-water-atmosphere processes in long lasting heats waves and for varying microclimate sites in a typical urban environment. The simulation results show that the complex combination of microclimate parameters, plant geometry, and leaf area density does indeed have a significant impact on plant water stress and vitality and thus the beneficial effects of plants with regard to the attenuation of the urban heat island.

## Beiträge des Deutschen Wetterdienstes zum Projekt KLIMPRAX – Geplante Arbeiten und erste Ergebnisse

Heike Noppel<sup>1</sup>

1) Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, D-63067 Offenbach, Heike.Noppel@dwd.de

Nach den Einschätzungen des Weltklimarats wird sich die durch Klimamessungen belegte globale Erwärmung in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen (IPCC, 2013). Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung werden deshalb immer wichtiger, wobei vor allem die Anpassungsmaßnahmen in erster Linie lokal erfolgen müssen. Kommunen stehen daher vor der Herausforderung dies bei der Stadtplanung ausreichend zu berücksichtigen.

Ziel des vom Hessischen Landesamt für Geologie und Umwelt (HLUG) initiierten Projektes KLIMPRAX (Klimawandel in der kommunalen Praxis) ist deshalb, die Folgen der Klimaänderungen in Städten und Gemeinden zu identifizieren und kommunale Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen. Ein erster Schritt ist dabei die Erarbeitung eines Beispiels zur praxisgerechten Klimaanpassung in Kommunen, das Projekt „KLIMPRAX Wiesbaden/Mainz“.

Projektpartner sind neben dem HLUG/Fachzentrum Klimawandel und den beiden Landeshauptstädten Wiesbaden und Mainz auch das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht des Landes Rheinland-Pfalz, das Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimafolgenforschung und der Deutsche Wetterdienst (DWD). In enger Zusammenarbeit sollen das aktuelle und zukünftige Stadtklima untersucht werden, der Handlungsbedarf ermittelt sowie Empfehlung für die kommunale Praxis formuliert werden. Ziel ist dabei auch die Weiterentwicklung sowohl der meteorologischen Untersuchungsmethoden als auch der Planungsstrategien der Städte.

„KLIMPRAX Wiesbaden/Mainz“ umfasst mehrere Arbeitspakete. Der Schwerpunkt des Beitrages des DWD liegt in den Arbeitspaketen „Klimaanalyse und –projektion für das erweiterte Stadtgebiet Wiesbaden und Mainz“ und „Übersetzung der meteorologischen Ergebnisse in praxistaugliche Planungskategorien“. Zur Anwendung kommen dabei unter anderem das Mikroskalige Urbane Klimamodell MUKKLIMO\_3 (SIEVERS & ZDUNKOWSKI, 1986; SIEVERS, 1995; SIEVERS, 2012; SIEVERS, 2015), das Klima-Michel-Modell zur Berechnung der Gefühlten Temperatur (JENDRITZKY et al., 1990; STAIGER et al., 1997; STAIGER et al., 2012) aus den MUKKLIMO\_3-Ergebnissen und die beim DWD entwickelte Quadermethode (FRÜH et al., 2011a; FRÜH et al., 2011b) als dynamisch-statistisches Downscaling Verfahren für die Erstellung städtischer Klimaprojektionen.

Im Rahmen der Klimaanalyse liegt ein besonderer Augenmerk auf der Untersuchung der Stadt-Umland-Wechselwirkung und hier in vor allem auch auf der Analyse nächtlicher Kaltluftabflüsse und ihres Beitrages zur Entlastung der von Wärmebelastung besonders betroffenen Gebiete. Beim Downscaling auf die städtische Skala wird auf ein Ensemble regionaler Klimaprojektionen zurückgegriffen, die mit verschiedenen globalen und regionalen Klimamodellen berechnet wurden. Hierdurch können die Unsicherheiten bei der zukünftig zu erwartenden Klimaentwicklung im Stadtgebiet berücksichtigt werden.

Im Vortrag sollen die Methoden kurz erläutert sowie erste Ergebnisse der Klimaanalyse präsentiert werden.

### Literaturangaben :

FRÜH, B., M. KOSSMANN, M. ROOS, 2011a: Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 237, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201106095249>

- FRÜH, B., P. BECKER, T. DEUTSCHLÄNDER, J.-D. HESSEL, M. KOSSMANN, I. MIESKES, J. NAMYSLO, M. ROOS, U. SIEVERS, T. STEIGERWALD, H. TURAU, U. WIENERT, 2011b: Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 50, No. 1, 167-184.
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- JENDRITZKY, G., MENZ, G., SCHIRMER, H., SCHMIDT-KESSEN, W., 1990: Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). *Beitr. Akad. Raumforsch. Landespl.* 114.
- SIEVERS, U., W. ZDUNKOWSKI, 1986: A microscale urban climate model. *Beitr. Phys. Atmosph.* 59, 13-40.
- SIEVERS, U., 1995: Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode auf drei Dimensionen. *Meteorol. Zeitschrift*, N. F. 4, 3-15.
- SIEVERS, U., 2012: Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO\_3 – Teil1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion, Validierung. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 240.
- SIEVERS, U., 2015: Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO\_3 - Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* (in Vorbereitung).
- STAIGER, H., BUCHER, K., JENDRITZKY, G., 1997: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. In: *Annalen der Meteorologie* 33, Offenbach, 100–107.
- STAIGER, H., LASCHEWSKI, G., GRÄTZ, A., 2012: The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal of Biometeorology* 56, 1-12.

## **Anwendung von Ergebnissen hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen auf städtische Ballungsräume**

*Julia Hackenbruch<sup>1)</sup>, Gerd Schädler<sup>2)</sup>, Hans Schipper<sup>2)</sup>*

*1) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, julia.hackenbruch@kit.edu*

*2) Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen*

Am Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Ensemble-Simulationen hoch aufgelöster regionaler Klimamodelle zur Entwicklung des Klimas von 1971 bis 2050 durchgeführt. Konkret stehen die Ergebnisse des regionalen Klimamodells COSMO-CLM (basierend auf dem Wettervorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes) mit zeitlichen Auflösungen von bis zu einer Stunde und einem horizontalen Gitterpunktabstand von 7 km (0,0625°) und 2,8 km (0,025°) zur Verfügung (u. a. Fosser et al. 2014, Meißner et al. 2009).

Der Vergleich der Simulationen, die für den Zeitraum 1971 – 2000 mit ERA40-Reanalysedaten angetrieben wurden, mit verschiedenen Beobachtungsdatensätzen zeigt einen Mehrwert der höheren räumlichen Auflösung für zahlreiche Variablen, vor allem im Sommerhalbjahr. Neben der Temperatur und der relativen Feuchte liegt vor allem die Jahressumme der Globalstrahlung deutlich näher an den Beobachtungen. Auch kleinräumige Windsysteme werden deutlich besser abgebildet, was beispielsweise für die nächtliche Durchlüftung in Städten eine wichtige Verbesserung darstellt. Am Beispiel des Ballungsraums Stuttgart wird in der Präsentation gezeigt, für welche Variablen und in welchem Maße, abhängig von Region, Höhenlage, Jahreszeit oder verwendeter Statistik (Mittelwerte oder Extremwerte) die räumliche Auflösung von 2,8 km eine realistischere Wiedergabe des regionalen Klimas erlaubt.

Die bereits beobachteten und in Zukunft erwarteten Klimaänderungen stellen besonders Städte vor Herausforderungen. Für Klimaanpassungsfragen in Städten werden Klimadaten benötigt, die eine kleinräumige Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung erlauben. Hoch aufgelöste regionale Klimasimulationen sind für diesen Zweck gut geeignet, wie die vorgestellten Auswertungen zeigen.

Von besonderer Bedeutung sind dabei abgeleitete, in der Praxis verwendete Größen. In vielen kommunalen Handlungsfeldern sind Klimakenngrößen von Interesse, die einen sehr angewandten Charakter haben und Schwellenwerte berücksichtigen, die in der Regel nicht aus Klimasimulationsdaten ausgewertet werden. Für Stadtplanung und Städtebau spielt außerdem nicht nur eine meteorologische Größe, beispielsweise ein bestimmter Temperaturmittelwert, eine Rolle. Daher müssen auch Kombinationen meteorologischer Größen und Andauern berücksichtigt werden, die auf die städtische Bebauung einwirken. Einige solcher Kenngrößen, die beispielsweise im Winterdienst oder im Gesundheitswesen von Bedeutung sind, werden in der Präsentation vorgestellt.

FOSSER, G., KHODAYAR, S., BERG, P., 2014: Benefit of convection permitting climate model simulations in the representation of convective precipitation. *Climate Dynamics*. DOI: 10.1007/s00382-014-2242-1

MEISSNER, C., SCHÄDLER, G., PANITZ, H.-J., FELDMANN, H., KOTTMEIER, C., 2009: High-resolution sensitivity studies with the regional climate model COSMO-CLM, *Meteorol. Z.*, 18 (5), 543-557.

# Maximal möglicher Niederschlag verschiedener Wiederkehrzeiten und Klimawandel

A. Raabe, M. Barth, M. Wilsdorf

LIM Leipziger Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, [raabe@uni-leipzig.de](mailto:raabe@uni-leipzig.de)

Die Abschätzung einer

- auf ein Gebiet bestimmter Ausdehnung
- über eine bestimmte Zeit hinweg (Dauerstufe)
- in einem bestimmten Wiederkehrzeitraum

fallende maximal mögliche Regenmenge kann über statistische Methoden auf der Basis von Niederschlagsmengenbeobachtungen erfolgen (z.B. maximierte Gebietniederschlagshöhen, MGN, Schmidt, 1997) oder auch unter Verwendung von Berechnungsverfahren ermittelt werden, die die atmosphärischen Verhältnisse (Temperatur, Feuchte, Wind, Vertikalbewegung) maximieren, welche zu solchen extrem großen Niederschlagsmengen führen können.

So skizzieren Tetzlaff und Raabe (1999) eine physikalisch basierte Berechnungsmethode, mit Hilfe derer die Regenmengen auf den Vertikaltransport der feuchtesten und wärmsten Luftmasse zurückführt, die in dem jeweilig betrachteten Gebiet beobachtet wurde. Dieses Modell der pseudoadiabatischen Hebung der Luftmasse, z.B. aufgrund eines Geländeanstiegs (Gebirgshang, orografisch induzierter maximal möglicher Niederschlag oMMN) oder auch gleichzeitig an einer (geneigten) Luftmassenfront (synoptisch generierter maximal möglicher Niederschlag sMMN), setzt dann ein Maximum an Flüssigwasser in der Atmosphäre frei, das vollständig unter Berücksichtigung einer horizontalen Winddrift aus verschiedener Höhe der Atmosphäre z.B. auf ein Einzugsgebiet eines Flusses fällt (flächengemittelter maximal möglicher Niederschlag, fMMN, s. Abb. 1).

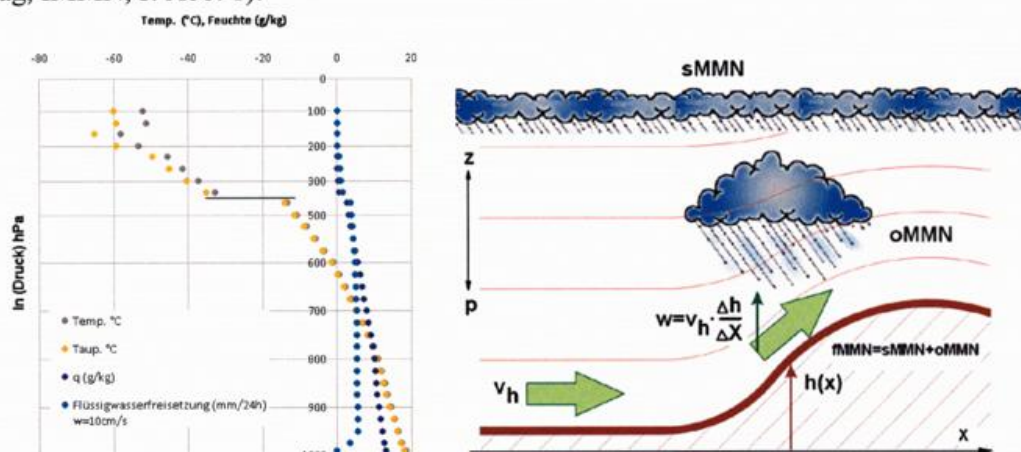


Abb. 1:

Schematische Darstellung der Zusammensetzung des flächengemittelten maximal möglichen Niederschlages fMMN aus den synoptischen (sMMN) und orographisch induzierten (oMMN) Niederschlagsanteilen (rechts). Die zur Berechnung der Niederschlagsmengen verwendeten Profile von Temperatur, Taupunkt, spez. Luftfeuchte, sowie die Flüssigwasserfreisetzung in verschiedenen Höhen bei einer Hebung über 24h hinweg mit einer Hebungsgeschwindigkeit 10cm/s in 700hPa Höhe (links). Diese Hebungsgeschwindigkeit wird für die Abschätzung des sMMN (Jetztzeit) verwendet.

Für diese Berechnungsmethode ist es möglich, die aus Klimaszenarien verfügbaren, die Jetztzeit und die Zukunft betreffenden Atmosphärenbedingungen zusammenzustellen und die auf ein konkretes Gebiet (z.B. Erzgebirge) beziehbaren flächengemittelten maximal möglichen Niederschlagsmengen zu berechnen.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind jedoch für die Jetztzeit mit den Beobachtungen zu vergleichen und in die Modellrechnungen einzubeziehen. Spätestens hier taucht dann das Problem auf, dass die Klimamodelle flächengemittelte Niederschlagswerte bereitstellen, die deren verwendeten digitalen Gitterausdehnung entsprechen, während die Beobachtungen sich aber auf die punktuelle Messungen (Regensammler) beziehen.

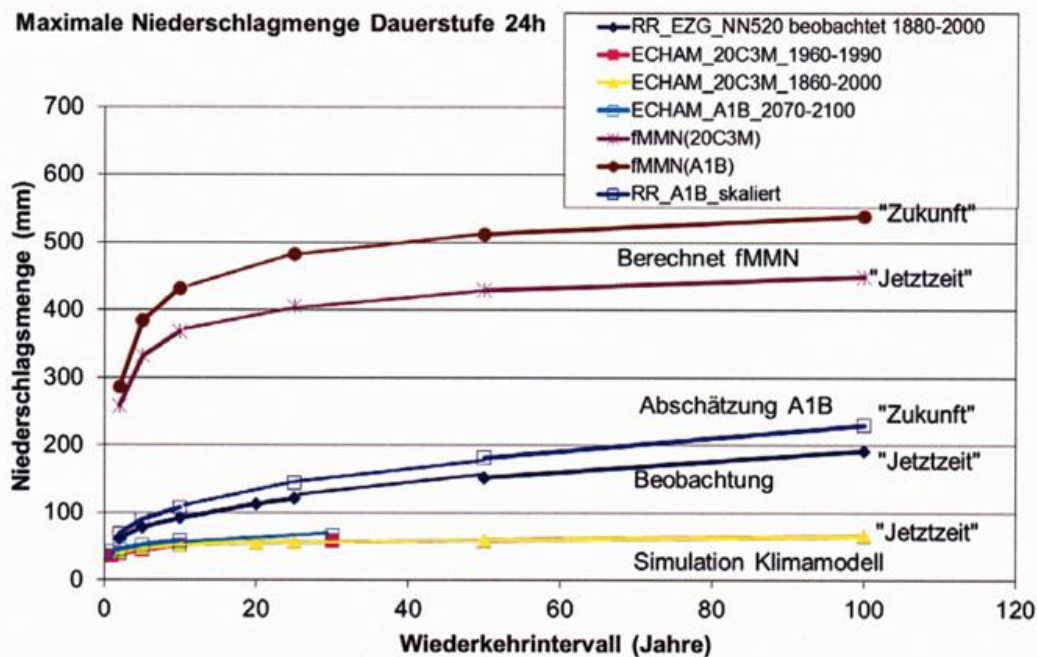


Abb. 2: Vergleich der aus Klimaszenarien (IPCC 2007) abgeleiteten maximalen Niederschlagsmengen mit den in einem Einzugsgebiet (Erzgebirge, 520mNN) beobachteten. Die Klimamodell-Simulationen weisen geringere Niederschlagsmengen aus, da sich diese auf eine wesentlich größere Fläche (ECHAM: 130km x 210km) beziehen. Die berechnete flächengemittelte maximal mögliche Niederschlagsmenge liegt demgegenüber über dem Beobachtungswert, da diese das Maximum der Niederschlagsmenge zum Ausdruck bringt, die unter vorgegebenen thermodynamischen Bedingungen aus einer feuchteenthaltenden Luft herausfallen kann.

Die Konsequenz ist, dass sich aus den Klimasimulationen im Vergleich zu den Beobachtungen nur geringere Niederschlagsmengen pro Dauerstufe ableiten lassen.

Die unter Verwendung der Maximierung der atmosphärischen Bedingungen durchgeführten Berechnungen (fMMN) übertreffen dagegen die Beobachtungen. Dies ist so zu verstehen, dass man einen maximal möglichen Niederschlag erhält, der aufgrund der Wiederkehrzeiten der atmosphärischen Bedingungen mit einer Wahrscheinlichkeit von nahe Null auftritt. Auch das spiegelt die beobachteten Verhältnisse nicht wieder und die berechneten Verhältnisse müssen über die Analyse der statistischen Verteilung der zugrunde liegenden Daten auf die interessierenden Wiederkehrintervalle zurückgeführt werden.

Deshalb werden hier die für die Jetztzeit zu den entsprechenden Wiederkehrintervallen berechneten fMMN mit denen verglichen, die für das jeweilige Gebiet tatsächlich beobachtet wurden. Der in diesem Vergleich auftretende Unterschied zwischen Beobachtung und Berechnung wird ermittelt und auf die Ergebnisse der Berechnungen für das zukünftige Klima übertragen. Im Ergebnis gelingt es so eine in Zukunft mögliche Änderung der für ein Einzugsgebiet maximal möglichen Niederschlagsmengen verschiedener Dauerstufen (hier 24h) und Wiederkehrintervalle (Jahre 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100) abzuschätzen (Abb. 2).

#### Literatur:

Schmidt T., 1997: Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland *DVWK-Mitteilungen*, 29, 112S.

Tetzlaff, G., Raabe, A., 1999: Räumliche und zeitliche Verteilung maximaler Niederschläge. In: Extreme Naturereignisse und Wasserwirtschaft - Niederschlag und Abfluss, Intern. Symposium, Bayr. Landesamt f. Wirtschaft, Informationsheft Nr. 5, S. 57-64

Raabe, A., Wilsdorf, M., Barth, M., 2014: Maximum Possible Precipitation over a low mountain range, *Wiss. Mitteil. Inst. f. Meteorol. Univ. Leipzig*, Bd. 52, S. 57-74 ([http://www.uni-leipzig.de/~meteo/de/orga/LIM\\_Bd\\_52.pdf](http://www.uni-leipzig.de/~meteo/de/orga/LIM_Bd_52.pdf))

Zimmer, J., Raabe, A., Tetzlaff, G., 2006: Quantification of topographic effects on predicted precipitation in the Erzgebirge, *Wiss. Mitteil. Inst. f. Meteorol. Univ. Leipzig*, Bd. 37, S 125-136 (<http://www.uni-leipzig.de/~meteo/de/orga/band37.pdf>).

## Mayors Adapt - eine neue EU- Initiative zur Anpassung an den Klimawandel

*Dr. Katrin Jurisch<sup>(1)</sup>, Dr. Wolfgang Hofstetter<sup>(1)</sup> & Dr. Andreas Kress<sup>(1)</sup>*

*1) Klima-Bündnis e.V., Europäische Geschäftsstelle, Galvanistr. 28, 60486 Frankfurt am Main, [k.jurisch@klimabuendnis.org](mailto:k.jurisch@klimabuendnis.org), [w.hofstetter@klimabuendnis.org](mailto:w.hofstetter@klimabuendnis.org), [a.kress@klimabuendnis.org](mailto:a.kress@klimabuendnis.org)*



THE COVENANT OF MAYORS INITIATIVE  
ON ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits jetzt in europäischen Städten und Gemeinden spürbar. Als Zentren mit hoher Bevölkerungsdichte und verwundbaren Infrastrukturen sind sie besonders anfällig für extreme Wetterereignisse wie Stürme, Überschwemmungen, Hitzewellen und Trockenperioden. Deshalb sind Städte und Kommunen besonders in der Verantwortung, den negativen Folgen des Klimawandels entgegenzutreten und Maßnahmen zu ergreifen, um sich vor den Folgen zu schützen oder mögliche Schäden zu verringern – auch bekannt als Anpassung an den Klimawandel.

Auf Initiative der europäischen Kommission fiel am 19. März 2014 im Rahmen des erfolgreichen Konvents der Bürgermeister der Startschuss für Mayors Adapt. Mayors Adapt ist eine gesamteuropäische Initiative, um lokale Bemühungen zur Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen und ist zusammen mit dem Konvent der Bürgermeister die einzige Initiative, die einer Stadt oder Gemeinde einen direkten Kontakt mit der Europäischen Kommission ermöglicht. Das Klima-Bündnis, ein europäisches Netzwerk von Städten, Gemeinden und Landkreisen, ist zusammen mit Ecofys, Fresh Thoughts und IFOK GmbH Teil eines Konsortiums, das die Initiative im Auftrag der EU-Kommission kommuniziert. Ziel von Mayors Adapt ist es, die Unterstützung für lokale Maßnahmen zu erweitern, eine Plattform für eine stärkere Beteiligung und Vernetzung der Städte und Gemeinden zu schaffen, und die öffentliche Wahrnehmung für Anpassung und notwendige Maßnahmen daran zu erhöhen.

Städte und Gemeinden, die der Initiative beitreten, verpflichten sich den Kernzielen der EU-Anpassungsstrategie, und entwickeln entweder eine umfassende lokale Anpassungsstrategie und/oder integrieren ihre Anpassungsmaßnahmen in bestehende Aktionspläne. Dabei bietet Mayors Adapt Städten und Gemeinden größtmögliche Flexibilität bei der Auswahl eines an den lokalen Bedürfnissen orientierten Verfahrens zur Integration von Anpassungsmaßnahmen in die lokale Politik und Handlungsfelder. Die resultierenden Planungen sollten die Ergebnisse einer Risiko- und Vulnerabilitätsanalyse enthalten. Mit der

formalen Unterzeichnung verpflichten sich Städte und Gemeinden weiterhin, alle zwei Jahre einen Fortschrittsbericht über die Umsetzung im Rahmen der Initiative vorzulegen.

Mayors Adapt bietet Städten und Gemeinden praktische Unterstützung durch einen Helpdesk sowie zahlreiche Gelegenheiten, von vorhandenem Wissen zu profitieren, sich miteinander zu vernetzen und Erfahrungen unmittelbar auszutauschen. Die feierliche Unterzeichnung der politischen Selbstverpflichtung in Anwesenheit der EU-Kommissarin für Klimapolitik, Connie Hedegaard, am 16. Oktober 2014 in Brüssel stellte den ersten Höhepunkt der Initiative dar. Seit Mitte Oktober 2014 gibt es ein „Anpassungs-Werkzeug“ für Städte. Die Plattform orientiert sich an der bereits vorhandenen, von der Europäischen Umweltagentur (EEA) betriebenen Webseite, Climate-ADAPT. Sie bietet Handlungsempfehlungen und Unterstützung für Unterzeichner, interessierte Städte und Gemeinden sowie andere Akteure. Die im Bereich städtische Anpassung tätigen Entscheidungsträger, Praktiker und relevanten Akteure führt die Plattform Schritt für Schritt durch den Planungs- und Umsetzungsprozess. Weiterhin bietet die Plattform Zugriff auf hilfreiche Ressourcen, wie z.B. ausführliche Experteninformationen und Studien, die in einer kontinuierlich aktualisierten Literaturdatenbank und Quellensammlung für jeden Schritt des städtischen Anpassungsprozesses zur Verfügung stehen.

Webseite: <http://mayors-adapt.eu>

Session 5:  
**„Klimatologie und Luftreinhaltung für Städte  
und Gemeinden“**

# Globaler Klimawandel und städtische Luftqualität

*Wilhelm Kuttler*

Universität Duisburg-Essen; [wiku@uni-due.de](mailto:wiku@uni-due.de)

Die Projektionen der Auswirkungen des globalen Klimawandels werden im Wesentlichen in höheren Lufttemperaturen und einer verstärkten konvektiven sommerlichen Niederschlagstätigkeit gesehen. Aber auch auf die städtische Luftqualität wird sich der globale Klimawandel auswirken. So weisen einige Luftverunreinigungen hinsichtlich ihrer Immissionskonzentration eine starke, positive Korrelation zur Lufttemperatur auf. Das gilt weniger für das in hohen Konzentrationen toxisch wirkende Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ), das in immer stärkerem Maße als primärer Spurenstoff auftritt, als mehr für das sekundär gebildete Ozon sowie für Ultrafein- und Grobstäube. Die Zunahme der **Ozonkonzentration** mit steigender Temperatur beruht einerseits darauf, dass mit höherer Lufttemperatur ( $t_L > 25 \text{ °C}$ ) die Lebenszeit des Peroxiacetylnitrats (PAN) stark abnimmt und das zur troposphärischen Ozonbildung benötigte Stickstoffdioxid freisetzt. Andererseits nimmt mit steigender Temperatur die Emission biogener flüchtiger Kohlenwasserstoffe (BVOCs) zu. Bestimmte Pflanzen geben BVOCs vermutlich im Rahmen thermischer Stressreaktionen an die Atmosphäre ab. Zu den BVOCs zählt zum Beispiel das **Isopren** ( $\text{C}_5\text{H}_8$ ), das als sehr reaktives Ozonvorläufergas bekannt ist. Isopren ist zwar in den Stadtatmosphären wegen der geringeren Vegetationsdichte im Vergleich zum Umland in niedrigeren Konzentrationen enthalten, jedoch verfügt es über eine wesentlich höhere Reaktivität als zum Beispiel anthropogene flüchtige Kohlenwasserstoffe (AVOCs). Zu den AVOCs zählt die bekannte Schadstoffgruppe BTX (Benzol, Toluol, Xylole). Während Benzol im Wesentlichen auf Emissionen des Kfz-Verkehrs zurückgeführt werden kann, entstammen Toluol und Xylol neben den Verkehrs-Emissionen auch der Produktion und Verwendung organischer Lösungsmittel, zum Beispiel Farben und Lacken. Im Gegensatz zu den BVOCs weisen BTX-Emissionen einen Tagesgang auf, der abgesehen von der Verdampfung weder an die Temperatur noch an die solare Strahlungsstromdichte gebunden ist. Da nicht alle Pflanzen in gleichem Maße Isopren emittieren (viele Pflanzen emittieren sogar gar kein Isopren), kann von stadtplanerischer Seite durch geeignete Pflanzenwahl dazu beigetragen werden, die Freisetzung dieses die Ozonproduktion fördernden Gases zu reduzieren oder gar zu verhindern. In diesem Zusammenhang muss auch der seit einiger Zeit favorisierte Einsatz von Energiepflanzen einer kritischen Bewertung unterzogen werden, da typische Energiepflanzen wie Pappeln und Weiden starke Isoprenemitter sind.

Im Bereich der **partikelförmigen Luftinhaltsstoffe** werden sich ebenfalls Veränderungen auf Grund der projizierten höheren Lufttemperaturen ergeben, und zwar insbesondere im Ultrafein ( $0,1 \mu\text{m}$ )- und Grobstaubbereich ( $> 10 \mu\text{m}$ ). Im Ultrafeinstaubbereich spielen zum Beispiel BVOCs eine wichtige Rolle bei der Bildung sekundärer organischer Aerosole (SOA), wodurch deren Massenkonzentration zunimmt. Aerosole können bekanntlich das Klima indirekt beeinflussen, indem sie zum Beispiel die Wolkenbildung fördern und damit die solare Strahlungsbilanz verändern.

Im Grobstaubbereich, zu dem auch pflanzlichen **Pollen** zählen, werden hohe Lufttemperatur und hohe  $\text{CO}_2$ -Konzentration, wie sie Städten schon gegenwärtig zu eigen sind, dazu führen, dass Pollen bestimmter Pflanzen allergieauslösende Proteine produzieren, und zwar in wesentlich stärkerem Maße, als es im Umland der Fall ist.

Der Vortrag geht auf die projizierten Veränderungen der genannten gas- und partikelförmigen Spurenstoffe näher ein.

# Richtlinienarbeit des VDI zur Stadtklimatologie in Planungsprozessen

Harald Brünger<sup>1</sup>, Volker Diegmann<sup>2</sup>, Lutz Katzschner<sup>3</sup>, Wilhelm Kuttler<sup>4</sup>

<sup>1</sup>VDI e.V. Düsseldorf

<sup>2</sup>IVU GmbH Freiburg

<sup>3</sup>Universität Kassel, Institut für Urbane Entwicklungen, katzschn@uni-kassel.de

<sup>4</sup>Universität Duisburg Essen

## Problemstellung

Die immer stärker werdende Bedeutung des Stadtklimas für Planungsprozesse erfordert die Einführung von Standardisierungsverfahren für Stadtklimaanalysen, um eine normierte Vergleichbarkeit sicherzustellen. Die Richtlinien (RL) VDI 3787 Bl. 1 „Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen“, VDI 3787 Bl. 3 „Human-biometeorologische Bewertung – Luftqualität“ und VDI 3785 Bl. 1 „Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima“ stellen erste Schritte in dieser Richtung dar. Unter Berücksichtigung der darin enthaltenen Empfehlungen kann somit eine Umsetzung auf den unterschiedlichen Planungsebenen erfolgen.

Tabelle 1. Steuerungsinstrumente für die Planung auf unterschiedlichen Maßstabsebenen und entsprechende Fachbeiträge (VDI 3787 Bl. 1)

Instrumente und Pläne		Maßstab, räumliche Auflösung der Karten	Fachbeiträge Klimaanalyse (Lufthygiene und Human-Biometeorologie)
Raumordnungsplanung	Regionalplan	1 : 50000 bis 1 : 100000, ≥ 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: flächendeckende Immissionsschutzkarten, thermische Belastungsräume (Überwärmungsräume), Luftleitbahnen, Kaltluftentstehungsflächen Planungshinweiskarte
Bauleitplanung	Vorbereitende Bauleitplanung: Flächennutzungsplan	1 : 5000 bis 1 : 25000, 25 m bis 100 m	Mesoklima Klimaanalysekarten: gebietsbezogene Immissionskarten, Luftaustausch, thermische Belastungsräume (Überwärmungsräume) Planungshinweiskarte
	Verbindliche Bauleitplanung: Bebauungsplan, Baugenehmigungsverfahren	≤ (1 : 1000), 2 m bis 10 m	Mikroklima Klimaanalysekarten: lokale Immissionsberechnungen an Hot Spots, Nachbarschaftsbetrachtungen, Luftaustausch, human-biometeorologische Eignungsuntersuchungen an Hot Spots Planungshinweiskarte

## Umsetzung

In einer VDI-Arbeitsgruppe zum Thema „Stadtklimakarten“ wurde die Vereinheitlichung von Stadtklimaanalysen vorgenommen und auf das Beispiel Berlin angewendet. Abbildung 1 zeigt die räumliche Umsetzung in Klimatope und die Beschreibung entsprechender Klimaeigenschaften. Die daraus entwickelte Planungskarte (nicht dargestellt) enthält anwendungsorientierte Empfehlungen. Eine einheitliche Farbgebung und gleiche Symbole stellen eine Vergleichbarkeit sicher. Die Zuordnung einzelner Klimatope zu Überwärmungsklassen erfolgt mithilfe von Messungen. Auch lufthygienische Aspekte werden flächig dargestellt, wodurch dem Stadtplaner ein umfassendes Werkzeug für eine Abwägung an die Hand gegeben ist.

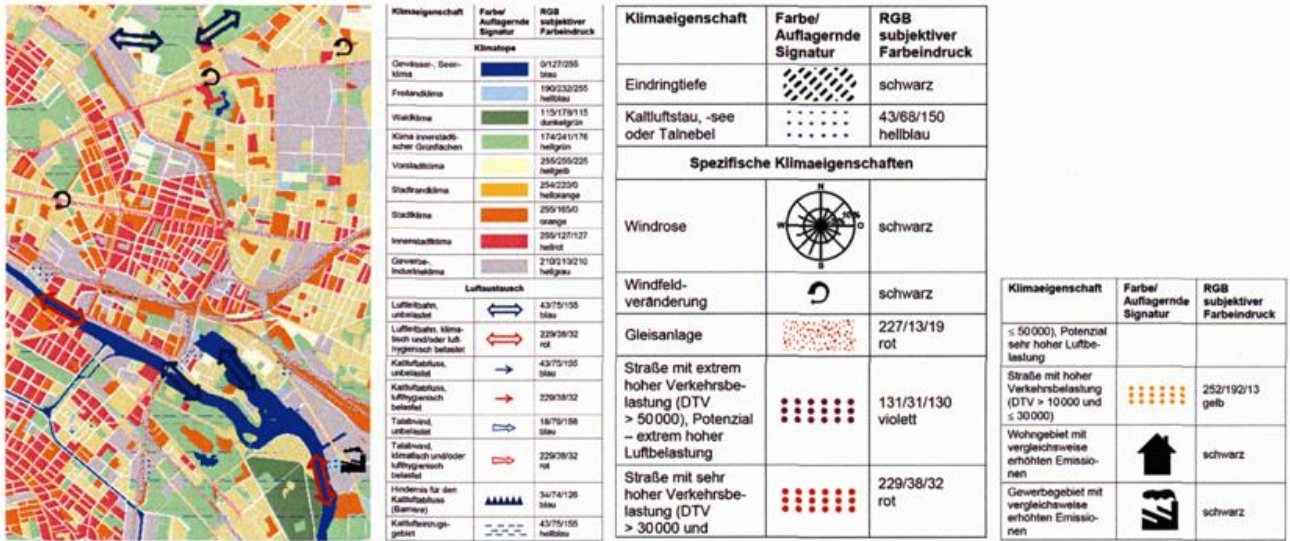


Abbildung 1 Ausschnitt aus einer Stadtklimaanalyse (Berlin) mit Planungslegende

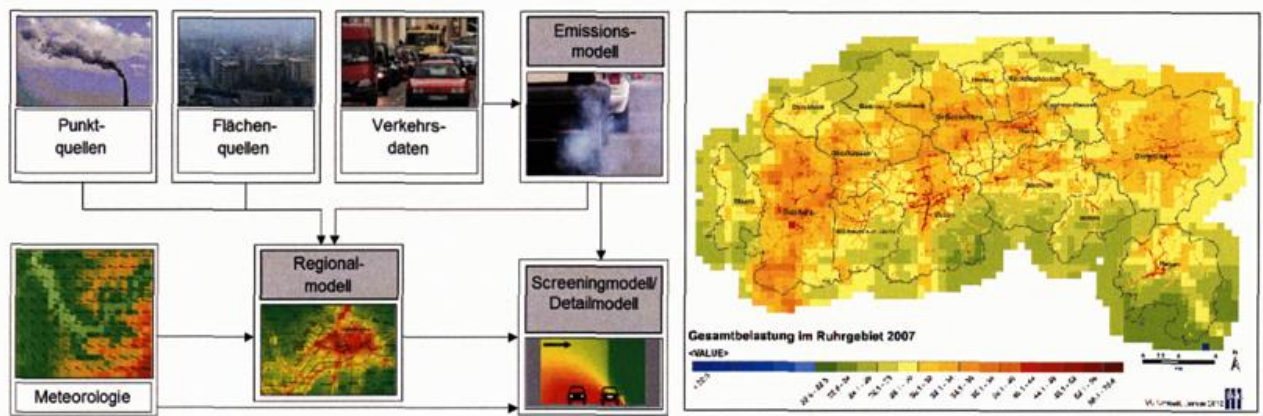


Abbildung 2 Immissionsdarstellung für die Regional- und Stadtplanung (VDI 3787 Bl. 3; IVU)

Folgend der RL VDI 3787 Bl. 1 wurde auch die Lufthygiene in Bl. 3 bearbeitet. Tabelle 1 gilt auch für diesen Bereich und wurde in Abbildung 2 umgesetzt. Wie in Abbildung 2 dargestellt, sind in diesem Vorgehen die verbindlichen Planungsebenen zugeordnet, sodass sowohl für die „Regionalplanung“ als auch für die „Verkehrsplanung“ Optimierungsmaßnahmen möglich sind.

**Ausblick**

Gerade in der Diskussion um den Klimawandel werden die beschriebenen Instrumente immer notwendiger. Thermisch und lufthygienisch sollten die stadtklimatischen Eigenschaften in den Planungsprozess eingebunden werden. Eine Quantifizierung des Stadtklimas sollte weiter entwickelt werden, Wärmebelastung und Belüftungsverhältnisse (eine Richtlinie zum Thema „Windklima“ befindet sich in Vorbereitung) noch besser im Planungsprozess abwägen zu können.

## Wärmeinsel in einer Großstadt mit ausgeprägter Topografie

Jürgen Baumüller

Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart, Keplerstraße 11, 70174 Stuttgart  
[juergen.baumueller@web.de](mailto:juergen.baumueller@web.de)

Das Phänomen des Stadtklimas insbesondere der Wärmeinsel in Städten ist schon lange bekannt (Kratzer, 1935). Kurz gefasst sind Städte wärmer als das Umland. Am typischen Erscheinungsbild des Stadtklimas sind alle Klimatelemente beteiligt (Kuttler, 2013). Dies betrifft den Wind, die kurzwellige Globalstrahlung, die langwellige Ausstrahlung und Gegenstrahlung die Veränderung der Sonnenscheindauer (z.B. durch Verschattung) und insbesondere die Ströme der fühlbaren und latenten Wärme.

Ein Resultat ist die Überwärmung der Stadt zum Umland, das im Jahresmittel bei 1 bis 2 K liegt. Erheblich größer sind jedoch die Unterschiede bei windschwachen Strahlungswetterlagen in der Nacht. Sie liegen dann in sehr großen Städten teilweise über 12 K. Unter dem Begriff Wärmeinsel versteht man also die Überwärmung der Stadt gegenüber dem Umland, meist jedoch die maximale Überwärmung in der Nacht. Mit der Stadtgröße, oft dargestellt durch die Bevölkerungszahl, wächst in der Regel dieser Wärmeinselleffekt (Abbildung 1).

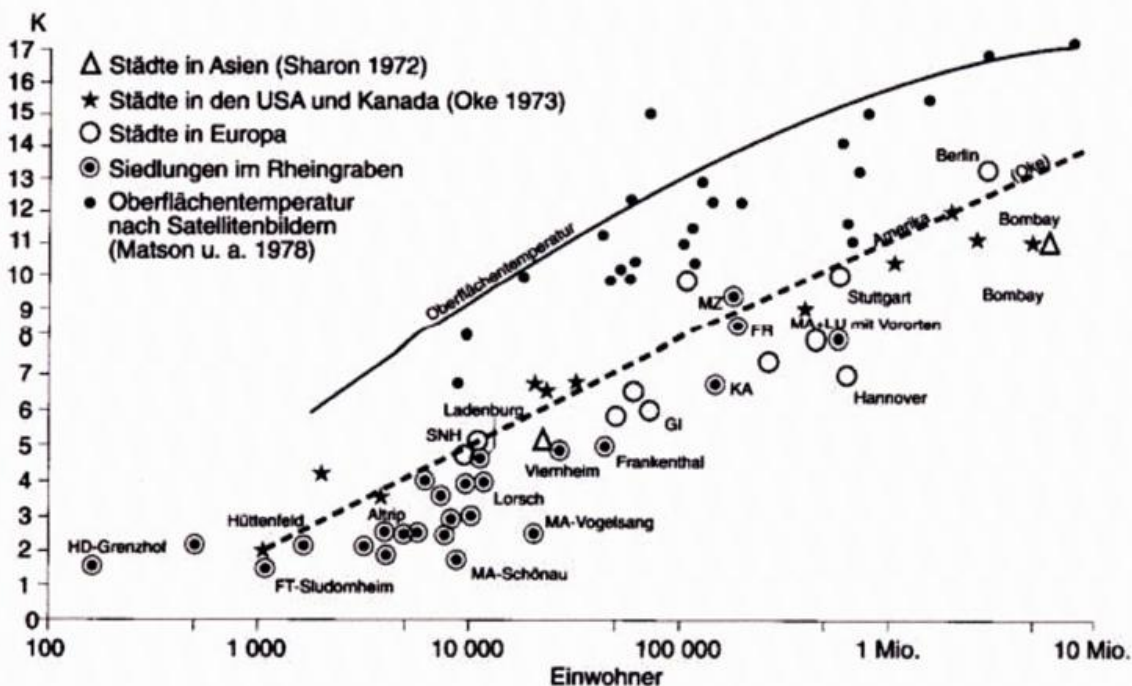


Abbildung 1: Maximale Temperaturabweichung von Städten gegenüber dem Umland (Intensität der „städtischen Wärmeinsel“); Quelle: Schönwiese 2013

Die meisten dieser Untersuchungen beziehen sich jedoch auf flache Städte, da Großstädte sich nur selten in einer Landschaft mit ausgeprägter Orographie entwickelt haben. Am Beispiel von Stuttgart wird aufgezeigt, wie sich die Wärmeinsel in einer Großstadt mit ausgeprägter Topographie darstellt. Hier kommen zwei zu flachen Städten erheblich abweichende Fakten zum Tragen. Erstens die der Orographie angepassten Aufsiedlung und Zweitens, die sich einstellenden lokalen Windsysteme.

Kuttler W., 2013: Klimatologie-Grundriss allgemeine Geographie, Schöningh, UTB  
Schönwiese C.D., 2013: Klimatologie, Verlag Ulmer, UTB

## Interdisziplinäre Untersuchung kombinierter Belastungsfaktoren im urbanen Raum

Maras, Isabell <sup>1),4)</sup>, Schmidt, Teresa <sup>2),4)</sup>, Paas, Bastian <sup>1),4)</sup>, Stienen, Jonas <sup>3),4)</sup>,  
Schneider, Christoph <sup>1)</sup>

1) Geographisches Institut, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland, [i.maras@geo.rwth-aachen.de](mailto:i.maras@geo.rwth-aachen.de)

2) Communication Science, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

3) Institut für technische Akustik, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

4) Projekthaus HumTec, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

Urbane Lebensräume beinhalten intensive Auswirkungen auf den bioklimatischen Komfort des Menschen. Im Vergleich zur ruralen Umgebung verursachen erhöhte Oberflächenversiegelung, anthropogene Abwärme, dichte Gebäudestrukturen, intensive Verkehrsemissionen und ein geringes Vegetationsvorkommen Anomalien hinsichtlich Temperatur, Luftqualität und Akustik. Somit überlagern sich in urbanen Räumen eine Vielzahl umweltabhängiger Stressoren, wodurch ein interdisziplinäres Verständnis der daraus resultierenden Forschungsfragen unabdingbar wird. Die vorliegende empirische Studie ist Teil des interdisziplinären Projektes FuEco am Projekthaus HumTec der RWTH Aachen (Ziefle et al., 2014). Das Projekt hat zum Ziel kombinierte Belastungsfaktoren im urbanen Raum mittels einer Mess- und Modellkette detailliert zu analysieren und einen kombinierten Belastungsindex für den urbanen Raum zu etablieren.

Neben mehrtägigen Intensivmesskampagnen im Winter und Sommer 2014 wird das numerische mikroskalige Simulationsmodell ENVI-met hinsichtlich biometeorologischer Fragestellungen eingesetzt. Durch den Vergleich von Mess- und Modelldaten wird zum einen eine Validierung des Modells erlaubt und zum anderen eine hohe räumliche Auflösung biometeorologisch relevanter Daten ermöglicht.

Fünf differenzierte Standorte der innerstädtische Grünanlage „Elisenbrunnen“ in der mittelgroßen Stadt Aachen wurden als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Das 2 ha große Areal wurde in einer Vorstudie von Maras et al. (2014) erstmals biometeorologisch untersucht. Durch den holistischen, empirischen Lösungsansatz in FuEco wurde diese Untersuchung intensiviert und erweiterte die biometeorologische Datenerfassung um Luftqualitäts- und Lärmbelastungsfaktoren. Um die Wahrnehmung dieser Faktoren durch den Menschen mit zu betrachten, wurde zeitgleich eine umfangreiche interviewbasierte Befragung von Passanten durchgeführt.

Der experimentelle Aufbau beinhaltete neben kontinuierlichen Messungen der Windkomponenten mit einem 3-D-Ultraschallanemometer sowie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in der Parkmitte die Datenaufzeichnung mittels einer mobilen Wetterstation an den fünf Untersuchungsstandorten. In der biometeorologischen Standardmesshöhe von 1.1 m wurden Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Luftdruck, Windrichtung, Windgeschwindigkeit sowie 3-D-Infrarot- und Solarstrahlung erfasst. Aus den Messdaten wurden PET (Psychological Equivalent Temperature) und UTCI (Universal Thermal Climate Index) als Maßzahlen des thermischen Komforts kalkuliert. Ebenfalls erfasst wurden Anzahl und Massekonzentrationen von Aerosolen mit Partikeldurchmessern von 0.25 µm – 32 µm in einer Messhöhe von 1.6 m. Die Messung der Akustik wurde mit einem Recorder mit ungerichtetem Mikrofon durchgeführt, welcher kontinuierlich den Schallwechseldruck in hoher zeitlicher Auflösung am Ort der Befragungen erfasst. Die Auswertung der Aufnahmen erlauben nicht nur die Bestimmung der etablierten Lärmindikatoren in dB(A), sondern auch die psychoakustische Analyse des ortsgebundenen Schallsignals, welche eine hohe Übereinstimmung mit der tatsächlich empfundenen Belastung durch den Menschen erzielt.

Die Messungen erfolgten während charakteristischer, jahreszeittypischer Wetterlagen und waren an die Erfassung thermischer Belastung gekoppelt. Die Winterkampagne fand während maritim geprägter und milder jedoch niederschlagsfreier Wetterlage statt, während für die Sommerkampagne strahlungsintensive Sommer- und Hitzetage ausgewählt wurden. Im Beitrag zur Konferenz werden ausgewählte Zusammenhänge, die sich aus Messungen und Modellierungen ergeben, exemplarisch vorgestellt.

Literatur

MARAS, I., BUTTSTÄDT, M., HAHMANN, J., HOFMEISTER, H., SCHNEIDER, C., 2014: Investigating public places and impacts of heat stress in the city of Aachen, Germany. *Die Erde - Journal of the Geographical Society of Berlin* 144, 3-4.

ZIEFLE, M., SCHNEIDER, C., VALLEE, D., SCHNETTLER, A., KREMPELS K.-H. , JARKE, M. 2014: Urban Future outline (UFO). A roadmap on research for livable cities. *ERCIM News* 98.  
<http://ercimnews.ercim.eu/en98/keynote-smart-cities>.

## Ein Werkzeug zur Analyse Hitzestress-bezogener Mortalitätsrisiken am Beispiel Berlins

Dieter Scherer, Ute Fehrenbach, Daniel Fenner, Britta Jänicke, Fred Meier

Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Fachgebiet Klimatologie, Rothenburgstr. 12, D-12165 Berlin, Deutschland, [dieter.scherer@tu-berlin.de](mailto:dieter.scherer@tu-berlin.de)

Seit langem ist bekannt, dass auch in Städten der Mittelbreiten während heißer sommerlicher Episoden Hitzestress ein weit verbreitetes Problem ist, das insbesondere in Großstädten zu erhöhten Mortalitätsraten führt (siehe z.B. den Review-Artikel von Scherer und Endlicher, 2014). In zahlreichen humanbiometeorologischen Studien wurde nachgewiesen, dass die für Hitzestress relevanten physiologischen Wirkungszusammenhänge über Größen wie den Universal Thermal Climate Index *UTCI* abgebildet werden können. Diese humanbiometeorologischen Größen erfassen die für den menschlichen Wärmehaushalt maßgeblichen Prozesse, welche ihrerseits durch vier meteorologische Größen, namentlich die Lufttemperatur  $T_a$ , die Luftfeuchte, die Windgeschwindigkeit sowie die mittlere Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$  repräsentiert sind. Letztere ist selbst eine human-biometeorologische Größe, die den Einfluss der kurz- und langwelligen Strahlung auf den menschlichen Wärmehaushalt quantifiziert und im Beitrag von Meier et al. thematisiert wird. Im Außenraum kann  $T_{mrt}$  an besonnten Standorten sowie in der Nähe zu südexponierten Fassaden sehr hohe Werte erreichen, die bis zu 30 K über  $T_a$  liegen können. Aus diesem Grund ist die  $T_{mrt}$  tagsüber ein sehr guter Indikator für Wärmebelastung und Hitzestress im Freien. In Innenräumen und insbesondere nachts weisen  $T_{mrt}$  und  $T_a$  oft ähnliche Werte auf.

In epidemiologischen Studien zu Hitzestress-bezogenen Mortalitätsrisiken wird anstelle humanbiometeorologischer Größen, die mikroskalig stark variabel und auch nur aufwändig zu messen sind, oft  $T_a$  als Indikator für Hitzestress herangezogen. Dabei werden aus  $T_a$  Prädiktoren für empirisch-statistische Modelle abgeleitet, deren Varianz einen möglichst hohen Anteil der Varianz der jeweiligen Prädiktanden erklären soll, die aus Todesfalldaten abgeleitet werden (z.B. Mortalitätsraten). Auf gesamtstädtischen Skalen hat sich diese Vorgehensweise grundsätzlich als erfolgreich erwiesen, da es a) unmöglich ist, die jeweiligen biometeorologischen Umgebungsbedingungen jeder Einzelperson nachzuverfolgen, und b) die individuelle Sensitivität gegenüber diesen Bedingungen je nach Alter, Gesundheitszustand und anderen Faktoren stark unterschiedlich ist. Scherer et al. (2014) haben am Beispiel Berlins gezeigt, dass stadtweite Analysen auf der Basis von Tageszeitreihen von an der Station Tempelhof des Deutschen Wetterdienstes (DWD) gemessenen Mittelwerte, Minima und Maxima der  $T_a$  statistisch hochsignifikante Zusammenhänge zu Mortalitätsraten hergestellt werden können, wenn Hitzestress nicht auf Tagesbasis, sondern für ganze Ereignisse mit variabler Andauer analysiert wird.

Am Beispiel Berlins soll ein erweitertes, empirisch-statistisches Risikomodell vorgestellt werden, das die Analyse Hitzestress-bezogener Mortalitätsrisiken auf der Basis von Tageszeitreihen für  $T_a$ ,  $T_{mrt}$  oder *UTCI* sowie täglicher Todesfallzahlen auf gesamtstädtischer Skala sowie für einzelne, hinreichend große Stadtbezirke ermöglicht. Das Risikomodell analysiert, wie von Scherer et al. (2014) beschrieben, ganze Hitzestress-Ereignisse und berechnet dabei auch Basis-Mortalitätsraten. Im Beitrag soll diskutiert werden, ob innerstädtische Stationen, welche das Stadtklima Berlins besser als die DWD-Station Tempelhof erfassen, als Prädiktoren für das Risikomodell besser geeignet sind als Stationen, die vor allem für synoptische Zwecke konzipiert sind. Analog dazu wird dies auch für die human-biometeorologischen Größen  $T_{mrt}$  und *UTCI* im Vergleich zu  $T_a$  diskutiert.

### Literatur:

- Fenner D., F. Meier, D. Scherer, A. Polze, 2014: Spatial and temporal air temperature variability in Berlin, Germany, during the years 2001-2010. *Urban Climate*, doi:10.1016/j.uclim.2014.02.004.  
[www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095514000145](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095514000145)
- Scherer, D., W. Endlicher, 2013: Editorial: Urban climate and heat-stress. Part 1. *DIE ERDE*, 144, 175-180.  
[www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/76](http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/76)
- Scherer, D., U. Fehrenbach, T. Lakes, S. Lauf, F. Meier, C. Schuster, 2013: Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. *DIE ERDE*, 144, 238-259.  
[www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/49](http://www.die-erde.org/index.php/die-erde/article/view/49)

## Eine stadtweite Analyse der mittleren Strahlungstemperatur und mögliche Anwendungen am Beispiel Berlins

Fred Meier<sup>1)</sup>, Britta Jänicke<sup>1)</sup>, Fredrik Lindberg<sup>2)</sup>, Dieter Scherer<sup>1)</sup>, Sebastian Schubert<sup>3)</sup>

1) Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Fachgebiet Klimatologie, Rothenburgstr. 12, D-12165 Berlin, Deutschland, fred.meier@tu-berlin.de

2) University of Gothenburg, Department of Earth Sciences, Urban Climate Group, Box 460, SE-405 30 Göteborg, Sweden

3) Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Postfach 60 12 03, D-14412 Potsdam, Deutschland

Die mittlere Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$  ist eine human-biometeorologische Größe, die den Einfluss der kurz- und langwelligen Strahlung auf den menschlichen Wärmehaushalt quantifiziert. Neben der  $T_{mrt}$  spielen auch die Lufttemperatur  $T_a$ , die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit eine Rolle für den menschlichen Wärmehaushalt. Im Außenraum kann  $T_{mrt}$  an besonnten Standorten sowie in der Nähe zu südexponierten Fassaden sehr hohe Werte erreichen, die bis zu 30 K über der  $T_a$  liegen können. Aus diesem Grund ist die  $T_{mrt}$  tagsüber ein sehr guter Indikator für Wärmebelastung und Hitzestress im Freien.

In Städten sind die vertikalen und schattenwerfenden Objekte von großer Bedeutung für die räumlichen Muster der  $T_{mrt}$ . Die Berechnung und Analyse der räumlichen Muster der  $T_{mrt}$  muss daher die urbanen Strukturen, d.h. Gebäude, Straßenschluchten, Innenhöfe, Bäume und Baumgruppen explizit berücksichtigen oder ihre dreidimensionalen Eigenschaften durch geeignete Ansätze parametrisieren, z.B. über räumlich gemittelte Himmelsichtfaktoren. Parametrisierungs- bzw. Aggregationsverfahren reduzieren zwar den Aufwand für die Berechnung der  $T_{mrt}$ , erschweren oder verhindern aber die Konzeption objektplanerischer Maßnahmen. Zudem beeinflussen auch die meteorologischen Zustände der urbanen Atmosphäre die räumliche Variabilität der  $T_{mrt}$ , weil für große Stadtgebiete keine räumliche Homogenität der Atmosphäre gegeben ist.

Dieser Beitrag soll am Beispiel Berlins zeigen, wie eine stadtweite Berechnung und Analyse der  $T_{mrt}$  unter gleichzeitiger Berücksichtigung mikroskaliger Stadtstrukturen und mesoskaliger atmosphärischer Zustände durchgeführt werden kann. Zudem wollen wir neue Auswerteverfahren diskutieren, die auch räumliche Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigen und dadurch neue Anwendungsmöglichkeiten, z.B. für die Stadtplanung, eröffnen.

Für die Berechnung der  $T_{mrt}$  wird eine weiterentwickelte Version des SOLWEIG Modells (Lindberg et al., 2012) verwendet. Die neue Modellversion kann gegitterte meteorologische Datensätze ( $T_a$ , relative Luftfeuchte, diffuse und direkte kurzwellige Strahlung und atmosphärische Gegenstrahlung) verarbeiten. Außerdem kann diese Version auch im automatisierten Workflow betrieben werden. Die mesoskaligen atmosphärischen Zustände wurden mit dem COSMO-CLM inklusive der Doppel-Straßenschlucht Parametrisierung (DCEP) in einer räumlichen Auflösung von 1 km simuliert (Schubert et al., 2013) und dann auf das SOLWEIG Modellgitter interpoliert. Die mikroskaligen Stadtstrukturen werden durch Rastermodelle der Gebäude- und Vegetationshöhen in einer räumlichen Auflösung von 1 m erfasst.

### Literatur:

Schubert, S., S. Grossman-Clarke, 2012: The influence of green areas and roof albedos on air temperatures during extreme heat events in Berlin, Germany. *Meteorol. Z.*, **22**, 131-143.

Lindberg, F., C.S.B. 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.*, **105**, 311-323.

## Mikroskalige Modellierung von Eingangsgrößen und thermischen Indizes in komplexen urbanen Umgebungen

*Andreas Matzarakis, Yung-Chang Chen, Dominik Fröhlich, Marcel Gangwisch, Christine Ketterer, Andreas Peer, Henning Staiger*

*Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, D-79085 Freiburg*

### **Einleitung**

Studien über die klimatischen Bedingungen in Städten sollten auch human-biometeorologische Faktoren miteinbeziehen. Diese können mit Hilfe thermischer Indizes beschrieben werden. Thermische Indizes berechnen die menschliche Energiebilanz unter Berücksichtigung von meteorologischen Größen, wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und mittlerer Strahlungstemperatur sowie thermophysiological Faktoren (Bekleidung und Aktivität) des Menschen. Die mittlere Strahlungstemperatur beschreibt die thermische Wirkung der kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse auf den menschlichen Wärmehaushalt und wird zur Berechnung der menschlichen Energiebilanz benötigt. Da die thermischen Indizes für den Körperschwerpunkt des Menschen (1,1 m über Grund) berechnet werden, erfordern diese auch großteils meteorologische Eingangsparameter auf dieser Höhe.

### **Modelle: RayMan – SkyHelios**

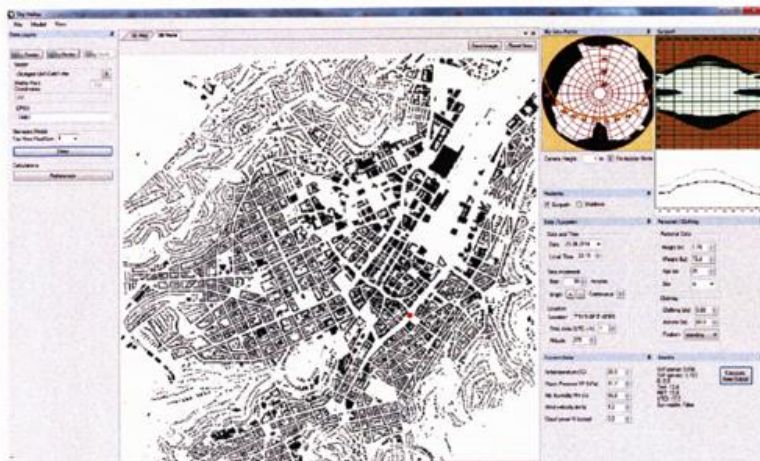
Die Modelle RayMan und SkyHelios berechnen nicht nur die thermischen Indizes, sondern auch die mittlere Strahlungstemperatur und die dafür benötigten kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse auch für komplexe urbane Umgebungen.

Das Modell **RayMan** (Matzarakis et al., 2010) berechnet thermische Indizes und die mittlere Strahlungstemperatur für längere Zeiträume und wahlweise komplexe urbane Umgebungen. Die thermischen Indizes, welche berechnet werden können, sind Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET), Gefühlte Temperatur (gT), Universal Thermal Climate Index (UTCI), Perceived Mean Vote (PMV) oder Standard Effective Temperature (SET\*). Für die Berechnung der thermischen Indizes benötigt das Modell die Lufttemperatur, Luftfeuchte und meistens auch Windgeschwindigkeit (außer UTCI) auf einer Höhe von 1.1m über Grund. Diese meteorologischen Größen müssen bereits an dem zu modellierenden Punkt gemessen oder entsprechend simuliert worden sein. Allein die Strahlungsflüsse können, sofern sie nicht verfügbar sind, mit Hilfe von RayMan berechnet werden. Dazu werden verschiedene meteorologische Hilfsgrößen, sowie topographische und morphologische Informationen benötigt. Als meteorologische Informationen zur Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur wird mindestens der Bewölkungsgrad oder die Sonnenscheindauer benötigt. Durch diese kann die Globalstrahlung unter Berücksichtigung der Trübung und des Wasserdampfgehalts berechnet werden. Wird mindestens jedoch die Globalstrahlung, am besten auch zusammen mit der diffusen Strahlung, als gemessener Größe eingegeben, verringert sich die Irrtumswahrscheinlichkeit der „Stress“-Klassen. Die atmosphärische Gegenstrahlung wird über die Kenntnis der Lufttemperatur und des Dampfdrucks berechnet.

Die langwellige Ausstrahlung wird auf Grundlage der Oberflächentemperatur bestimmt. Ist diese nicht gegeben, wird sie über die Energiebilanz der Oberfläche, deren Bowen-Verhältnis und auf der Basis der Lufttemperatur berechnet.

Topographische und stadtmorphologische Informationen können durch Fish-Eye-Fotos gegeben werden. Komplexe urbane Strukturen, d.h. Häuser, Bäume und die Topographie können auch in RayMan gezeichnet und in einer .obs Datei abgelegt werden. Diese können auch Informationen über die Reflexionseigenschaften oder Emissivität enthalten. RayMan berechnet neben den thermischen Indizes und der mittleren Strahlungstemperatur auch die Tagessonnenbahnen, die maximal mögliche Sonnenscheindauer bei freiem Horizont und bei Anwesenheit von Horizonteinschränkungen durch natürliche (Topographie, Bäume) und künstliche Hindernisse (Gebäude) für jeden Tag des Jahres. Des Weiteren können auch einzelne Energieflüsse des menschlichen Körpers sowie Körperkenngrößen (z.B. Kerntemperatur oder Hauttemperatur) ausgegeben werden.

Das Modell SkyHelios (Abb. 1), ermöglicht eine räumliche Analyse des thermischen Bioklimas und der



dafür notwendigen Informationen. Neben den meteorologischen Daten können auch georeferenzierte Daten im Vektor oder Rasterformat eingelesen und in Sky Helios visualisiert werden. Aus den georeferenzierten Daten können Sky View Faktor, Sonnenscheindauer und Sonnenbahnen, sowie die Rauigkeit für unterschiedliche räumliche Auflösungen sehr detailliert ermittelt werden. Darauf aufbauend können die kurz- und langwelligen Strahlungsflussdichten sowie die mittlere Strahlungstemperatur berechnet werden.

Abb. 1: Hauptfenster von SkyHelios

Ein diagnostisches Windmodell berechnet die Windgeschwindigkeit und Windrichtung auch für die für human-biometeorologische Studien benötigte Höhe von 1.1 m. Diese berechneten Größen fließen wiederum in die Berechnung der thermischen Indizes ein. Ein in SkyHelios erstelltes Fish-Eye-Foto kann für Langzeitberechnungen in RayMan übernommen werden und Gebäudedateien aus RayMan oder ENVI-met (Bruse und Fler, 1998) können wiederum von SkyHelios verarbeitet werden.

### Anwendungen

Die Modelle können für Fragestellungen der thermischen Verhältnisse in einfachen und komplexen Strukturen eingesetzt werden. Dies beinhaltet die Quantifizierung von thermischer Belastung auf urbanen Flächen oder in anderen urbanen Strukturen (z.B. Straßenschluchten) (Ketterer und Matzarakis, 2014) sowie spezielle Fragestellungen, wie die Bestimmung geeigneter Perioden für Veranstaltungen und besondere Ereignisse (Matzarakis und Fröhlich, 2014). Fragestellungen über jetzige Bedingungen sowie zukünftige Gestaltungen von urbanen Flächen können bearbeitet werden (Fröhlich und Matzarakis, 2013). Auch für grundlegende Fragen nach dem Breiten-/Höhen-Verhältnis oder nach der optimalen Orientierung von Straßenschluchten bezüglich Kälte- und Hitzestress für längere Zeiträume (Ketterer und Matzarakis, 2014) erweisen sich RayMan und SkyHelios als nützliche Werkzeuge. Darüber hinaus sind sie hilfreich bei der Entwicklung von Adaptationsmaßnahmen in Rahmen des Klimawandels (Matzarakis und Endler, 2010).

### Literatur

- BRUSE, M., FLEER, H., 1998: Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modelling & Software* 13, 373-384
- FRÖHLICH, D., MATZARAKIS, A., 2013: Thermal bioclimate and urban planning in Freiburg - Examples based on urban spaces. *Theoretical and Applied Climatology* 111, 547-558
- KETTERER, C., MATZARAKIS, A., 2014: Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning* 112, 78-88
- MATZARAKIS, A., ENDLER, C., 2010. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology* 54 (4), 479-483
- MATZARAKIS, A., FRÖHLICH, D., 2014: Sport events and climate for visitors - The case of FIFA World Cup in Qatar 2022. *International Journal of Biometeorology*. DOI: 10.1007/s00484-014-0886-5
- MATZARAKIS, A., MATUSCHEK, O., 2011: Sky View Factor as a parameter in applied climatology - Rapid estimation by the SkyHelios Model. *Meteorol. Z.* 20, 39-45
- MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H., 2010: Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments - Basics of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* 54, 131-139

# Accuracy in determining the mean radiant temperature by instruments employed in urban human-biometeorology

H. Staiger<sup>1)</sup>, A. Matzarakis<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, e-mail: [henning.staiger@gmx.de](mailto:henning.staiger@gmx.de)

<sup>2)</sup> Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, e-mail: [matzarak@uni-freiburg.de](mailto:matzarak@uni-freiburg.de)

## Introduction

The mean radiant temperature  $T_{mrt}$  is the most complex of four meteorological inputs governing the external influence on the human energy balance. In urban human-biometeorology  $T_{mrt}$  is frequently modelled (BRUSE, 1999; MATZARAKIS, 2001; MATZARAKIS et al., 2007; LINDBERG et al., 2008; HUTTNER and BRUSE, 2009; MATZARAKIS and MATUSCHEK, 2011). Advantage is that the effective radiant cross-sections of a reference subject can exactly be determined by geometrical relations. Disadvantage is that the short- (SW) and long-wave (LW) radiant fluxes must be modelled, whereby LW depends on the surface temperature of each identified thermally uniform part of the surrounding. Alternatively,  $T_{mrt}$  may be determined by measurements. Applied are: (i) the instrumentally simple method via the black globe temperature  $T_{gGB}$  (ISO 7726, 1998), (ii) the highly elaborate integral measuring procedure requiring measured SW and LW fluxes from the six cardinal directions (HÖPPE, 1992; VDI, 2008). From these a  $T_{mrt,VDI3787}$  is calculated applying a cuboid with a ratio of horizontal to vertical surfaces according to standing posture of a human and assuming a SW absorption of  $\alpha_{sw} = 70\%$ .

## Results

Measured  $T_{gGB}$  of a black globe of 0.15 m diameter and parallel measured SW and LW irradiances on horizontal receivers are available for a plain without noteworthy horizon limitations. This enables  $T_{mrt,TgGB}$  to be provided via ambient temperature and wind speed (ISO, 1998) and, additionally, to derive a  $T_{mrt,IrGB}$  for a sphere based on measured irradiances assuming a SW absorption of  $\alpha_{sw} = 95\%$ . These values can be compared with the standard  $T_{mrt,KMM}$  calculated via the horizontally received fluxes for a subject of standing posture and  $\alpha_{sw} = 70\%$  (VDI, 2008). Tested is, whether  $T_{mrt,TgGB}$  or  $T_{mrt,IrGB}$  are within the ISO 7726 (1998) required thresholds of accuracy for  $T_{mrt,KMM}$  for the comfort class ( $\pm 2$  K), green dotted lines in Fig. 1, or for the stress class ( $\pm 5$  K), red broken lines, respectively, where a level of significance ( $\alpha_{2K}$ ,  $\alpha_{5K}$ ) less than 5% is decisive.  $T_{mrt,IrGB}$  is identical to  $T_{mrt,KMM}$  at night and is higher at daylight due to differing  $\alpha_{sw}$  and shape.

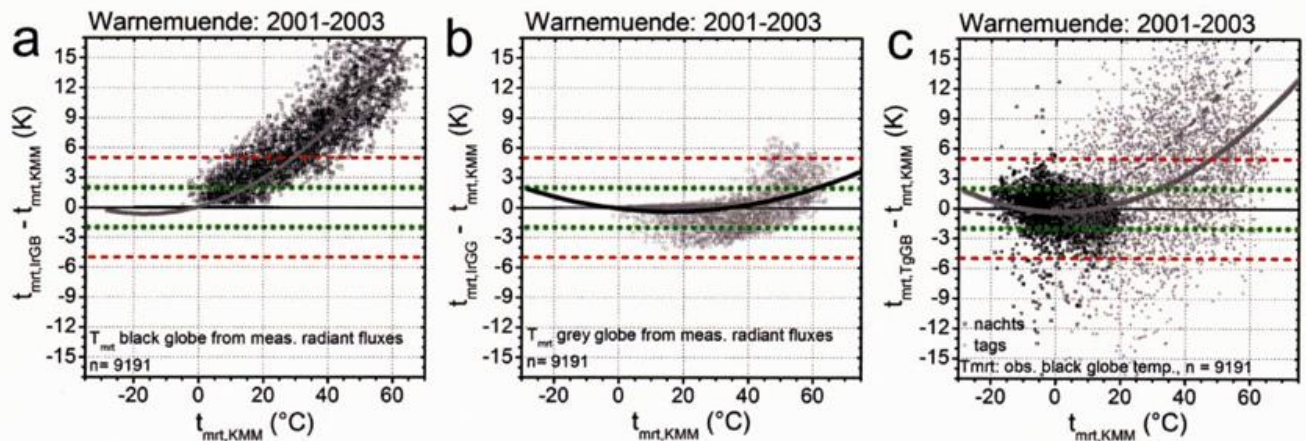


Figure 1 Residuals of  $t_{mrt}$  derived from alternative measurements minus  $t_{mrt,KMM}$ , a)  $t_{mrt,IrGB}$  valid for a black sphere and derived from measured radiant fluxes, b)  $t_{mrt,IrGG}$  valid for a grey sphere and derived from measured radiant fluxes, c)  $t_{mrt,TgGB}$  derived from measured  $T_{gGB}$ , ambient temperature and wind speed.

The scattering at daylight is a function of the solar zenith angle (*SZA*) (Fig. 1a).  $T_{mrt,IrGB}$  does not comply with the required accuracy ( $\alpha_{2K} = 47.3\%$ ,  $\alpha_{5K} = 7.3\%$ ). However, when assuming a grey globe,  $a_{sw} = 70\%$  (De Dear, 1988; THORSSON et al., 2007, KATZSCHNER et al., 2010), than the calculated  $T_{mrt,IrGG}$  is within the required accuracy ( $\alpha_{2K} < 0.1\%$ ,  $\alpha_{5K} < 0.1\%$ ), Fig. 1 b, and the error due to the *SZA* dependence is of 2<sup>nd</sup> order. Compared to  $T_{mrt,IrGB}$ , Fig. 1a, the scattering in  $T_{mrt,TgGB}$ , Fig. 1c, is significantly increased and does not comply with the required accuracy ( $\alpha_{2K} = 47.2\%$ ,  $\alpha_{5K} = 7.4\%$ ). Derived from  $T_{mrt,IrGG}$  and  $T_{mrt,IrGB}$  it can be expected that the error in  $T_{mrt,TgGG}$  from a grey globe is somewhat increased due the temporal inertia of globe instruments, the radiant asymmetry on the sphere (THORSSON et al., 2007; FONTANA, 2010), and inaccuracies in the other inputs. Thus, the evolving scattering may be comparable to the difference between Fig. 1a and c, however, it will be reduced and  $\alpha_{5K}$  may be expected to be lower than 5% (THORSSON et al., 2007).

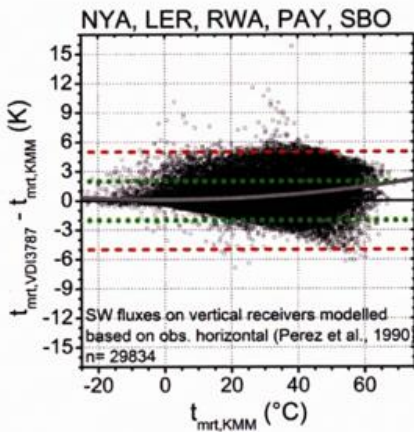


Figure 2 Residuals of  $t_{mrt,VDI3787}$  minus  $t_{mrt,KMM}$

i.e., the measurements may be reduced to a system measuring separately the up- and down-welling LW and SW components and e.g. additionally the down-welling diffuse SW radiation employing a solar tracking disc for an additional pyranometer. Otherwise, the built environment results in anisotropy also of the LW fluxes. Thus, in urban human-bio-meteorological assessment especially the vertical LW receivers give rise to an improved weighting of these anisotropic LW fluxes.

Concerning the globe instrument the net energy gain of the sphere by radiant fluxes is in steady state balanced by energy losses due to convection (BÜTTNER, 1938; HEY, 1968; ISO 1998; KUEHN et al., 1970; THORSSON et al., 2007; FONTANA, 2010). For the latter the temperature of the sphere's outside surface is decisive. Thus, the measured globe temperature must equal the outside surface temperature and, additionally, the radiant (LW) and the free convective fluxes between the inside surface and the thermometer in its centre must be balanced (GRAVES, 1974). In order to reduce temperature differences between the inside and outside surfaces and the asymmetry between parts of the outside surface irradiated by anisotropic radiant components and the other parts, the material of the sphere must have a high thermal conductance. That of e.g. copper is higher by a factor  $\sim 1000$  compared to plastic. Furthermore, the LW radiant exchange inside the sphere will substantially be improved by a painted inside surface of high emissivity (FONTANA, 2010). By these physical reasons, the conclusion from experiment 6 of NIKOLOPOULOU et al. (1999) and its effects on LW radiant energy losses from the outside surface have to be inverted to an advantage of metallic globes.

## Conclusions

In contrast to a flat grey painted sphere, the black globe instruments seem inappropriate in determining  $T_{mrt,KMM}$  outdoors. Outdoors the integral measuring procedure is at present limited to the assessment of stronger deviations from thermal comfort. This instrumental error can be avoided by determining additionally the direct SW flux. In complex urban environments the assumption of isotropy in the LW fluxes will at least in parts be violated. This limits the possibility to restrict measurements to horizontal receivers.

The integral radiant procedure tends to increased values (PARK and TULLER, 2011). These emanate from the direct SW component and depend on the azimuth of the vertical receivers (KANTOR et al., 2014). From geometrical considerations the error is  $e_{an} = I_{sw} \times \sin(SZA) \times ((1 + \sin(2 \times \Delta A_{az}))^{0.5} - 1.273)$ , where  $I_{sw}$  is the direct radiation. The square root describes the dependence of the effective vertical radiant cross-section for anisotropic radiation and is a function of the azimuth difference  $\Delta A_{az}$  between an irradiated receiver and that of the sun. Fig. 2 is derived by modelling the radiant flux densities on vertical receivers based on measured horizontal fluxes (PEREZ et al., 1990). Then, the level of significance is  $\alpha_{2K} = 11.6\%$  and  $\alpha_{5K} < 0.1\%$ .

## Discussion

Concerning the integral measuring procedure, in each case the measured radiant flux densities overlap with the neighbouring receiver in a 90° sector. Hence, the radiant fluxes are principally over-determined,

## **COST Action ES1006 - Evaluierung atmosphärischer Ausbreitungsmodelle für unfallbedingte Freisetzungen in Städten oder Industriegebieten**

*Kathrin Baumann-Stanzer<sup>1)</sup>, Gabriele Rau<sup>1)</sup>, Claudia Flandorfer<sup>1)</sup>, Bernd Leitl<sup>2)</sup>, Silvia Trini Castelli<sup>3)</sup>, Eva Berbekar<sup>4)</sup>, Klara Jurkacova<sup>5)</sup>, Vladimir Fuka<sup>6)</sup>, Gianni Tinarelli<sup>7)</sup>, Anton Petrov<sup>8)</sup>  
und alle COST ES1006 Mitglieder*

1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Austria, 1190 Wien, Hohe Warte 38, [k.baumann-stanzer@zamg.ac.at](mailto:k.baumann-stanzer@zamg.ac.at)

2) Meteorologisches Institut, Universität Hamburg

3) Institute of Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council, Turin, Italien

4) Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Ungarn

5) Academy of Sciences of the Czech Republic, Prag, Tschechien

6) Faculty of Math. and Phys., Charles University, Prag, Tschechien

7) ARIANET Srl, Mailand, Italien

8) NIMH, Sofia, Bulgaria

### **1. Einleitung**

Die COST Action ES1006 beschäftigt sich mit der Evaluierung, Verbesserung und Qualitätssicherung von Störfallmodellen für luftgetragene Stoffe in Städten. Zu diesem Zweck wurden atmosphärische Ausbreitungsmodelle exemplarisch mit geeigneten Feld- und Labormessungen verglichen. Es wurden verschiedenste Ansätze, Modelle ohne Berücksichtigung der Bebauungsstruktur, mit Parametrisierung des Gebäudeeinflusses auf die Strömung sowie komplexe Eulermodellen auf Basis von CFD Strömungssimulationen hinsichtlich ihrer Eignung zur Störfallmodellierung im städtischen Bereich untersucht.

Drei Fallstudien wurden im Rahmen der COST Action ES1006 zur Modellevaluierung herangezogen: (1) Strömungs- und Konzentrationsmessungen im Windkanal für eine idealisierte europäische Stadt („Michelstadt“; Berbekar et al., 2014; Hertwig et al., 2012; Bastigkeit, 2011) (2) Daten aus einem realen Feldexperiment mit kontinuierlichen und kurzfristigen Tracer-Freisetzungen in städtischem Bereich („CUTE“) (3) Aufzeichnungen von einem realen Unfallereignis auf einem Industriegelände („AGREE“). In allen drei Fällen wurden „Blindtests“ durchgeführt, das heißt den Modellierern wurden, wie in einem realen Anwendungsfall, nur die notwendigsten Informationen für die Durchführung der Berechnungen bekannt gegeben. Der Vergleich mit den Messungen erfolgte jeweils getrennt für alle Modellergebnisse gemeinsam.

### **2. Ergebnisse**

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick, wie viele verschiedene Modelle in den drei COST ES1006 Modellvergleichsstudien verwendet wurden.

Tabelle 1: Anzahl der in den COST ES1006 Experimenten verwendeten Modelle

<b>Modellansatz</b>	<b>Michelstadt</b>	<b>CUTE</b>	<b>AGREE</b>
Typ I (ohne Gebäudeeinfluss)	7	4	3
Typ II (empirische/diagnostische Berücksichtigung des Gebäudeeinflusses auf die Strömung)	6	4	4
Typ III (CFD, prognostische Strömungssimulation)	7	6	2

Im Michelstadt Experiment wurden sowohl kontinuierliche als auch kurzfristige Freisetzungen betrachtet und Modellevaluierungen mit Freigabe aller Messdaten zu Beginn („non-blind“) und

Blindtests durchgeführt (Gariazzo et al., 2014; Rakai und Kristof, 2013). Im CUTE-Experiment wurde SF6 an vier verschiedenen Positionen im städtischen Bereich teils kontinuierlich, teils kurzzeitig freigesetzt. Die Auswertungen für CUTE und AGREE sind im Laufen. Exemplarische Ergebnisse sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 zu sehen.

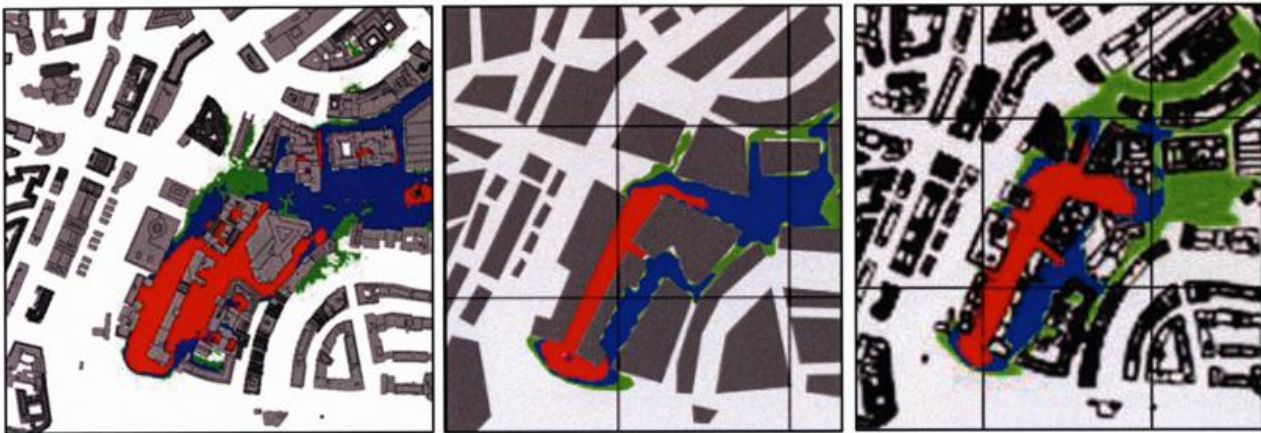


Abbildung 1: Exemplarische Ergebnisse des CUTE Modellvergleichs (Konzentrationsfelder in 2-4m über Grund, 30min Mittelwert) links: MSS (Typ II), Mitte: LASAT (Typ II), rechts: MISKAM/LASAT (Typ III).



Abbildung 2: Exemplarische Ergebnisse des AGREE Modellvergleichs (Konzentrationsfelder in 0-2m über Grund, 240s nach Beginn der Freisetzung) links: AERMOD (Typ I), Mitte: LASAT (Typ II), rechts: MISKAM (Typ III).

## Literatur

- BASTIGKEIT I., 2011: Erzeugung von Validierungsdaten für wirbelaufösende mikroskalige Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Dissertation. <http://www.mi.uni-hamburg.de/Publications.310.0.html>
- BERBEKAR E., HARMS, F., LEITL, B., 2014: Wind tunnel measurements of accidental gas releases in a simplified urban environment. Proceedings of the 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 8-11 September 2014, Varna, Bulgaria
- GARIAZZO C., LEITL, B., TRINI CASTELLI, S., BAUMANN-STANZER, K., REISIN, T.G., BARMAS, F., TINARELLI, G., MILLIEZ, C.M., ARMAND, P., BEMPORAD, E., 2014: COST Action ES1006. Evaluation, improvement and guidance of local-scale emergency prediction and response tools for airborne hazards in built environments: ongoing activities, experiments and recent results, Chemical Engineering Transactions, 36, 529-534 DOI: 10.3303/CET1436089
- HERTWIG D., EFTHIMIOU, G.C., BARTZIS, J.G., LEITL, B. 2012: CFD-RANS Model Validation of Turbulent Flow in a Semi-idealized Urban Canopy. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 111, 61-72. DOI: 10.1016/j.jweia.2012.09.003
- RAKAI A., KRISTOF, G., 2013: Microscale Obstacle Resolving Air Quality Model Evaluation with the Michelstadt Case. The Scientific World Journal, Vol. 2013, Article ID 781748, 11 pages. DOI:10.1155/2013/781748

## Auswertungen der Inversionshöhen aus ca. 50 Jahren Radiosondendaten

H. Hebbinghaus<sup>1)</sup>, S. Wurzler<sup>1)</sup>

1) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Leibnizstr. 10, D-45659 Recklinghausen, heike.hebbinghaus@lanuv.nrw.de

Vor allem im Winterhalbjahr werden in Europa regelmäßig Episoden mit hohen PM<sub>10</sub>-Konzentrationen beobachtet. Während dieser PM<sub>10</sub>-Episoden liegen großräumig Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m<sup>3</sup> (Überschreitungstag) vor. Diese Zeiten hoher PM<sub>10</sub>-Konzentrationen treten häufig im Zusammenhang mit niedriger Inversion und geringen Windgeschwindigkeiten auf. Bedingt durch eine niedrige Grenzschichthöhe kommt es dann zu einer Anreicherung der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen aus lokalen Quellen. Trotz einer Vielzahl an Maßnahmen zur Verringerung der PM<sub>10</sub>-Emissionen ist es in NRW noch nicht gelungen, an allen Messstationen die erlaubte Zahl von 35 Überschreitungstagen sicher einzuhalten. In anderen Ländern ergibt sich ein ähnliches Bild.

Es stellt sich die Frage, ob neben Änderungen der Emissionen, etwa einem höherem Beitrag an Holzfeuerung (PFEFFER et al., 2013), auch Änderungen der Häufigkeit niedriger Inversionen auftreten und zu der PM<sub>10</sub>-Problematik beitragen. Eine bisherige Untersuchung zum Zusammenhang zwischen PM<sub>10</sub>-Episoden und Wetterlagen ergab, dass die verfügbare Datenbasis zu gering für eine statistisch gesicherte Aussage ist (WURZLER et al., 2013). Auf der anderen Seite haben ZHANG et al. (2013) aus Radiosondendaten im Zeitraum 1973 bis 2010 eine Zunahme der Grenzschichthöhe am Tage gefunden. Wirkt sich dies auf die für PM<sub>10</sub>-Episoden relevante Inversionshöhe aus? Ändert sich die Häufigkeit bodennaher Inversionen? Hierzu wurden Radiosondendaten auf mögliche Veränderungen bezüglich der Häufigkeit niedriger Inversionen mit Relevanz für PM<sub>10</sub>-Episoden untersucht.

Basis der Untersuchungen sind Radiosondendaten aus dem Integrated Global Radiosonde Archive (DURRE et al., 2006) verschiedener Stationen in und um Nordrhein-Westfalen von 1965 bis 2014. Da bodennahe Inversionen und damit verbundene PM<sub>10</sub>-Episoden in erster Linie im Winterhalbjahr auftreten, wurde jeweils der Zeitraum Oktober eines Jahres bis März des Folgejahres ausgewertet. Die detaillierte Auswertung beschränkt sich dabei auf die Häufigkeit von Inversionen mit einer Höhe von weniger als 500 m bzw. weniger als 1000 m Höhe. Die Inversionshöhen an sich weisen eine große Schwankungsbreite über die Zeit auf, so dass eine Betrachtung der Inversionshöhen direkt nicht sinnvoll ist (Abb. 1).

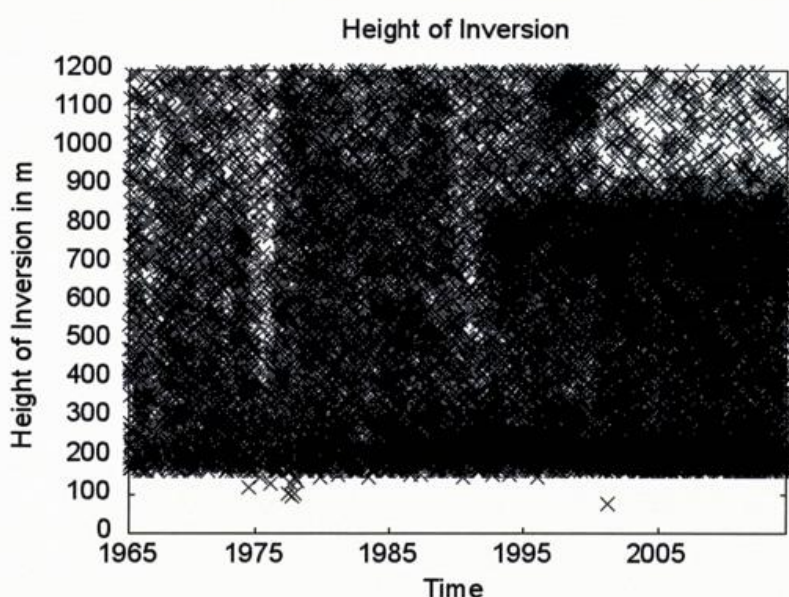
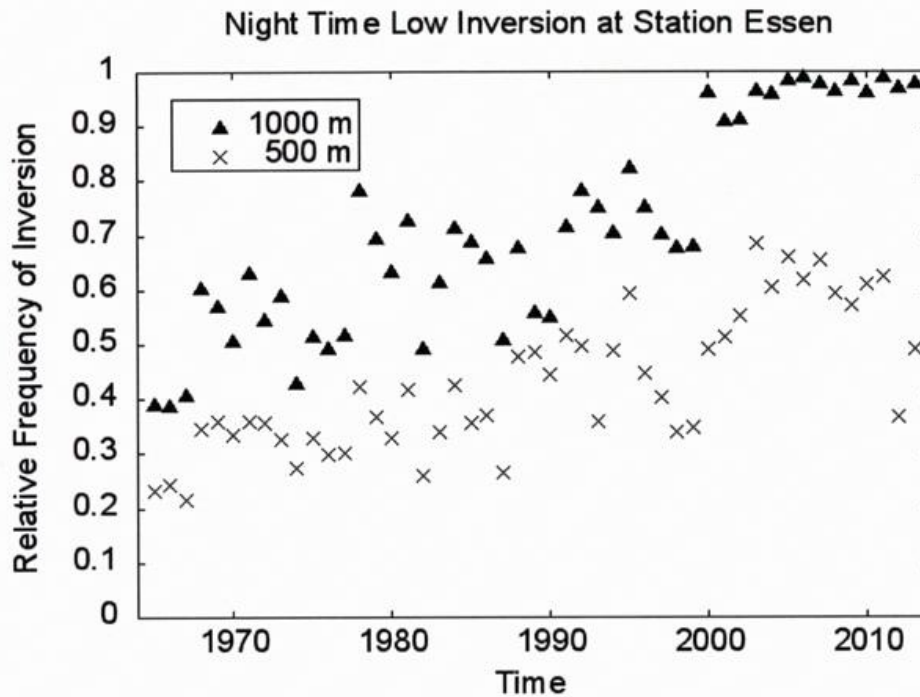


Abb. 1: Inversionshöhen an der Station Essen von 1965 bis 2014.

Es ergibt sich zumindest teilweise eine statistisch signifikante Änderung der Häufigkeit niedriger Inversionen. So zeigt die Station Essen während der Nacht (00 UTC) eine statistisch signifikante Zunahme der relativen Inversionshäufigkeiten (Abb. 2). Weitere Untersuchungen werden derzeit durchgeführt.



**Abb. 2:** Relative Häufigkeit von nächtlichen Inversionen (00 UTC) unterhalb von 500 m (Kreuze) bzw. 1000 m (Dreiecke) an der Station Essen während des Winterhalbjahres von 1965 bis 2014.

Inwieweit dieser Trend ganz oder teilweise auf den anthropogenen Klimawandel zurückzuführen ist oder andere Faktoren, wie etwa Änderungen in der Landnutzung, eine Rolle spielen, lässt sich auf Basis dieser Daten und der bisherigen Untersuchungen nicht beantworten. Auch Änderungen in Messinstrumenten oder in der Datenerfassung können einen Einfluss haben. Die Untersuchungen deuten aber darauf hin, dass in den letzten 50 Jahren Veränderungen in den Wetterbedingungen aufgetreten sind, die die Häufigkeit von  $PM_{10}$ -Episoden negativ beeinflussen.

DURRE, I., VOSE, R. S., WUERTZ, D. B., 2006: Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive. *Journal of Climate* 19, 53-68.

PFEFFER, U., BREUER, L., GLADTKE, D., SCHUCK, T. J., 2013: Beitrag der Holzverbrennung zur Überschreitung von  $PM_{10}$ -Grenzwerten in Nordrhein-Westfalen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 73, 239-245.

WURZLER, S., HEBBINGHAUS, H., GEIGER, J., LOMMES, F., MATEJA, M., 2013: Zusammenhang zwischen  $PM_{10}$ -Überschreitungstagen und Wetterlagen. Poster, DACH-MT.

ZHANG, Y., SEIDEL, D. J., ZHANG, S., 2013: Trends in Planetary Boundary Layer Height over Europe. *Journal of Climate* 26, 10071-10076.

Session 6:  
**„Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart  
und Zukunft“**

## Verbessert Elektromobilität die Luftqualität? Eine Sensitivitätsstudie

<sup>1</sup> S. Wurzler, <sup>1</sup> H. Hebbinghaus, <sup>1</sup> W. Straub, <sup>1</sup> I. Steckelbach, <sup>1</sup> T. Schulz, <sup>1</sup> T. Schöllnhammer<sup>2a</sup>,  
<sup>2b</sup> S. Nowag, <sup>3</sup> M. Memmesheimer, <sup>3</sup> H. Jakob

<sup>1</sup> Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Postfach 101052, D-45610 Recklinghausen, [sabine.wurzler@lanuv.nrw.de](mailto:sabine.wurzler@lanuv.nrw.de)

<sup>2a</sup> Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, <sup>2b</sup> Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum

<sup>3</sup> Rheinisches Institut für Umweltforschung, Universität zu Köln, Aachener Straße 209, D-50931 Köln

Straßenverkehr ist eine der Hauptquellen für Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Feinstaub (PM<sub>10</sub>). Er trägt nicht nur lokal in den Straßenschluchten stark zur Luftschadstoffbelastung bei, sondern auch zum regionalen Hintergrundniveau, z. B. in NRW bis zu 10 % für PM<sub>10</sub> und bis zu 40 % für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) (HEBBINGHAUS et al., 2014). Eine Möglichkeit zur Verringerung der Straßenverkehrsemissionen ist Elektromobilität. Die Bundesregierung hat das Ziel formuliert, die Anzahl der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge auf 1 Million im Jahr 2020 und 6 Millionen im Jahr 2030 (dies entspricht einem Anteil von ca. 15 % an der Gesamtfahrzeugflotte) zu erhöhen.

Wie wirkt sich dies auf die Luftschadstoffbelastung, insbesondere für PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> und Ozon (O<sub>3</sub>), aus? Sind die Ziele der Bundesregierung ausreichend für eine signifikante Reduktion der Luftschadstoffbelastung sowohl in der Straßenschlucht als auch im regionalen Hintergrundniveau? Welcher Anteil an Elektrofahrzeugen wäre notwendig zur Grenzwerteinhaltung in stark befahrenen Straßenschluchten? Wie sind die Auswirkungen der für den Antrieb benötigten Stromerzeugung? Diesen Fragen sind wir mit Modellsimulationen nachgegangen, mit Fokus auf der Betrachtung von Jahresmittelwerten.

### Lokale Effekte der Elektromobilität

Die lokalen Effekte wurden mit einem Screeningmodell (Immis<sup>Luft</sup>, YAMARTINO und WIEGAND, 1986) für zwei typische Straßenschluchten in NRW untersucht (SCHÖLLNHAMMER et al., 2014, HEBBINGHAUS et al., 2013). Die Untersuchungen zeigen, dass Elektromobilität die Immissionszusatzbelastung durch den lokalen Straßenverkehr verringert, die Ziele der Bundesregierung aber nicht ausreichend für eine Einhaltung der Grenzwerte in den betrachteten Straßenschluchten sind. Vor allem bei PM<sub>10</sub> ist die lokale Reduktion gering, da ein großer Teil der PM<sub>10</sub>-Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb stammt, und damit unabhängig von Abgasemissionen ist. Die Auswirkungen auf die Hintergrundbelastung wurden hierbei nicht berücksichtigt.

### Regionale Effekte der Elektromobilität

Die Auswirkungen der Elektromobilität auf das regionale Hintergrundniveau in NRW wurden in einer Sensitivitätsstudie mit dem Chemie-Transport-Modell EURAD (EBEL et al., 1997) des Rheinischen Instituts für Umweltforschung der Universität zu Köln untersucht.

Es zeigt sich, dass ein Elektromobilitätsanteil von 15 % in NRW zu keiner signifikanten Reduktion des regionalen Hintergrundniveaus für PM<sub>10</sub> (Jahresmittelwert und Überschreitungstage) und zu einer Reduktion von bis zu 2 µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub> führt. Eine deutliche Verringerung des regionalen Hintergrundniveaus für PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub> ergibt sich dagegen bei 100 % Elektromobilität bei zeitgleich emissionsfreier Erzeugung des zusätzlichen Stroms. Die größten Effekte treten erwartungsgemäß dort auf, wo der meiste Straßenverkehr vorliegt.

Wird der benötigte Strom nicht emissionsfrei gewonnen, steigt die PM<sub>10</sub>-Hintergrundbelastung in einigen Gebieten NRWs an. Für NO<sub>2</sub> ist zwar weiterhin flächendeckend eine Reduktion zu beobachten, diese fällt

jedoch geringer aus als bei emissionsfreier Zusatzstromerzeugung. Vor allem in Gebieten mit einer hohen Industriedichte wirken die entlastenden Effekte von Elektromobilität und die belastenden Effekte einer nicht-emissionsfreien Zusatzstromerzeugung einander entgegen.

In allen untersuchten Szenarien zeigt sich, dass die Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Elektromobilität zu einem Anstieg der O<sub>3</sub>-Konzentration im regionalen Hintergrund führt, die entgegengesetzt zur Verringerung der NO<sub>2</sub>-Konzentration ist. Wie sich dies auf die gesundheitlich relevanten O<sub>3</sub>-Stundenmittelwerte, vor allem im Sommer, auswirkt, wird noch ausgewertet.

#### **Gesamteffekt**

Die lokale Belastung ergibt sich aus der regionalen Hintergrundbelastung und dem Einfluss lokaler Quellen, etwa dem lokalen Verkehr in einer Straßenschlucht. Die Kombination der lokalen und regionalen Effekte von Elektromobilität auf die Luftqualität in der Straßenschlucht wird derzeit im Rahmen einer Masterarbeit an der Ruhruniversität Bochum untersucht.

#### **Literatur:**

EBEL, A., ELBERN, H., FELDMANN, H., JAKOBS, H.-J., KESSLER, C., MEMMESBEINER, M., OBERREUTER, A., PIEKORZ, G., 1997: Air pollution studies with the EURAD model system (3). Technical Report 120, Institute of Geophysics and Meteorology, University of Cologne.

HEBBINGHAUS, H., SCHÖLLNHAMMER, T., WURZLER, S., SCHULZ, T., 2013: Auswirkungen der Elektromobilität auf die Luftqualität in Straßenschluchten. DACH-MT, Innsbruck, 2.-6.9.2013.

HEBBINGHAUS, H., WURZLER, S., MEMMESHEIMER, M., PIEKORZ, G., FRIESE, E., JAKOBS, H., KESSLER, C., EBEL, A., NOWAG, S., BRUCKMANN, P., 2014: The Origin of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> Background Levels in Germany with focus on North Rhine-Westphalia. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, **74**, 299-311

SCHÖLLNHAMMER, T., HEBBINGHAUS, H., WURZLER, S., SCHULZ, T., 2014: Effects of electric vehicles on air quality in street canyons. Meteorologische Zeitschrift. (in print)

YAMARTINO, R. J., WIEGAND, G., 1986: Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. Atmospheric Environment **20**, 2137–2156.

Die Autoren danken dem MKULNV NRW für die finanzielle Unterstützung von Teilen der Untersuchungen und der IVU Umwelt GmbH für die Studentenlizenz von Immis<sup>Luft</sup>.

## Meteorologische Messungen zur Charakterisierung der Schallausbreitung in größerer Entfernung

Erich Mursch-Radlgruber<sup>1)</sup>, Dieter Hohenwarter<sup>2)</sup>

1) Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Peter Jordanstraße 82, 1190 Wien, [erich.mursch-radlgruber@boku.ac.at](mailto:erich.mursch-radlgruber@boku.ac.at)

2) Versuchsanstalt TGM, Wexstraße 19-23, 1200 Wien, [dieter.hohenwarter@tgm.ac.at](mailto:dieter.hohenwarter@tgm.ac.at)

Ziel der Arbeit war die Erfassung der vertikalen atmosphärischen Struktur und die Analyse der Schallimmissionen von Zugvorbeifahrten in ebenem Gelände für Entfernungen bis zu 200m. Die vertikalen Strukturen wurden mit einem Fesselballonsystem bis in eine Höhe von ca. 100m gemessen. In einem Jahr erfolgten mehrere Messperioden mit Tagen und Nächten. In Abbildung 1 sind beispielhaft zwei Aufstiege der Nacht vom 2. auf 3. Juli für die relevanten Größen Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, sowie relative Feuchte dargestellt. Besonders bemerkenswert ist die bodennahe Winddrehung am Morgen des 3. Juli um 5:40. Die Nacht ist durch eine Hochdrucklage mit starken Winden und einer ausgeprägten Bodeninversion gekennzeichnet. In der Folge werden die Messungen dieser Nacht diskutiert.

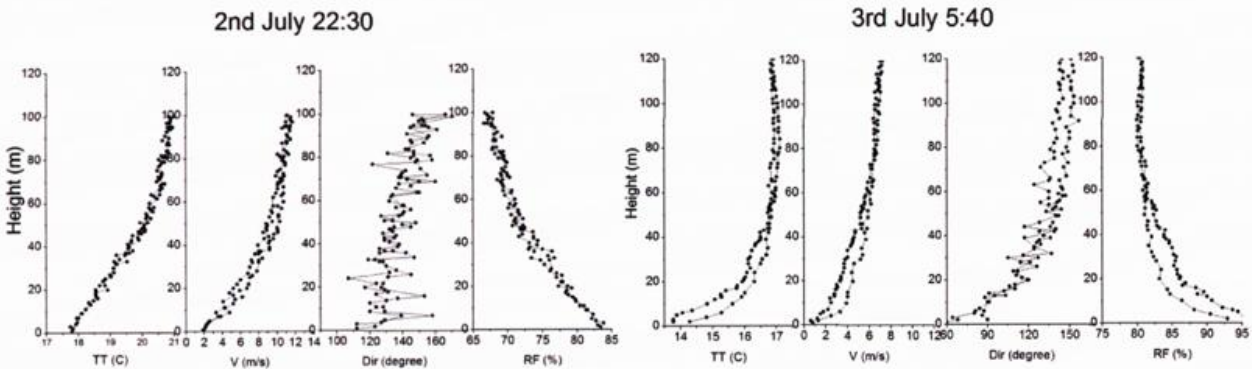


Abb.1: Vertikalsondierungen von Lufttemperatur, -feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung

Es wurden die Schallimmissionen von Zugvorbeifahrten in 200 m Entfernung von einer Schienenstrecke gemessen und die Pegeldifferenz zum 25 m Messpunkt gebildet. Entsprechend der geometrischen Schallpegelabnahme müsste sich in diesem Fall die Pegeldifferenz 9 dB betragen. In Fig.11 aus [1] ist ersichtlich, dass bei Mitwindschallausbreitung und stabiler meteorologische Situation die Pegeldifferenz etwa 10 dB(A) und bei nicht stabiler Situation etwa 13 dB(A) beträgt. Bei Mitwindschallausbreitung betrug der Einfluss von Meteorologie und Bodeneffekten daher bis maximal 4 dB(A). Der effektive Schallgeschwindigkeitsgradient enthält den Temperaturgradienten mit einer Konstanten und den Windgeschwindigkeitsgradienten mit der Windrichtung. Im Fall der Gegenwindschallausbreitung beträgt bei stabiler meteorologischer Situation die Pegelabnahme 20 dB(A) und bei nicht stabiler Situation 30 dB(A). Unter Berücksichtigung der geometrischen Schallpegelabnahme beträgt

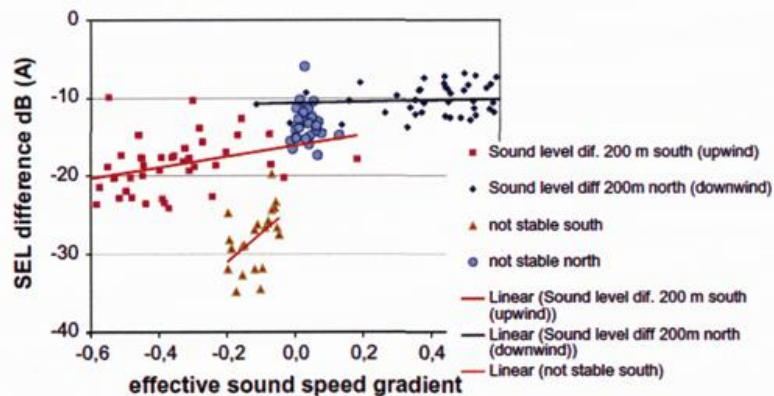


Fig. 11. SEL differences as a function of the effective sound speed gradient distinguished between north (downwind) respectively south (upwind) and stable respectively unstable measurement period on 2nd/3rd July.

Bei Mitwindschallausbreitung betrug der Einfluss von Meteorologie und Bodeneffekten daher bis maximal 4 dB(A). Der effektive Schallgeschwindigkeitsgradient enthält den Temperaturgradienten mit einer Konstanten und den Windgeschwindigkeitsgradienten mit der Windrichtung. Im Fall der Gegenwindschallausbreitung beträgt bei stabiler meteorologischer Situation die Pegelabnahme 20 dB(A) und bei nicht stabiler Situation 30 dB(A). Unter Berücksichtigung der geometrischen Schallpegelabnahme beträgt

der Einfluss der Meteorologie bei Gegenwind in Abhängigkeit von der Stabilitätssituation zw. 11 und 21 dB(A).

Die Pegelminderung in Abhängigkeit von der Frequenz ist in Fig. 12 aus [1] dargestellt. Bei Mitwindausbreitung nördlich der Bahn zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen stabiler und nicht stabiler meteorologischer Situation. Bei Gegenwindausbreitung südlich der Bahn zeigen sich deutliche Unterschiede von 7 dB im Frequenzbereich zwischen 315 und 3150 Hz zwischen stabiler und nicht stabiler meteorologischer Situation.

426

D. Hohenwarter, E. Mursch-Radlgruber / *Applied Acoustics* 76 (2014) 416–430

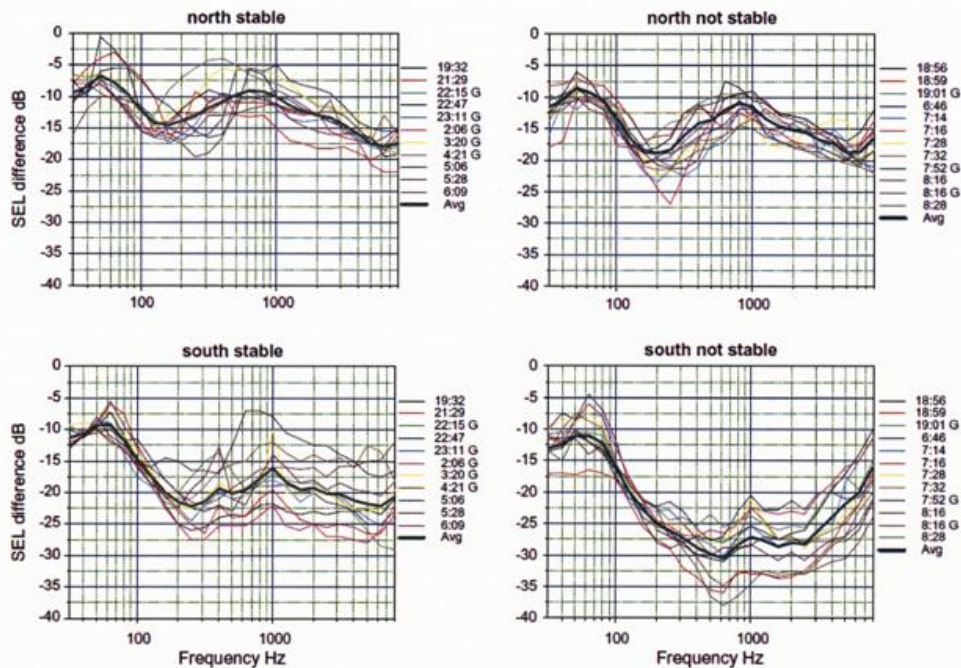


Fig. 12. Frequency dependent SEL difference ( $\Delta L = L_{SEL,200m} - L_{SEL,25m}$ ) for north with downwind and south with upwind sound propagation for stable and not stable meteorological situation on 2nd/3rd July.

Da die Bodeneffekte während einer Nacht an denselben Messpunkten unverändert bleiben, können diese Effekte eindeutig der veränderten meteorologischen Situation zugeordnet werden.

Die Monin-Obukhov Länge ist sehr gut zur Beschreibung der meteorologischen Situation geeignet, weil darin der Windgeschwindigkeits- und der Temperaturgradient als Verhältnis enthalten sind, während beim effektiven Schallgeschwindigkeitsgradienten beide in der Summe enthalten sind. Der effektive Schallgeschwindigkeitsgradient ist für die Berechnung der Schallwellen verantwortlich.

In dem Bericht wird die Frage gestellt, bis zu welcher Höhe der Kenntnis der atmosphärischen Struktur zur Beurteilung der Schallimmissionssituation in größeren Entfernungen notwendig ist. Schallimmissionen sollen bis Entfernungen von 2000m ermittelt werden. Empfohlen wird öfters die atmosphärische Struktur bis zu einer Höhe, welche 10-20% der Entfernung entspricht, zu ermitteln. Dies ist schwierig bzw. kostenintensiv zu bewerkstelligen. Unter welchen Bedingungen ist dies notwendig oder kann man mit bodennahen Messungen (bis zu einer Höhe von 10-20m) das Auslangen finden.

- [1] Dieter Hohenwarter, Erich Mursch-Radlgruber: Nocturnal boundary layer profiles and measured frequency dependent influence on sound propagation, *applied acoustics* 76(2014) 416-430.

## Wie beeinflusst die Meteorologie das Lärmschutzpotenzial von Waldgebieten?

Astrid Ziemann<sup>1)</sup>, D. Keith Wilson<sup>2)</sup>

1) Technische Universität Dresden, Professur Meteorologie, 01062 Dresden, astrid.ziemann@tu-dresden.de

2) ERDC-CRREL, 72 Lyme Rd., Hanover, NH 03755-1290, USA, E-Mail: D.Keith.Wilson@usace.army.mil

Lärm ist nach wie vor eines der bedeutendsten Umweltprobleme in Mitteleuropa. Die Anpflanzung von Vegetationsbeständen als Hindernisse im Schallausbreitungsweg wird gegenwärtig als eine Möglichkeit des Lärmschutzes diskutiert, um die Schallimmission und damit die Lärmbelastung zu verringern. Bisherige Untersuchungen ergaben teilweise widersprüchliche Ergebnisse, insbesondere zum räumlich und zeitlich variablen meteorologischen Einfluss auf das Lärmschutzpotenzial. Vor diesem Hintergrund wurde eine Modellkette aus Atmosphären- und Schallausbreitungsmodellen entwickelt, um verschiedene umgebungs- und vegetationspezifische Bedingungen bezüglich ihres tages- und jahreszeitperiodischen meteorologischen Einflusses auf die Lärmimmission zu bewerten.

Um Wind- und Temperaturfelder in Waldgebieten zu simulieren, wurde das Grenzschichtmodell HIRVAC (HIgh Resolution Vegetation Atmosphere Coupler, Goldberg und Bernhofer, 2001) weiterentwickelt. Eine besondere Eigenschaft dieses Modells ist die numerische Simulation einer hoch aufgelösten Vegetationsschicht und ihrer Wechselwirkung mit dem Strömungs-, Temperatur- und Luftfeuchtefeld (Ziemann, 1998). Die zweidimensionale Modellversion von HIRVAC bezieht die Effekte horizontaler Inhomogenitäten der Vegetations- und Untergrundeigenschaften in die Simulationen ein. Damit ist es auch möglich, die zeitliche Variabilität von Wind- und Temperaturfeldern in Waldgebieten mit Lichtungen oder von Waldstreifen auf Grasflächen zu untersuchen. Abbildung 1 zeigt eine HIRVAC-Simulation für einen 200 m breiten und an den Rändern gestuften Laubwaldstreifen an einem Sommertag in der Mittagszeit. Die Wind- und Temperaturprofile unterscheiden sich zwischen dem Waldbestand und der umgebenden Graslandschaft. Diese Modifizierung der meteorologischen Größen führt auch zu einer veränderten Schallausbreitung durch Waldgebiete im Vergleich zu den Ausbreitungsverhältnissen über einer Grasfläche. Um diese Schallausbreitungseffekte zu untersuchen, werden die mit dem Atmosphärenmodell berechneten Wind- und Temperaturfelder als Eingangsgrößen für ein zweidimensionales Schallausbreitungsmodell (Wilson et al., 2003) genutzt.

Die Schallausbreitungsgeometrie, d.h. die Höhe der Schallquelle (1.4 m) und Empfänger (1.6 m) sowie deren Entfernungen voneinander, wurde an Freilandmessungen angepasst. Um die Schallimmission unabhängig von den speziellen Eigenschaften der Schallquelle zu quantifizieren, wurde die Schalldämpfung zwischen zwei Empfängerpunkten (Referenzempfänger in 26 m Entfernung von der Schallquelle) bestimmt. Die mit dem Schallwellenmodell simulierte Schalldämpfung beinhaltet den zeitlich konstanten Bodeneinfluss sowie den variablen meteorologischen Einfluss (Abbildung 2). Die Schalldämpfung zeigt eine tägliche und saisonale Variabilität von bis zu 20 dB für größere Entfernungen und eine Schallfrequenz von 500 Hz. Für eine Gegenwindausbreitung ist die Schalldämpfung meistens größer als in Mitwindrichtung, bis auf die Ausbreitung von Schallsignalen in einem Laubwaldstreifen.

Im Allgemeinen ist die Schallausbreitung in Mitwindrichtung problematischer bezüglich des Lärmschutzes. Der Vergleich zwischen der meteorologisch bedingten Schalldämpfung in einem Waldstreifen und über einer Grasfläche empfiehlt einen Laubwaldstreifen mit einer maximalen Zusatzdämpfung von bis zu 14 dB im Sommer. In diesem Fall ist die zusätzliche meteorologische Dämpfung des Waldgebietes gegenüber einer Graslandschaft in der Größenordnung einer typischen Gesamtdämpfung von Straßenverkehrslärm durch einen Waldstreifen.

Um die Modellkette zu validieren, wurden Intensivmesskampagnen im Tharandter Wald auf einer Lichtung und in einem Altlichtenbestand durchgeführt (Ziemann et al., 2013). Bereits für geringe Schallfrequenzen von 63 Hz kann der meteorologische Einfluss auf den Schallpegel sowohl in den Messungen als auch in den Modellergebnissen nachgewiesen werden. In den Morgen- und Abendstunden herrschten

Mitwindbedingungen, die zu höheren Schallpegelwerten im Vergleich zur Mittagszeit führten. Diese tägliche Variabilität ist typisch für die Tagesgänge bei autochthoner Wetterlage in den untersuchten Waldgebieten. Die mit den Messungen validierte Modellkette empfiehlt sich für die Prognose der Wirkung von Lärmschutzwäldern.

### Literatur

GOLDBERG, V., BERNHOFER, C., 2001: Quantifying the coupling degree between land surface and the atmospheric boundary layer with the coupled vegetation-atmosphere model HIRVAC. *Annales Geophysicae* 19, 581-587

ZIEMANN, A., 1998: Numerical simulation of meteorological quantities in and above forest canopies. *Meteorol. Z.* 7, 120-128

WILSON, D. K., NOBLE, J. M., COLEMAN, M. A., 2003: Sound propagation in the nocturnal boundary layer. *J. Atmos. Sci.* 60, 2473-2486

ZIEMANN, A., BARTH, M., HEHN, M., 2013: Experimental investigation of the meteorologically influenced sound propagation through an inhomogeneous forest site. *Meteorol. Z.* 22, 221-229

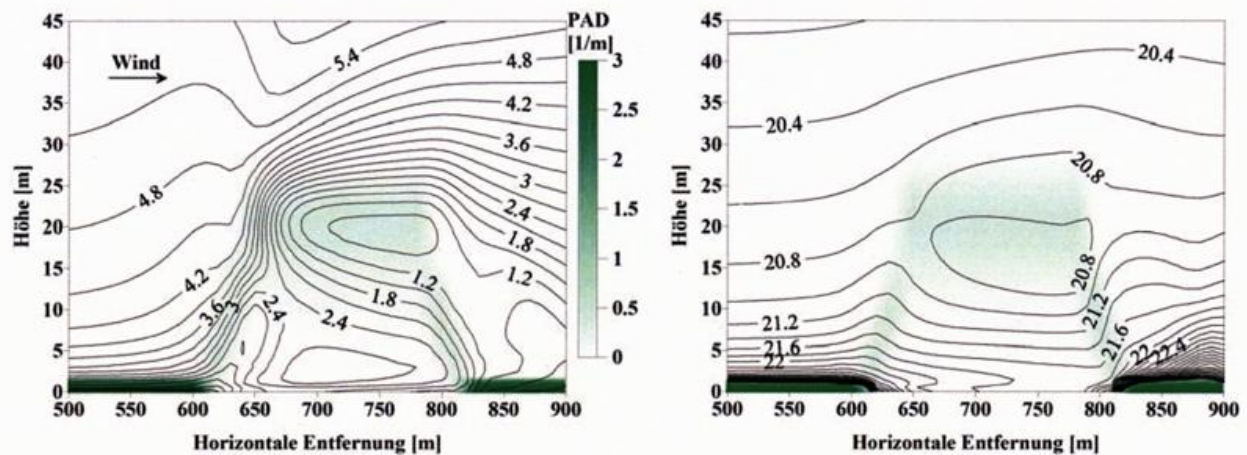


Abb. 1: Horizontale Windgeschwindigkeit (links, in m/s) und Lufttemperatur (rechts, in °C) für einen Laubwaldstreifen (Pflanzenflächendichte PAD in Grüntönen) umgeben von einer homogenen Graslandschaft, HIRVAC-Simulation am 15. Juli, 12 Uhr.

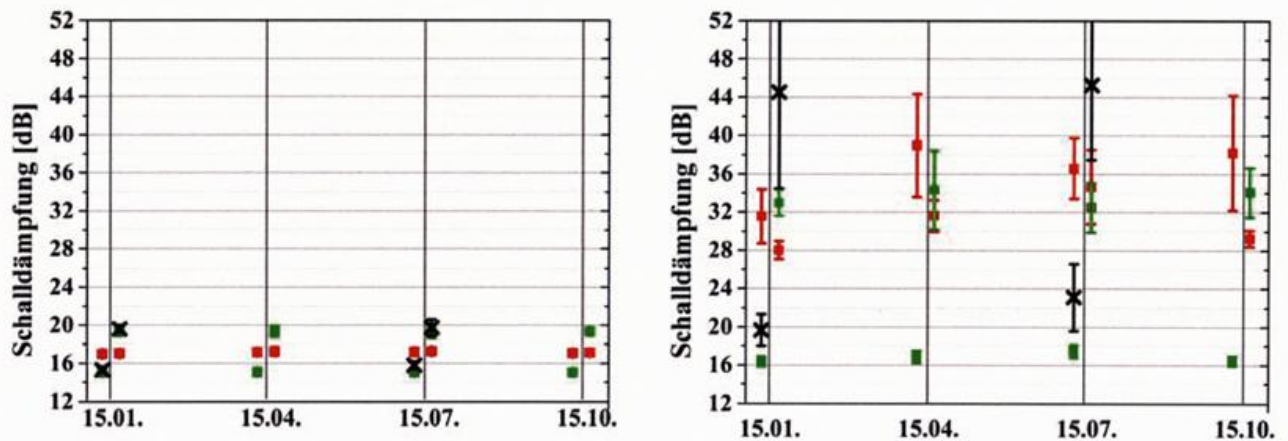


Abb. 2: Tagesmittelwert und Standardabweichung der Schalldämpfung zwischen zwei Empfängern jeweils am Rand eines Waldstreifens in einem Abstand von 164 m für einen Laubwald (rot), einen Nadelwald (grün) und eine homogene Grasfläche (schwarz). Simulation der Schallausbreitung des monofrequenten Schallsignals (63 Hz links, 500 Hz rechts) in Windrichtung (links der vertikalen Linie für verschiedene Tage im Jahr) und in Gegenwindrichtung (rechts der vertikalen Linie für verschiedene Tage im Jahr).

## **Einfluss von Meteorologie und Wald auf die Schallausbreitung**

*Arthur Schady<sup>1)</sup>, Astrid Ziemann<sup>2)</sup>, Dietrich Heimann<sup>1)</sup>*

*1) DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, Münchener Str. 20, 82234 Oberpfaffenhofen,  
Arthur.Schady@dlr.de, Dietrich.Heimann@dlr.de*

*2) Technische Universität Dresden, Professur Meteorologie, 01062 Dresden,  
astrid.ziemann@tu-dresden.de*

Die akustische Wirkung von Wald auf die Umgebung setzt sich aus Reflexion, Absorption und Streuung der Schallwellen an den Bäumen (direkter Effekt) sowie der Veränderung der Ausbreitungsbedingungen durch den Wald (indirekter Effekt) zusammen. Die Bestimmung der Schalldämpfung im Wald erfordert deshalb eine genaue Untersuchung der Beschaffenheit des Waldbestandes und der Ausbreitungsbedingungen. Es wurde die Schallausbreitung durch Wald und eine Lichtung unter dem Einfluss der Meteorologie durch Messungen und Modellierung im Tagesverlauf für verschiedene Frequenzbänder verglichen. Es sind Tagesgänge im Schallpegel in Modell und Messung zu erkennen, die durch den Tagesgang der meteorologischen Größen hervorgerufen werden und deutliche Unterschiede zu der Schallausbreitung außerhalb des Waldes festzustellen. Abbildung 1 zeigt das Modellgebiet im Tharandter Wald, die Lichtung und den Altlichtenbestand. Um die Modellkette zu validieren, wurden hier Messkampagnen durchgeführt (Ziemann et al., 2013).

Die Wind- und Temperaturfelder in dem Waldgebiet wurden mit Hilfe des Mesoskalenmodells FITNAH (Groß, 1987, 1993) berechnet. Einflüsse der Topografie, der Landnutzung sowie des Waldes, werden hierbei nachgebildet. In diesem Modell wird der Wald innerhalb der Vegetationsschicht mechanisch und thermisch über den Blattflächenindex parametrisiert.

Die Schallausbreitung wurde mit einem linearisierten Eulerschen Modell berechnet, das die Gleichungen für Schalldruck und Schallschnelle prognostisch löst. In dem Schallausbreitungsmodell wurde die Geometrie, d.h. die Höhe der Schallquelle (1,35 m) und der Empfänger (1,6 m) sowie deren Entfernungen voneinander, an die Orte der Freilandmessungen angepasst. Um die Schallimmission unabhängig von den speziellen Eigenschaften der Schallquelle zu quantifizieren, wurde die Schalldämpfung zwischen zwei Empfängerpunkten (Referenzempfänger in 26 m Entfernung von der Schallquelle) bestimmt. Die mit dem Schallwellenmodell simulierte Schalldämpfung beinhaltet den Einfluss der Baumstämme, den räumlich unterschiedlichen Bodeneinfluss von Wald und Lichtung sowie den zeitlich variablen meteorologischen Einfluss. Die Schalldämpfung zeigt eine tägliche Variabilität von bis zu 5 dB für größere Entfernungen und eine Schallfrequenz von 125 Hz.

Der Vergleich von Messung und Simulation zwischen der meteorologisch bedingten Schalldämpfung in dem Waldgebiet und über der Lichtung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Bereits für niedrige Schallfrequenzen (z.B. 40 Hz) konnte auch der meteorologische Einfluss auf den Schallpegel, sowohl in den Messungen, als auch in den Modellergebnissen nachgewiesen werden. Diese tägliche Variabilität ist typisch für Tagesgänge bei Strahlungswetterlagen.

### Literatur

GROSS, G., 1987: Some effects of deforestation on nocturnal drainage flow and local climate - a numerical study. *Boundary-Layer Meteorology*, 38, 315–337.

GROSS, G., 1993: *Numerical Simulation of Canopy Flows*. Springer, Berlin. ISBN 3-540-52520-3.

ZIEMANN, A., BARTH, M., HEHN, M., 2013: Experimental investigation of the meteorologically influenced sound propagation through an inhomogeneous forest site. *Meteorol. Z.*, 22, 221–229

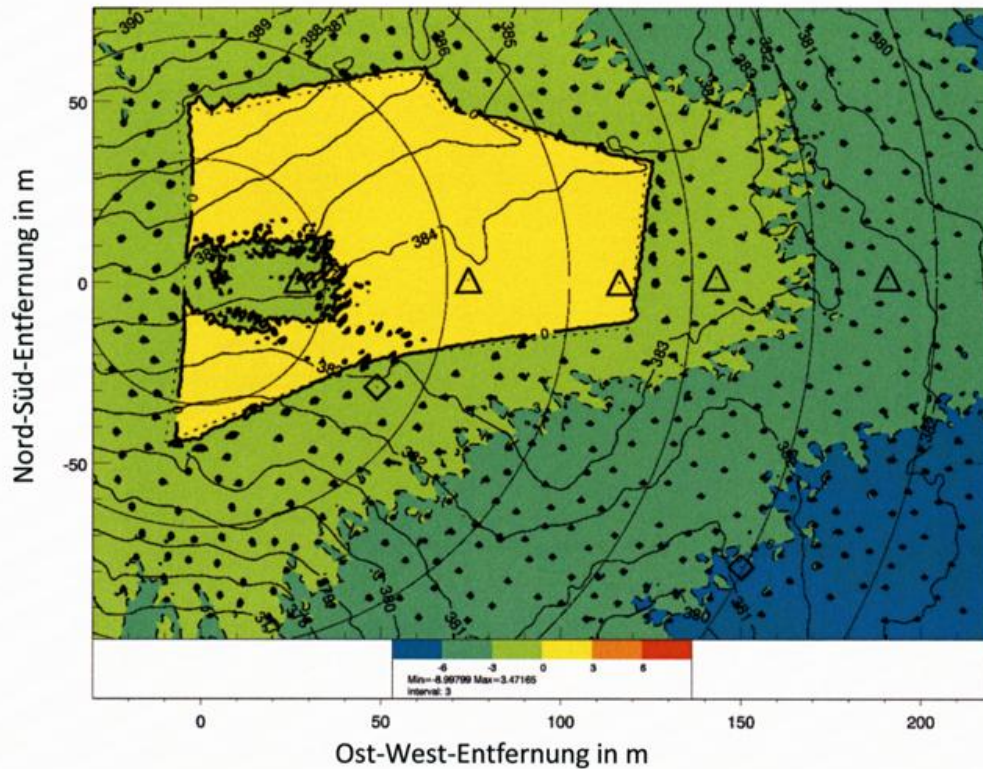


Abb. 1.: Das 250 x 175 m<sup>2</sup> große Modellgebiet. Die realistische (nicht reale) Lage der Bäume ist durch die schwarzen Punkte markiert. Die Dreiecke geben die Position der Schallempfänger R1 (im Westen) bis R5 im Osten an. Die Schallquelle ist bei Position (0,0) lokalisiert. Die Kreise sind Isochronen im 0.1 s Intervall (Laufzeit der Schallwellen ab Lautsprecher bei  $c = 340$  m/s). In Farbe wird die Abweichung des Mittelungspegels (in dB) der Simulationsreihe mit Wald vom Mittelungspegel der Simulationsreihe ohne Wald (Baum- und Bodeneffekt) dargestellt.

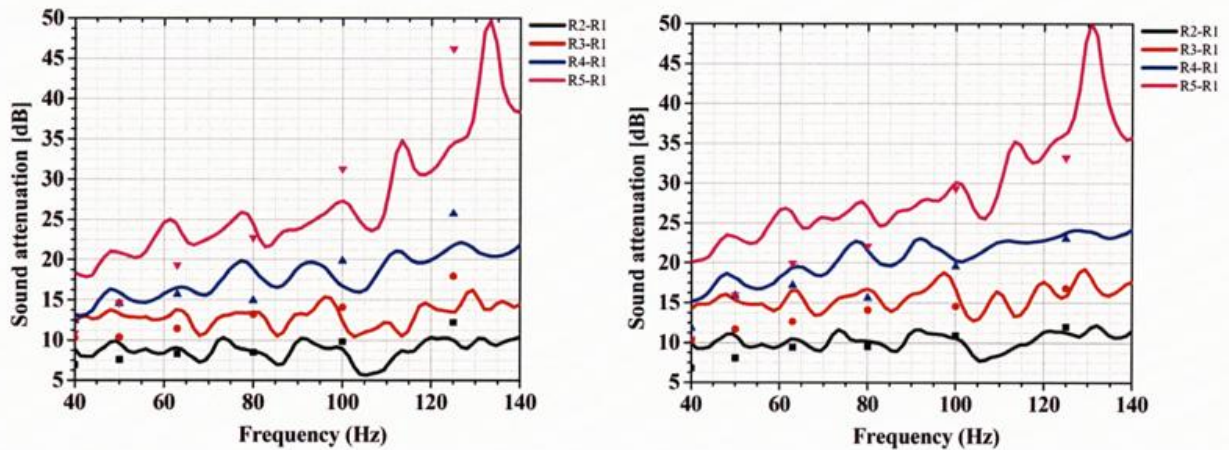


Abb. 2: Die Schalldämpfung des Waldes zwischen zwei Empfängern (siehe Legende) spektral aufgelöst um 00 Uhr links und um 12 Uhr rechts (Modell: Linien, Messung: Symbole). Die tagesgangbedingten Schwankungen in der Dämpfung betragen je nach Frequenz und Empfängerposition meist zwischen 1 und 3 dB.

## Schwarzer Kohlenstoff und ultrafeine Partikel im deutschen Messnetz für ultrafeine Partikel (GUAN): Trendanalysen 2009-2013

Wolfram Birmili und Jia Sun

Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig

Atmosphärischer schwarzer Kohlenstoff (BC - *Black Carbon*) und ultrafeine Partikel (UFP; Durchmesser < 100 nm) üben grundlegende Effekte auf die menschliche Gesundheit und das Klima aus. Beide genannten Auswirkungen derzeit jedoch fern von vollständig beschrieben. Um neues belastbares Datenmaterial zu erzeugen, wurde 2008 das kooperative deutsche Messnetz für ultrafeine Aerosolpartikel (GUAN – *German Ultrafine Aerosol Network*; Birmili et al., 2009) ins Leben gerufen. Mittlerweile liegen fünf komplette Jahre (2009-2013) an Außenluftmessungen für die BC-Massenkonzentration und die Partikelanzahlgrößenverteilung vor. Für diese Arbeit wurden Daten von 12 der insgesamt 17 Messstationen ersten Trendanalysen und grundlegenden statistischen Untersuchungen unterworfen.

BC und UFP zeigen erwartungsgemäß ein deutliches Gefälle zwischen verkehrsbelasteten und ländlichen Beobachtungspunkten. Beide Parameter erwiesen sich als ausgezeichnete Indikatoren für die vom Straßenverkehr ausgehenden Luftbelastungen. Mehrjährige Stationsmittelwerte decken in Deutschland die Spanne etwa einer Größenordnung in der Konzentration ab. Erste Trendanalysen weisen 2009-2013 abnehmende Trends für 9 von 12 Messstationen bei BC aus, sowie für 11 von 12 Messstationen bei der Gesamtpartikelanzahl. Dies kann als vorsichtiger Hinweis auf die Wirksamkeit emissionsmindernder staatlicher Maßnahmen interpretiert werden. Korrelationsanalysen zwischen der Anzahlkonzentration von UFP und routinemäßig erfassten Schadstoffparametern (PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>) ergeben mit wenigen Ausnahmen nur schwache Korrelationen, was die eigenständige Relevanz der Messung ultrafeiner Partikel betont.

Der Vortrag stellt die grundlegenden Effekte beim raum-zeitlichen Verhalten von BC und UFP in der Außenluft vor und zieht Schlüsse bezüglich der hierfür verantwortlichen Quellen. Durch Kovarianzanalysen zwischen Daten verschiedener Messstationen werden Angaben über die räumliche Repräsentativität der BC und UFP-Daten vorgestellt. Dies ist von Belang für die künftige Bestimmung von Expositionsmaßen für gesundheitliche Studien. Der Vortrag schließt mit den Perspektiven von BC- und UFP-Messungen und ihrer Relevanz für die künftige Luftreinhaltung.

### Danksagung

BMBF-Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 371143232, Titel: „*Trendanalysen gesundheitsgefährdender Fein- und Ultrafeinstaubfraktionen unter Nutzung der im German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) ermittelten Immissionsdaten durch Fortführung und Interpretation der Messreihen*“.

### Literatur

Birmili, W., K. Weinhold, S. Nordmann, A. Wiedensohler, G. Spindler, K. Müller, H. Herrmann, T. Gnauk, M. Pitz, J. Cyrys, H. Flentje, C. Nickel, T.A.J. Kuhlbusch, G. Löschau, D. Haase, F. Meinhardt, A. Schwerin, L. Ries, and K. Wirtz. Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN): Part 1 - soot and particle number size distributions. *Gefahrst. Reinh. Luft*, 69(4): 137-145, 2009. <http://wiki.tropos.de/GUAN>

## Influence of ammonia emissions on aerosol formation in northern and central Europe

Anna Backes<sup>1</sup>, Armin Aulinger<sup>1</sup>, Johannes Bieser<sup>1,2</sup>, Volker Matthias<sup>1</sup>, Markus Quante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute of Coastal Research, Max-Planck-Strasse 1, 21502 Geesthacht, Germany, [anna.backes@hzg.de](mailto:anna.backes@hzg.de)

<sup>2</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, Germany

High concentrations of particles pose a threat to human health. Thus, legal maximum concentrations of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in ambient air have been steadily decreased over the years. In central Europe, the inorganic species ammonium sulphate and ammonium nitrate make up a large fraction of fine particles. Most studies investigate the influence of emission reductions of sulphur- and nitrogen oxides on aerosol concentration. Here, we focus on the influence of ammonia (NH<sub>3</sub>) emissions. While emissions of sulphate and nitrogen oxides are quite well known ammonia emissions are subject to high uncertainty. This is due to the uncertainty of location, amount, time of fertilizer application in agriculture, and the storage and treatment of manure from animal husbandry.

For this project, a detailed ammonia emission parameterization has been implemented into the SMOKE emission model based on the parameterization of Skjøth et al., (2004) and Gyldenkerne et al., (2005). Depending on temperature, local legislation, and crop type individual temporal profiles for fertilizer and manure application are calculated for each model grid cell. Additionally, the diffusion from soils and plants, and the direct release from open and closed barns is determined.

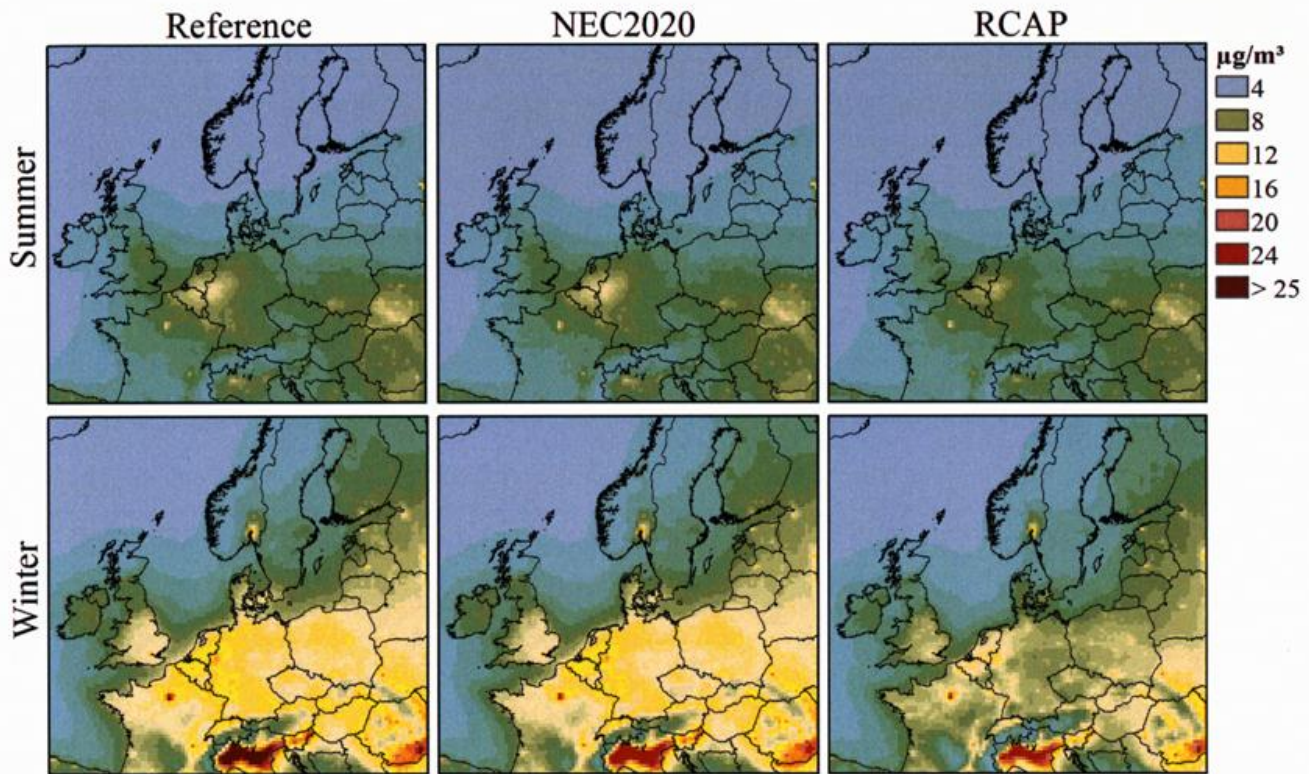
The emission data was used as input for the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model. Comparisons to observations from the EMEP measurement network indicate that the new ammonia emission module leads to a better agreement of the model with observations for NH<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>. Moreover, the ammonia emission model was used to create a set of emission scenarios. This study analyses the effects of different NH<sub>3</sub> emission abatement strategies evolving from the possible future developments of agriculture related emissions. This includes three scenarios based on political, technical, and behavioral changes, leading to variations in intensity and release time of NH<sub>3</sub> emissions modeled with the SMOKE-EU emission model (Bieser et al., 2011). The emission scenarios are based on the European National Emission Ceilings (NEC) for 2020 (EC, 2001), a scenario for the maximum technically feasible reduction (MTFR) (Amann et al., 2011), as well as a diagnostic evaluation of the influence of different agricultural sectors (e.g. animal husbandry, in the reduced consumption of animal products (RCAP) scenario) on particle formation (Willett and Skerrett, 2005).

Model results indicate that future PM<sub>2.5</sub> concentrations are decreasing due to a reduction of agricultural emissions of NH<sub>3</sub> regardless of the emission scenario. The observed reduction was mainly driven by reduced formation of ammonium nitrate while ammonium sulphate concentrations were unchanged. This indicates that the formation of secondary inorganic particles in central Europe is often limited by the availability of ammonia. This is especially true during winter where large amounts of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> are emitted by power plants and residential heating. However, the currently planned policy related emission reduction scenario (NEC) lead to the smallest reduction in secondary particle formation.

Scenarios	Reference case	NEC2020 political scenario	MTFR technical scenario	RCAP behavioral scenario
Total NH <sub>3</sub> emissions	4 182 kt/a	3 735 kt/a	3 224 kt/a	2 716 kt/a

**Table 1** shows the totals of annual ammonia emissions over the active domain for the Reference case and the three scenarios NEC2020 (National emission ceilings coming into force 2020), MTFR (maximum technical feasible reduction) and RCAP (reduced consumption of animal products).

The behavioral scenario, assuming a drastic reduction in the consumption of animal products (RCAP) leads to significant reductions of PM<sub>2.5</sub>. In this case, a reduction of ammonia emissions by 50% leads to a 25% reduction of total PM<sub>2.5</sub> concentrations in north-west/central Europe during winter. This leads to the conclusion that a reduction of the ammonia emissions from the agricultural sector related to animal husbandry is more efficient due to its larger share in winter ammonia emissions, than the reduction of ammonia emissions from other sectors (i.e. fertilizer application).



**Figure 1** presents the total PM<sub>2.5</sub> concentration for the Reference case, the NEC2020 and the RCAP scenario. The reduction is presented in µg/m<sup>3</sup> for winter and summer seasons.

Amann, M., Bertok, I., Borcken-Kleefeld, J., Heyes, C., Cofala, J., Höglund-isaksson, L., Klimont, Z., Rafaj, P., Schöpp, W., & Wagner, F. (2011). NEC Scenario Analysis Report Nr. 8. Cost-effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020. Cost-effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020 (8).

Bieser, J., Aulinger, a., Matthias, V., Quante, M., & Builtjes, P. (2011). SMOKE for Europe – adaptation, modification and evaluation of a comprehensive emission model for Europe. *Geoscientific Model Development*, 4(1), 47–68. doi:10.5194/gmd-4-47-2011

EC (2001). Directive 2001/81/EC of the European parliament and of the council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. *Official Journal of the European communities*, 309:22-30.

Gyldenkærne, S., Skjøth, C.A., Hertel, O. and Ellermann T. (2005). A dynamical ammonia emission parameterization for use in air pollution models. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2004JD005459

Skjøth, C.A., Hertel, O., Gyldenkærne, S., and Ellermann T. (2004) Implementing a dynamical ammonia emission parameterization in the large-scale air pollution model ACDEP. *Journal of Geophysical Research*, 109(D6), D06306. doi:10.1029/2003JD003895

Willett W.C. and Skerrett P.J.(2005). *Eat drink and be healthy: the Harvard Medical School guide to healthy eating*. Published by Free Press.

## Modeling high aerosol loads in China in January 2013 with COSMO-CLM/CMAQ

Volker Matthias<sup>1)</sup>, Armin Aulinger<sup>1)</sup>, Johannes Bieser<sup>1)</sup>, Beate Geyer<sup>1)</sup>, Markus Quante<sup>1)</sup>

1) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute of Coastal Research, Max-Planck-Strasse 1, 21502 Geesthacht, Germany, [volker.matthias@hzg.de](mailto:volker.matthias@hzg.de)

### Summary

In January 2013 exceptionally high levels of particulate matter (PM) concentrations were reported for the area around Beijing (40 N, 116 E) with maximum concentrations exceeding 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and aerosol optical depth (AOD) values of more than 2 on several days. In order to analyze this high pollution episode PM concentrations in China were simulated with a combination of the COSMO model in Climate mode (COSMO-CLM) and the Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model for the period from 10 December 2012 to 31 January 2013. Emissions were taken from the Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). The results were compared to ground based PM<sub>2.5</sub> measurements taken at the US embassy in Beijing and to Aeronet sun-photometer observations. The model was generally able to reproduce the high PM levels measured in situ close to ground, however the largest peak on 12 January was not captured, because of an exceptionally strong temperature inversion close to ground that was not reproduced in the meteorological fields.

### Introduction

In January 2013 exceptionally high levels of particulate matter (PM) concentrations were reported for the area around Beijing coinciding with low temperatures and calm winds in entire North East China. A model study has been set up at Helmholtz-Zentrum Geesthacht which aimed at answering the following questions related to this exceptional situation: What is the impact of the meteorological situation on the high pollution level? Which emission sectors contribute most to the high aerosol concentrations? How accurately can offline coupled state of the art mesoscale meteorology / air quality models simulate extreme pollution events?

### Methodology and Results

The regional atmospheric chemistry transport model CMAQ (Community Multiscale Air Quality) was set up on a 72 x 72 km<sup>2</sup> grid for South East Asia with a nested 24 x 24 km<sup>2</sup> grid covering mainly North East China. 30 vertical layers up to 20 hPa were implemented on the coarse grid, the finer grid contained 40 vertical layers. CMAQ was driven with meteorological fields from COSMO-CLM. The model was run for the period from 10 December 2012 until 31 January 2013.

The most recent freely available emission data set is the EDGAR emission data from 2008 on 0.1 x 0.1 degrees. They were adapted for the current situation by extrapolating the emission increase between 2004 and 2008 until the year 2012. This was done on a grid cell basis in order to apply different growth factors in different areas. The emissions were then distributed in time according to temporal profiles determined in the SMOKE for Europe emission model (Bieser *et al.*, 2011).

The average PM<sub>2.5</sub> concentration for the second week in January (7 – 13 January) was higher than 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in large areas of North East China (Fig. 1). The time series of the modelled PM<sub>2.5</sub> concentration showed up to 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . No officially measured PM<sub>2.5</sub> concentrations were available to the authors, however observations made at the US embassy in Beijing were reported in the internet. The corresponding PM<sub>2.5</sub> concentrations were even higher than the modelled values. In particular on 12 January PM<sub>2.5</sub> concentrations of more than 800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  were reported. These values were not reproduced by the model. During the other periods, the model captured the pollution levels and their variability quite well.

The model results were also compared against aerosol optical depth (AOD) observations gathered within the Aeronet sun-photometer network (Holben *et al.*, 1998). The model typically underestimates the highest

observations. There are two important reasons for this which are closely related to the meteorological situation. One is that extreme temperature inversions and very shallow boundary layers are not well simulated by the model. The second reason is that AOD depends critically on relative humidity (RH) at values above 80%. Such high values were frequently observed in Beijing, as was seen in data from radiosoundings. The model typically showed much lower RH in the boundary layer.

An analysis of the modelled chemical species of the fine aerosol at Beijing reveals that the aerosol is to a large extent composed of primary and secondary organics. These species have a particularly high share of 60-70 % in the total emissions in the residential heating sector. Traffic emissions were found to be of minor importance for the aerosol formation.

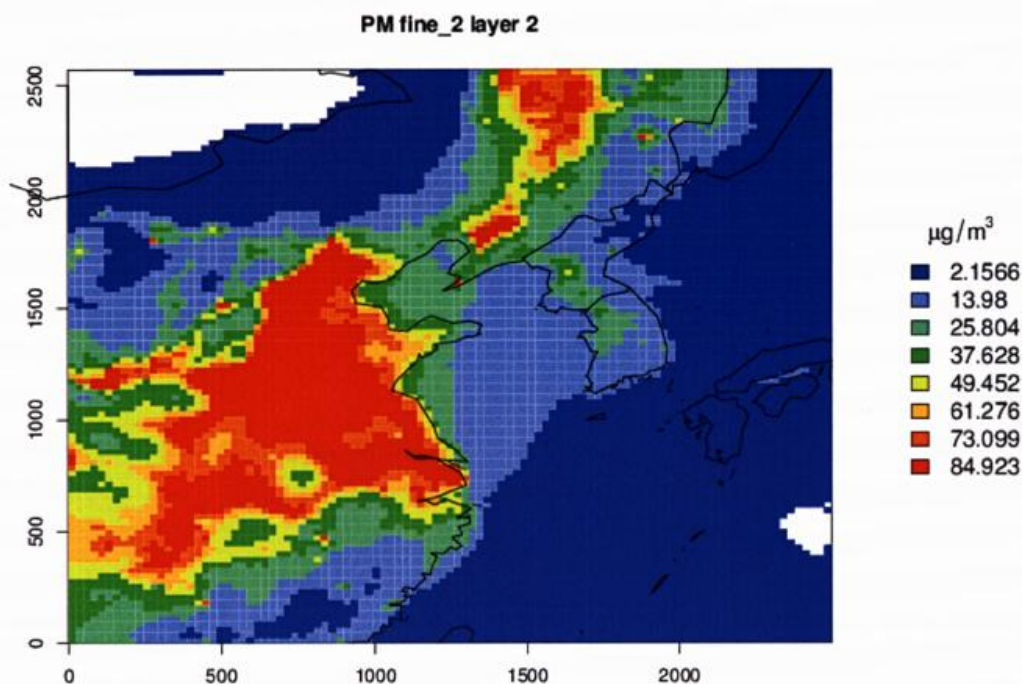


Fig. 1: Average PM2.5 concentrations for the period between 7 and 13 January 2013 in North East China.

### Conclusions

The exceptionally high air pollution in China in January 2013 was simulated with COSMO-CLM/CMAQ using extrapolated EDGAR emission data from 2008 and COSMO-CLM meteorological fields. In general, the level of PM2.5 was matched well according to the few available observations. However, the highest PM2.5 concentrations were not adequately reproduced because the very shallow boundary layer could not be captured by the meteorological model. According to the CMAQ model, primary and secondary organics are the largest fractions in the chemical composition of the aerosol in Beijing. Emissions from residential heating contributed more than on average to the aerosol concentrations on those days with the highest aerosol load.

### Acknowledgement

The authors thank US EPA for the development and distribution of CMAQ and the EDGAR community for the provision of emission data. We would like to thank the AERONET sun-photometer network and their PIs for their important observations. Special thanks to David Black and Ajay Pillarisetti for collecting the PM2.5 observations at the US embassy in Beijing.

### References

- BIESER, J., AULINGER, A., MATTHIAS, V., QUANTE, M., BUILTJES, P., 2011: SMOKE for Europe - adaptation, modification and evaluation of a comprehensive emission model for Europe. *Geoscientific Model Development* 4, 47–68.
- HOLBEN, B. N. et al., 1998: AERONET- A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization. *Remote Sens. Environment* 66, 1-16

Poster zu Session 1:  
**„Modellierung umweltmeteorologischer Größen“**

# Data Assimilation in the air quality model POLYPHEMUS/DLR using an Ensemble Kalman Filter

Christoph Bergemann<sup>1)</sup> et al.

1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, 82234 Oberpfaffenhofen, [christoph.bergemann@dlr.de](mailto:christoph.bergemann@dlr.de)

Air pollution is one of the main environmental hazards within many industrialized regions. Its negative impact on different aspects of human health has been extensively studied. Accurate analysis and forecast of atmospheric composition is therefore both an important objective as well as a challenge for sound geophysical modelling and assimilation.

In the last years, ensemble-based data assimilation methods such as the Ensemble Kalman Filter (EnKF, Evensen (1994)) have seen increased research interest. They are based on the idea of estimating the background error covariance matrix by using an ensemble of model simulations. In this way, flow dependent covariance matrices can be realized easily and error covariances can be estimated between different chemical components. Also, even though they require running an ensemble, ensemble-based methods turn out to be numerically faster than common 4DVAR schemes and do not require linearized or adjoint versions of the model to be maintained.

In this study, we employ an ensemble of air quality simulations created using the POLYPHEMUS/DLR model, which is based on the POLYPHEMUS air quality platform (Mallet et al., 2007). The ensemble is generated by modifying the emission rates and using a regional ensemble weather simulation created with the WRF model (Skamarock et al., 2008). The simulation is performed over Europe at a very coarse ( $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ) resolution. An EnKF is used to assimilate observations of trace gases from in-situ stations. The results are compared to a reference simulation using the same ensemble layout but no assimilation.

Our results show that the EnKF is a viable method for assimilation of air quality information. Figure 1 illustrates the improvement in model performance for ozone. The stations used for the evaluation were withheld from the assimilation system. A clear improvement in the classical evaluation scores can be found and for a far larger fraction, the commonly requested criterion of a normalized RMSE below 1 is attained.

## Literature:

- G. Evensen, 1994: Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C5):10143–10162
- V. Mallet, D. Quélo, B. Sportisse, M. Ahmed de Biasi, É. Debry, I. Korsakissok, L. Wu, Y. Roustan, K. Sartelet, M. Tombette, H. Foudhil, 2007: Technical Note: The air quality modeling system Polyphemus, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5479–5487
- W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical Note TN-475+STR, NCAR

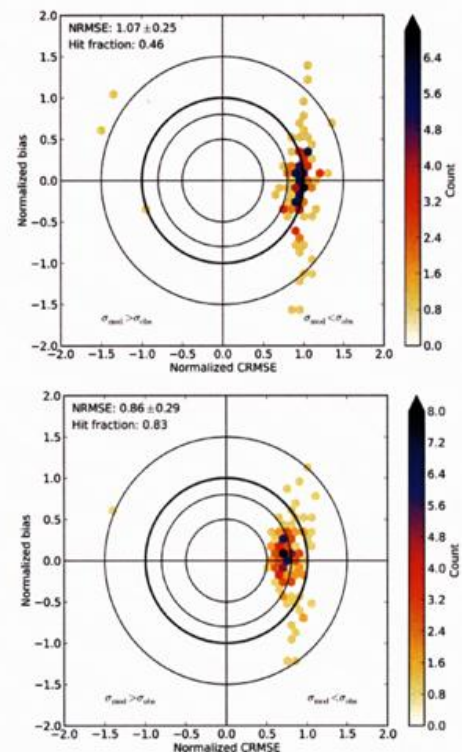


Figure 1: Target density diagrams for the reference (top) and EnKF (bottom) runs. Stations used here were not used in the assimilation. For each station, normalization is performed using the standard deviation of the observation time series.

# Simulationen zur Durchlüftung von Tälern während windschwacher Strahlungsächte

Meinolf Kossmann

Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach am Main, meinolf.kossmann@dwd.de

In windschwachen, wolkenarmen Nächten hängt die Durchlüftung von Tälern stark von der Talform ab. Während sich in einigen Tälern ausgeprägte Talabwinde ausbilden, stagniert in anderen Tälern die Kaltluft, d.h. es kommt zur Kaltluftseebildung. Der Einfluss der Talform auf die nächtliche Durchlüftung wird für idealisierte Täler mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM\_21 (SIEVERS, 2005) simuliert. Die Ergebnisse werden mittels einer normierten Wärmehaushaltsgleichung nach WHITEMAN et al. (1996) bewertet.

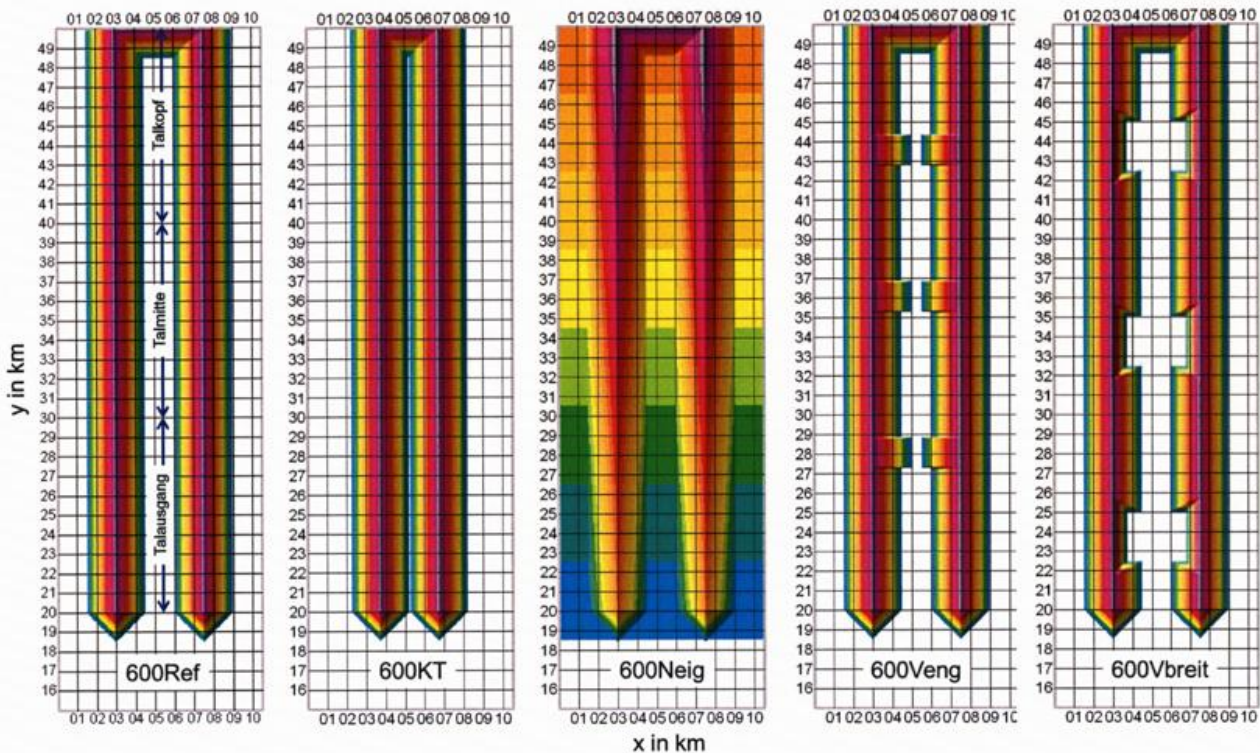
Das Einschichtenmodell KLAM\_21 berechnet die Windrichtung und -geschwindigkeit sowie die Dicke der bodennahen Kaltluftschicht (Bodentemperaturinversion), die sich nach Sonnenuntergang durch die Abkühlung der Oberfläche entwickelt. Die Windberechnung basiert auf einer vertikal gemittelten Impulshaushaltsgleichung. Zeitliche Änderungen des gesamten Wärmedefizits  $E$  (Kälteinhalts) der Kaltluftschicht werden aus einer vorgegebenen lokalen Wärmeverlustrate  $P$  (turbulente plus strahlungsbedingte Abkühlung) und der Advektion berechnet. Die Dicke der Kaltluftschicht wird diagnostisch aus dem Gesamtwärmedefizit ermittelt. Durch Integration der prognostischen Gleichung für die potentielle Temperatur über das Luftvolumen kann der Wärmehaushalt einer Talatmosphäre bestimmt werden:

$$\underbrace{\iiint \bar{\rho} c_p \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} dV}_A = \underbrace{\iiint -\bar{\rho} c_p \nabla \cdot (\bar{\mathbf{v}} \bar{\theta}) dV}_B + \underbrace{\iiint -\left(\frac{\bar{\theta}}{\bar{T}}\right) \nabla \cdot \bar{\mathbf{R}} dV}_C + \underbrace{\iiint -\bar{\rho} c_p \nabla \cdot (\bar{\mathbf{v}}' \theta') dV}_D$$

Term	Bedeutung	typisches Vorzeichen nachts	Bestimmung aus KLAM_21
A	Wärmespeicherung	<0 (abkühlende Talatmosphäre)	$A = \iint -\frac{E(t) - E(t-1)}{\Delta t} dx dy$
B	Temperaturadvektion	>0 (wärmere Luft ersetzt hangab / talab strömende Kaltluft)	$B = A - (C + D)$
C	Strahlungsflussdivergenz	<0 (langwellige Strahlungsabkühlung)	$C + D = \iint -P dx dy$ hier $P = \text{konstant} = 30 \text{ W/m}^2$
D	Divergenz des turbulenten sensiblen Wärmestroms	<0 (turbulenter Wärmetransport zum Boden)	

Umformung der Wärmehaushaltsgleichung führt zu:  $A / (C+D) - B / (C+D) = 1$ . Für gut durchlüftete Täler gilt  $-B / (C+D) > A / (C+D)$ , während in Tälern mit stagnierender Kaltluft (Kaltluftsee)  $-B / (C+D) < A / (C+D)$  ist. Die idealisierten Täler mit niedrigem Bewuchs sind 30 km lang und haben geradlinige Geometrien (Ausnahme: Sinus-Hangform). Die Simulationen für eine 10-stündige Nacht starten bei Sonnenuntergang mit ruhender, neutral geschichteter Atmosphäre. Folgende Talformen wurden simuliert:

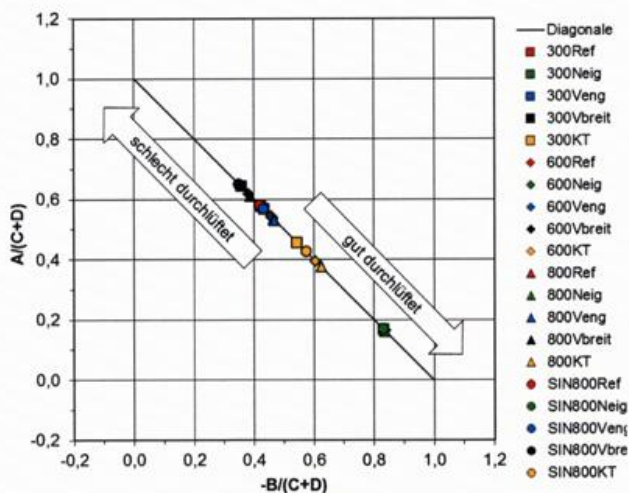
Talform	simulierte Parameterwerte [Kennung]
Taltiefe	300m; 600m; 800m
Talsolesbreite	1500m; 500-1500m [Veng]; 1500-3000m [Vbreit]; 50m [KT]
Hangbreite	1500m; 1500-2000m [Veng]; 750-1500m [Vbreit]; 1500m [KT]
Hangform	linear; sinus [SIN]
Talsolesneigung	0° [Ref]; 1,15° [Neig], d.h. 600m Höhenunterschied in 30km langem Tal



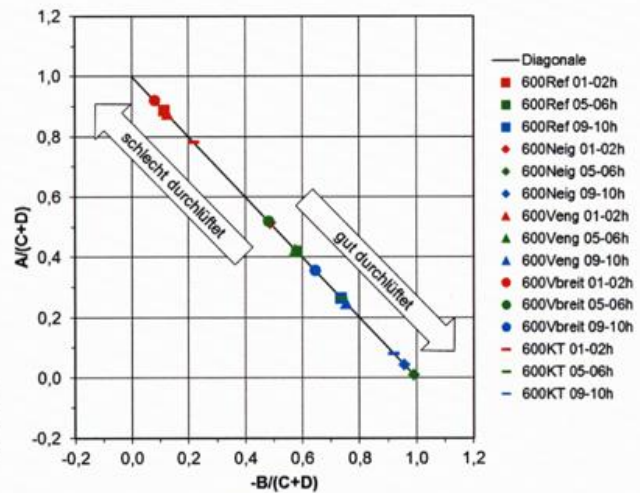
Beispiele der Geländehöhe für verschiedene 30km lange und 600m tiefe Täler mit linearer Hangform.

Die Auswertung der normierten Terme der Wärmehaushaltsgleichung für 1 bis 10 stündige Zeitperioden der KLAM\_21 Simulationen lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Täler mit geneigter Talsohle sind am besten durchlüftet
- Täler mit lokaler Talsohlenverbreiterung (Talbecken) sind am schlechtesten durchlüftet.
- Verringerung der gesamten Talsohlenbreite verbessert Durchlüftung.
- Eine größere Taltiefe führt zu geringfügig besserer Durchlüftung.
- Unterschiede zwischen Talabschnitten sind zu Beginn der Nacht am größten.



Mittelwerte über 10-stündige Nacht für das gesamte Talvolumen verschiedener Täler.



Einfluss der Talsohlenneigung und Talform für drei 1-stündige Zeiträume (h nach Sonnenuntergang).

SIEVERS, U., 2005: Das Kaltluftabflussmodell KLAM\_21. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 227.  
 WHITEMAN, C.D, MCKEE, T.B., DORAN, J.C. 1996: Boundary layer evolution within a canyonland basin. Part I: Mass, heat, and moisture budgets from observations. J. Appl. Meteor. 35, 2145-2161

# J2000-Klima – Ein Werkzeug zur flächendetaillierten Berechnung klimatologischer Leitparameter, Kennwerte und Trends aus gemessenen und projizierten Klimadaten

Kai Pfannschmidt<sup>1</sup>, Christian Fischer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thüringer Klimaagentur, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie,  
Göschwitzer Straße 41, 07745 Jena  
[kai.pfannschmidt@tlug.thueringen.de](mailto:kai.pfannschmidt@tlug.thueringen.de)

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Geoinformatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Löbdergraben 32, 07737 Jena  
[christian.fischer.2@uni-jena.de](mailto:christian.fischer.2@uni-jena.de)

Für die Beantwortung zahlreicher Fragestellungen in den Handlungsfeldern Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und weiteren Sektoren, spielen hydrologische und klimatologische Leitparameter und Kenngrößen eine wichtige Rolle. Um die historische und zukünftige Entwicklung dieser Größen aus historischen Klimadaten und Klimaprojektionsdaten abzuschätzen, wurde die Fachapplikation *J2000-Klima* entwickelt.

*J2000-Klima* basiert auf dem hydrologischen Wasserhaushaltsmodell *J2000g*, welches am Lehrstuhl für Geoinformatik der Friedrich-Schiller-Universität Jena für langjährige hydrologische Simulationen und Projektionen entwickelt wurde (Krause & Hanisch, 2009). Es kann die wichtigsten hydrologischen Prozesse der unteren bis oberen Mesoskala (z. B. Thüringen mit 16.172 km<sup>2</sup>) in täglicher oder monatlicher Auflösung kontinuierlich abbilden. Das Modell ist in der Lage, sowohl rasterbasierte Eingangsdaten (z.B. REMO-, CLM Daten) als auch punktuelle Eingangsdaten (z.B. DWD-, STARS- und WETTREG-Daten) zu verarbeiten. Zur Interpolation der klimatischen Eingangsdaten auf ein thüringenweites Raster mit 250m Auflösung wird die Methode des Inverse Distance Weighting mit Höhenkorrektur genutzt.

Neben der Simulation des Wasserhaushalts berechnet *J2000-Klima* wichtige Kenngrößen, die für die Klimafolgenabschätzung verwendbar sind. Beispiele hierfür sind Temperaturkenntage (Eis-, Frost-, Sommer- und Hitzetage), Tage an denen wichtige Schwellwerte überschritten werden (z.B. Niederschlagstagesummen von mehr als 30 oder 40 mm) und die Ermittlung von statistische Größen (z. B. Perzentile). Die ermittelten Kenngrößen werden zur effizienten Weiterverarbeitung mit Standard-GIS-Software flächendeckend im Shape-Format abgespeichert. Darüber hinaus aggregiert *J2000-Klima* die Modellergebnisse zu Monats-, Jahres-, Dekaden- und 30-jährigen- Summen bzw. Mittelwerten, so dass eine aufwendige Nachbearbeitung entfällt.

*J2000-Klima* wurde zunächst auf Thüringen mit historischen Daten des Deutschen Wetterdienstes angewendet. Abb. 1 zeigt links die mittlere Anzahl von Sommertagen pro Jahr in Thüringen für die Klimareferenzperiode „Langfristiger Klimawandel“ von 1961-1990. Rechts dazu, wird im Vergleich die Veränderung der mittleren Anzahl von Sommertagen im Zeitraum 1981-2010 dargestellt.

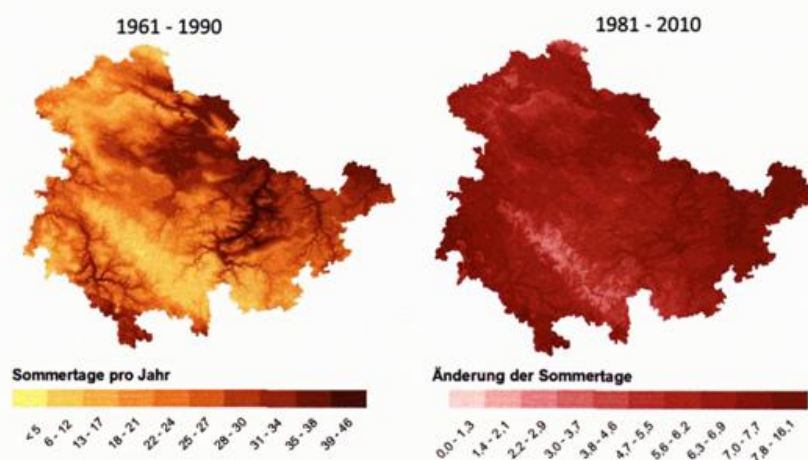


Abb. 1: Mittlere jährliche Anzahl von Sommertagen im Zeitraum 1961 – 1990 (links). Im Vergleich dazu die mittlere Änderung in der Anzahl von Sommertagen im Zeitraum 1981 – 2010 (rechts).

Ein entscheidender Aspekt für die Abschätzung von Klimafolgen ist die Detektion und Bewertung langfristiger Änderungen der klimatischen Größen und den daraus abgeleiteten Kennwerten. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde J2000-Klima mit einem Modul zur Trendanalyse ausgestattet. Dieses erfasst und visualisiert Trends jährlicher Daten durch gleitende Mittelwerte und linearer Regressionsgeraden. Zur Bewertung der Trends auf Signifikanz wird der rang-basierte, nicht-parametrische Mann-Kendall Test verwendet (Kendall, 1975). Der Test eignet sich zur Detektion von linearen und nichtlinearen Trends. Da der Test rang-basiert ist, kann dieser auch gut auf Datensätze mit Ausreißern angewendet werden. Der Test erfordert keine bestimmte statistische Verteilung der Daten. Allerdings sind Autokorrelationen in Zeitreihen problematisch. Aus diesem Grund sollte der Mann-Kendall Test nur auf jährliche oder geringer aufgelöste Klimadaten angewendet werden.

Abb. 2 zeigt die räumlich detaillierten Ergebnisse des Mann-Kendall Tests für die Entwicklung der Sommertage im Zeitraum von 1961 bis 2010. Dabei stellt Kendalls Tau ein Maß für die Stärke des Trends dar und der P-Wert ein Maß für die Signifikanz des Trends. Das Ergebnis zeigt beispielhaft, einen signifikanten (p-Wert < 0.1) bis äußerst signifikanten (p-Wert < 0.01) Anstieg der mittleren jährlichen Anzahl von Sommertagen in ganz Thüringen.

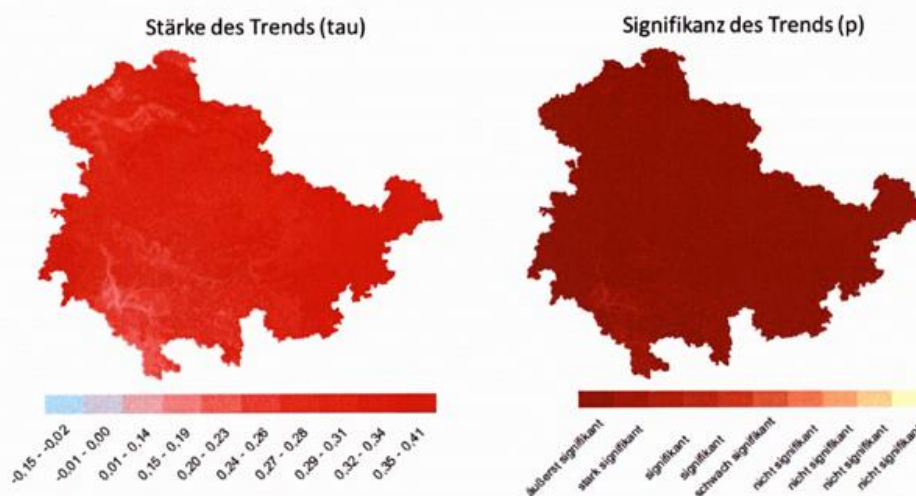


Abb. 2: Stärke und Signifikanz des Trends der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen in Thüringen.

Für die Abschätzung zukünftiger Klimafolgen wurde J2000-Klima zur Auswertung von Klimaprojektionsdaten verwendet. Zunächst wurden hierfür die verfügbaren Datensätze der statistischen Modelle STARS und WETTREG (Pfannschmidt & Fischer, 2013) verwendet. Geplant ist darüber hinaus die Auswertung der derzeit verfügbaren Datensätze der prozess-basierten Modelle des EURO-CORDEX Ensembles (Jacob et al., 2014).

## Literatur

- JACOB, D., PETERSEN, J., EGGERT, B., ALIAS, A., CHRISTENSEN, O. B., BOUWER, L. M., et al., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, **14**(2), 563-578.
- KENDALL, M.G., 1975: Rank Correlation Methods. *Griffin*. London.
- KRAUSE, P. UND HANISCH, S., 2009: Simulation and analysis of the impact of projected climate change on the spatially distributed waterbalance in Thuringia, Germany. *Advances in Geosciences*, **21**, 33-48
- KREIENKAMP F., SPEKAT A., ENKE W., 2010: Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010. Bericht, *Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH*
- PFANNSCHMIDT, K. & FISCHER CH. 2013: Entwicklung klimatologischer und hydrologischer Kenngrößen im Einzugsgebiet der Hasel auf Basis aktueller Klimaensemblesimulationen. *Annalen der Meteorologie* Vol. **46**, 83-88.

## Simulation of indoor climate with façade dynamics & building – atmosphere interaction

Helge Simon<sup>1)</sup>, Prof. Dr. Michael Bruse<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Environmental Modelling Group, Department of Geography - Johannes Gutenberg University Mainz  
[simonhe@uni-mainz.de](mailto:simonhe@uni-mainz.de)

<sup>2)</sup> Environmental Modelling Group, Department of Geography - Johannes Gutenberg University Mainz  
[bruse@uni-mainz.de](mailto:bruse@uni-mainz.de)

The layout and composition of buildings play an essential role in both indoor and outdoor climate. Especially in the urban climate the influence of buildings on the microclimate is of utmost importance. Apart from the buildings' influence on the wind field and the solar access of other buildings, factors like heat storage, reflection, and the radiative budget also play a potent role in both the outdoor and indoor microclimate. To evaluate these effects, an accurate modelling technique capable of capturing the energy exchange between façades, the interiors, and the atmosphere is needed.

The article will present ENVI-met's newly developed multiple node façade model which allows, together with the free arrangement of different wall and roof materials for every grid, detailed analyses of building physics. To better resemble the façades of actual buildings, walls and roofs can be constructed out of three layers which can vary in width and material. Every material has physical properties such as absorption, transmission, emissivity, thermal conductivity, density etc. The nodes are placed in the center and at the horizontal borders of each material; a wall with three materials thus consists of seven nodes (see Fig 1).

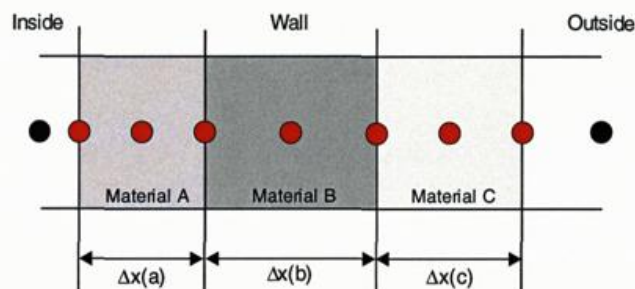
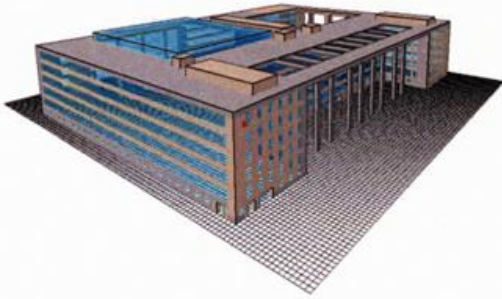


Figure 1: Multiple node model

The combination of different materials in façades and different façades in a building allows the reproduction of complex structures and patterns of a wall or roof (see Fig. 2). The calculation of the surface temperature and the heat fluxes in the wall are based on the transient state model by Terjung and O'Rourke (1980). Based on the energy fluxes, the new model allows the estimation of cooling and heating demands for either buildings without climate control, where the indoor temperature is treated as a prognostic variable, or climate controlled buildings, where the energy needed to keep the indoor temperature constant can be calculated. The validation results show that the new façade model together with a more sophisticated view factor analysis allows a more detailed analysis of outdoor and indoor climate as well as building thermal performance and thus provides better insights for urban planners, architects and building engineers.



*Figure 2: Detailed 3D-model of the Foreign Office Building in Berlin*

#### Literatur

TERJUNG, W., O'ROURKE, P., 1980: Simulating the casual elements of urban heat islands. *Boundary-Layer Meteorology*, 19(1), 93-118.

Poster zu Session 2:  
**„Monitoringprogramme und Messkampagnen  
für umweltmeteorologische Fragestellungen“**

## Die BÄRLIN2014-Kampagne: Messung des Vegetationseinflusses auf Luftqualität und Feinstaubbelastung in Berlin

Boris Bonn<sup>1</sup>, Erika von Schneidmesser<sup>1</sup>, Julia Schmale<sup>1,\*</sup>, Dorota Andrlich<sup>1</sup>, Jörn Quedenau<sup>1</sup>, Rainer Nothard<sup>2</sup>, Albrecht von Stülpnagel<sup>2</sup>, Andreas Kerschbaumer<sup>2</sup>, Klaus Schäfer<sup>3</sup>, Rüdiger Grote<sup>3</sup>, Holger Gerwig<sup>4</sup>, Jürgen Kura<sup>5</sup>, Axel Pietsch<sup>5</sup>, Anja Lüdecke<sup>5</sup>, Dieter Klemp<sup>6</sup>, Christian Ehlers<sup>6</sup>, Heidi Hellen<sup>7</sup>, Hannele Hakola<sup>7</sup>, Roland Leigh<sup>8</sup>, Phil Peterson<sup>8</sup>, Wolfgang Frenzel<sup>9</sup>, Tim Butler<sup>1</sup>, Axel Lauer<sup>1</sup>, Galina Churkina<sup>1</sup>, Mark G. Lawrence<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam, D. (boris.bonn@iass-potsdam.de)

<sup>2</sup>Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Referat Immissionsschutz, Berlin, D.

<sup>3</sup>Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Garmisch-Partenkirchen, D.

<sup>4</sup>FG II, 4.4 Experimentelle Untersuchungen zur Luftqualität, Langen, D.

<sup>5</sup>FG II, 1.3 Innenraumhygiene, Gesundheitsbezogene Umweltbelastungen, Berlin.

<sup>6</sup>Institut für Energie- und Klimaforschung, IEK-8: Troposphäre, Forschungszentrum Jülich, Jülich, D.

<sup>7</sup>Air Quality group, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, FI.

<sup>8</sup>Earth Observation Science, Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, UK.

<sup>9</sup>Institut für Techn. Umweltschutz, Technische Universität, Berlin, D.

\* nun bei: Paul-Scherrer Institut (PSI), Zürich, CH.

### Zusammenfassung

Die Begrünung von urbanem Lebensraum ist ein aktuelles Ziel vieler Stadtplaner und -kampagnen, um die Schadstoffbelastung der Luft für die Bewohner zu reduzieren. In der Stadt Berlin haben die Grünflächen mit über 30% einen überdurchschnittlich hohen Anteil an der Grundfläche. Damit leistet die Vegetation einen wichtigen Beitrag zu Austauschflüssen von Spurengasen und Partikeln bzw. Energie. Um die bisher oft ignorierten Beiträge vieler Kohlenwasserstoffe, insbesondere der der biogenen, besser zu verstehen sowie um die Partikelbelastung (Anzahl und Masse) besser einzelnen Quellen zuordnen zu können, wurde im Zeitraum Juni bis Anfang September 2014 eine dreimonatige Messkampagne in Berlin-Neukölln durchgeführt. Die aktive Messphase beinhaltete neben stationären Messungen auch Fahrten mit einem Messwagen und Fahrradmessungen in Berlin und Umland. Ein internationales Konsortium ermöglichte hierbei die Bestimmung von der Konzentrationen luftqualitätsrelevanter Standardgase und flüchtiger Kohlenwasserstoffe, der Grenzschichthöhe und von Wolkenvertikalprofilen bis 5 km Höhe, von Aerosolgrößenverteilungen und chemischer Partikelfilteranalysen. Erste Ergebnisse werden präsentiert, die nahelegen, dass (a) die Partikelanzahlkonzentration im Wesentlichen durch den Verkehr und hierbei primär durch Busse und Motorroller bestimmt wird. Bepflanzte Flächen hingegen führen zu merklicher Abnahme von PM und Spurengasen. (b) Ein ebenso wichtiger Effekt der Grünbereiche ist die Wirkung auf das urbane Ozonbudget und die Produktion sekundärer Partikel. Je nach Vegetationstyp können unterschiedliche Emissionen von biogenen flüchtigen Kohlenwasserstoffen (BVOCs) zu einem Anstieg (Isopren dominierte Emissionen) oder Abfall (Terpen dominierte Emissionen) der Bildungsrate führen. Durch den hohen Anteil von Grünflächen ist dieser Einfluss auf Ozon und Partikel in Berlin signifikant und kann den der anthropogen ausgestoßenen Kohlenwasserstoffe in städtischen Hintergrundbereichen sogar übertreffen. Unter gleichen Umgebungsbedingungen führen Terpendominierte gegenüber Isopren-dominierten Emissionen einerseits zur Ozonreduzierung andererseits zu vermehrter sekundärer Aerosolmassenbildung, Effekte, die für zukünftige städtebauliche Planungen und die Auswahl von Vegetationstypen berücksichtigt werden müssen. Nach der abschließenden Datenanalyse und -qualitätsprüfung werden diese zur Evaluierung von Modellen verschiedener Komplexitäten und Skalen und für Prozessstudien verwendet.

# Quantification of the surface-atmosphere exchange of energy and carbon dioxide of an extensive urban green roof by eddy covariance measurements

Jannik Heusinger<sup>1)</sup>, Stephan Weber<sup>1)</sup>

1) Institute of Geoecology, Climatology and Environmental Meteorology, TU Braunschweig, Langer Kamp 19c 38106 Braunschweig

Current regional climate models projections state the number of hot days with maximum daily temperatures > 30 °C to quadruple in northern Germany until the end of the century (scenario A1B; Jacob et al. 2008, Klimaatlas DWD, 2014). Besides global mitigation measures there is need to implement local adaptation strategies in response to this potential threat.

Urban green roofs are discussed as one important local urban adaptation strategy. Several studies have already described local meteorological and ecological properties of green roofs, e.g. lowering extreme temperatures by evaporative cooling, rainwater retention and potential air pollution removal (e.g. Ng et al. 2012, Rowe 2011, Yang et al. 2008). However, in situ data on the complete energy balance of extensive green roofs is still missing as well as data on the potential of green roofs as carbon sinks. This data is needed to understand the interaction of green roofs with the urban boundary layer and to validate current green roof models (Sailor 2008). Therefore the eddy covariance measurement technique is applied in the present study to measure the turbulent surface-atmosphere exchange of an extensive green roof at the Berlin Brandenburg airport. The measurement period started in July 2014 and is planned to be continued until August 2015 in order to get a complete picture of the variability of turbulent fluxes during all seasons of the year. The green roof covers an area of about 8900 m<sup>2</sup> and has a south-west north-east orientation with a length of 168 m.

First measurement results of the carbon dioxide exchange and water vapor dynamics of the extensive green roof for the second half of 2014 will be presented and discussed.



Fig.1: Impressions of the extensive green roof and the eddy covariance measurement station at the Berlin Brandenburg airport.

#### Literature:

- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P. and Sieck, K., 2008: Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland (Forschungsbericht 204 41 138 UBA-FB 000969). UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, Dessau-Roßlau, 159 pp.
- Klimaatlas DWD, 2014. Deutscher Klimaatlas (Deutscher Wetterdienst, DWD).
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C., 2012: A study on the cooling effects of greening in a high density city: An experience from Hong Kong. *Building an Environment*. 47, 256-271.
- Rowe, D.B., 2011. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*. 159, 2100-2110.
- Sailor, D.J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*. 40, 1466-1478.
- Yang, J., Yu, Q., Gong, P., 2008: Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*. 42, 7266-7273.

# Anpassung an den Klimawandel in München Messkonzept Projekt „München 2050“

Gudrun Mühlbacher<sup>1</sup>, Werner Bründl<sup>2</sup>, Ulrich Teichmann<sup>2</sup>

- 1) Deutscher Wetterdienst, Regionales Klimabüro, München, [gudrun.muehlbacher@dwd.de](mailto:gudrun.muehlbacher@dwd.de)
- 2) Landeshauptstadt München, Referat für Gesundheit und Umwelt, Umweltvorsorge, Luftreinhaltung im Verkehr und Stadtklima

## Einleitung

Im Rahmen einer Kooperation unterstützt der Deutsche Wetterdienst (DWD) die Landeshauptstadt München, Referat Umwelt und Gesundheit, bei ihren Aktivitäten zur Anpassung an den Klimawandel. Die Ergebnisse der Studie des DWD fließen in ein Maßnahmenkonzept zur Anpassung an den Klimawandel ein.

Ziel der Studie ist es, die Auswirkungen des Klimawandels für detaillierte Stadtstrukturen auf der Basis von Projektionen regionaler Klimamodelle aufzuzeigen. Insbesondere werden dabei die durch den Klimawandel erwarteten Veränderungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse in München betrachtet. Diese werden durch regionale thermische Gebirgswindsysteme (Alpines Pumpen) beeinflusst. Daher steht eine eingehende Betrachtung dieses Alpines Pumpens im Vordergrund des erarbeiteten Messkonzeptes.

## Vorgehensweise beim Messkonzept

Das so genannte „alpine Pumpen“ ist eine regionale thermische Ausgleichsströmung zwischen den Alpen und dem Alpenvorland, die bei austauscharmen Situationen nachts kühle Luft bis in das Stadtgebiet von München führt (KOSSMANN et al. 2014, GRAF 2014, WIRTH et al., 2015). Der Hauptschwerpunkt für die Messstandorte liegt daher im südlichen Sektor der Stadt München, um die relevanten nächtlichen Windsysteme erfassen zu können. Dabei wurden sowohl temporär Messstationen eingerichtet, also auch regulär erfasste Daten der Messnetze des DWD und der Fraunhofer Gesellschaft für Bauphysik in Holzkirchen genutzt (siehe Abb. 1). An den temporär eingerichteten Stationen (Abb. 1, Nr.1-5) werden als Parameter die Windrichtung und –geschwindigkeit erfasst, seit Sommer 2014 auch an einigen die Temperatur.

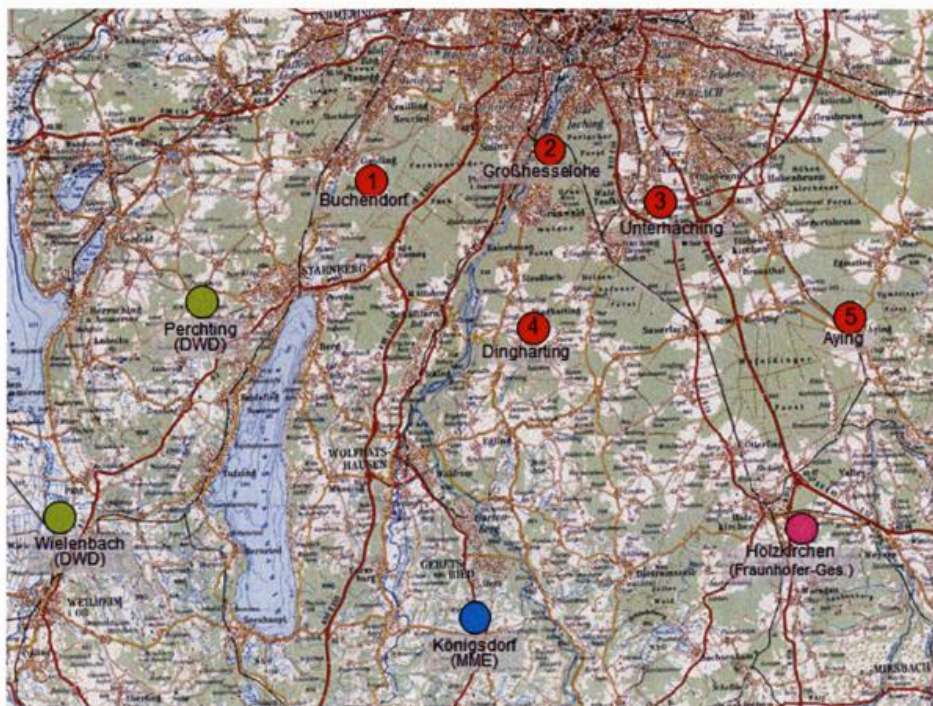


Abb. 1: Lage der Messstationen, Quelle: DWD, Kartenunterlage © Landesamt für Vermessung und Geo-information Bayern, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2007

Für das Münchner Stadtgebiet liegen zudem auch Daten aus den früheren Untersuchungen von STADTKLIMA BAYERN (BRÜNDL et al. 1986) vor.

### **Ergebnisse**

Die Messungen zeigen die erwarteten und für alpines Pumpen typischen Windrichtungsfelder mit dem nächtlichen Einströmen von Luft aus dem Alpenraum in die Münchener Schotterebene. Die Häufigkeit und Intensität des Auftretens dieses thermisch angetriebenen Luftaustauschsystems wurde in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern beschrieben (GRAF, 2014). Durch die seit Sommer 2014 vorliegenden Temperaturdaten kann die Wirksamkeit der Gebirgswindzirkulation auf die klimatischen Bedingungen in der Landeshauptstadt München detaillierter bewertet werden. Insgesamt liegt damit eine gute Datengrundlage vor, um die Koppelung des regional thermisch induzierten Gebirgswindsystems an das regionale Klimamodell COSMO-CLM zu evaluieren und damit die Eingangsdaten für Simulationen mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO\_3 des Deutschen Wetterdienstes (KOSSMANN et al. 2014).

### **Danksagung**

Wir danken der Fraunhofer Gesellschaft für Bauphysik in Holzkirchen für die Bereitstellung von Messdaten und die gemeinsame Zusammenarbeit.

### **Literatur**

BRÜNDL, W., MAYER, H., BAUMGARTNER, A., 1987: Untersuchung des Einflusses von Bebauung und Bewuchs auf das Klima und die lufthygienischen Verhältnisse in bayerischen Großstädten – STADTKLIMA BAYERN. Abschlussbericht zum Teilprogramm Klimamessungen in München. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Materialien 43, München.

KOSSMANN, M. TRUSILOVA, K., MÜHLBACHER, G., GRAF, M, 2014: Alpine pumping and urban climate in the alpine foreland. Proceedings of the 7th Japanese German Urban Climate Meeting, 06-10 October 2014, Hannover, 6 S.

GEO-NET 2014: Stadtklimaanalyse Landeshauptstadt München. Hannover, 61 S.

GRAF, M, 2014: Identifizierung und Klimatologie des alpinen Pumpens aus einer regionalen Klimasimulation, Bachelor-Arbeit an der Katholischen Universität Eichstätt, 67 S.

WIRTH, V. et al. 2015: Anpassung an den Klimawandel in München, Grundlagen und kommunale Umsetzungsstrategie, Vortrag MetTools 2015

Poster zu Session 3:  
**„Nutzungspotential fernerkundungsbasierter  
Daten für umweltmeteorologische  
Anwendungen“**

## **Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags mittels Wetterradar; Die neue Richtlinie VDI 3786 Blatt 20**

*Thomas Einfalt<sup>1)</sup> und Simon Jäckel<sup>2)</sup>*

1) *hydro & meteo GmbH & Co. KG, Breite Straße 6-8, 23552 Lübeck, [einfalt@hydrometeo.de](mailto:einfalt@hydrometeo.de)*

2) *Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf*

Die Richtlinie VDI 3786 Blatt 20 „Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags mittels Wetterradar“ stellt die genannte Messmethodik vor. Es werden insbesondere Aspekte von Messtechnik, Instrumentenaufbau, Abschätzung von wasserwirtschaftlich nutzbaren Niederschlagsintensitäten, Datenqualitätssicherung, Kurzfristvorhersage und wasserwirtschaftlichen Anforderungen behandelt. Damit wurde eine Richtlinie geschaffen, die zum ersten Mal diese Themen in vollständiger Form und interdisziplinär abgestimmt umfasst.

In der Richtlinienreihe VDI 3786 zu Messmethoden für meteorologische Messgrößen werden die Grundlagen der Verfahren sowie Informationen zum Aufbau und Betrieb der Messgeräte beschrieben. In der Richtlinie VDI 3786 Blatt 7 (2010) wird die konventionelle Messung von Niederschlag mit bodengebundenen Geräten behandelt. Aufbauend darauf erarbeitet die Arbeitsgruppe "Niederschlagsmessung mittels Radar" die Richtlinie VDI 3786 Blatt 20 (2014). Sie beschreibt die Sondierung der Atmosphäre mit bodengebundenen Wetterradersystemen mit Wellenlängen zwischen 3 cm und 10 cm. Diese Radarsysteme sind zur flächendeckenden Erfassung von Niederschlag und anderen Zielen bis zu mehreren 1000 m Höhe über Grund geeignet (VDI 3786-20, 2013).

Die Richtlinie stellt neben den Grundlagen der Radarmessung auch Ausführungsformen und Komponenten des Wetterraders sowie Messgrößen und Zielgrößen dar. Das in der Richtlinie hauptsächlich beschriebene Einsatzgebiet ist die quantitative Niederschlagsmessung. Durch die flächendeckende Erfassung von Niederschlagsgebieten ergibt sich eine Reihe wichtiger Anwendungen. Eine populäre qualitative Anwendung ist die Echtzeitdarstellung von Niederschlagsgebieten und die Verbreitung dieser Darstellungen z.B. auf verschiedenen Internetportalen, die jedermann zugänglich sind. Zahlreiche professionelle Anwender, z.B. der DWD sowie die Wasser- und Landwirtschaft nutzen die Daten des Radarnetzes und gegebenenfalls auch ergänzender spezieller Radarstationen zur Erfassung der Niederschlagsverteilung, wobei hier oft großer Wert auf eine detaillierte quantitative Erfassung gelegt wird. Aus diesem Grund behandelt die Richtlinie nicht nur die reine Messtechnik, sondern auch die Verfahrensschritte für die Vorbereitung der Daten für unterschiedliche Anwendungen.

Beim Wetterradar muss der Niederschlag mithilfe empirischer Beziehungen aus der Radarreflektivität und gegebenenfalls zusätzlich gemessenen polarimetrischen Parametern abgeleitet werden (VDI 3786-20, 2014). Diese empirischen Beziehungen hängen von der aktuellen Regentropfengrößenverteilung ab, die nur innerhalb einer gewissen Bandbreite bekannt ist. Daher sind Wetterradmessungen kein Ersatz für die in VDI 3786 Blatt 7 (2010) beschriebenen konventionellen Verfahren, sondern sie müssen sogar, falls höhere Genauigkeitsanforderungen an die erfasste Niederschlagsmenge gestellt sind (z.B. für Hochwasserwarnsysteme), durch konventionelle Messungen gestützt werden (WMO, 2008). Das Wetterradar ermöglicht aber die Erfassung von räumlich sehr fein strukturierten Niederschlagsverteilungen, was mit konventionellen Messungen alleine nicht erreichbar wäre. Die Erfassung von Niederschlag mit Wetterradar ist die älteste nicht militärische Anwendung seit Erfindung des Radars im Zweiten Weltkrieg.

Zusätzlich zu den bereits genannten Themenschwerpunkten beschreibt die Richtlinie auch die Qualitätssicherung und die Möglichkeiten der Kurzfristvorhersage (Nowcasting) und geht in zwei Anhängen auf das Mikro-Regenradar und die Koordinatenumrechnung ein.

Es wurde ein bisher noch nicht über DIN-Normen bzw. VDI-Richtlinien standardisiertes Verfahren in einer technischen Regel festgehalten. Mit Schwerpunkten in der quantitativen Niederschlagsbestimmung und den

Anwendungen in der Wasserwirtschaft konnte damit weiterhin ein Regelwerk geschaffen werden, das nicht nur den Betreibern, sondern auch allen Anwendern von Wetterradardaten eine Entscheidungshilfe und Informationsquelle sein wird.

Die Erstellung der hier diskutierten Richtlinie VDI 3786 Blatt 20 stellt einen ersten und wichtigen Schritt in der internationalen Harmonisierung der Niederschlagsbestimmung mittels Wetterradar dar. Das internationale Interesse an der Richtlinie zeigte sich bereits vor der Veröffentlichung des Entwurfs und wurde von der International Organization for Standardization (ISO) geäußert. Es wurde entschieden, die Arbeiten nach der Veröffentlichung der nationalen Richtlinie bei ISO weiterzuführen, um einen weltweiten Konsens auf Basis der Richtlinie zu finden. Auch die internationale Harmonisierung wird darauf ausgerichtet sein, eine einheitliche Praxis bei der Messung von Niederschlagsdaten mittels Rader und ihrer Bewertung sicherzustellen. Es wird weiterhin sichergestellt sein, dass die Internationalisierung der Radartechnologie nicht zulasten der Qualität geht.

Richtlinien und Normen als technisch-wissenschaftliche Regeln dienen Anwendern, Herstellern und Behörden als wichtige Entscheidungshilfen und Informationsquellen. Dies gilt insbesondere für die technische Regelsetzung im Umweltschutz. Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN ist mit ihren 1200 Experten in 170 Arbeitsgruppen an der Erstellung des Regelwerks aktiv beteiligt, indem sie gemeinsam mit allen interessierten Kreisen und in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit den Stand von Wissenschaft und Technik in VDI-Richtlinien und DIN-Normen festhält. Der Fachbereich II "Umweltmeteorologie" beschäftigt sich auf nationaler und internationaler Ebene mit allen meteorologischen Fragestellungen des Umweltschutzes.

An dieser Stelle sei allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung der Richtlinie VDI 3786 Blatt 20 mitgewirkt haben, gedankt. Namentlich sind dies Jens Didszun, Uwe Ehret, Frank Gekat, Martin Hagen, Kai Mühlbauer, Gerhard Peters, Markus Quirnbach, Marc Scheibel, Adrian Treis, Hans-Reinhard Verworn und Elmar Weigl. Wir danken dem VDI für die Freigabe der Richtlinie zur Erstellung dieses Beitrags.

#### LITERATUR

VDI 3786 Blatt 7 (2010). Umweltmeteorologie; Meteorologische Messungen; Niederschlag. Berlin, Beuth Verlag

VDI 3786 Blatt 20 (2014). Umweltmeteorologie; Bodengebundene Fernmessung des Niederschlags; Wetterradar. Berlin, Beuth Verlag

World Meteorological Organization (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO No. 8, Seventh Edition, Part II Observing Systems, Chapter 9 Radar Measurements

## **Der Copernicus Atmosphärendienst – eine Basis für operationelle umweltmeteorologische Anwendungen**

*Tobias Fuchs*

*Nationaler Fachkoordinator für die Copernicus Dienste Atmosphäre und Klima  
Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, D-63067 Offenbach, [tobias.fuchs@dwd.de](mailto:tobias.fuchs@dwd.de)*

Copernicus ist das operationelle Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union (EU). Eine neue Generation von Umweltsatelliten, die „Sentinels“, wird im Kontext von Copernicus in den nächsten Jahren im Weltraum bereitgestellt. Spätestens ab dem Jahr 2021 werden insgesamt acht eigenständige Copernicus Satelliten vom Weltall aus unsere Erde beobachten. Sie bilden das Rückgrat des weltweit umfassendsten zivilen Umwelt-Beobachtungssystems im Weltall. Weltweit erstmalig werden in Copernicus eine Vielzahl an globalen Daten – von Satelliten, von flugzeuggestützten und bodengestützten Messstationen, sowie Stationen auf den Ozeanen – routinemäßig erhoben und analysiert, um auf deren Basis qualitativ hochwertige Informationen und Dienstleistungen zu erstellen und für Nutzer frei zur Verfügung zu stellen.

Die Copernicus Dienstkomponekte umfasst die Bereiche Überwachung der Atmosphäre, Überwachung der Meeresumwelt, Landüberwachung, Klimawandel, Katastrophen- und Krisenmanagement, und Sicherheit. Insbesondere stellt Copernicus bereit: Informationen über den Zustand der Atmosphäre auf europäischer und globaler Ebene; Informationen über den Zustand des globalen Ozeans und regionaler Meeresgebiete, auch durch Einrichtung eines europäischen Verbundes für Meeresüberwachung; Informationen für die Landüberwachung zur Unterstützung der Durchführung lokaler, nationaler und europäischer Maßnahmen; Informationen zur Unterstützung der Anpassung an den Klimawandel und der Eindämmung seiner Folgen; Geoinformationen zur Unterstützung des Notfallmanagements, auch durch Vorwarnung; Geoinformationen zur Unterstützung der zivilen Sicherheit, einschließlich Unterstützung für das auswärtige Handeln der Union.

Der Copernicus Atmosphärendienst (CAMS) steht nach 10 Entwicklungsjahren im Kontext der EU Forschungsprojekte GEMS, MACC-I, MACC-II, und MACC-III im ersten Jahr seiner operationellen Phase und liefert Informationen über die Luftqualität europaweit und die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre weltweit. In CAMS wird die globale Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe analysiert, prognostiziert und Nutzern zur Verfügung gestellt. Die Daten sind für verschiedene Höhenstufen in der Atmosphäre verfügbar, mit besonderem Augenmerk auf den bodennahen Luftschichten zur Bestimmung der Luftqualität. Zum besseren Verständnis atmosphärischer Trends werden auch Zeitreihen in Form von Karten der globalen Atmosphärenzusammensetzung mittels Modellrechnungen und unter Zuhilfenahme von Satellitendaten erstellt.

CAMS Produkte umfassen folgende Bereiche:

- Zusammensetzung der Atmosphäre auf globaler Ebene (Ozon- und Kohlenmonoxidverteilung sowie Aerosolinformation [optische Dicke] als tägliche Vorhersage);
- Luftqualität in Europa (mit 4- bzw. 5-Tages-Prognose von Ozon, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid, Schwefel-dioxid sowie PM10, PM2.5, und Birkenpollen);
- Klimaüberwachung (Globale Verteilung der Treibhausgase Kohlendioxid und Methan);
- UV-Strahlung und Solarenergie (Dokumentation und Vorhersage der UV-Strahlung am Boden, Kartierung der solaren Einstrahlung).

Die flächenhaften grenzüberschreitenden europaweiten CAMS Produkte liefern wichtige und nützliche Zusatzinformationen für Prozessverständnis, Ursachenanalyse (Beitrag zur Trennung der unterschiedlichen Quellen: Regional-Lokal, Anthropogen-Natürlich), Prognosen/Warnungen und Szenarienrechnungen für umweltmeteorologische Anwendungen auf lokaler, regionaler, nationaler, und europäischer Ebene.

Mehr Informationen zum Copernicus Atmosphärendienst s. unter <http://www.copernicus-atmosphere.eu/>

## Elaborating meteorological standards – The work of ISO/TC 146/SC 5 Meteorology

Simon Jäckel<sup>1)</sup>

1) Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf, [jaeckel@vdi.de](mailto:jaeckel@vdi.de)

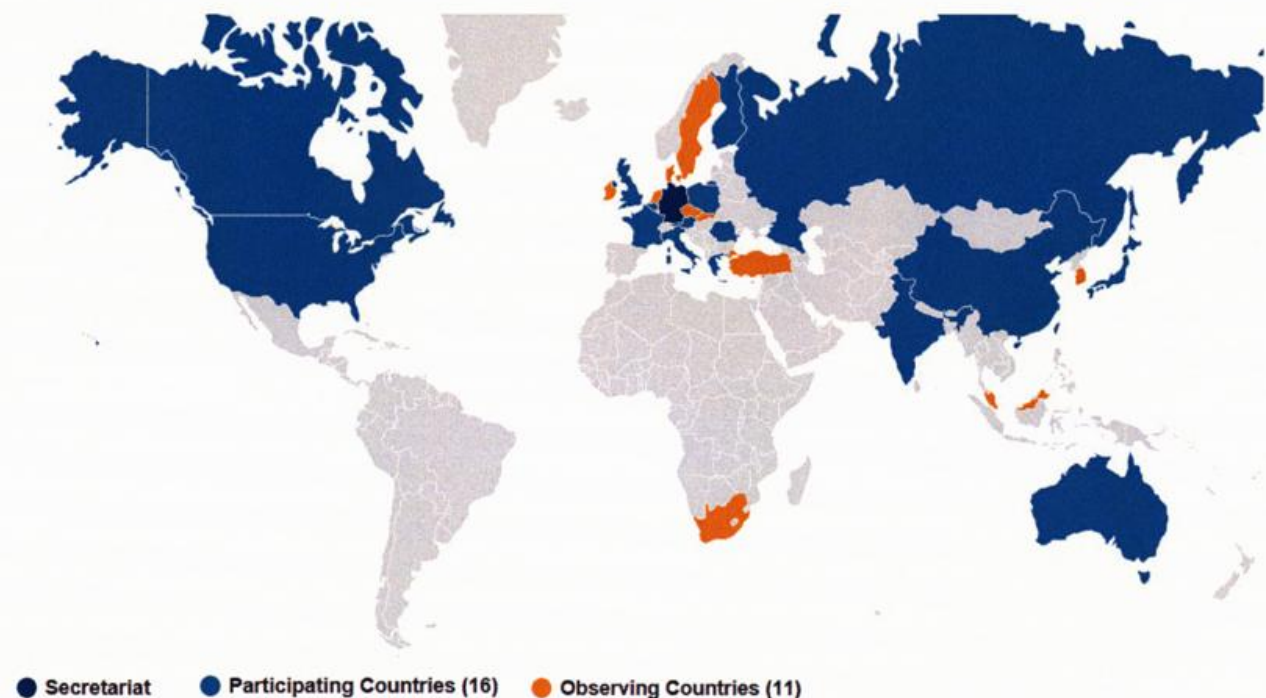
Within the field of meteorology, ISO Standards produce methods for identifying instruments that facilitate comparable measurements. ISO Standards provide definitions, methods of determining equipment characteristics and proper application of measuring equipment developed by a consensus process for providers and users alike. ISO Standards are needed for manufacturers to communicate the performance characteristics of their equipment. Voluntary consensus standards in meteorology are written by technical professionals from government, academia and industry. ISO committee ISO/TC 146/SC 5 “Meteorology” is responsible for the elaboration of meteorological ISO Standards. The working group members of ISO/TC 146/SC 5 develop, build, sell and use equipment covered by the standard practices, guides, and testing methods. Everybody involved in meteorological measurements should be aware of these ISO Standards and consider using them as reference tools when procuring equipment and operating measurement programs.

The focus of ISO/TC 146/SC 5 “Meteorology” lies on remote sensing techniques, such as lidar and radar that are applied around the globe. The work programme includes standards describing ground-based remote sensing of

- visual range by lidar;
- wind by heterodyne pulsed Doppler lidar;
- precipitation by weather radar and
- wind by radar wind profiler.

The World Meteorological Organization (WMO) and ISO agreed on the development of common ISO-WMO Standards. Consequently, the transition of the “WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation” (also known as WMO-No. 8) into ISO Standards is another important activity of ISO/TC 146/SC 5.

The following nations participate in the work of ISO/TC 146/SC 5 Meteorology:



All standardization projects of ISO/TC 146/SC 5 are elaborated in close cooperation with the World Meteorological Organization (WMO) through its Technical Commission on Instruments and Methods of Observation (CIMO). WMO actively participates in each SC 5 working group through officially nominated WMO experts.

The International Organization for Standardization (ISO) is an independent, non-governmental organization made up of members from the national standardization bodies of 163 countries. ISO published more than 19500 ISO Standards covering almost all aspects of technology and business.

The Commission on Air Pollution Prevention (KRdL) is a joint Standards Committee of VDI (Association of German Engineers) and DIN (German Institute for Standardization). Since its foundation in 1957 KRdL is responsible for the elaboration of German standards on air quality. Serving as Secretariat to CEN/TC 264 "Air quality" and ISO/TC 146 "Air quality" KRdL also takes a leading role in European and international standardization.

Poster zu Session 4:  
**„Urbane und Regionale Anpassung an den  
Klimawandel“**

## Zukunfts-Wetterdatensätze (Testreferenzjahre) für die Planung klimagerechter Gebäude

*Dr. Stefan Krähenmann<sup>1)</sup>, Dr. Andreas Walter<sup>1)</sup>*

1) *Deutscher Wetterdienst, Frankfurterstraße 135, Offenbach, [stefan.kraehenmann@dwd.de](mailto:stefan.kraehenmann@dwd.de)*

Bei Testreferenzjahren (abgekürzt TRY für „Test Reference Years“) handelt es sich um spezielle Wetterdatensätze zur thermischen Gebäudesimulation sowie zur Auslegungsberechnung von Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen. Außerdem dienen sie der Abschätzung des Energieaufwands im Rahmen der Gebäudeklimatisierung. Die Datensätze bilden daher eine wesentliche Grundlage bei der Errichtung klimagerechter Gebäude, was sowohl die Planung neuer als auch die Sanierung bestehender Gebäude betrifft. Damit wird der Forderung nach einer nachhaltigen Bauweise und der Verminderung von Treibhausgasemissionen im Sinne des Klimaschutzes nachgekommen.

TRY-Datensätze existieren bereits seit 1986 und fassen auf statistische Weise den charakteristischen Witterungsverlauf eines Jahres zusammen. Dazu wird Deutschland gegenwärtig in 15 Klimaregionen eingeteilt, deren typische Witterungsverhältnisse durch je eine Repräsentanzstation dargestellt werden. TRY-Datensätze wurden zuletzt 2011 aktualisiert. Zu diesem Zeitpunkt wurden erstmals auch Ergebnisse diverser Klimamodelle verwendet, um sogenannte „zukünftige“ TRY für den Zeitraum 2021 bis 2050 zu erstellen. Daneben wurde ein Stadtmodul entwickelt, mit dessen Hilfe der Einfluss urbaner Ballungsräume auf das regionale Klima abgeschätzt werden kann.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und knapper werdender Ressourcen gewinnt die Bereitstellung eines optimalen Gebäudeinnenraumklimas mit möglichst geringem Energieeinsatz zunehmend an Bedeutung. Der Einsatz neuer Technologien ermöglicht die Verbesserung der energetischen Qualität von Gebäuden. Insbesondere die Einbeziehung von Solarenergie und fortschrittlicher Regelungstechnik stellt allerdings höhere Anforderungen an die Repräsentativität und räumliche Genauigkeit der TRY-Datensätze.

Aufgrund ihrer Konzeptionierung weisen die derzeitigen TRY-Datensätze einige Defizite auf. Die 15 Repräsentanzstationen bilden die meteorologischen Bedingungen an einem beliebigen Untersuchungsort oftmals nur unvollkommen ab, zumal die von den Stationen repräsentierten Klimaregionen teilweise recht groß ausfallen bzw. zergliedert sind. Weiterhin ergeben sich im Grenzbereich zwischen einzelnen Klimaregionen Schwierigkeiten bei der räumlichen Zuordnung der Untersuchungsstandorte. Schließlich müssen derzeit für die thermische Gebäudesimulation die Lufttemperatur sowie der Wasserdampfgehalt manuell bezüglich ihrer Höhenabhängigkeit korrigiert werden.

Um Einschränkungen in der Anwendung der aktuellen TRY weitgehend zu eliminieren, werden diese in einem laufenden Projekt des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) methodisch weiterentwickelt. Die bisherige Methodik zur Extraktion der TRY aus Klimadatensätzen soll zwar unverändert bleiben, allerdings wird der Bezug auf Klimaregionen mit festen Repräsentanzstationen zukünftig fallen gelassen. An dessen Stelle tritt die Bestimmung individueller TRY-Datensätze für jeden beliebigen Ort in Deutschland, wobei eine räumliche Auflösung von 1 km<sup>2</sup> angestrebt wird.

Hier werden die grundlegenden Eigenschaften der TRY-Datensätze sowie deren Vorzüge vorgestellt. Daneben werden notwendige Änderungen in den TRY-Datensätzen aufgezeigt.

## KlimaScout – Das Wiki zur Anpassung an den Klimawandel

*Dr. Andreas Kress<sup>(1)</sup> & Dr. Wolfgang Hofstetter<sup>(1)</sup>*

1) *Klima-Bündnis e.V., Europäische Geschäftsstelle, Galvanistr. 28, 60486 Frankfurt am Main, [a.kress@klimabuendnis.org](mailto:a.kress@klimabuendnis.org), [w.hofstetter@klimabuendnis.org](mailto:w.hofstetter@klimabuendnis.org)*

Durch den Klimawandel ergeben sich neue Herausforderungen für Städte und Gemeinden. Neben Vermeidung von Treibhausgasen rückt die Anpassung an die Folgen des Klimawandels wie z.B. Hitze, Überschwemmungen und Stürme zunehmend in den Fokus der Entwicklung. Um den Folgen zu begegnen, unterstützt der KlimaScout Kommunen beim Einstieg in strukturierte Anpassungsaktivitäten.



### Der Klimascout

- zeigt Rahmenbedingungen für erfolgreiche Anpassungsstrategien auf,
- stellt integrierte Vorgehensweisen vor,
- bereitet Anpassungsmaßnahmen nutzerfreundlich auf,
- hält Tipps für Bürgerinnen und Bürger bereit.

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Umweltbundesamt. Es wurde unter Federführung des Klima-Bündnis mit Beteiligung einer Vielzahl deutscher Kommunen und Institutionen umgesetzt.

Webseite: <http://www.klimascout.de/>

## Klimaanpassung im Regionalplan Ruhr

*Dr. Wolfgang Beckröge, Astrid Mahnke*

*Regionalverband Ruhr, Kronprinzenstraße 35, 45128 Essen, [mahnke@rvr-online.de](mailto:mahnke@rvr-online.de)*

Seit der Regionalverband Ruhr die Planungskompetenz für den Ballungsraum Ruhr 2009 wieder übernommen hat, haben sich die Aufgabenfelder im Bereich der Stadtklimatologie z.T. in eine mehr regionale Betrachtungsweise gewandelt. Neben den detaillierten Aussagen bis auf die Ebene der Stadtbezirke, die im Rahmen der Klimaanalysen für die Stadtplanung auch weiterhin getroffen werden, wurden bei der Aufstellung des Regionalplans Ruhr Untersuchungen zu den stadtklimatischen Verhältnissen auf regionaler Ebene durchgeführt und in einem Fachbeitrag „Klimaanpassung“ zusammengetragen. Hierbei wird die Darstellung der Last- und Ausgleichsräume, die aus einer Vielzahl an Einzelgutachten des RVR resultiert, durch die regionale Betrachtung des bodennahen Windfeldes als wesentlicher Bestandteil des Fachbeitrags ergänzt.

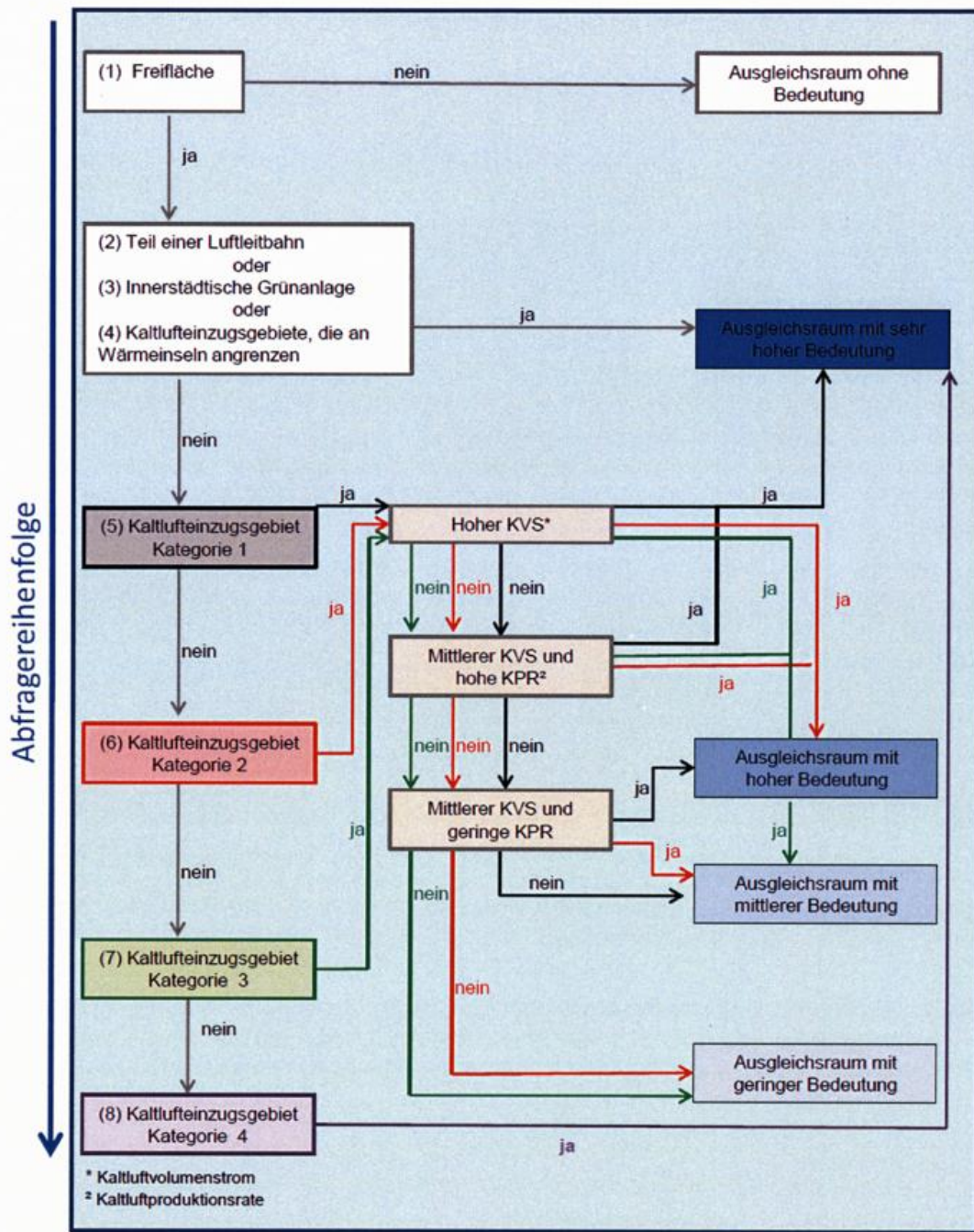
Im Auftrag des Regionalverbandes Ruhr hat das Ingenieurbüro GEO-NET aus Hannover mit Hilfe des Simulationsmodells FITNAH-3D eine großräumige Berechnung von Belüftungsverhältnissen und Kaltluftabflüssen durchgeführt. Als Grundlage zur Modellierung der klimatischen Bedingungen wurden die Geodaten des Regionalverbandes Ruhr genutzt.

Vorteil des Modelleinsatzes und des Vorliegens der RVR-Daten ist, dass ein aufwändiges Messprogramm zur klimatisch-lufthygienischen Situation in der Metropole Ruhr entbehrlich war. Landesweit einmalig liegt für die Metropole Ruhr eine Klimasimulation vor, die umfassende, räumlich hochauflösende und vor allem flächendeckende Ergebnisse liefert. Um der regionalen wie auch der kommunalen Planungsebene gerecht zu werden, wurde ein Zielmaßstab von 1:20.000 bei einer Rasterauflösung von 50 m x 50 m für die Berechnung gewählt.

Die Ergebnisse der Modellsimulation wurden schließlich genutzt, um ein Verfahren zur Beurteilung aller Freiflächen aus klimaökologischer Sicht zu entwickeln. Voraussetzung dabei war eine Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen den Lasträumen und den angrenzenden Ausgleichsräumen. Kühle Luftmassen, die sich in den unbebauten Freilandbereichen während einer Strahlungsnacht bilden, sind nur dann von Belang, wenn ihnen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet werden kann, der von der ausgleichenden Wirkung profitiert [GEO-NET 2009].

Zur Bewertung der an die Siedlungen angrenzenden Freilandflächen wurde ein teilautomatisiertes Bewertungsverfahren in Anlehnung an GEO-NET (2009 für die Metropolregion Rhein-Neckar) entwickelt (s. Abb. 1).

Dabei wurde eine Flächenbewertung unter Berücksichtigung der im Rahmen des Fachbeitrags zum Regionalplan Ruhr definierten gegenwärtigen und zukünftigen Lasträume und der daran angrenzenden unbebauten Flächen vorgenommen. Betrachtet und bewertet wurden dabei die an diese Räume angrenzenden Kaltlufteinzugsgebiete.



**Abbildung 1:** Ablaufschema zur Bewertung von Freiflächen aus klimatischer Sicht für den Regionalplan Ruhr.

Literaturangaben:

GEO-NET, 2009: Analyse der klimaökologischen Funktionen für das Gebiet des Metropolregion Rhein-Neckar. Gutachten im Auftrag der Metropolregion Rhein-Neckar.

## Die Kohlenstoffsенke urbanen Grüns – die große Unbekannte?

*Uta Moderow, V. Goldberg, R. Hoffmann, C. Bernhofer*

*Technische Universität Dresden, Professur Meteorologie, 01062 Dresden, uta.moderow@tu-dresden.de*

Vor dem Hintergrund des zu erwartenden Klimawandels wird vielfach auf das Potential von urbanem Grün zur Minderung thermischer Belastungen verwiesen. Jedoch ist ein weiterer Aspekt von urbanem Grün im Hinblick auf den Klimawandel ebenfalls interessant, der in den letzten zwei Jahrzehnten zunehmend in den Blickpunkt gerückt ist. Hierbei handelt es sich um die Funktion urbanen Grüns als längerfristige Kohlenstoffsенke. Dazu sind eine Vielzahl von Arbeiten publiziert worden, die forstliche Methoden (allometrische Beziehungen in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe) nutzen. Diese zielen zumeist auf den oberirdischen Kohlenstoffspeicher ab.

Jedoch herrscht in der Literatur keine Einigkeit darüber, ob diese forstlichen Beziehungen die oberirdische Biomasse städtischer Bäume generell überschätzen (Nowak, 1994) oder für verschiedene Arten zu einer Unter- oder auch Überschätzung der Biomasse führen (Jo und McPherson 1995; McHale et al. 2009). Strohbach und Haase (2012) gehen (aufgrund fehlender weiterer Informationen) für eine umfassende Untersuchung der Stadt Leipzig davon aus, dass die Biomasseleistung urbaner Bäume um 20% kleiner ist als unter Bedingungen eines herkömmlichen Wirtschaftswaldes.

Eine weitere Möglichkeit, Aussagen über die Kohlenstoffsенkenkapazität von urbanem Grün zu treffen, besteht in der modellgestützten Simulation. Hierbei greifen wir auf das Modell SVAT-CN (Falge et al. 2005) und das Model HIRVAC (Goldberg und Bernhofer 2001) zurück.

Der Fokus bei dieser Arbeit liegt auf der Fragestellung, wie sich die Kohlenstoffsенkenkapazität eines herkömmlichen Wirtschaftswaldes bzw. Wirtschaftswiese unter städtischen Bedingungen ändern würde. Als Ausgangslage dienen hierbei Simulationen die mit Hilfe von Vergleichsdaten aus Eddy-Kovarianz-Messungen gut an die jeweiligen Standorte angepasst werden konnten.

In einem nächsten Schritt wurden die abiotischen Faktoren so variiert, dass sie typisch städtischen Verhältnissen entsprechen. Dabei wurden zunächst die in Tabelle 1 aufgeführten Änderungen einzeln untersucht. Bei Veränderungen in der Windgeschwindigkeit und Niederschlag änderten sich die modellierten Bruttoprimärproduktionen im Modell SVAT-CN nur marginal. Die kumulative Auswirkung der anderen drei meteorologischen Größen (PAR, T, rH) auf die Nettoökosystemproduktion im Modell SVAT-CN ist in Abbildung 1 dargestellt.

Sie zeigt die mittlere Kohlenstoffsенke (Mittel über die Jahre 2004-2006) als NEE für einen herkömmlichen Wirtschaftswald im Vergleich zu einem Wald, dem mittels Änderung meteorologischer Größen (Tab. 1) städtische Bedingungen aufgeprägt wurden. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass unter städtischen Bedingungen NEE ganzjährig kleiner ausfallen würde als für ländliche Bedingungen. Unter städtischen Bedingungen ist zwar nach wie vor eine Kohlenstoffsенke zu verzeichnen, jedoch ist diese im Vergleich zu ländlichen Bedingungen generell kleiner. Die Differenz zwischen beiden Simulationen ist jahreszeitenabhängig und am größten in den Sommermonaten ausgeprägt.

Jedoch ist in diese dargestellten Simulationsergebnisse (Abb. 1) noch nicht die, im Vergleich zum ländlichen Umland, erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration der städtischen Luft mit eingeflossen. Bei Berücksichtigung dieses Phänomens erwarten wir eine Erhöhung der städtischen CO<sub>2</sub>-Senke aufgrund des CO<sub>2</sub>-Düngeeffekts.

### Literatur

FALGE, E., RETH, S., BRÜGGEMANN, N., BUTTERBACH-BAHL, K., GOLDBERG, V., OLTICHEV, A., SCHAAF, S., SPINDLER, G., STILLER, B., QUECK, R., KÖSTNER, B., BERNHOFER, C., 2005: Comparison of surface energy exchange models with eddy flux data in forest and grassland ecosystems of Germany. *Ecological Modelling* 188: 174-216

GOLDBERG, V., BERNHOFER, C., 2001: Quantifying the coupling degree between land surface and the atmospheric boundary layer with the coupled vegetation-atmosphere model HIRVAC. *Annales Geophysicae* 19, 581-587

JO, H., McPHERSON, G. E., 1995: Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *J. of Environ. Management* 45, 109–133

LANDSBERG, H. E., 1981: *The urban climate*. Acad. Press New York, London, 275 S

McHALE, M., BURKE, I., LEFSKY, M., PEPER, P., McPHERSON, E., 2009: Urban forest biomass estimates: Is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? *Urban Ecosystems* 12, 95–113

NOWAK, D. J., 1994: Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson EG, Nowak DJ, Rowntree RA (eds) *Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project*. USDA Forest Service General Report NE-186, Radnor, PA, USA, pp 83-94

STROHBACH, M. W., HAASE, D., 2012: Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. *Landscape and Urban Planning* 104, 95-104

Tab. 1: Änderung von meteorologischen Größen unter städtischen Bedingungen nach Landsberg (1981) im Vergleich zur ländlichen Umgebung.

Meteorologische Größe	Veränderung
Photosynthetisch Aktive Strahlung (PAR)	-7%
Lufttemperatur (T)	+1.5 K
Relative Luftfeuchtigkeit (rh)	-5%
Windgeschwindigkeit (WS)	-24%
Niederschlag (P)	+8%

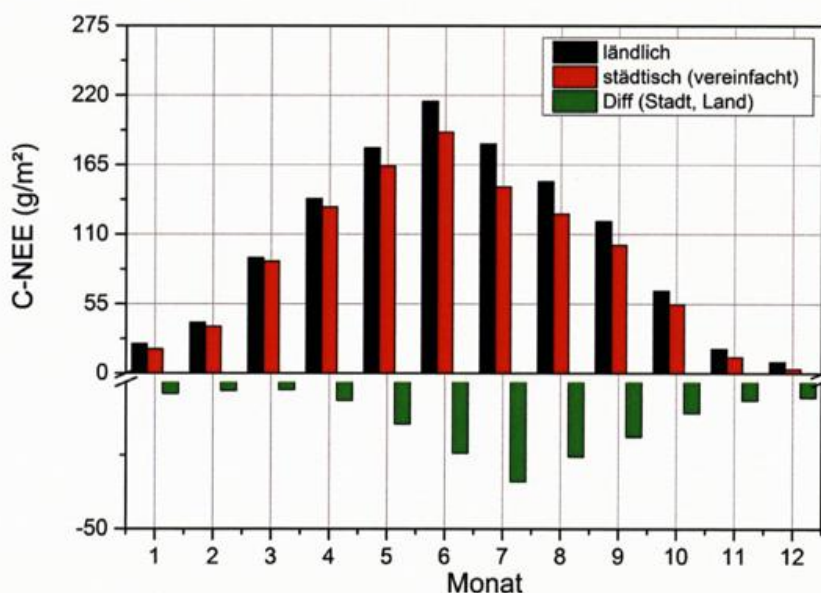


Abb. 1: Nettoökosystemaustausch (NEE) eines herkömmlichen Wirtschaftswaldes unter ländlichen bzw. städtischen Bedingungen. Ergebnisse Modellierung mit SVAT-CN.

## Entwicklung des Thermalkomforts in Prag (Tschechische Republik) seit 1960

M. Zak, P. Zahradnicek,

*Tschechisches Hydrometeorologisches Institut (Prag und Brno) und Karls-Universität Prag, Fakultät für Mathematik und Physik (Prag)*

Die Stadtwärmeinsel von Prag wurde von mehreren Autoren studiert. Meistens hat sich aber nur um die Lufttemperatur, bzw. Feuchtigkeit gehandelt. Ausserdem wurden vor allem die Ausdehnung und Intensität studiert. Es gab auch mehrere Studien die sich mit der Entwicklung der Stadtwärmeinsel befassen haben.

Doch was Menschenkomfort betrifft – wie z.B. gefühlte Temperatur oder Physiologische Äquivalente Temperatur (PET) – gab es erste Studien erst im Rahmen des UHI-Projektes (das von 2011 bis 2014 gelaufen ist).

Ein Beispiel zeigt Abb. 1.

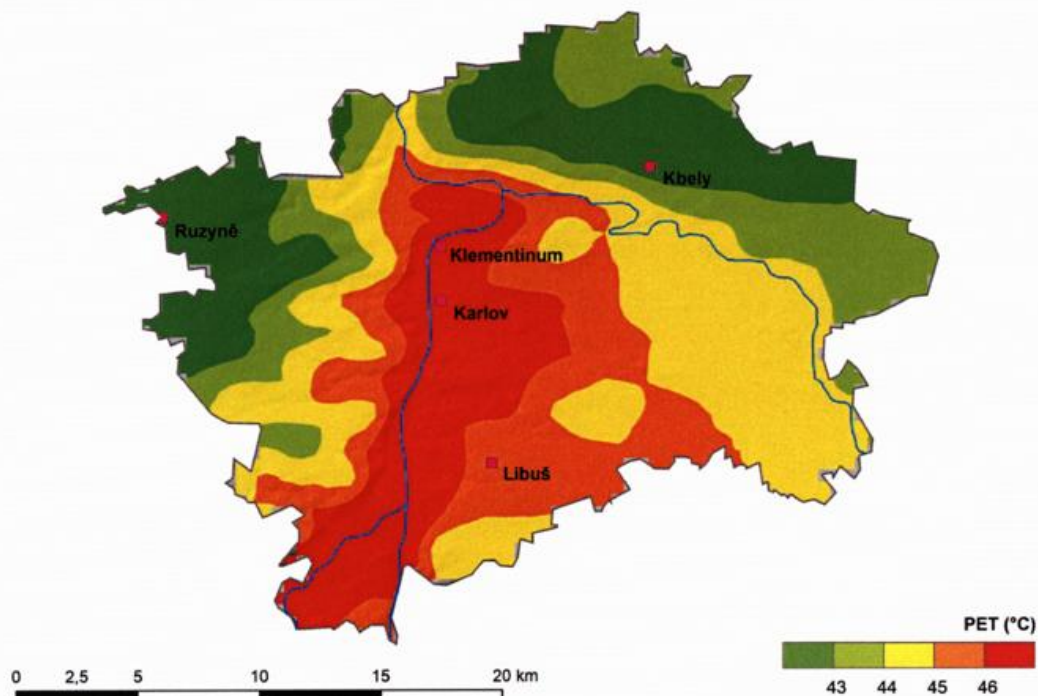


Abb. 1: PET an einem heissen Tag (28. Juli 2013) in Prag. Die maximale Lufttemperatur in der Stadt war damals zwischen 37,5 °C und 38,0 °C. Die Position der Stationen ist mit lila Viereck gekennzeichnet.

Mit diesem Beitrag wollten wir diese Leerstelle auffüllen. Für ausgewählte Stationen in Prag (die sowohl in dem Stadtzentrum als auch am Rande der Stadt liegen) haben wir die Physiologische Äquivalente Temperatur gerechnet und das seit 1960. Dazu haben wir die notwendige Inputdatei aus den klimatologische Dateibasen des Tschechischen meteorologischen Instituts genutzt. Für begrenzte Abschnitte waren nur Werte in so genannten klimatologischen Terminen (7, 14 und 21 MEZ) verfügbar. Sonst gab es Stundenwerten die für PET-Rechnung am besten geeignet sind.

In unserem Beitrag präsentieren wir Änderungen der Physiologischen Äquivalenten Temperatur für diese ausgewählten Stationen in Prag. Ergebnisse werden in der Form von Graphs und Kartodiagramme präsentiert und für ausgewählte Tage mit extremen PET-Werten auch als Karten.

Ausserdem diskutieren wir die Zeitentwicklung des PETs in Rahmen der Klimaänderung sowohl auch der Stadtwärmeinsel-intensivierung.

Poster zu Session 5:  
**„Klimatologie und Luftreinhaltung für Städte  
und Gemeinden“**

## **Einfluss von Flächennutzung und Witterung auf das Stadtklima von Dresden**

*Valeri Goldberg, Sabrina Mittag, Carolin Pursche, Arvid Koszinski, Christian Bernhofer*

*Technische Universität Dresden, Professur Meteorologie, 01062 Dresden, valeri.goldberg@tu-dresden.de*

Im Rahmen von studentischen Arbeiten wurden in den Sommermonaten 2013 und 2014 zu verschiedenen Tageszeiten und Witterungsbedingungen auf unterschiedlichen Fahrradmessrouten Temperatur- und Feuchtedaten im Stadtgebiet von Dresden erhoben. Zusätzlich wurden Daten von Klimastationen des DWD, des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie und des kommunalen Energieversorgers DREWAG innerhalb und außerhalb des Stadtzentrums analysiert. Die Ergebnisse zeigen u. a.

- einen klaren Zusammenhang zwischen der Lage des Messpunktes zum Stadtzentrum und dem nächtlichen Wärmeinseleffekt (UHI)
- den Einfluss der Topographie und städtischer Grünflächen auf das nächtliche Temperaturminimum
- den Einfluss großer Parkanlagen und exponierter Freiflächen auf das Temperaturmaximum
- die Abhängigkeit des UHI von der Bewölkung und der Windgeschwindigkeit
- den Einfluss großer Wiesenflächen und versiegelter Flächen auf die Feuchteverteilung im Stadtgebiet.

So liegt bspw. die maximale Temperaturdifferenz auf den Messrouten in Dresden in wolkenarmen Sommernächten zwischen 5 K bei mäßigem Wind (3-4 m/s an der Referenzstation Flughafen Dresden-Klotzsche) bzw. 8 K bei schwachem Wind (1 m/s an der Referenzstation). Ähnliche Temperaturdifferenzen ergeben sich für windarme Tage und starke Bewölkung bzw. windarme Tage und geringe Bewölkung (Mittag, 2014).

Entsprechend der typischen Charakteristik von Großwetterlagen ergeben sich Unterschiede im langjährigen UHI von Dresden. So wurde auf Basis einer 11-jährigen Reihe der urbanen und ruralen Klimastationen und einer Statistik der Objektiven Wetterlagenklassifikation des DWD ein mittlerer UHI für zyklonale westliche Anströmung von 2,7 K, für antizyklonale Nord- bis Ostanströmung von 3,0 K, sowie für (bzgl. Windrichtung) unbestimmte Schwachwindwetterlagen ein mittlerer UHI für Dresden von 2,7 K ermittelt (Koszinski, 2014).

Die räumliche Feuchteverteilung hängt bei autochthonen Wetterlagen sowohl von der Oberflächennutzung als auch von der tagesperiodischen Durchmischung ab. So wurden bei Sonnenaufgang die höchsten Dampfdruckwerte (um 18 hPa) sowohl über großen versiegelten Flächen im Stadtzentrum als auch über den Elbwiesen gemessen. Die niedrigeren Werte (um 16 hPa) treten zu diesem Zeitpunkt infolge Taubildung auf großen Wiesenflächen im Stadtpark Großer Garten auf. In den Nachmittagsstunden zeigt sich der direkte Einfluss der Unterlage infolge guter aerodynamischer Kopplung mit der Atmosphäre. Hier werden die geringeren Werte in der versiegelten Innenstadt (12-15 hPa) und die höheren Werte an den Elbwiesen und im Großen Garten (17 – 20 hPa) bestimmt (Pursche, 2014).

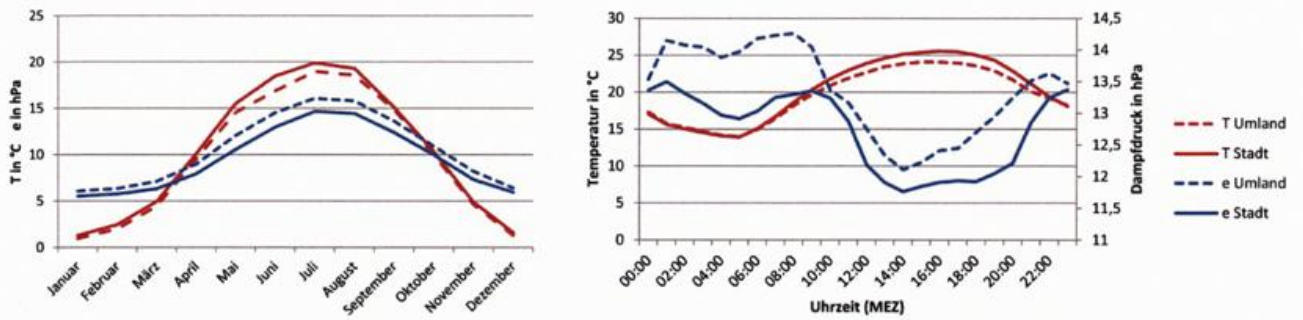
Insgesamt hat sich die Kombination von Datenerfassung mit Messfahrrad und Auswertung vorhandener Klimadaten als erfolgreich erwiesen, um die Abhängigkeit der Temperatur- und Feuchteverteilung von den urbanen Oberflächeneigenschaften, der Tageszeit und der Witterung in Dresden nachzuweisen. Von zukünftigem Interesse ist die Erweiterung des Konzeptes durch Messung von Strahlungs- und Oberflächentemperatur als Voraussetzung zur Ableitung von Indizes der thermischen Belastung der Stadtbewohner (PET, UTCI).

### Literatur

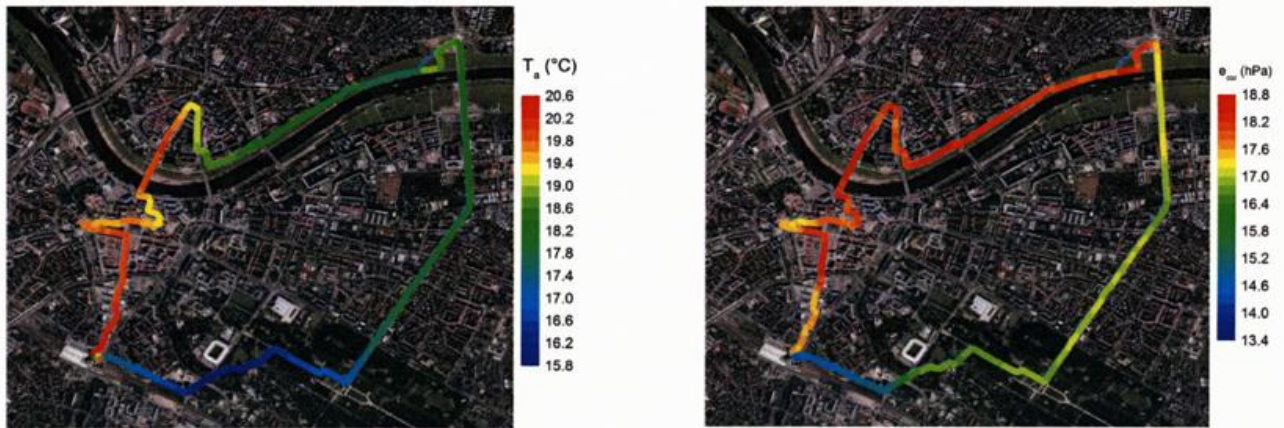
PURSCHE, C., 2014: Stadteinfluss auf die Luftfeuchte in Dresden. Bachelorarbeit TU Dresden, Professur Meteorologie, 31 pp

MITTAG, S., 2014: Wetterlagenabhängigkeit der nächtlichen Temperaturverteilung in Dresden. Bachelorarbeit TU Dresden, Professur Meteorologie, 91 pp

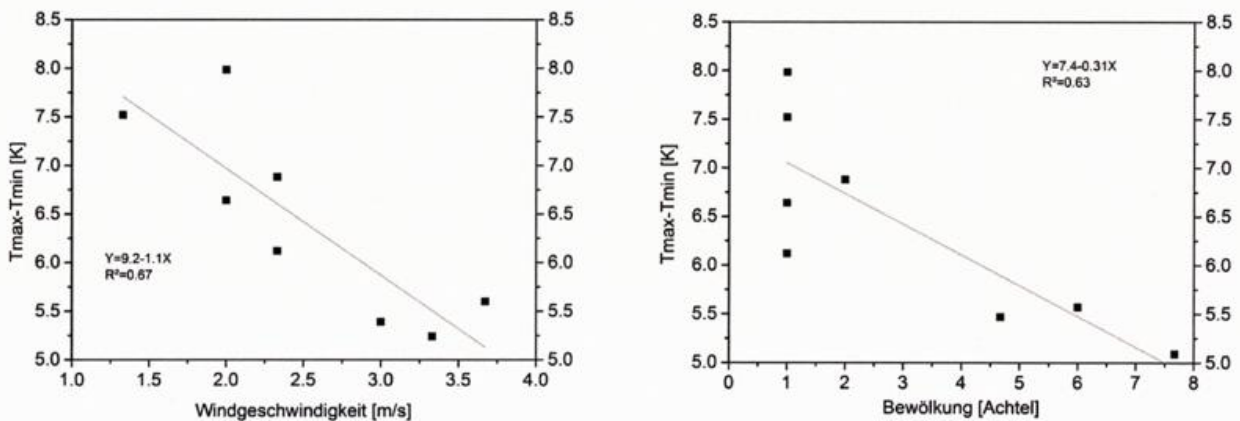
KOSZINSKI, A., 2014: Wetterlagenabhängigkeit des nächtlichen Temperaturminimums in Dresden. Bachelorarbeit TU Dresden, Professur Meteorologie, 34 pp



**Abb. 1:** Links: Jahresgang von Temperatur und Dampfdruck im Zeitraum 1998-2008, rechts: mittlerer Tagesgang von Temperatur und Dampfdruck an sommerlichen Strahlungstagen im Zeitraum 2004-2009 in Dresden. „Stadt“: Klimastation DREWAG (ca. 1km vom Stadtzentrum entfernt). „Umland“: Flughafen Dresden-Klotzsche (Graphiken aus Pursche, 2014)



**Abb. 2:** Verteilung von (trendkorrigierter) Lufttemperatur und Luftfeuchte (Dampfdruck) während einer Messfahrt am 18.07.2014, 5:00-6:00 MEZ (Daten aus: Pursche, 2014).



**Abb. 3:** links: Zusammenhang zwischen maximaler Temperaturdifferenz in wolkenarmen Strahlungsnächten im Sommer 2013 im Stadtgebiet von Dresden und der Windgeschwindigkeit am Flughafen Dresden-Klotzsche  
rechts: Zusammenhang zwischen maximaler Temperaturdifferenz in windarmen Sommernächten 2013 im Stadtgebiet von Dresden und der Bewölkung am Flughafen Dresden-Klotzsche (Daten aus: Mittag, 2014)

# **Simulation der städtischen Wärmebelastung mit einem mikroskaligen Modell und Abschätzung des Potenzials verschiedener Regenwassernaßnahmen – eine Fallstudie für Berlin**

*Robert Günther*

*Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover, guenther@muk.uni-hannover.de*

Besonders an warmen sonnigen Tagen können Menschen in Städten unter starkem Hitzestress und extremen Temperaturen leiden. Dies ist stark abhängig von der Wetterlage und Jahreszeit. Regenwassernaßnahmen (u. a. extensive und intensive Gründächer, Fassadenbegrünung, Versickerungsgräben, Baumrigolen) werden nicht oft im Gebäudemanagement eingesetzt (SenStadt, 2010), können jedoch einen Beitrag leisten den thermischen Komfort in einem Quartier zu verbessern (Harlan et al, 2006). Ihr Potenzial ist stark abhängig von ihrer Verortung und der Wasserverfügbarkeit.

Mit Hilfe des mikroskaligen Modells ASMUS (Ausbreitungs- und Strömungs-Modell für Urbane Strukturen) (Groß, 2012) wird das Stadtklima und die Wärmebelastung in den Berliner Stadtvierteln Schöneberg und Pankow für unterschiedliche meteorologische Situationen simuliert. Das Modell basiert auf den Navier-Stokes Gleichungen, der Kontinuitätsgleichung, dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik und einer Gleichung für die spezifische Feuchte. Gebäude und Bäume werden über für den Wind undurchlässige bzw. teil-durchlässige Gitterpunkte repräsentiert. Ihre Oberflächentemperaturen werden in Abhängigkeit von ihrer individuellen Ausrichtung und physikalischen Eigenschaften über eine Energiebilanz berechnet. Die Evapotranspiration der Vegetation ist abhängig vom Bodenwassergehalt. Dieser wird mit Hilfe eines hydrologischen 1D Modells nach Chen und Dudhia (2001) berechnet.

Um den Rechenaufwand handhabbar zu gestalten und dennoch eine Aussage für die städtische Wärmebelastung auf einer klimatologischen Zeitskala geben zu können wird die „cuboid method“ (Früh et al., 2011) angewendet. Dazu werden die meteorologischen Situationen nach der Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Zeit seit dem letzten Niederschlagsereignis klassifiziert. Es werden Simulationen für die 8 meteorologischen Eckpunktszenarien durchgeführt und linear zwischen diesen interpoliert. Die Ergebnisse werden ausgehend von der klimatologischen Häufigkeitsverteilung einer nahen meteorologischen Wetterstation (Berlin-Tempelhof) linear interpoliert.

Beispielsweise zeigt sich bei einem Anstieg des Modells mit hohen Lufttemperaturen und schwachem Wind nach einer 14-tägigen Trockenperiode (s. Abb. 1, rechts) für die thermische Belastung, erfasst über den UTCI (Universal Thermal Climate Index), eine sehr heterogene Hitzestress-Verteilung um 14 Uhr im Modellgebiet innerhalb von Berlin-Schöneberg. Ursache dafür ist die unterschiedliche Flächennutzung und Verschattung durch Bäume (s. Abb. 1, links).

Das Potenzial verschiedener Regenwassernaßnahmen wird über die gemittelte Differenz und Abweichung der thermischen Belastung und Temperatur über verschiedenen Oberflächenklassen in den Modellgebieten abgeschätzt. Die Oberflächen werden unter anderem nach ihrer Ausrichtung und ihrem Verdunstungspotenzial klassifiziert.

Die präsentierten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projekts KURAS (Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme) erstellt. Es wird finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Der Autor dankt der Firma GEO-NET Umweltconsulting GmbH für die Bereitstellung der Flächennutzungsdaten.

Chen, F., Dudhia, J., 2001: Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Monthly Weather Review* 129, 569-585.

Früh, B., Becker, P., Deutschländer, T., Hessel, J.-D., Kossmann, M., Mieskes, I., Namyslo, J., Roos, M., Sievers, U., Steigerwald, T., Turau, H., Wienert, U., 2011: Estimation of Climate-Change Impacts on the Urban Heat Load Using an Urban Climate Model and Regional Climate Projections. *J. Appl. Meteorol.* 50, 167-184.

Gross, G., 2012: Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. *Meteorol. Z.* 21, 399-412.

Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., Larsen, L., 2006: Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science and Medicine* 63, 2847-2863.

SenStadt, 2010: Rainwater management concepts: Greening buildings, cooling buildings – Planning, construction, operation and maintenance guidelines. Berlin, 72pp

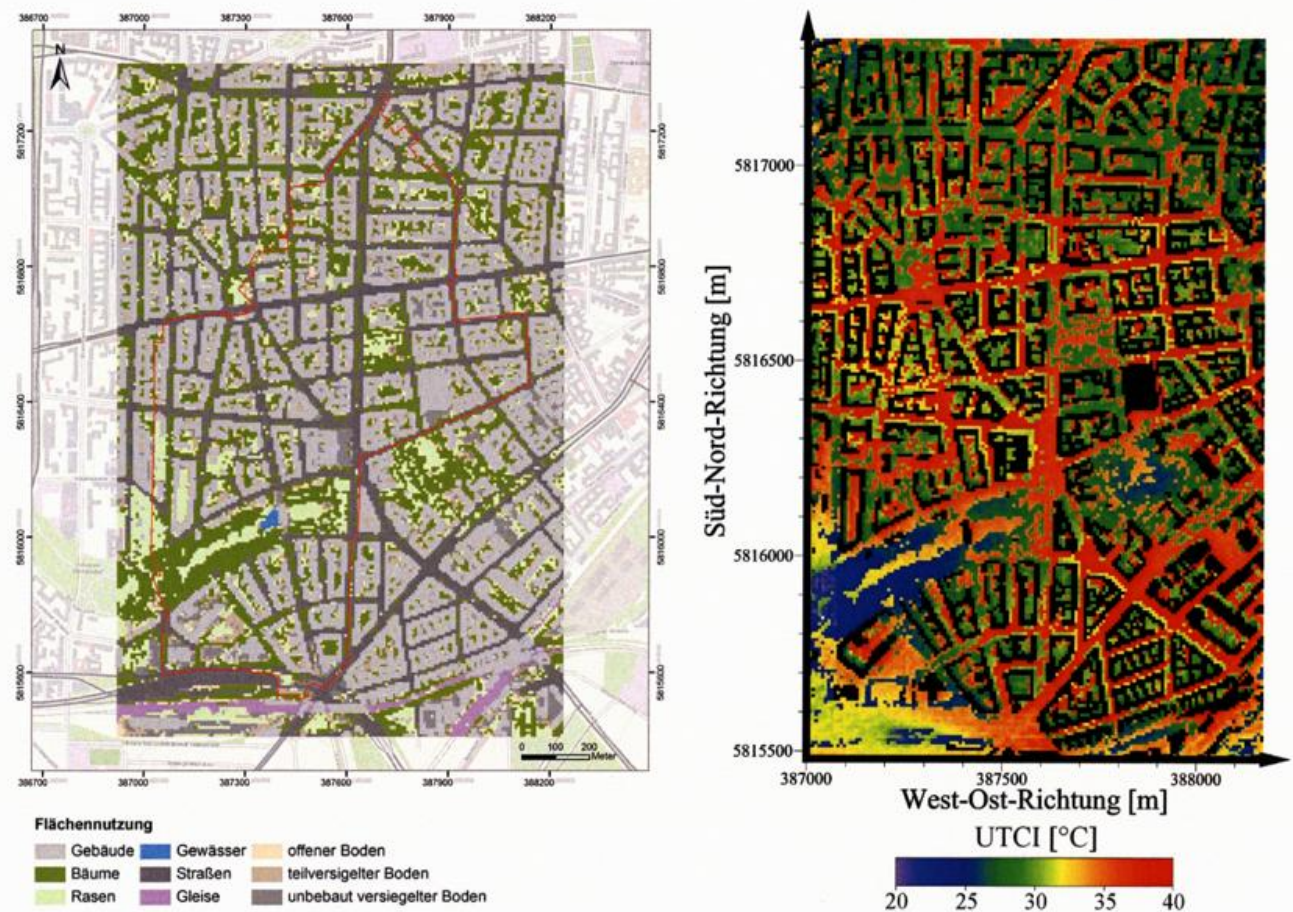


Abb. 1: Flächennutzung in Schöneberg in 9 Kategorien (GEO-NET Umweltconsulting GmbH) (links), UTCI um 14 Uhr in Schöneberg an einem heißen Tag mit schwachem Ostwind und nach 14-tägiger Trockenperiode im August 2003 (rechts)

# Detektion der urbanen Wärmeinsel und Abschätzung von Klimafolgen mit Hilfe der Stadtphänologie

*Susanne Jochner und Annette Menzel*

*Technische Universität München, Fachgebiet für Ökoklimatologie, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising, [jochner@wzw.tum.de](mailto:jochner@wzw.tum.de)*

## Hintergrund

Die Stadtphänologie blickt auf eine lange Geschichte zurück: Anfänglich war sie vor allem Werkzeug zur Kartierung städtischer Wärmeinseln (FRANKEN 1955), heute wird die Stadtphänologie insbesondere zur Beurteilung der Folgen des Klimawandels zu Rate gezogen. Denn wärmere und trockenere Städte ermöglichen mit vorhandenen Informationen eine bessere Abschätzung der künftigen phänologischen Änderungen. Die Stadt als Modell für die Klimazukunft liefert auch wichtige Informationen über die Pollenmenge und Allergenität und gibt Rückschlüsse über Veränderungen, die in den nächsten Jahren zu erwartet sind (ZISKA et al. 2003).

## Daten und Methoden

Entlang von Urbanisierungsgradienten wurde in den Städten München, Ingolstadt sowie in der tropischen Stadt Campinas (Brasilien) im Zeitraum 2008-2011 die Blüte und/oder Blattentwicklung von allergenen Arten (Hasel, Hängebirke, Rosskastanie) und tropischen Bäumen (gelbe Jacaranda, Sibipiruna, Goldtrompetenbaum) beobachtet. An insgesamt 82 Standorten wurden Lufttemperatur und -feuchte gemessen, in München zusätzlich Blattnährstoffkonzentrationen von Birken und standortspezifische O<sub>3</sub>- und NO<sub>2</sub>-Werte. Ferner standen Daten zur Pollenmenge und zur Allergenität der Birke zur Verfügung. Folgende Forschungsfragen standen im Fokus:

- Wie geeignet ist die Phänologie zur Detektion der städtischen Wärmeinsel?
- Inwieweit sind räumliche phänologische Daten hilfreich, um künftige Veränderungen abzuschätzen?

## Ergebnisse und Diskussion

Die Temperatur hat sich erwartungsgemäß als der größte Einflussfaktor auf die Phänologie erwiesen (JOCHNER et al. 2013a, c). Somit blühen Pflanzen in der wärmeren Stadt im Frühling eher. Jedoch war der Stadt-Land-Unterschied der Eintrittstermine nicht für alle Pflanzenarten, Regionen und Jahre universell. Wichtig erscheint die Temperatur kurze Zeit vor dem Eintritt der Blüte: Sind die Temperatursummen gering, ist eher mit einem ausgeprägten Unterschied zwischen Stadt und Land zu rechnen; sind die Summen hoch, tritt die Blüte fast zeitgleich ein (JOCHNER et al. 2011).

Die Studie in Brasilien zeigte, dass Feuchteparameter die Phänologie tropischer Baumarten beeinflussen (JOCHNER et al. 2013a). Für die Birke in München konnte zudem festgestellt werden, dass der Nährstoffstatus – vor allem der Elemente Kalium, Bor, Zink und Kalzium – bedeutend für die Pflanzenentwicklung ist (JOCHNER et al. 2013c). Eine höhere Konzentration von atmosphärischem NO<sub>2</sub> war mit einer Verspätung der Eintrittstermine verbunden.

Städtische Umweltbedingungen (hohe Temperaturen, NO<sub>2</sub>-Werte sowie Eisenkonzentrationen in den Blättern) wirken sich negativ auf die Pollenproduktion aus. Ferner erhöht der bodennah auftretende Luftschadstoff O<sub>3</sub> die Allergenität der Birkenpollen und beeinflusst die Allergientstehung (BECK et al. 2013).

Ermittelte Temperaturreaktionen unterscheiden sich signifikant zwischen den räumlichen (München-Studie) und zeitlichen Daten (DWD-Beobachtungsreihen): Die räumlichen Daten überschätzen die Response dabei stark (-4,4 Tage / °C vs. lange Zeitreihen: -1,9 Tage / °C). Bei der Interpretation phänologischer Daten sollten deshalb stets die inhärenten methodischen Unterschiede von verschiedenartigen Datensätzen berücksichtigt werden (JOCHNER et al. 2013b).

#### Literaturangaben

BECK, I., JOCHNER, S., GILLES, S., MCINTYRE, M., BUTERS, J.T.M., SCHMIDT-WEBER, C., BEHRENDT, H., RING, J., MENZEL, A., TRIDL-HOFFMANN, C., 2013: High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. PLOS ONE, DOI: 10.1371/journal.pone.0080147.

FRANKEN, E., 1955: Der Beginn der Forsythienblüte 1955 in Hamburg. Ein Beitrag zur Phänologie der Großstadt. Met Rdsch 8, 113-114.

JOCHNER, S., ALVES-EIGENHEER, M., MENZEL, A., MORELLATO, L.P.C., 2013a: Urban heat islands in tropical and temperate regions assessed by phenology. Int J Climatol, DOI: 10.1002/joc.3651.

JOCHNER, S., BECK, I., BEHRENDT, H., TRIDL-HOFFMANN, C., MENZEL, A., 2011: Effects of extreme spring temperatures on urban phenology and pollen production: a case study in Munich and Ingolstadt. Clim Res 49, 101-112.

JOCHNER, S., CAFFARRA, A., MENZEL, A., 2013b: Can spatial data substitute temporal data in phenological modelling? A survey using birch flowering. Tree Physiol, DOI: 10.1093/treephys/tpt079.

JOCHNER, S., HÖFLER, J., BECK, I., GÖTTLEIN, A., ANKERST, D.P., TRIDL-HOFFMANN, C., MENZEL, A., 2013c: Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen research? J Exp Bot 4(7), 2081-2092.

ZISKA, L.H., GEBHARD, D.E., FRENZ, D.A., FAULKNER, S., SINGER, B.D., STRAKA, J.G., 2003: Cities as harbingers of climate change: Common ragweed, urbanization, and public health. J Allergy Clin Immun 111, 290-295.

# "Stadtklimaanalysen auf Grundlage verallgemeinerbarer Stadtstrukturtypen"

Lutz Katzschner

Universität Kassel, Institut für Urbane Entwicklungen, katzschn@uni-kassel.de

## Problemstellung

Weltweit werden Stadtklimaanalysen als Grundlage für die Stadtentwicklungsplanungen erstellt (Chao 2009). Methodisch wurde das in einer VDI Richtlinie 3787 Bl. 1 "Umweltmeteorologie Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen" zusammengefasst, in der auf die Definitionen der Klimatope bezug genommen wurde (VDI 2014). In der Regel werden Daten des amtlichen Koordinatensystem oder Landnutzungsdaten als Grundlage herangezogen, aus denen die charakteristischen Klimaeigenschaften abgeleitet werden.

Da in vielen Städten aktuelle Daten nicht vorliegen wird hier ein Ansatz vorgestrelt, wie aus generalisierten Stadtquartierstypen Analysen erstellt werden können, deren Kalibrierung über Messungen oder Modelle erfolgen kann.

## Umsetzung

In Analysen aus London, Wien und Hong Kong lassen sich Realnutzungen in Urban Structure Types darstellen, die als Kriterien Baudichte, Porosität und Bauhöhe beinhalten.

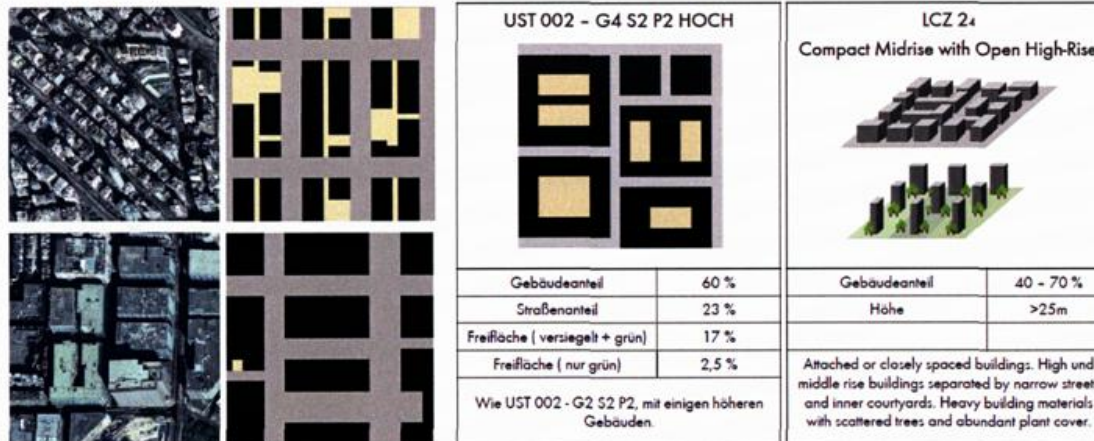


Abb1. Luftbild Hong Kong mit Gebäuden von 60m und 40 % oben und 54 % unten bebauter Fläche (links), der Zuordnung zu einen generellen Struktur und der Einordnung in eine Local Climate Zone nach Stewart /Oke (2009).

In Abbildung 2 wurde für Wien die notwendigen Schritte zur Erstellung der Analyse dargestellt. Nach der räumlichen Kartierung der globalen Stadtstrukturtypen ist für exemplarische Fälle eine Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur vorgenommen worden, welche in einem weiteren Schritt in die Klimaanalyse eingabut wurde. Damit lassen sich flächendeckend Eigenschaften übertragen.

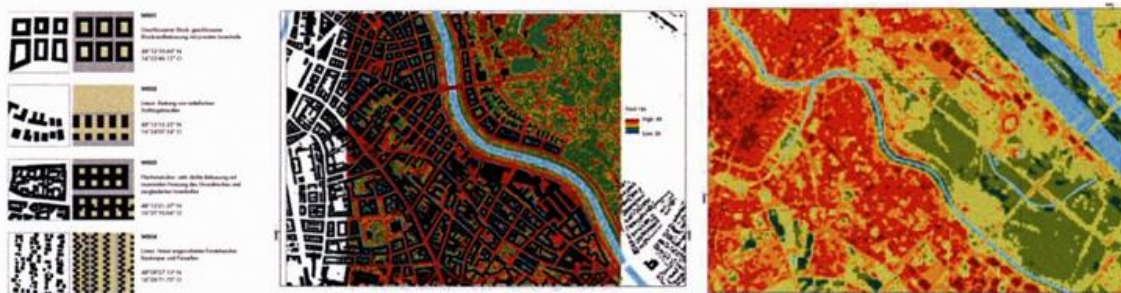


Abb. 2.: Globale Stadtstrukturen Wien (links) mit den Berechnungen des thermischen Aspekts (PET) und der Übertragung auf die Überwärmungskarte Wien

### Ausblick

Die Stadt der Zukunft sollte sich sowohl der Problematik verdichteter Städte, als auch der Umweltaspekte annahmen. Dabei spielt vor allem Stadtbegrünung eine wichtige Rolle, da sie die Aufenthaltsqualität städtischer Freiräume verbessern hilft und die thermische Belastung reduziert. Die globalen Stadtstrukturanalysen helfen den Planern Grünpotentiale auszuschöpfen und zu analysieren was an Maßnahmen möglich ist. Stadtklimatisch können damit Begrünungen, die von Planern vorgeschlagen werden auf die temperaturreduzierende Wirke berechnete wurden und über die Veränderungen der flächendeckenden Stadtstrukturanalyse eine einfache Annahme der thermischen Bedingungen erreicht werden.

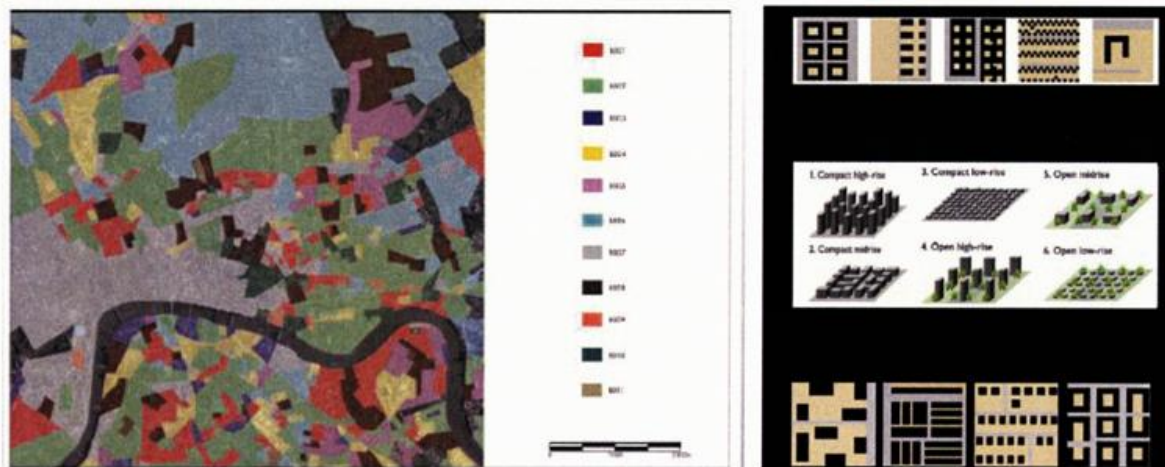


Abb. 3: Stadtstrukturtypenklassifizierung von London mit abgeleiteten verallgemeinerbaren Stadttypen.

### Literatur:

Ren C., Ng, E., Katschner, L. 2010: Urban Climate Map Studies. A review, International Journal of Climatology, a review, DOI: 10.1002/joc.2237.

Stewart, I. Oke, T. 2009: Classifying urban climate field sites by local climate zones, Int. Conference on Urban Climate, Yokohama.

VDI RL 3787 Bl. 1 1997 überarbeitet (neu 2014): Stadtklima und Lüfthygienekarten für Städte und Regionen, VDI Beuth Verlag Berlin

## Untersuchungen zum Innenstadtklima der Metropole Ruhr

*Dr. Wolfgang Beckröge, Astrid Mahnke*

Regionalverband Ruhr, Kronprinzenstraße 35, 45128 Essen, [mahnke@rvr-online.de](mailto:mahnke@rvr-online.de)

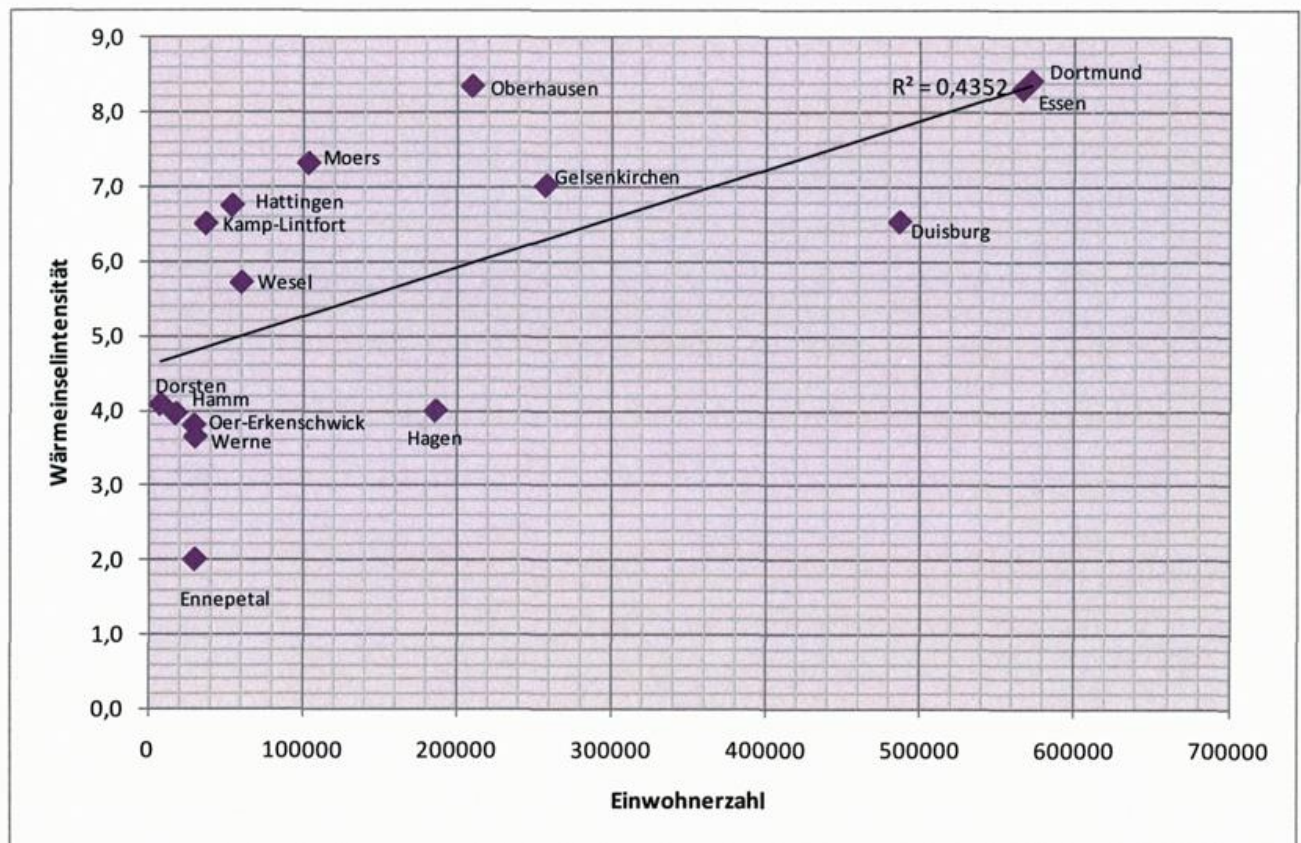
Seit über 30 Jahren werden beim Regionalverband Ruhr im Auftrag der Kommunen und Gemeinden der Metropole Ruhr die stadtklimatischen Verhältnisse untersucht. Schwerpunkt der Betrachtungen bilden die räumliche Darstellung und die Beurteilung der klimatischen Situation und dessen Bewertung im Hinblick auf kommunale Planungsempfehlungen. Mithilfe eines umfangreichen Messeinsatzes werden dabei die klimatischen Verhältnisse unterschiedlicher Stadtstrukturen untersucht und kartographisch in Form von sog. „Klimatopen“ abgebildet. In der Vergangenheit wurden bedingt durch die Auftragslage, die Städte der Region unabhängig voneinander untersucht und bewertet. Eine Vergleichbarkeit der Stadtklimaanalysen untereinander war aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungszeiträume folglich nur eingeschränkt möglich.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen einer einjährigen Messperiode (Januar bis Dezember 2013) an insgesamt 21 Standorten in der Metropole Ruhr die Lufttemperaturen untersucht. Dabei wurden an 15 Standorten die Temperaturen in den Innenstädten gemessen, sechs weitere Standorte dienten als Vergleichsstationen und lagen im Freiland. Bei der Auswahl der Standorte wurde darauf geachtet, in allen drei Naturräumen der Metropole Ruhr (Bergisches Land, Niederreinisches Tiefland und Westfälische Bucht) sowohl kleinere als auch größere Städte sowie jeweils mindestens eine Station im Freiland für die Messkampagne auszuwählen.

Ziel der Untersuchungen war es, die Einflüsse von Stadtgröße, Größe der Innenstadtklimatope und naturräumliche Lage auf die thermischen Verhältnisse in den Innenstädten der Metropole Ruhr herauszustellen.

Ergebnis der Untersuchungen:

- In fast allen untersuchten Innenstädten (mit Ausnahme der Stadt Ennepetal) ist ein deutlicher Wärmeinseleffekt in den Nachtstunden nachweisbar
- Die Stadtgröße (Einwohnerzahl) hat einen Einfluss auf den nächtlichen Wärmeinseleffekt, stellt aber nicht das alleinige Kriterium dar. Bebauungsdichte, Anteil an Grünflächen, Lage im Naturraum und Zufuhr von Frischluft sind darüber hinaus wichtige Klimafaktoren, die das Innenstadtklima zusätzlich beeinflussen (s. Abbildung 1)
- Im Allgemeinen zeichnen sich die Städte im Kernbereich der Region durch eine stärkere nächtliche Überwärmung aus als die ländlicher gelegenen und kleineren Kommunen.
- Bei der Erwärmung am Tage war ein Einfluss von der Stadtgröße nicht nachweisbar. Eher bestimmt die Lage der Messstationen die Überwärmung. Dies kann dazu führen, dass bei großstädtischen, dicht bebauten Innenstädten die mittägliche Überwärmung nicht stärker ist als bei eher locker bebauten, weniger beschatteten und insgesamt kleineren Stadttypen.



**Abbildung 1:** Abhängigkeit der Wärmeinselintensität von der Stadtgröße (Einwohnerzahl) Zeitpunkt: 02.08.2013, 4:00 Uhr (Vergleichsstation: Freiland Datteln)

*Fazit:*

Mit Ausnahme der Stadt Ennepetal zeichnen sich alle anderen untersuchten Innenstädte durch einen deutlichen urbanen Wärmeinseleffekt aus, wobei die nächtliche Überwärmung in den größeren Städten besonders stark ausgeprägt ist. In einigen kleineren Städten fällt v.a. tagsüber eine starke Aufheizung von Plätzen und hoch versiegelten Flächen auf.

Aufgrund der durch den Klimawandel häufiger zu erwartenden Hochdruckwetterlagen mit langen Hitzephasen ist eine Verschärfung der Problematik in allen Städten der Region zu erwarten. Aus diesem Grund besteht dringender Handlungsbedarf bezüglich der Anpassung an den Klimawandel in allen Kommunen der Metropole Ruhr.

## **Interdisziplinäre Analyse innerstädtischer Feinstaubbelastung in Aachen**

*Paas, Bastian <sup>1) 4)</sup>, Maras, Isabell <sup>1) 4)</sup>, Schmidt, Teresa <sup>2) 4)</sup>, Stienen, Jonas <sup>3) 4)</sup>,  
Schneider, Christoph <sup>1)</sup>*

*1) Geographisches Institut, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland*

*2) Communication Science, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland*

*3) Institut für technische Akustik, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland*

*4) Projekthaus HumTec, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland*

Erhöhte Feinstaubkonzentrationen sind ein ernstzunehmendes Risiko für die Gesundheit. Der Großteil der Weltbevölkerung lebt in Städten, wo Luftqualitätsstandards regelmäßig überschritten werden. Aktuelle Forschungsergebnisse führen zu der Annahme, dass körperliche Reaktionen, wie Asthma, reduzierte Lungenfunktion und andere kardiovaskuläre Krankheiten, schon bei kurzer Expositionszeit auftreten oder verstärkt werden können. Menschen, die in Städten leben, sind aufgrund der Nähe zu Emittenten von Sekundärpartikeln und weiteren, teilweise korrelierenden Umweltstressoren, die in urbanen Räumen verstärkt auftreten, besonders gefährdet. Fragestellungen im Kontext urbaner Belastungsgrößen wurden bislang häufig separiert betrachtet. Planung und Weiterentwicklung von urbanen Räumen benötigen jedoch in Zukunft, im Hinblick auf den klimatischen und demographischen Wandel und bei wachsender urbaner Bevölkerung, einen integrativen Ansatz, in dem naturwissenschaftliche Methoden mit ingenieur- und sozialwissenschaftlichen Expertisen verknüpft sind.

Eingegliedert in das interdisziplinäre Projekt FuEco im Projekthaus HumTec der RWTH Aachen zur Analyse kombinierter Belastungsfaktoren wurden im Jahr 2014 in Aachen an ausgewählten Tagen meteorologische und lufthygienische Größen innerhalb einer innerstädtischen Platzanlage mit Grünflächen (Größe ca. 0.02 km<sup>2</sup>) an 6 Orten erhoben. Gehwegstrukturen mit einer feuchtgelagerten Deckung sowie eine mit Dieselbussen stark frequentierte Straße gliedern das Untersuchungsgebiet. Die Platzrandbebauung besteht überwiegend aus Gebäuden mit 4 bis 5 Stockwerken, während die offene Grünanlage durch Laubbäume und niedrigstöckige Gebäude eingefasst ist.

Parallel zu Anzahl- und Massekonzentrationen luftgetragener Partikel (0.25 µm – 32 µm in einer Messhöhe von 1.6 m) wurden Parameter wie Luftfeuchte, Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Windgeschwindigkeit sowie dreidimensionale Solar- und Infrarotstrahlung messtechnisch erfasst. Zusätzlich fanden Bürgerbefragungen zur Wahrnehmung und Messungen von Schallpegeln statt.

Aktuell werden hochaufgelöste Simulationen der Platzanlage mit den Modellen ENVI-met und Austal2000 zum besseren Verständnis der räumlichen Verteilung von Aerosolen und mikrometeorologischen Größen durchgeführt und mit den empirischen Ergebnissen verglichen.

Erste Messergebnisse zeigen, dass Partikelkonzentrationen unterschiedlicher Größenklassen kleinskalig stark heterogenen Mustern folgten. Messbereiche in der Nähe zur Hauptverkehrsstraße wiesen niedrigere PM10-Konzentrationen auf (15.3 µg m<sup>-3</sup>, 14.4 µg m<sup>-3</sup>; n = 58), als untersuchte Punkte 150 m entfernt von der Straße innerhalb der Grünanlage (29.4 µg m<sup>-3</sup>, 24.9 µg m<sup>-3</sup>). Feine Partikelfractionen waren dagegen an allen Messorten gleich verteilt (6.0 µg m<sup>-3</sup> bis 6.9 µg m<sup>-3</sup>). Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die feuchtgelagerten Fußwege innerhalb der Parkanlage eine erhebliche Quelle für Primärpartikel darstellen.

Der Vergleich von Messwerten mit Befragungsergebnissen zur Wahrnehmung hinsichtlich lufthygienischer Parameter macht deutlich, dass Feinstaub im Untersuchungszeitraum nicht wahrnehmbar war und die Empfindung der Luftqualität wahrscheinlich durch sichtbare und hörbare Ereignisse gesteuert wurde.

Die zukünftige Arbeit wird insbesondere den Vergleich zwischen Simulationsergebnissen und physikalischen Messwerten adressieren. Ausgewählte Erkenntnisse werden auf dem Poster exemplarisch vorgestellt.

## **Auswirkung von Strategien zur Verminderung der städtischen Wärmeinsel auf die urbane Luftqualität**

*Joachim Fallmann, Stefan Emeis*

*Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute for Meteorology and Climate Research Atmospheric Environmental Research Division, Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen, joachim.fallmann@kit.edu*

Städte sind Lebensraum für einen Großteil der Erdbevölkerung, aber auch verantwortlich für zusätzliche Treibhausgase in der Atmosphäre und deshalb Mitverursacher des Klimawandels (Grimm et al. 2008). Auf der anderen Seite sind sie komplexe Systeme die in Zukunft besonders von den Folgen des Klimawandels betroffen sein werden. Luftverschmutzung, sowie die deutliche Erwärmung städtischer Gebiete aufgrund des Wärmeinsel-Effektes (Oke 1982) führen dabei zu einer fortschreitenden Belastung für die Einwohner. Mit dem prognostizierten vermehrten Auftreten von Hitzewellen, wird diese Belastung noch weiter ansteigen (Stone 2012).

Die vorliegende Studie präsentiert einen numerischen Modellierungsansatz um die Auswirkungen verschiedener Stadtplanungsmaßnahmen auf die Intensität der städtischen Wärmeinsel zu untersuchen und die Rückkopplung dieser Maßnahmen auf die chemische Zusammensetzung der städtischen Atmosphäre zu analysieren. Die Region Stuttgart dient dabei als Testgebiet, die Hitzewelle 2003 als Modellzeitraum.

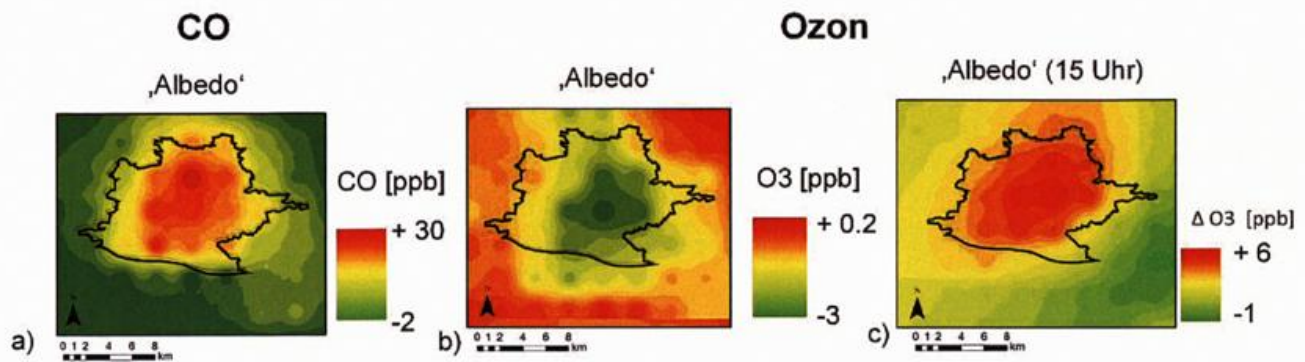
Das mesoskalige Chemie-Transport-Modell WRF-Chem (Grell et al. 2005) wird dazu verwendet, die Rückwirkung dieser Strategien zur Verringerung der städtischen Wärmeinsel auf die bodennahe Konzentration von primären (CO, NO, PM10) und sekundären Schadstoffen (Ozon) zu diskutieren. Im besonderen Fokus stehen außerdem noch biogene Emissionen von städtischen Pflanzen, welche als Vorläufersubstanzen vor allem für die Entstehung von Ozon relevant sind (Calfapietra et al. 2013).

Untersucht werden bekannte Vermeidungsmaßnahmen wie der Effekt heller Dach- und Fassadenflächen, städtische Begrünung oder die Veränderung der Bebauungsdichte. All diese Strategien bewirken eine Verringerung der städtischen Temperatur und tragen somit zur Reduktion der Wärmeinsel bei (Taha 1997).

Die Modellergebnisse zeigen, dass stark reflektierende Oberflächen die effizienteste Methode sind, die städtische Wärmeinsel zu reduzieren. Innerstädtische Begrünung und eine veränderte Bebauungsdichte zeigen geringere Effekte im Modell. Im Falle einer Erhöhung der Dachflächen-Albedo von 0.2 auf 0.7 wird eine Abnahme der städtischen Wärmeinsel um ca. 2 °C im Mittel erreicht.

Die Veränderung der Energie- und Strahlungseigenschaften der städtischen Oberflächen aufgrund der zuvor genannten Vermeidungsmaßnahmen wirkt sich unterschiedlich auf die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre aus. Während die mittlere Ozon-Konzentration um ca. 5 - 8 % pro 1 °C Temperaturverringerung reduziert werden kann, wird ein Anstieg primärer Schadstoffe wie NO und CO um 5 - 25 % prognostiziert.

Primär wird durch die Abnahme der Temperatur die dynamische Struktur der Atmosphäre verändert. Die turbulente Durchmischung wird verringert, die Mischungsschichthöhe sinkt daher, wodurch die bodennahe Konzentration von direkt emittierten Schadstoffen wie CO ansteigt (Abbildung 2a). Bei sekundären Schadstoffen wie zum Beispiel Ozon, sind die Zusammenhänge wesentlich komplexer und nicht allein mit dem Mittelwert zu erklären. Zum einen ist die Entstehung von Ozon direkt abhängig von der Umgebungstemperatur, was eine Reduktion der mittleren Konzentration nach sich zieht (Abbildung 2b).



**Abbildung 2:** Differenz zwischen Szenario (Albedo)- und Kontroll-Lauf für die mittlere Konzentration von CO (a) und Ozon (b) für den Modellzeitraum 8.8-18.8.2003. Differenz für Peak-Ozon Konzentration für das ‚Albedo‘ Szenario am 13. August 2003 15:00 (c). Alle Werte in parts per billion (ppb)

Auf der anderen Seite setzt kurzweilige solare Einstrahlung Photolyse-Reaktionen in Gang, was dazu führt, dass maximale Ozonkonzentrationen kurzzeitig sogar ansteigen können (Abbildung 2c). Das ist der Fall, wenn eine Erhöhung der Oberflächenreflexion durch weiße Dächer (‚Albedo‘) zum Beispiel die Intensität der kurzweiligen Strahlung erhöht (Seinfeld & Pandis 2012). Darüber hinaus kann ein vermehrter Anteil städtischer Vegetation zu einer vermehrten Emission biogener Stoffe führen, welche wiederum lokal die Ozonkonzentration erhöhen kann (Calfapietra et al. 2013).

Hauptresultat ist, dass der Einfluss von Maßnahmen zur Verringerung der städtischen Wärmeinsel auf die Dynamik größer ist als auf die Chemie. Während in bisherigen Studien vorwiegend die positive Auswirkung auf Ozonbelastung diskutiert wurde, untersucht diese Arbeit eine umfassende Luftchemie und arbeitet damit den negativen Effekt auf primäre Schadstoffe heraus.

## Literatur

- Calfapietra, C., Fares, S., Manes, F., Morani, A., Sgrigna, G., & Loreto, F. (2013). Role of Biogenic Volatile Organic Compounds (BVOC) emitted by urban trees on ozone concentration in cities: A review. *Environmental Pollution*, 183, 71-80.
- Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C., & Eder, B. 2005. Fully coupled "online" chemistry within the WRF model. *Atmospheric Environment*, 39, (37) 6957-6975
- Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J.M. 2008. Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319, (5864) 756-760
- Oke, T.R. 1982a. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, (455) 1-24
- Seinfeld, J.H. & Pandis, S.N. 2012. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change* John Wiley & Sons.
- Stone Jr, B. 2012. *The city and the coming climate: Climate change in the places we live* Cambridge University Press.
- Taha, H. 1997b. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25, (2) 99-103
- United Nations 2012, *World Urbanization Prospects The 2011 Revision*. URL: [http://esa.un.org/unup/pdf/FINAL-FINAL\\_REPORT%20WUP2011\\_Annextables\\_01Aug2012\\_Final.pdf](http://esa.un.org/unup/pdf/FINAL-FINAL_REPORT%20WUP2011_Annextables_01Aug2012_Final.pdf) 08/07/2014

Poster zu Session 6:  
**„Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart  
und Zukunft“**

## Seasonal differences of the influence of ship emissions in the North Sea on air pollution ashore

Armin Aulinger<sup>1</sup>, Volker Matthias<sup>1</sup>, Daniel Neumann<sup>1</sup>, Fritz Herrmann<sup>1</sup>, Lisa Kattner<sup>2</sup>, André Seyler<sup>2</sup>, Folkard Wittrock<sup>2</sup>, Barbara Mathieu-Üffing<sup>3</sup>

1)Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute for Coastal Research, Max-Planck-Strasse 1, 21502 Geesthacht, armin.aulinger@hzg.de

2) Institute for Environmental Physics, University of Bremen, Otto-Hahn-Allee 1, 28359 Bremen

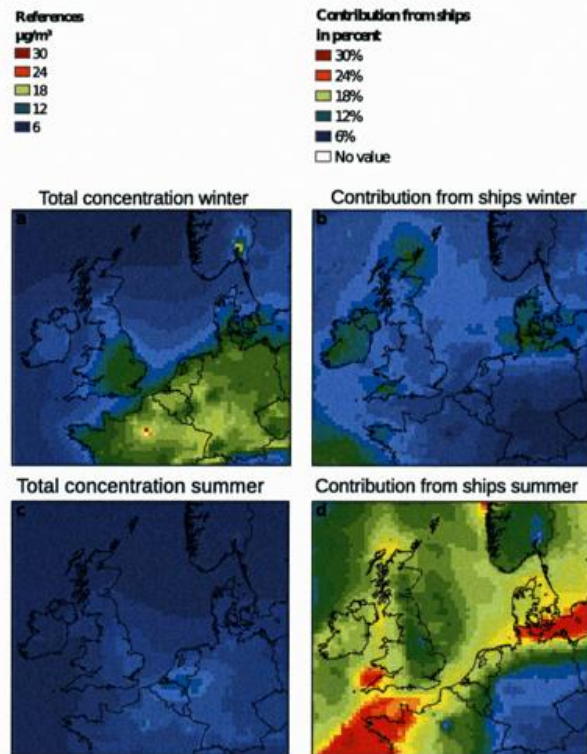
3)Federal Maritime and Hydrographic Agency, Wuestland 2, 22589 Hamburg

The North Sea is one of the areas with the highest ship traffic density worldwide. At any time, about 1000 ships are sailing its waterways. While land based sources of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> have decreased substantially in Europe during the last 20 years measures to control ship emissions have been disregarded for a long time. Since some years, however, the awareness of air pollution by shipping in particular concerning the emission of precursors for particulates is rising (Cofala et al., 2007). In order to quantify the effects of North Sea shipping on air quality in the riparian states, an accurate determination of the emissions from shipping is essential. For this purpose a bottom-up approach has been developed and applied to compile such an accurate emission inventory for 2011 that serves as the base year for the current emission situation (Aulinger et al. 2014). The procedure applied was similar to that developed by Jalkanen et al. (2012). The innovative aspect of our approach was to use load dependent functions to derive emissions from the ships' current activities instead of averaged emission factors for the entire range of the engine loads. The required engine characteristics of the vessels were taken from a data base purchased from IHS Fairplay. The shipping routes and activities were reconstructed from hourly records of AIS signals. By interpolating the AIS positions it was possible to create line source emissions that can be converted to gridded emission inventories of any arbitrary resolution. The total emissions of nitrogen and sulfur oxides on the North Sea in 2011 was about twice as much of those of a medium sized European state like The Netherlands. Using these emissions in a chemistry-transport modelling system made it possible to estimate concentration level changes due to shipping emissions both for substances that are emitted directly and for secondary pollutants like ozone and particulates.

For this study a grid cell size of 6 km<sup>2</sup> was chosen. The chemistry transport model used was the EPA's Community Multi-scale Air Quality (CMAQ) modeling system. The meteorological fields that drive the chemistry transport model were produced with the COSMO-CLM mesoscale meteorological model. Land based point and area sources were created with the SMOKE EU (Bieser et al., 2011) emissions model using The European Pollutant Emission Register (EPER). Boundary conditions for the model were taken from the Model for Ozone and Related chemical Tracers (MOZART).

In order to validate the simulation results they were compared to observations from measurement stations whose values are available through the EMEP data base and to measurements of air pollutants carried out during the MeSMarT project. By calculating the index of agreement (IOA) between observations and simulations it could be shown that the predictions of concentrations at coastal stations enhance. As an example the IOA at Westerland for NO<sub>2</sub> (Sylt/Germany) increases from 0.5 to 0.6.

It turned out that the relative contribution of ships to pollutant concentration levels ashore can reach up to 10% for short-lived substances and about 20% for long-lived particulate pollutants. Concerning temporal patterns (see figure) there are three possible reasons for finding winter-summer variations in the relative contribution of ships to air pollution levels: differences in the ships' activities, different intensity of land-based emissions and different life time of pollutants due to the different atmospheric conditions in summer and winter. The figure below shows the summer-winter differences for PM<sub>2.5</sub> that can be regarded as a secondary pollutant because its main constituents originate from the oxidation of gaseous sulfur and nitrogen compounds. The amount of transported goods by container vessels and tankers is almost equal throughout the year. Therefore,



PM2.5 concentrations in summer and winter and the relative contribution from ships.

this effect is nearly negligible. The largest contribution to the seasonality comes from differences in the land based emissions. This becomes evident by comparing the concentration maps for winter and summer in the figure below. In addition to this, a meteorological effect can be described. Low ambient temperatures are a hindrance for the oxidation of gaseous precursor substances and the formation of particulate compounds like nitrate and sulfate is retarded. Thus, more secondary pollutants originating from ship exhaust reach the shore in summer while in winter the contribution to primary gaseous pollutants prevails. A further question to be addressed is whether this relation changes in mild winters because there will be less pollution due to heating and, on the other hand, higher oxidation rates.

AULINGER, A., BIESER, J., GEYER, B., MATTHIAS, V., QUANTE, M., and ZERETZKE, M., 2014: The impact of shipping emissions on air quality in the Greater North Sea region. Part I: Current emissions and concentrations, *Atmos. Chem. Phys.*, submitted.

BIESER, J., AULINGER, A., MATTHIAS, V., QUANTE, M., and BUILTJES, P., 2011: SMOKE for Europe - adaptation, modification and evaluation of a comprehensive emission model for Europe, *Geoscientific Model Development*, 4, 47–68, doi:<http://dx.doi.org/10.5194/gmd-4-47-2011> 10.5194/gmd-4-47-2011.

COFALA, J. et al., 2007: Analysis of Policy Measures to Reduce Ship Emissions in the Context of the Revision of the National Emissions Ceilings Directive, final report, submitted to the European Commission, DG Environment, Unit ENV/C1 Contract No 070501/2005/419589/MAR/C1

JALKANEN, J.-P. et al., 2012: Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 2641-2659, 2012, doi:[10.5194/acp-12-2641-2012](https://doi.org/10.5194/acp-12-2641-2012)

## Auswirkung veränderter Stadtvegetation und Bebauung auf die verkehrsbedingten Emissionen in Leipzig

*Valeri Goldberg, Anita Kenner, Uta Moderow, Christian Bernhofer*

*Technische Universität Dresden, Professur Meteorologie, 01062 Dresden, valeri.goldberg@tu-dresden.de*

Viele Städte befinden sich in einem Verdichtungsprozess, haben sich aber gleichzeitig in ihrer Struktur an sich ändernde klimatische Bedingungen anzupassen. Im Rahmen des vom Bundesamt für Naturschutz geförderten Projektes „Urbane Wälder“ ([http://www.bfn.de/0304\\_urbande-waelder-pdm.html](http://www.bfn.de/0304_urbande-waelder-pdm.html)) werden u. a. landschaftsplanerische und klimatische Aspekte der Stadtumgestaltung untersucht, wobei der Schwerpunkt auf den Funktionen neu entstehender urbaner Wäldern liegt. Das Projektgebiet ist die Stadt Leipzig, wo verschiedene ausgewählte Aufforstungsflächen in ihrer Wirkung betrachtet werden.

Neben dem Zusammenhang mit Stadtklima und Stadtplanung wird im Teilprojekt der Professur Meteorologie der TU Dresden auch der Einfluss der Urbanen Wälder auf die Luftqualität untersucht. Auf der Grundlage von Modellsimulationen mit dem 3D-Mikroklimamodell Envi-met ([www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)) konzentriert sich die Untersuchung auf die Ausbreitung typischer Emissionen verschiedener Luftbeimengungen wie PM10, NO<sub>x</sub> und Ozon (basierend auf Literaturangaben) an verkehrsreichen und verkehrsarmen Straßen im Umfeld der Experimentalflächen des Verbundprojektes „Alte Stadtgärtnerei“ und „Neue Leipziger Straße“ (Abb. 1 und 2).

Auf diesen, seit einigen Jahren bereits mit neuen Bäumen bepflanzten, Flächen werden Envi-met - Simulationen zum „status quo“ und zu unterschiedliche Entwicklungsstadien der Vegetationsentwicklung, kombiniert mit der Vorgabe realistischer Verkehrsemissionen und Bebauungspläne in der Umgebung der Projektflächen durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationen werden mit aktuellen Konzentrationsverteilungen der o. g. Luftbeimengungen verglichen und der Einfluss der Urbanen Wälder bewertet.



**Abb. 1:** Projektfläche „Alte Stadtgärtnerei“ (Leipzig, Anger-Crottendorf). Nach Rückbau der Gärtnerei erfolgte im Jahr 2010 die Anpflanzung von Mischwald mit Wildobstanteilen.



**Abb. 2:** Projektfläche „Alte Leipziger Straße“ (Leipzig-Grünau). Nach dem Rückbau von Plattensiedlungen erfolgte 2012-2013 die Anpflanzung von Mischwald mit Wildobstanteilen.

## Probabilistische Immissionsprognose für PM10 in der Ost- und Zentralschweiz

Jürg Thudium <sup>1)</sup>, Carine Chélala <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Oekoscience, Postfach 452, CH-7001 Chur, Schweiz

<sup>2)</sup> Oekoscience, Mittenwaldweg 9, A-6020 Innsbruck, Österreich

In einer ersten Phase dieses Projektes wurde die PM10-Situation in der Ost- und Zentralschweiz in den Winterhalbjahren von 2001/02 bis 2011/12 an insgesamt 31 Stationen untersucht. Die Meteorologie und die Bildungsprozesse von Partikeln während PM10-Belastungsphasen sollten besser verstanden werden. Dabei ging es einerseits um Phasen mit erhöhten PM10-Tagesmittelwerten und andererseits um das Erfassen nachhaltiger Anstiege des PM10, welche zu solch erhöhten Tagesmitteln führen. Die Vorgänge, welche zu erhöhten PM10-Konzentrationen führen, sind mannigfaltig und komplex. Es wurden Parameter evaluiert, welche auf hohe PM10-Werte hinweisen. Damit sollten Grundlagen geschaffen werden, Prognosen bevorstehender PM10-Spitzenbelastungen und damit möglicherweise auch die Prävention zu verbessern.

Das Interesse galt Tagen mit überregionaler Überschreitung des PM10-Tagesmittelgrenzwertes von 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sogenannten 'PM10-Belastungstagen'. Sehr hohe oder länger andauernde PM10-Konzentrationen wurden während Phasen solcher Belastungstage erreicht. In den Winterhalbjahren 2001-2012 gab es in der Ost- und Zentralschweiz insgesamt 136 Belastungstage, durchschnittlich 2.5 Tage pro Belastungsphase. Am meisten solche Tage gab es im Januar und im Februar.

PM10-Belastungstage ereignen sich typischerweise in der Folge eines nachhaltigen Anstiegs der PM10-Konzentration, welcher nicht durch eine kurzzeitige Spitze verursacht wird, sondern einen verharrenden Charakter aufweist. Solche PM10-Anstiege kamen in den 11 Winterhalbjahren im Mittel bei deutlich unterdurchschnittlichen Temperaturen und markant höheren Häufigkeiten von Bodeninversionen im Vergleich zu Inversionslagen ohne starken PM10-Anstieg vor. Eine Rolle der Globalstrahlung im Sinne einer Auslösung oder wesentlichen Unterstützung von Anstiegsphasen konnte nicht erkannt werden.

In der zweiten Projektphase ging es darum, bessere Instrumente für eine Prognose von PM10-Belastungstagen bereitzustellen. Zur Entwicklung einer Strategie für die Verbesserung der Prognose von PM10-Belastungsphasen mussten zunächst die Entstehung und die Ausgestaltung von PM10-Belastungsphasen besser verstanden werden: PM10-Konzentrationen sind das Produkt eines Systems mannigfaltiger komplexer Prozesse, deren Parameter uns zum Teil direkt, zum Teil indirekt, zum Teil gar nicht zur Verfügung stehen. Hohe PM10-Konzentrationen können durch sehr unterschiedliches Zusammenwirken solcher Prozesse entstehen, an welchen die untersuchten Parameter in unterschiedlichem Masse beteiligt sind.

In Konsequenz zeigen die untersuchten Parameter teilweise deutlich veränderte Mittelwerte und Mediane im Vergleich zum Wintermittel für Belastungs- und Anstiegsphasen von PM10, aber in jedem Fall breite Streuungen. Auch bei Hinzunahme weiterer Messparameter würden sich die Streuungen systemimmanent nicht stark verringern. In weiterer Konsequenz ist es nicht möglich, die PM10-Konzentration z.B. des Folgetages 'präzise' vorauszusagen. Grundsätzlich ist es aber möglich, Wahrscheinlichkeiten des Auftretens bestimmter Konzentrationsbereiche zu schätzen, z.B. eine erhöhte Wahrscheinlichkeit bzw. eine stark erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Belastungsphase. Das bedeutet, sich auf eine probabilistische Prognose abzustützen, welche in dieser Form auch für meteorologische Parameter vorliegt.

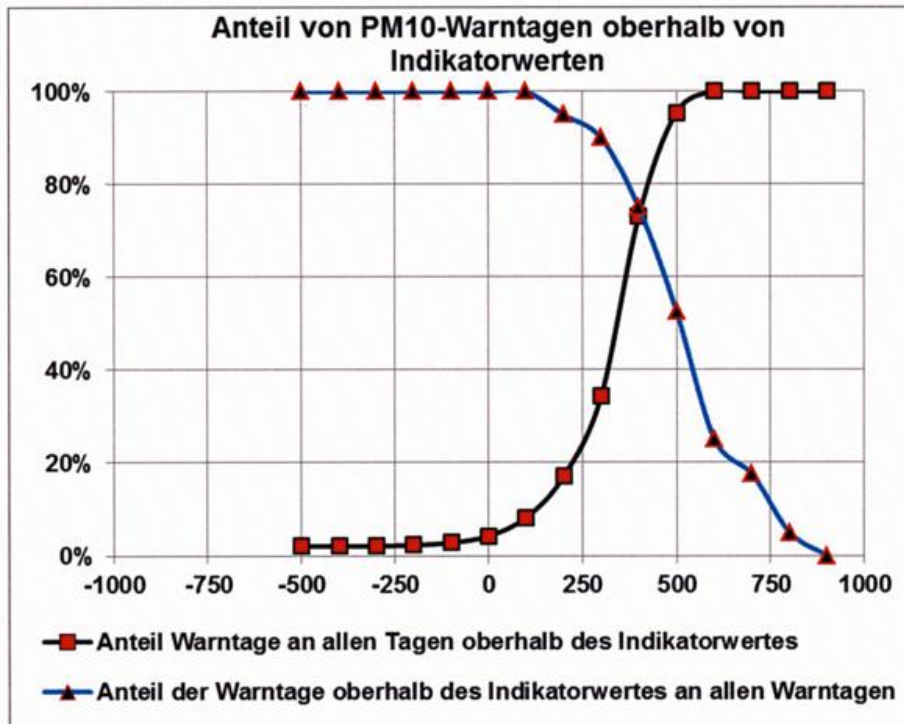
Im hier entwickelten Indikatormodell für hohe PM10-Konzentrationen wurden diejenigen Parameter (→ Indikatoren) herangezogen, deren Mittelwert in Anstiegsphasen und an Belastungstagen von PM10 sich deutlich vom Wintermittel unterscheidet. Diese Parameter sind:

- Ausgangswert der PM10-Konzentration
- NO<sub>2</sub>-Konzentration

- Temperatur
- Windgeschwindigkeit
- Inversionsparameter (Häufigkeit, Dynamik Untergrenze, Anteil Bodeninversion, Inversionsstärke)

Die  $\text{NO}_2$ -Konzentration ist ein wichtiger Parameter: Einerseits ist  $\text{NO}_2$  Nitratlieferant, andererseits ist es ein Indiz für den allgemeinen lufthygienischen Zustand der Atmosphäre. Meteorologie allein reicht nicht zur Erzeugung einer PM10-Belastungsphase.

Jedem dieser relevanten Parameter wird ein Indikatorwert zugeordnet, der die Differenz zum Wintermittel und die Standardabweichung des Wintermittels enthält. Der Gesamt-Indikator ist ein Mass für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines PM10-Belastungstages bzw. eines Tages mit PM10-Warnstufe (Tagesmittel  $\text{PM}_{10} > 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an zwei Stationen einer Region und danach Erwartung von mind. drei Tagen  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Mit diesem Indikator werden alle gegenwärtig erfassbaren Einflussparameter für erhöhte PM10-Werte in einer einzigen Zahl zusammengefasst. Dabei gibt es Überlappungsbereiche zwischen Belastungstagen, Warn-Tagen und übrigen Tagen. Wenn man von der Häufigkeit des bisherigen Auftretens auf die Wahrscheinlichkeit zukünftigen Auftretens schliessen will, muss man mit diesen Überlappungen umgehen. Dabei gerät man in ein für Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen typisches Dilemma, eine Art 'Unschärferelation': Je höher die Trefferwahrscheinlichkeit für einen prognostizierten Belastungstag ist, desto kleiner wird der Anteil der mit der Prognose erfassten Belastungstage. Die folgende Grafik für PM10-Warntage veranschaulicht dies.



**Anteil von PM10-Warntagen an allen Tagen bzw. an allen Warntagen oberhalb des entsprechenden Indikatorwertes. Lesebeispiele: Von allen Tagen mit einem Indikator  $> 400$  sind  $\frac{3}{4}$  Warntage; 55% aller Warntage weisen einen Indikator von  $> 500$  auf.**

Der Schweizer Wetterdienst MeteoSchweiz stellt im Winterhalbjahr regelmässig einen Inversionswetterbericht mit Prognosen für die nächsten Tage zur Verfügung. Diese Prognose wurde aufgrund der Ergebnisse dieser Studie modifiziert, um den zuständigen Behörden eine bessere Einschätzung der lufthygienischen Situation zu ermöglichen.





## Annalen der Meteorologie

- Nr. 46 Goethes weiteres Erbe : 200 Jahre Klimastation Jena (Beiträge des Jubiläumskolloquiums „200 Jahre Klimamessstation Jena“. 2013
- Nr. 45 125 Jahre Wetterstation Geisenheim 1884 - 2009 (Jubiläumsband mit Beiträgen aus der agrarmeteorologischen Forschung und Beratung). 2009
- Nr. 44 Programme & Extended Abstracts, 30th International Conference on Alpine Meteorology : 11 - 15 May 2009, Badnerhalle, Rastatt, Germany. 2009
- Nr. 43 125 Jahre Deutsche Meteorologische Gesellschaft : Festveranstaltung am 7. November 2008 in Hamburg. 2008
- Nr. 42 50 Jahre Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre durch den Deutschen Wetterdienst : Festveranstaltung am 8. - 9. Juni 2005, Langen, Deutschland. 2006
- Nr. 41 17th International Congress of Biometeorology - ICB 2005. 2005
- Nr. 40 SIRWEC 2004 - 12th International Road Weather Conference, Bingen. 2004, CD-ROM
- Nr. 39 4. Fachtagung BIOMET (19. - 20. April 1999 in München) des Fachausschusses BIOMET der DMG gemeinsam mit der Gesellschaft zur Förderung Medizin-Meteorologischer Forschung e. V. 1999
- Nr. 38 Herbstschule Radarmeteorologie 1998 vom 2. bis 6. November in Oberpfaffenhofen. 1998
- Nr. 37 Deutsche Meteorologen-Tagung vom 14. bis 18. September 1998 in Leipzig, Band 1 und 2. 1998

Gesamtliste der „Annalen der Meteorologie“ unter [www.dwd.de/bibliothek](http://www.dwd.de/bibliothek).



**Deutscher Wetterdienst**

Fachinformationsstelle und Deutsche Meteorologische Bibliothek  
Frankfurter Straße 135  
63067 Offenbach