

# WISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

aus dem Institut für Meteorologie der  
Universität Leipzig

BAND 49

METTOOLS\_VIII 20.03.2012 – 22.03.2012

an der Universität Leipzig

Eine Tagung des Fachausschusses Umweltmeteorologie

FAUMET

der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft DMG e.V.

Programm

Übersicht

Kurzbeiträge



A. Raabe (Hrsg.)

**METTOOLS\_VIII Tagungsband**

UNIVERSITÄT LEIPZIG



**DMG**

Deutsche Meteorologische Gesellschaft



**UNIVERSITÄT LEIPZIG**

Fachausschuss Umweltmeteorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft  
[http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/umet/umet\\_index.htm](http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/umet/umet_index.htm)  
c/o LIM Universität Leipzig Stephanstr. 3, 04103 Leipzig

## **METTOOLSVIII 20.-22.03.2012 Leipzig**

Der FA Umweltmeteorologie und das Institut für Meteorologie der Universität Leipzig führen im Zeitraum vom 20. – 22. März 2012 die 8. Fachtagung METTOOLS durch. Der Tagungsort ist der Campus der Universität Leipzig am Augustusplatz im Zentrum Leipzigs.

METTOOLS<sup>I</sup> und METTOOLS<sup>VII</sup> fanden in Hamburg statt (1990, 2009). Wie auch nach den METTOOLS in Hohenheim (1993), Freiburg (1997), Stuttgart (2000), Essen (2003) und Garmisch-Partenkirchen (2007) wurden auch auf der letzten METTOOLS die Themenfelder identifiziert, die auf dieser METTOOLS<sup>VIII</sup> ihren Niederschlag im Tagungsprogramm finden.

Die Themenkomplexe der METTOOLS VIII sind:

- Unsicherheit der Modellierung umweltmeteorologischer Größen
- Repräsentativität und Unsicherheit umweltrelevanter Daten aus Natur und Labor
- Energiemeteorologie – Energieertrag und Umweltauswirkungen erneuerbarer Energie
- Urbane und regionale Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel
- Klimatologie und Luftreinhaltung für die Stadt
- Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart und Zukunft

So wie als Ziel des Fachausschusses Umweltmeteorologie der DMG e.V. formuliert, stehen wieder grundlagen- und anwendungsbezogene Untersuchungen zu Phänomenen und Prozessen in der atmosphärischen Umwelt auf dem Tagungsprogramm die durch anthropogene Eingriffe bedingt sind. Deutlich wird, dass Aussagen und Reaktionen in diesem Zusammenhang nur unter Angabe festzustellender Unsicherheiten möglich sind.

Wie auch zu den vorangegangenen Tagungen soll die METTOOLS eine Plattform für Diskussionen über umweltrelevante Themen sein, an denen sich Vertreter aus wissenschaftlichen Einrichtungen, aus Behörden und Firmen beteiligen.

Das Leipziger Institut für Meteorologie (LIM), neben dem Fachausschuss für Umweltmeteorologie der DMG e.V. einer der Ausrichter dieser Fachtagung erlaubt es sich, die Unterlagen zu dieser Tagung als den Band 49 der Hauszeitschrift des LIM zu präsentieren.

**METTOOLS<sup>VIII</sup> Lokales Organisations-Komitee**  
A. Raabe

**Direktor LIM**  
M. Wendisch

## Aussteller / Sponsoren

GWU-Umwelttechnik



### **GWU-Umwelttechnik GmbH**

Bonner Ring 9  
D-50374 Erftstadt  
[www.gwu-group.de](http://www.gwu-group.de)



### **LEM Ingenieurbüro Last- und Energiemanagement**

Moschelesstr. 7  
D-04109 Leipzig  
[www.lem-software.com](http://www.lem-software.com)



### **METEK GmbH**

Fritz-Straßmann-Str. 4  
D-25337 Elmshorn  
[www.metek.de](http://www.metek.de)



### **UTK - EcoSens GmbH Zeitz**

Platanenweg 45  
D-06712 Zeitz  
[www.utk-ecosens.com](http://www.utk-ecosens.com)



### **Eigenbrodt GmbH & Co KG**

Baurat Wiese Straße 68  
21255 Königsmoor  
[www.eigenbrodt.de](http://www.eigenbrodt.de)



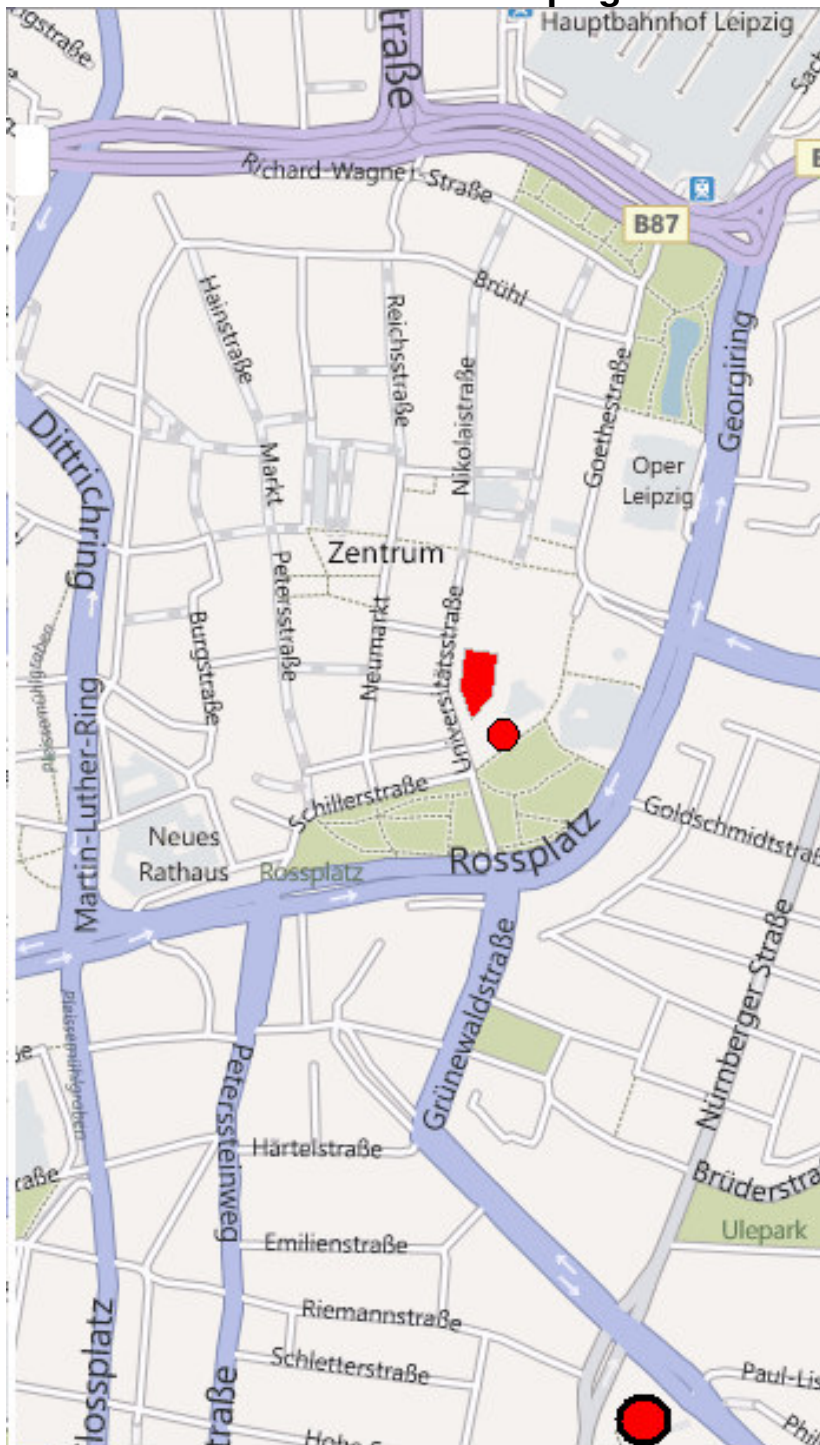
### **Verein Deutscher Ingenieure e.V.**


VDI-Platz 1  
40468 Düsseldorf  
[www.vdi.de](http://www.vdi.de)



METTOOLSVIII 20.-22.03.2012 Leipzig

### Die Universität im Zentrum Leipzigs:



 Univ. Hörsaalgeb.

 Moritzbastei

 Bayer. Bhf

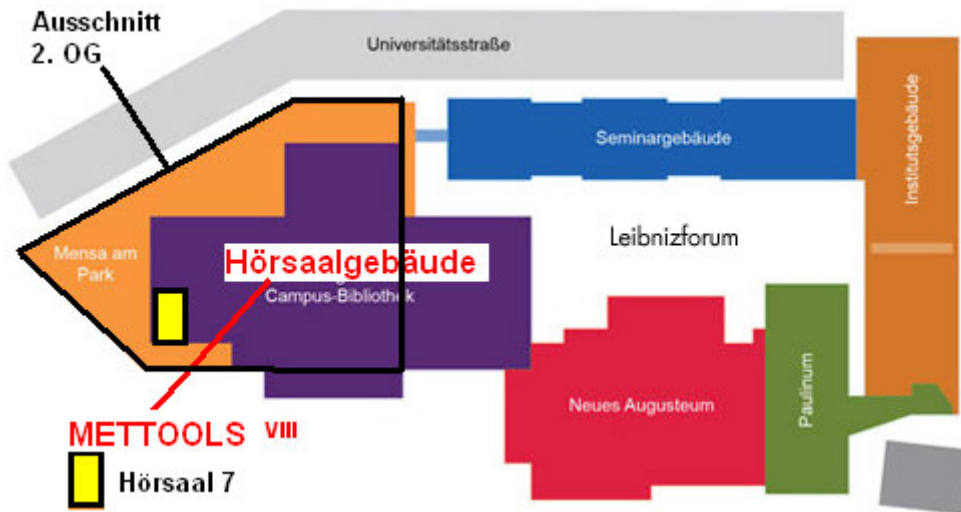
nach //www.leipzig-sachsen.de/leipzig-stadtplan



**METTOOLSVIII 20.-22.03.2012 Leipzig**

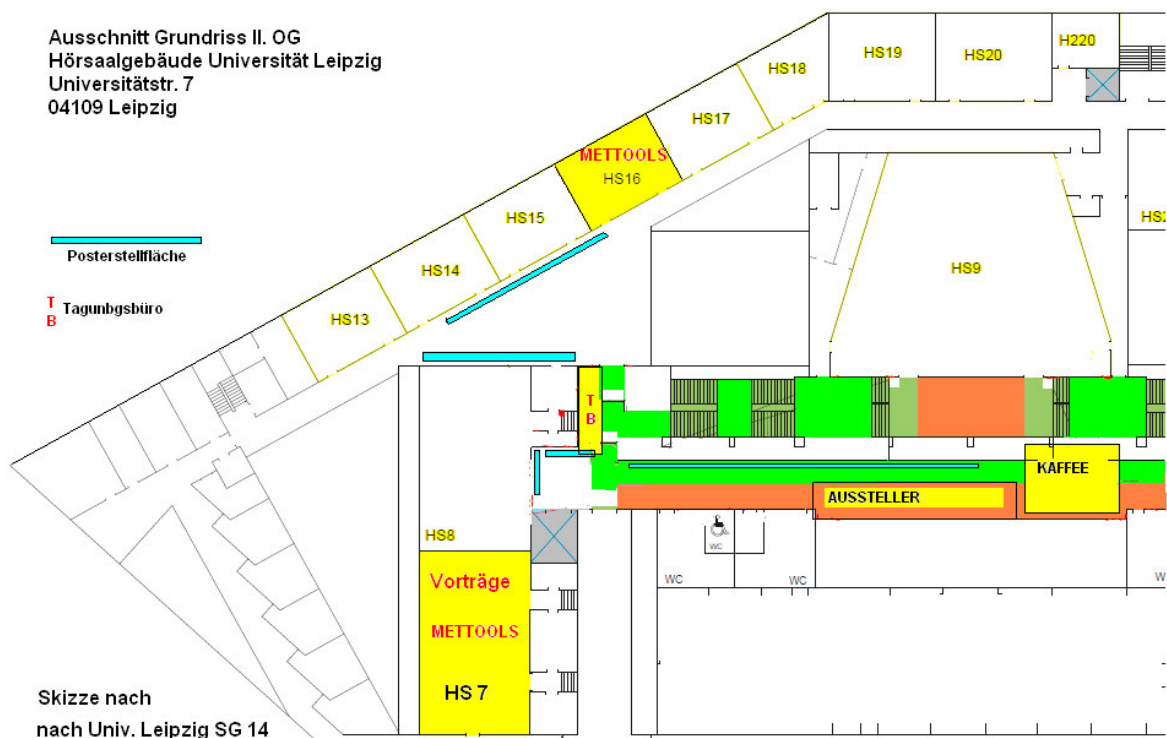
**Der Campus der Universität Leipzig**

[//www.zv.uni-leipzig.de/universitaet/profil/entwicklungen/baugeschehen/der-campus-in-der-uebersicht.html](http://www.zv.uni-leipzig.de/universitaet/profil/entwicklungen/baugeschehen/der-campus-in-der-uebersicht.html)



**Die Tagungsbereich im Hörsaalgebäude der Univ. Leipzig**

Ausschnitt Grundriss II. OG  
Hörsaalgebäude Universität Leipzig  
Universitätstr. 7  
04109 Leipzig



**METTOOLS\_VIII****Die. 20.03.2012 – Do. 22.03.2012 Campus der Universität Leipzig.****FA UMET DMG e.V.**Weitere Informationen: [//www.dmg-ev.de/fachausschuesse/umet/veranstaltungen.htm](http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/umet/veranstaltungen.htm)

<b>Dienstag, 20.03.12</b>		<b>Ort: Hörsaal 7 Hörsaalgebäude der Univ. Leipzig Universitätsstr. 7 (04109 Leipzig)</b>			
Zeit	Autoren		Mitautoren	Thema	
8:00	Anmeldung, Aufbau Poster (ganze Zeit)				
9:30	Beginn METTOOLS <sup>VIII</sup> , Begrüßung				
10:00	<b>Sitzungsleitung: J. Eichhorn, K.H. Schlünzen: Unsicherheit der Modellierung umweltmeteorologischer Größen</b>				
10:00	<b>1_Ü</b>	<b>K.Heinke Schlünzen</b>	<b>Meteorol. Inst. Univ. Hamburg</b>	<b>K. Conrady, M. Haller</b>	<b>Ergebnisbandbreiten mesoskaliger atmosphärischer Modelle</b>
10:20	1_V_1	Heinz-Theo Mengelkamp	Anemos GmbH	A. Pätzold	Eignen sich Produktionsdaten von Windkraftanlagen zur Verifizierung von Windfeldsimulationen ?
10:35	1_V_2	Christoph Bergemann	DLR	J.. Meyer-Arneke, F. Baier	Estimation and causes of uncertainty of air quality forecasts in the Blackforest region
10:50	1_V_3	Matthias Rau	IB Rau	K. Bigalke, T. zur Heiden, C. Lutz-Holzauer, D. Ahrens	Synthetische, repräsentative Ausbreitungsklassenzeitreihen
11:05	1_V_4	Joachim Namyslo	DWD		Berechnung der Monin-Obukhov-Länge auf Basis meteorologischer Routinemessdaten
11:20	1_V_5	Bernd Leitl	Meteorol. Inst. Univ. Hamburg	D.Hertwig, F.Harms, M.Schatzmann, G.Patnaik, J. Boris	LES-basierte Störfallmodellierung in komplexen Stadtgeometrien
11:35	1_V_6	Marcus Letzel	IB Lohmeyer	D. Hertwig, S. Raasch, B. Leitl, G. Patnaik	Einsatz des LES-Modells PALM in der Praxis - Vergleich mit Windkanalmessungen in der Hamburger Innenstadt
11:50	Diskussion				
12:10	MITTAG				
13:30	<b>Sitzungsleitung: H.T. Mengelkamp, A. Raabe, F. Beyrich: Repräsentativität und Unsicherheit umweltrelev. Daten aus Natur u. Labor</b>				
13:30	<b>2_Ü</b>	<b>Werner-Jürgen Kost</b>	<b>iMA Richter &amp; Röckle</b>	<b>J. Nielinger, M. Hasel</b>	<b>Zur Repräsentativität meteorologischer Daten in einem Untersuchungsgebiet</b>
13:50	2_V_1	Wolfgang Theurer	IB Theurer		Modellierung umweltmeteorologischer Fragestellungen im Windkanal – noch aktuell?
14:05	2_V_2	Marcus Letzel	IB Lohmeyer	T. Flassak, D. Angel	Kopplung der Modelle MISKAM und AUSTAL2000 und Vergleich der Ergebnisse mit Windkanalmessungen am Anwendungsfall eines U-förmigen Gebäudes
14:20	2_V_3	Frank Beyrich	DWD MOL	J.-P. Leps	An operational mixing height data set of routine radiosoundings at Lindenberg
14:35	2_V_4	Norman Wildmann	Univ. Tübingen	J. Bange	Uncertainties in the measurement of temperature, humidity and pressure using small Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)
14:50	Diskussion				

<b>Dienstag, 20.03.12</b>		<b>METTOOLS_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)</b>		<b>FA UMET DMG e.V.</b>	
<b>15:05 KAFFEE POSTER-Rundgang</b>					
<b>Posterpräsentation 1Min/Poster vor Ort:</b>					
1_P_1	Markus Hasel	iMA Richter & Röckle	W.-J. Kost, J. Nielinger	Visualisierung von METRAS-PCL-Ergebnissen	
1_P_2	Roman Friedel	RSC GmbH	M.Limacher	Vergleich von vorhergesagten und gemessenen vertikalen Windprofilen in komplexer Topografie	
1_P_3	Elisabeth Stütz	ForWind Univ. Oldenburg	G. Steinfeld, D. Heinemann, J. Peinke	Parametrisierung von Windparks in COSMO_LM	
1_P_4	Stefan Horn	IfT Leipzig		Modellierung komplexer meteorologischer Strömungen mittels Grafikkarten – das Modell ASAMgpu	
1_P_5	Michael Wilsdorf	LIM Univ. Leipzig	A. Bischoff, A. Ziemann, A. Raabe	Ersetzbarkeit von Radiosondendaten durch Modelldaten – Ein Verfahren	
2_P_1	Manuela Barth	LIM Univ. Leipzig	G. Fischer, A. Raabe, A. Ziemann, F. Kaiser	Fernerkundung von Temperatur und Wind mit akustischen Laufzeitmessungen	
2_P_2	Gabriele Rau	ZAMG	Ch. Lotteraner, A. Kaiser	Vergleich von gemessenen und modellierten Mischungshöhen	
2_P_3	Germar Walter	Univ. Tübingen	J. Bange	Digitale Geländemodelle aus Luftbildern aufgenommen aus UAV	
2_P_4	Susanne Strauss	RSC GmbH	D. Pfab	Wie weit können Windprofile von einem Windkraftstandort zum nächsten übertragen werden?	
2_P_5	Dorle Nörenberg	TÜV Rheinland	P. Wilbring, H. Kretz	Ausbreitungsrechnung in gegliedertem Gelände unter Berücksichtigung von komplexer Bebauung; ein Beispiel	
<b>16:00</b>	<b>Sitzungsleitung: Astrid Ziemann, P. Suppan: Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart und Zukunft</b>				
16:00	6_Ü_1	<b>Dietrich Heimann</b>	<b>DLR</b>	<b>Luft- und Lärmbelastung - zwei Umweltprobleme mit meteorologischem Bezug</b>	
16:20	6_Ü_2	<b>Alfred Trukenmüller</b>	<b>UBA Dessau</b>	<b>J. Appelhans</b>	<b>Wie sauber ist die Luft heute? Wie sauber wird sie in der Zukunft?</b>
16:40	6_V_1	Uwe Kaminski	DWD/ZMMF	M. Fricker, V. Dietze	Das PM2.5 Feinstaub Hintergrund-Messnetz des Deutschen Wetterdienstes – Erste Ergebnisse
16:55	6_V_2	Klaus Kordowski	TU Braunschweig	A. Rieks, St. Weber	Partikelflussmessungen zur Untersuchung von Deposition/Emission an einem suburbanen Standort
17:10	6_V_3	Volker Diegmann	IVU Umwelt GmbH	U. Friedrich, G. Gässler, L. Neunhäuserer, R. Stern	Landesweite Bestimmung des Verkehrseinflusses auf die Luftqualität im Land Brandenburg
17:25	6_V_4	Uwe Schlink	UFZ Leipzig	St.Röder,S.Takacs,I.Kohajda,U.Franck,A.Thiem,C.Rösch,I.Lehmann	Volatile Organic Compounds in the indoor air of occupied apartments
17:40	5_V_5	Andreas Matzarakis	Meteorol. Inst. Freiburg		RayMan and SkyHelios Models - Two Tools for Urban Climatology
17:55	Diskussion				

Dienstag, 20.03.12		METTOOLS_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)		FA UMET DMG e.V.
18:10 <b>POSTER-Rundgang</b>				
<b>Posterpräsentation 1Min/Poster vor Ort:</b>				
6_P_1	Gabi Fischer	LIM Univ. Leipzig	U. Schlink, A. Ziemann	Modellierung der wetterabhängigen kombinierten Lärm- und Luftschadstoffbelastung in Leipzig"
6_P_2	Armin Raabe	LIM Univ. Leipzig	M. Wilsdorf, H.-J. Belitz, A. Ziemann	Untersuchungen zur Schalldämpfung in Abhängigkeit von den meteorologischen Umgebungsbedingungen – ein klimatologischer Ansatz
6_P_3	Carolin Rösch	UFZ Leipzig	U. Schlink, St. Röder, T. Kohajda, U. Franck, A. Thiem, I. Lehmann	VOC-Muster in Leipziger Innenräumen
6_P_4	Wolfram Birmili	IfT Leipzig	weitere 17Autoren	Verbessertes Prozessverständnis für atmosphärische Aerosole: Das Messnetz für ultrafeine atmosphärische Partikel (GUAN)
6_P_5	Wolfram Birmili	IfT Leipzig	J. Rehn, Ch. Boelke, A. Vogel, K. Weber, A. Sonntag, F. Rasch, K. Weinhold, A. Wiedensohler, U. Franck, F. Schneider	Raum-zeitlich hochaufgelöste Sondierung ultrafeine Partikel in der städtischen Rauigkeitsschicht von Leipzig
6_P_6	Clemens v. Bismarck-Osten	TU Braunschweig	St. Weber	Analyse und Vorhersage charakteristischer Partikelanzahl-Größenverteilungen in Abhängigkeit meteorologischer und anthropogener Einflussfaktoren.
6_P_7	Malte Julian Deventer	Univ. Münster	F. Griessbaum, O. Klemm	Highly size-resolved flux measurement of sub-micron particles over an urban area
6_P_8	Volker Matthias	Helmholtz-Zentrum Geesthacht	J. Bieser, A. Aulinger, M. Quante	Reduction of ship emissions and their effect on air quality in the North Sea area
6_P_9	Michael Jähn	IfT Leipzig	B. Sändig, R. Wolke, E. Renner	Ermittlung der Quellen von Gerüchen und hohen Schadstoffkonzentrationen im Erzgebirge über die Modellierung der Luftmassenbahnen
19:00 ICE-BREAKER		<b>Moritzbastei</b>		



Mittwoch, 21.03.2012		METTOOLS_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)			FA UMET DMG e.V.
Zeit		Autoren		Mitautoren	Thema
<b>8:15</b>	<b>Sitzungsleitung: Astrid Ziemann, P. Suppan: Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart und Zukunft</b>				
8:15	6_V_5	Gabi Fischer	LIM Univ. Leipzig	A. Ziemann	Numerische Untersuchungen zum meteorologischen Einfluss auf die Lärmausbreitung im urbanen Umfeld"
8:30	6_V_6	Astrid Ziemann	TU Dresden	M. Hehn, M. Barth	Messung und Modellierung meteorologischer Effekte auf die Schallausbreitung im Tharandter Wald
8:45	6_V_7	Ingo Düring	IB Lohmeyer GmbH & Co. KG	U.Friedrich,M.Ketzel,F.Dünnebeil,H.Ellner,T.Schönefeld	Tendenzen der NO2-Belastung im Land Brandenburg von 1997 bis 2020
9:00	6_V_8	Peter Suppan	IMK-IFU am KIT		Verkehrsszenarienentwicklung und Auswirkung auf die Luftqualität im Großraum in Santiago de Chile
9:15	6_V_9	Helmut Lorentz	IB Lohmeyer	I. Düring, U. Wolf, W. Schmidt	Analysen und Prognosen der Luftschadstoffsituation mit IMMIKART GIS am Beispiel PM2.5 in Sachsen
9:30	6_V_10	Jost Nielinger	iMA Richter & Röckle	H. Göttel, W.-J. Kost, M. Hasel	Immissionsprognose unter geänderten Klimabedingungen
9:45	Diskussion				
10:00	KAFFEE <b>Präsentation Aussteller</b>				
<b>10:30</b>	<b>Sitzungsleitung: St. Emeis, D. Heinemann: Energiemeteorologie – Energieertrag und Umweltauswirkungen erneuerbarer Energie</b>				
10:30	3_Ü	Lueder v. Bremen	ForWind Univ. Oldenburg	J. Tambke, N. Stoffels, D. Heinemann	<b>Studying spatio-temporal Smoothing of Wind Power Variability and Forecast Errors in Europe</b>
10:50	3_V_1	Taalke Ockenga	Fluid & Energy Engin. GmbH	T. Hahm, St. Wussow, F. Ament, I. Lange	Bestimmung der langjährigen Turbulenzintensität aus Messdaten für die Planung von Windenergieanlagen
11:05	3_V_2	Thomas Foken	Univ. Bayreuth		Nutzung von Footprint-Modellen zur Standortbestimmung von Windkraftanlagen
11:20	3_V_3	Ludwig Wagner	GWU-Umwelttechnik GmbH	C. Schmitt, M.Boquet	Windprofilmessungen im komplexen Gelände mit einem Doppler Wind LiDAR System und Implementierung der Daten in ein CFD Modell
11:35	3_V_4	Stefan Emeis	IMK-IFU am KIT	R. Foreman	Verbesserungen der Turbulenzparametrisierung in mesoskaligen Windfeldmodellen, (Richard Foreman und Stefan Emeis)
11:50	3_V_5	Marion Schroedter-Homscheidt	DLR	A. Oumbe	Quantification of aerosol requirements for forecasts of electricity production by concentrating solar systems
12:05	Diskussion				

12:20 MITTAG

<b>Mittwoch, 21.03.2012</b>		<b>METTOOLS_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)</b>			<b>FA UMET DMG e.V.</b>
<b>13:30</b>	<b>Sitzungsleitung: St. Emeis, D. Heinemann: Energiemeteorologie – Energieertrag und Umweltauswirkungen erneuerbarer Energie</b>				
13:30	3_V_6	Constantin Junk	ForWind Univ. Oldenburg	L. v. Bremen, D. Heinemann	Assessment of probabilistic wind power forecast for wind farms in Northern Ireland
13:45	3_V_7	Marita Linde	Meteorol. Inst. Univ. Hamburg	P. Hoffmann, H.-J. Lenhart, K. H. Schlünzen	Beeinflussen Windparks in der deutschen Nordsee das Klima im norddeutschen Raum?
14:00	3_V_8	Björn Witha	ForWind Univ. Oldenburg	G. Steinfeld, D. Heinemann	Hochaufgelöste Simulationen des Nachlaufs von Offshore-Windenergieanlagen mit dem LES-Modell PALM
14:15	3_V_9	Saskia Hagemann	Fraunhofer IWES	D. Callies, T. Klaas	Utilisation of Inland Wind Power - Wind and turbulence profiles over complex forested terrain: First results of 200 m mast measurements
14:30	3_V_10	Janek Zimmer	LEM IB Leipzig	A. Raabe, T. Lemberg, R. Bennett	EEG-Einspeiseprognosen – Voraussetzung für Netzsicherheit und Direktvermarktung
14:45	Diskussion				
15:00	KAFFEE <b>POSTER-Rundgang</b>				
<b>Posterpräsentation 1Min/Poster vor Ort:</b>					
	3_P_2	Carolin Schmitt	juwi Wind GmbH	C. Meissner	Auswirkungen von atmosphärischer Stabilität auf Windertragsanalysen in CFD Simulationen
	3_P_3	Stefan Emeis	IMK-IFU am KIT		Klimatologie von MLH, cross-over height und low-level jet aus bodengestützten Fernerkundungsdaten
	3_P_4	Rene Viertel	Terrawatt Plan.ges. mbH	T. Frisch	Wind- und Solarstrom – Energieerträge und Umweltwirkungen
	3_P_5	Nicole Stoffels	ForWind Univ. Oldenburg	L. v. Bremen, D. Heinemann	A Metric to define favourable places for wind farms in terms of wind power grid integration
	3_P_6	Hugues Ambroise	ForWind Univ. Oldenburg	G. Steinfeld, D. Heinemann, J.-J. Trujillo, M. Kühn	Evaluation of the impact of atmospheric conditions on wind turbine wake model by using Alpha Ventus wind farm data
	3_P_7	David Hilbert	TU Hamburg-Harburg,	T. Blodau, D. Grawe	Forest Parameterization at Complex Wind Park Sites
	3_P_8	Martin Dörenkämper	ForWind Univ. Oldenburg	J. Tambke	Influence of marine boundary layer characteristics on power curves of Multi-Mega Watt wind turbines
	3_P_9	Lueder von Bremen	ForWind Univ. Oldenburg	C. Junk, D. Heinemann	Advances in probabilistic Wind Power Forecasting using ECMWF's 100m EPS winds
	4_P_1	Hyunjung Lee	Meteorol. Inst. Freiburg	H. Mayer	Mittlere Strahlungstemperatur - die dominierende meteorologische Variable in der human-biometeorologischen Bewertung von Hitze in urbanen Räumen in Mitteleuropa
	4_P_2	Sebastian Schubert	PIK	S. Grossman-Clarke	Der Einfluss von Grünflächen und Gebäudecharakteristika auf die Lufttemperatur während Hitzeperioden in Berlin
	4_P_4	Majana Heidenreich	TU Dresden	Ch. Bernhofer	Klimaprojektionen für die Region Dresden - räumliche Variabilität von Temperatur und Niederschlag

Mittwoch, 21.03.2012

METTOOLS\_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)

FA UMET DMG e.V.

16:00	<b>Sitzungsleitung: P. Becker, Ch. Bernhofer, P. Mahrenholz: Urbane und regionale Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel</b>			
16:00	4_Ü_1	Petra Mahrenholz	UBA Dessau	Von der Rahmensetzung des Bundes in der Deutsche Anpassungsstrategie zur Anpassung an den Klimawandel in Regionen
16:20	4_Ü_2	Jürgen Baumüller	Univ. Stuttgart	N. Baumüller Anpassungsstrategien an den Klimawandel in deutschen Städten - ein Überblick
16:40	4_V_2	Christian Bernhofer	TU Dresden	M.Heidenreich,J.Franke,K.Riedel,St.Hänsel,J.Matschullat,N.Feske,M.FoItyn,A. Bobeth Klimaanalyse und Klimaprojektion auf Landschaftsebene - Erfahrungen aus dem KLIMZUG-Projekt REGKLAM
16:55	4_V_3	Robert Schoetter	Meteorol. Inst. Univ. Hamburg	P. Hoffmann, D. Grawe, K. H. Schlünzen Können lokale Anpassungsmaßnahmen die regionale Klimaerwärmung zumindest gefühlt kompensieren?
17:10	4_V_4	Valeri Goldberg	TU Dresden	C. Kurbjuhn, Ch. Bernhofer Einfluss stadtplanerischer Konzepte auf das Mikroklima des Dresdner Stadtteils Friedrichstadt.
17:25	4_V_5	Friso Kipsch	Meteorol. Inst. Univ. Hamburg	B. Leidl, F. Harms, S. Werk Einfluss der innerstädtischen Bebauung im Hinblick auf die Stadtdurchlüftung
17:40	4_V_6	Christina Koppe	DWD	J. Pfafferott Zusammenhang zwischen thermischer Belastung im Freien und in Innenräumen
17:55	Diskussion			
18:10	<b>POSTER -Rundgang</b>			
<b>Posterpräsentation 1Min/Poster vor Ort:</b>				
	5_P_1	Astrid Snowdon	Regionalverband Ruhr, Essen	Nachweis der Wirkungen von baumbestandenen Straßen auf das Mikroklima
	5_P_2	Alexander Thiem	UFZ Leipzig	U.Schlink,B.Wehtner,A.Peters,S.Breitner,J.Cyrus,X.-Ch.Pan,C.Rösch,M.Richter,U.Franck Mustererkennung zur Quantifizierung der Reduktion der Partikelbelastung in Peking während der Olympischen Spiele 2008
	5_P_3	Claudia Weitnauer	Univ. Augsburg, Inst. f. Geogr.	Ch. Beck, J. Jacobeit Lokale PM10-Konzentrationen in Augsburg und ihr Zusammenhang mit großskaligen Zirkulationstypen
	5_P_4	Andreas Matzarakis	Meteorol. Inst. Freiburg	D. Fröhlich Modeling of changes in human thermal bioclimate resulting from changes in urban design. - Example based on a popular place in Freiburg, SW-Germany
	5_P_5	Christian Büns	Univ. Duisburg-Essen	W. Kuttler Wegstreckenintegrierende CO2-Messungen in Essen, NRW
	5_P_6	Stefan Emeis	IMK-IFU am KIT	K.Schäfer,M.Höb,R.Friedl,C.Münkel,S.Schrader,M.Hoffmann,C.Jahn,J.Jacobeit,J.Cyrus,M.Pitz, P.Suppan Einflüsse der Mischungsschichthöhe und des Windes auf die Partikelgrößenverteilung im Stadtgebiet von Augsburg

5_P_7	Susann Heise	Meteorol. Insti. Univ. Hamburg	B. Leidl, F. Harms	Untersuchungen zur Nahfeldausbreitung von Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen
5_P_9	Sarah Sandoval	Meteorol. Insti. Univ. Hamburg	A. Eschenbach, F. Ament	Erfassung des Einflusses von Feuchte- und Energieflüssen städtischer Böden auf das lokale Klima
5_P_10	Fabian Rasch	IfT Leipzig	W. Birmili, A. Sonntag, K. Weinhold, St. Nordmann, G. Löschau, A. Wiedensohler	Umweltzone Leipzig – Was bringt sie wirklich? – Ein erster Blick
5_P_11	Kristina Trusilova	DWD	S. Brienen, B. Früh, A. Walter	Urban parameterization in COSMO-CLM
5_P_12	Ulrich Franck	UFZ, Leipzig	M. Krüger, N. Schwarz, K. Großmann, I. Lehmann, <u>St. Röder</u> , U. Schlink	Heat stress in urban areas: Indoor and outdoor temperatures in different types of housing areas in the city of Leipzig and subjectively reported well-being
19:30	Abendessen Bayerischer Bhf.			
22:00	Ende	<b>Bayerischer Bahnhof</b>		

Donnerstag, 22.03.2012

METTOOLS\_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)

FA UMET DMG e.V.

Zeit		Autoren		Mitautoren	Thema
8:30	<b>Sitzungsleitung: P. Mahrenholz, P. Becker, Ch. Bernhofer: Urbane und regionale Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel</b>				
8:30	4_V_7	Nicole Müller	Univ. Duisburg-Essen	W. Kuttler	Bewertung von Minderungsmaßnahmen zur Reduktion von Hitzestress vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels
8:45	4_V_8	Nicole Baumüller	Univ. Stuttgart		Kommunale Klimaanpassung in der Praxis- Fragen aus der Stadtplanung an die Stadtklimatologie
9:00	4_V_9	Lutz Katzschner	Univ. Kassel		Zur Wahrnehmung der Stadtklimatologie in Planungsprozessen
9:15	4_V_10	Johannes Nikolowski	Leibniz Inst. f. Ökol. Raumentwicklung, Dresden	J. Zimm, Th. Naumann	Verletzbarkeit und Anpassungsmöglichkeiten von Gebäuden und Baukonstruktionen an die Folgen des Klimawandels am Beispiel der Modellregion Dresden
9:30	Diskussion				
9:50	KAFFEE				

Donnerstag, 22.03.2012

METTOOLS\_VIII (Univ. Leipzig, 20.03.-22.03.2012)

FA UMET DMG e.V.

10:20 Sitzungsleitung: W. Kuttler, U. Teichmann, U. Reuter: Klimatologie und Luftreinhaltung für die Stadt					
10:20	5_Ü	Ulrich Reuter	Amt für Umweltschutz, Stuttgart	R. Kapp	Gute Luftqualität in Großstädten: Utopie oder Realität?
10:40	5_V_1	Uwe Wienert	DWD	F. Kreienkamp, A. Spekat, W. Enke	Eine einfache Methode zur Abschätzung des urbanen Wärmeinseleffekts in Datensätzen zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden
10:55	5_V_3	Anja Goldbach	Univ. Duisburg-Essen	W. Kuttler	Einfluss der Evapotranspiration auf den thermischen Komfort in Stadtgebieten
11:10	5_V_4	Guido Halbig	DWD	T. Deutschländer	Anpassungsmaßnahmen für die Stadt Köln auf der Grundlage von Niederschlags-Projektionsdaten und Extremwertstatistiken
11:25	5_V_6	Antje Moldenhauer	IB Lohmeyer GmbH & Co. KG	H. Lorentz, I. Düring, P. Fleischer	Bereitstellung von Kaltluftinformationen für Ausbreitungsrechnungen
11:40	5_V_7	Dirk Schindler	Meteorol. Inst. Freiburg	H. Mayer	Muster von Ruß-Zeitreihen in Baden-Württemberg
11:55	5_V_8	Patrick Wagner	Univ. Duisburg-Essen	W. Kuttler	Biogene Kohlenwasserstoffe und ihr Einfluss auf die sommerliche Ozonbildung im urbanen Raum
12:10	5_V_9	Wolfram Birmili	IfT Leipzig	L. Tomsche, A. Sonntag, C. Opelt, K. Weinhold, St. Nordmann, B. Heese, U. Franck	Quellen und Verteilung ultrafeiner Partikel im Ballungsraum Dresden: Effekte von Standort und Wetterlage
12:25 Diskussion					
12:45 Abschlussdiskussion					
13:00 TAGUNGSENDE					
Abbau Aussteller /POSTER					

## Tagungsbeiträge

<b>K.Heinke Schlünzen, K. Conrady, M. Haller</b> Ergebnisbandbreiten mesoskaliger atmosphärischer Modelle	1
<b>Heinz-Theo Mengelkamp, A. Pätzold</b> Eignen sich Produktionsdaten von Windkraftanlagen zur Verifizierung von Windfeldsimulationen ?	2
<b>Christoph Bergemann, J. Meyer-Arne, F. Baier</b> Estimation and causes of uncertainty of air quality forecasts in the Blackforest region	3
<b>Matthias Rau, K. Bigalke, T. zur Heiden, Ch. Lutz-Holzauer, D. Ahrens</b> Synthetische, repräsentative Ausbreitungsklassenzeitreihen	4
<b>Joachim Namyslo</b> Berechnung der Monin-Obukhov-Länge auf Basis meteorologischer Routinemessdaten	6
<b>Bernd Leitl, D. Hertwig, F. Harms, M. Schatzmann, G. Patnaik, J. Boris</b> LES-basierte Störfallmodellierung in komplexen Stadtgeometrien	8
<b>Marcus Letzel, D. Hertwig, S. Raasch, B. Leitl, G. Patnaik</b> Einsatz des LES-Modells PALM in der Praxis - Vergleich mit Windkanalmessungen in der Hamburger Innenstadt	10
<b>Markus Hasel, W.-J. Kost, J. Nielinger</b> Visualisierung von METRAS-PCL-Ergebnissen	12
<b>Roman Friedel, M.Limacher</b> Vergleich von vorhergesagten und gemessenen vertikalen Windprofilen in komplexer Topografie	14
<b>Elisabeth Stütz, G. Steinfeld, D. Heinemann, J. Peinke</b> Parametrisierung von Windparks in COSMO_LM	15
<b>Stefan Horn</b> Modellierung komplexer meteorologischer Strömungen mittels Grafikkarten – das Modell ASAMgpu	16
<b>Michael Wilsdorf, A. Bischoff, A. Ziemann, A. Raabe</b> Ersetzbarkeit von Radiosondendaten durch Modelldaten – Ein Verfahren	18

<b>Werner-Jürgen Kost, J. Nielinger, M. Hasel</b>	
Zur Repräsentativität meteorologischer Daten in einem Untersuchungsgebiet	19
<b>Wolfgang Theurer</b>	
Modellierung umweltmeteorologischer Fragestellungen im Windkanal – noch aktuell?	20
<b>Marcus Letzel, T. Flassak, D. Angel</b>	
Kopplung der Modelle MISKAM und AUSTAL2000 und Vergleich der Ergebnisse mit Windkanalmessungen am Anwendungsfall eines U-förmigen Gebäudes	22
<b>Frank Beyrich, J.-P. Leps</b>	
An operational mixing height data set of routine radiosoundings at Lindenberg	23
<b>Norman Wildmann, J. Bange</b>	
Uncertainties in the measurement of temperature, humidity and pressure using small Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)	24
<b>Manuela Barth, G. Fischer, A. Raabe, A. Ziemann, F. Kaiser</b>	
Fernerkundung von Temperatur und Wind mit akustischen Laufzeitmessungen	26
<b>Gabriele Rau, Ch. Lotteraner, A. Kaiser</b>	
Vergleich von gemessenen und modellierten Mischungshöhen	27
<b>Germar Walter, J. Bange</b>	
Digitale Geländemodelle aus Luftbildern aufgenommen aus UAV	29
<b>Susanne Strauss, D. Pfab</b>	
Wie weit können Windprofile von einem Windkraftstandort zum nächsten übertragen werden?	30
<b>Dietrich Heimann</b>	
Luft- und Lärmbelastung - zwei Umweltprobleme mit meteorologischem Bezug	31
<b>Alfred Trukenmüller, J. Appelhans</b>	
Wie sauber ist die Luft heute? Wie sauber wird sie in der Zukunft?	32
<b>Uwe Kaminski, M. Fricker, V. Dietze</b>	
Das PM <sub>2.5</sub> Feinstaub Hintergrund-Messnetz des Deutschen Wetterdienstes – Erste Ergebnisse	33
<b>Klaus Kordowski, A. Rieks, St. Weber</b>	
Partikelflussmessungen zur Untersuchung von Deposition/Emission an einem suburbanen Standort	34

<b>Volker Diegmann, U. Friedrich, G. Gässler, L. Neunhäuserer, R. Stern</b> Landesweite Bestimmung des Verkehrseinflusses auf die Luftqualität im Land Brandenburg	35
<b>Uwe Schlink, St. Röder, S. Takacs, T. Kohajda, U. Franck, A. Thiem, C. Rösch, I. Lehmann</b> Volatile Organic Compounds in the indoor air of occupied apartments	37
<b>Gabi Fischer, A. Ziemann</b> Numerische Untersuchungen zum meteorologischen Einfluss auf die Lärmausbreitung im urbanen Umfeld	39
<b>Astrid Ziemann, M. Hehn, M. Barth</b> Messung und Modellierung meteorologischer Effekte auf die Schallausbreitung im Tharandter Wald	40
<b>Ingo Düring, U. Friedrich, M. Ketzler, F. Dünnebeil, H. Ellner, T. Schönefeld</b> Tendenzen der NO <sub>2</sub> -Belastung im Land Brandenburg von 1997 bis 2020	41
<b>Peter Suppan</b> Verkehrsszenarienentwicklung und Auswirkung auf die Luftqualität im Großraum in Santiago de Chile	43
<b>Helmut Lorentz, I. Düring, U. Wolf, W. Schmidt</b> Analysen und Prognosen der Luftschadstoffsituation mit IMMIKART GIS am Beispiel PM <sub>2.5</sub> in Sachsen	44
<b>Jost Nielinger, H. Göttel, W.-J. Kost, M. Hasel</b> Immissionsprognose unter geänderten Klimabedingungen	46
<b>Gabi Fischer, U. Schlink, A. Ziemann</b> Modellierung der wetterabhängigen kombinierten Lärm- und Luftschadstoffbelastung in Leipzig	47
<b>Armin Raabe, M. Wilsdorf, H.-J. Belitz, A. Ziemann</b> Untersuchungen zur Schalldämpfung in Abhängigkeit von den meteorologischen Umgebungsbedingungen – ein klimatologischer Ansatz	49
<b>Carolin Rösch, U. Schlink, St. Röder, T. Kohajda, U. Franck, A. Thiem, I. Lehmann</b> VOC-Muster in Leipziger Innenräumen	50



- Wolfram Birmili, K. Weinhold, S. Nordmann, F. Rasch, A. Wiedensohler, G. Spindler, T. Gnauk, H. Herrmann, M. Pitz, J. Cyrus, H. Flentje, C. Nickel, T.A. J. Kuhlbusch, G. Löschau, A. Schwerin, F. Meinhardt, L. Ries, K. Wirtz**  
Verbessertes Prozessverständnis für atmosphärische Aerosole: Das Messnetz für ultrafeine atmosphärische Partikel (GUAN) 52
- Wolfram Birmili, J. Rehn, Ch. Boelke, A. Vogel, K. Weber, A. Sonntag, F. Rasch, K. Weinhold, A. Wiedensohler, U. Franck, F. Schneider**  
Raum-zeitlich hochaufgelöste Sondierung ultrafeine Partikel in der städtischen Rauigkeitsschicht von Leipzig 53
- Clemens von Bismarck-Osten, St. Weber**  
Analyse und Vorhersage charakteristischer Partikelanzahl- Größenverteilungen in Abhängigkeit meteorologischer und anthropogener Einflussfaktoren 54
- Malte Julian Deventer, F. Griessbaum, O. Klemm**  
Highly size-resolved flux measurement of sub-micron particles over an urban area 55
- Volker Matthias, J. Bieser, A. Aulinger, M. Quante**  
Reduction of ship emissions and their effect on air quality in the North Sea area 57
- Michael Jähn, B. Sändig, R. Wolke, E. Renner**  
Ermittlung der Quellen von Gerüchen und hohen Schadstoffkonzentrationen im Erzgebirge über die Modellierung der Luftmassenbahnen 59
- Lueder von Bremen, J. Tambke, N. Stoffels, D. Heinemann**  
Studying spatio-temporal Smoothing of Wind Power Variability and Forecast Errors in Europe 60
- Taalke Ockenga, T. Hahm, St. Wussow, F. Ament, I. Lange**  
Bestimmung der langjährigen Turbulenzintensität aus Messdaten für die Planung von Windenergieanlagen 61
- Thomas Foken**  
Nutzung von Footprint-Modellen zur Standortbestimmung von Windkraftanlagen 62
- Ludwig Wagner, C. Schmitt, M.Boquet**  
Windprofilmessungen im komplexen Gelände mit einem Doppler Wind LiDAR System und Implementierung der Daten in ein CFD Modell 63
- Stefan Emeis, R. Foreman**  
Verbesserungen der Turbulenzparametrisierung in mesoskaligen Windfeldmodellen 65

<b>Marion Schroedter-Homscheidt, A. Oumbe</b> Quantification of aerosol requirements for forecasts of electricity production by concentrating solar systems	66
<b>Constantin Junk, L. v. Bremen, D. Heinemann</b> Assessment of probabilistic wind power forecast for wind farms in Northern Ireland	67
<b>Marita Linde, P. Hoffmann, H.-J. Lenhart, K. H. Schlünzen</b> Beeinflussen Windparks in der deutschen Nordsee das Klima im norddeutschen Raum?	68
<b>Björn Witha, G. Steinfeld, D. Heinemann</b> Hochaufgelöste Simulationen des Nachlaufs von Offshore-Windenergieanlagen mit dem LES-Modell PALM	70
<b>Saskia Hagemann, D. Callies, T. Klaas</b> Utilisation of Inland Wind Power - Wind and turbulence profiles over complex forested terrain: First results of 200 m mast measurements	71
<b>Janek Zimmer, A. Raabe, T. Lemberg, R. Bennett</b> EEG-Einspeiseprognosen – Voraussetzung für Netzsicherheit und Direktvermarktung	73
<b>Carolin Schmitt, C. Meissner</b> Auswirkungen von atmosphärischer Stabilität auf Windertragsanalysen in CFD Simulationen	74
<b>Stefan Emeis</b> Klimatologie von MLH, cross-over height und low-level jet aus bodengestützten Fernerkundungsdaten	76
<b>Rene Viertel, T. Frisch</b> Wind- und Solarstrom – Energieerträge und Umweltwirkungen	77
<b>Nicole Stoffels, L. v. Bremen, D. Heinemann</b> A Metric to define favourable places for wind farms in terms of wind power grid Integration	78
<b>Hugues Ambroise, G. Steinfeld, D. Heinemann, J.-J. Trujillo, M. Kühn</b> Evaluation of the impact of atmospheric conditions on wind turbine wake model by using Alpha Ventus wind farm data	79
<b>David Hilbert, T. Blodau, D. Grawe</b> Forest Parameterization at Complex Wind Park Sites	80

**Martin Dörenkämper, J. Tambke**

Influence of marine boundary layer characteristics on power curves of Multi-Mega Watt wind turbines 82

**Lueder von Bremen, C. Junk, D. Heinemann**

Advances in probabilistic Wind Power Forecasting using ECMWF's 100m EPS winds 83

**Petra Mahrenholz**

Von der Rahmensetzung des Bundes in der Deutsche Anpassungsstrategie zur Anpassung an den Klimawandel in Regionen 84

**Jürgen Baumüller, N. Baumüller**

Anpassungsstrategien an den Klimawandel in deutschen Städten - ein Überblick 85

**Christian Bernhofer, M. Heidenreich, J. Franke, K. Riedel, St. Hänsel, J. Matschullat, N. Feske, M. Foltyn, A. Bobeth**

Klimaanalyse und Klimaprojektion auf Landschaftsebene - Erfahrungen aus dem KLIMZUG-Projekt REGKLAM 86

**Robert Schoetter, P. Hoffmann, D. Grawe, K. H. Schlünzen**

Können lokale Anpassungsmaßnahmen die regionale Klimaerwärmung zumindest gefühlt kompensieren? 87

**Valeri Goldberg, C. Kurbjuhn, Ch. Bernhofer**

Einfluss stadtplanerischer Konzepte auf das Mikroklima des Dresdner Stadtteils Friedrichstadt 89

**Friso Kipsch, B. Leitl, F. Harms, S. Werk**

Einfluss der innerstädtischen Bebauung im Hinblick auf die Stadtdurchlüftung 90

**Christina Koppe, J. Pfafferott**

Zusammenhang zwischen thermischer Belastung im Freien und in Innenräumen 92

**Nicole Müller, W. Kuttler**

Bewertung von Minderungsmaßnahmen zur Reduktion von Hitzestress vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels 94

**Nicole Baumüller**

Kommunale Klimaanpassung in der Praxis- Fragen aus der Stadtplanung an die Stadtklimatologie 95

<b>Lutz Katzschner</b> Zur Wahrnehmung der Stadtklimatologie in Planungsprozessen	96
<b>Johannes Nikolowski, J. Zimm, Th. Naumann</b> Verletzbarkeit und Anpassungsmöglichkeiten von Gebäuden und Baukonstruktionen an die Folgen des Klimawandels am Beispiel der Modellregion Dresden	97
<b>Hyunjung Lee, H. Mayer</b> Mittlere Strahlungstemperatur - die dominierende meteorologische Variable in der human-biometeorologischen Bewertung von Hitze in urbanen Räumen in Mitteleuropa	99
<b>Sebastian Schubert, S. Grossman-Clarke</b> Der Einfluss von Grünflächen und Gebäudecharakteristika auf die Lufttemperatur während Hitzeperioden in Berlin	100
<b>F. Q. P. 3/4 gpdgti . 'ROY kdt lpi . 'J 0Mt gv </b> Ausbreitungsrechnung im gegliederten Gelände unter Berücksichtigung von komplexer Bebauung; ein Beispiel	101
<b>Majana Heidenreich, Ch. Bernhofer</b> Klimaprojektionen für die Region Dresden - räumliche Variabilität von Temperatur und Niederschlag	102
<b>Ulrich Reuter, R. Kapp</b> Gute Luftqualität in Großstädten: Utopie oder Realität?	103
<b>Uwe Wienert, F. Kreienkamp, A. Spekat, W. Enke</b> Eine einfache Methode zur Abschätzung des urbanen Wärmeinseleffekts in Datensätzen zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden	105
<b>Ulrich Franck, M. Krüger, N. Schwarz, K. Großmann, I. Lehmann, St. Röder, U. Schlink</b> Heat stress in urban areas: Indoor and outdoor temperatures in different types of housing areas in the city of Leipzig and subjectively reported well-being	107
<b>Anja Goldbach, W. Kuttler</b> Einfluss der Evapotranspiration auf den thermischen Komfort in Stadtgebieten	109
<b>Guido Halbig, T. Deutschländer</b> Anpassungsmaßnahmen für die Stadt Köln auf der Grundlage von Niederschlags-Projektionsdaten und Extremwertstatistiken	110
<b>Andreas Matzarakis</b> RayMan and SkyHelios Models - Two Tools for Urban Climatology	111

<b>Antje Moldenhauer, H. Lorentz, I. Düring, P. Fleischer</b> Bereitstellung von Kaltluftinformationen für Ausbreitungsrechnungen	113
<b>Dirk Schindler, H. Mayer</b> Muster von Ruß-Zeitreihen in Baden-Württemberg	114
<b>Patrick Wagner, W. Kuttler</b> Biogene Kohlenwasserstoffe und ihr Einfluss auf die sommerliche Ozonbildung im urbanen Raum	115
<b>Wolfram Birmili, L. Tomsche, A. Sonntag, C. Opelt, K. Weinhold, St. Nordmann, B. Heese, U. Franck</b> Quellen und Verteilung ultrafeiner Partikel im Ballungsraum Dresden: Effekte von Standort und Wetterlage	117
<b>Astrid Snowdon</b> Nachweis der Wirkungen von baumbestandenenen Straßen auf das Mikroklima	118
<b>Alexander Thiem, U. Schlink, B. Wehner, A. Peters, S. Breitner, J. Cyrys, X.-Ch. Pan, C. Rösch, M. Richter, U. Franck</b> Mustererkennung zur Quantifizierung der Reduktion der Partikelbelastung in Peking während der Olympischen Spiele 2008	120
<b>Claudia Weitnauer, Ch. Beck, J. Jacobeit</b> Lokale PM10-Konzentrationen in Augsburg und ihr Zusammenhang mit großskaligen Zirkulationstypen	122
<b>Andreas Matzarakis, D. Fröhlich</b> Modeling of changes in human thermal bioclimate resulting from changes in urban design. - Example based on a popular place in Freiburg, SW-Germany	123
<b>Christian Büns, W. Kuttler</b> Wegstreckenintegrierende CO <sub>2</sub> -Messungen in Essen, NRW	125
<b>Stefan Emeis, K. Schäfer, M. Höß, R. Friedl, C. Münkler, S. Schrader, M. Hoffmann, C. Jahn, J. Jacobeit, J. Cyrys, M. Pitz, P. Suppan</b> Einflüsse der Mischungsschichthöhe und des Windes auf die Partikelgrößenverteilung im Stadtgebiet von Augsburg	126
<b>Susann Heise, B. Leitl, F. Harms</b> Untersuchungen zur Nahfeldausbreitung von Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen	127
<b>Sarah Sandoval, A. Eschenbach, F. Ament</b> Erfassung des Einflusses von Feuchte- und Energieflüssen städtischer Böden auf das lokale Klima	129

**Fabian Rasch, W. Birmili, A. Sonntag, K. Weinhold, St. Nordmann, G. Löschau, A. Wiedensohler**

Umweltzone Leipzig – Was bringt sie wirklich? – Ein erster Blick 130

**Kristina Trusilova, S. Brienens, B. Früh, A. Walter**

Urban parameterization in COSMO-CLM 131

## Ergebnisbandbreiten mesoskaliger atmosphärischer Modelle

*K. Heinke Schlünzen, Kristina Conrady, Michael Haller*

*Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Universität Hamburg, Bundesstr. 55,  
D-20146 Hamburg., [heinke.schlunzen@zmaw.de](mailto:heinke.schlunzen@zmaw.de)*

Meteorologische Modelle liefern Ergebnisse recht unterschiedlicher Güte. Dabei ist die Güte eines Modells nicht immer gleich, sondern hängt auch von den simulierten meteorologischen Situationen und/oder Emissionssituationen ab. Viele Modell Anwender sind beim Vergleich mit Messdaten sehr beglückt oder enttäuscht – ganz nach individuellen Vorerfahrungen. Tatsächlich gibt es keine allgemeingültigen Angaben dazu, ab welchem z.B. Korrelationskoeffizienten oder unterhalb welcher Standardabweichung ein Modellergebnis gut ist. Um eine Idee der typischen Güte mesoskaliger Modelle zu erhalten, wurden in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlichte Werte zur Evaluierung meteorologischer Parameter und von Konzentrationen analysiert. Alle Artikel sind nach 2005 veröffentlicht worden. Die Modellgitterweite betrug 500 m bis zu 50 km.

Für die meteorologischen Parameter wurden die Literaturstellen bereits von Conrady (2010) zusammengefasst und einer ersten Auswertung unterzogen. Für die Konzentrationen sind weitere Publikationen herangezogen worden. Betrachtete Evaluierungsmasse sind Korrelationskoeffizient, mittlere Abweichung, mittlerer quadratischer Fehler. Die publizierten Werte für diese Evaluierungsmasse wurden zusammengefasst und typische Werte (20 und 90 Perzentil, Median) für die Modellgüte ermittelt.

Insgesamt zeigt sich, dass die Modellgüte mit zunehmender Gitterweite nicht abnimmt, eine zunehmende Mittelungszeit tendenziell aber die Fehler reduziert. Zudem zeigt sich z.B. für den Korrelationskoeffizienten, dass für 50% der publizierten Evaluierungen diese Werte für die Temperatur bei 0.88 und höher liegen, aber nur bei 0.43 für die Windrichtung. Ein Grund hierfür ist in den ausgeprägten Mustern der Temperatur (Intensiver Tagesgang im Gegensatz zum Wind) zu sehen. Andererseits sind die veröffentlichten Werte selbst mit einem Bias versehen: veröffentlicht wird, was besonders interessant ist, also z.B. eher ein ausgeprägter Tagesgang als ein konstantes Temperaturfeld. Dadurch sind z.B. die Korrelationskoeffizienten für die Temperatur tendenziell auch bei wenig getroffenen Tagesgängen eher hoch. Trotz einiger Einschränkungen hinsichtlich des Datenkollektives lassen sich Schlussfolgerungen in Bezug auf die typische Güte und Bandbreite der Ergebnisse mesoskaliger atmosphärischer Modelle ziehen, die dem Modell Anwender die Einschätzung der eigenen Ergebnisse erleichtern.

### *Literatur:*

Conrady, K. (2010): Typische Werte statistischer Maßzahlen zur Evaluierung mesoskaliger Modelle. Bachelorarbeit Meteorologie, Universität Hamburg. <http://www.mi.uni-hamburg.de/Bachelor-The.6250.0.html> .

Schlünzen K.H., M. Haller (Eds) (2011): Evaluation of Integrated Tools. Deliverable D7.2, MEGAPOLI Scientific Report 11-03, MEGAPOLI-29-REP-2011-03, 51p, [http://megapoli.dmi.dk/publ/MEGAPOLI\\_sr11-03.pdf](http://megapoli.dmi.dk/publ/MEGAPOLI_sr11-03.pdf) .

## **Eignen sich Produktionsdaten von Windkraftanlagen zur Verifizierung von Windfeldsimulationen ?**

*Heinz-Theo Mengelkamp\*, Anne Pätzold\*\**

*\*anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH, Böhmsholzer Weg 3, 21391 Reppenstedt  
[mengelkamp@anemos.de](mailto:mengelkamp@anemos.de)*

*\*\*Gärtnerstrasse 34, 20253 Hamburg, [anne-paetzold@gmx.de](mailto:anne-paetzold@gmx.de)*

Windfeldsimulationen werden üblicherweise durch Vergleich mit Anemometermessungen verifiziert. Häufig werden hier an Wetterstationen gemessene Zeitreihen herangezogen, deren Nachteile hinlänglich bekannt sind. In der üblichen Messhöhe von etwa 10 m ist der Einfluss der unmittelbaren Umgebung sehr groß, so dass diese Daten kaum als repräsentativ angesehen werden können für ein Gebiet von der Größe einer Gitterzelle der Simulationsmodelle. Veränderungen in der Höhe und Lage des Messortes beeinflussen zudem die langzeitliche Konsistenz der Daten.

Eine neue Möglichkeit, Informationen über das Strömungsfeld in der atmosphärischen Grenzschicht zu erhalten, bieten Ertragsdaten von Windkraftanlagen. Die technischen Eigenschaften der Windkraftanlagen verhindert zwar eine Information über die Extremwerte der Windgeschwindigkeit und turbulente Schwankungen, aber die großen Nabenhöhen und oftmals große Windparks repräsentieren das Windfeld innerhalb einer Modellgitterzelle besser als eine bodennahe Windmessung.

Ertragsdaten von Windkraftanlagen verschiedener Windparks in Deutschland werden verglichen mit den aus MM5-Simulationen abgeleiteten Erträgen. In einer detaillierteren Studie werden Ertragsdaten eines Windparks in Brandenburg mit verschiedenen Methoden aufbereitet und zusätzlich mit abgeleiteten Erträgen aus einer Windmessung bei Lindenberg verglichen. Während aus den Windmessungen und der Modellierung ein Ertrag für eine frei stehende Windkraftanlage berechnet wird, sind Windkraftanlagen im operationellen Betrieb vielfältigen Einflüssen unterworfen, die die Vorteile gegenüber Messungen mit Anemometern teilweise oder ganz aufheben können. Die Beeinflussung der Windkraftanlagen in einem Windpark untereinander kann oftmals nicht quantifiziert werden. Mögliche andere Ursachen für eine verminderte Leistungsabgabe sind häufig nicht bekannt. Hierzu zählen insbesondere die Erweiterung des Windparks zu unterschiedlichen Zeitpunkten und deren Einfluss auf die Erträge einer einzelnen Windkraftanlage, durch behördliche Vorgaben reduzierte Betriebsmodi oder das Netzmanagement, das bei Überlastung der Stromnetze zur Reduzierung der Leistung führt.

Teile dieser Untersuchungen wurden im Rahmen der Dr. Arbeit von Anne Pätzold am Helmholtz Zentrum Geesthacht durchgeführt.



## **Estimation and causes of uncertainty of air quality forecasts for the Blackforest region**

*Christoph Bergemann<sup>1)</sup>, Julian Meyer-Arne<sup>1)</sup>, Frank Baier<sup>1)</sup>*

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

Many touristic areas in Germany are visited by people travelling there for the clean and supposedly healthy air. One such area is the Blackforest region. Air pollution modelling is needed in order to assess the state of air quality. Furthermore, forecasts can provide additional value for tourists, aiding them in their desire to spend a healthy holiday. Local authorities hoping to increase their attractiveness may be interested in providing such information to their visitors. In the context of the GMES-related European FP7 project PASODOBLE, the POLYPHEMUS/DLR air quality model is employed to provide operational forecasts of air quality for the Blackforest region. In this study we will analyze the uncertainty of the model and look for ways of improvement.

The POLYPHEMUS/DLR air quality model is based on the POLYPHEMUS air quality platform (Mallet et al., 2007). For our operational forecast service a domain covering the Blackforest itself and the major surrounding pollution sources, especially the Rhine-valley and the city of Stuttgart is defined. The model is operated at a resolution of about 2km. Boundary conditions are provided by a nesting approach from coarser-resolution domains. Anthropogenic emissions are based on data provided by TNO. The underlying meteorology is generated using the WRF model on the basis of operational global forecasts by NCEP. The operational air quality model chain provides daily forecasts for three days. Evaluation of this setup is an important and continuous task and should ideally be useful for identification of the nature of the diagnosed deviations.

Air quality in remote locations such as the Blackforest is influenced by transport from polluting regions as well as local emissions both biogenic and anthropogenic. Local emissions may lead to situations where in-situ observations and model results are at high levels of disagreement. Evaluating the performance and cause of errors of an air quality model under these circumstances therefore is a nontrivial task. Furthermore, in-situ observations are only sparsely available and the measurement sites are frequently subjected to strong local influences or exposed in ways that the model due to its limited resolution cannot capture. The objective of this study is to find ways how to utilize these data for model evaluation in a reasonable way and to identify processes leading to deviations between model and observation. Non-local error sources are strongly influenced by uncertainties in the underlying meteorological data. By performing a skill analysis based on different forecast durations we can estimate the impact of the uncertainty induced by long-range transport versus local emission uncertainty.

### Literature:

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

## Synthetische, repräsentative Ausbreitungsklassenzeitreihen

*Matthias Rau<sup>1)</sup>, Klaus Bigalke<sup>2)</sup>, Tina zur Heiden<sup>3)</sup>, Christiane Lutz-Holzhauser<sup>3)</sup>,  
Dieter Ahrens<sup>4)</sup>*

1) Ingenieurbüro Rau, Bottwarbahnstr. 4, 74081 Heilbronn, [ingenieurbuero.rau@online.de](mailto:ingenieurbuero.rau@online.de)

2.) METCON Umweltmeteorologische Beratung, Jappowweg 9h, 25421 Pinneberg,  
[klaus.bigalke@metcon-umb.de](mailto:klaus.bigalke@metcon-umb.de)

3.) Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg,  
Großoberfeld 3, 76135 Karlsruhe

4) ehem. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg,  
Großoberfeld 3, 76135 Karlsruhe

Immissionsprognosen nach TA Luft oder der Geruchsimmissions-Richtlinie erfordern meteorologische Antriebsdaten, die für die langjährigen Verhältnisse in der Standortumgebung repräsentativ sind. In topographisch strukturiertem Gelände können die meteorologischen Verhältnisse kleinräumig so stark variieren, dass keine für den Standort repräsentativen Messungen aus der näheren Umgebung vorliegen. In solchen Fällen, die im Mittelgebirgsraum eher die Regel darstellen, werden geeignete Messdaten mithilfe einer „qualifizierten Prüfung der Übertragbarkeit“ (QPR) von einem entfernt gelegenen Messort auf den Anlagenstandort übertragen. Für meteorologische Zeitreihen ist zusätzlich ein „repräsentatives Jahr“ zu bestimmen, das den mittleren Verhältnissen eines 10-Jahres-Zeitraums möglichst gut entspricht.

In den letzten Jahren haben sich als hochwertige Alternative zur QPR synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken („synAKS“) bewährt (Bigalke et. al, 2003, 2008). Sie beruhen auf einem so genannten Cluster-Zeitserienverfahren, das Cluster-Simulationsrechnungen mit dem prognostischen Modell METRAS PC (Schatzmann et. al, 1998) mit langjährigen Zeitreihen von Höhenwind und Stabilität kombiniert. Die synthetischen AKS liegen inzwischen für etwa  $\frac{3}{4}$  der Fläche Deutschlands in einer räumlichen Auflösung von 500 m vor.

Nach Anhang 3 der TA Luft sind Ausbreitungsrechnungen standardmäßig als Zeitreihenrechnung über ein Jahr durchzuführen. Nur an Standorten mit geringer Häufigkeit von Schwachwindlagen kann auf Basis einer Ausbreitungsklassenstatistik gerechnet werden. Dies schränkte bisher den Einsatzbereich der synthetischen AKS ein.

Eine Weiterentwicklung des Cluster-Zeitserienverfahrens ermöglicht nun auch die Berechnung synthetischer, repräsentativer Ausbreitungsklassenzeitreihen („synAKTerm“). Dazu werden mit statistischen Methoden aus den langjährigen Höhenwinddaten synthetische, repräsentative Zeitreihen abgeleitet. Diese sind in ihren statistischen Eigenschaften repräsentativ für einen 10-Jahres-Zeitraum, stellen aber kein reales Einzeljahr aus diesem Zeitraum dar, sondern ein synthetisches Jahr.

Die aus dem neuen Berechnungsverfahren abgeleiteten bodennahen Ausbreitungsklassenzeitreihen sind

- „synthetisch“, weil sie auf Modellsimulationen beruhen und kein reales Einzeljahr abbilden

- „repräsentativ“, weil die Zeitreihe des Einzeljahres in ihren statistischen Eigenschaften einem 10-Jahres-Zeitraum entspricht.

Die synthetischen AKTerm vereinen somit drei Vorteile: Sie sind (1) räumlich repräsentativ für die Anlagenumgebung in gegliedertem Gelände, (2) zeitlich repräsentativ für die langjährigen, mittleren Verhältnisse und (3) kommen ohne Bestimmung eines repräsentativen Einzeljahres aus, das möglicherweise die mittleren Verhältnisse weniger gut wiedergibt. Damit entfällt die Notwendigkeit sowohl der bei Zeitreihen als kritisch einzustufenden räumlichen Übertragung (QPR) als auch der Bestimmung eines repräsentativen Jahres aus Messdaten.

Für vergleichende Ausbreitungsrechnungen wurden neben den synthetischen, repräsentativen AKTerm auch synthetische AKTerm für die realen Einzeljahre des 10-Jahres-Zeitraums erstellt. Aus den Vergleichsrechnungen wird deutlich, dass die synthetischen, repräsentativen AKTerm die mittleren Verhältnisse für die Immissionsprognose gut wiedergeben, gleichzeitig aber die typische Variabilität eines Einzeljahres enthalten. Im Vergleich zu Immissionsprognosen auf Basis gemessener AKTerm zeigt sich eine vergleichbar gute Qualität, wie sie schon für die synthetischen AKS nachgewiesen wurde (Bigalke et. al, 2008).

Die synthetischen AKTerm sollen im Laufe des Jahres schrittweise für alle Gebiete berechnet werden, in denen bereits synthetische AKS vorliegen. Damit steht zukünftig eine meteorologische Datenbasis für Immissionsprognosen für die meisten Standorte in Deutschland, an denen keine repräsentativen Messdaten vorliegen, zur Verfügung.

## Literatur

- Bigalke, K., D. Ahrens, M. Rau, C. Winkler, 2003: Baden-Württemberg: Expertensystem zur Beurteilung synthetischer Windstatistiken. METTOOLS, 06-08.10.2003, Essen.
- Bigalke, K., D. Ahrens, M. Rau, 2008: Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen - Eine Alternative zu "klassischen" Übertragungsverfahren. Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft, **68**, 326-333.
- Schatzmann, M., K. H. Schlünzen, S. Dierer, H. Pankus, 1998: Entwicklung einer allgemein verfügbaren PC-Version des mesoskaligen Modells METRAS. Bericht an das Umweltbundesamt. FuE Projekt 104 04 354.

## Berechnung der Monin-Obukhov-Länge auf Basis meteorologischer Routinemessdaten

Joachim Namyslo<sup>1)</sup>

1) Deutscher Wetterdienst, Abt. Klima- und Umweltberatung, Frankfurter Str. 135, 63067 Offenbach, E-Mail: joachim.namyslo@dwd.de

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 ( $L_M$ ) – alternativ über eine Ausbreitungsklasse (AK) – erfolgen. In der allgemeinen Praxis wird in Deutschland die Ausbreitungsklasse nach der Richtlinie VDI 3782/1 (2009) verwendet. Zur Feststellung einer AK ist neben der Windgeschwindigkeit und der Tageszeit der (stündliche) Bedeckungsgrad mit Wolken ein wesentlicher Parameter. Letzterer kann in der Regel belastbar nur über Augenbeobachtungen bestimmt werden. Wie in anderen modernen europäischen Wetterdiensten auch, so legt die Umsetzung der aktuellen, weniger personalintensiven Messnetzkonzeption des Deutschen Wetterdienstes (DWD) den Übergang auf einen Stabilitätsparameter nahe, der nur auf Basis instrumenteller und möglichst automatisch gewonnener meteorologischer Messwerte bestimmt werden kann.

Die Richtlinie VDI 3783/8 behandelt die Bestimmung der Monin-Obukhov-Länge nach der Profil- oder Energiebilanzmethode. Im Gegensatz zur Profilmethode gestattet die Energiebilanzmethode die Berechnung von  $L_M$  u.a. mit Werten der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur, die entsprechend den meteorologischen Routinemessungen des DWD jeweils nur in einer Höhe gemessen wurden.

Der DWD hat hierzu ein Verfahren zur  $L_M$ -Berechnung implementiert und weiterentwickelt, das auf der Energiebilanzmethode und dem "FluxLib"-Programm des KNMI basiert (Holtslag u. van Ulden, 1983; De Rooy u. Holtslag, 1999). Es werden das Verfahren und Ergebnisse von  $L_M$ -Tagesgängen anhand verschiedener Zusammenstellungen von ggf. unterschiedlich "verfügbaren" meteorologischen Eingangsdaten vorgestellt und diskutiert. Dabei werden AK-Klassen, die zum einen "direkt" nach VDI 3782 Blatt 1 und zum anderen über die Tabelle 17 (Anh. 3, Kap. 8.4, TA Luft, 2002) anhand berechneter  $L_M$ -Werte bestimmt wurden, miteinander verglichen.

### Literatur:

De Rooy, Wim C., A.A.M. Holtslag, 1999: Estimation of Surface Radiation and Energy Flux Densities from Single-Level Weather Data. J. Appl. Meteor. **38**, 526-540.

Holtslag, A.A.M., A.P. van Ulden, 1983: A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. J. Climate Appl. Meteor. **22**, 517-529.

VDI 3782 Blatt 1, 2009: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Gauß'sches Fahnenmodell zur Bestimmung von Immissionskenngrößen.

VDI 3783 Blatt 8, 2002: Umweltmeteorologie – Messwertgestützte Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle.

## LES-basierte Störfallmodellierung in komplexen Stadtgeometrien

*B. Leidl<sup>1)</sup>, D. Hertwig<sup>1)</sup>, F. Harms<sup>1)</sup>, M. Schatzmann<sup>1)</sup>, G. Patnaik<sup>2)</sup>, J. Boris<sup>2)</sup>*

- 1) *Meteorologisches Institut der Universität Hamburg,  
KlimaCampus, Bundesstrasse 55, 20146 Hamburg  
bernd.leidl@zmaw.de*
- 2) *Laboratory for Computational Physics and Fluid Dynamics  
U.S. Naval Research Laboratory, Washington DC*

Die Simulation der Ausbreitung störfallartig freigesetzter Luftschadstoffe gehört zu den anspruchsvollsten Modellierungsaufgaben auf dem Gebiet der Umweltmeteorologie. Werden Gefahrstoffe in Stadtgebieten freigesetzt, so bergen selbst geringste Schadstoffmengen aufgrund der Nähe zu Menschen und kritischen Infrastrukturen ein erhebliches Schadenspotenzial. Die bisher im Rahmen des Störfallmanagements verwendeten Einsatzwerkzeuge bilden in der Regel nicht die Komplexität und Variabilität möglicher Ausbreitungsszenarien ab. Zur schnellen Einschätzung von Gefahrenlagen werden in der Regel empirische Prognosewerkzeuge (z.B. Halpaap'sche Keule) oder einfache Gauß'sche Ausbreitungsmodelle verwendet. Die entsprechenden Prognosen sind insbesondere in komplexen Stadtgeometrien mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Anspruchsvollere CFD-Modelle boten bisher ebenfalls keine brauchbare Alternative, da zum einen der Rechenaufwand vergleichsweise hoch ist und zum anderen bisher nahezu ausschließlich RANS-basierte Modelle Verwendung finden, die zwar eine begrenzte Zahl von Hindernissen auflösen können, jedoch die Turbulenz der Strömung nur zeitlich gemittelt berücksichtigen. Da die bei lokalen Störfällen in Betracht zu ziehenden Bewertungszeiträume meist weniger als eine Stunde betragen, sind RANS-basierte Modellsimulationen nicht seriös anwendbar. Hinzu kommt, dass die für die Durchführung eines Modelllaufs erforderliche Zeit erheblich größer ist als die wenigen Minuten, die einem Einsatzleiter für die Entscheidungsfindung zur Verfügung stehen.

Um die Prognosegüte und die Effizienz eines Einsatztools an die Bedürfnisse der Einsatzkräfte anzupassen, können numerisch aufwendige Strömungs- und Ausbreitungssimulationen im Voraus durchgeführt und die Simulationsergebnisse in intelligenter Form für den schnellen Zugriff mit einem einfach zu bedienenden Einsatztool aufbereitet werden. Diesem Konzept folgend wurde am NRL Washington das Einsatztool CT-Analyst entwickelt. Entscheidend für die Güte der Strömungs- und Ausbreitungssimulation ist, dass die den Ausbreitungsvorgang bestimmenden turbulenten Strukturen vom verwendeten numerischen Modell hinreichend aufgelöst werden. Für die hoch aufgelösten Simulationsrechnungen wird ein sehr effizientes, monoton integrierendes LES-Modell (Fast3D-CT) verwendet. Die umfangreichen Simulationsergebnisse werden in stark vereinfachter Form abgespeichert und im Einsatztool CT-Analyst hinterlegt. So kann im Einsatzfall in Sekundenbruchteilen ein auf einer Vielzahl von Einzelsimulationen beruhender

Gefahrenbereich rekonstruiert und in praktisch nutzbarer Form dargestellt werden.

Das Modellkonzept wurde im Rahmen einer vom BBK geförderten Pilot-Studie erstmals auf eine deutsche Stadtstruktur übertragen. Ziel des Projektes war, zu prüfen wie zuverlässig die mit CT-Analyst realisierten Gefährdungsprognosen sind, welche Unsicherheiten im Modellkonzept zu berücksichtigen sind und welches Entwicklungspotenzial die Verwendung von LES-Modellen im Rahmen der Störfallmodellierung hat. Der Beitrag stellt das Pilotprojekt, das Einsatztool und wesentliche Ergebnisse der Modellevaluierung auf der Basis von Naturdaten und systematischer Laborversuche im Windkanal (Abbildung 1) vor. Es werden neue Möglichkeiten im praktischen Immissionsschutz dokumentiert, die durch die Verwendung wirbelauflösender Modellwerkzeuge entstehen.



Abbildung 1: Visualisierung von Wirbelstrukturen im Hamburg-Windkanalmodell.

## **Einsatz des LES-Modells PALM in der Praxis – Vergleich mit Windkanalmessungen für die Hamburger Innenstadt**

*Letzel, M. O.<sup>1)</sup>, Hertwig, D.<sup>2)</sup>, Raasch, S.<sup>3)</sup>, Leitl, B.<sup>2)</sup>, G. Patnaik<sup>4)</sup>*

1) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe;

marcus.letzel@lohmeyer.de

2) Environmental Wind Tunnel Laboratory (EWTL), Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg

3) Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover

4) Laboratory for Computational Physics and Fluid Dynamics, U.S. Naval Research Laboratory, Washington DC

Zum Schutz der Zivilbevölkerung bei Gefahrstofffreisetzungen in Stadtgebieten hat das Naval Research Laboratory in Washington DC nach den Anschlägen vom 11. September 2011 das Large-Eddy-Simulationsmodell (LES-Modell) FAST3D-CT entwickelt und in Zusammenarbeit mit dem EWTL mit Messungen im Windkanal der Universität Hamburg für amerikanische Städte validiert (Patnaik et al., 2007; Harms et al., 2011).

FAST3D-CT berechnet im Voraus LES-Strömungs- und Ausbreitungsbibliotheken. Das Analyse- und Darstellungswerkzeug CT-Analyst greift auf die vorberechneten Ergebnisse zurück. Im Falle der Freisetzung von chemischen, biologischen oder radiologischen Gefahrstoffen stehen der Einsatzleitung sofort sichere Vorhersagen zur Raum-Zeit-Struktur des Gefahrengebietes zur Verfügung.

Im Rahmen des Hamburger Pilotprojektes zur „Entwicklung eines Werkzeugs zur Optimierung der Einsatzsteuerung bei Gefahrstofffreisetzungen in Stadtgebieten“ kommt FAST3D-CT erstmals in Europa zum Einsatz (Leitl et al., 2012). Ein neu hinzugekommener Projektteil ist ein Vergleich der physikalischen Modellgüte und der Leistungsfähigkeit des amerikanischen LES-Modells FAST3D-CT mit dem deutschen LES-Modell PALM (Letzel et al., 2008; Raasch & Schröter, 2001) bezogen auf das Hamburger Test-Szenario. Zur Qualitätskontrolle ist ein Vergleich mit Windkanalmessungen für die Hamburger Innenstadt vorgesehen.

Im vorliegenden Beitrag werden wesentliche Arbeitsschritte und erste Ergebnisse des neuen Projektteils vorgestellt.

### Literatur:

F. Harms, B. Leitl, M. Schatzmann, G. Patnaik, 2011: Validating LES-based flow and dispersion models. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, **99**, 289-295

B. Leitl, D. Hertwig, F. Harms, M. Schatzmann, G. Patnaik, J. Boris, 2012: LES-basierte Störfallmodellierung in komplexen Stadtgeometrien. *METTOOLS VIII*, Leipzig

M.O. Letzel, M. Krane, S. Raasch, 2008: High resolution urban large-eddy simulation studies from street canyon to neighbourhood scale, *Atmos. Environment*, **42**, 8770-8784



G. Patnaik, J.P. Boris, T.R. Young, F.F. Grinstein, 2007: Large scale urban contaminant transport Simulations with Miles. *J. Fluids Eng.*, **129**, 1524-1532

S. Raasch, M. Schröter, 2001: PALM – A Large-Eddy Simulation Model Performing on Massively Parallel Computers, *Meteorol. Z.*, **10**, 363-372.

## Visualisierung von METRAS-PCL-Ergebnissen

Markus Hasel<sup>1)</sup>, Werner-Jürgen Kost<sup>1)</sup>, Jost Nielinger<sup>1)</sup>

1) iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG

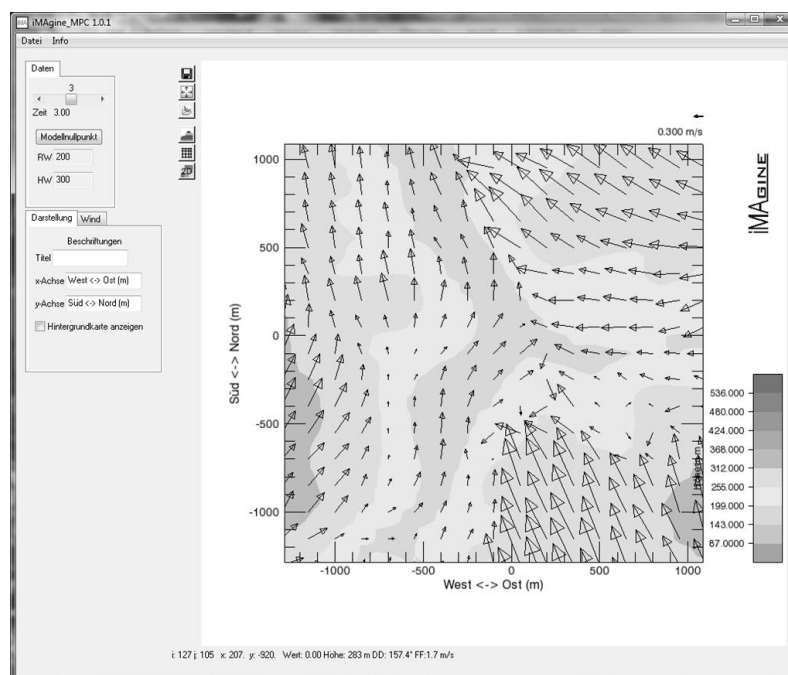
### Kurzfassung

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach TA Luft war sehr steiles Gelände lange Zeit ein Problem bei Ausbreitungsrechnungen. Diagnostische Windfeldmodelle, wie sie standardmäßig bei Immissionsprognosen verwendet werden, sind hier nur eingeschränkt geeignet. Das Verfahren einer prognostischen Windfeldbibliothek, wie es momentan in der Arbeitsgruppe der VDI Richtlinie 3783 Blatt 16 festgelegt wird, schafft hier Abhilfe. Es ist inzwischen der Standard, um auch in topographisch stark gegliederten Gelände TA Luft-konforme Ausbreitungsrechnungen durchzuführen (z.B. Hasel et al, 2010).

Als Windfeldmodell wird für die Erstellung prognostischer Windfelder i.A. METRAS-PCL verwendet. Das Modell basiert auf dem mesoskaligen Modell METRAS des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg (Schlünzen et al, 1996).

Die PC-Version des Modells ist durchaus benutzerfreundlich, hat aber einen Nachteil: die Ausgabe der Modellergebnisse erfolgt nur im ASCII-Format, so dass je nach Aufgabenstellung mehrere Gigabyte große Dateien vorliegen. Eine grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgt nicht.

Im Rahmen einer Ausbreitungsrechnung ist es aber natürlich für den Anwender zwingend notwendig, die Windfelder auch optisch zu prüfen. Das hier vorzustellende Programm iMAgine<sup>MPC</sup> schließt diese Lücke. Es ist in der Lage, die Windkomponenten aus der METRAS-PCL-Ausgabe zu extrahieren und darzustellen. Dem Nutzer ist es so möglich, die Windfelder sowohl in Höhen- als auch Zeitabhängigkeit zu analysieren und plausibilisieren.



Die Abbildung zeigt die Windows-Nutzeroberfläche, welche die Topographie und Windrichtung und Windgeschwindigkeit als Vektorpfeile visualisiert.

Das Programm bietet so neue Möglichkeiten, hochwertige Modelle im außeruniversitären Bereich anzuwenden. Spätestens mit Erscheinen der Richtlinie VDI 3783 Blatt 16 wird sich der Nutzerkreis von METRAS-PCL deutlich erweitern, insbesondere auch in Genehmigungs- und Fachbehörden.

Im Beitrag werden die Prüfmöglichkeiten und die Darstellung der Ergebnisse anhand von Beispielen aus der Praxis von Genehmigungsverfahren gezeigt.

## **Literatur**

Hasel M., Kost W.-J., Nielinger J., 2009: Ausbreitungsrechnungen in steilem Gelände – Prognostische Windfeldbibliotheken. METTOOLS, 01.-03. September 2009, Hamburg.

Schlünzen, K. H., Bigalke K., Lüpkes C., Niemeier U., von Salzen K., 1996: Concept and realisation of the mesoscale transport- and fluid-model ‚METRAS‘, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, METRAS Techn. Rep. 5, 156.

## Vergleich von vorhergesagten und gemessenen vertikalen Windprofilen in komplexer Topografie.

R.Friedl<sup>1)</sup>, M.Limacher<sup>2)</sup>

1) RSC GmbH, Neumarkter Str. 13, 92355 Velburg, Germany, [info@wind-sodar.de](mailto:info@wind-sodar.de)

2) Interwind AG, Buchzelgweg5, 8053 Zürich, Switzerland, [engineer@interwind.ch](mailto:engineer@interwind.ch)

Die Linthebene ist ein breites Tal, das auf der Grenze zwischen Mittelland und Gebirge in der Schweiz liegt und in dem Windkraftanlagen errichtet werden sollen. Restriktionen ergeben sich u.a aus der Besiedlung und der Infrastruktur. Auf Grund der Geländestruktur sind besondere Windverhältnisse zu erwarten mit u.U. großer räumlicher Variabilität. Zur Auffindung der besten Standorte wurde eine Untersuchung in die Wege geleitet, die verschiedene Meßverfahren und Rechenmodelle miteinander verknüpft. Es liegen vertikale Windprofile aus Sodar- und Lidarmessungen an 5 Standorten vor für verschiedene Zeiträume. Für alle Windprofile gibt es parallel Anemometermessungen auf 50 m Mast im Windpark und eine Messung von Meteosuisse bei Schmerikon etwa 10 km entfernt. Für die Modellierung werden Wasp, metedyn und windsim eingesetzt.

Es werden nur Vergleiche mit parallelen Winddaten angestellt (es werden beispielsweise die Mastdaten einer bestimmten SODAR-Periode als Input verwendet und das damit vorhergesagte SODAR-Profil mit dem gemessenen Resultat verglichen)

Für die jeweilige SODAR-/LIDAR-Periode werden die 50m-Mast- und die 10m-Schmerikon-Daten in die Übertragungssoftware eingegeben und das vertikale Windprofil am SODAR-/LIDAR-Standort vorhergesagt. Dieses vorhergesagte Windprofil wird mit dem gemessenen Windprofil verglichen.

Der Vergleich erfolgt durch verschiedene Parameter, wie mittlerer Korrelationskoeffizient zwischen prognostizierten und gemessenen Tab-Files, Abweichung in mittlerer Windgeschwindigkeit, Abweichung in mittlerer Leistungsdichte. Die Abweichungen werden auch sektoral bewertet.

## Parametrisierung von Windparks in COSMO-LM

*Elisabeth Stütz<sup>1)</sup>, Gerald Steinfeld<sup>1)</sup>, Detlev Heinemann<sup>1)</sup>, Joachim Peinke<sup>1)</sup>*

*1) ForWind, Zentrum für Windenergieforschung, Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg, Deutschland, E-Mail: elisabeth.stuetz@forwind.de*

Um mithilfe von numerischen Simulationen die Auswirkungen von Windparks im mesoskaligen Bereich zu untersuchen, wurden Parameterisierungen von Windparks in ein mesoskaliges Modell implementiert.

Mit Alpha Ventus wurde 2008/2009 der erste Windpark in der deutschen Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) errichtet. Seitdem werden weitere Parks in der AWZ gebaut. So sind Windparks mit bis zu 80 Windkraftanlagen und einer Größe von bis zu 66 km<sup>2</sup> geplant – teilweise nur wenige Kilometer voneinander entfernt. Dass Windparks dieser Größenordnung Nachlaufströmungen bewirken, die bis zu einigen 10 km strömabwärts ausgedehnt sein können, zeigen Ergebnissen von Modellen zur Berechnung der Nachlaufströmung (Wakemodelle), idealisierte mesoskalige Studien ebenso wie Beobachtungen.

Mesoskalige Modelle ermöglichen es, die Auswirkungen solch großer Windparks auf die Strömung in einem größeren Gebiet zu betrachten und ebenso die Effekte von Windparks in verschiedenen Wetterzuständen zu untersuchen.

Für die numerischen Simulationen wird das u.a. vom Deutschen Wetterdienst (DWD) verwendete mesoskalige Modell COSMO-LM verwendet. Da aufgrund der großen Modellgitterweite die Windkraftanlagen eines Windparks nicht einzeln dargestellt werden können, müssen die Effekte der Windkraftanlagen in einem numerischen Modell mittels Parameterisierungen dargestellt werden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten: Der Windpark kann z.B. als erhöhte Bodenrauigkeit erfasst werden (Calaf et al. 2010) oder als Impulsdefizit und Turbulenzquelle (Blahak et al. 2010).

Die Effekte der unterschiedlichen Windpark-Parameterisierungen auf die Simulation der atmosphärischen Grenzschicht werden gezeigt. Dazu wurden eine Fallstudie berechnet sowie Simulationen idealisierter Fälle durchgeführt. Der Vergleich mit LES-Simulationen bietet die Möglichkeit die Parameterisierungen genauer zu untersuchen.

### Literatur:

Blahak U., B. Goretzki, and J. Meis, 2010: A Simple Parameterization of Drag Forces Induced by Large Wind Farms for Numerical Weather Prediction Models. European Wind Energy Conference & Exhibition (EWEC) 2010, Warsaw.

Calaf M., C. Meneveau, und J. Meyers, 2010: Large eddy simulation study of fully developed wind-turbine array boundary layers. Phys. Fluids, **22** (015110).

## **Modellierung komplexer meteorologischer Strömungen mittels Grafikkarten – das Modell ASAMgpu**

*Stefan Horn*

*Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig*

Das Modell ASAMgpu ist ein wolkenauflösendes Atmosphärenmodell dessen Einsatzbereich sich derzeit auf die Skala zwischen wolkenauflösenden regionalen Wettermodellen (CRM) und hochauflösenden Grobstruktursimulationen konzentriert (LES).

Das Modell verwendet die voll kompressiblen Eulergleichungen mit einem expliziten dreistufigen Runge-Kutta-Zeitintegrationsverfahren und Operatorensplitting für die Schallwellen (Wicker und Skamarock, 2002). Diese werden in einer höheren Anzahl von Zwischenschritten mit einem einfachen Forward-Backward-Schema behandelt. Des Weiteren beinhaltet das Modell eine 2-Momenten-Mikrophysik nach Seifert und Beheng (2005). Davon wurden implementiert: die prognostischen Gleichungen für die Dichten und die Anzahlkonzentrationen für trockene Luft, Wasserdampf, Wolkenwasser und Regen. Sowie eine kalte Mikrophysik für Eis und Schnee, die allerdings noch nicht ausgiebig getestet wurde.

Die hohen räumlichen und zeitlichen Auflösungen der Simulationen, sowie die erforderlichen Gebietsgrößen erfordern eine sehr leistungsfähige Infrastruktur für die Berechnungen. Die Verwendung von Grafikkarten für rechenintensive wissenschaftliche Anwendungen hat in der letzten Zeit stark zugenommen. Die Architektur der Kerne der Grafikkarten (GPU's) unterscheidet sich dahingehend von aktuellen Hauptprozessoren, dass sie direkt für parallelisierbare Anwendungen entwickelt wurde. Das zeigt sich beispielsweise darin, dass moderne Grafikkarten über bis zu mehrere tausend kleiner Recheneinheiten verfügen, die über einen breiten Bus an den Speicher der Grafikkarten angebunden sind. Das führt insbesondere bei Anwendungen, bei denen häufig die gleichen Operationen auf große Datenfelder angewandt werden, zu enormen Geschwindigkeitsgewinnen und Energieeinsparungen.

Bei der Entwicklung des Modells ASAMgpu wurde insbesondere auf die Parallelisierbarkeit der verwendeten Algorithmen Wert gelegt. Das Modell ist in C++ mit OpenGL und GLSL implementiert. Dadurch ist es unabhängig von der Hardware und sollte auf den meisten modernen Grafikkarten laufen. Mehrere parallele Modellläufe können mittels der MPICH2 Bibliothek miteinander kommunizieren, somit ist auch die Verwendung mehrerer Grafikkarten bzw. eines Clusters möglich.

Verschiedene Testfälle wie eine aufsteigende Wärmeblase (Wicker und Skamarock, 1998), ein herab fallender Kaltlufttropfen (Wicker und Skamarock, 2002) und drei Fälle mit mariner Grenzschichtbewölkung (BOMEX, DYCOMS (vanZanten et al., 2005), RICO) wurden bereits simuliert.

Haupteinsatzbereich ist zur Zeit die Modellierung stratiformer mariner Bewölkung und der Einfluss unterschiedlicher Aerosolkonzentrationen auf die Niederschlagsentwicklung und damit auf die Entwicklung sogenannter offener Zellen in einer sonst geschlossenen

Wolkendecke.

Aber auch ein hochreichendes Konvektionsereignis (Weisman und Klemp, 1982) sowie einige Strömungen um einfache geometrische Körper (Platte, Stufe, Quader) wurden schon teilweise simuliert. Diese einfachen geometrischen Körper wurden mittels offener oder geschlossener Zellen repräsentiert, was in realistischeren Anwendungsfällen zu starken Problemen führt. Die Entwicklung hin zu einem Modell auch für komplexere Geometrien und Orografien ist zur Zeit in Arbeit. Als erster Testfall wurden die Schwerewellen hinter einem „Witch of Agnesi“ berechnet (Gallus und Klemp, 2000).

Am Ziel der Entwicklung soll ein Modell stehen welches skalenübergreifend für Probleme von der regionalen Skala (Gebirgsüberströmung, Inseleffekte) bis hinunter zu Stadtskala (evtl. sogar Strömungen in Gebäuden) eingesetzt werden kann.

## Literaturverzeichnis

BOMEX <http://www.knmi.nl/~siebesma/gcss/bomex.html>

RICO <http://www.eol.ucar.edu/projects/rico/>

A. Seifert, K. D. Beheng, 2005: A two-moment cloud microphysics parameterization for mixed-phase clouds. Part 1: Model description. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **92**, 45–66.

L. J. Wicker, W. C. Skamarock, 1998: A Time-Splitting Scheme for the Elastic Equations Incorporating Second-Order Runge-Kutta Time Differencing. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1992–1999.

L. J. Wicker, W. C. Skamarock, 2002: Time-Splitting Methods for Elastic Models Using Forward Time Schemes. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2088–2097

M. L. Weisman and J. B. Klemp, 1982: The dependence of numerically simulated convective storms on vertical wind shear and buoyancy. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 504–520.

M. C. vanZanten, B. Stevens, G. Vali, D. H. Lenschow, 2005: Observations of Drizzle in Nocturnal Marine Stratocumulus. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 88–106

W. A. Gallus, J. B. Klemp, 2000: Behavior of flow over step orography. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1153–1164.

## Ersetzbarkeit von Radiosondendaten durch Modelldaten – Ein Verfahren

Michael Wilsdorf<sup>1)</sup>, André Bischoff<sup>1)</sup>, Astrid Ziemann<sup>2)</sup> und Armin Raabe<sup>1)</sup>

- 1) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, [mwils@uni-leipzig.de](mailto:mwils@uni-leipzig.de)
- 2) TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, 010620 Dresden, [astrid.ziemann@tu-dresden.de](mailto:astrid.ziemann@tu-dresden.de)

Grundlage für die Betrachtung vieler atmosphärischer Vorgänge sowie deren Untersuchung bilden die vertikalen Profile meteorologischer Parameter wie Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung usw. Oftmals wurden und werden für solche Untersuchungen die Daten aus Radiosondenaufstiegen gewonnen. Diese haben ihren Vorteil in der realen Abbildung der Atmosphärenzustände am Untersuchungsort. Ihr Nachteil besteht in der häufig lückenhaften Datenverfügbarkeit sowie im horizontalen Versatz mit zunehmender Höhe im Vergleich zum Startpunkt. Ein weiterer wesentlicher Nachteil besteht in der geringen Anzahl von Stationen, was eine räumliche Betrachtung atmosphärischer Zustände schwierig macht. Eine wäre die Verwendung von Modelldaten als Datengrundlage. Die Vorteile sind die homogene Gitterpunktverteilung sowie die Vollständigkeit der Daten. Die Frage die sich stellt, bezieht sich auf den Vorteil der Radiosonden: Wie vertrauenswürdig sind solche Modelldaten bzgl. ihrer Wiedergabe der realen atmosphärischen Zustände.

Hier wird ein erster Ansatz gezeigt in dessen Rahmen eine solche Ersetzung möglich ist. Die Untersuchungen beziehen sich auf eine am Leipziger Institut für Meteorologie (LIM) verwendeten Klassifizierung meteorologischer Profile. Dabei ergab sich, als Ergebnis von Sensitivitätsuntersuchungen, eine Klasseneinteilung für die Gradienten von Lufttemperatur (5 Klassen), Windgeschwindigkeit (13 Klassen) und Windrichtung (24 Klassen). Eine weitere Unterteilung erfolgt anhand von Inversionsklassen, so dass letztendlich insgesamt 7 Temperaturklassen unterschieden werden (siehe Raabe et al., 2000 und Ziemann et al., 2002). Die Klassen erfassen in ihrer Gesamtheit (1551 Profilklassen), alle denkbaren und plausiblen Verteilungen der meteorologischen Parameter Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung in einer bestimmten Höhenauflösung.

Im Rahmen des entwickelten Verfahrens wird jedes Profil (aus TEMP-Radiosondendaten bzw. Modell) untersucht und aufgrund seiner Beschaffenheit erfolgt die Zuordnung einer Temperatur-, Inversions-, Windgeschwindigkeits-, Windprofil- sowie einer Windrichtungs-klasse erfolgt. Schließlich ergeben alle eingeteilten Unterklassen in ihrer Gesamtheit eine das Profil beschreibende meteorologische Klasse. Der erste Vergleich bezieht sich auf die Radiosondenstation Bergen sowie den räumlich nächst gelegene Gitterpunkt des Modells COSMO-EU. Es werden Statistiken gezeigt, wie gut beide Verfahren (RASO, Modell) zum gleichen Zeitpunkt dieselbe Profilkategorie treffen.

**Raabe, A., Arnold, K. und Ziemann, A., 2000:** Berücksichtigung atmosphärischer Schallausbreitungsbedingungen bei Messungen und Prognose von Schießlärm. Abschlußbericht zum Auftrag E/F360/X5144, 46 S..

**Ziemann, A., 2002:** Zum Einfluss vertikaler Gradienten meteorologischer Größen auf die Laufzeit von akustischen Signalen zwischen Schallquellen und Schallempfängern in der bodennahen Atmosphäre, Wiss. Mit. aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig 26, 31-42.



## Zur Repräsentativität meteorologischer Daten in einem Untersuchungsgebiet.

*W.-J. Kost, FRMetS, CMet*

*J. Nielinger*

*M. Hasel*

Die Frage danach, wann und unter welchen Bedingungen meteorologische Daten an einem Standort „repräsentativ“ sind, lässt sich nicht mit 0 oder 1 beantworten. Es wird immer eine Antwort dazu geben, die eine positive Beantwortung nur auf Basis bestimmter Randbedingungen zulässig erscheinen lässt.

Hintergrund für diese doch eigentlich einfache Fragestellung waren Überlegungen, die aus der Diskussion zur geplanten europäischen Richtlinie zur Erhebung von Geruchswahrnehmung durch Feldmessungen [1, CEN TC 264 WG27; Rasterbegehungen] angestellt wurden. Gerade die Ausbreitung von Luftbeimengungen (z.B. Geruchsstoffen) wird neben den Emissionsrandbedingungen, wie Quelltyp, Emissionsniveau, etc., in erster Linie durch die Parameter wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Turbulenzzustand der Atmosphäre bestimmt.

In dieser CEN-Arbeitsgruppe wurde nur die Frage gestellt, „Unter welchen Bedingungen sind meteorologische Messungen in einem Untersuchungsgebiet *ausreichend* repräsentativ und wann nicht“, um eine gesicherte Aussage zu Geruchsimmissionserhebungen und deren Beurteilung treffen zu können.

Bei genauerem betrachten dieser Frage wurde schnell analysiert, dass es dabei von besonderer Bedeutung ist, grundsätzlich zwischen zwei wesentlichen Aspekten zu unterscheiden:

1 – Zeitliche Repräsentativität

2 – Räumliche Repräsentativität

In der CEN-Arbeitsgruppe einigte man sich auf eine einfache und pragmatische Randbedingungen um dies Fragestellung bewerten zu können.

In dem angebotenen Beitrag werden diese Randbedingungen dargestellt und weitere Ansätze zu dieser Fragestellung thematisiert.

**IMA** Richter & Röckle GmbH & Co. KG

Hauptstr. 54

D-70839 Gerlingen

Tel.: 07156-4389-14

Fax: 07156-5026-18

[kost@ima-umwelt.de](mailto:kost@ima-umwelt.de)

[www.ima-umwelt.de](http://www.ima-umwelt.de)

## **Modellierung umweltmeteorologischer Fragestellungen im Windkanal – noch aktuell ?**

*Wolfgang Theurer*

*Ingenieurbüro Theurer, An den Gewerbewiesen 16, 67374 Hanhofen,  
e-mail: [ib.theurer.sp@t-online.de](mailto:ib.theurer.sp@t-online.de)*

Die physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in Grenzschichtwindkanälen wird seit Jahrzehnten bei der Bearbeitung umweltmeteorologischer Fragestellungen eingesetzt (Bächlin und Theurer, 1995). Bei Einhaltung der bekannten Modellgesetze und Randbedingungen, wie sie z. B. in der „Windkanal – Richtlinie“ VDI 3783, Blatt 12 (2000) zusammen gestellt sind, ist die Übertragbarkeit vom Modell auf die Natur zuverlässig gegeben. Aufgrund der gegenüber Naturmessungen genauer definierbaren Eingangsgrößen und der Datenqualität liefern Windkanalexperimente Vergleichsdaten für die Entwicklung numerischer Modelle. Beispiele für solche Validierungsdatensätze finden sich in der CEDVAL – Datenbank des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg. Hier wurden an die Dokumentation und Qualitätssicherung besondere Ansprüche gestellt.

In den letzten Jahren haben allerdings die numerischen Modellierungen atmosphärischer Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge an Boden gewonnen. Man fragt sich, ob der Aufwand von umweltmeteorologischen Modellexperimenten im Windkanal, außer zu Forschungszwecken oder der erwähnten Erzeugung von Validierungsdaten, noch gerechtfertigt ist.

Die Stärken von Windkanaluntersuchungen in der praktischen Anwendung liegen vor allem in zwei Punkten:

- der hohen, nur durch den Modellmaßstab und die eingesetzte Messtechnik limitierten, räumlichen Auflösung:

Probleme mit Gebäudekonturen, die sich an der Struktur eines Rechengitters zu orientieren haben, treten nicht auf. So werden z. B. geneigte Dächer als solche abgebildet, und müssen nicht treppenförmig aufgelöst werden, was zu sehr feinen Gitterstrukturen und entsprechend hohem Berechnungsaufwand führen kann. Auch runde Formen lassen sich, unter Beachtung der Modellgesetze, naturgetreu nachbilden.

- der hohen zeitlichen Auflösbarkeit der Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge:

Neben mittleren Werten lassen sich instationäre Vorgänge, wie Windrichtungs-, Geschwindigkeits- und Konzentrationsfluktuationen, durch die Messung von Zeitreihen erfassen. Über die Strouhalzahl, in die der Modellmaßstab und die Strömungsgeschwindigkeit eingehen, ist eine Übertragung des Zeitfaktors aus dem Modell auf die Natur möglich. Eine statistische Auswertung liefert dann Schwankungsgrößen, Häufigkeitsverteilungen und Überschreitungswahrscheinlichkeiten. Vergleiche mit Naturdaten (Theurer, 1993) zeigen auch für die statistischen Parameter eine gute Übereinstimmung.

Zeitreihen von Windgeschwindigkeiten und ihre statistischen Größen benötigt man bei Fragen zum Windkomfort, wo hochturbulente Strömungen in bebauten Gebieten zwischen den, oft sehr gegliederten, Gebäuden zu analysieren sind. Hierbei ist die Überschreitungshäufigkeit bestimmter Grenzgeschwindigkeiten im Hinblick auf Nutzungseinschränkungen durch Windbelästigungen zu ermitteln und zu bewerten.

Bei Untersuchungen zu Störfällen und bei Geruchsproblemen spielen zeitlich fluktuierende Immissionskonzentrationen eine entscheidende Rolle. Eine Betrachtung der mittleren Konzentrationswerte allein reicht hier nicht aus, da die besonders gefährlichen oder wahrgenommenen kurzzeitigen Konzentrationsmaxima nicht erfasst werden. Vielmehr ist eine Auswertung der durch Windkanalexperimente gelieferten Zeitreihen hinsichtlich der Überschreitung der gefährdenden oder belästigenden Konzentrationsspitzenwerte notwendig, die nur in einem Bruchteil der Betrachtungszeit auftreten können.

Für die beschriebenen Anwendungen in der Praxis lassen sich Zeitreihen im Windkanal bei entsprechender Instrumentierung ohne wesentlichen Mehraufwand hinreichend genau ermitteln. Die numerische Modellierung von Zeitreihen erfordert aufwändigere als die üblichen Verfahren. So werden LES – Modelle momentan erst vereinzelt eingesetzt. Die Aufgabenverschiebung bei Windkanalexperimenten von der Erfassung von mittleren Größen hin zu der von dynamischen Vorgängen sollte bei der anstehenden Fortschreibung der Windkanal – Richtlinie bedacht werden.

## **Literatur**

Bächlin, W., Theurer, W., 1995: Der Einsatz von Windkanälen bei Umweltfragen. Staub - Reinhaltung der Luft, **55**, Nr. 10, 383 – 388.

CEDVAL: <http://www.mi.uni-hamburg.de/CEDVAL-Valid.427.0.html>

Theurer, W., 1993: Ausbreitung bodennaher Emissionen in komplexen Bebauungen. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH).

VDI 3783, Blatt 12, 2000: Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht – Windkanalanwendungen.

## **Kopplung der Modelle MISKAM und AUSTAL2000 und Vergleich der Ergebnisse mit Windkanalmessungen am Anwendungsfall eines U-förmigen Gebäudes**

*Letzel, M. O.<sup>1)</sup>, Flassak, T.<sup>1)</sup> und Angel, D.<sup>1)</sup>*

1) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe; marcus.letzel@lohmeyer.de, thomas.flassak@lohmeyer.de

Bei Ausbreitungsrechnungen mit Auflösung der Bebauung wird in AUSTAL2000 der Gebäudeeinfluss auf die Turbulenz als gebäudeinduzierte Zusatzturbulenz der atmosphärischen Turbulenz überlagert. Die Zusatzturbulenz wird auf Basis von Windkanaluntersuchungen in allgemeiner Form parametrisiert.

Dieser Überlagerungsansatz wurde für die Kopplung von AUSTAL2000 mit dem prognostischen mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM aufgegriffen und sinngemäß umgesetzt. AUSTAL2000 übernimmt neben dem MISKAM-Windfeld nun auch die gebäudeinduzierte Zusatzturbulenz aus dem MISKAM-Turbulenzfeld.

Vergleiche von AUSTAL2000-Simulationen mit Windkanalkonzentrationsmessungen für den Anwendungsfall eines U-förmigen Gebäudes erfolgen anhand verschiedener Bewertungskennzahlen der Software BOOT, die ein Element des „Model Validation Kit“ zur Evaluation von atmosphärischen Ausbreitungsmodellen ist. Es werden 33 Situationen (11 Gebäudekonfigurationen mit jeweils 3 Quellorten) betrachtet. Die Vergleiche zeigen erwartungsgemäß eine deutliche Verbesserung durch die neue MISKAM-AUSTAL2000-Kopplung gegenüber den Ergebnissen von AUSTAL2000 sowie AUSTAL2000 gekoppelt ausschließlich mit MISKAM-Windfeld (ohne Übernahme der Turbulenz). Der Quellort wirkt sich auf die Modellgüte aus.

Mit der neuen MISKAM-AUSTAL2000-Kopplung liegt nun ein Werkzeug für Ausbreitungsrechnungen vor, das die Vorzüge des prognostischen Strömungsmodells von MISKAM mit der schichtungsabhängig modellierten atmosphärischen Turbulenz von AUSTAL2000 vereint.

Bei der Bewertung der festgestellten Modellabweichungen ist zu beachten, dass es sich hier um meteorologische Einzelsituationen handelt. Auf die Modellabweichung bei der Berechnung von z.B. Jahresmittelwerten kann nicht direkt geschlossen werden.

## **An Operational Mixing Height Data Set from Routine Radiosoundings at Lindenberg**

**Frank Beyrich and Jens-Peter Leps**

Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg– Richard-Aßmann-Observatorium, Am Observatorium 12, 15848 Tauche – OT Lindenberg  
frank.beyrich@dwd.de

High-resolution vertical profiles of temperature, humidity and wind from the operational radiosoundings performed routinely four times per day at the Meteorological Observatory Lindenberg – Richard-Aßmann-Observatory are analysed to provide routine estimates of the mixing height (MH). Different criteria are employed to deduce the MH, and the height where the Richardson number ( $Ri$ ) exceeds a critical value is taken as a standard. This criterion is applicable for all types of boundary layer stratification. Differences between the  $Ri$ -based MH estimate and other characteristic heights are used to derive both an uncertainty estimate and a quality flag for each single MH value. A more than 10 years MH data set has been created. Reliable MH values (with an uncertainty of not more than 10 % or 50 m, respectively) could be obtained for about 40-60 % of the profiles depending on the radiosonde launch time. Statistical analysis of the MH data set showed that the monthly mean MH values at 00 UTC range between 150m and 200 m in summer and between 250 m and 350 m in winter. Mean 12 UTC MH values are around 500 m in winter and between 1200 m and 1400 m in summer. The radiosonde based MH estimates have been used to evaluate MH values derived from the application of procedures recommended in environmental regulations (TA-Luft, VDI-RL 3783/8). Potential improvements of these guidelines will be suggested.

## Uncertainties in the measurement of temperature, humidity and pressure using small Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

*Norman Wildmann, Jens Bange 1)*

- 1) *Eberhard-Karls-Universität Tübingen,  
Zentrum für Angewandte Geowissenschaften,  
Sigwartstr. 10,  
72076 Tübingen  
[norman.wildmann@uni-tuebingen.de](mailto:norman.wildmann@uni-tuebingen.de)*

To improve the understanding of processes in the lower atmosphere - the atmospheric boundary layer (ABL) - new measurement strategies are needed that will help to fill the gaps which are left open by commonly used measurement systems using remote sensing, towers or radiosoundings. Unmanned Aerial Vehicles are one kind of system that can help overcome that problem. One of these systems that has been operated successfully in many missions has already been described in 2007 by Spiess et.al. [1].

Concerning uncertainties in this field it has to be distinguished between such that are common to all sensors implemented on a moving platform and uncertainties that are specific to a certain type of sensor.

To the first group counts the problem of precise estimation of the position of the platform. Nowadays global navigation satellite navigation systems (GNSS) like GPS, GLONASS or GALILEO are widely used in civil applications. However, the results that are given by commercial GNSS receivers are often rather poor, inducing errors of up to 10m horizontally and 20m vertically. An example will be given how more sophisticated algorithms can improve the accuracy of position estimation to a submeter range.

Another problem that is common to all sensor types on a fast moving platform is the influence of the sensor's time response, which in first place will lead to an absolute error in the measurement. The problem of time response errors and how to correct for them in vertical profiling with UAVs has for example been addressed by Reuder et al [2]. Especially in the research of turbulent flux it is important that the sensor has a cutoff frequency that is as high as possible to resolve even smallest eddies.

Specific problems to temperature measurements with UAV can be very similar to all well known problems in meteorological measurements with manned aircrafts. E.g. adiabatic heating of the sensor is a well known problem that can be corrected for. Solar radiation effects on the sensor have already been addressed in 1979 by Foken [3] and can already be considered in the design of the sensor.

Humidity measurement is a very complex task not only in airborne applications. Additional to the common time response issues, most of the sensors that are applicable on UAVs have to be temperature compensated. This will add all errors that can be made in the temperature measurement to the calculated humidity value. At the University of Tübingen a comparison of ten commercial humidity sensors was carried out, comparing accuracy, repeatability, temperature dependence and time responses.

Least challenging of the mentioned sensors is the pressure measurement with modern sensors, given that the pressure port is at a position of the aircraft that is not affected by the airstream. If all of these possible uncertainties and measurement errors are taken into account, UAVs can play an important role in all kinds of meteorological measurements.

- [1] T. Spiess, J. Bange, M. Buschmann, P. Vörsmann, 2007: First application of the meteorological Mini-UAV 'M2AV', Meteorol. Z., Vol. **16**, 159-169
- [2] J. Reuder, P. Brisset, M. Jonassen, M. Müller, S. Mayer, 2009: The Small Unmanned Meteorological Observer SUMO: A new tool for atmospheric boundary layer research. Meteorol. Z., Vol. **18**, 141-147
- [3] Th. Foken, 1979: Temperaturmessung mit dünnen Platindrähten. Z. f. Meteorologie, Heft 5, Band 29

## Fernerkundung von Temperatur und Wind mit akustischen Laufzeitmessungen

*M. Barth<sup>1)</sup>, G. Fischer<sup>1)</sup>, A. Raabe<sup>1)</sup>, A. Ziemann<sup>2)</sup>, F. Kaiser<sup>1)</sup>*

*1) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, mbarth@uni-leipzig.de*

*2) TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, 01062 Dresden*

In-situ Messungen meteorologischer Parameter erfordern das Einbringen von Messgeräten in das Untersuchungsgebiet, die ihrerseits die zu erfassenden Größen (insbesondere das Strömungsfeld) modifizieren und somit die Messergebnisse beeinflussen. Um diese Beeinflussung zu minimieren, werden Fernerkundungsverfahren eingesetzt.

Ein solches Fernerkundungsverfahren zur Erfassung der Temperatur- und Strömungseigenschaften in einem Untersuchungsgebiet liefert die Methode der akustischen Laufzeitmessungen. Hierbei wird genutzt, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines akustischen Signals in Luft im Wesentlichen von den meteorologischen Parametern Temperatur und Windvektor entlang des Ausbreitungsweges abhängt. Eine Messung der Laufzeit eines Schallsignals erlaubt es somit, Rückschlüsse auf die Temperatur und Strömungsverhältnisse längs des bekannten Signalweges zu ziehen. Durch eine Kombination von Messungen entlang verschiedener Wege durch das Messgebiet lassen sich räumliche Mittelwerte der Temperatur- und Strömungsbedingungen im Untersuchungsgebiet ableiten. Darüber hinaus ist das Verfahren skalierbar: Es ist für Untersuchungsgebiete mit einer Ausdehnung von einigen hundert Metern genauso anwendbar wie für kleinräumige Untersuchungsgebiete im Meterbereich. Eine Anordnung der akustischen Sensoren in mehreren Höhenniveaus erlaubt es ferner, Profile und Gradienten der meteorologischen Parameter zu bestimmen.

Anhand zweier Beispiele wird das Potential dieses Fernerkundungsverfahrens zur gleichzeitigen Erfassung der mittleren horizontalen Strömungsverhältnisse und Temperaturen demonstriert. Zum einen wurde die Methode eingesetzt, um die mittleren meteorologischen Parameter in zwei Höhenniveaus (0,5 m und 2,7 m) auf einer Skala von 100 m × 10 m zu erfassen. Die gemessenen räumlichen Mittelwerte entsprechen dabei der räumlichen Ausdehnung von Spektromettermessungen (100 m Pfadlänge), die der Erfassung von Spurengaskonzentrationen dienen. Zum anderen wurde das Verfahren für akustische Streckenlängen im Bereich von 1 m eingesetzt. Solche räumliche Ausdehnungen erlauben z.B. die Anwendung der Methode zur Erfassung der meteorologischen Bedingungen über einer Lysimeterfläche, ohne dass Messgeräte direkt auf die Oberfläche des Lysimeters gebracht werden müssen.

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der akustischen Laufzeitmessungen mit Punktmessungen liefert in beiden Fällen vergleichbare Zeitreihen zwischen den meteorologischen Parametern. Unterschiede ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Ausdehnung der bemessenen Untersuchungsgebiete. Während Punktmessungen die Bedingungen an einem Ort beschreiben, liefern die akustischen Laufzeitmessungen mittlere Bedingungen in einem ausgedehnten Messgebiet. Sie sind damit insbesondere geeignet, um mittlere meteorologische Bedingungen in heterogenem Gelände zu beschreiben und Untersuchungsgebiete in ihrer Gesamtheit zu charakterisieren.



## Vergleich von gemessenen und modellierten Mischungshöhen

*Gabriele Rau<sup>1)</sup>, Christoph Lotteraner<sup>1)</sup>, August Kaiser<sup>1)</sup>*

*1) Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, A 1190 Wien,  
gabriele.rau@zamg.ac.at*

Im Laufe der letzten Jahre wurden von der ZAMG an verschiedenen Orten in Österreich über einen längeren Zeitraum RASS-Messungen (Radio Acoustic Sounding System, Hersteller: METEK) durchgeführt (Kittsee, Flughafen Schwechat, Limmersdorf). Zur Ableitung von Mischungshöhen aus den RASS-Daten werden an der ZAMG verschiedene Methoden (nach Heffter, Parcel-Methode, Richardson-Ansatz) verwendet, deren Parameter von Ort zu Ort variieren. Ein Vergleich der einzelnen Datenreihen zeigt, dass die Performance der Ableitungsmethoden starke regionale Unterschiede aufweist, insbesondere zwischen gut durchlüfteten Regionen wie dem Flughafen Schwechat und sehr windschwachen Beckenlagen wie Limmersdorf. Der vertikale Messbereich des RASS-Systems ist auf rund 600 m begrenzt, an gut durchmischten Tagen ist insbesondere untertags in rund 50% der Zeit keine Erfassung der Mischungshöhe mehr möglich.

In Ergänzung zu den RASS-Messreihen stand der ZAMG leihweise für ein Jahr ein Ceilometer des DWD (Jenoptik CHM15K) zur Verfügung. Mit diesem Instrument wurden für mehrere Monate Parallelmessungen am Flughafen Schwechat durchgeführt. Während der Messungen wurde die Mess- und Auswertesoftware des Ceilometers adaptiert, sodass anstelle der Wolkenhöhen mehrere Aerosolschichthöhen detektiert werden konnten. Aus diesen Aerosolschichthöhen wurde eine Mischungshöhe abgeleitet.

Mittels INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) wurden für alle drei Standorte Vertikalprofile (u.a. Wind, potentielle Temperatur und Feuchte) berechnet und Mischungshöhen abgeleitet. Das meteorologische Analyse- und Kurzfristvorhersagesystem INCA beruht auf den Daten des operationellen Messnetzes und den Prognosefeldern des mesoskaligen meteorologischen Modells ALADIN. Diese modellierten Mischungshöhen wurden mit den gemessenen Mischungshöhen verglichen.

Am gut durchlüfteten Standort Flughafen Schwechat (Abb. 1) zeigte die modellierte Mischungshöhe untertags eine gute Übereinstimmung mit den durch das Ceilometer gemessenen Mischungshöhen hinsichtlich der vertikalen Erstreckung. Im Mittel (Abb.2) liefert das Modell INCA einen früheren Anstieg der Durchmischung als das Ceilometer. Gerätebedingt erreichte das Ceilometer in der Nacht nicht die minimalen vom RASS gemessenen Mischungshöhen.

Die Auswertungen der Vergleichsmessungen – und Modellierungen an allen drei Standorten sind Gegenstand noch laufender Untersuchungen. Erste Ergebnisse wurden bei der 30. Jahrestagung des AK Klima (DGfG) vom 28.-30.10.2011 in Graz und beim 4.Österreichischen MeteorologInnentag (3./4.11.2011 Klagenfurt) präsentiert.

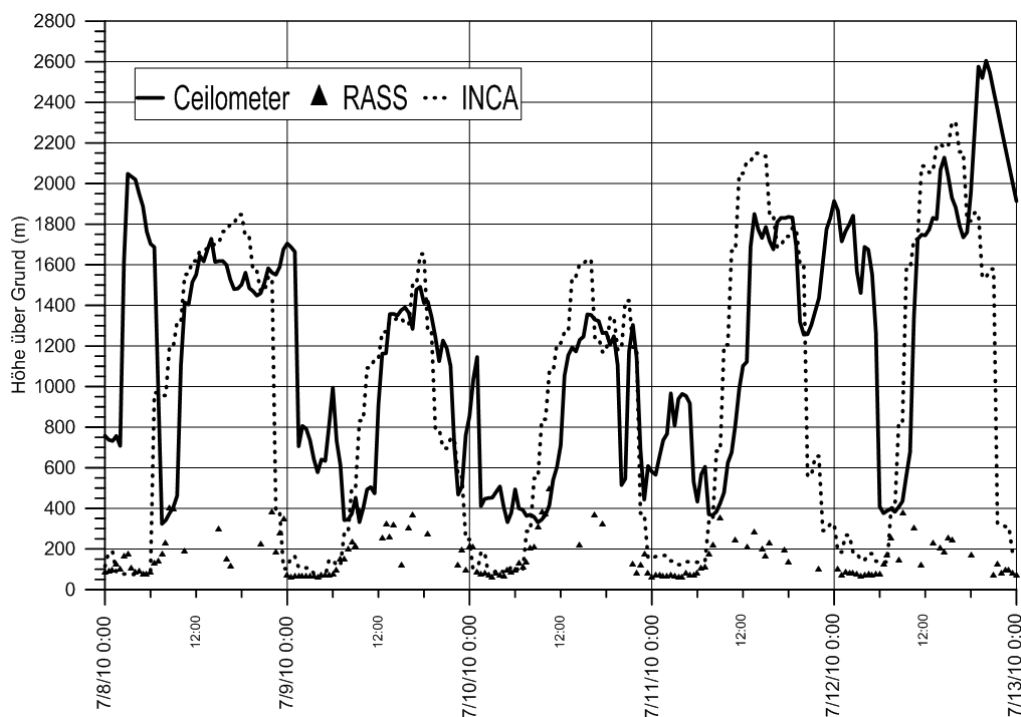


Abb. 1: Gemessene (Ceilometer, RASS) und modellierte (INCA) Mischungshöhen während einer sommerlichen Schönwetterphase am Flughafen Schwechat

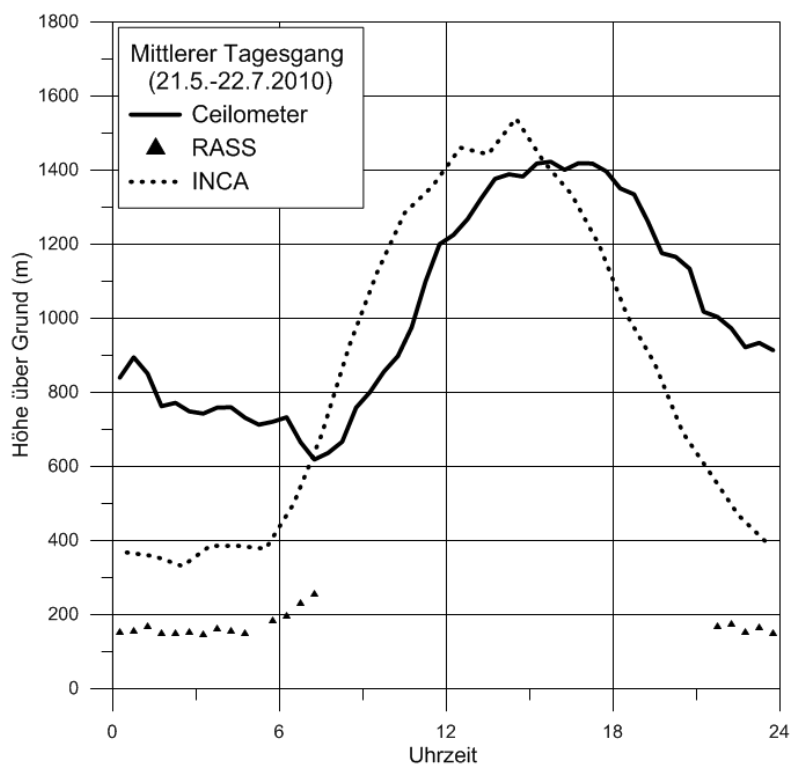


Abb. 2: Mittlerer Tagesgang über 2 Sommermonate von gemessenen (Ceilometer, RASS) und modellierten (INCA) Mischungshöhen am Flughafen Schwechat (nur Termine mit mindestens 75% vorhandener Daten dargestellt)

## Digitale Geländemodelle aus Luftbildern aufgenommen aus UAV

*Germar Walter, Jens Bange*

*Eberhard-Karls-Universität Tübingen,  
Zentrum für Angewandte Geowissenschaften,  
Sigwartstr. 10,  
72076 Tübingen  
[germar.walter@student.uni-tuebingen.de](mailto:germar.walter@student.uni-tuebingen.de)*

Beim Erstellen Digitaler Geländemodelle aus Luftbildern, gibt es vielfältige Herausforderungen zu bewältigen. Insbesondere, wenn die dafür verwendeten Luftbilder aus niedrig fliegenden UAVs aufgenommen werden, da hierbei hohe Genauigkeiten bei der Lage- und Positionsbestimmung nötig sind und der Autopilot die Fluglage und den vorgegebenen Kurs präzise einhalten muss. Bei den verwendeten bildverarbeitenden Methoden ergeben sich weitere Herausforderungen bei der Orthorektifizierung und Georeferenzierung der Bilder.

Um die Luftbilder zu erstellen, wurde eine handelsübliche Digitalkamera in ein Multiplex TwinStar II-Modellflugzeug eingebaut und von unnötigem Gewicht befreit. Zum autonomen fliegen des UAVs wurde ein Paparazzi Autopilot gewählt, der auf den internen Bordrechner aufgespielt wurde. Dadurch ergibt sich ein kompaktes System, das durch eine Person bedient werden kann und zur Aufnahme von detaillierten Luftbildern aus geringer Höhe eingesetzt werden kann.

In Zukunft kann das Kamerasystem in andere UAVs transferiert werden, die mit höher entwickelten Autopiloten betrieben werden. Ein solches System wird an der Universität Tübingen im Moment für atmosphärische Messungen entwickelt. Es kann jedoch auch zur Aufnahme von Luftbildern verwendet werden. Dadurch vergrößert sich die Einsatzdauer und Vielseitigkeit des Systems.

Die erstellten Luftbilder werden zur Verwendung nachbearbeitet. Dazu werden Linsenfehler und Verzerrungen aus den Bildern entfernt, in eine Bodenparallele Ebene gedreht und auf die Bodenoberfläche projiziert, um eine Abbildung der Oberfläche zu erhalten. Um die Positionsbestimmung zu verbessern werden die GPS Daten durch dGPS verbessert und die Lagedaten des UAV gefiltert, um die Fehler bei der Georeferenzierung der Bilder zu minimieren.

Als zukünftige Anwendung sollen Höhenwerte aus den Bildern berechnet werden. Dazu werden mindestens zwei Aufnahmen des selben Gebietes benötigt, die aus verschiedenen Positionen erstellt wurden. Daraus können durch Überlagerung der Bilder die unterschiedlichen Abstände zu der Kamera berechnet werden. Anschließend kann eine digitale Repräsentation der Erdoberfläche berechnet werden, aus der weitere Werte, wie beispielsweise Rauigkeitslängen der Erdoberfläche, abgeleitet werden können.

Im Vortrag wird die Aufnahme von Luftbildern mit dem UAV und deren Nachbearbeitung besprochen, sowie ein Ausblick auf die Erstellung Digitaler Geländemodelle gegeben.

## Wie weit können Windprofile von einem Windkraftstandort zum nächsten übertragen werden?

S.Strauss<sup>1)</sup>, D.Pfab<sup>1)</sup>

1) RSC GmbH, Neumarkter Str. 13, 92355 Velburg, Germany, [info@wind-sodar.de](mailto:info@wind-sodar.de)

Zur Optimierung der Planungskosten wird immer auch versucht Messungen an Windkraftstandorten auf weitere Standorte in der Umgebung zu übertragen. Dies ist besonders heikel in Gebieten mit komplexer Orographie. Immer mehr kommen auch Windkraftstandorte im Wald in Betracht, was ein zusätzliches Unsicherheitsmoment bedeutet. Eine Untersuchung vorhandener Daten soll die Möglichkeiten dafür abgrenzen. Dazu wurden im Übergang der Fränkischen Alb zum Oberpfälzer Wald, die beide durch das Vils-Naabbecken getrennt sind, Windmessungen an drei etwa 70 km voneinander entfernten Standorten ausgewertet. Die Profile entstanden durch kombinierte Messungen mit Mast (bis 140 m), Lidar und Sodar. Es werden Windprofile bis 200 m ü. Grund abgeleitet. Die Winddaten werden korreliert und auf einen bestimmten Zeitraum normiert. Sie werden in Standardsoftware eingelesen und zunächst am Standort nachgerechnet. Das vorhergesagte Windprofil wird mit dem gemessenen Windprofil verglichen. Dann wird auf jeweils den anderen Standort sowie einen neuen Standort in der Mitte übertragen. Für die Modellierung werden Wasp und meteodyn eingesetzt.

Der Vergleich erfolgt durch verschiedene Parameter, wie mittlerer Korrelationskoeffizient zwischen prognostizierten und gemessenen Tab-Files, Abweichung in mittlerer Windgeschwindigkeit, Abweichung in mittlerer Leistungsdichte. Die Abweichungen werden auch sektoral bewertet. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt auf der Übertragung der Profile und der Häufigkeitsverteilungen.

## **Luft- und Lärmbelastung – zwei Umweltprobleme mit meteorologischem Bezug**

Dietrich Heimann

DLR - Institut für Physik der Atmosphäre, Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling

Das Fachgebiet der Meteorologie ist seit vielen Jahrzehnten im Bereich der Luftreinhaltung engagiert und hat hierzu mit der Entwicklung von Modellen zur Konzentrationsprognose von der lokalen bis zur globalen Skala beigetragen. Im Bereich des Lärms hat ein solches Engagement erst in den letzten 10 bis 15 Jahren begonnen, obwohl meteorologische Faktoren bei der Schallausbreitung ebenfalls eine wichtige Rolle spielen und Lärm seit Langem zu den wichtigen Umweltproblemen im Umfeld von Verkehrsinfrastrukturen (Straßen, Bahnstrecken, Flughäfen), aber auch von Industrieanlagen (einschließlich Windenergieanlagen) und Freizeiteinrichtungen, gehört. Dies ist insofern bedeutend, da bei der Lärmbekämpfung auch Maßnahmen im Ausbreitungsweg (z.B. Lärmschutzwände) zur Verfügung stehen, während die Luftqualität nahezu ausschließlich durch Maßnahmen an der Quelle (Emissionsreduzierung) verbessert werden kann.

Der Vortrag gibt einen Überblick über Unterschiede und Ähnlichkeiten bei der bisherigen und zukünftigen Entwicklung von wissenschaftlichen Ausbreitungsmodellen bzw. ingenieurmäßigen Prognoseverfahren bezogen auf Luftbeimengungen und Lärm. In der Zukunft wird es verstärkt darauf ankommen, die Luft- und Lärmbelastung, aber auch die Klimawirkung ganzheitlich anzugehen, nicht zuletzt um bei Maßnahmen in einem Segment gegenläufige Effekte im anderen Segment zu verhindern. Am Beispiel eines aktuellen Verkehrsforschungsprojekts wird gezeigt, wie künftig aktuelle wissenschaftliche Methoden der Verkehrsnachfragesimulation, sowie der Modellierung und Bewertung von Luft-, Lärm- und Klimawirkungen im Zuge der Betrachtung von Zukunftsszenarien des Verkehrs und der Definition operationeller und technologischer Maßnahmen zur Minderung der Umweltbelastungen ineinandergreifen können.

## **Wie sauber ist die Luft heute? Wie sauber wird sie in der Zukunft?**

Analysen, Prognosen, Maßnahmen

*Alfred Trukenmüller, Johanna Appelhans*

*Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau  
alfred.trukenmueller@uba.de*

Aufgrund der Emissionsminderungsmaßnahmen der vergangenen Jahre ist die Luftbelastung in Deutschland stark zurückgegangen. Dennoch werden an vielen Orten – besonders in stark verkehrsbelasteten Innenstädten – die Luftqualitätsgrenzwerte für Feinstaub und Stickstoffdioxid überschritten. Dies belegen Auswertungen des Umweltbundesamtes.

Die erhöhten Luftschadstoffkonzentrationen haben negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt. Um Mensch und Umwelt zu schützen, sind weitere Maßnahmen zur Minderung von Luftschadstoffen umzusetzen.

Das Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung – PAREST“ hat eine Vielzahl weitergehender Emissionsminderungsmaßnahmen identifiziert und zu Szenarien zusammengefasst. Mithilfe von Ausbreitungsmodellen wurde bewertet, welche Szenarien und Maßnahmen die Luftbelastung wirksam mindern können.

Der Vortrag bietet einen Überblick über die Luftbelastung in Gegenwart und Zukunft und über die untersuchten Maßnahmen und Szenarien.

## Das PM<sub>2,5</sub> Feinstaub Hintergrund-Messnetz des Deutschen Wetterdienstes Erste Ergebnisse

*Uwe Kaminski<sup>1)</sup>, Mathieu Fricker<sup>1)</sup>, Volker Dietze<sup>1)</sup>*

*1) Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung, Stefan-Meier-Strasse 4, 79104 Freiburg i. Brsg., E-Mail: uwe.kaminski@dwd.de*

Aus Ressourcengründen automatisiert der Deutsche Wetterdienst (DWD) kontinuierlich sein Beobachtungsnetz. 12 seiner Wetterwarten hat der DWD aber als Klimareferenzstationen festgelegt, die auch weiterhin rund um die Uhr personell besetzt sind. Mit den Daten dieser Stationen werden vor allem klimatologische Fragestellungen bearbeitet. Seit 2009 ist auch die Langzeitüberwachung der Hintergrundbelastung des PM<sub>2,5</sub> Feinstaub in das „Klima-Monitoring“ des DWD mit einbezogen, weil Feinstaub als kritischer Luftschadstoff laut WHO eine hohe gesundheitliche Relevanz besitzt (Auswirkungen auf Herz-, Kreislauf- und Atemwegserkrankungen) und durch kleinste Partikel auch Prozesse wie die Wolkenbildung, oder die Streuung und Absorption der Sonnenstrahlung („global dimming“) sowie die Sichtweite beeinflusst werden.

Der DWD ist laut DWD Gesetz für die Erbringung meteorologischer Dienstleistungen für die Allgemeinheit oder einzelne Kunden und Nutzer, u. a. auf dem Gebiet des Gesundheitswesens zuständig und laut Strategie zur Gewinnung von Daten zur Beschreibung des Zustandes der Atmosphäre, seiner Variabilität und seine Änderungen. Mit den Feinstaubmessungen des DWD wird keine Grenzwertüberschreitung überwacht, sondern kontinuierlich die Hintergrundbelastung bestimmt. Dies ist als gesundheitliche Vorsorge zum Schutz der Allgemeinheit und insbesondere von Risikogruppen zu sehen und liefert Informationen über den Zustand der Atmosphäre. Die Daten werden im Internet veröffentlicht.

Für eine Langzeitüberwachung der Hintergrundkonzentration von PM<sub>2,5</sub> Feinstaub in Deutschland sind auf Grund der langen Aufenthaltsdauer der Partikel in der Atmosphäre keine zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Messverfahren notwendig, hier sind Wochenmittel und etwa 10 Messstationen ausreichend. Parallelmessungen mit Referenzverfahren zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit dem DWD-Messverfahren.

Die vorliegende Untersuchung stellt für Deutschland erste Ergebnisse aus den fast 3-jährigen Messungen dar.

Im Rahmen des Messprogramms wird gravimetrisch nicht nur der PM<sub>2,5</sub> Feinstaub bestimmt, sondern auch der Russanteil („Black Carbon“) und die anorganischen Ionen. Aus diesen Informationen ergeben sich Hinweise auf anthropogene und natürliche Quellen des Feinstaubes. Aus der Bestimmung der Massenkonzentration des PM<sub>2,5</sub> Feinstaubes (s. o.) und der Massenkonzentration der Partikel von 2,5 bis 10 µm Durchmesser mit Hilfe eines Passiv-Sammelverfahrens und einer nachfolgenden vollautomatischen lichtmikroskopischen Bildanalyse (VDI 2119, 2011) lässt sich sogar die PM<sub>10</sub> Konzentration bestimmen. Beide Methoden zusammen haben den Vorteil, dass sie Hinweise auf Quellen des Grobstaubs (2,5 - 10 µm) und des PM<sub>2,5</sub> Feinstaubes geben und welcher Anteil zu einer Erhöhung der PM<sub>10</sub> Konzentrationen führt.

## Partikelflussmessungen zur Untersuchung von Deposition/Emission an einem suburbanen Standort

Klaus Kordowski<sup>1,\*</sup>, Alexander Rieks<sup>1,2</sup>, Stephan Weber<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Klimatologie und Umweltmeteorologie, Institut für Geoökologie, Technische Universität Braunschweig, \* k.kordowski@tu-bs.de*

<sup>2</sup> *Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Universität Duisburg-Essen*

Die Dynamik des atmosphärischen Aerosols an der Grenzfläche Erde/Atmosphäre ist nicht nur vor dem Hintergrund der globalen Klimaentwicklung ihrer Modellierung von Bedeutung, sondern spielt auch bei der Ausprägung der lokalen Luftqualität in Hinsicht auf die Partikelkonzentration eine entscheidende Rolle. Dies gilt nicht nur für Quellprozesse im städtischen Umfeld, sondern auch für den Prozess der Entfernung von Partikeln aus der Atmosphäre durch (trockene) Deposition.

Die direkte Quantifizierung des turbulenten Aerosoltransportes in der atmosphärischen Grenzschicht ist mittels der Eddy-Kovarianz-Methode (EC) durch Weiterentwicklung der Partikelmessstechnik in den letzten Jahren möglich geworden. Der vorliegende Beitrag präsentiert Ergebnisse einer EC-Messkampagne von Partikelflüssen über einer Grünland-/Ackerfläche an einem suburbanen Standort in Essen. Hier wurde im Zeitraum von März bis Juni 2010 der turbulente Gesamtpartikelanzahlfluss im Partikelgrößenbereich  $5 \text{ nm} < \text{Partikeldurchmesser } D_p < 3 \text{ }\mu\text{m}$  durch die Kopplung eines zeitlich hoch auflösenden Kondensationspartikelzählers (CPC) und eines 3D-Ultraschallanemometers gemessen. Während eines fünfwöchigen Zeitraums wurde darüber hinaus die Partikelgrößenverteilung im Bereich  $5,6 \text{ nm} < D_p < 560 \text{ nm}$  mit einem Mobilitätsspektrometer (FMPS) untersucht.

Der anthropogene Emissionszyklus ist im diurnalen Verlauf der Partikelanzahlkonzentration festzustellen (Gesamtmittelwert der Anzahlkonzentration  $1,5 \cdot 10^4 \text{ # cm}^{-3}$ ), hierbei zeigt sich eine Anströmungsabhängigkeit, die standortspezifische Gegebenheiten widerspiegelt. Insgesamt weisen die Partikelflüsse über der betrachteten Fläche einen Emissionscharakter auf (Mittel der Partikelanzahlflusses  $F_N = 3,2 \cdot 10^6 \text{ # m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). In etwa 50 % aller Fälle zeigte sich jedoch eine Nettodeposition von Partikeln mit einer mittleren Depositionsgeschwindigkeit  $V_d = 0,23 \text{ cm s}^{-1}$  (Median  $V_d = 0,11 \text{ cm s}^{-1}$ ). Die Wahl der Methoden zur Qualitätssicherung der Flussmessungen sowie der Trendbereinigung der Konzentrationsreihe vor der Kovarianzberechnung hat jedoch einen starken Einfluss auf die absolute Höhe des Partikelaustausches und führt unter Umständen auch zu einer Umkehrung des mittleren Vorzeichens.

Neben diesen methodischen Aspekten sollen der Einfluss meteorologischer Variablen auf den turbulenten Aerosoltransport sowie Zusammenhänge mit der Aerosolgrößenverteilung diskutiert werden.



## Landesweite Bestimmung des Verkehrseinflusses auf die Luftqualität im Land Brandenburg

V. Diegmann<sup>1</sup>, U. Friedrich<sup>2</sup>, G. Gässler<sup>1</sup>, L. Neunhäuserer<sup>1</sup>, R. Stern<sup>3</sup>

1 IVU Umwelt GmbH, Freiburg, volker.diegmann@ivu-umwelt.de

2 LUGV Brandenburg, Potsdam

3 Rainer Stern, Berlin

### Zusammenfassung

Zur Untersuchung des Einflusses des Straßenverkehrs auf die Luftqualität im Land Brandenburg wurden landesweite Modellrechnungen für Kfz-Emissionen, flächendeckende Immissionsvorbelastungen und Gesamtbelastungen in bebauten Straßenräumen des Hauptstraßennetzes durchgeführt.

Als Ergebnis wurden für alle vom Straßenverkehr stark belasteten Innerortsstraßen mit vorhandener Randbebauung die Gesamtbelastungen für die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM10/PM2,5 berechnet.

Die Emissionen des Kfz-Verkehrs wurden auf Basis des attribuierten Straßennetzes der Umweltverkehrsdatenbank (USDB) unter Verwendung des aktuellen HBEFA 3.1 mit IMMIS<sup>em</sup> berechnet. Eine Beschreibung der Vorgehensweise findet sich in [1]. Zur Berücksichtigung einer für Brandenburg repräsentativen regionalen Flotte wurde für je einen Straßenquerschnitt in Potsdam und Cottbus die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte durch Kennzeichenerfassungen in den Jahren 2009 und 2010 ermittelt.

Die Bestimmung der Luftschadstoffvorbelastung stellt eine komplexe Aufgabenstellung dar. Im Allgemeinen kann bei einer landesweiten Betrachtung aufgrund des dafür nötigen Aufwands kein detailliertes Modellverfahren angewendet werden, bei dem für jeden Straßenabschnitt eine individuelle Vorbelastung ermittelt wird, wie es z. B. in den Berechnungen zum Luftreinhalteplan Potsdam zur Anwendung kommt, sondern es muss auf großräumigere Ansätze zurückgegriffen werden. Bei einer Bestimmung der landesweiten Vorbelastungen sollten zum einen Messdaten von Hintergrundstationen wie auch chemische Bildungsprozesse bei NO<sub>2</sub> und PM10/2.5 berücksichtigt werden. Deshalb wurde ein Verfahren angewendet, wie es z. B. konzeptionell auch beim landesweiten Internetscreening in NRW zum Einsatz kommt, bei dem Interpolationen von Messinformationen mit Daten aus Modellrechnungen kombiniert werden. Im Unterschied zur Anwendung in NRW kam in Brandenburg anstatt des Modells EURAD das Modell REM-CALGRID(RCG) zum Einsatz.

Man kann davon ausgehen, dass in einem Gebiet der Größe des Bundeslandes Brandenburg sowohl bei PM10 als auch bei NO<sub>2</sub> luftchemische Prozesse einen relevanten Einfluss auf die Vorbelastung haben. Dies macht für die Modellierung den Einsatz photochemischer Modelle nötig. Mit solchen Modellen können außerdem NO-, NO<sub>2</sub>- und Ozonkonzentrationen als die Eingangsdaten für einfache NO<sub>2</sub>-Konversionsmodelle zur Bestimmung der Gesamtbelastung bereitgestellt werden.

RCG ist ein mesoskaliges Chemie-Transport-Modell, das an der Freien Universität Berlin entwickelt wurde und für deutschlandweite Immissionsprognosen im Auftrag des Umweltbundesamts eingesetzt wird. Die Anwendung des Modells erfolgte für drei Skalen:

- die europäische Skala,
- die deutschlandweite Skala,
- die regionale Skala (Brandenburg).

Dabei lieferte die europaweite Rechnung die Hintergrundkonzentrationen für die deutschlandweite Skala und diese wiederum die Hintergrundkonzentration für die regionale Skala. Die Emissionsdaten für andere Quellen als Straßenverkehr und genehmigungsbedürftige Anlagen wurden aus dem PAREST-Projekt übernommen. Die Berechnung der Vorbelastung für die Prognosejahre 2010 und 2015 erfolgte auf der Basis von RCG-Prognosen nach der Delta-Methode.

Die Berechnungen der Gesamtbelastung im Straßenraum wurden mit dem Screeningsystem IMMIS<sup>luft</sup> durchgeführt. Dabei wurde neben dem neuen HBEFA 3.1 auch ein vereinfachtes Photochemiemodell für NO<sub>2</sub> angewendet.

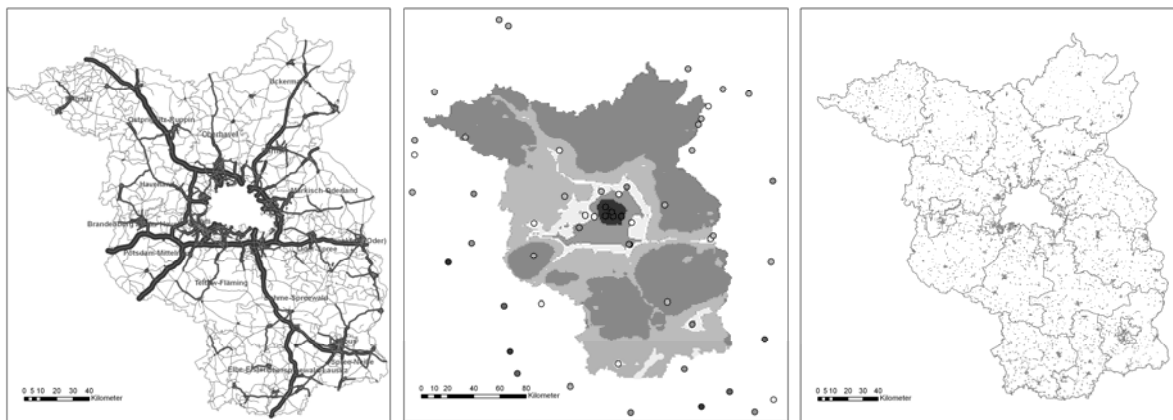
Für die Berechnungen wurde zunächst eine für Brandenburg spezifische Datengrundlage erarbeitet:

- Ermittlung der landesspezifischen aktuellen Fahrzeugflottenzusammensetzung auf Basis von Kennzeichenerfassungen,
- Attributierung des Hauptstraßennetzes zur Emissionsberechnung,
- Aufbereitung von Geometrieingangsdaten der Straßenrandbebauung für das Screeningverfahren aus vorliegenden GIS-Daten zur Straßenlage und Randbebauung,
- Auswahl von regionalisierten meteorologischen Eingangsdaten für das Screening.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden Sensitivitäten

- bezüglich der aus GIS-Daten abgeleiteten Bebauungsgeometrie und
- regional differenzierter meteorologischer Eingangsdaten auf die Immissionsbelastung betrachtet,

sowie eine Validierung in Form eines Vergleichs von Modell und Messung durchgeführt.



Darstellung der landesweiten Verkehrsbelastung (links), Vorbelastung für NO<sub>2</sub> (Mitte) und Abschnitte für die Gesamtbelastungen berechnet werden

## Literatur

- [1] Pfäfflin, F.; Diegmann, V.; Friedrich, U. 2011: Landesweite Emissionsmodellierung auf Basis des HBEFA 3.1. In: BASt (Hrsg.): Luftqualität an Straßen 2011. Tagungsband. Kolloquium der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), 30.-31.3.2011 in Bergisch Gladbach. 2011.

## Volatile Organic Compounds in the indoor air of occupied apartments

Uwe Schlink<sup>1</sup>, Stefan Röder<sup>1</sup>, Silvio Takacs<sup>1</sup>, Tibor Kohajda<sup>3</sup>,  
Ulrich Franck<sup>1</sup>, Alexander Thiem<sup>1</sup>, Carolin Rösch<sup>1</sup>, Irina Lehmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Core Facility Studies, <sup>2</sup> Dept. Environmental Immunology, <sup>3</sup> Dept. Metabolomics  
at Helmholtz Centre for Environmental Research UFZ, Leipzig, Germany

\* Corresponding author: uwe.schlink@ufz.de

In the indoor environment, concentrations of airborne Volatile Organic Compounds (VOC) depend on many factors, such as furniture, smoking, renovation, flat size, education of occupants, etc. Assessing the concentration levels of 47 VOCs associated with these factors, 2246 samples were passively taken in flats in Leipzig, Germany.

Applying quantile regression and a stepwise approach, we find strong evidence for factors of general impact on most of the VOC components, such as season, renovation, and smoking. Other impact factors are very specific to the VOC components. For example, wooden flooring (parquet) and new furniture increase the concentration of terpenes as well as high education and income of the inhabitants. The calculated quantile functions demonstrate that seasonality of indoor VOC is most pronounced in flats where high concentrations occur and therefore presumed to be only sparsely ventilated during cold season.

Smokers ventilate their flats in an extent that in general reduces the VOC concentrations, except for benzene (contained in tobacco smoke), which is still higher in smoking than in non-smoking flats. Very often dampness is associated with an increased VOC burden in indoor air. An investigation of mixtures emphasizes a high burden of co-occurring terpenes in very small and very large apartments.

After renovation activities the decay of  $\alpha$ -pinene amounts to  $(9.6 \pm 3.7)\%$  per month and the estimated half-life period for  $\alpha$ -pinene is  $(7.2 \pm 2.8)$  months. Percentage decay and half-life periods were calculated for all considered VOC components (see Figure 1 for undecane).

For an extrapolation from the season when VOCs were sampled to the maximum concentration during a year, Schlink et al. (2004) suggested adjustment factors. Similarly, on the basis of our comprehensive population sample in occupied flats in Leipzig, Germany, we not only quantified the decay of VOC concentrations in the aftermath of selected renovation activities, but also calculated adjustment factors for a back-propagation of the concentration to the highest level that probably occurred during renovation activities. From the assessed half-life periods we provide a table of factors to hindcast the concentration at renovation from a measurement taken at a later month. The measured concentration has to be multiplied by this factor.

For example, from an  $\alpha$ -pinene concentration of  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  observed 6 months after renovation, the hindcast to the concentration during renovation is  $10 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times 1.096^6 = 17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . If the observation was in summer and the renovation in winter, an additional seasonal adjustment is needed:  $17.3 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \times 2.082 \approx 36.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . For a given

indoor environment, this procedure makes a prediction of the average VOC burden possible. Surprisingly, the seasonal pattern is the most dominant factor in the variation of indoor VOC and strongly superimposes even the decay after renovation activities.

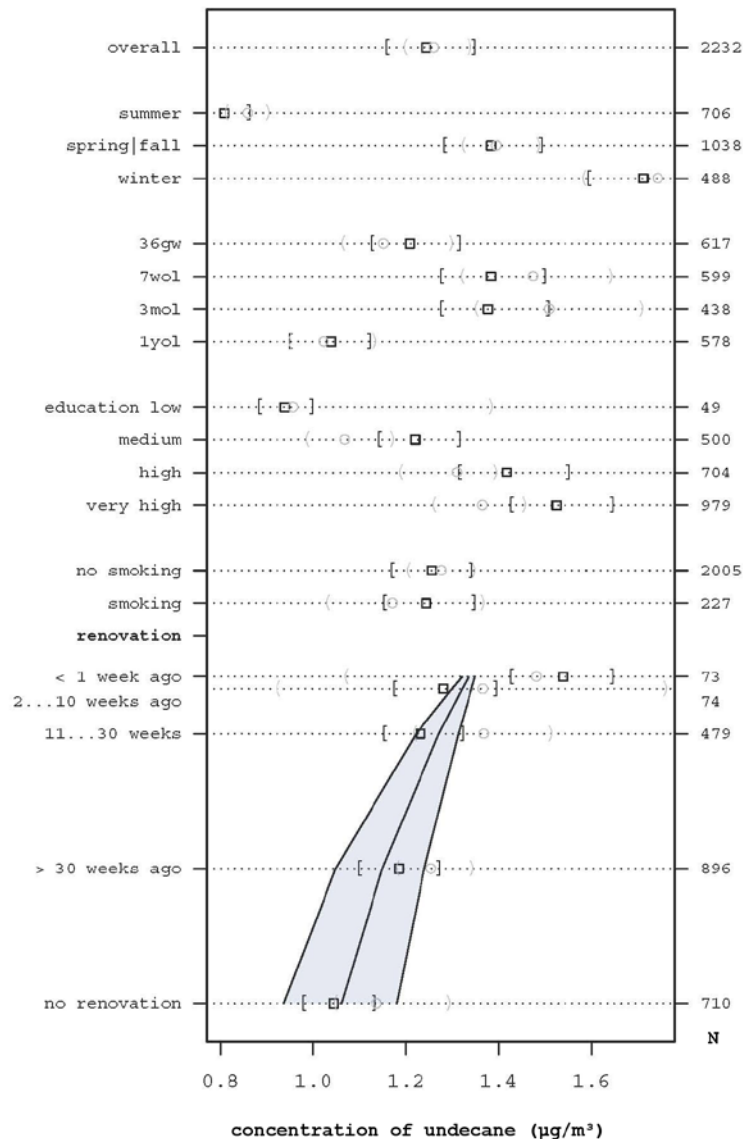


Figure 1: Effects of season, sampling period, education, smoking and renovation on the undecane concentration. The lower part presents the exponential decay (with 95% confidence interval) after renovation. Black boxes and brackets represent the median with 95% confidence interval in result of the quantile regression model. Grey symbols refer to the raw data.

U. Schlink, M. Rehwagen, M. Damm, M. Richter, M. Borte, O. Herbarth, 2004: Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. *Atmospheric Environment* **38**, 1181-1190.

## Numerische Untersuchungen zum meteorologischen Einfluss auf die Lärmausbreitung im urbanen Umfeld

*Gabi Fischer<sup>1)</sup> und Astrid Ziemann<sup>2)</sup>*

- 1) *Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig,  
gfischer@uni-leipzig.de*
- 2) *TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, 01062  
Dresden, astrid.ziemann@tu-dresden.de*

Lärm ist besonders im urbanen Raum ein Umweltproblem, das nicht nur zu einer Einschränkung der Lebensqualität, sondern auch zu erheblichen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bevölkerung führt. Zu den wesentlichen Lärmquellen im urbanen Raum zählt der Straßenverkehr. Die Ausbreitung von Schallwellen von der Lärmquelle bis zum Immissionsort hängt, besonders bei längeren Entfernungen, von der Atmosphärenstruktur ab. Dieser Atmosphäreneinfluss ist allerdings in gegenwärtigen Ingenieurmodellen (basierend auf Richtlinien zur Bestimmung des Umgebungslärms) nur sehr vereinfacht enthalten, so dass die damit berechneten Lärmwerte die Wirklichkeit nicht umfassend widerspiegeln.

Eine typische Situation für die Ausbreitung von Schallwellen über größere Strecken, verbunden mit einer individuellen Lärmbelastigung, ist die Nähe einer Hauptverkehrsstraße oder Autobahn zu einer Siedlung am Stadtrand. Messungen an Autobahnen im urbanen Umfeld ergaben dabei bis zu 5 dB höhere bzw. 11 dB geringere mittlere Schallpegel im Vergleich zu Ergebnissen von Berechnungen mit Ingenieurmodellen. Ziel dieser Studie ist es, den Atmosphäreneinfluss auf die Schallausbreitung im urbanen Raum realitätsnah abzuschätzen, in dem die zeitlich variablen sowie horizontal und vertikal inhomogenen Atmosphärenparameter berücksichtigt werden.

Für diese Untersuchungen zum meteorologischen Einfluss auf die Schallausbreitung im Freien wurde das Modell SMART weiterentwickelt, mit dem insbesondere die Wirkung der Schallbrechung und der Luftabsorption auf die Schallausbreitung erfasst wird. SMART wurde an die Anforderungen der inhomogenen Atmosphärenstruktur des urbanen Raumes angepasst, in dem nicht nur vertikale, sondern auch horizontale Gradienten der atmosphärischen Parameter Temperatur und Strömungsvektor im Modell berücksichtigt werden können.

Um die Wirkung verschiedener urbaner Strukturen auf die Atmosphärenparameter und damit auf die meteorologisch bedingte Lärmexposition der Stadtbevölkerung zu untersuchen, wurden in dieser Studie Simulationen mit dem dreidimensionalen mikrometeorologischen Stadtklimamodell ENVI-met durchgeführt. In ENVI-met wurde die Situation einer stark befahrenen Straße in der Nähe eines Wohngebietes implementiert. In Abhängigkeit von verschiedenen Arten der Stadtrandstrukturen (Variation des Bebauungstyps und der Vegetation, Einbeziehung einer Schallschutzwand) und von weiteren Randbedingungen (z.B. Jahreszeit) wurden zahlreiche Temperatur- und Strömungsfelder simuliert. Aus diesen dreidimensionalen Feldern wurden im nächsten Schritt entlang einer Geraden die horizontal inhomogenen Vertikalprofile der Atmosphärenparameter extrahiert und an das Schallausbreitungsmodell SMART übergeben. Ausgehend von typischen Emissionsspektren des Verkehrslärms konnte ermittelt werden, in welchen Schallfrequenz- und Entfernungsbereichen der Einfluss der horizontalen Inhomogenitäten in der Atmosphärenstruktur oder der Einfluss der Luftabsorption dominant ist.

## Messung und Modellierung meteorologischer Effekte auf die Schallausbreitung im Tharandter Wald

*Astrid Ziemann<sup>1)</sup>, Markus Hehn<sup>1)</sup>, Manuela Barth<sup>2)</sup>*

*1) TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, 01062 Dresden, astrid.ziemann@tu-dresden.de*

*2) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig*

Lärm ist ein Umweltproblem, bei dem trotz aktueller Bemühungen um aktive und passive Minderung bisher nur wenige Fortschritte erzielt wurden. Eine gegenwärtig diskutierte Möglichkeit des Lärmschutzes sind Vegetationsbestände als Hindernisse im Schallpfad, die zu einer Schalldämpfung führen. Dazu zählen auch Waldgebiete unterschiedlicher Struktur und Ausdehnung. Homogene Waldbestände, aber auch Waldlichtungen beeinflussen signifikant die Struktur der atmosphärischen Grenzschicht im Vergleich zum Umland. Diese Modifikation des meteorologischen Systems führt zu einer veränderten Schallausbreitung in Waldgebieten und wird in der vorgestellten Studie mit Messungen im Tharandter Wald und Simulationen mit Atmosphären- und Schallausbreitungsmodellen untersucht. Als Ziel der Analysen sollen Parametrisierungen des Waldeinflusses auf die Schallausbreitung in Abhängigkeit von meteorologischen und vegetationsspezifischen Randbedingungen für die Berechnung der meteorologisch beeinflussten Schallimmission abgeleitet werden. Dies ermöglicht auch eine praxisrelevante Anwendung in genormten Schallausbreitungsmodellen.

Zur numerischen Simulation des meteorologischen Regimes werden ein- bzw. zweidimensionale Versionen des Grenzschichtmodells HIRVAC mit hochaufgelöster Vegetationsschicht genutzt. Die mittels Laserscan bestimmte Vegetationsverteilung des Messgebietes im Tharandter Wald wird dazu in das Grenzschichtmodell übertragen. Damit ist es möglich, die Strömungsverhältnisse auf einer Waldlichtung und in einem Waldbestand der Umgebung zu simulieren. Die berechneten Felder meteorologischer Größen werden anschließend als Eingangsdaten für das Schallausbreitungsmodell SMART genutzt. Unter Verwendung von Schallstrahlensimulation kann mit diesem Modell die Zusatzdämpfung des Schalls durch Schallbrechung für verschiedene, auch horizontal inhomogene, thermische Schichtungen sowie vertikale Windvektorprofile modelliert werden. Außerdem kann mit SMART der Einfluss der Schallabsorption der Luft, die Schallreflexion am Erdboden und der Turbulenzeinfluss mit Hilfe von Parameterfunktionen berücksichtigt werden.

Die erzielten Simulationsergebnisse werden mit Messungen verglichen um abzuschätzen, ob alle relevanten Prozesse von der Modellkette dargestellt werden. Eine erste Messkampagne wurde im Spätsommer 2011 im Tharandter Wald durchgeführt. Die Schallausbreitung auf einer Lichtung (mit einer Ausdehnung von ca. 115 m) und im angrenzenden Waldbestand wurde über eine akustische Pfadlänge von ca. 190 m mit 5 Messmikrofonen gemessen. Dazu wurden künstlich erzeugte Signale unterschiedlicher Frequenz und Länge benutzt. Die meteorologischen Messungen umfassten u.a. vertikale Temperatur- und Windprofile, die mit 30-40 m hohen Messtürmen auf der Waldlichtung und im angrenzenden Waldbestand aufgenommen wurden. Erste Resultate des Vergleichs von Messwerten und Modellergebnissen sowie von Sensitivitätsstudien zum Einfluss verschiedener Vegetationsparameter und meteorologischer Randbedingungen auf die Schallausbreitung werden vorgestellt.

## Tendenzen der NO<sub>2</sub>-Belastung im Land Brandenburg von 1997 bis 2020

*I. Düring<sup>1)</sup>, U. Friedrich<sup>2)</sup> M. Ketzel<sup>3)</sup>, F. Dünnebeil<sup>4)</sup>,  
H. Ellner<sup>5)</sup>, T. Schönefeld<sup>6)</sup>*

*1) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Mohrenstraße 14, D- 01445 Radebeul, ingo.duering@lohmeyer.de*

*2) Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg, Seeburger Chaussee 2, D- 14467 Potsdam*

*3) Department of Environmental Science, National Environmental Research Institute, Aarhus University, Frederiksborgvej 399, DK-4000 Roskilde, Denmark*

*4) IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg*

*5) Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Abt. 5 Umwelt, Klimaschutz, Nachhaltigkeit, Sachgebietsleiterin Gebiets- und verkehrsbezogener Immissionschutz Albert-Einstein-Str. 42-46, 14473 Potsdam*

*6) Planungsbüro Dr.-Ing. Ditmar Hunger, Stadt-Verkehr-Umwelt (SVU), Gottfried-Keller-Straße 24, 01157 Dresden*

### **Einführung**

Das Ministerium Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg hatte im Rahmen eines Forschungsprojektes eine vertiefte Ursachenanalyse für die Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Land Brandenburg in Auftrag gegeben. Für die Messstationen „Bahnhofstraße“ in Cottbus, „Leipziger Straße“ in Frankfurt (Oder) und „Zeppelinstraße“ in Potsdam wurde die Entwicklung der NO<sub>2</sub>- Immissionen im Zeitraum 1997 bis 2007 unter Berücksichtigung von NO- und primären NO<sub>2</sub>-Emissionen, Ozoneinfluss und Meteorologie untersucht. Aufbauend auf Messdaten aus der Luftgüteüberwachung, der Meteorologie und des Verkehrs (inkl. detaillierter Kennzeichenerfassungen), den Emissionsfaktoren nach HBEFa3.1 sowie durchgeführter Modellrechnungen wurden Prognosen der zukünftigen Belastung bis zum Jahr 2020 erstellt. Dies erfolgte insbesondere im Hinblick auf die Bewertung der Wirkung von Maßnahmen im Verkehrsbereich auf die zukünftige NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden vorgestellt.

### **Methoden**

Grundlagen für die Emissionsberechnungen im Forschungsprojekt waren die Verkehrsmengen, Tages- und Wochengänge des Verkehrs sowie die fahrzeugspezifischen Emissionsfaktoren. Zur Ermittlung der dynamischen Anteile der Motorkonzepte (EUROx-Normen) an der jeweiligen Fahrzeugflotte im Analysefall wurden in zwei der drei untersuchten Straßen Kennzeichenerfassungen durchgeführt und die erhobenen Daten mit dem Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) abgeglichen. Der Einfluss unterschiedlicher Fahrzeugflottenzusammensetzungen in den NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionsberechnungen wurde am Beispiel der Bahnhofstraße in Cottbus für das Bezugsjahr 2007 untersucht. Hier wurden die mittels Kennzeichenerfassung berechneten Emissionen für das Land Brandenburg der bundesdurchschnittlichen Flotte gegenübergestellt. Zusätzlich wurde der Fall betrachtet, bei dem nur der Brandenburg spezifische PKW-Dieselanteil, die EUROx-Normanteile aber aus bundesdurchschnittlichen Flotte verwendet wurden, um die Sensitivität der Ergebnisse auf die Unsicherheit der relevanten Eingangsgrößen abzuschätzen.

Unter Verwendung dieser Emissions- sowie Wind-, Strahlungs- und Temperaturdaten wurden NO<sub>2</sub>-Konzentrationen mittels des dänischen Operational Street Pollution Model (OSPM) inklusive integriertem Chemiemodell als Zeitreihe (Stundenwerte) für die Analysejahre und für die Prognosejahre 2010, 2015 und 2020 berechnet.

### **Ergebnisse**

Aus dem Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den gemessenen Konzentrationen und unter Variation der Eingangsdaten konnten die Einflüsse der Emissionsentwicklung, des Anstieges der primären NO<sub>2</sub>-Emissionen, der Globalstrahlung und der Windverhältnisse auf die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte quantifiziert werden. Weiterhin werden die Bandbreiten der zukünftig zu erwartenden NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Land Brandenburg angegeben sowie Schlussfolgerungen für die Luftreinhaltepläne formuliert.

### **Literatur**

Düring, I., Bächlin., W. (2009) : Tendenzen der NO<sub>2</sub>-Belastung im Land Brandenburg. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Unter Mitarbeit von IFEU GmbH, Heidelberg, dem Planungsbüro Dr. Hunger, Dresden und des Dänischen National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde; Dezember 2009.

OSPM (2009): OSPM - webseite: <http://OSPM.dmu.dk/>



## Verkehrsszenarienentwicklung und Auswirkung auf die Luftqualität im Großraum in Santiago de Chile

Suppan, P.<sup>(1)</sup>, Nogalski, M.<sup>(1)</sup>, Werhahn, J.<sup>(1)</sup>, Forkel, R.<sup>(1)</sup>, Uhrner, U.<sup>(2)</sup>, Justen, A.<sup>(3)</sup>

- 1) Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute for Meteorology and Climate Research (IMK-IFU), Kreuzteckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany, [peter.suppan@kit.edu](mailto:peter.suppan@kit.edu)
- 2) Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Graz, Austria
- 3) Institute of Transport Research, DLR, Berlin, Germany

Im Rahmen des Projektes "Risk-Habitat-Megacity" wurde eine Modellkette zur Abschätzung der Verkehrsemissionen auf die Luftqualität im Großraum Santiago de Chile entwickelt. Ein weiteres Ziel in diesem Projekt war die disziplinübergreifende Ausarbeitung verschiedener Szenarien, um eine nachhaltige Entwicklung von Santiago zu unterstützen.

Basierend auf dem lokal entwickelten Verkehrsmodell ESTRAUS wurden die Verkehrsflüsse auf dem gesamten Straßennetz (ca. 8000 Straßenzüge) in Santiago berechnet. Die entsprechenden Verkehrsemissionen wurden dann mit dem auf die chilenischen Flotten angepassten Emissionsfaktoren für diese Straßenzüge mit dem Verkehrsemissionsmodell MODEM simuliert. Die sich anschließende Ausbreitung der Verkehrsemissionen auf der Mikroskala, wurde auf der Basis des meteorologischen Bezugsjahr 2006 mit Hilfe des Grazer Lagrange Model (GRAL) bestimmt. Die notwendige Ankopplung zur Mesoskala konnte nicht realisiert werden, da das offiziell vorliegende Emissionskataster für die Emissionen aus Industrie, Hausbrand und größeren Kraftwerksanlagen keine sinnvollen Ergebnisse in den Ausbreitungsrechnungen mit WRF/chem zuließ.

Im Rahmen der Szenarienentwicklung war das Jahr 2010 der Ausgangspunkt für die zukünftige soziale und wirtschaftliche Entwicklung der Metropole. Die Szenarien, die das Jahr 2030 repräsentieren, wurden definiert als *business as usual* (BAU), *collective responsibility* (CR) und *market individualism* (MI) Szenario. Aus diesen übergeordneten Vorgaben, wurden spezifische Kenngrößen für die Entwicklung des Transportwesens und damit für die Luftqualität abgeleitet. Hierzu zählen u.a. das Bevölkerungswachstum, Kfz pro Haushalt, gefahrene km, Ausbau von Straßen und nicht zuletzt die Zusammensetzung der Verkehrsflotte und deren zukünftigen Emissionsstandards.

Je nach den hinterlegten Informationen in den Szenarien, ergaben sich signifikante Unterschiede in den zukünftigen Schadstoffbelastungen. Die Ergebnisse zeigten auch für die zukünftigen Szenarien hohe Schadstoffkonzentrationen an den Ein- und Ausfallstraßen. Generell konnte aber eine signifikante Abnahme der primären Schadstoffe CO, NO<sub>x</sub>, VOC für alle Fahrzeugtypen festgestellt werden. Nur für die partikelgetragenen Schadstoffe war das Ergebnis uneinheitlich. Aufgrund der Zunahme der Anzahl der PKWs, war für diesen Fahrzeugtyp eine deutliche Zunahme, bedingt durch die nichtauspuffgetragenen Partikel, prognostiziert worden.

## **Analysen und Prognosen der Luftschadstoffsituation mit IMMIKART GIS am Beispiel PM2.5 in Sachsen.**

*H. Lorentz<sup>1)</sup>, I. Düring<sup>1)</sup>, U. Wolf<sup>2)</sup>, W. Schmidt<sup>1),3)</sup>*

*1) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul, helmut.lorentz@lohmeyer.de, ingo.duering@lohmeyer.de*

*2) Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Pillnitzer Platz 3, D-01326 Dresden, Uwe.Wolf@smul.sachsen.de*

*3) Technische Universität Dresden, Hettnerstraße 1, D-01062 Dresden, wolfram.schmidt@tu-dresden.de*

### **Einführung**

Auch in Sachsen werden in Ballungsräumen wie Dresden und Leipzig Grenzwertüberschreitungen für PM10, NO<sub>2</sub> gemessen. Die in der 39. BImSchV geforderten Luftreinhalte- bzw. Aktionspläne werden in der Regie der jeweiligen Landesdirektion durchgeführt. Die eigentlich fachliche Arbeit wird vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen (LfULG) durchgeführt. Das LfULG hatte zu diesem Zweck und zur allgemeinen Beschreibung der Immissionsituation in Sachsen (Erstellung von Immissionsberichten) das Programmsystem IMMIKART GIS vom Büro Lohmeyer entwickeln lassen. Damit sollten auch Sachsenweite Analysen und Prognosen (2015 und 2020) für Feinstaub PM2.5 erarbeitet werden.

### **IMMIKART GIS**

IMMIKART GIS ist ein reines Ausbreitungsmodellsystem, welches die zur Immissionsbestimmung benötigten Emissionen (Verkehrsemissionen) aus dem Emissionskataster Sachsen bezieht. In der Version 3.4 beinhaltet IMMILKART GIS folgende Module:

- ein auf Messwerte basierendes Interpolationsverfahren zur flächendeckenden Auskunft (2.5 x 2.5 km-Raster) über Schwefeldioxid- und Ozonkonzentrationen,
- einer auf dem Emissionskataster Sachsen basierenden und mit Messwerten evaluierten LASAT - Ausbreitungsrechnung zur flächendeckenden Auskunft (2.5 x 2.5 km Raster) über Stickstoffdioxid-, PM2.5- und PM10-Konzentrationen,
- eine auf MLuS 02 basierende Bestimmung von Stickstoffdioxid-, PM2.5- und PM10-Konzentrationen entlang von Außerortsstraßen wie Autobahnen und Bundesstraßen,
- die Berechnung verkehrsbedingter Schadstoffkonzentrationen entlang komplexer Straßennetze in Ballungsräumen mit dem Modell PROKAS bzw. PROKAS\_B. Es werden Schadstoffkonzentrationen am Straßenrand berechnet. Die Straßenrandbebauung wird parametrisiert bezogen auf jeden Straßenabschnitt berücksichtigt, wobei für jeden Straßenabschnitt ein Bebauungstyp definiert wird. Die Immissionen am Straßenrand werden dann mit für die jeweiligen Bebauungstypen vorgerechneten MISKAM-Konzentrationsfeldern ermittelt. Die flächenhafte Hintergrundkonzentration wird für ein 1 x 1 km-Raster mit LASAT unter Berücksichtigung der Topographie und Landnutzung berechnet und mit örtlichen Messungen evaluiert. Die Gesamtbelastung resultiert aus der verkehrsbedingten Zusatzbelastung und der ermittelten Vorbelastung, sowie
- ein Darstellungsmodul, mit dem alle Ergebnisse und Zwischenergebnisse automatisch in ArcGIS zur Ansicht gebracht werden können.

IMMIKART GIS hat Schnittstellen zum Emissionskataster Sachsen und zu Fachinformationssystemen einzelner Städte, sodass Eingangsdaten wie Bebauungsdaten etc. in IMMIKART GIS eingespielt werden können. Möglich wird das durch den Einsatz des Geographischen Informationssystems ArcGIS.

Die Ansteuerung der Ausbreitungsmodelle und Auswertung der Ergebnisse sowie die Handhabung der Schnittstellen von IMMIKART GIS erfolgt unter der grafischen Nutzeroberfläche von ArcGIS.

Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden mit IMMIKART GIS die Luftreinhaltepläne Leipzig und Dresden fertig gestellt. Die für Chemnitz, Görlitz, Plauen und Zittau sind in Arbeit.

Mit IMMIKART GIS ist das LfULG befähigt, die Immissionssituation in Sachsen in unterschiedlicher Untersuchungstiefe zu analysieren und zu prognostizieren.

### **Anwendung**

Der Vortrag zeigt am Beispiel der Feinstaubpartikel PM<sub>2.5</sub> die Berechnungsmethodiken und Ergebnisse für Sachsenweite Analysen sowie Prognosen für die Bezugsjahre 2015 und 2020 auf. Grundlage ist hierfür ist das für das LfULG durchgeführte Forschungsprojekt „Verursacher, flächenhafte Belastung und Tendenzen für PM<sub>2.5</sub> in Sachsen“

## Immissionsprognose unter geänderten Klimabedingungen

*Jost Nielinger<sup>1</sup>, Holger Göttel<sup>2</sup>, Werner-Jürgen Kost<sup>1</sup> und Markus Hasel<sup>1</sup>*

*1) iMA Richter & Röckle, Stuttgart, Hauptstrasse 54, 70839 Gerlingen*

*2) Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 14193 Berlin*

Die Immissionsprognose nach TA Luft ist in Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in der Regel das zentrale Gutachten. Die Beurteilung möglicher Auswirkungen greift in zahlreichen Bereichen auf die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung zurück.

Vor dem Hintergrund der gegenwärtig wieder intensiver geführten Diskussion über die möglichen Folgen eines Klimawandels wird eine entsprechende Aussage zunehmend auch in Genehmigungsverfahren gefordert, auch wenn sie gesetzlich nicht vorgeschrieben und methodisch nicht definiert ist.

Tatsächlich gibt es kaum Erkenntnisse zum Thema „Änderung von Ergebnissen der Ausbreitungsrechnung unter Annahme geänderter Klimabedingungen“. Angesichts der Tragweite von Entscheidungen in Genehmigungsverfahren ist aber eine methodisch einheitliche, wissenschaftlich gesicherte und die Bedeutung der abgeleiteten Aussagen eindeutig definierende Vorgehensweise erforderlich. Bevor derartige Fragestellungen in Genehmigungsverfahren rechtssicher beantwortet werden können, besteht daher noch umfangreicher Forschungsbedarf.

Im Vortrag wird ein Fallbeispiel präsentiert, für das Ausbreitungsrechnungen sowohl mit meteorologischen Messdaten als auch unter geänderten Klimabedingungen exemplarisch durchgeführt wurden.

Zunächst wurde die systematischen Abweichungen der berechneten Immissionsmaxima im Vergleich „Nutzung meteorologischer Messdaten – Verwendung von Daten des Klimamodell-Kontrolllaufes“ untersucht. Diese können bis zu 48 % betragen und dürfen *nicht* einer Klimaänderung zugeschrieben werden.

Veränderungen, die mit möglichen Klimaänderungen einhergehen, ergeben sich erst aus dem Vergleich der Ausbreitungsrechnungen mit meteorologischen Daten aus dem Kontrolllauf und dem Klimaszenario. Im betrachteten Fallbeispiel steigen die Maxima der Immissionen um höchstens 12 % an.

## Modellierung der wetterabhängigen kombinierten Lärm- und Luftschadstoffbelastung in Leipzig

*Gabi Fischer<sup>1)</sup>, Uwe Schlink<sup>2)</sup> und Astrid Ziemann<sup>3)</sup>*

- 1) *Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, gfisher@uni-leipzig.de*
- 2) *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, uwe.schlink@ufz.de*
- 3) *TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, 01062 Dresden, astrid.ziemann@tu-dresden.de*

Im urbanen Raum stellt der Straßenverkehr eine wesentliche gemeinsame Quelle für die gesundheitsrelevanten Lärm- und Luftschadstoffbelastungen dar. Nur wenige Studien haben sich bisher mit der kombinierten Wirkung dieser beiden Stressoren beschäftigt (z.B. Weber, 2009). Analysen von Messwerten ergaben eine positive Korrelation zwischen den beiden Stressoren, die u.a. stark von den meteorologischen Bedingungen beeinflusst wurde. In Stadtgebieten sind die meteorologischen Felder der Temperatur und Strömung nicht homogen, sondern werden durch die komplexe Bebauung und Variabilität der Unterlage kleinräumig verändert. Demzufolge weisen auch die Luftschadstoff- und Lärmbelastungen im urbanen Umfeld eine räumliche Heterogenität auf.

Darüber hinaus sind die Immissionen dieser Stressoren auch zeitlichen Schwankungen unterworfen, die beispielsweise durch tageszeitliche Änderungen der Verkehrsdichte und des Atmosphärenzustandes hervorgerufen werden können. Die genaue Wirkung der Atmosphärenstruktur auf die kombinierte Ausbreitung und Immission von Luftbeimengungen und Lärm wurde in aktuellen Studien nur für ganz bestimmte Regionen untersucht (z.B. in Alpentälern, Heimann et al., 2010). In dieser Arbeit wurden die kombinierten Belastungssituationen im urbanen Umfeld, in einem ausgewählten Stadtgebiet in Leipzig, in Abhängigkeit von verschiedenen Wetterbedingungen simuliert und analysiert.

Die Simulationen des Atmosphärenzustandes und der Luftverschmutzung für verschiedene Luftbeimengungen wurden mit dem dreidimensionalen mikrometeorologischen Stadtklimamodell ENVI-met durchgeführt (Bruse, 1999). Variable meteorologische Randbedingungen (z.B. verschiedene Jahreszeiten) bildeten die Grundlage für die Simulationen über jeweils 24 Stunden. Parallel dazu erfolgten die Berechnungen zur kleinräumigen Schallausbreitung des Verkehrslärms für das betrachtete Stadtgebiet unter Berücksichtigung ingenieurtechnischer Modellansätze. Anschließend wurden die ENVI-met-Resultate mit den Schallberechnungen verknüpft.

Die Verbindung zwischen den aktuellen meteorologischen Bedingungen, der Lärm- und Luftschadstoffexposition und der menschlichen Gesundheit kann über human-biometeorologische Wirkungskomplexe beschrieben werden. Innerhalb dieser Studie wurde ein Belastungsmaß entwickelt, das gleichzeitig die Belastungen durch die beiden untersuchten Stressoren berücksichtigt und somit ein umfassenderes Maß für die gesundheitliche Belastung der Bewohner urbaner Räume darstellt.

Die vorläufigen Ergebnisse dieser Untersuchungen bezüglich des wetterabhängigen kombinierten Einflusses von Lärm- und Luftschadstoffbelastungen zeigen, dass bei verschiedenen Wetterbedingungen im Leipziger Stadtgebiet ‚hot spots‘ mit gesundheitsrelevanter Belastung identifiziert werden können. Die räumliche Verteilung von Umwelteinflüssen ist für die individuelle Exposition einer Person von Bedeutung, da diese während ihrer Bewegung im Stadtgebiet die Belastungen aufkumuliert (Schlink und Ragas, 2011).

#### Referenzen:

Bruse, M., 1999: Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima - Entwicklung des prognostischen numerischen Modells zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.

Heimann, D., K. Schäfer, S. Emeis, P. Suppan, F. Obleitner, U. Uhrner, 2010: Combined evaluations of meteorological parameters, traffic noise and air pollution in an Alpine valley. *Meteorol Z.* **19**, 47-61.

Schlink, U., A.M.J. Ragas, 2011: Truncated Levy flights and agenda-based mobility are useful for the assessment of personal human exposure. *Environ. Pollution* **159**, 2061-2070.

Weber, S., 2009: Spatio-temporal covariation of urban particle number concentration and ambient noise. *Atmos. Environ.* **43**, 5518-5525.

## Untersuchungen zur Schalldämpfung in Abhängigkeit von den meteorologischen Umgebungsbedingungen – ein klimatologischer Ansatz

Armin Raabe<sup>1)</sup>, Michael Wilsdorf<sup>1)</sup>, Hans-Jürgen Belitz<sup>2)</sup> und Astrid Ziemann<sup>3)</sup>

- 1) Universität Leipzig, Institut für Meteorologie, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, [mwils@uni-leipzig.de](mailto:mwils@uni-leipzig.de)
- 2) Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr, Mont Royal, 56841 Traben-Trarbach
- 3) TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie, 01062 Dresden

Die Eigenschaften der Ausbreitung von Schallwellen in der Atmosphäre hängen wesentlich von den meteorologischen Größen Temperatur und Windvektor ab. Vertikale Gradienten dieser Größen bewirken eine Brechung des Schalls und somit eine Richtungs- und Geschwindigkeitsänderung der Schallwellen. Dadurch wird auch die entfernungsabhängige Dämpfung von Schallpegeln beeinflusst.

Mit Hilfe des Schallstrahlenmodells **SMART** (Sound propagation Model of the Atmosphere using Ray-Tracing) werden Schallpegeldämpfungen berechnet, wobei in diesen Berechnungen die Auswirkungen der meteorologischen Verhältnisse auf die Schallausbreitung in der Atmosphäre berücksichtigt werden. Dabei geht die tages- und jahreszeitlich variierende vertikale Struktur der atmosphärischen Grenzschicht in die Berechnungen ein. Eine Besonderheit des Schallstrahlenmodells SMART ist die Abstimmung der numerischen Auflösung der zur Berechnung der entfernungsabhängigen Schalldämpfung verwendeten vertikalen Eingangsprofile mit den Vorgaben analytischer Lösungen sowie eine realitätsnähere Behandlung des Schallschattens.

Ergebnisse der SMART-Simulationen sind horizontale Karten der Schallpegeldämpfung in einer Höhe von 2 m in Bezug auf eine Schallquelle, die eine Entfernung von bis zu 15 km vom Immissionsort aufweisen kann. Diese Berechnungen erlauben einerseits eine schnelle Schallimmissionsprognose für aktuelle oder prognostizierte Schallausbreitungssituationen (Schallwetter). Andererseits besteht mit ihnen die Möglichkeit einer Regionalisierung eines Gebietes in schallklimatologisch "ähnliche" Teilgebiete.

Die den Ausbreitungsrechnungen zugrunde liegenden meteorologischen Eingangsdaten werden sowohl über Messungen von Radiosondenstationen gewonnen als auch durch Modelldaten des COSMO-Modells unterstützt. Die Datenmenge der Radiosondendaten erstreckt sich mittlerweile auf einen Zeitraum von 18 Jahren (1990 – 2007) und ist dabei in zwei Blöcke (1990 – 2000 und 2001 – 2007) unterteilt. Dies ermöglicht verschiedenste klimatologische Betrachtungen. Ergebnisse zu diesen schallklimatologischen Untersuchungen und den regionalen Unterschieden werden im Beitrag vorgestellt.

## VOC-Muster in Leipziger Innenräumen

*Carolin Rösch<sup>1)</sup>, Uwe Schlink<sup>1)</sup>, Stefan Röder<sup>1)</sup>, Tibor Kohajda<sup>1)</sup>, Ulrich Franck<sup>1)</sup>,  
Alexander Thiem<sup>1)</sup>, Irina Lehmann<sup>1)</sup>*

*1) Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ, Permoserstrasse 15, 04318  
Leipzig. carolin.roesch@ufz.de*

Der Mensch befindet sich mehr als 80% des Tages im Innenraum. Die darin ausgeübten Tätigkeiten des Alltags hinterlassen ihre Spuren oftmals in Form von leicht flüchtigen organischen Verbindungen, so genannten Volatile Organic Compounds (VOC). Bei Raumtemperaturen liegen diese Stoffe in der Gasphase vor und können im Raum akkumulieren. Besonders durch Rauchen, Putzen, Renovierungsaktivitäten und Verkehrsemissionen werden die Konzentrationen im Innenraum erhöht (Gokhale et al., 2008; Lai et al., 2004; Oappel, et al., 2000). Über die Atmung und die Haut werden diese Schadstoffe aufgenommen und belasten den Körper durch das vermehrte Auftreten von Allergien und Atemwegserkrankungen.

Eine Ansammlung von Schadstoffen in Innenräumen ist durch die verbesserte Dichtheit von Fenstern und Türen bedingt. Früher verwendete Holzfenster, mit einer höheren Durchlässigkeit, hatten zu einer guten passiven Durchlüftung der Wohn- und Arbeitsräume geführt. Durch die Undurchlässigkeit der neuen Fenster und Türen gehen Erfolge in der Einsparung von Heizkosten einher mit Einbußen in der Luftqualität. Ein adäquater Austausch zwischen Luft des Innenraums und dem Außenbereich kann nur noch durch aktives Lüften erreicht werden. Die Luftwechselrate hat somit einen sehr starken Einfluss auf die VOC-Konzentration im Innenraum.

Hinsichtlich der Quellzuordnung für VOC gibt es bisher nur wenige Ergebnisse, da die Variabilität der Quellen und die Komplexität von VOC-Mischungen keine eindeutigen Zuweisungen ermöglichen. Experimente haben gezeigt, dass bestimmte Einrichtungsgegenstände verschiedene VOC-Spektren aufweisen (Salthammer, 2009; Schlink et al., 2010). In Wohnungen kommt es jedoch zu vielen Gemischen unterschiedlich neuer und alter Materialien. Durch Temperatur und relative Feuchte, die durch das Lüften ebenfalls Einfluss auf den Innenraum haben, können diese Gemische modifiziert und über chemische Prozesse umgewandelt werden.

Unterschiedliche statistische Verfahren wurden auf VOC Messdaten aus 2242 Wohnungen in der vorgestellten Untersuchung angewandt, um neue charakteristische Muster in der Luft von Stadtwohnungen festzustellen. Faktorenanalyse (FA), Hauptkomponentenanalyse (HKA) und nicht-negative Matrixfaktorisierung (NMF) wurden genutzt, um spezifische Muster für städtische Innenräume zu erfassen. FA und HKA erwiesen sich als sehr erfolgreich in der Untersuchung von Einzelquellen, da in beiden Methoden die Faktorbestimmung über die Varianz der Daten erfolgt. Die Minimierung des Datensatzes auf weniger Faktoren und das Erkennen einfacher Zusammenhänge sind Vorteile beider Analyseverfahren. Im Gegensatz dazu kann die NMF auch weitaus komplexere Charakteristika aus Datensätzen herausfiltern und häufig gemeinsam auftretende Muster erkennen. Die Kombination von Ergebnissen der FA/HKA, der NMF und der Regressionsanalyse wurde für die Interpretation der Muster genutzt.



Das Lüftungsverhalten hat sich als effektivster Einflussfaktor in FA und HKA herauskristallisiert und beinhaltet die größte Variabilität der VOC-Konzentration in der Luft von Stadtwohnungen. Weitere Einflüsse werden durch Muster beschrieben, die durch die Aktivitäten der Bewohner wie zum Beispiel Renovierungen, Fußboden verlegen und Reinigungsarbeiten hervorgerufen wurden. Zusätzlich zu diesen anthropogenen Mustern konnten auch natürliche Prozesse, wie Alterung der Materialien und daraus resultierende Produkte, nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse der NMF zeigen, dass Kombinationen von VOC-Mustern in Wohnungen auftreten, die zum Beispiel Emissionen aus Renovierungsaktivitäten, Reinigungsaktivitäten und der Alterung von Materialien enthalten. Die NMF war somit in der Lage, die Komplexität von anthropogenen und natürlichen Quellen zu erfassen und als kombinierte Muster darzustellen.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass FA und HKA besonders nützlich sind, wenn einzelne Quellen bestimmter VOC oder VOC-Gruppen von Interesse sind. Um komplexere Zusammenhänge aufzudecken und charakteristische Merkmale zu finden, ist eine zusätzliche NMF-Analyse empfehlenswert. Alle Verfahren haben aufgezeigt, dass der Großteil der VOC-Quellen im Innenraum zu finden ist; die Außenluft und deren Schadstoffe jedoch auch ein nicht zu vernachlässigender Einflussfaktor für die Raumluft darstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass bezüglich des gesundheitlichen Risikos der Innenraumluft eine bloße Fokussierung auf einzelne VOC unangemessen erscheint. In die Berechnung und Vorhersage von Risiken für Atemwegserkrankungen sollten Prozesse wie Wechselwirkung und Verstärkung verschiedener VOC eingebunden werden.

S. Gokhale, T. Kohajda, U. Schlink, 2008: Source apportionment of human personal exposure to volatile organic compounds in homes, offices and outdoors by chemical mass balance and genetic algorithm receptor models. *Science of the Total Environment*, **407**, 122-138

H.K. Lai, M. Kendall, H. Ferrier, I. Lindup, S. Alm, O. Hänninen, M. Jantunen, P. Mathys, R. Colvile, M.R. Ashmore, P. Cullinan, M.J. Nieuwenhuijsen, 2004: Personal exposures and microenvironment concentrations of PM<sub>2.5</sub>, VOC, NO<sub>2</sub> and CO in Oxford, UK. *Atmospheric Environment*, **38**, 6399-6410

R. Opper, B. Höder, A. Lange, 2000: Innenraumluft und TVOC: Messung, Referenz- und Zielwerte, Bewertung. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, **43**, 513-518

T. Salthammer, 2009: Review: Occurrence, Dynamics and Reactions of Organic Pollutants in the Indoor Environment. *Clean*, **37** (6), 417 – 435

U. Schlink, A. Thiem, T. Kohajda, M. Richter, K. Strebel, 2010: Quantile regression of indoor air concentrations of volatile organic compounds (VOC). *Science of the total environment*, **408**, 3840–3851

## Verbessertes Prozessverständnis für atmosphärische Aerosole: Das Messnetz für ultrafeine atmosphärische Partikel (GUAN)

Wolfram Birmili<sup>1</sup>, Kay Weinhold<sup>1</sup>, Stephan Nordmann<sup>1</sup>, Fabian Rasch<sup>1</sup>, Alfred Wiedensohler<sup>1</sup>, Gerald Spindler<sup>1</sup>, Thomas Gnauk<sup>1</sup>, Hartmut Herrmann<sup>1</sup>, Mike Pitz<sup>2</sup>, Josef Cyrus<sup>2</sup>, Harald Flentje<sup>3</sup>, Carmen Nickel<sup>4</sup>, Thomas A. J. Kuhlbusch<sup>4</sup>, Gunter Löschau<sup>5</sup>, Andreas Schwerin<sup>6</sup>, Frank Meinhardt<sup>6</sup>, Ludwig Ries<sup>6</sup>, Klaus Wirtz<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig

<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum München (HZM), Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt und Universität Augsburg, Wissenschaftszentrum Umwelt

<sup>3</sup>Deutscher Wetterdienst (DWD), Hohenpeißenberg

<sup>4</sup>Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA), Duisburg

<sup>5</sup>Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden

<sup>6</sup>Umweltbundesamt (UBA), Dessau

Seit 2008 werden im Deutschen Beobachtungsnetz für ultrafeine Aerosolpartikel (GUAN – *German Ultrafine Aerosol Network*) innovative Parameter des atmosphärischen Aerosols gemessen. Ziel ist die Bewertung der von ultrafeinen Partikeln (Durchmesser < 100 nm; im folgenden UFPs genannt) ausgehenden Klima- und Gesundheitseffekte. Die kontinuierlichen Messungen erfassen die Partikelanzahlgrößenverteilung der Aerosolpartikel und die Rußmassenkonzentration. Zeitlich befristet wird auch die größenfraktionierte chemische Zusammensetzung der Partikel ermittelt. Das kooperativ betriebene Beobachtungsnetz ist mittlerweile aber auf insgesamt 17 Stationen angewachsen, die das volle Spektrum der in Deutschland auftretenden Belastungssituationen abdecken (verkehrsnahe, städtisch, ländlich, alpin). Wichtige Elemente von GUAN sind die systematische Qualitätssicherung, die einheitliche Auswertung der Messdaten und die Bereitstellung der Messdaten für breit angelegte Forschungsstudien.

Erstes wesentliches Ergebnis der Datenanalyse der Jahre 2008-2010 ist, dass die Konzentration der UFPs und auch die Rußmassenkonzentration nur gering mit den traditionellen Luftgüteparametern korrelieren. Dies bedeutet, dass diese Messungen einen eigenständigen Wert für die Luftreinhaltung besitzen. Chemische Analysen lieferten vor allem für die UFPs in Städten eine Anreicherung toxikologisch bedeutsamer Substanzen (Ruß, PAKs), so z.B. hohe Rußanteile in der stark inhalierbaren Partikelfraktion 50-140 nm. Da UFPs und Ruß ein deutliches Gefälle zwischen verkehrsbelasteten und ländlichen Beobachtungspunkten zeigen, erweisen sich die GUAN-Messungen als ausgezeichneter Indikator für die vom Straßenverkehr ausgehenden Luftbelastungen, in weitaus höherem Maße beispielsweise als die PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen. Anhand der bisherigen GUAN-Daten konnte auch die bedeutsame Rolle der synoptischskaligen und kleinskaligen meteorologischen Prozesse auf die gemessenen Konzentrationen der UFPs und Ruß nachvollzogen werden.

Den direkten Nachweis der Gesundheitsschädlichkeit von UFPs kann dieses Projekt derzeit noch nicht leisten. Eine Weiterführung der Messungen jedoch lässt die Erkennung von Langzeittrends erwarten, etwa im Gefolge der technischen Erneuerung der Kfz-Flotte. Andererseits werden Teile des so sehr benötigten Datenmaterials für künftige epidemiologische Nachweise der Gesundheitseffekte von UFPs und Ruß aufgebaut, die für jegliche Änderungen im Regelwerk der Luftreinhaltung notwendig sind.

## Raum-zeitlich hochaufgelöste Sondierung ultrafeine Partikel in der städtischen Rauigkeitsschicht von Leipzig

Wolfram Birmili<sup>1</sup>, Johanna Rehn<sup>1</sup>, Christoph Boelke<sup>2</sup>, Andreas Vogel<sup>2</sup>, Konradin Weber<sup>2</sup>, André Sonntag<sup>1</sup>, Fabian Rasch<sup>1</sup>, Kay Weinhold<sup>1</sup>, Alfred Wiedensohler<sup>1</sup>, Ulrich Franck<sup>3</sup>, Friedhelm Schneider<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig

<sup>2</sup>Fachhochschule Düsseldorf, Fachbereich für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Düsseldorf

<sup>3</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UfZ), Leipzig

<sup>4</sup>Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG, Ainring

Im Juni 2012 führten wir im Rahmen zweier Bachelorarbeiten eine Erkundung der raum-zeitlichen Variabilität ultrafeiner Partikel (UFP) in der städtischen Atmosphäre von Leipzig durch. Kernstück des Experiments war die wiederholte Beprobung der bodennahen Atmosphäre längs einer vorab festgelegten Route (Länge 2,3 km) am Leipziger Hauptbahnhof. Die Route umfasste unterschiedliche Belastungssituationen in Bezug auf die reichlich vorhandenen Kfz-Emissionen, aber auch Reinluftinseln wie die verkehrsberuhigte Innenstadt oder einen durch Baumbestand abgeschirmten Park. Die Probenahme erfolgte zu Fuß, bei einer zeitlichen Auflösung von mindestens 6 Sekunden. Insgesamt wurde die Route 38 Mal erfolgreich beprobt.

Das portable Instrumentarium bestand aus vier Instrumenten zur Charakterisierung von Aerosolpartikeln: 1) Ein Grimm NanoCheck-Sensor, der über die Messung zweier Ionenströme ein Maß für die Anzahl der Aerosolpartikel im Größenbereich 25-200 nm liefert. 2) Ein optisches Aerosolspektrometer (Grimm GmbH, Typ 1.107), das über die Auswertung des Streulichtsignals einzelner Partikel eine Größenverteilung der Aerosolpartikel oberhalb 250 nm liefert. 3) Ein demselben Prinzip folgender Optical Particle Sizer (TSI Inc., OPS). 4) Ein tragbarer Kondensationskernzähler (TSI Inc., Typ 3007). Die geographischen Koordinaten jeder mobilen Messung wurden mit GPS ermittelt. Das Windfeld im Messgebiet wurde durch ein stationäres Ultraschallanemometer charakterisiert.

Die Beprobung der Route wurde in der Regel zwischen 10:00 und 16:00 durchgeführt, also während eines Zeitraums mit nahezu konstanter Verkehrsdichte. Die restliche Zeit, insbesondere Nachts und am Wochenende, wurde das portable Instrumentarium zu Qualitätssicherungsexperimenten an der festen Messstation Leipzig-Mitte eingesetzt. An jener am Rande des Messgebiets befindlichen Messstation sind dauerhaft ein Partikelmobilitätsspektrometer (TDMPS; IfT-Eigenbau) und ein Aerodynamischer Partikelzähler (APS; TSI Inc.) eingesetzt. Diese Qualitätssicherungsexperimente erlauben sowohl eine Rückführung der mobilen Messungen auf definierte Standards, als auch eine Überwachung der zeitlichen Stabilität der mobilen Instrumente gegenüber.

Die bisher ausgewerteten Messungen des NanoCheck-Sensors legten eine unerwartet starke Variabilität der Anzahlkonzentration der Aerosolpartikel als Funktion des Ortes und der Zeit offen ( $1000-20000 \text{ cm}^{-3}$ ). Die für jeden Ort der Route ermittelten Konzentrationsmittelwerte ( $n=38$ ) geben ein schlüssiges Bild, d.h. generell höhere Konzentrationen in größerer Nähe zum Kfz-Verkehr. Sogar Details, wie Übergänge über schwach befahrene Straßen konnten messtechnisch erkannt werden. Dennoch wurde eine hohe Streuung der Messwerte zwischen verschiedenen Tagen festgestellt, selbst für Situationen mit scheinbar gleichem Strömungsfeld und Verkehrsdichte.

Die Auswertung dieser Studie soll darauf abgestimmt werden, weitere Erkenntnisse bezüglich der mikroskaligen Dispersion ultrafeiner Partikel in der Nähe ihrer Quellen zu gewinnen.

## **Analyse und Vorhersage charakteristischer Partikelanzahl-Größenverteilungen in Abhängigkeit meteorologischer und anthropogener Einflussfaktoren.**

Clemens von Bismarck-Osten, Stephan Weber

*Institut für Geoökologie, Abteilung Klimatologie und Umweltmeteorologie  
Technische Universität Braunschweig, Langer Kamp 19c, 38106 Braunschweig  
c.von-bismarck-osten@tu-bs.de*

Feine und ultrafeine Partikel werden insbesondere in der Stadt – mit hohen Konzentrationen in der Atemluft - für eine Reihe von Gesundheitseffekten verantwortlich gemacht. Die gesundheitliche Gefährdung ist dabei, neben der chemischen Zusammensetzung, auch signifikant von der Größe der Partikel abhängig, weshalb eine präzisere Erforschung der Zusammenhänge zwischen Partikelgröße und lokalen Bedingungen notwendig ist.

Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung besteht in der Analyse und Charakterisierung von Größenverteilungen an urbanen, suburbanen und ruralen Standorten. Um dies zu erreichen, müssen neben Messungen der Partikelanzahl-Größenverteilungen auch weitere Daten herangezogen werden – so etwa meteorologische Daten für die entsprechenden Standorte. Auf diese Weise kann überprüft werden, ob sich die Ergebnisse eines Standortes mit anderen vergleichen lassen und welche Abhängigkeiten oder Zusammenhänge innerhalb einer Region, wie auch überregional bestehen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden vier mitteleuropäische Großstädte ausgewählt, an denen über einen Zeitraum von drei Jahren an jeweils drei Standorten konstant Messungen der Anzahl-Größenverteilungen vorgenommen wurden. Die Klassifizierung der Standorte ist dabei für jeden Großraum identisch: „Verkehrsstandort“, „Städtischer Hintergrund“, „Umlandstandort“.

Die Messungen wurden für vier mitteleuropäische Großstädte einzeln raum-zeitlich untersucht und auf den Zusammenhang mit synchron erhobenen meteorologischen Daten überprüft. Auf Basis dieser Ergebnisse wird ein Vorhersagemodell für Partikelanzahlgrößenverteilungen an den verschiedenen Standorten bzw. für verschiedene Aerosoltypen entwickelt. Anschließend sind die Aussagen mit denen der anderen Großstädte zu vergleichen, um die lokale Vorhersagemöglichkeit der Anzahl-Größenverteilung zu verifizieren.

Im Rahmen der Poster-Präsentation werden die ersten Ergebnisse der raum-zeitlichen Charakterisierung des Aerosols an den einzelnen Standorten vorgestellt und diskutiert.

## Highly size-resolved flux measurement of sub-micron particles over an urban area

Malte Julian Deventer<sup>1)</sup>, Frank Griessbaum<sup>1),2)</sup> and Otto Klemm<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Arbeitsgruppe Klimatologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster Germany, julian.deventer@uni-muenster.de*

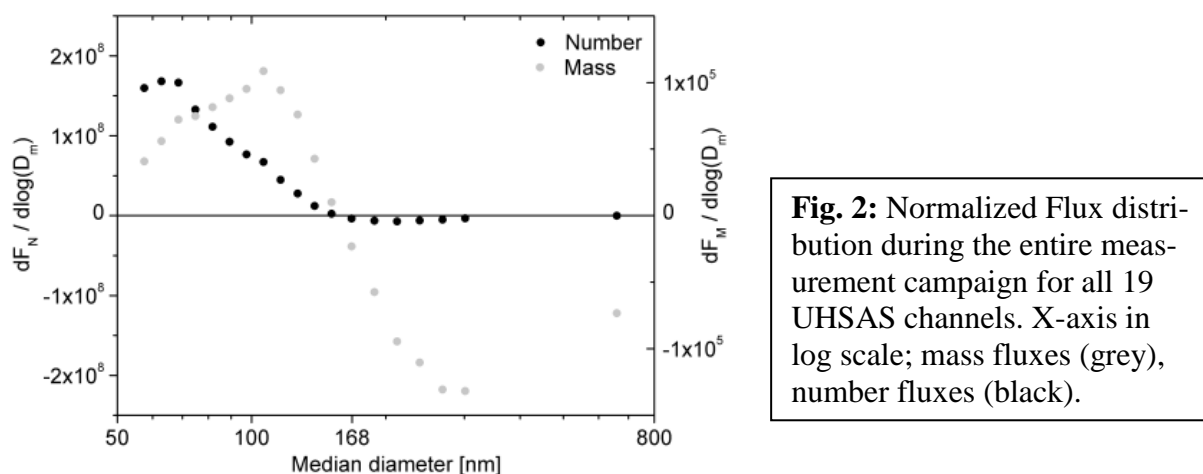
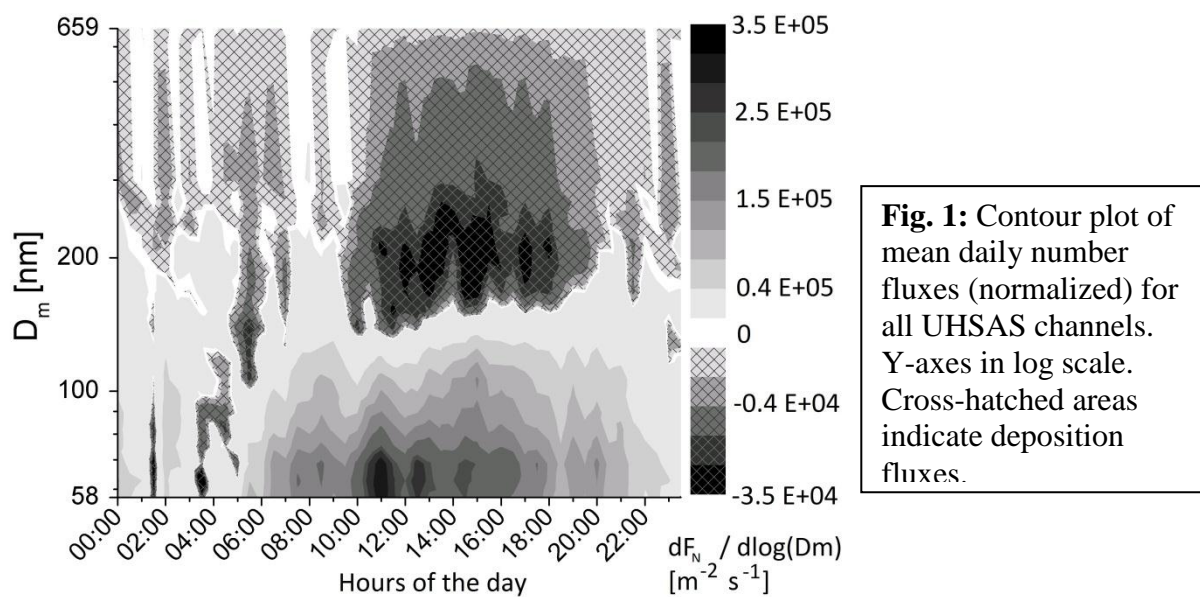
<sup>2)</sup> *now at LI-COR Biosciences GmbH, Bad Homburg Germany*

From April 11<sup>th</sup> through May 27<sup>th</sup>, 2011, turbulent exchange of sub-micron particles between the urban surface and the urban boundary-layer was measured above the city area of Münster (NW Germany). The scope of the study is to investigate and quantify the contributions of particles of various size classes to total urban particle fluxes.

Cities are both sources and sinks for atmospheric aerosol particles. The input of particulate material from the regional background is mostly established through aged accumulation range particles. The emissions originate from combustion processes, yielding large numbers of nano-sized particles, and from re-suspension of coarse particles from the urban surfaces. Size-resolved measurement of turbulent particle fluxes by using the eddy covariance technique is an appropriate tool to study these bi-directional fluxes. A preliminary study showed that emission of ultrafine particles may co-occur with deposition particles in the micrometer range. This is equivalent to the simultaneous occurrence of positive (upward) number fluxes and negative (downward) mass fluxes (SCHMIDT and KLEMM, 2008).

For this study, we employed the Ultra-High Sensitivity Aerosol Spectrometer (UHSAS, manufactured by Droplet Measurement Technologies, Boulder, Colorado, USA) covering the aerosol particle size range between 55 nm and 1 µm diameters in up to 99 bins. In order to reach acceptable counting statistics and minimize random errors, we combined the initial 99 bins into 19 wider size bins. Despite this reduction of size information, the measurement yielded a considerable improvement in comparison to that in previous studies. The eddy-covariance setup was installed on a 62 m above ground level (a.g.l.) high radio tower located in a military compound, southeast to the city center. For a more detailed site description see SCHMIDT and KLEMM (2008), GRIESSBAUM and SCHMIDT (2009) and DAHLKOETTER et al. (2010).

The results revealed that the city of Münster acts as a distinct source for particles with a mean daily emission of  $2.49 \cdot 10^8$  particles/(m<sup>2</sup> d). However, this net flux results from the simultaneous occurrence of two fluxes in opposing directions (upward and downward) of two different particle regimes (fig. 1). Emission is mostly driven by ultrafine particles, whereas larger particles in the accumulation mode (168 – 1000 nm) are main drivers for deposition (fig. 2). Upward number fluxes are up to 10 times higher than downward fluxes. The net emission flux is strongly correlated to traffic activity with a distinct peak in the morning rush hour, high values during noon and afternoon, and near zero values during the night. For the mass fluxes, however, the city of Münster is a sink of  $-1.39$  µg/(m<sup>2</sup> d) on weekdays and  $-0.34$  µg/(m<sup>2</sup> d) on Sundays. It is predominantly the larger particles of the accumulation mode that lead to deposition fluxes (fig. 2). We hypothesize that it is mainly meso-scale advection of aged particulate material that leads to the observed deposition fluxes of the larger particles.



The observation of bi-directional fluxes as a function of particle sizes is in good agreement to results of the preliminary study of SCHMIDT and KLEMM (2008). The highly size-resolved approach of this study allowed the quantification of the tipping point (167.7 nm) between these regimes with an accuracy of 19.6 nm. Furthermore, our results are in conformity with particle source apportionment studies at urban street level sites: A portion of the particles in the urban environment originates from distant sources while another portion is produced within the city environment itself (GIETL and KLEMM, 2009). Our concept of bi-directional fluxes in the urban canopy layer perfectly matches this image.

DAHLKOETTER, F., F. GRIESSBAUM, A. SCHMIDT, O. KLEMM, 2010: Direct measurement of CO<sub>2</sub> and particle emissions from an urban area. – *Meteorol. Z.* 19(6), 565–575.

GIETL, J.K., O. KLEMM, 2009: Source identification of size-segregated aerosol in Münster, Germany, by factor analysis. – *Aerosol Science and Technology* 43, 828–837.

GRIESSBAUM, F., A. SCHMIDT, 2009: Advanced tilt correction from flow distortion effects on turbulent CO<sub>2</sub> fluxes in complex environments using large eddy simulation. – *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 135, 1603–1613.

SCHMIDT, A., O. KLEMM, 2008: Direct determination of highly size-resolved turbulent particle fluxes with the disjunct eddy covariance method and a 12-stage electrical low pressure im-  
pactor. – *Atmos. Chem. Phys.* 8(24), 7405–7417.

## Reduction of ship emissions and their effect on air quality in the North Sea area

V. Matthias <sup>1)</sup>, J. Bieser <sup>1)</sup>, A. Aulinger <sup>1)</sup> and M. Quante <sup>1)</sup>

*1) Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute of Coastal Research, Max-Planck-Strasse 1, 21502 Geesthacht, Germany, e-mail: volker.matthias@hzg.de*

Ship traffic is becoming more and more important as an origin of air pollution. The effects of ship traffic on air pollution and nutrient deposition was studied in an area with one of the highest ship traffic densities in the world, the North Sea region including the English Channel. The ship emissions are based on a detailed ship traffic statistics for the North Sea for the year 2008. Emissions in harbours were treated separately in an approach that considers annual arrivals and departures for 8 different ship types and 9 size classes for each type. Relations between ship size and fuel used were taken from Hulskotte and Denier van der Gon (2010).

The contribution of ship emissions to the modeled concentration and deposition distribution of sulfur dioxide, nitrogen oxides and of sulfur and nitrogen containing aerosol compounds in North Sea coastal areas were investigated. For this purpose the Community Multiscale Air Quality modeling system (CMAQ, (Byun and Ching, 1999)) was applied for Europe on a  $72 \times 72 \text{ km}^2$  and on a nested  $24 \times 24 \text{ km}^2$  grid for the North Sea area. Meteorological data for the year 2008 was taken from model runs with COSMO-CLM (Schättler et al., 2008).

A base run with the current ship emission inventory was performed to identify the contribution of ship emissions to air pollution in coastal areas. Several emission reduction scenarios developed in the INTERREG IV B project Clean North Sea Shipping (CNSS, [www.cnss.no](http://www.cnss.no)) were then applied to study their effect on the air quality. Some of these scenarios are already implemented in the North Sea region, others are planned for 2015 or are still in discussion. This includes the reduction of  $\text{SO}_2$  emissions from ships within a sulfur emission control area (SECA) for different sulfur limits in fuels. The reduction of  $\text{NO}_x$  emissions as proposed by IMO (MARPOL Annex VI (IMO, 2008)) for nitrogen emission control areas, starting in 2016, has also been investigated for their effects in 2020 and 2030.

Despite the reduction of sulfur compounds in the atmosphere, nitrate aerosol formation and therefore deposition of oxidized nitrogen is enhanced when  $\text{SO}_2$  emissions are reduced. This effect strongly depends on season and is more pronounced in summer compared to winter.  $\text{NO}_x$  emission reductions have very limited effects on air pollution during the first years of the implementation because only new ships are affected by the regulations. The effect increases with time but it is partly compensated by a further increase in ship traffic.

### References

Byun D., Ching J.K.S., 1999: Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality Modelling System. EPA report, EPA/600/R-99/030. Office of Res. and Developm., Washington, DC, USA.

Hulskotte, J.H.J., and Denier van der Gon, H.A.C., 2010: Fuel consumption and associated emissions from seagoing ships at berth derived from an on-board survey. *Atmospheric Environment* **44**, 1229-1236

IMO, 2008: Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 Relating there to (MARPOL Annex VI).  
[http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data\\_id%3D23760/176%2858%29.pdf](http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D23760/176%2858%29.pdf) (last access 8 August 2011).

Schättler, U., Doms, G., Schraff, C., 2008: A description of the nonhydrostatic regional COSMO-Model. Part I: Dynamics and numerics. Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 2008 [available from <http://www.cosmo-model.org>].



## **Ermittlung der Quellen von Gerüchen und hohen Schadstoffkonzentrationen im Erzgebirge über die Modellierung der Luftmassenbahnen**

*Michael Jähn<sup>1)</sup>, Beate Sändig<sup>1)</sup>, Ralf Wolke<sup>1)</sup>, Eberhard Renner<sup>1)</sup>*

*1) Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Permoserstr. 15, 04318 Leipzig*

Die Problematik von Geruchsbelastungen ist ein seit Jahrzehnten bekanntes Problem in den grenznahen Gebieten des Erzgebirges und Vogtlandes. Als Verursacher gelten die in großer Anzahl vorhandenen Industrieanlagen in Nordböhmen. Besonders in den Herbst- und Wintermonaten treten im Zusammenhang mit Hochdruck- und Inversionswetterlagen Belastungen auf. Dem eher rückläufigen Trend an Beschwerden, welcher auf die Modernisierung und teilweiser Stilllegung von Anlagen zurückzuführen ist, steht eine deutlich erhöhte Anzahl an Beschwerden für das Jahr 2011 gegenüber, als im Herbst aufgrund einer langanhaltenden Hochdrucklage überdurchschnittlich viele Geruchsmeldungen der Bevölkerung registriert wurden. Dennoch werden die Grenzwerte für Luftschadstoffe in den seltensten Fällen überschritten.

Mithilfe des Trajektorienmodells TRAJEK, welches Reanalysedaten des Lokalmodells COSMO-DE (Consortium for Small-Scale Modelling) vom Deutschen Wetterdienst (DWD) nutzt, können die Zugbahnen der Luftmassen simuliert werden. Dabei werden Rückwärtstrajektorien der belasteten Orte sowie Vorwärtstrajektorien der vermuteten Quellen berechnet. Darüber hinaus wird mit dem Modellsystem COSMO-MUSCAT (Multi-Scale Atmospheric Transport Model) die Ausbreitung von Tracern simuliert, wobei die vorhandenen Strömungsstrukturen sowie die Abluffahnen der Emittenten sichtbar gemacht werden können.

## Studying spatio-temporal Smoothing of Wind Power Variability and Forecast Errors in Europe

*L. von Bremen, J. Tambke, N. Stoffels, and D. Heinemann*

*ForWind - Center for Wind Energy Research, University of Oldenburg, 26129 Oldenburg, Germany, lueder.von.bremen@uni-oldenburg.de*

The current perspective of the European Wind Energy Association states that around 400 GW of installed wind power capacity (250 GW onshore and 150 GW offshore) will supply 30% of Europe's electricity consumption in 2030. Clear communication with all stakeholders and detailed results of simulation studies of the future power supply system are necessary concerning the optimal investment in infrastructure for large-scale wind power integration.

Within the framework of the EU-project SafeWind, we present various results of a simulation study that bases on (on&offshore) modeling of wind power forecasts and wind power feed-in for Europe. Wind speed data in hubheight of a mesoscale model with 7km horizontal resolution provided by the German Weather Service has been utilized to compute wind power forecasts up to 72h ahead. The wind speed analyses of the German Weather Service have been used to compute the actual feed-in of wind power for each of the 140000 grid boxes. The data consists of the years 2007-2011 and provides stable statistics on wind power production and forecast errors.

It is well known, that distributed generation reduces the variability and the short-term forecast error of wind power considerably. This effect is studied systematically with the described modeling system. Several metrics (like correlation, temporal gradient reduction, etc.) are defined to characterize the effectiveness (or ability) of each grid point (as a potential wind farm site) to lower the overall variability of wind power in an European power system. Furthermore special interest is given to those grid points that show small wind power forecast errors and that balance forecast errors very well with surrounding grid points.

The cross-correlation and other metrics for smoothing of wind power production and of forecast errors are visualized on a geographic map. Hence, favorable sites can be spotted immediately. It is found that the cross-correlation of wind power production is higher in longitudinal direction than in zonal direction due to the prevailing westerly flow in Europe. This means, for example, that North-South transmission of wind power is more efficient to reduce variability. 1h wind power gradients are much smaller in offshore and coastal conditions compared to onshore wind farming, when normalization is done with energy yield.

The demonstrated results are preliminary works to look intensively for wind sites in Europe that are superior to other sites, as they lower wind power variability and wind power forecast errors more effectively than reference sites (with the same wind resource). Thus, those sites can be proposed for preferential deployment as less grid infrastructure and storage (or backup power) is required to ensure a stable power supply system.

## Bestimmung der langjährigen Turbulenzintensität aus Messdaten für die Planung von Windenergieanlagen

*Thomas Hahm<sup>1)</sup>, Taalke Ockenga<sup>1)</sup>, Steffen Wussow<sup>1)</sup>, Felix Ament<sup>2)</sup>, Ingo Lange<sup>2)</sup>*

*1) Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG, Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, info@f2e.de*

*2) Universität Hamburg, Meteorologisches Institut, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg*

Eine grundlegende Aufgabe bei der Planung von Windparks ist die Betrachtung der Windbedingungen am zukünftigen Standort. Von dieser wichtigen Arbeit hängt im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeit eines neuen oder zu ersetzenden Windparks ab.

Insbesondere an Land werden aufgrund der knapper werdenden ausgewiesenen Eignungsflächen die Anlagen zunehmend dichter gestellt. Die Windbedingungen innerhalb eines Windparks werden dadurch immer komplexer. Die gegenseitige Abschattung der Anlagen führt zu Ertragsverlusten und erhöhten Belastungen in Form von zusätzlichen Turbulenzen. Da die Turbulenzen ein wichtiger Auslegungsparameter für die Windenergieanlagen und deren Fundamente sind, ist es zunächst einmal wichtig, festzustellen, wie hoch die Umgebungsturbulenzen am Standort ohne die Anlagen sind.

Dabei ist besonders die charakteristische Turbulenzintensität bei einer Windgeschwindigkeit von 15 Meter pro Sekunde von Interesse (TI15-Wert), da sie einen der zentralen Auslegungswerte der Windenergieanlage bildet.

In der Regel wird die Umgebungsturbulenzintensität aus Windmessungen am Standort abgeleitet, die üblicherweise einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren abdecken. Jedoch sind gerade in den Nebenwindrichtungen die zur Bestimmung des TI15-Wertes benötigten hohen Windgeschwindigkeiten selten und es stellt sich die Frage, wie groß die notwendige Mindestanzahl von Werten ist, um eine belastbare Statistik zu generieren, und ob diese zum Beispiel innerhalb eines Jahres erreicht werden kann.

Mit Hilfe von Langzeit-Windmessdaten des Wettermastes der Hamburger Universität wurde die Belastbarkeit der Daten aus Messzeiträumen unterschiedlicher Länge untersucht. Des Weiteren wurde der Einfluss einzelner Wetterereignisse auf den TI15-Wert betrachtet, wie sie zufällig während einer kurzen Messung auftreten können.

Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigen eine deutliche Schwankung der charakteristischen Turbulenzintensität von Jahr zu Jahr. Außerdem konnte beispielhaft die Abhängigkeit des TI15-Wertes von einzelnen Wetterereignissen gezeigt werden. Hinzu kommt, dass selbst nach zehn Jahren die Umgebungsturbulenzintensität am Standort des Hamburger Wettermastes nicht so ermittelt werden konnte, dass alle Anforderungen an eine Standortbewertung für Windenergieanlagen erfüllt wären.

## Nutzung von Footprint-Modellen zur Standortbestimmung von Windkraftanlagen

Thomas Foken

Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie

Die zunehmende Nutzung von Windenergie im hügeligen bis gebirgigen und mit Wald durchsetzten Binnenland erfordert eine genaue Festlegung der Standorte, um noch eine angemessene Energieausbeute zu erreichen. Dies erreicht man durch eine Minimierung des Einflusses von Arealen mit größeren Verschiebungshöhen und Rauigkeiten. Um das Verfahren zu objektivieren, können Footprintmodelle eingesetzt werden, wobei allerdings nur solche Modelle zu Einsatz kommen, die wegen der hohen Nabenhöhen bis zu etwa der halben Grenzschichthöhe eingesetzt werden können. Bevorzugter Modelltyp sind Lagrange Modelle mit Rückwärtstrajektorien. Es empfiehlt sich, diese rechenzeitintensiven Modelle für typische Nabenhöhen, Unterlagenrauigkeiten, Windgeschwindigkeiten und Stabilitätsbereiche als look-up Tabellen zu rechnen. Am zu untersuchenden Standort werden für typische Einsatzbedingungen, die durch die Windklimatologie bestimmt werden können, die räumliche Verteilung des Footprints ermittelt. Für Standorte für Windkraftanlagen, die aus der Windklimatologie und den Geländebedingungen vorbestimmt worden sind, erfolgt mittels des Footprintmodells eine Feinoptimierung des Standortes in der Weise, dass Flächen die eine größere Beeinflussung des Windfeldes (Verschiebungshöhe, Rauigkeit) hervorrufen, sich nicht im Footprintmaximum befinden und insgesamt nur geringe Einflüsse haben. Die Anwendung der Methode wird für einen Standort im Fränkischen Jura demonstriert.

## **Windprofilmessungen im komplexen Gelände mit einem Doppler Wind LiDAR System und Implementierung der Daten in ein CFD Modell**

*Dr. Dipl. Met. C. Schmitt (1), Dipl. Met. L. Wagner (2), M.Boquet (3)*

*(1) juwi Wind GmbH, Energie-Allee 1, 55286 Wörrstadt*

*(2) GWU-Umwelttechnik GmbH, Bonner Ring 9, 50374 Erftstadt*

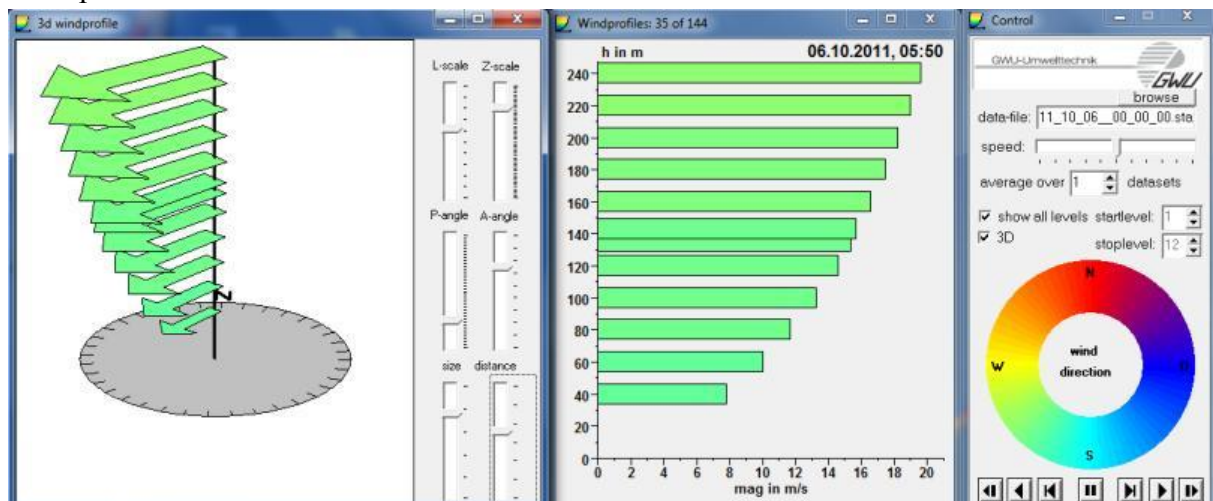
*(3)Leosphere SA, 14-16 rue Jean Rostand, 91400 Orsay (F)*

In der Nutzung der Windenergie ist die genaue Kenntnis über das Windfeld der wichtigste atmosphärische Parameter. Hochaufgelöste zeitliche und räumliche Verteilungen des Windfeldes, Anströmwinkel und Turbulenzintensität sind entscheidend für die spätere Standortauswahl, Energieertrag und den laufenden Betrieb der Windkraftanlagen. Insbesondere gilt das für die heutigen Windkraftanlagen mit Nabenhöhen jenseits der 125 Meter Grenze und großen Rotordurchmessern.

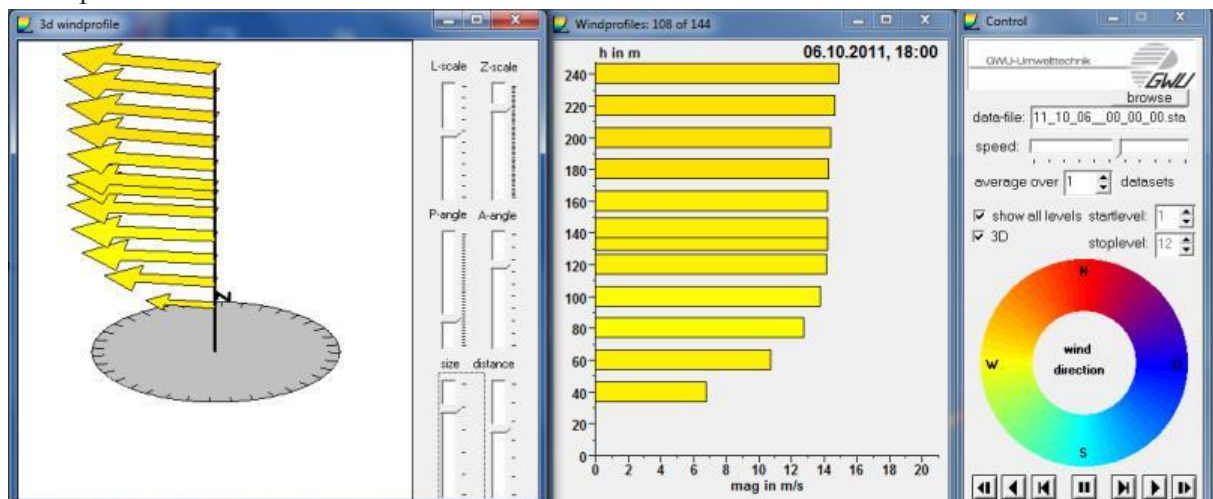
Mobile autonome Remote Sensing Systeme wie das Doppler Wind Lidar System (WINDCUBE V2) des Herstellers Leosphere messen das 3D-Windprofil mit einer hohen Genauigkeit (~ 1 %) und einer hohen Datenverfügbarkeit bis in max. 250 Meter Höhe über Grund. Die Rohdatenausgabe des WINDCUBE V2 erfolgt in bis zu 12 Messhöhen mit einem konstanten Messvolumen von 20 Meter und 1 Hz Datenausgaberate bei konstanter Genauigkeit in allen Messhöhen. In diversen ON LAND durchgeführten Fallstudien in nicht stark strukturiertem Gelände und in OFFSHORE Anwendungen wurden die Angaben mehrfach bestätigt. Bei den Auswertungen ist man bisher immer von einer homogenen Strömung in der jeweiligen Messhöhe ausgegangen. In Abhängigkeit von der Geländestruktur ist die Strömung nicht homogen und die Fehlergröße nimmt mit der Geländekomplexität nachweislich bis max. 6 % zu.

Anhand von einigen Fallstudien wird auf die Varietät des Windfeldes an verschiedenen Standorten (komplexe Geländestrukturen, Waldstandorte, extreme Umgebungsbedingungen) eingegangen und die entsprechenden Windprofile dargestellt. Die OFFLINE Implementierung der LiDAR Daten (10-min Mittel) in CFD-Modelle bewirken eine deutliche Verbesserung der Messgenauigkeit (1 %) und der Planungssicherheit bezogen auf den jeweiligen Messort und Windpark. Weitere Verbesserungen werden zudem durch die direkte Messung der vertikalen Windkomponente des Windvektors und des Anströmwinkels realisiert.

### Beispiel: Windprofil bei Südwestwind



### Windprofil bei Westwind



[1] Leosphere, Handbuch Windcube V2, Version 2010

[2] Cox R., Sontowski J., Fry R., Dougherty C., Smith T., Journal of Applied Meteorology, 37, pp 996-1009, 1998

[3] Parmentier R. et al. Leosphere SAS, An innovative and compact 1.5 $\mu$ m lidar for wind energy, EWEC 2007

[4] D.Foussekis, CRES, Investigating wind flow properties in complex terrain using 3 Lidars and a meteorological mast, EWEC 2009

[5] Albers A., Jansen A.W., Mander J., Deutsche Wind Guard GmbH, Comparisons of Lidars, german test station for remote sensing devices, DEWEK 2008

[6] Beeken A., Neumann T., DEWI GmbH, FINO1-platform: Operation and Data Analysis of an Offshore based LIDAR device (DEWI Magazin No. 36, Februar 2010)

[7] Bouquet, M. et al., Leosphere SAS, Measurement of Secondary Wind Characteristics by the Windcube V2 LIDAR, EWEC 2011

## **Verbesserungen der Turbulenzparametrisierung in mesoskaligen Windfeldmodellen**

Richard Foreman, Stefan Emeis

Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie  
Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen  
[stefan.emeis@kit.edu](mailto:stefan.emeis@kit.edu)

Die Planung und der Betrieb von Windkraftanlagen und Windparks setzt eine präzise Wind- und Turbulenzvorhersage voraus. Bisherige mesoskalige Windfeldmodelle, in denen die Turbulenz parametrisiert wird, sind im Wesentlichen mit über Land gewonnenen Daten getestet worden. Ihre Anwendung für offshore-Windparks bedarf der Überprüfung.

Die Turbulenzparametrisierung nach Mellor, Yamada und Janjić in mesoskaligen Strömungsmodellen wie WRF benötigt einige empirische „Konstanten“, die aus Laborexperimenten abgeleitet werden müssen. Moderne Messtechnik ermöglicht hier heutzutage die Messung bei wesentlich höheren Reynoldszahlen, die denen in der Atmosphäre eher entsprechen als früher. Dabei kommen teilweise deutlich andere Werte für die „Konstanten“ heraus als bisher. Simulationen mit den geänderten Werten ergeben nahezu dieselben Windgeschwindigkeitsprofile aber onshore wie offshore deutlich höhere Turbulenzintensitäten, die den beobachteten wesentlich näher kommen.

Insbesondere für die marine Grenzschicht ist zudem die Beschreibung des Einflusses der Wellen auf die Oberflächenrauigkeit und den Widerstandsbeiwert der Meeresoberfläche noch nicht endgültig gelöst. Hier sollen neue Ansätze vorgestellt werden, die das vorhandene Datenmaterial in der Literatur besser beschreiben und als untere Randbedingung für offshore Windfeldvorhersagen dienen können.

Der Beitrag wird die Ergebnisse der dreijährigen Arbeit in dem RAVE-Forschungsvorhaben VERITAS zu diesem Thema zusammenfassen.

## Quantification of aerosol requirements for forecasts of electricity production by concentrating solar systems

*Armel Oumbe<sup>1,2</sup>, Marion Schroedter Homscheidt<sup>1</sup> (corresponding author)*

*1) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), DFD, Oberpfaffenhofen, D-82234 Wessling, marion.schroedter-homscheidt@dlr.de*

*2) new affiliation: Total Gas & Power, R&D – Concentrated Solar Technologies, France*

Sunlight is the fuel for any solar energy conversion system. Like any generation source, knowledge of the quality and future reliability of the fuel is essential for the accurate analysis of system performance and financial viability of a project. For site selection, the selection of the most appropriate energy conversion technology, or design of a system for a specific location, it is necessary to understand the long-term spatial and temporal variabilities of available solar resources. Accurate resource data will remain essential to the efficient operation of a plant throughout its service life. Nearly linear dependency between direct sunlight electricity production by concentrating solar power (CSP) system, as well as the energy needed to turn on the CSP system shows how essential is the sunlight information for the predictability of electricity production. A high quality day-ahead forecasting system reduces the risk of penalty payments and can increase plant profits by optimizing energy dispatch into the time periods of greatest value.

CSP systems focus a large area of sunlight onto a small area. Because they rely on reflecting collectors, CSP technologies use direct normal irradiance (DNI). Therefore any discussion of the solar resource for CSP plants implies the analysis of DNI, which is the irradiance received from the solar disc only. Accurate information about the state of the atmosphere is essential for DNI estimation and forecast. In regions where clouds are rare and solar resource is large, such as Northern Africa, aerosol loading is the most critical atmospheric parameter on DNI estimation. Precise aerosol information are therefore indispensable for providing accurate irradiance forecasts since up to 30% of direct irradiance extinction due to aerosols have been reported. In dust outbreaks, the extinction of DNI typically reaches 100%.

In this work, we analyze aerosol measurements in AERONET network, quantify which accuracy and temporal resolution are needed on aerosol optical depth (AOD) for DNI forecasting and evaluate the performance of a simple 2-day persistence of AOD. In addition to root mean square deviation (RMS) and bias, we consider also the percentage of hours where the deviation on DNI is higher than a given value. From the analysis of the intra-day variation of AOD influence, we conclude that it is reasonable to use only one daily AOD in many stations – as it is currently done in most satellite-based method for global irradiance assessment. In general, 2-days persistence of AOD can be applied in slightly turbid areas. For other areas, a chemical transport model as e.g. the ECMWF/MACC model, which provides better aerosols, is needed.



## **Assessment of probabilistic wind power forecasts for wind farms in Northern Ireland**

*Constantin Junk, Lüder von Bremen, Detlev Heinemann*

*Center for Wind Energy Research, University of Oldenburg  
Ammerländer Heerstr. 136, D-26129 Oldenburg, Germany  
E-mail: constantin.junk@forwind.de*

For many years wind power capacities in Europe have been increasing which requires the save integration of wind power into the European power supply system. Accurate forecasts of wind power production up to 72 h ahead are thus necessary to ensure the reliability of the power supply system. Most of the existing wind power prediction methods provide the end-users (e.g. wind farm operators and energy traders) with point forecasts computed from deterministic forecasts. Probabilistic forecasts obtained from ensemble prediction systems (EPS) provide end-users also with the forecast uncertainty of the expected wind power production since the ensemble forecasts take into account uncertainties in initial conditions. This additional information increases the value of the forecast for end-users considerably.

In this work, the EPS of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECWMF) is used in combination with a very efficient wind power prediction model to assess the quality of probabilistic wind power forecasts. The assessment of 72 h ahead forecasts is done for single windfarms of the system operator for Northern Ireland. ECWMF's EPS consists of 51 ensemble members with horizontal resolutions of approx. 32 km and forecast steps of 3 h.

Probabilistic wind power forecasts obtained from uncalibrated ECWMF's ensemble forecasts are subject to forecast-bias and dispersion errors (usually, ensemble underdispersion). To evaluate and calibrate the ensemble forecasts, skill scores like Brier Score, Reliability Diagram and Ignorance Score are used. It can be shown that wind power forecasts for single wind farms obtained from calibrated ECWMF's ensembles increase the quality of the probabilistic forecast considerably. Furthermore, the benefit of ECMWF's EPS wind speeds at 100 m (near hub height of wind turbines) over the usage of 10 m wind speeds in probabilistic wind power forecasting is evaluated. Since the usage of 10 m winds is disadvantageous for non-neutral atmospheric conditions, forecasts obtained with 100 m winds are found to be more reliable.

## Beeinflussen Windparks in der deutschen Nordsee das Klima im norddeutschen Raum?

Marita Linde <sup>1)</sup>, Peter Hoffmann <sup>1)</sup>, Hermann-J. Lenhart <sup>2)</sup>, K. Heinke Schlünzen <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Universität Hamburg, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg, marita.linde@zmaw.de

<sup>2)</sup> Research Group Scientific Computing, Department Informatik, Universität Hamburg, Bundesstraße 45a, 20146 Hamburg

Untersuchungen der bereits in der Nordsee errichteten Windparks zeigen messbare Störungen der Atmosphäre durch einzelne Windparks in Entfernungen von bis zu einigen zehn Kilometern (Christiansen und Hasager, 2005). Durch neue und ausgedehntere Windparks wird in der Zukunft eine größere Fläche beeinflusst. Dass große Windparks einen Einfluss auf das lokale Klima haben können, wurde bereits in verschiedenen Untersuchungen dargestellt (Baidya Roy et al., 2004; Wang und Prinn, 2010). Unklar ist, welchen Einfluss Windparks haben, wenn in der Deutschen Bucht in den nächsten Jahrzehnten einige tausend Windkraftanlagen in mehreren Windparks installiert werden. In Extremszenarien wird dabei von bis zu 90.000 MW installierter Leistung in der deutschen Nordsee im Jahre 2055 ausgegangen (Lange et al., 2010).

Die Frage nach dem Einfluss der Windfarmen auf den norddeutschen Raum wird mit dem numerischen Modell METRAS untersucht. METRAS ist ein meteorologisches, nicht-hydrostatisches Modell und wird in der Mesoskala  $\gamma$  und  $\beta$  eingesetzt. Zur Parametrisierung der Windkraftanlagen wurde METRAS um den Wirkungsscheibenansatz erweitert. Aus der Simulation ausgewählter Wetterlagen wird mit Hilfe eines statistisch-dynamischen Verfahrens auf das Klima im norddeutschen Raum geschlossen (Hoffmann et al., 2011). Die METRAS-Simulationen werden mit ECMWF-Analysen angetrieben und nach Jahreszeiten getrennt ausgewertet. Der Einfluss der Windparks auf das Klima wird quantifiziert und im Rahmen dieser Präsentation werden erste Ergebnisse gezeigt.

Danksagung:

Diese Arbeiten werden im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojektes KLIMZUG-NORD (Fördernummer 01LR0805D) durchgeführt.

Literaturangaben:

Baidya Roy, S., S.W. Pacala, R.L. Walko (2004): Can large wind farms affect local meteorology?, J. Geophys. Res. 109

Christiansen, M.B., C.B. Hasager (2005): Wake effects of large offshore wind farms identified from satellite SAR, Remote sensing of environment 98, 251-268

Hoffmann, P., D.D. Flagg, D. Grawe, J.J. Katzfey, P. Kirschner, M. Linde, K.H. Schlünzen, R. Schoetter (2011): Statistical-dynamical downscaling for the future urban climate of Hamburg, Germany, Abstract GC21E-07 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.

Lange, M., B. Burkhard, S. Garthe, K. Gee, A. Kannen, H. Lenhart, W. Windhorst (2010): Analyzing Coastal and Marine Changes: Offshore Wind Farming as a Case Study, Zukunft Küste - Coastal Futures Synthesis Report. LOICZ Research and Studies No. 36. GKSS Research Center, Geesthacht, 212 pp.

Wang, C., R.G. Prinn (2010): Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms, Atmos. Chem. Phys. 10, 2053-2061

## Hochaufgelöste Simulationen des Nachlaufs von Offshore-Windenergieanlagen mit dem LES-Modell PALM

*Björn Witha<sup>1)</sup>, Gerald Steinfeld<sup>1)</sup>, Detlev Heinemann<sup>1)</sup>*

1) ForWind, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Ammerländer Heerstr. 136, 26129 Oldenburg, [bjoern.witha@forwind.de](mailto:bjoern.witha@forwind.de)

Der turbulente Nachlauf einer Windenergieanlage ist in Windparks von großer Bedeutung, da die Anströmung stromabwärts gelegener Anlagen hierdurch beeinflusst werden kann. Zum einen entziehen stromaufwärts gelegene Anlagen der mittleren Strömung Impuls und verringern somit die Leistung nachfolgender Anlagen. Zum anderen erhöht sich die Turbulenzintensität im Nachlauf signifikant, was eine erhöhte Belastung für stromabwärts gelegene Anlagen bedeutet.

Die atmosphärische Grenzschicht über dem Meer unterscheidet sich von der über Land vor allem dadurch, dass die Turbulenzintensität über dem Meer geringer ist und die Windgeschwindigkeit in der Grenzschicht aufgrund der geringeren Rauigkeit höher ist. Bislang gibt es noch wenig Erfahrungen mit der Simulation einer realistischen marinen Grenzschicht. Erste Versuche wurden von Cañadillas (2009) unternommen, wobei Messdaten mit LES-Ergebnissen verglichen wurden. Für die Planung und Leistungsprognose von Offshore-Windparks verwendete Modelle basieren in der Regel auf Messungen an Onshore-Anlagen.

In das an der Leibniz Universität Hannover entwickelte LES-Modell PALM (Raasch und Schröter, 2001), das bereits seit vielen Jahren bei der Untersuchung der atmosphärischen Grenzschicht zur Anwendung kommt, wurden verschiedene Turbinenparametrisierungen implementiert und der jeweils resultierende Nachlauf miteinander verglichen.

Das Aktuatorscheibenmodell nach Calaf et al. (2008) stellt den Einfluss der Rotorblätter auf die Strömung durch die Einführung einer zusätzlichen Reibungskraft dar. Diese Kraft ist über die gesamte Rotorscheibe hinweg konstant, was eine starke Vereinfachung darstellt. Effekte durch die Rotation der Rotorblätter werden vollständig ignoriert. Das Aktuatorlinienmodell nach dem Konzept von Troldborg (2008) und Ivanell (2009) kann dagegen die ungleichmäßige Lastverteilung und Rotationseffekte berücksichtigen. Allerdings benötigt es ein Vielfaches an Rechenzeit, da der Zeitschritt so klein gewählt werden muss, dass ein Rotorblatt während eines Zeitschrittes nicht mehr als ein Gitterelement überstreicht. Für die Simulation von größeren Windparks ist die Verwendung der Aktuatorlinienmethode somit nicht praktikabel. Daher wurde das Aktuatorscheibenmodell ähnlich wie in Porté-Agel et al. (2011) erweitert, sodass ungleichmäßige Kraftverteilung und Rotationseffekte wie im Aktuatorlinienmodell berücksichtigt werden, die Rechenzeit aber nicht so stark ansteigt. Ein Vergleich der drei Turbinenmodelle zeigt, dass das weiterentwickelte Aktuatorscheibenmodell eine deutliche Verbesserung darstellt und nahezu gleich gute Ergebnisse liefert wie das Aktuatorlinienmodell.

Mit dem weiterentwickelten Aktuatorscheibenmodell wurden zunächst Simulationen des Nachlaufs einer einzelnen Windenergieanlage mit verschiedenen Einströmrandbedingungen durchgeführt und mit Messdaten aus dem deutschen Offshore-Testfeld „alpha ventus“ verglichen. Die herkömmlichen, bisher in Nachlaufsimulationen ausschließlich verwendeten, zyklischen Randbedingungen haben den Nachteil, dass die von den Anlagen bereits

modifizierte Strömung, gekennzeichnet durch erhöhte Turbulenz und ein Geschwindigkeitsdefizit, am Einströmrand wieder in das Modellgebiet gelangt und die Anströmbedingungen der Turbine beeinflusst. Dadurch ändern sich die Strömungsbedingungen im zeitlichen Verlauf. Dies macht sich besonders bei der Simulation von größeren Windparks bemerkbar. Eine Alternative stellen nicht-zyklische Randbedingungen in Strömungsrichtung dar, die in PALM implementiert und vielfach erprobt sind, jedoch im Rahmen der vorgestellten Studie erstmals für Nachlaufsimulationen verwendet werden. Hier kann gewährleistet werden, dass das Anströmprofil an der Turbine zeitlich konstant bleibt. Ein Nachteil ist, dass das Modellgebiet stromaufwärts des Windparks sehr lang sein muss, damit sich bis zum Windpark eine vollständig entwickelte turbulente Strömung ausgebildet hat. Durch die Anwendung eines turbulenten Einströmens ist die Simulation bereits am Einströmrand vollständig turbulent, so dass das Modellgebiet stromaufwärts des Windparks erheblich reduziert werden kann. Realisiert wird das turbulente Einströmen durch einen separaten zyklischen Vorlauf mit stark reduziertem Modellgebiet und ohne Turbinen, dessen Endzustand für die Initialisierung des Hauptlaufes verwendet wird.

Abschließend sollen erste Ergebnisse von Simulationen des Offshore-Windparks „alpha ventus“ gezeigt werden.

Die vorgestellten Arbeiten werden gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Ein Teil der Simulationen wurde auf dem SGI-Cluster des Norddeutschen Verbunds für Hoch- und Höchstleistungsrechnen (HLRN) durchgeführt.

M. Calaf, C. Meneveau, J. Meyers, 2010: Large eddy simulation study of fully developed wind-turbine array boundary layers. *Phys. Fluids* **22**, 015110

B. Cañadillas, 2009: A study of the marine boundary layer by LES-modelling and experimental observations with a focus on offshore wind energy applications. Dissertation, Leibniz Universität Hannover.

S. S. A. Ivanell, 2009: Numerical Computations of Wind Turbine Wakes. Dissertation, Technical Reports from Royal Institute of Technology, Linné Flow Centre, Department of Mechanics, Stockholm, Sweden

F. Porté-Agel, Y.-T. Wu, H. Lu, R. J. Conzemius, 2011: Large-eddy simulation of atmospheric boundary layer flow through wind turbines and wind farms. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* **99**, 154-168

S. Raasch, M. Schröter, 2001: A large-eddy simulation model performing on massively parallel computers. *Meteor. Z.* **10**, 363-372

N. Troldborg, 2008: Actuator Line Modeling of Wind Turbine Wakes. Dissertation, Fluid Mechanics, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

## Utilisation of Inland Wind Power – Wind and turbulence profiles over complex forested terrain: First results of 200 m mast measurements

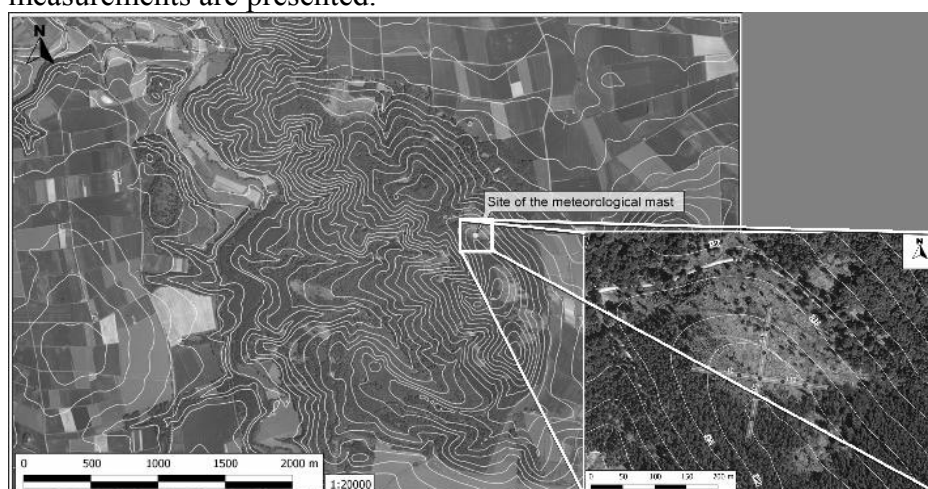
*Saskia Hagemann<sup>1)</sup>, Doron Callies<sup>1)</sup>, Tobias Klaas<sup>1)</sup>*

*Fraunhofer Institute for Wind Energy and Energy System Technology, Königstor 59, D-34131 Kassel, saskia.hagemann@iwes.fraunhofer.de*

A capacity of almost 27 GW of onshore wind power was installed in Germany at the end of the first half of the year examined closely 2011. Still, wind power onshore has a huge potential for further growth. This untapped potential partly consists of complex and forested terrain, for which the wind profile and turbulence effects are heavily influenced by surface roughness and terrain orography. Additionally, current tower technologies allow the installation of turbines with hub heights up to 150 m. To assess these sites, new measurement techniques and extrapolation methods have to be developed, as traditional methods become increasingly unreliable for these conditions, resulting in imprecise estimates of possible wind farm performance.

Within the project "Utilization of Inland Wind Power", a 200 m high met mast has been installed at a hilly, forested site in central Germany. Its aim is to survey the profiles, the wind resource and the design parameters relevant for the design of wind turbines, e.g. turbulence, extreme winds, etc. The met mast is equipped with up-to-date meteorological sensors observing a wide range of different meteorological parameters. The mast will stand for several years to observe the local wind conditions and allows detailed analysis of specific weather events such as extreme winds and wind profiles in strong wind situations. These findings will contribute to optimise wind turbines in hilly woodlands. Another aim of the project is to evaluate the performance of ground based Doppler wind LiDARs in the complex terrain at the site of the 200 m.

The first results comprise profiles of wind speed and turbulence intensity from the met mast measurements up to 200 m height at different weather situations. Wind speed profiles are compared to the logarithmic wind profile. Also a first comparison of the mast and the LiDAR measurements are presented.



Satellite image of the mast site with contour lines [The satellite image is a "Digitales Orthofoto" of the HVBG]

## **EEG-Einspeiseprognosen – Voraussetzung für Netzsicherheit und Direktvermarktung**

*Janek Zimmer<sup>1</sup>, Armin Raabe<sup>2</sup>, Tino Lemberg<sup>3</sup>, Richard Bennett<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> *LEM Ingenieurbüro Last- und EnergieManagement, Leipzig, janek.zimmer@lem-software.com*

<sup>2</sup> *Institut für Meteorologie, Universität Leipzig, raabe@uni-leipzig.de*

<sup>3</sup> *E.ON edis, Fürstenwalde, tino.lemberg@eon-edis.com*

<sup>4</sup> *UK Met Office, Exeter, UK, richard.bennett@metoffice.gov.uk*

Der rasante Zuwachs an erneuerbaren Energien führt in zunehmendem Maße zu einem räumlichen Ungleichgewicht zwischen Stromerzeugung und –verbrauch. Zu Spitzenzeiten (z.B. Starkwindwetterlagen) ist die Stabilität der Verteilnetze aufgrund von Stromüberproduktion zur Zeit nur noch gewährleistet, wenn ein Teil der Anlagen gedrosselt oder abgeschaltet wird. Eine präzise Vorhersage der Energieeinspeisung aus Wind- und Solaranlagen ist ökonomisch wie ökologisch sinnvoll, da sowohl die Schaltmaßnahmen an den Anlagen als auch die Regelung von anderen Kraftwerken (Kohle, Gas, Biomasse) besser geplant werden können.

Es wird ein Vorhersagesystem vorgestellt, welches die gesamte Kette von der Wettervorhersage bis zur Einspeiseprognose beinhaltet. Die Basis bilden numerische Wettermodellvorhersagen des englischen Wetterdienstes (UKMO) sowie des hoch aufgelösten Regionalmodells WRF.

Die Verknüpfung von prognostizierten Wetterwerten (z.B. Windprofile) mit der eingespeisten Energie an den Anlagen erfolgt durch künstliche neuronale Netze (KNN). KNN bieten den Vorteil, dass sie systematische Fehler der Wettermodelle erkennen und ausschließen. Sie sind außerdem in der Lage, vom Wettermodell nicht berücksichtigte Standorteigenheiten (Geländeunebenheiten, Abschattungen vorgelagerter Turbinen usw.) zu erlernen.

Die Güte der Einspeiseprognosen wird anhand von Ergebnissen im Netzgebiet der Firma E.ON edis in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern vorgestellt.

## **Auswirkungen von atmosphärischer Stabilität auf Windertragsanalysen in CFD Simulationen**

*C. Schmitt (1), C. Meissner (2)*

*(1) juwi Wind GmbH, Energie-Allee 1, 55286 Wörrstadt*

*(2) WindSim AS, Fjordgaten 15, 3125 Tønsberg*

Im Bereich der Windenergie wird für die meisten Anwendungen von einer neutralen atmosphärischen Schichtung ausgegangen, wenn es darum geht Windprofile aus Messungen auf großen Nabenhöhen zu interpoliert und die Verteilung von Geschwindigkeiten innerhalb eines geplanten Parks zu berechnen.

In der Realität zeigen jedoch meteorologische Messungen, dass im Mittel über längere Zeiträume eine leicht stabile Schichtung vorherrscht. Wenn diese bei den Berechnungen nicht berücksichtigt wird, führt das zu fehlerhaften Windabschätzungen, da sowohl die Veränderung des Wind-Shear als auch Strömungseffekte wie „Blocking“ und Umströmung von Hindernissen nicht realitätsnah wiedergegeben werden.

In CFD Simulationen wie der kommerziellen Software WindSim ist es mittlerweile möglich, Stabilitätseffekte zu integrieren, in dem Schichtungsstabilität durch die Monin-Obukhov-Länge eingeht und so die Temperaturgleichungen direkt gelöst werden können.

Zur Bestimmung der thermischen Schichtung sind Temperaturmessungen in mindestens zwei Messhöhen erforderlich, was bisher noch kein Standard für die Windmessungen ist. Mit einigen speziell dafür ausgerüsteten Masten können jedoch die stabilitätsabhängigen Änderungen der Windprofile untersucht werden.

Fallstudien daraus zeigen den Einfluss von thermischer Stabilität und Orographie auf das Windfeld. CFD Simulationen mit WindSim für die unterschiedlichen Stabilitätssituationen werden verglichen und aus den Ergebnissen die potentiellen Über- und Unterschätzungen der Messungen quantifiziert. Gerade im Falle von stabiler Schichtung kommt man hier zu deutlichen Verbesserungen wenn die optimalen Schichtungsparameter verwendet werden.

Die CFD Ergebnisse erlauben dadurch eine deutlich genauere Berechnung der individuellen Windprofile und somit eine bessere Ertragsabschätzung für zukünftige Windparks.



Literaturangaben:

Meißner, C., A. Gravdahl and B. Stensen, 2009: Including Thermal Effects in CFD Wind Flow Simulations. *Journal of the Environmental Sciences*, 833-839.

Meißner, C., C. Schmitt, and B. Goretzki, 2011: Non-neutral wind conditions in complex terrain. *EGU General Assembly 2011*. Oral presentation.

Schmitt, C., C. Meißner, and D. Weir, 2011: Influence Of Thermal Stratification on CFD Simulations. *EWEA 2011*. Poster presentation.

Schmitt, C., A. Piazzoni, B. Ruille, P. Serralunga, B. Goretzki: 2011 Effects of varying Atmospheric Stratification on vertical Wind Profile and Energy Yield in complex Terrain . *EWEA 2011*. Poster presentation.

## **Klimatologie von Mischungsschichthöhe, ‚cross-over‘-Höhe und ‚low-level jets‘ aus bodengestützten Fernerkundungsdaten**

Stefan Emeis

Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie  
Kreuzeckbahnstr. 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen  
[stefan.emeis@kit.edu](mailto:stefan.emeis@kit.edu)

Die Planung, der Bau und der Betrieb immer höherer Windkraftanlagen brauchen wesentlich mehr Informationen über die vertikale Struktur der Grenzschicht und das vertikale Windprofil als bisher, als im Wesentlichen ausschließlich das Potenzgesetz benutzt wurde. Die Mischungsschichthöhe geht in einige der jetzt diskutierten Formeln für das Windprofil über die Prandtl-Schicht hinaus ein. Die cross-over-Höhe ist die Höhe, in der der Formparameter der Weibullverteilung sein Maximum erreicht. Hier ist der mittlere Energieertrag bei gegebener mittlerer Windgeschwindigkeit am niedrigsten. Nächtliche low-level jets führen zu nächtlichen Ertragsmaxima und starken vertikalen Gradienten über die Rotorebene hinweg. Typische Werte und Auftretenswahrscheinlichkeiten gehören somit zu den meteorologischen Standortparametern, die bekannt sein sollten.

Hier werden längere Messreihen, teilweise über Jahre hinweg, von SODAR und RASS an verschiedenen Standorten in Deutschland ausgewertet. Beziehungen der drei Größen zueinander werden untersucht. Die gefundenen Ergebnisse werden teilweise mit Großwetterlagen korreliert, um auch eine Vorhersagemöglichkeit dieser Parameter zu untersuchen. Der Beitrag wird Klimatologien zu diesen Größen für Hamburg, Hannover und Augsburg zeigen.

## Wind- und Solarstrom – Energieerträge und Umweltwirkungen

*René Viertel, Tobias Frisch*

*Terrawatt Planungsgesellschaft mbH, Breitenfelder Str. 12, 04155 Leipzig,  
viertel@terrawatt.de*

Aus der Perspektive der Anwendung meteorologischer Zusammenhänge bei der Planung und Entwicklung von Projekten zur Erzeugung von Elektroenergie aus den regenerativen Energieträgern Windenergie und Solarstrahlung werden sowohl Verlauf und Größe der Energieerträge als auch die Umweltwirkungen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) betrachtet. Als Basis für die Betrachtungen dient eine moderne Windenergieanlage mit 3,0 MW Nennleistung, einem Rotordurchmesser von 100 m und einer Nabenhöhe von 150 m. Als Photovoltaikanlage wird eine Freiflächenanlage mit einer installierten Leistung von 3,0 MW<sub>p</sub> betrachtet, deren Module aus polykristallinem Silizium bestehen. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage beträgt etwa 13 %.

Die günstigsten Standorte für die Windenergie- bzw. PV-Anlagen findet man in Deutschland vorwiegend im Küstenbereich bzw. im südlichen Teil. Im betrachteten Raum Leipzig herrschen sowohl für die Windenergie- als auch die Solarenergienutzung gute Bedingungen. Die Energieflussdichte des Windes in 150 m über Grund beträgt dabei etwa 385 W/m<sup>2</sup> bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von etwa 7,2 m/s. Die mittlere jährliche Globalstrahlung beträgt etwa 1.020 kWh/m<sup>2</sup>. Die jährlichen Schwankungen der Erträge aus Windenergie- und PV-Nutzung können erheblich sein. Die Stromproduktion aus Windenergie und Solarstrahlung ergänzt sich aufgrund der jeweiligen Angebotscharakteristik hervorragend. Die mittleren Jahreserträge der Beispielwindenergie- und PV-Anlage betragen im Raum Leipzig etwa 8.000 MWh bzw. 3.000 MWh.

Zu den betrachteten negativen Umwelteinflüssen von Windenergie- bzw. PV-Anlagen zählen die Veränderung des Landschaftsbildes, der Schattenwurf und die Schallemissionen bzw. die Reflexionen. Ebenso entstehen Einflüsse auf die Fauna. Betrachtete positive Effekte sind die Verringerung von Eingriffen in die Umwelt und im Besonderen die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dabei ist die energetische Amortisationszeit zur Errichtung und Rückbau von Windenergie- und PV-Anlagen mit etwa 5 Monaten bzw. etwa 3 Jahren größer als die Amortisationszeit von konventionellen Kraftwerken. Werden die von den konventionellen Kraftwerken benötigten Brennstoffe in die Betrachtung einbezogen, verringert sich der Erntefaktor konventioneller Kraftwerken auf Werte kleiner eins, welche etwa dem Wirkungsgrad der Anlagen entsprechen, während die Werte für Windenergie- und PV-Anlagen nahezu unverändert bleiben. Der Flächenverbrauch von Windenergie- und PV-Anlagen ist im Vergleich zu einem Braunkohlekraftwerk mit etwa dem 10- bzw. 2-fachen Wert deutlich größer. Bei Betrachtung der erzeugten Elektroenergie vergrößert sich der Flächenverbrauch des Wind- bzw. Solarparks abermals deutlich. Die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte bezüglich der Schallimmissionen und des Schattenwurfs auf Bereiche, in denen sich dauerhaft Personen aufhalten, ist bei der Beantragung von Windenergieprojekten nachzuweisen und ab einer Entfernung von 1.500 m meist gewährleistet. Bei PV-Anlagen ist die Blendwirkung als Umweltbeeinflussung zu bewerten und in die Planungen einzubeziehen. Die Auswirkungen auf die Fauna am Standort müssen bei Projektbeantragung in geeigneter Form nachgewiesen werden.

# **A Metric to define favourable places for wind farms in terms of wind power grid integration**

*Nicole Stoffels, Lüder von Bremen, Detlev Heinemann*

*Center for Wind Energy Research, University of Oldenburg  
Ammerländer Heerstr. 136, D-26129 Oldenburg, Germany  
E-mail: nicole.stoffels@forwind.de*

## **1 Introduction**

As wind power is a fluctuating resource the variance decreases with an increased spatial distribution of wind farms due to the fact that spatial smoothing balances local fluctuations. Hence, it is of interest to find favourable sites in terms of small variability, low temporal gradients and decorrelation with the surrounding environment. A metric combining the size of temporal gradients, forecast errors and the maximum forecast error as well as the quality of the predictability of the temporal gradients was developed in order to analyse the value of each of the four parts in terms of favourable sites with respect to grid integration.

## **2 Defining the Metric**

As meteorological data the forecast and analysis data of the COSMO-EU model by the German Weather Service is taken. The resolution is 7 km meridional and 4.1 km zonal covering Central Europe on model level 38 ( $\sim 70$  m height). Data from 2007 to 2011 is analysed. A simple model calculates the wind power out of the wind speed using the “Tradewind” power curve, the hub height and the roughness length of each grid point providing the wind power. The average forecast error and the maximum forecast error (99 % quantile of the forecast error) were calculated for each grid point. In order to investigate the spatial smoothing effect the grid points in circles of 25, 50, 100 and 200 km radius were averaged. A radius of 50 kilometres characterizes the size of a typical distribution grid. 200 kilometres describe a larger TSO zone. Finally the quality of the predictability of the temporal gradient was analysed. Those four values were combined in a new metric. Different weights were given to each of the four parameters to see how large their single impact is. The results were plotted on European maps defining places where the construction of wind farms might be favourable or less favourable.

## **3 Conclusions**

European maps of the new metric will be a good decision tool to find preferred areas for wind farm construction with very good grid integration capabilities. The results show that spatial smoothing could be advantageous regarding the actual energy power feed-in as well as wind power forecast. With increasing radii the temporal gradients for the wind power and even more important the forecast errors smooth out quickly. Hence, distributed wind farms over large areas can be the key to make wind power the major source of electricity production.

## **Evaluation of the impact of atmospheric conditions on wind turbine wake model by using Alpha Ventus wind farm data**

*Hugues Ambroise<sup>1),2)</sup>, Gerald Steinfeld<sup>1)</sup>, Detlev Heinemann<sup>1)</sup>, Juan-Jose Trujillo<sup>1)</sup>, Martin Kühn<sup>1)</sup>*

*1) ForWind - Zentrum für Windenergieforschung, Ammerländer Heerstraße 136 26129 Oldenburg, hugues.ambroise@forwind.de*

*2) Areva Wind GmbH, Am Lunedeich 156 D-27572 Bremerhaven*

In the coming years, numerous large offshore wind farms will be built. When developing such a project, one of the utmost aspects is the prediction of the power output that is strongly dependent on the wake effects observed behind a wind turbine. The wake of a wind turbine is characterised by an area of reduced wind velocity leading as a result to a smaller yield, and an area of increased turbulence intensity, leading to larger loads for the wind turbine located downwind of the wind turbine “producing” it. The importance of being able to accurately predict wake effects before building wind farms is therefore obvious.

In order to improve our understanding of wake effects and our ability to predict in offshore conditions, comparisons between wake models with experimental data have been done for different atmospheric conditions. The wake model [1,2] used is FLaP, Farm Layout Program [3], which has been developed at the *Carl von Ossietzky Universität Oldenburg* and the data used came from the six Areva Wind’s wind turbines located at the Alpha Ventus wind farm. By the comparisons between model results and measured data, it is enlightened, which physical processes determine the wake characteristics under the different atmospheric conditions. A better parameterization of these processes in FLaP leading to improved energy yield forecasts is the main objective of the presented work.

[1] I. Katic, J. Højstrup and N.O.Jensen, A Simple Model for Cluster Efficiency. Proceedings of European Wind Energy Conference and Exhibition, Rome, 1986; 407-410.

[2] B. Lange, H. Waldl, A. Gil Guerrero, D. Heinemann, R. J. Barthelmie, Modelling of Offshore Wind Turbine Wakes with the Wind Farm Program FLaP Wind Energ. 2003; 6:87–104

[3] R. J. Barthelmie, G. Larsen, S. Pryor; H. Jørgensen, H. Bergström, W. Schlez, K. Rados, B. Lange, P. Vølund, S. Neckelmann, S. Mogensen, G. Schepers, T. Hegberg, L. Folkerts, M. Magnusson, ENDOW (Efficient Development of Offshore Wind Farms): Modelling Wake and Boundary Layer Interactions, Wind Energ. 2004; 7:225–245

## Forest Parameterization at Complex Wind Park Sites

*David Hilbert<sup>1)</sup>, Tomas Blodau<sup>2)</sup>, David Grawe<sup>3)</sup>*

*1) Technische Universität Hamburg-Harburg, Germany, david.hilbert@tu-harburg.de*

*2) REpower Systems SE, Hamburg, Germany*

*3) Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Uni Hamburg, Germany*

As many suitable sites for wind parks in simple terrain have been exploited and become scarce, the industry's focus shifts towards those areas where wind conditions are promising, but terrain features and resulting flow characteristics are more complex. An excellent knowledge of the local flow regime is crucial since it serves as the key input parameter with respect to both turbine loads and yield. However, wind tunnel studies and extensive site measurements are costly. Therefore modeling techniques are adopted as a complement to a limited number of site measurements. Whereas linear models are traditionally chosen for simple terrain, non-linear models (mostly RANS) have become state-of-the-art for more complex sites. Yet, the flow effects of forest still pose a very challenging modeling task and so far neither a standard forest parameterization nor even some well agreed guidelines have been established.

Several field studies on the influence of forest canopies on the atmospheric boundary layer flow have been undertaken in the past and the principal forest effect patterns are considered to be understood fairly well (Finnigan 2000). Consequently, a range of forest parameterizations for atmospheric flow modeling have been developed, many of them for application with k-epsilon RANS (e.g. Lopes da Costa et al. 2006). All of these parameterizations share a common shortcoming in that they underwent rather limited validation. At the same time long-term measurements of atmospheric flow over forests are available from many wind park sites. This study aims to apply the available data for the evaluation of model results for the flow field at forests.

The parameterizations are implemented for two models: WindSim (Gravdahl 1998), a commercial CFD-Tool tailored for the wind industry, and a version of OpenFOAM which was adapted for atmospheric boundary layer flow modeling (Richards and Hoxey 1993, Hargreaves and Wright 2007).

A forest parameterization is selected based on a well explored sample site. The selected parameterization is then applied to several sites of a large database of typical wind park sites common in the wind industry.

This work identifies a model which is complex enough to capture forest flow effects in the rotor plane, yet simple enough to be applied in an industry environment. The latter implies that only a limited number of input parameters are required. Validation then shows how well this model performs over a range of different, typical wind park sites.

## References

- Richards, P. J.; Hoxey, R. P. (1993): Appropriate Boundary Conditions for Computational Wind Engineering Models Using the Kappa-Epsilon Turbulence Model. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 46-7, pp. 145–153.
- Lopes da Costa, J. C. P.; Castro, F. A.; Palma, J. M L. M.; Stuart, P. (2006): Computer simulation of atmospheric flows over real forests for wind energy resource evaluation. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 94 (8), pp. 603–620.
- Hargreaves, D. M.; Wright, N. G. (2007): On the use of the k-epsilon model in commercial CFD software to model the neutral atmospheric boundary layer. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95 (5), pp. 355–369.
- Gravdahl, A. R. (1998): Meso Scale Modelling with a Reynolds Averaged Navier-Stokes Solver. Assessment of wind resources along the Norwegian coast. IEA: 31st Topical Experts Meeting on State of the Art on Wind Resource Estimation. Risø. Roskilde, Denmark, October 1998.
- Finnigan, J. (2000): Turbulence in Plant Canopies. In *Annu. Rev. Fluid Mech* 32 (1), pp. 519–571.

## **Influence of marine boundary layer characteristics on power curves of Multi-Mega Watt wind turbines**

*Martin Dörenkämper<sup>1)</sup>, Jens Tambke<sup>1)</sup>*

*1)ForWind - Center for Wind Energy Research  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
Ammerländer Heerstr. 136, D-26129 Oldenburg, Germany  
E-mail: martin.doerkenkaemper@forwind.de*

During recent years many large offshore wind farms projects in the North and the Baltic Sea have been realized, with an installed capacity of more than 3 Gigawatt. For the next 20 years, a much higher number of wind farms with nominal capacities of several 100 Megawatt per wind farm are planned, up to a total of 130 Gigawatt in the year 2030. This means that high wind power capacities will be concentrated at single locations, mainly in the Southern North Sea. This can pose a threat to the electrical grid as changing atmospheric flow properties result in intense wind power fluctuations.

Multi-Mega-Watt turbines are subject to an unsteady vertical wind profile within the marine atmospheric boundary layer. Fluctuations in these wind profiles can cause a high variability to power curves of wind turbines. Also for the modelling of wind turbine wakes and their loads on subsequent turbines in a wind farm, an enhanced understanding of the atmosphere-turbine interaction in the marine boundary layer is essential.

For these purposes and in the frame of the BMU-funded RAVE-OWEA-project, we investigated fluctuations in the boundary layer characteristics as shear and turbulence intensity for the offshore research platform FINO1 as well as their influence on power curves of wind turbines in the nearby offshore wind farm 'alpha ventus'.

Results from this research can lead to a better understanding of available power in different atmospheric conditions as well as to an improved wind turbine control for a better integration in the electrical grid.



## Advances in probabilistic Wind Power Forecasting using ECMWF's 100m EPS winds

*L. von Bremen, C. Junk, and D. Heinemann*

*ForWind - Center for Wind Energy Research, University of Oldenburg, 26129 Oldenburg, Germany, lueder.von.bremen@uni-oldenburg.de*

For many years wind power deployment is increasing rapidly and has become a very important market in terms of business and energy production. The current perspective of the European Wind Energy Association states that around 400 GW of installed wind power capacity (250 GW onshore and 150 GW offshore) will supply 30% of Europe's electricity consumption in 2030.

Increasing wind power capacities require very good predictions of wind power production to enable save grid integration while keeping the very high level of reliability of the European power supply system. Continuous improvement is indispensable and is requested by all stakeholder of the electricity market (Transmission System Operators (TSOs), energy traders, wind farm operators). The day-ahead (24- 48h) deterministic prediction of wind power is nowadays an established product and is in general of very good quality. However, end-users of wind power predictions start to request additional information on the uncertainty of wind power forecasts when scheduling power reserves or marketing wind energy. Thus, more and more wind power forecast products with prediction intervals on confidence are offered for commercial use. However, research is still ongoing to make best use of Ensemble Prediction Systems (EPS) that are operational at various NWP centers.

The special interest of this paper is to assess the benefit of ECMWF's EPS wind speeds at hub height (100m) of wind turbines over the usage of 10m wind speeds in probabilistic wind power forecasting. In January 2010 ECMWF started operationally to generate a wind speed product in 100m height tailored to wind energy applications. This request for 100m winds was brought forward by the wind energy community within the EU-Project SafeWind.

A very efficient wind power prediction model is used to process all 50 ensemble members to compute probabilistic wind power forecasts for Germany. Using 100m winds overcome the known disadvantage that the usage of 10m winds is almost irrelevant for non-neutral atmospheric conditions. In stable stratification wind speeds at hub height of wind turbines are underestimated while wind speeds are overestimated in non-stable situations. Hence, the diurnal cycle of wind speeds at hub height over land can not be captured very well by 10m winds, because extra information on thermal stability while extrapolating 10m winds to hub height is not available in the EPS. It was also found that the ensemble spread of wind power forecasts with 100m winds is considerably better than ensemble spread from 10m winds.

New applications like grid point based uncertainty wind power forecasts will be shown in the presentation in order to enhance the grid integration of wind power.

The evaluation is done using a range of probabilistic skill scores like Brier Skill Score, ROC Area, Reliability Diagram, and Ignorance Score. Special emphasis is given to the forecast of extreme events.

## Von der Rahmensetzung des Bundes in der Deutsche Anpassungsstrategie zur Anpassung an den Klimawandel in Regionen

*Petra Mahrenholz*

*Umweltbundesamt, Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung, KomPass  
Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau, [petra.mahrenholz@uba.de](mailto:petra.mahrenholz@uba.de)*

Der Vortrag wird den Bogen von der angewandten Klimawissenschaft über die aktuelle Politikberatung durch Meteorologen/innen und verwandter Fachdisziplinen im Umweltbundesamt hin zu dessen Niederschlag in der Deutschen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel schlagen. Ausgehend von den Zielen, Prinzipien und (bis in die regionale Ebene hineinreichenden) Governance-Strukturen der Strategie wird insbesondere beleuchtet, wie der Bund mit dieser Strategie die Identifizierung und Umsetzung regionaler Strategien fördert, welche Erfahrungen es mit beschleunigenden und hemmenden Faktoren in diesem Prozess gibt und welche Angebote das Umweltbundesamt zur anwendungsorientierten Unterstützung von regionaler Anpassung über welche Kommunikationskanäle zur Verfügung stellt.

Es wird angesprochen, wie das Umweltbundesamt das Thema Folgen des Klimawandels und Anpassung an den Klimawandel aufarbeitet und kommuniziert, letztendlich mit den Ziel erfolgreiche Maßnahmen anzuregen. Hierzu geht die Autorin vertiefend auf Daten und Tools wie den Projektkatalog, den Klimalotsen und die Tatenbank ein. Der Klimalotse ist beispielsweise ein Leitfaden zur Entwicklung eigener Anpassungsstrategien und -konzepte. Der Lotse bietet spezielle Beispiele und Hinweise für Kommunen und mittelständische Unternehmen und soll dazu dienen, Neueinsteigern einen Rahmen und erste Orientierung für die Bildung von Anpassungskonzepten zu geben. Die Tatenbank ist eine Datenbank, die Projekte und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel dokumentiert. Der Schwerpunkt liegt auf lokalen und regionalen Maßnahmen, die in Deutschland bereits durchgeführt wurden oder sich noch in der Umsetzung befinden und enthält über hundert Einträge. Sie bietet für alle Interessierten ein Forum, um eigene Anpassungsprojekte eigenständig einzutragen und vorzustellen. Zudem können regionale Akteure hier Anregungen aus den Maßnahmen anderer gewinnen.

Viele der vorgestellten Maßnahmen sind nicht unbedingt neu und / oder nur auf Klimawandel ausgerichtet. Vielmehr gewinnen bestimmte Optionen unter dem Blickwinkel des Klimawandels eine neue Relevanz. Im Idealfall können Maßnahmen mehrere Ziele gleichzeitig verfolgen und somit mehrfachen Nutzen ziehen. In diesem Sinne beispielhafte, kommunale Maßnahmen zeichnet das Umweltbundesamt auf der Preisverleihung des Wettbewerbs "Anpassungspioniere gesucht!" am 12. Dezember in Bonn aus.

Bereits bekannte best practice-Beispiele in der regionalen Anpassung in Deutschland werden ebenso erwähnt, wie Förder- und Beteiligungsmöglichkeiten für jene, die eigene Konzepte umsetzen möchten. Ein Blick auf den Europäischen Anpassungsprozess an den Klimawandel, einschließlich der Aktivitäten der Europäischen Kommission rundet den Vortrag ab.

## **Anpassungsstrategien an den Klimawandel in deutschen Städten -ein Überblick-**

Prof. D. Jürgen Baumüller(1), Dipl. Ing. Nicole Baumüller (2)

(1) Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie

(2) Universität Stuttgart, Städtebau-Institut

Die notwendigen Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgase zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 2 Grad sind bisher unterblieben und werden inzwischen von vielen als Utopie bezeichnet. Im Jahr 2010 lagen die weltweiten CO<sub>2</sub> Emissionen mit über 30 Gt auf einem Höchstniveau.

In den letzten drei Jahren haben auch deshalb in Deutschland die Diskussionen über Maßnahmen der Klimaanpassung stark zugenommen. In diversen Projekten werden und wurden Pilotstudien vom BMVBS bzw. BMBF gefördert. Diese Projekte wie z.B. KlimaMORO, ExWoSt, KLIMZUG umfassen dabei unterschiedliche Planungsebenen (Landes-, Regional- und Stadtplanung). Im November 2011 fand in Berlin die Abschlußveranstaltung zum KlimaMORO statt mit mehr als 200 Teilnehmern.

Im Gegensatz zu Klimaschutzkonzepten (Mitigation), verfügt derzeit noch keine Stadt in Deutschland über eine abgeschlossene Anpassungsstrategie, aber viele Städte unterschiedlicher Größe arbeiten daran. Die Ergebnisse der Pilotprojekte sollen dabei genutzt werden.

Der Vortrag versucht einen Überblick zu geben zur verwirrenden Vielfalt der unterschiedlichen Projekte sowie zum Aufbau, zur Vorgehensweise und zum Ziel dieser Projekte.

## **Klimaanalyse und Klimaprojektion auf Landschaftsebene – Erfahrungen aus dem KLIMZUG-Projekt REGKLAM**

Christian Bernhofer, Majana Heidenreich, Johannes Franke und Kathrin Riedel, TU Dresden  
Stephanie Hänsel und Jörg Matschullat, TU Bergakademie Freiberg  
Nils Feske, Maria Foltyn und Achim Bobeth, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden

Klimainformationen sind für zahlreiche Entscheidungen auf lokaler Ebene notwendig. Das gilt für die Land- und Forstwirtschaft, für die Wasserwirtschaft und aber auch für die Regionalplanung und den Naturschutz. Entsprechende Normen und Regeln beruhen auf gemessenen Daten bzw. auf Modellen, die mit gemessenen Daten parametrisiert worden sind. Der bereits stattfindende Klimawandel und die Verwendung von Klimaprojektionen unter Berücksichtigung der unvermeidbaren Unsicherheiten stellen eine neue Herausforderung dar – nicht nur für diese Bereiche selbst, sondern auch für den Umgang mit den notwendigen Anpassungen der Regeln und Normen.

Im BMBF-KLIMZUG-Projekt REGKLAM („Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden“) wurden Klimaanalyse und Klimaprojektion auf Landschaftsebene betrieben, um diesen Herausforderungen gerecht zu werden. Dabei wurde zunächst eine umfassende Analyse der bereits beobachteten Änderungen seit 1990 durchgeführt, statistisch signifikante und inhaltlich relevante Trends und Schwankungen isoliert und in ihrer regionalen Verteilung dokumentiert. Diese „zeitnahe Klimastatistik“ (hier bis inkl. 2010) wird als gute Grundlage für Entscheidungen bis 2020 angesehen. Eine Anpassung für diesen nahen Horizont kann als robust gelten, wenn sie bereits in der nahen Vergangenheit als Maßnahme geeignet gewesen wäre. In einem zweiten Schritt wurde mit einem Ensembleansatz (mehrere SRES-Szenarios, mehrere Modelle und mehrere Modellläufe) die zu erwartende Änderung bis 2100 mit den entsprechenden Bandbreiten analysiert und dokumentiert. Dabei wird zwischen einem mittleren bis 2050 und einem langfristigen Planungshorizont bis 2100 unterschieden. Dargestellt werden die Änderungen zu den Ist-Simulationen 1961–1990 und ihre saisonale Verteilung. Da die regionalen Unterschiede gering sind, kann auf die regionale Differenzierung oft, aber nicht immer verzichtet werden. Ausnahmen sind vor allem an Grenzwerte gebunden, wie die Verteilung von Niederschlägen über 20 mm oder die Andauer von Trockenperioden.

Als wesentliche Probleme lassen sich folgende Punkte nennen: 1.) Die vorliegenden regionalen Projektionen beruhen alle auf einem Globalmodell (ECHAM5 mit maximal 2 Läufen) und können daher andere globalen Realisierungen des Klimas nicht widerspiegeln. 2.) Die Projektionen des Niederschlags sind sehr stark vom Globalmodelllauf, dem Downscalingverfahren und zeitlichen Integrationsschritt (Periode, Jahreszeiten) abhängig. 3.) Die Modelle sind nicht imstande Extreme zu simulieren, auch nicht für die Vergangenheit. Diese Schwächen können langfristig durch verbesserte Klimamodellierung, kurzfristig aber eher durch statistische Nachbearbeitung (z. B. zur Ableitung von Bemessungsregen) und einer Anpassung mit dem Ziel des Erhalts von Anpassungsoptionen ausgeglichen werden.

## **Können lokale Anpassungsmaßnahmen die regionale Klimaerwärmung zumindest gefühlt kompensieren?**

*Robert Schoetter<sup>1)</sup>, Peter Hoffmann<sup>1)</sup>, David Grawe<sup>1)</sup>, K. Heinke Schlüenzen<sup>1)</sup>*

*1) Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Universität Hamburg, Bundesstrasse 55, D-20146 Hamburg. [robert.schoetter@zmaw.de](mailto:robert.schoetter@zmaw.de)*

In der Metropolregion Hamburg ist nach Daschkeit (2011) unter Voraussetzung des A1B Emissionsszenarios für den Zeitraum 2071-2100 mit einem Anstieg der mittleren Sommertemperaturen zwischen 2 K und 3 K gegenüber dem Zeitraum 1971-2000 zu rechnen. Die Anzahl heißer Tage (3-5 im Ist-Klima) ist im zukünftigen Klima erhöht (+3 bis +12 Tage, Daschkeit (2011)). Im zukünftigen Klima muss daher mit einer Zunahme von Tagen mit Hitzebelastung gerechnet werden.

Das lokale Klima wird aber auch von der Stadt Hamburg selbst beeinflusst: im dicht bebauten Stadtteil St. Pauli ist in den Sommermonaten die mittlere Temperatur um ca. 1 K und die Tagesminimumtemperatur um ca. 2,5 K gegenüber dem Umland erhöht (Schlüenzen et al. 2010). Dieser städtische Wärmeinsel Effekt wird im zukünftigen Klima in etwa gleich bleiben, falls die Landnutzung gleich bleibt (Hoffmann et al. 2011). Ein Wachsen der Stadt mit Zunahme der Versiegelung zu einer größeren städtischen Wärmeinsel in der Zukunft führen und damit das Problem der Hitzebelastung nachts noch zusätzlich verschärfen.

Im Projekt KLIMZUG-NORD werden Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt sowie deren Wirkungen quantifiziert. Eine Reduktion der im zukünftigen Klima zu erwartenden Hitzebelastung wird dabei angestrebt. Um die Wirkung der Anpassungsmaßnahmen auf das thermische Wohlbefinden zu quantifizieren wird die „gefühlte Temperatur“ (PT) (Staiger et al. 2011, Jendritzky et al. 2000) verwendet. Die „gefühlte Temperatur“ ist die Temperatur, welche eine Person empfinden würde, falls sie sich in einer Referenzumgebung befindet, in der die mittlere Strahlungstemperatur gleich der Lufttemperatur ist, und nur eine geringe Windgeschwindigkeit vorherrscht. Die „gefühlte Temperatur“ wird aus den Eingabegrößen 2m-Lufttemperatur, 2m-Dampfdruck, 1m-Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, kurzwellige Reflexstrahlung, langwellige Bodenstrahlung, langwellige Gegenstrahlung, Sonnenelevationswinkel und Julianischem Datum berechnet. Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel können die Zielgröße „gefühlte Temperatur“ in vielfältiger Weise beeinflussen. Nicht nur eine Änderung der Lufttemperatur sondern auch Änderungen der Beschattung (tagsüber), der Albedo (tagsüber), des „sky-view“ Faktors, der Windgeschwindigkeit, des Dampfdrucks, etc. beeinflussen die „gefühlte Temperatur“. Entscheidend für die Bewertung einer Anpassungsmaßnahme ist die Kombination der Veränderungen meteorologischer Parameter und letztlich die Sensitivität der „gefühlten Temperatur“ auf die Anpassungsmaßnahmen.

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Sensitivität der „gefühlten Temperatur“ bezüglich der Eingabegrößen. Dazu werden Ergebnisse des mesoskaligen Atmosphärenmodells METRAS (Schlüenzen et al. 1996) für die Metropolregion Hamburg (1 km Gitterweite) und für das

Hamburger Stadtgebiet (250 m Gitterweite) ausgewertet. Simuliert wurde ein ausgewählter Zeitraum (3.-5.7.2006), der sich durch einerseits sehr hohe Temperaturen und andererseits eine stark ausgeprägte nächtliche Wärmeinsel auszeichnet. Für jede Gitterzelle und jeden Ausgabezeitschritt wird die „gefühlte Temperatur“ aus den von METRAS berechneten meteorologischen Größen bestimmt. Dafür wird eine vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellte Software verwendet (Grätz 2011). Für die städtischen Landnutzungsklassen wird aus der Verteilung von Gebäudehöhe und Straßenausrichtung mit Hilfe der in METRAS implementierten Stadtparametrisierung BEP (Martilli et al., 2002) pro Gitterzelle der Einfluss lokaler Verschattung auf Grund der Gebäude berechnet.

Für die Einschätzung der Sensitivitäten der „gefühlten Temperatur“ wird ein linearisiertes Modell entwickelt, das in der Präsentation vorgestellt wird. Mit diesem kann ohne großen Rechenaufwand eingeschätzt werden, wie lokale Anpassungsmaßnahmen (z.B. Erhöhung der Verschattung, bessere Durchlüftung, niedrigere Gebäude) zu verschiedenen Tageszeiten die „gefühlte Temperatur“ beeinflussen. Mit Hilfe der Analyse können die Wirkungen einzelner sehr unterschiedlicher Anpassungsmaßnahmen und der Klimaänderungen gegenüber gestellt werden. Allerdings berücksichtigt der vorgestellte Ansatz den nicht-linearen Einfluss von Anpassungsmaßnahmen nicht. Eine derartige Quantifizierung der Wirkung von Anpassungsmaßnahmen mit dem Modell METRAS ist im Vergleich zu dem vorgestellten Ansatz mit einem erheblich höheren Rechenaufwand verbunden und kann daher nicht für viele Fälle durchgeführt werden. Beispielhaft werden die Ergebnisse gegenüber gestellt.

#### Danksagung

Die Arbeit wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts KLIMZUG-NORD (Förderkennzeichen: 01LR0805D) durchgeführt. Die Software zur Berechnung der gefühlten Temperatur wurde freundlicherweise vom Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung des Deutschen Wetterdienstes bereitgestellt.

## **Einfluss stadtplanerischer Konzepte auf das Mikroklima des Dresdner Stadtteils Friedrichstadt**

*Valeri Goldberg, Cornelia Kurbjuhn, Christian Bernhofer*

*TU Dresden, Professur für Meteorologie, Piennner Str. 23, 01737 Tharandt*

Stadtplanungskonzepte der kommenden Jahrzehnte sollten neben raumplanerischen, sozialen und energieökonomischen Vorgaben auch Ansätze zur Verbesserung des urbanen Mikroklimas enthalten. Die Verbesserung der mikroklimatischen Bedingung erhält insbesondere vor dem Hintergrund einer wahrscheinlichen künftigen Häufung thermischer Extreme in Städten zunehmende Bedeutung.

In diesem Zusammenhang wurden in einem Teilprojekt des BMBF-Verbundprojektes RegKlam (Entwicklung und Erprobung eines integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden) die Auswirkungen unterschiedlicher Varianten der Stadtentwicklung in einem Dresdner Stadtbezirk – der Friedrichstadt untersucht. Dieser Stadtteil zählt zu den Kerngebieten urbaner Entwicklung in Dresden und verfügt über eine typische großstädtische Mischstruktur mit kleinen Stadtparks, öffentlichen Einrichtungen sowie mäßig dichter bis dichter Wohnflächenbebauung. Die Weiternutzung etlicher Industriebrachen und einiger Bahnanlagen ist momentan ungeklärt und eröffnet den Raum für „Planspiele“ städtischer Nutzung.

In Zusammenarbeit mit dem Stadtplanungsamt von Dresden wurden auf Basis realistischer Umsetzungsoptionen vier Varianten der Neugestaltung des Stadtteils Friedrichstadt entworfen, die sowohl die Bebauung bzw. Begrünung ungenutzter Flächen als auch die Verdichtung von vorhandenen Wohnflächen und Grünräumen beinhalten. Auf Basis dieser Planungsvarianten wurden Eingangsdatensätze für das 3D-Mikroklimamodell Envi-Met (Bruse und Fleer, 1998) erstellt und Simulationen für extreme Sommertage durchgeführt.

Die Ergebnisse verdeutlichen u. a. den Abkühlungseffekt einer Grünraumverdichtung. So ergibt z.B. die Umwandlung einer ca. 1 ha großen Industriebrache in einen ebenso großen Stadtpark eine Minderung der Maximumtemperatur um etwa 1-2 K. Die bauliche Verdichtung der Freiflächen führt insbesondere in der simulierten Sommernacht zu einer Temperaturerhöhung von ca. 1 K (Goldberg et al., 2011).

### Literatur

- BRUSE, M., H. FLEER, 1998: Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. - *Environmental Modelling & Software* **13**, 373–384.
- Goldberg, V., C. Kurbjuhn, C. Bernhofer, 2011: Stadtstruktur und Mikroklima - Wie lassen sich Hitzeinseln vermeiden? REGKLAM-Newsletter **6**, pp. 2. ([www.regklam.de/publikationen/regklam-newsletter](http://www.regklam.de/publikationen/regklam-newsletter))

## **Einfluss der innerstädtischen Bebauung im Hinblick auf die Stadtdurchlüftung**

*F. Kipsch<sup>1)</sup>, B. Leidl, F. Harms, S. Werk*

*1) Meteorological Institute, KlimaCampus, University of Hamburg, Hamburg, Germany, Frieso.Kipsch@zmaw.de*

Aufgrund der sich immer stärker verdichtenden Innenstädte sowie der Bevölkerungszunahme in den Ballungsgebieten sind Stadtplaner, Soziologen, Architekten sowie Ingenieure gefordert den Menschen auch in Zukunft nicht nur akzeptable, sondern auch attraktive Lebensumfelder bieten zu können. Maßgebend für die Lebensbedingungen sind neben den sozioökonomischen Randbedingungen die mikroklimatischen Faktoren in Ballungsräumen. Im Zuge der baulichen Nachverdichtung in Innenstädten muss in besonderem Maße deren Auswirkung auf das komplexe innerstädtische Windklima beachtet werden. Da dieses maßgeblich durch die vorherrschende Bebauungsstruktur geprägt ist, bieten sich Vergleichsstudien in unterschiedlichen Bebauungszuständen und bei systematisch variierten Bebauungsstrukturen an. Derartige Untersuchungen ermöglichen qualitative und quantitative Aussagen zur Veränderung des Windklimas infolge Bebauungsänderung. In Windkanalstudien können Parameter wie beispielsweise die Luftqualität, die Luftwechselrate (in Straßenzügen) oder die Effekte von unterschiedlichen Gebäudegeometrien auf das lokale Windfeld anhand von Modellversuchen untersucht werden.

An diesem Punkt setzen die im Rahmen des Verbundprojektes KLIMZUG-NORD im Windkanallabor durchgeführten Untersuchungen an. Es werden Anpassungsstrategien für Metropolregionen an den Klimawandel erforscht. Anhand des Modellgebietes Wilhelmsburg sollen quantitative Aussagen über die Auswirkungen möglicher baulicher Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel getroffen werden. Um den Effekt sich verändernder Bebauungsstrukturen auf das lokale Windfeld, die Stadtdurchlüftung sowie den lokalen Windkomfort bewerten zu können, wurde ein detailgetreues Stadtteilmodell im Maßstab 1:350 im EWTL am KlimaCampus der Universität Hamburg aufgebaut und untersucht.

In einer ersten Messkampagne wurde unter anderem der Einfluss eines im Bau befindlichen Gebäudes auf das Windfeld im angrenzenden Stadtgebiet untersucht. Systematische komponentenaufgelöste Windmessungen zu verschiedenen Planungskonfigurationen wurden an charakteristischen Plätzen im Stadtgebiet durchgeführt. Es konnte eine signifikante Beeinflussung des mittlern Windfeldes und der Turbulenzeigenschaften des bodennahen Windes bis in 1 km Entfernung nachgewiesen werden.

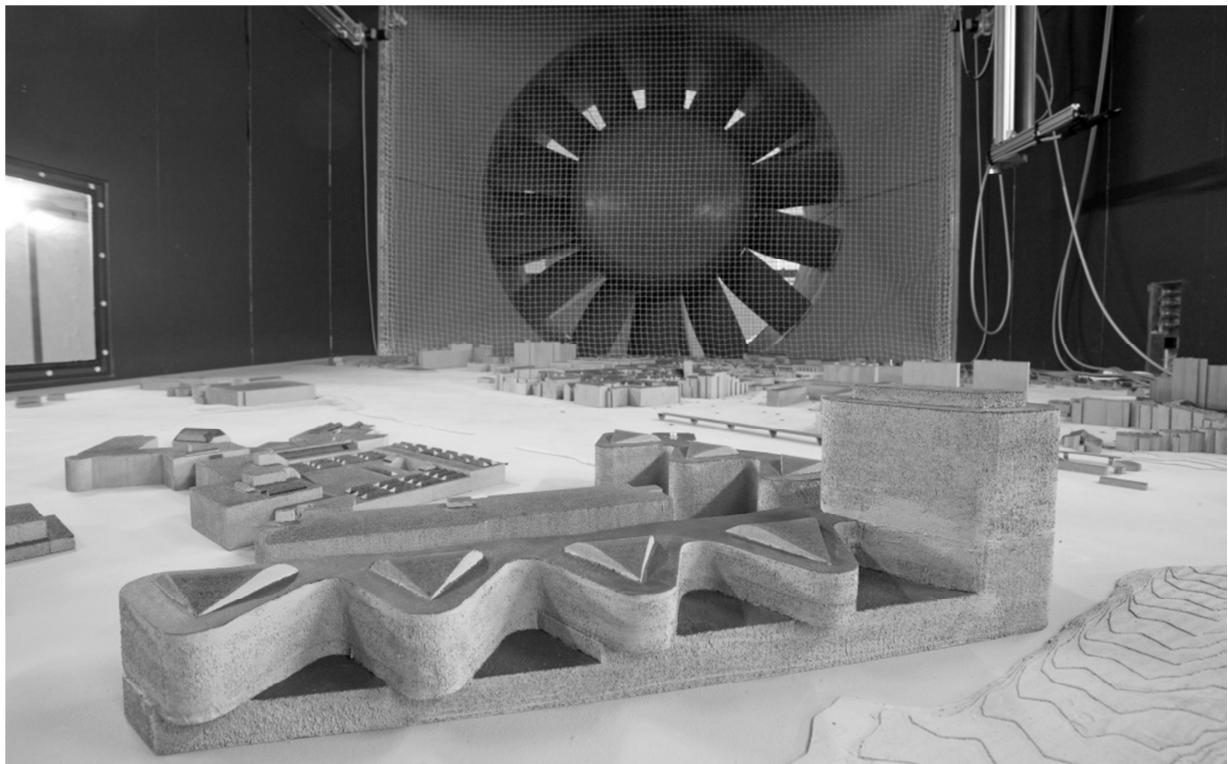
Mit der Veränderung des Windfeldes wird sich aufgrund des Neubaus auch die Durchlüftung des Untersuchungsgebiets gravierend verändern. Folge kann eine erhöhte Luftschadstoffanreicherung im Stadtgebiet oder die Ausbildung lokaler Wärmeinseln sein.

Um die Ventilation des Modellgebietes experimentell bestimmen zu können, werden spezielle Tracergasmessungen durchgeführt. Das Modellgebiet wird mit Messgas angereichert, bis sich



ein quasistationäres Konzentrationsfeld einstellt. Nach dem Abschalten der Messgaszuführung wird an repräsentativen Messorten die Zeit bestimmt, die zum Abbau der Tracergaskonzentration erforderlich ist. Die Einzelerperimente werden mehrfach wiederholt, um die durch Turbulenz verursachte Variabilität der Einzelergebnisse zuverlässig im Messdatensatz abbilden zu können. Die Experimente werden für verschiedene Gebäudekonfigurationen wiederholt. So kann zum Beispiel geprüft werden, ob und mit welcher Variabilität eine Ableitung wärme- oder schadstoffbelasteter Luftmassen Straßenzüge zur Verbesserung des Mikroklima im Stadtgebiet beiträgt. Der Beitrag wird die bisher im Projekt realisierten Versuche und Ergebnisse vorstellen und soll zur Diskussion von Bewertungsverfahren und -maßstäben für den Luftaustausch in Stadtgebieten auffordern.

Diese Arbeit wird im Rahmen des BMBF- Forschungsprojektes KLIMZUG-NORD (Fördernummer 01LR0805D) gefördert.



**Abbildung 1: Windkanalmodell des geplanten Verwaltungsgebäudes**

## Zusammenhang zwischen thermischer Belastung im Freien und in Innenräumen

Christina Koppe<sup>1)</sup>, Jens Pfafferott<sup>2)</sup>

- 1) Deutscher Wetterdienst (DWD) – Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung, Stefan-Meier-Strasse 4-6, D-79104 Freiburg, [christina.koppe@dwd.de](mailto:christina.koppe@dwd.de)  
 2) Hochschule Offenburg & Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme

Während der Hitzewelle im Jahr 2003 starben in Europa schätzungsweise 35.000 bis 50.000 Menschen an den Folgen der Hitze. Dieses Ereignis verdeutlicht die Gefahren für die menschliche Gesundheit, welche sich aus länger andauernden Perioden mit starker oder extremer Wärmebelastung ergeben. In seinem letzten Sachstandsbericht geht der Weltklimarat (IPCC; 2007) davon aus, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass Hitzewellen in vielen Teilen der Erde in Zukunft häufiger und intensiver werden. Als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel haben daher viele Länder sogenannte Hitzewarnsysteme eingerichtet.

Ältere Menschen und Personen mit bestimmten Krankheiten, die sich einen Großteil des Tages in Innenräumen aufhalten, gehören zu den Risikogruppen für hitzebedingten Mortalität. Obwohl die thermische Belastung in den Innenräumen eine große Rolle bei den Auswirkungen von Hitzewellen auf die Gesundheit zu spielen scheint, wird sie bisher bei der Warnung der Bevölkerung vor Hitze nicht routinemäßig verwendet. Hitzewarnsystem verwenden teilweise die Andauer einer Situation mit Wärmebelastung und auch das Minimum der Lufttemperatur, um die Wärmebelastung im Innenraum indirekt zu berücksichtigen.

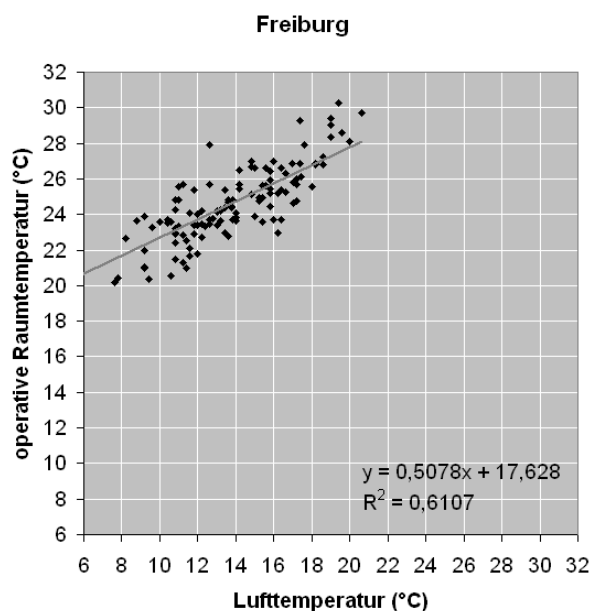


Abbildung 1: Vergleich des Tagestiefwertes der Lufttemperatur mit dem Minimum der operativen Raumtemperatur in einem Standardgebäude von Juni bis September 2011.

In typischen Gebäuden ohne mechanische Kühlung oder Belüftung wird jedoch die thermische Belastung im Vergleich zu den Außenbedingungen modifiziert. Von Bedeutung sind dabei vor allem die Gebäudesubstanz und das Nutzerverhalten. Der DWD verwendet ein thermisches Gebäudesimulationsmodell des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) zur Modellierung der Wärmebelastung im Innenraum. Dieses thermische Gebäudesimulationsmodell sagt die thermischen Innenraumbedingungen basierend auf den meteorologischen Bedingungen der vergangenen Wochen und der Wettervorhersage für die nächsten Tage vorher. Da die thermischen Bedingungen im Innenraum von der Gebäudesubstanz abhängen, wird ein - bezüglich seines thermischen Verhaltens - mittleres Gebäude simuliert. Zusätzlich wird für das Nutzerverhalten ein Nutzer angenommen, der das Fenster immer dann öffnet, wenn es draußen kühler ist als innen und die

Vorhänge schließt, wenn die Sonne direkt auf das Fenster fällt. Die Wärmebelastung im Innenraum wird dabei mittels der operativen Raumtemperatur (Mittelwert aus Lufttemperatur und Strahlungstemperatur) und des PMV Wertes (Predicted Mean Vote) bewertet.

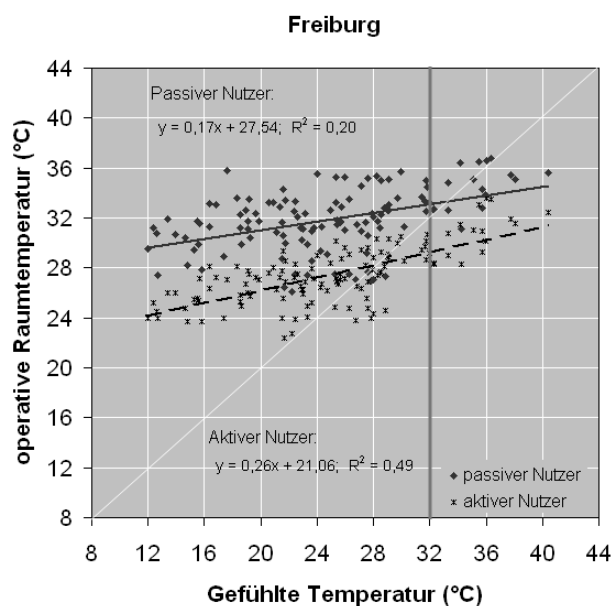


Abbildung 2: Vergleich der operativen Raumtemperatur in einem Standardgebäude tagsüber mit der Gefühlten Temperatur im Freien von Juni bis September 2011.

Erste Ergebnisse aus dem Jahr 2011 zeigen, dass die in Heizwarnsystemen häufig verwendete Tagestiefsttemperatur lediglich 50-60% der Varianz des Minimums der operativen Raumtemperatur erklärt (Abb. 1). Sie ist daher nur bedingt geeignet, um die Gesundheitsfolgen von fehlender nächtlicher Abkühlung zu beschreiben. Auch tagsüber weichen die thermischen Bedingungen im Innenraum von denen im Freien ab (Abb. 2). Besonders in Räumen mit einem passiven Nutzer (kein Öffnen der Fenster, keine Abschattung) werden auch an Tagen, an denen im Außenbereich nur eine geringe Wärmebelastung besteht, hohe operative Raumtemperaturen erreicht. An Tagen mit starker Wärmebelastung im Freien (Gefühlte Temperatur  $> 32^{\circ}\text{C}$ ) liegt die operative Raumtemperatur jedoch meist unter der Gefühlten Temperatur.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) plant daher die Innenraumtemperatur direkt als eines der Kriterien zur Herausgabe einer Hitzewarnung zu verwenden. Dabei wird für die Bewertung der Wärmebelastung tagsüber - wie bisher auch - die Gefühlte Temperatur verwendet. Die bis dato im Hitzwarnmodul verwendete Minimumtemperatur soll durch einen 8-Stunden Mittelwert der nächtlichen operativen Raumtemperatur ersetzt werden.

### Literatur:

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds.: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE. Cambridge University Press. Cambridge, UK:976pp.

## **Bewertung von Minderungsmaßnahmen zur Reduktion von Hitzestress vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels**

*Nicole Müller,<sup>1</sup> Wilhelm Kuttler*

*1) Universität Duisburg-Essen, Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Schützenbahn 70, 45127 Essen, nicole.mueller@uni-due.de*

Durch den Klimawandel wird es zukünftig vor allem in Städten zu einer Verstärkung der negativen thermischen Effekte auf die Stadtbevölkerung kommen. Daher gilt es bereits heute, städtebauliche Handlungskonzepte zu entwickeln, um zukünftig der Wärmebelastung effektiv vorbeugen zu können.

In der vorliegenden Studie werden im Rahmen des BMBF-finanzierten Projekts *dynaklim* die stadtklimatischen Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Stadt Oberhausen, NRW repräsentativ für Städte der Emscher-Lippe-Region untersucht, sowie hierauf basierend geeignete Minderungsstrategien gegen Wärmebelastung entwickelt.

Das methodische Konzept besteht aus der Kombination eines experimentellen in-situ Messnetzes sowie mikroklimatischer Modellsimulationen. Durch die einjährige Messaktivität (01.08.2010-31.07.2011) der acht im Stadtgebiet verteilten Klimastationen erfolgt die Quantifizierung des derzeitigen Stadtklimas der Modellstadt Oberhausen in verschiedenen Klimatopen. Basierend auf den Messergebnissen werden mögliche Adaptionsstrategien im zukünftigen Klima mittels numerischer Simulation (ENVI-met) untersucht und im Hinblick auf ihre Wirksamkeit bewertet.

Bei der Entwicklung von Adaptionenmaßnahmen wird der Einsatz verdunstungsaktiver Flächen favorisiert (Vegetations- und Wasserflächen, sowie Dach- und Fassadenbegrünung). Ein spezielles Augenmerk liegt dabei auf der Wirkungsweise von relativ kleinen Flächen (max. 1 ha). Solche Flächen können durch Strukturveränderung und Bevölkerungsrückgang auch in Stadtzentren frei werden; sie sollten möglichst mit einer dem Klimawandel angepassten Bebauung versehen werden oder als klimatische Entlastungsflächen erhalten bleiben. Einen weiteren Untersuchungsschwerpunkt stellen Wasserflächen dar, da hierfür im Vergleich zu den bereits ausführlich analysierten Auswirkungen von Vegetationsflächen auf das Stadtklima noch Forschungsbedarf besteht.

Die Untersuchung der Minderungsstrategien wird mittels des numerischen Stadtklimamodells ENVI-met 3.2 durchgeführt. Die Simulationen erfolgen überwiegend für einen hochversiegelten, dichtbebauten Innenstadtstandort zur Erfassung des maximalen Wirkeffekts, sowie zu Vergleichszwecken auch für einen Stadtrand- bzw. einen Freiland-Standort. Die erforderlichen Eingangsparameter werden dabei durch das Messnetz bereitgestellt. Zusätzlich dienen die gewonnenen Messwerte als Validierungsdaten des Modells.

Die Modellergebnisse der simulierten Szenarien mit Erhöhung des verdunstungsaktiven Flächenanteils zeigen eine deutliche Wirkung auf den thermischen Komfort, der anhand der physiologisch-äquivalenten Temperatur (PET) quantifiziert wird. Abschließend werden die Szenarien hinsichtlich ihrer Wirkung und der Reichweite des Effekts verglichen und bewertet.

**Kommunale Klimaanpassung in der Praxis- Fragen aus der Stadtplanung an die Stadtklimatologie**  
Dipl.-Ing. Nicole Baumüller (Universität Stuttgart, Städtebau-Institut, Stipendiatin der Landesgraduiertenförderung), nicole.baumueller@gmx.de

Hinsichtlich des Klimawandels sind neben Maßnahmen zum Klimaschutz verstärkt Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels insbesondere in Städten notwendig. In den letzten Jahren sind mit der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel die Anforderungen der Klimapolitik an die räumliche Planung stark gestiegen. Zudem hat der Gesetzgeber 2011 die Klimaanpassung als eine Grundaufgabe der Bauleitplanung und Stadtentwicklung neu im Baugesetzbuch aufgenommen, weshalb die Städte und Kommunen verstärkt aufgefordert sind, diesem Thema Rechnung zu tragen. Während der Klimaschutz seit geraumer Zeit ein wichtiger Bestandteil kommunaler Politik ist, stellt die Klimaanpassung ein neues Aufgabenfeld und bis jetzt noch ein Randthema dar. Deshalb fördert die Bundesregierung derzeit die Entwicklung kommunaler und regionaler Konzepte und Strategien über verschiedene Forschungsprojekte (z.B. Klimazug, Klimazwei, KlimaMoro, ExWost Klima), so dass immer mehr Kommunen beginnen damit, sich mit Fragen der Klimaanpassung zu beschäftigen. Klimaanpassung und Stadtumbau in Übereinstimmung zu bringen, ist eine neue Aufgabe und Herausforderung für Politik, Planungsbeteiligte und Öffentlichkeit. Ziel dabei sollte es sein, eine Planung zu gewährleisten, die hohen Qualitätsstandards und Stadtumbauzielen wie der Innenentwicklung, genauso gerecht wird, wie den Zielen der Klimaanpassung.

Für die Städte – vor allem die urbanen Zentren – steht im Hinblick auf die Anpassungsstrategien das Phänomen der urbanen Hitzeinsel im Fokus. Planerische Konzepte und Strategien zum Schutz vor Hitzefolgen in Siedlungsgebieten bilden deshalb zukünftig einen wichtigen Baustein einer klimaangepassten Stadtentwicklung. In mitteleuropäischen Städten wird gemäß den Klimaszenarien die sommerliche Hitzebelastung zunehmen und durch längere Hitzewellen mit höheren Maximaltemperaturen in den nächsten Jahrzehnten geprägt sein. Dies stellt Städte und seine Bewohner vor neue Belastungen und Probleme, da Bauweisen, Raumnutzungsmuster und Bewohner an diese Entwicklung nicht angepasst sind. Sowohl Leistungsfähigkeit, Wohlbefinden und Gesundheit können beeinträchtigt werden.

Die Stadtklimatologie wird bei der Entwicklung und Umsetzung von Klimaanpassungsstrategien eine immer größere Rolle einnehmen. Jedoch wird in aktuellen Diskussionen deutlich, dass der Transfer klimatischer Kenntnisse in die Sprache der Stadtplaner und Städtebauer erst noch geleistet werden muss und die Kommunikation zwischen Stadtklimatologen und Stadtplanern verbessert werden sollte. Fragen von Seiten der Stadtplanung an die Stadtklimatologie ergeben sich u. a. zum Thema Unsicherheiten der Klimaprognosen für Stadtgebiete, Möglichkeiten und Grenzen von Stadtklimamodellen für Prognosen zum Klimawandel und zur Optimierung von städtebaulichen Entwürfen, Anforderungen an die Innenentwicklung und städtebauliche Dichte unter Gesichtspunkten der Klimaanpassung, Möglichkeiten der quantitativen Bewertung von Maßnahmen auf Stadtquartiersebene? Diese und weitere Fragen sollen anhand planerischer Aufgaben im Rahmen des Vortrags aufgezeigt werden.

## Zur Wahrnehmung der Stadtklimatologie in Planungsprozessen

Lutz Katzschner  
Universität Kassel (Fachgebiet Umweltmeteorologie),

### Abstract:

Anhand verschiedener Beispiele in unterschiedlichen Klimaten wird die Bedeutung stadtklimatisch- meteorologischer Verfahren zur Verwendung in Planungsprozessen erörtert. Zwingend erforderlich ist die Vergleichbarkeit der Analysen. Zur Vereinheitlichung wurde die VDI Richtlinie 3787 Bl. 1 "Umweltmeteorologie Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen" erstellt, die als Grundlage herangezogen wurde.

Stadtklimatische und mesoskalige Regionalanalysen werden in einem planungsprozessualen Zusammenhang gestellt, um die planerischen und meteorologischen Größenordnung stimmig darzustellen. Daraus entwickeln sich sowohl informelle als auch verbindliche Planungsebenen. Realität und Anspruch klaffen dabei oft weit auseinander. Die gegenseitige Kenntnis von Inhalten und Prozessen bleibt nach wie vor mangelhaft.

Viele nationale Projekte im Klimawandel benötigen ausreichend aufgelöste regionale (mesoklimatische) aber auch mikroklimatische Darstellungen, welche die Auswirkungen des Klimawandels mit berücksichtigen können.

An den Beispielen der Region Nordhessen, der Stadt Kassel und Frankfurt werden diese Ebenen behandelt und in Kartenform dargestellt. Die thermische Komponente steht dabei im Mittelpunkt, wobei immer die Ventilationsbedingungen planerisch Berücksichtigung finden.

Wichtig ist auch der internationale Vergleich, wobei die Planungsansätze nahezu identisch sind, jedoch die Fragestellung und die Zielvereinbarungen mit den Planern erheblich von den meteorologischen Rahmenbedingungen abhängt, was an Beispielen in Europa zwischen Deutschland und Holland, jedoch auch zu tropischen Stadtklimaten diskutiert wird.

### Literatur:

Chao, R. Ng, E. Katzschner, L. 2010 Urban Climate Map Studies. A review, International Journal of Climatology, a review, DOI: 10.1002/joc.2237.

Katzschner, L. 2011 Richtlinien und Rahmenbedingungen von Stadtklimauntersuchungen für Planungen im globalen Klimawandel, UVP Report, Hamm.

Katzschner, L. 2011 Urban Climate Strategies Against Future Heat Stress Conditions, in: K. Otto-Zimmermann (ed.), Resilient Cities: Cities and Adaptation to Climate Change - Proceedings of the Global Forum 2010, Local Sustainability 1, DOI 10.1007/978-94-007-0785-6\_8, © Springer Science+Business Media B.V. p 79 – 91, 2011.

# Verletzbarkeit und Anpassungsmöglichkeiten von Gebäuden und Baukonstruktionen an die Folgen des Klimawandels am Beispiel der Modellregion Dresden

Johannes Nikolowski<sup>1</sup>, Jakob Zimm<sup>1</sup>, Dr.-Ing. Thomas Naumann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Weberplatz 1, 01217 Dresden, j.nikolowski@ioer.de

„Um die Schäden möglichst gering zu halten, müssen wir erstens den Klimaschutz weiter voranbringen. Zweitens müssen wir durch Anpassung vorsorgen: Gesellschaft und Natur sollten durch bereits absehbare Änderungen so wenig wie möglich beeinträchtigt werden.“ (BMU, 2009). Die BMBF-Fördermaßnahme „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ widmet sich dieser Problematik durch die Förderung von sieben regionalen Verbundvorhaben in Deutschland. In diesem Rahmen koordiniert das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung das Verbundvorhaben REGKLAM (Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden), in dem die regionalen Auswirkungen des Klimawandels und die Möglichkeiten der Anpassung in der Modellregion Dresden thematisiert werden. Innerhalb von REGKLAM beschäftigt sich das Teilprojekt 3.1.1 „Gebäude- und Siedlungsstrukturen“ mit der Entwicklung ganzheitlicher Analysemethoden zur Beurteilung der Sensitivität der in der Modellregion maßgebenden Gebäudetypen und Siedlungsstrukturen gegenüber Einwirkungen durch extreme Wetter- und Witterungsereignisse, die sich infolge des Klimawandels in Häufigkeit und Intensität verändern können (vgl. Abbildung 1).

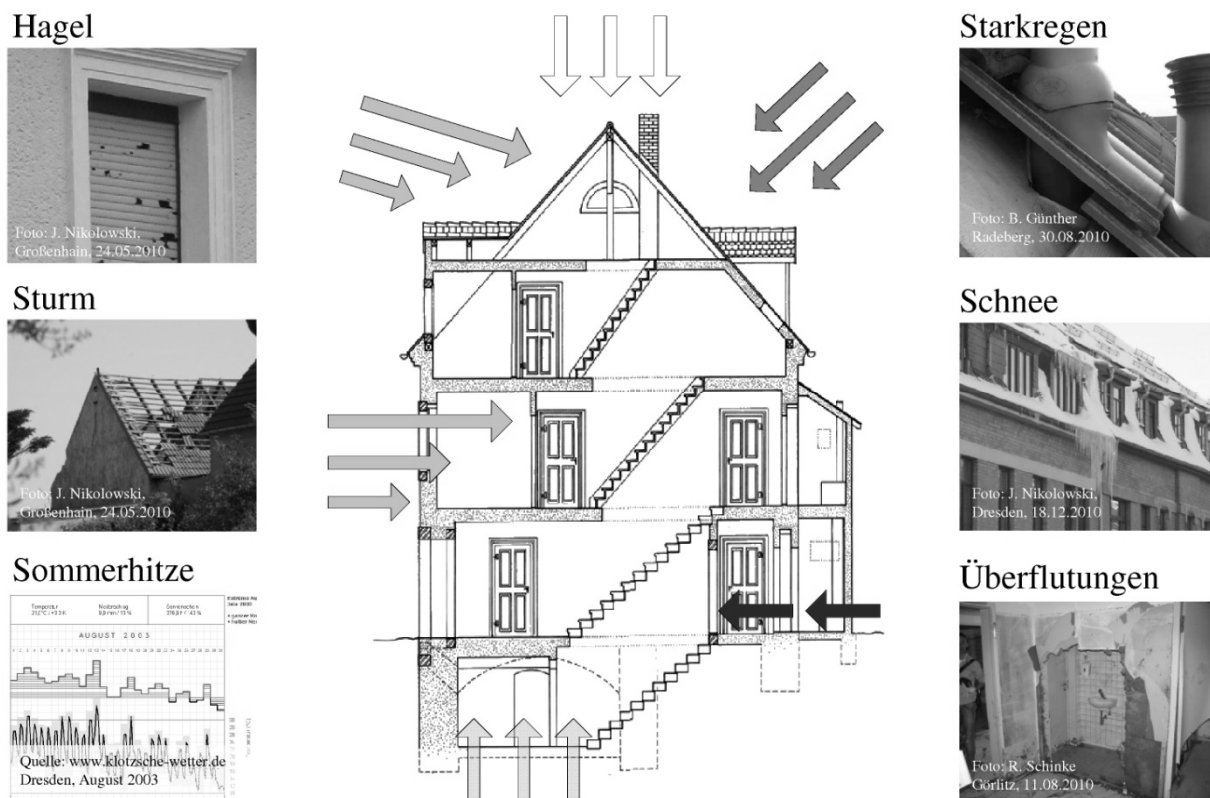


Abbildung 1: Einwirkungen extremer Wetter- und Witterungsereignisse auf Gebäude

Darauf aufbauend werden innovative Anpassungskonzepte erarbeitet, die eine Ertüchtigung des vorhandenen Gebäudebestandes zu weitgehend wetter- bzw. witterungsresistenten Bau-

strukturen ermöglichen. Vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels erscheinen bei Gebäuden sowohl in urbanen als auch in ländlichen Siedlungen die Anpassungsmöglichkeiten von hoher Bedeutung, um einerseits das Risiko direkter Schäden an der Bausubstanz zu begrenzen und andererseits indirekte Schäden, etwa in Form von Beeinträchtigungen für die Bewohner oder von Mietausfällen, zu minimieren.

Auf der Grundlage von Raumanalysen, die auf dem Einsatz von Fernerkundungsmethoden und Geoinformationssystemen (GIS) sowie systematischen Ortsbegehungen beruhen, wird innerhalb von 14 Fokusgebieten der Gebäudebestand analysiert. Da zwischen der Bauzeit eines Gebäudes und seinem baukonstruktiven Gefüge stets signifikante Zusammenhänge bestehen, lassen sich unter Berücksichtigung der Bebauungs- und Nutzungsart gebietsspezifische Gebäudetypen eines Untersuchungsgebietes bilden (vgl. Naumann et al., 2009). Repräsentanten der maßgebenden Gebäudetypen werden nach baukonstruktiven Verletzbarkeitsmerkmalen gegenüber Einwirkungen durch Extremereignisse vertiefend untersucht. Eine wesentliche Herausforderung besteht in der Anwendung von ex-post Analysen (vgl. Bernhofer et al., 2009) und Klimaprojektionen zur Bestimmung der aktuellen und damit potenziellen Verletzbarkeit von Gebäuden. Dazu wurden für unterschiedliche wetter- bzw. witterungsbedingte Einwirkungen wie Überflutung und Starkregen charakteristische Schadensmechanismen an Gebäuden beschrieben und baukonstruktive Anpassungsmöglichkeiten zur Verringerung der Verletzbarkeit konzipiert. Diese finden nun schrittweise Eingang in die mittlerweile vorliegenden Schadenssimulationsmodelle. Mit Hilfe von Projektionen des Klimawandels lassen sich damit die zu erwartenden Risiken von Schäden an Gebäuden bzw. Beeinträchtigungen für ihre Nutzer abschätzen.

Das REGKLAM-Teilprojekt 3.1.1 leistet, wie in der Deutschen Anpassungsstrategie (BMU, 2009) gefordert, durch den interdisziplinären, bautechnisch geprägten Ansatz einen Beitrag zur Untersuchung eines wichtigen vom Klimawandel betroffenen gesellschaftlichen Bereiches und wird auf konzeptioneller Ebene gebäudetypenspezifische Anpassungsmaßnahmen für Neubau und Bestand aufzeigen.

## **Literaturangaben**

Bernhofer, C., Matschullat, J., Bobeth, A. (Hrsg.), 2009: Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden, Heft 1 der Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM, Rhombos-Verlag, Berlin.

Naumann, T., Nikolowski, J., Golz, S., 2009: Der gebäudetypische VERIS-Elbe-Ansatz zur Ermittlung von Überflutungsschäden an Gebäuden im Klimawandel. In: *Anderes Klima. Andere Räume!*, Tagungsband der Universität Leipzig, Band 19, Books on Demand GmbH, Norderstedt: p. 227-240.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2009: *Dem Klimawandel begegnen – Die deutsche Anpassungsstrategie*, Silberdruck-Verlag, Niesetal.



## **Mittlere Strahlungstemperatur - die dominierende meteorologische Variable in der human-biometeorologischen Bewertung von Hitze in urbanen Räumen in Mitteleuropa**

*Hyunjung Lee<sup>1)</sup>, Helmut Mayer<sup>2)</sup>*

1) *Meteorologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Werthmannstr. 10, 79085 Freiburg, e-mail: hyunjung.lee@meteo.uni-freiburg.de*

2) *Meteorologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Werthmannstr. 10, 79085 Freiburg*

In der Diskussion um die Auswirkungen des regionalen Klimawandels auf Städte in Mitteleuropa und deren Bewohner wird oft auf die Bedeutung von extremen Hitzewellen hingewiesen, die zukünftig häufiger auftreten, längern andauern und intensiver sein werden. Daran sind die Strukturen und Bewohner von mitteleuropäischen Städten nicht angepasst, weshalb ein stadtplanerischer Handlungsbedarf besteht.

Als Indikator für die Hitzebelastung von Menschen werden häufig immer noch Lufttemperatur, urbane Wärmeinselintensität oder Anzahl von heißen Tagen herangezogen. Das ist insofern überraschend, weil seit mehr als 20 Jahren aus der Human-Biometeorologie bekannt ist, dass die Wahrnehmung von Hitze durch Stadtbewohner ausschließlich von ihrer Energiebilanz abhängt. Sie lässt sich zwar durch individuelles Verhalten beeinflussen, hängt aber maßgeblich von Kenngrößen der atmosphärischen Umgebung ab. Dazu zählen nicht nur die Lufttemperatur  $T_a$  allein, sondern auch noch die mittlere Strahlungstemperatur  $T_{mrt}$ , der Dampfdruck  $VP$  und die Windgeschwindigkeit  $v$ , jeweils bezogen auf die human-biometeorologische Referenzhöhe von 1.1 m über Grund. Auf der Grundlage der menschlichen Energiebilanz wurden thermische Indizes, wie die gefühlte Temperatur, die physiologisch äquivalente Temperatur oder der Universal Thermal Climate Index (UTCI), entwickelt, die in der urbanen Human-Biometeorologie anzuwenden sind bzw. auch angewendet werden, um die Wahrnehmung von Hitze im städtischen Freiraum und in Innenräumen so zu quantifizieren, dass sie für Stadtbewohner relevant ist.

Bei extremer Hitze in Mitteleuropa - sie tritt während Strahlungswetterlagen im Sommer auf - stellt  $T_{mrt}$  diejenige meteorologische Variable bei der Berechnung eines thermischen Indexes dar, die in der quantitativen Bewertung der Wahrnehmung von thermischem Stress im städtischen Freiraum durch Stadtbewohner weitaus dominiert.

In der Präsentation wird prozessbasiert erläutert, warum  $T_a$  für die human-biometeorologische Bewertung von Hitze nicht ausreicht. Danach werden verschiedene Methoden (experimentell und Simulationen) zur Bestimmung von  $T_{mrt}$  vorgestellt und diskutiert - auch vor dem Hintergrund der Wirksamkeit von stadtplanerischen Maßnahmen, die großräumige Hitze in ihrer lokalen Auswirkung auf Stadtbewohner zu reduzieren.

Auf der Grundlage von Messungen der kurz- und langwelligen Strahlungsflussdichten, die in den letzten Jahren in verschiedenen Stadtstrukturen von Freiburg während Strahlungswetterlagen im Sommer durchgeführt wurden, und daraus abgeleiteter  $T_{mrt}$  werden verschiedene urbane Muster von  $T_{mrt}$  erläutert. Dabei werden auch auf Einflussfaktoren analysiert, die einen Bezug zu kleinräumigen Stadtstrukturen, wie Straßengeometrie, zeigen.

## **Der Einfluss von Grünflächen und Gebäudecharakteristika auf die Lufttemperatur während Hitzeperioden in Berlin**

*Sebastian Schubert<sup>1)</sup>, Susanne Grossman-Clarke<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam, schubert@pik-potsdam.de*

<sup>2)</sup> *Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam, sgclarke@pik-potsdam.de*

Wir präsentieren Lufttemperaturverteilungen in Berlin während Hitzeperioden in den Jahren 2000-2010 für unterschiedliche Grünflächenanteile und Gebäudecharakteristika. Dazu verwenden wir das regionale Wetter- und Klimamodell COSMO-CLM mit dem Stadtschema BEP bei einer Auflösung von 1km. Ausgangspunkt für unsere Sensitivitätsstudie sind Stadt- und Gebäudealbedo-Daten auf Grundlage von 3D Gebäudedaten und Bodenversiegelungskarten aus dem Umweltatlas Berlins. Aus Ergebnissen von Simulationen mit variierten Grünflächenanteilen, Gebäudealbedo und anthropogenem Wärmeausstoß schätzen wir die Auswirkung von städtischen Anpassungsmaßnahmen ab.

## Ausbreitungsrechnung in gegliedertem Gelände unter Berücksichtigung von komplexer Bebauung; ein Beispiel

*Dorle Nörenberg<sup>1)</sup>, Peter Wilbring<sup>1)</sup>, Hubert Kretz<sup>1)</sup>*

*1) TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH*

Im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach BImSchG sind Ausbreitungsrechnungen nur gefordert, wenn der Bagatellmassenstrom der zu betrachtenden Stoffe überschritten ist (vgl. Tab. 7 Kapitel 4.6 TA Luft) soweit „sich nicht wegen der besonderen örtlichen Lage oder besonderer Umstände etwas anderes ergibt“ (Zitat TA-Luft 4.6.1.1). Diese Klausel definiert den Fall der Sonderfallprüfung nicht eindeutig und tätigt keine Aussage zur Überprüfung der Immissionskenngröße, für den Fall, dass eine Schornsteinhöhe basierend auf einer Gebäudehöhe ermittelt wurde. In diesem Fall ist lediglich die Gebäudehöhe ausschlaggebend für die ermittelte Schornsteinhöhe. Ein Bezug zu den Emissionsmassenströmen besteht in diesem Fall nicht mehr.

In der hier vorgestellten Studie wird ein Fall geschildert, in dem eine Mindestschornsteinhöhe basierend auf der Gebäudehöhe des unmittelbar benachbarten Gebäudes ermittelt wurde. Die Anlage befindet sich sowohl in strukturiertem Gelände als auch in komplexer Bebauung. Die Schornsteinhöhe wurde mittels einer Ausbreitungsrechnung mit Hilfe von AUSTAL 2000 überprüft. Es zeigt sich, dass im vorliegenden Beispiel die maximalen Immissionskenngrößen die in der TA Luft verankerte Irrelevanzgrenze übersteigen, obwohl der Emissionsmassenstrom den Bagatellmassenstrom unterschreitet. Es wurde anhand unterschiedlicher Berechnungen ermittelt, ob Gelände oder Gebäudeeinflüsse für dieses Verhalten verantwortlich sind.

Das vorliegende Fallbeispiel zeigt, dass eine einfache Kaminhöhenberechnung nach TA Luft zur Ermittlung der Mindestkaminhöhe im Fall komplexer Bebauung nicht zwingend ausreichend ist, selbst, wenn die Emissionen die Bagatellmassenströme unterschreiten.

## **Klimaprojektionen für die Region Dresden – räumliche Variabilität von Temperatur und Niederschlag**

*Majana Heidenreich<sup>1)</sup>, Christian Bernhofer<sup>1)</sup>*

*<sup>1)</sup>TU Dresden, Prof. für Meteorologie, 01062 Dresden, majana.heidenreich@tu-dresden.de*

Der Umgang mit dem schon heute zu beobachtenden Klimawandel ist eine wesentliche Aufgabe, der sich Wirtschaft, Politik und Verwaltung auf regionaler Ebene stellen müssen. In Sachsen entstand vor diesem Hintergrund das BMBF-Forschungsvorhaben REGKLAM (Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden). Im Rahmen dieses Forschungsverbundes werden auf Grundlage von regionalen Klimaprojektionen verschiedene Anpassungsmaßnahmen untersucht. Voraussetzung dafür ist die Analyse und Bewertung regionaler Klimaprojektionen.

Um den in Klimaprojektionen innewohnenden Unsicherheiten Rechnung zu tragen, wurden in einem Multi-Modell-Ansatz Daten der regionalen Klimamodelle CLM, REMO, WEREX IV sowie WETTREG 2006 und WETTREG 2010 für die REGKLAM-Modellregion Dresden auf Grundlage verschiedener Emissionsszenarios (A1B, B1, A2) ausgewertet. Bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen ist neben dem Ausmaß der Klimaänderung auch deren regionale Differenzierung von besonderem Interesse. Für die rund 70 km x 70 km große Modellregion Dresden wurde die räumliche Variabilität der Temperatur- und Niederschlagsänderung untersucht. Bei der Temperaturänderung betragen die regionalen Unterschiede aller verwendeten Modelle am Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum Kontrolllauf (1961–1990) etwa 0.2 bis 0.3 K. Die regionalen Differenzen der Änderungssignale der Klimaprojektionen sind damit geringer als die der bisherigen Beobachtungen (Vergleich 1991–2005 zu 1961–1990). Für den Niederschlag zeigen die Klimaprojektionen eine mittlere räumliche Schwankungsbreite des Änderungssignals von rund 200 mm. Die räumlichen Muster der Änderungssignale der einzelnen Modelle unterscheiden sich hier teilweise deutlich voneinander.

Regionale Klimaprojektionen erwecken durch ihre hohe räumliche Auflösung die Hoffnung, detaillierte Aussagen zur Klimaänderung in kleinen Regionen zu erhalten. Die Ergebnisse zeigen, dass die teilweise hohen Erwartungen der Anwender an die Verwendbarkeit von Klimaprojektionen zur Entwicklung von regional differenzierten Anpassungsmaßnahmen nur bedingt erfüllt werden können. Die räumliche Variabilität der Klimaänderungssignale in der Region Dresden ist auf Grundlage der verwendeten Klimaprojektionen mit Unsicherheit behaftet, die bei den Entscheidungen zu regionalen Anpassungen berücksichtigt werden müssen.

## Gute Luftqualität in Großstädten: Utopie oder Realität?

*Dr. Ulrich Reuter, Rainer Kapp*

*Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie, Gaisburgstraße 4, 70182 Stuttgart, Email: [ulrich.reuter@stuttgart.de](mailto:ulrich.reuter@stuttgart.de), [rainer.kapp@stuttgart.de](mailto:rainer.kapp@stuttgart.de)*

Das europäische Luftqualitätsrecht ist derzeit u. a. geregelt in der Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa vom 21.05.2008 [1]. Durch die 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) [2] erfolgte die Umsetzung in nationales Recht. Die auf dieses Recht zurückgehenden Grenzwerte für die Luftschadstoffe Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) sind in vielen deutschen Städten an Hauptverkehrsstraßen überschritten. Als Konsequenz dieser Überschreitungen wurden entsprechend der Rechtslage für die betroffenen Städte Luftreinhalte- und Aktionspläne aufgestellt mit dem Ziel, die Gefahr der Grenzwertüberschreitung zu verringern. Es darf nicht unbeachtet bleiben, dass aber abseits der Hauptverkehrsstraßen in den Wohngebieten heute in der Regel gute Luftverhältnisse herrschen.

In der Präsentation wird zunächst unter besonderer Berücksichtigung der Landeshauptstadt Stuttgart die Entwicklung der Luftbelastung dargestellt. Stuttgart ist aufgrund der topografischen Situation besonders anfällig gegen hohe Luftschadstoffbelastung und zählt bundesweit vielfach als die Stadt mit den höchsten Luftschadstoffkonzentrationen. Sowohl der Grenzwert für den Tagesmittelwert der Feinstaubbelastung als auch der Grenzwert für die Stundenbelastung bei Stickstoffdioxid ist punktuell um ein Mehrfaches überschritten.

Durch technische Maßnahmen auf nationaler Ebene und durch kommunale Maßnahmen wie die Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs, des Ausbaus des Radverkehrs und durch Verkehrsmanagement hat sich die Luftsituation in den vergangenen Jahren kontinuierlich verbessert. Dennoch treten Grenzwertüberschreitungen auf, weil das EU-Recht die Grenzwerte verschärft hat und neue kritische Schadstoffe definiert wurden.

Schwerpunkt der Präsentation ist die Vorstellung der Maßnahmen im Rahmen der Luftreinhalte- und Aktionspläne sowie die damit verbundenen Erfolge und Erfahrungen. Dazu werden die Bemühungen in der im besonderen Focus der Luftreinhalteplanung stehenden Landeshauptstadt Stuttgart schwerpunktmäßig berücksichtigt [3] [4].

Zu den wesentlichen Maßnahmen gehören ein LKW-Durchfahrtsverbot (Anlieferung frei) im Großraum Stuttgart sowie die Ausweisung des gesamten(!) Stadtgebietes als Umweltzone mit stufenweise verschärften Fahrverboten für Fahrzeuge mit hohen Schadstoffemissionen. Dazu gehören aber auch z. B. die Bemühungen, Feinstaub mit Calcium-Magnesium-Acetat auf der Straße „festzukleben“. Bringt das Erfolg oder Misserfolg?

Wo stehen wir? Was wurde erreicht? Können wir bereits aufatmen? Was ist noch zu tun? Diese Punkte werden diskutiert. So ist Stuttgart gerade durch einen gerichtlichen Vergleich dazu gezwungen, kurzfristig neue Maßnahmen zu präsentieren, doch was geht noch, welche Maßnahmen sind noch verhältnismäßig?

Bringt Tempo 40 in der Stadt den lufthygienischen Durchbruch? Hier wurden gerade in umfangreichen Untersuchungen die verkehrlichen Auswirkungen sowie die Effekte auf die Lärm- und Luftbelastung analysiert. Oder ist eine Umweltzone mit Fahrverboten für Dieselfahrzeuge die Lösung [5]? Müssen wir vielleicht noch ganz anders umdenken? Aktuelle Ansätze für die Zukunft werden in einem Fazit beleuchtet.

#### Literatur

- [1] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Abl L 152 vom 11.06.2008, 1 - 44
- [2] 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 39. BImSchV, Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen, 5. August 2010, BGBl I, 1065 – 1104
- [3] Regierungspräsidium Stuttgart (Hrsg.) 2005, Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart, Download unter [www.rp-stuttgart.de](http://www.rp-stuttgart.de)
- [4] Regierungspräsidium Stuttgart (Hrsg.), 2010, Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart – Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart – Fortschreibung des Aktionsplanes zur Minderung der PM<sub>10</sub>- und NO<sub>2</sub>-Belastungen, Download unter [www.rp-stuttgart.de](http://www.rp-stuttgart.de)
- [5] U. Becker, E. Clarus, W. Schmidt, M. Winter, TU Dresden, 2010, Stickoxide, Partikel und Kohlendioxid: Grenzwerte, Konflikte und Handlungsmöglichkeiten kommunaler Luftreinhaltung im Verkehrsbereich, Download unter [http://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/oeko/Bericht\\_final\\_luftreinhaltung\\_UB\\_20091126.pdf](http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/vkw/ivs/oeko/Bericht_final_luftreinhaltung_UB_20091126.pdf)

## **Eine einfache Methode zur Abschätzung des urbanen Wärmeinseleffekts in Datensätzen zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden**

*Uwe Wienert<sup>1)</sup>, Frank Kreienkamp<sup>2)</sup>, Arne Spekat<sup>2)</sup>, Wolfgang Enke<sup>2)</sup>*

1) Uwe Wienert, Deutscher Wetterdienst (DWD), Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach, e-mail: [uwe.wienert@dwd.de](mailto:uwe.wienert@dwd.de)

2) Climate & Environment Consulting (CEC) Potsdam GmbH, David-Gilly-Straße 1, 14469 Potsdam, e-mail: [frank.kreienkamp@cec-potsdam.de](mailto:frank.kreienkamp@cec-potsdam.de)

Zur Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden sowie zur Berechnung des Energieverbrauchs und der Dimensionierung von Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen werden spezielle Klimadatensätze, die sog. „Testreferenzjahre“, abgekürzt TRY („test reference years“), herangezogen. Diese Datensätze basieren auf an Wetterstationen erhobenen Mess- und Beobachtungsreihen und enthalten stündliche Werte diverser meteorologischer Parameter (Lufttemperatur, Wolkenbedeckungsgrad, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung etc.). Ein Rekombinations-Algorithmus, ein so genannter Wettergenerator, setzt aus Episoden langjähriger Messperioden Zeitreihen der TRY zusammen. Sie besitzen die Signatur des typischen jährlichen Witterungsverlaufs. Die Wetterstationen werden nach dem Grad ihrer Repräsentanz für definierte Klimaregionen in Deutschland ausgewählt.

Bereits seit 25 Jahren sind die TRY von den Ingenieuren als geeignetes Werkzeug zur thermischen Gebäudesimulation anerkannt und wurden zwischenzeitlich mehreren Überarbeitungen und Anpassungen an die Anforderungen des Nutzerkreises unterzogen. In der neuesten Version der TRY werden auch die Auswirkungen des Klimawandels bis zur Mitte des Jahrhunderts auf Basis mehrerer regionaler Klimaprojektionen berücksichtigt.

Die TRY-Datensätze haben die Prämisse, dass innerhalb einer Region die Klimaverhältnisse durch eine Repräsentanzstation vorgegeben sind. Es gibt folglich keine Möglichkeit die speziellen Temperaturverhältnisse in Stadtgebieten, die sich je nach Wittersituation meist durch eine Temperaturüberhöhung gegenüber der Stadtumgebung auszeichnen (städtische Wärmeinsel), einzubeziehen. Um diesen Mangel zu beheben wurde in der aktuellen TRY-Version eine pragmatische Methode zur Abschätzung des städtischen Wärmeinseleffekts implementiert. Die Zielsetzung besteht im Wesentlichen darin, unter Verwendung möglichst leicht verfügbarer Parameter die Ausprägung der städtischen Wärmeinsel im Tagesgang je nach den Witterungsbedingungen realistisch abzubilden.

Die Grundlage für die Entwicklung einer geeigneten Methodik zur Bewertung des Stadteffekts auf die Lufttemperatur bilden in der Fachliteratur publizierte Ergebnisse von Felduntersuchungen zur Wärmeinselintensität in Abhängigkeit von der Stadtgröße und von der jeweiligen Witterung. Der Kern dieser Methode besteht aus empirischen Funktionen, die anhand der Einwohnerzahl als Indikator für Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad und anthropogener Wärmeproduktion einen Zusammenhang mit der maximalen Überwärmung eines Stadtgebietes herstellen. Darüber hinaus wurden aufgrund veröffentlichter Erkenntnisse Funktionen zur Bewertung des Tages- und des Jahresganges der Wärmeinselintensität in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Wolkenbedeckungsgrad entwickelt.

Im Rahmen der TRY-Aktualisierung wurde zudem ein spezielles Anwendungsprogramm erstellt. Durch Eingabe der Einwohnerzahl eines in Frage stehenden Stadtgebietes und der Höhenlage kann nun die Auswirkung der städtischen Wärmeinsel auf die stündlichen Lufttemperaturen im Tages-, Monats- und Jahresverlauf abgeschätzt werden. Ein Vergleich dieser Methodik mit realen Messdaten, wie zum Beispiel mit den Temperaturmessungen an der innerstädtischen Station Berlin-Alexanderplatz, ergab, dass bezogen auf die Stunden eines Jahres die weitaus meisten Werte in einem Bereich von  $\pm 1$  K zur berechneten Wärmeinselintensität lagen. Insgesamt ist zu erwarten, dass durch die neue Funktionalität in den TRY-Datensätzen eine wesentlich realistischere Darstellung der Lufttemperaturen in Städten und Ballungsräumen zur Unterstützung einer nachhaltigen energieoptimierten Bauweise erreicht wird.



**Heat stress in urban areas:  
Indoor and outdoor temperatures in different types of housing areas in the  
city of Leipzig and subjectively reported well-being**

*Ulrich Franck<sup>1\*,+</sup>, Michael Krüger<sup>2,+</sup>,  
Nina Schwarz<sup>3</sup>, Katrin Großmann<sup>4</sup>, Irina Lehmann<sup>5</sup>, Stefan Röder<sup>1</sup>, Uwe Schlink<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Core Facility Studies, <sup>3</sup> Dept. Computational Landscape Ecology,  
<sup>4</sup> Dept. Urban and Environmental Sociology, <sup>5</sup> Dept. Environmental Immunology at  
Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Leipzig, Germany,  
<sup>2</sup> Institute of Geography at the University of Leipzig*

\* Corresponding author: [ulrich.franck@ufz.de](mailto:ulrich.franck@ufz.de), <sup>+</sup> Authors equally contributed to this paper.

Climate change is increasing minimum and maximum temperatures as well as the number of days with high temperatures. Hence, climate change is threatening human well-being and health.

In Germany, the mean air temperatures increased during the last century by 1 K (Schönwiese and Janoschitz 2005). In western Saxony, global climate change resulted in an increase of 0.7 K in the yearly mean air temperatures and 1.3 K of the maximum temperatures comparing the periods 1961 – 2005 and 1991 - 2005 (SMUL 2008). During heat waves, human well-being and health are adversely affected (Kalkstein 1993; Gabriel and Endlicher 2011).

All this data refer to outdoor temperatures. On the other hand, people spend the majority of their time indoors (VDI 2008). Therefore, indoor temperatures are also of special importance with respect to well-being and health. Temperature of indoor air depends on outdoor air temperatures but is modified by housing type, housing area, and may be also influenced by differences in the behavior of the inhabitants.

Especially in cities, outdoor air temperatures depend on urban structure e.g. housing density, unpaved areas, housing types, urban green and other factors.

Hence, the questions arise how urban structures are related to inner-urban temperature differences and how outdoor air temperatures influence indoor temperatures in dependence on urban housing conditions.

This study is a part of a pilot study during the summer 2010 which included remote sensing, mobile measurements, stationary measurements of air temperatures and relative humidity in different housing areas, and of indoor as well as outdoor temperatures in occupied apartments. We also asked for subjective feeling of heat stress.

This pilot study included measurements of indoor and outdoor temperatures for 136 apartments in 4 different types of housing (closed perimeter blocks, open perimeter blocks, linear developments and residential areas with single family and semi-detached homes). In each type of residential area 2 stationary systems logged at typical sites data of temperature and humidity. The sky viewing factors of these sites were determined using fish-eye object lenses. These measurements covered 43 days. Questionnaire data and indoor as well as outdoor measurements took three of the hottest days into account. We also asked for green

space and trees in the vicinity of the apartments and for shadowing. Additionally, the distance of the houses to the city center was determined.

The study resulted in rather complex relationships between the variables which describe housing areas, indoor and outdoor temperatures, morning and evening temperatures, indoor and outdoor temperatures as well as subjective heat stress.

Green spaces and types of residential areas are correlated to air temperatures. The temperature differences between different categories are higher at morning than at evening. More green resulted in lower temperatures. Temperatures have a tendency to increase with increasing story number and are significantly higher in the top floor. Distance to city center is a predicting variable, which modifies the other effects on temperature. The subjective feeling of heat strain does not clearly reflect measured temperature differences but varies according to adaptation behavior. Indoor and outdoor temperatures are not clearly correlated because of various modifying factors. These factors were identified.

#### Literature:

K. M. Gabrieland and W. R. Endlicher (2011). "Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany." *Environmental Pollution* 159(8-9): 2044-2050.

L. S. Kalkstein (1993). "Health and climate change. Direct impacts in cities." *Lancet* 342(8884): 1397-1399.

C. D. Schönwiese and R. Janoschitz (2005). *Klima-Trendatlas Deutschland 1901- 2000*. Frankfurt/M.

SMUL, Ed. (2008). *Sachsen im Klimawandel*.

VDI - The Association of German Engineers (2008). *Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning - Part 1: Climate. Standard Directive 3787, Sheet 2*

## **Einfluss der Evapotranspiration auf den thermischen Komfort in Stadtgebieten**

**A. Goldbach<sup>1)</sup> und W. Kuttler<sup>1)</sup>**

1) Universität Duisburg-Essen, Campus Essen, Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Schützenbahn 70, 45127 Essen; email: [anja.goldbach@uni-due.de](mailto:anja.goldbach@uni-due.de)

Die morphologische und thermophysikalische Stadtstruktur sowie anthropogene Verhaltensweisen beeinflussen die Strahlungs- und Energieflüsse in urbanen Gebieten derart, dass dadurch bekannte Stadtklimaeffekte, wie die städtische Wärmeinsel (UHI), verursacht werden. Zukünftig werden immer mehr Menschen den negativen Effekten des Stadtklimas ausgesetzt sein, welche sich im Rahmen des projizierten Klimawandels zusätzlich verstärken werden. Seitens stadtklimatischer Untersuchungen besteht die Notwendigkeit, Problemfeld bezogene Adaptations- und Mitigationsstrategien zur Verbesserung des Stadtklimas zu entwickeln, die in den kommunalen Planungsprozess Eingang finden müssen. In der Stadtklimatologie spielen im Rahmen der Minderung sommerlicher Wärmebelastung (Hitzestress) verdunstungsaktive Flächen, wie Gewässer oder wasserversorgte Grünanlagen, eine wichtige Rolle. Sie tragen durch Beschattung, Evapotranspiration und Kaltluftbildung dazu bei, die thermische Belastung innerhalb des Stadtgebietes zu reduzieren. Eine genaue Quantifizierung der Effizienz dieser Flächen ist bisher jedoch schwierig.

Mit dem Ziel der Quantifizierung der Verdunstung in unterschiedlichen urbanen Flächennutzungen zur Bewertung ihrer human-biometeorologischen Wirksamkeit wurden im Rahmen des BMBF-finanzierten *dynaklim*-Projektes zwischen dem 01.08.2010 und dem 31.07.2011 vergleichende Energiebilanzmessungen mittels Eddy-Kovarianz-Methode in Oberhausen (NRW, Deutschland) durchgeführt. In 30 m ü. Gr. erfolgt an zwei Standorten die kontinuierliche und hochfrequente Messung des dreidimensionalen Windfeldes (Ultraschallanemometer), der Wasserdampf- und Kohlenstoffdioxidkonzentrationen (NDIR-Gasanalysator) sowie der Strahlungsbilanzglieder.

Die Ergebnisse zeigen eine deutlich saisonale und diurnale Variabilität im Standortvergleich sowie Abhängigkeiten von der Vegetationsdichte und weiteren meteorologischen Parametern (Temperatur, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit). Im Maximum konnten ca. 90 % höhere latente Wärmeflussdichten  $Q_E$  am suburbanen, verdunstungsaktiven Standort registriert werden. Das thermische Behaglichkeitsmaß PET belegt, dass gut wasserversorgte Grünanlagen einer zunehmenden Wärmebelastung der Stadtbevölkerung entgegenwirken. Diese positive Wirkung kann während langanhaltender Trockenepisoden bei unzureichender Bewässerung abgeschwächt werden bzw. vollständig verloren gehen (Anstieg des Bowenverhältnisses auf über 1 sowie Reduzierung des monatlichen  $Q_E$ -Mittelwertes um 50 %). Aus stadtklimatischer Sicht muss daher ausdrücklich darauf verwiesen werden, dass das Anlegen innerstädtischer Grünflächen als Maßnahme zur Verbesserung des thermischen Niveaus in urbanen Räumen, ausschließlich dann effizient ist, wenn diese optimal wasserversorgt sind.

## Anpassungsmaßnahmen für die Stadt Köln auf der Grundlage von Niederschlags-Projektionsdaten und Extremwertstatistiken

*Guido Halbig<sup>1</sup>, Dr. Thomas Deutschländer<sup>2</sup>*

*1) Deutscher Wetterdienst (DWD), Wallneyer Str. 10, Essen, [guido.halbig@dwd.de](mailto:guido.halbig@dwd.de)*

*2) DWD, Frankfurter Straße 135, Offenbach/Main, [thomas.deutschlaender@dwd.de](mailto:thomas.deutschlaender@dwd.de)*

Die Deutsche Anpassungsstrategie führt aus, dass in Deutschland Extremereignisse aufgrund des Klimawandels sowohl häufiger als auch intensiver werden können. Dies gilt auch für lokale Starkniederschlagsereignisse, die in Städten zu Überflutungen und hohen materiellen Schäden führen können.

Um die konkreten Auswirkungen möglicher Veränderung von Starkniederschlagsereignissen in der Stadt Köln abzuschätzen, werden im Rahmen des Kooperationsprojektes „Klimawandelgerechte Metropole Köln – Köln\_21“ (Partner: Umweltministerium Nordrhein-Westfalen (MKULNV), Deutscher Wetterdienst, Stadt Köln) Stundensummen des Niederschlags regionaler Klimaprojektionen ausgewertet. Es wird eine Anzahl von Gitterpunkten für den Raum Köln betrachtet. Mittels eines statistischen Verfahrens wird berechnet, welche Änderungen sich bis Ende des Jahrhunderts im Bereich hoher Quantilwerte (95%-Quantil und 99%-Quantil) im Vergleich zum Kontrollzeitraum 1961 bis 2000 ergeben.

In Verbindung mit den Ergebnissen eines Kanalnetzmodells für den derzeitigen Zustand können dann die zu erwartenden Auswirkungen erfasst und Anpassungsmaßnahmen für eine klimawandelgerechte Stadt entwickelt werden.

## **RayMan and SkyHelios Models - Two Tools for Urban Climatology**

*Andreas Matzarakis*

*Meteorologisches Institut, Albert-Ludwigs.-Universität Freiburg, Werthmannstr. 10,  
D-79085 Freiburg*

For urban climatological or in general for micro climatic studies and their human-biometeorological assessment detailed and precise information are required. Important and demanded parameters and factors are in complex environments difficult to obtain and mostly have to be calculated or modeled (Hwang et al., 2011). The required parameters start from the knowledge and influence of sky view factor, the influence of sunshine duration and modification of radiation fluxes. Other information and parameters e.g. surface temperature or different surfaces which can influence the energy exchange of different urban structures are of importance. Radiation fluxes and wind speed are the parameters which are modified mostly in urban structures and have also the highest spatial and temporal variability.

The „RayMan“ model, which is presented here, is developed to calculate short wave and long wave radiation fluxes affecting the human body. „RayMan“ estimates the radiation fluxes and the effects of clouds on short and long wave radiation fluxes. The model, which takes complex building structures into account, is suitable for various planning purposes in different micro to regional levels. The final output of the model is the calculated mean radiant temperature, which is required in the human energy balance model and, thus, for the assessment of thermal bioclimate (Matzarakis et al., 2007, 2010). It is also relevant for thermal indices that facilitate the human-biometeorological assessment of the thermal component of the climate. The thermal indices Predicted Mean Vote, Standard Effective Temperature, Physiologically Equivalent Temperature, Universal Thermal Climate Index and Perceived Temperature can be calculated. In addition for detailed thermo-physiological approaches the energy balance fluxes of the human body and body parameters i.e. core and skin temperature can be also calculated.

Additional features, which can be used for the evaluation of climate in a region or for diverse other applications, are: calculation of sunshine duration with or without sky view factors, estimation of daily mean, max or sum of global radiation; calculation of shadow for existing or future complex environments (Matzarakis et al., 2007, 2010).

Advantage of RayMan is the user friendly environment and rapid running time. Disadvantage is the limitation of calculation for single points.

For the spatial dimension of micro climate the SkyHelios model has been developed. SkyHelios uses graphic processors which can be integrated in simulation models computing e.g. visualization of sky view factor or radiation estimation. Going a step further it is even possible to use modern graphics hardware as general-purpose array processors. These ideas and approaches use a cheap mass production technology to solve specific problems. This technology can be applied for modeling climate conditions or climate-relevant parameters on the micro-scale or with respect to urban areas. To illustrate this the simulation of the continuous sky view factor (SVF), thus the calculation of the SVF for each point of a complex area is included in SkyHelios. Digital elevation models (DEM), data concerning urban obstacles (OBS) or other digital files can serve as a data base in order to quantify relevant climatic conditions in urban and complex areas. The following benefits are provided by SkyHelios: (a) short computing time (b) short development time and (c) low costs due to the use of open source frameworks. The application of the developed model will be helpful to estimate radiation fluxes and the mean radiant temperature in urban and complex situations accurately, especially in combination with an urban microclimate model, e.g. the RayMan model.

Both models can communicate with different options, common data and graphic formats.

The models can be used for different approaches in micro scale and urban climatology issues including thermal comfort issues and climate change adaptation possibilities based on measured data and on regional climate modeling (Matzarakis und Endler, 2010, Fröhlich and Matzarakis, 2011, Herrmann and Matzarakis, 2011).

#### Literature

- Fröhlich D, Matzarakis A (2011) Hitzestress und Stadtplanung - Am Beispiel des „Platz der alten Synagoge“ in Freiburg im Breisgau. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* **71**, 333-338
- Herrmann J, Matzarakis A (2011) Mean radiant temperature in idealized urban canyons – Examples from Freiburg, Germany. *Int. J. Biometeorol.* DOI: 10.1007/s00484-010-0394-1
- Hwang RL, Matzarakis A, Lin TP (2011) Seasonal effect of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* **46**, 863-870
- Matzarakis A, Endler C (2010) Adaptation of thermal bioclimate under climate change conditions - The example of physiologically equivalent temperature in Freiburg, Germany. *Int. J. Biometeorol.* **54**, 479-483
- 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 (2007) Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* **51**, 323-334
- 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

## Bereitstellung von Kaltluftinformationen für Ausbreitungsrechnungen

A. Moldenhauer<sup>1)</sup>, H. Lorentz<sup>1)</sup>, I. Düring<sup>1)</sup>, P. Fleischer<sup>2)</sup>

1) Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Mohrenstraße 14, D- 01445 Radebeul, antje.moldenhauer@lohmeyer.de

2) Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Pillnitzer Platz 3, D-01326 Dresden

### Einführung

Bei autochthonen Wetterlagen können sich nachts über geneigtem Gelände sogenannte Kaltluftabflüsse bilden. Dabei fließt in Bodennähe (bzw. bei Wald über dem Kronenraum) gebildete kalte Luft hangabwärts. Die abfließende Kaltluft kann auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Nimmt sie zu viele Schadstoffe auf, kann ihr Zufluss von Schaden sein. Daher ist es bei der Immissionsprognose von großer Bedeutung, eventuelle Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ berücksichtigen zu können. Seit vielen Jahren existieren Kaltluftabflussmodelle, die auf Flachwassergleichungen beruhen und großflächige Berechnungen von Kaltluftabflüssen ermöglichen.

Für Gutachter oder Genehmigungsbehörden ist es i.d.R. schwierig, die Relevanz von Kaltluftabflüssen abzuschätzen. Dies ist auch dadurch bedingt, dass dafür eine entsprechende Entscheidungsgrundlage fehlt. Fachinformationssysteme sollen diese Wissenslücken schließen. Für Sachsen wurde das Fachinformationssystem METEOKART-GIS entwickelt, welches beim Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen betrieben wird und relevante Auskünfte zu Kaltluftabflüssen erteilt. Dieses System wird nunmehr auch in weiteren Untersuchungsgebieten zur Visualisierung genutzt und wird hier vorgestellt. Außerdem wird aufgezeigt, wie Kaltluftabflüsse bei der Ausbreitungsmodellierung explizit berücksichtigt werden können.

### Fachinformationssystem METEOKART-GIS

Die als Datenbank hinterlegten Kaltluftrechenergebnisse beruhen auf Kaltluftabflussberechnungen mit dem Kaltluftmodell KALM (Schädler, 1994). KALM verwendet die so genannten Flachwassergleichungen, eine vereinfachte (vertikal integrierte) Form der Grundgleichungen der Strömungsmechanik.

Das Fachinformationssystem METEOKART-GIS ermöglicht die Visualisierung von Kaltluftgeschwindigkeiten, -volumenströme und -schichtdicken auch dynamisch zu verschiedenen Zeitpunkten. Es ist ein Oberfläche, mit der in vorgerechnete und in Datenbanken abgelegte Kaltluftinformationen zur Ansicht gebracht sowie analysiert werden können.

Darüber hinaus können Trajektorienrechnungen durchgeführt werden. Hierbei unterscheidet man Vorwärts- und Rückwärtstrajektorien. Durch die Berechnung von Vorwärtstrajektorien kann die weitere Verfrachtung von Luftbeimengungen verfolgt werden, Rückwärtstrajektorien ermöglichen es, Aussagen zur Herkunft von Schadstoffen treffen zu können.

Zur Bestimmung einer Vorwärtstrajektorie wird das entsprechende Kaltluftwindfeld als Grundlage genutzt. Für jeden Zeitschritt wird berechnet, in welcher Rechenbox sich das Luftpaket befindet. Innerhalb einer Box bewegt es sich entsprechend dortiger mittlerer berechneter Kaltluftgeschwindigkeit vorwärts bis es in eine neue Rechenbox gelangt.

Anwendung findet METEOKART GIS im LfULG Sachsen für die topographisch gegliederten Bereiche sowie in Stuttgart und Köln jeweils für das gesamte Stadtgebiet.

**Ausbreitungsmodellierung unter Beachtung von Kaltluftabflüssen**

Falls Fachinformationssysteme die Relevanz von Kaltluftabflüssen im zu betrachtenden Untersuchungsgebiet aufzeigen, sind die Kaltluftabflüsse bei der Ausbreitungsmodellierung explizit zu berücksichtigen. Dies ist beispielsweise durch Übernahme der mit dem prognostischen Kaltluftabflussmodell KALM berechneten Kaltluftwindfelder in das Lagrangesche Ausbreitungsmodell LASAT (Janicke, 2011) möglich. Die Ausbreitungsmodellierung mit LASAT unter Beachtung der Kaltluftabflüsse wird an Beispielen erläutert. Außerdem wird aufgezeigt, wie groß der Fehler ist, wenn Kaltluftabflüsse nicht explizit berücksichtigt werden.

**Literatur**

Schädler, G., Lohmeyer, A. (1994): Simulation of nocturnal drainage flows on personal computers. Meteorol. Zeitschrift, N.F. 3, S. 167-171.

Janicke (2011): Ausbreitungsmodell LASAT. Referenzbuch zu Version 3.2. Ingenieurbüro Janicke. Dunum, August 2011.



## Muster von Rußmesswertreihen in Baden-Württemberg

*Dirk Schindler<sup>1)</sup>, Helmut Mayer<sup>2)</sup>*

- 1) *Meteorologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Werthmannstr. 10, 79085 Freiburg, e-mail: dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de*
- 2) *Meteorologisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Werthmannstr. 10, 79085 Freiburg*

Neuere Untersuchungen im Bereich der Umweltmedizin weisen auf eine Gesundheitsgefährdung von Menschen durch die Feinstaubkomponente „Ruß“ hin. Zur Beurteilung dieses Gefährdungspotenzials ist die Kenntnis der zeitlichen und räumlichen Muster von Ruß einschließlich des Bezugs zu meteorologischen Variablen, die den Luftmassenaustausch in der bodennahen Atmosphäre steuern, von Bedeutung.

Um die darüber relativ wenigen Erkenntnisse zu erweitern, wurden tägliche Rußkonzentrationen an ausgewählten Stationen im Luftmessnetz Baden-Württemberg der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) statistisch analysiert. Das Datenkollektiv umfasste neun Luftmessstationen und vier Spottmessstationen. Der Untersuchungszeitraum bezog sich für die Luftmessstationen auf die Jahre 1995 bis 2010, für die Spottmessstationen jedoch nur auf die Jahre 2004 bis 2010. Als problematisch bei der Datenanalyse stellte sich heraus, dass für keine der ausgewählten Messstationen vollständige Messwertreihen der täglichen Rußkonzentration vorhanden waren. Die meisten Messwertreihen lagen nur in mehrtägigen, oft nicht äquidistanten Messintervallen vor. Die Messzeitpunkte unterschieden sich zudem von Messstation zu Messstation und wiesen häufig (längerfristige) Lücken auf.

Trotz dieser ungünstigen Voraussetzungen wurden Ergebnisse in stationsspezifischer Differenzierung erzielt, die einen vertieften Einblick in Muster von Rußmesswertreihen ermöglichen. Sie werden im Vortrag präsentiert und diskutiert. Sie beziehen sich auf (i) das Niveau und Trends der Rußkonzentration in Form von Tageswerten, saisonalen Mittelwerten und Jahresmittelwerten, (ii) mittlere Wochen- und Jahresgänge von Tageswerten der Rußkonzentration, (iii) Einfluss des täglichen Verkehrsaufkommens auf die Entwicklung der täglichen Rußkonzentration, (iv) Auswirkungen der Verdieselung der KFZ-Flotte (v) Resultate aus univariaten Regressionsanalysen auf Tagesbasis zwischen Ruß und ausgewählten meteorologischen Variablen und (vi) Erklärung der Variabilität der lokalen Rußkonzentration über multivariate, lineare Modelle.

## **Biogene Kohlenwasserstoffe und ihr Einfluss auf die sommerliche Ozonbildung im urbanen Raum**

*Patrick Wagner<sup>1)</sup>, Wilhelm Kuttler<sup>1)</sup>*

*1) Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Biologie, Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Schützenbahn 70, 45127 Essen; patrick.wagner@uni-due.de*

Die Durchgrünung urbaner Flächen hat viele positive Eigenschaften. Vegetation trägt neben ihrer positiven psychologischen Wirkung zur Deposition und Aufnahme atmosphärischer Spurenstoffe bei. Ferner verbessert sie durch Evapotranspiration und Schattenwurf das thermische Niveau im urbanen Raum.

Einige urbane Baumarten sind jedoch während der Vegetationsperiode natürliche Emittenten von Kohlenwasserstoffen, sogenannten BVOCs (BVOCs = biogenic volatile organic compounds). Bei den BVOCs handelt es sich um sehr reaktive Stoffe, die in der Atmosphäre schnell umgesetzt werden. In Gegenwart von Stickoxiden, wie es, bedingt durch die Emissionen des Straßenverkehrs, vor allem in urbanen Gebieten der Fall ist, ergibt sich daraus eine Reaktionskette, die die Bildung von gesundheitsgefährdendem Ozon zur Folge haben kann. Durch den exponentiellen Anstieg der BVOC-Emissionen mit zunehmender Lufttemperatur findet dieser Prozess vor allem während sommerlicher Hochdruckwetterlagen statt, bei denen die Ozonbelastung allein aufgrund der atmosphärischen Bedingungen hoch ist. Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels, bei dem sich urbane Gebiete infolge vermehrt auftretender Hitzeperioden überdurchschnittlich stark erwärmen werden, ist damit zu rechnen, dass sich der Beitrag biogener Stoffe zur bodennahen Ozonbildung erhöhen wird.

Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes soll die Relevanz von BVOCs zur bodennahen Ozonbildung im urbanen Raum am Beispiel der Stadt Essen abgeschätzt werden. Dazu wurde bzw. wird die Konzentration von Isopren, einer Leitsubstanz für biogene Emissionen, an verschiedenen Stellen im Stadtgebiet gemessen. An einem heißen Tag konnten bei Lufttemperaturen von bis zu 35 °C Isoprenkonzentrationen von 2,5 bis 3,5 ppb über eine Dauer von mehreren Stunden mit kurzzeitigen Höchstwerten von über 5 ppb während der Nachmittagsstunden nachgewiesen werden. Bei etwas niedrigeren Lufttemperaturen wurden in einer von Platanen bestandenen Straßenschlucht bis zu 2,8 ppb ermittelt. Im Vergleich dazu fallen die Konzentrationen anthropogener Kohlenwasserstoffe (AVOCs), beispielsweise Benzol und Toluol, in der Regel geringer aus, denn diese überschreiten nur selten 2 ppb. Vor allem während der Zeit höchster Einstrahlung, welche für luftchemische Vorgänge der entscheidende Faktor ist, sind die AVOC-Konzentrationen geringer als die des Isoprens.

Neben der biogenen Herkunft soll Isopren auch anthropogenen Quellen entstammen, deren Nachweis im Sommer und Winter erfolgen soll.

## Quellen und Verteilung ultrafeiner Partikel im Ballungsraum Dresden: Effekte von Standort und Wetterlage

Wolfram Birmili<sup>1</sup>, Laura Tomsche<sup>1</sup>, André Sonntag<sup>1</sup>, Claudia Opelt<sup>1</sup>, Kay Weinhold<sup>1</sup>, Stephan Nordmann<sup>1</sup>, Birgit Heese<sup>1</sup>, Ulrich Franck<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Leipzig

<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UfZ), Leipzig

Ultrafeine atmosphärische Aerosolpartikel (UFPs; Durchmesser  $< 0.1 \mu\text{m}$ ) sind in den letzten Jahren ins Interesse der Gesundheitsforschung gerückt. Umweltmediziner vermuten, dass ein nicht unwesentlicher Teil der gesundheitlichen Feinstaubeffekte auf die Belastung mit ultrafeinen Partikeln zurückgehen. Die Vermutungen werden durch die tiefe Lungengängigkeit sowie die chemische Zusammensetzung der UFPs begründet.

Im Gegensatz zur Feinstaubmasse ( $\text{PM}_{10}$  oder  $\text{PM}_{2.5}$ ) weisen UFPs jedoch eine stärkere räumliche und zeitliche Variabilität auf. Sie sind daher schwerer als Funktion der Zeit und des Ortes prognostizierbar und damit auch ihre möglichen Effekte auf die Gesundheit der Bevölkerung.

Im Rahmen des Leibniz-Paktes für Forschung und Innovation wurde vom Dezember 2009 bis Mai 2010 ein umfassendes Feldexperiment zur raum-zeitlichen Charakterisierung atmosphärischer Aerosolpartikel im Ballungsraum Dresden durchgeführt. Kern des Experiments war die gleichzeitige Messung von Partikelanzahlgrößenverteilungen an sieben Messstellen. Diese Messstellen hatten unterschiedlichen Standortcharakter (1 x ländlicher Hintergrund, 1 x Stadtrand über dem Elbtal, 1 x Stadtrand auf der Talsohle, 2 x städtischer Hintergrund, 2 x verkehrsnah), sodass klare Aussagen über die Quellen und Transportvorgänge von ultrafeinen Partikeln im Ballungsraum getroffen werden konnten. Auch ein Ceilometer (Jenoptik) wurde eingesetzt, um die Höhe der bodennahen Aerosolschicht zu charakterisieren.

Die Wintermessperiode (Dezember 2009-Februar 2010) war durch tiefe Temperaturen und Inversionswetterlagen geprägt. Das Zusammenwirken dieser Faktoren und die niedrige Mischungsschichthöhe führten generell zu einer Anreicherung anthropogen verursachter ultrafeiner Partikel im Elbtal. Die gering ausgeprägte Mischung verursachte generell auch signifikante Unterschiede zwischen den Messstationen bezüglich der Konzentrationsniveaus und charakteristischen Tagesgänge. Im Winter waren bisweilen Ferntransportereignisse von Feinstaub augenfällig, welche sich jedoch mehr auf die Konzentrationen der Feinstaubmasse als die Zahl ultrafeiner Partikel auswirkte.

Die Frühlingsperiode (März-Mai 2010) war durch rasch ansteigende Temperaturen und eine gute atmosphärische Durchmischung geprägt. Nicht überraschend konnte unter diesen Bedingungen auch eine geringere räumliche Variabilität in den UFP- und Feinstaubkonzentrationen beobachtet werden. An sonnigen Tagen war die UFP-Konzentration häufig durch photochemische Sekundärbildung geprägt. Diese Partikelneubildungsereignisse hatten offenbar ein horizontales Abmaß von mehreren zehn Kilometern, denn sie wurden an allen Messstationen nahezu synchron und mit gleichem Konzentrationsniveau registriert.

Außer der Gewinnung neuer Erkenntnisse zur gesundheitlichen Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln sollen die erhobenen Messdaten in naher Zukunft auch der Validierung mesoskaliger und mikroskaliger Transportmodelle dienen.

Regionalverband Ruhr  
Referat Geoinformation und Raumb Beobachtung  
Astrid Snowdon  
Kronprinzenstr. 35  
45128 Essen

Tel.: 0201-2069-276  
Snowdon@rvr-online.de

## **Nachweis der Wirkungen von baumbestandenenen Straßen auf das Mikroklima.**

Durch den Vergleich von zwei am selben Standort durchgeführten Klimamessungen in unterschiedlichen Untersuchungsjahren konnte der Einfluss von Straßenbäumen auf die mikroklimatische Situation in einem Straßenzug nachgewiesen werden.

### Hintergrund:

Im Rahmen der Neuaufstellung des Flächennutzungsplanes der Stadt Recklinghausen wurde der Regionalverband Ruhr mit der Überarbeitung einer aus dem Jahr 2000 stammenden Klimaanalyse beauftragt. Um die Auswirkungen der in den vergangenen zehn Jahren durchgeführten städtebaulichen Veränderungen auf die mikroklimatischen Verhältnisse im Stadtgebiet beurteilen zu können, wurden an insgesamt sieben Standorten Klimamessungen durchgeführt. Dabei wurde die in der vorangegangenen Untersuchung gewählten Standorte über den Zeitraum eines Jahres erneut betrachtet.

### Ergebnis der Messungen:

An den meisten Standorten konnten nur geringfügige Veränderungen zwischen den beiden Untersuchungsjahren nachgewiesen werden; diese waren auf den jeweiligen Witterungsverlauf zurückzuführen.

Erhebliche Veränderungen der mikroklimatischen Verhältnisse konnten an einer Station im Süden von Recklinghausen belegt werden:

In der Klimaanalyse von 2000 wurde der Standort als durchweg kälteste Station innerhalb des Stadtgebietes identifiziert, was auf den hohen Grünanteil sowie den Einfluss von Kaltluftabflüssen einer nahe gelegenen Halde zurückgeführt wurde.

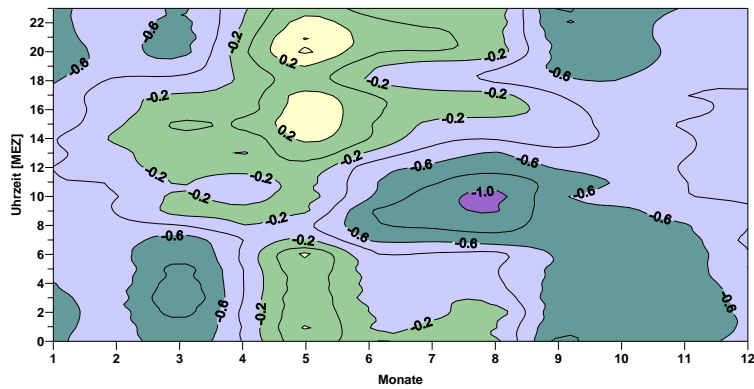
Im Rahmen der Neuauflage der Klimaanalyse zeigt sich eine deutliche Veränderung hinsichtlich der Temperaturverhältnisse im Bereich des Straßenzugs, die im Zusammenhang mit der Beseitigung von Straßenbäumen steht (s. Isoplethendiagramme).

Auf dem Poster werden die Ergebnisse der jeweils einjährigen Messungen gegenübergestellt und die Unterschiede hervorgehoben sowie der mikroklimatische Einfluss der Vegetation

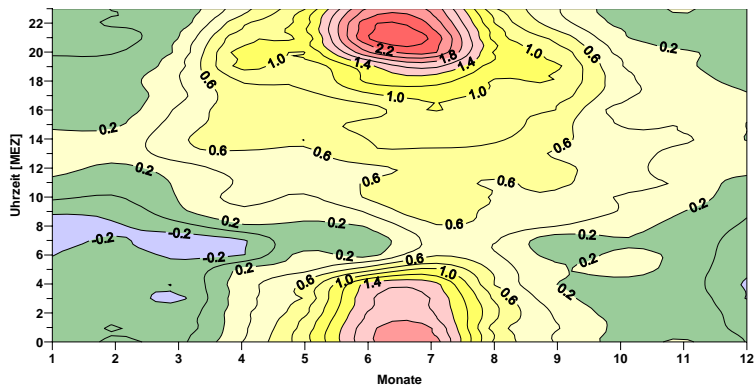
abgeschätzt. Ergänzt werden die Messungen durch Simulationsergebnisse mit dem mikroskaligen Modell ENVI-met für denselben Straßenabschnitt.

Isoplethendiagramme beider Untersuchungsjahre:

### Station mit Straßenbäumen



### Station ohne Straßenbäume



## Mustererkennung zur Quantifizierung der Reduktion der Partikelbelastung in Peking während der Olympischen Spiele 2008

Alexander Thiem <sup>1)</sup>, Uwe Schlink <sup>1)</sup>, Birgit Wehner <sup>2)</sup>, Annette Peters <sup>3)</sup>, Susanne Breitner <sup>3)</sup>, Josef Cyrus <sup>3)</sup>, Xiao-Chuan Pan <sup>4)</sup>, Carolin Rösch <sup>1)</sup>, Matthias Richter <sup>1)</sup>, Ulrich Franck <sup>1)</sup>

- 1) *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ Leipzig, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, E-Mail: alexander.thiem@ufz.de*
- 2) *Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (IfT)*
- 3) *Helmholtz Zentrum München*
- 4) *Peking University (PKU)*

In Chinas Hauptstadt werden täglich  $PM_{10}$ -Grenzwerte zur Feinstaubkonzentration überschritten. Um für die Olympischen Spiele (08.08. - 24.08.2008) in Peking eine verbesserte Luftqualität zu gewährleisten, leitete die chinesische Regierung eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen (Source-Control, SC, 20.07-20.09.2008) ein. Zur Analyse der Auswirkungen dieser Intervention auf die Belastung der Luft und mögliche veränderte Gesundheitseffekte wurden für den Zeitraum 2004 - 2008 und speziell für das olympische Jahr 2008 tägliche Partikelgrößenverteilungen bestimmt.

Während des Source-Controls und der Olympischen Spiele ist ein Rückgang der Gesamt-Partikelanzahlkonzentration (GPNC) zu verzeichnen. Es ergibt sich ein um 35% (11%) niedrigerer Mittelwert der GPNC während der SC-Zeit verglichen mit den gleichen Zeitspannen in 2007 (2004-2007). Dennoch blieb die Partikelbelastung beispielsweise für  $PM_{10}$  mit einem Mittelwert von  $69,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beständig über dem EU Grenzwert.

Mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse (PCA) und der Nichtnegativen Matrixfaktorisierung (NMF) konnten charakteristische Feinstaubbelastungsmuster in täglichen Größenverteilungen der Partikelanzahl bestimmt werden. Für beide Mustererkennungsverfahren wurden verschiedene Gewichtungen der Ausgangsdaten in Abhängigkeit der Partikeldurchmesser benutzt. Eine Quellenzuordnung der NMF-Muster zur Partikelanzahl ergab eine Zerlegung in Komponenten für die Grundbelastung mit Feinstaub, Emissionen aus dem Straßenverkehr, Emissionen nahegelegener Industrieanlagen, die Neubildung und das Wachstum der Partikel.

Anhand der Gewichte der NMF-Faktoren zur Partikelanzahl kann im Mittel ein deutlicher Rückgang während des Source-Control und der Olympischen Spiele 2008 für die anthropogen beeinflussbaren Komponenten festgestellt werden. Neben der Grundbelastung (50% Reduktion) wurden dabei die NMF-Faktoren 2 und 3 für Straßenverkehr bzw. Emissionen aus südlich gelegenen Industrieanlagen durchschnittlich um 45% bzw. 60% gegenüber dem langjährigen Mittel reduziert, was als direkte Folge der Luftreinhaltungsmaßnahmen interpretiert wird. Verglichen mit dem gleichen 63-tägigen Zeitraum in den Vorjahren sanken die mittleren NMF-Gewichte für diese Faktoren im SC-Abschnitt 2008 ebenso deutlich.

Die Anwendung der NMF auf Tagesmuster der Größenverteilungen der Partikelanzahl und des Partikelvolumens ergab darüber hinaus, dass die Muster jeweils unterschiedliche Größenbereiche

luftgetragener Partikel betonen. Vorgänge, die vor allem ultrafeine Partikel (UFP) betreffen, finden sich demnach in den Mustern zur Partikelanzahl wieder. Sandstürme hingegen werden aufgrund besonders großer Durchmesser der enthaltenen Partikel am besten mit NMF-Faktoren des Volumens erfasst. Dieses Ergebnis wird auch bei Gewichtung der Anzahldaten in Abhängigkeit des Durchmessers erzielt. Eine nichtnegative Überlagerung der einzelnen Belastungsmuster wird zur Approximation der Ausgangsdaten genutzt. Die beste Rekonstruktion der Partikelanzahl wird im Bereich der UFP erzielt. Umgekehrt lassen sich für größere Partikel die Partikelvolumenkonzentrationen besser rekonstruieren.

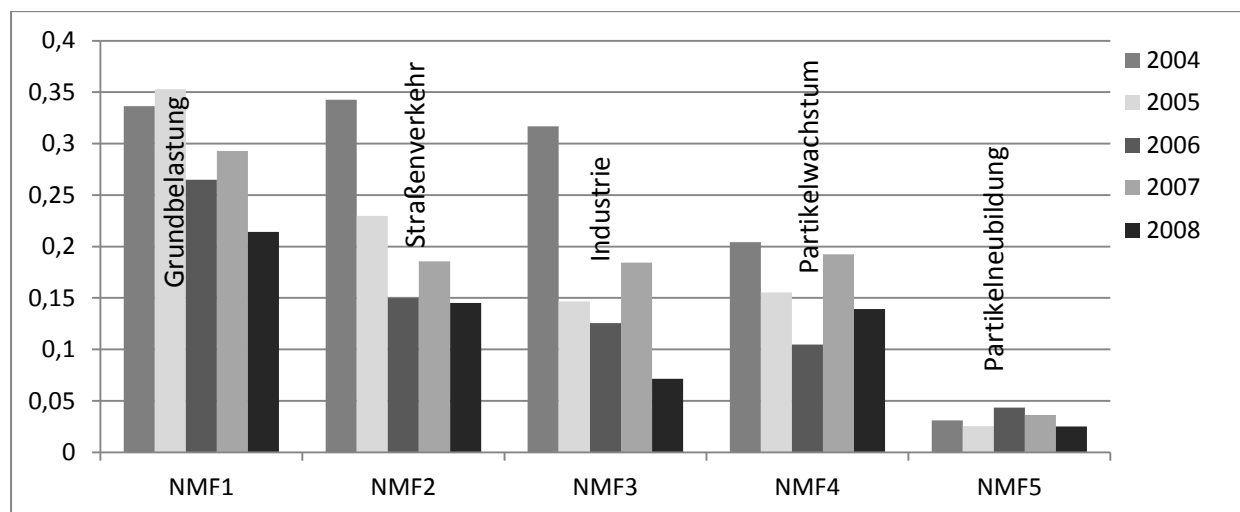


Abbildung 2: Mittelwerte der NMF-Gewichtungen für den Zeitraum 20.07.-20.09. von 2004 bis 2008.

In Verallgemeinerten Additiven Modellen (GAM) wurden Einflüsse von meteorologischen Größen sowie der Tages- und Jahresgang von Partikelkonzentrationen für 2004-2008 extrahiert. Als entscheidender meteorologischer Einflussfaktor stellte sich der Wind heraus, wobei durch die Lage Pekings, begrenzt durch das Mongolische Plateau im Norden, neben der Westwinddrift auch lokale Windsysteme wie Berg- und Talwind-Zirkulation im Bereich Pekings eine große Rolle spielen. In GAMs mit stundengenauer zeitlicher Auflösung wurde Wind aus Süden, der tagsüber wirkende Talwind, als Ursache für Konzentrationsanstiege identifiziert. Er befördert von der dort ansässigen Industrie emittierte Partikel nach Peking. Für die SC-Phase 2008 wurde ein signifikant negativer Einfluss auf die Partikelkonzentrationen nachgewiesen.

C. J. Lin, 2007: Projected Gradient Methods for Non-negative Matrix Factorization. *Neural Computation* **19**(10), 2756-2779.

U. Schlink, A. Thiem, 2010: Non-negative Matrix Factorization for the identification of patterns of atmospheric pressure and geopotential for the Northern Hemisphere. *International Journal of Climatology* **30** (6), 909 – 925.

B. Wehner, A. Wiedensohler, T. M. Tuch, Z. J. Wu, M. Hu, J. Slanina, C. S. Kiang, 2004: Variability of the aerosol number size distribution in Beijing, China: New particle formation, dust storms, and high continental background. *Geophysical Research Letters* **31**, L22108.

## Lokale PM<sub>10</sub>-Konzentrationen in Augsburg und ihr Zusammenhang mit großskaligen Zirkulationstypen

Claudia Weitnauer<sup>1)</sup>, Christoph Beck<sup>1)</sup>, Jucundus Jacobeit<sup>1)</sup>

1) Universität Augsburg, Institut für Geographie, Universitätsstraße 1a, 86135 Augsburg, claudia.weitnauer@geo.uni-augsburg.de

Die lokalen Feinstaubkonzentrationen sind zum einen vom Ausmaß der Emissionen natürlicher und anthropogener Feinstäube (PM<sub>10</sub>) bzw. deren Vorläufersubstanzen abhängig, zum anderen stellen aber auch die lokalen meteorologischen und großräumigen witterungsklimatologischen bzw. zirkulationsdynamischen Rahmenbedingungen wichtige Einflussgrößen der standortspezifischen Feinstaubbelastung dar (z.B. Cheng et al. 2007, Holst et al. 2008).

Ein genereller Zusammenhang zwischen den großräumig ausgeprägten Zirkulationsverhältnissen und lokalen Feinstaubkonzentrationen wurde in verschiedenen Untersuchungen, meist auf der Grundlage von Wetterlagen- bzw. Zirkulationsklassifikationen, nachgewiesen (z.B. Makra et al. 2006).

In vorliegendem Beitrag werden erste Ergebnisse von Untersuchungen vorgestellt, die die Güte des Zusammenhangs zwischen großskaligen Zirkulationstypen bzw. Wetterlagen und lokalen PM<sub>10</sub>-Konzentrationen systematisch verbessern sollen. Damit soll zum einen die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen großskaligen Einflussgrößen und lokaler Feinstaubcharakteristik verbessert werden, zum anderen wird eine Grundlage für Verfahrensansätze zur Abschätzung möglicher zukünftiger klimawandelbedingter Variationen der Feinstaubkonzentrationen aus modellgenerierten großskaligen Zirkulationsveränderungen geschaffen.

Dazu werden unterschiedliche methodische Ansätze zur Zirkulationsklassifikation auf großskalige atmosphärische Reanalysefelder (NCEP/NCAR Reanalyse) angewendet und jeweils hinsichtlich der Güte ihres Zusammenhanges mit lokalen Feinstaubkonzentrationen in Augsburg – im Zeitraum 1979-2011 – quantitativ bewertet und verglichen. Die hierbei betrachteten Variationen von Klassifikationsansätzen beinhalten sowohl unterschiedliche Klassifikationsmethoden (z.B. Clusteranalyse, Hauptkomponentenanalyse, schwellenwertbasierte Verfahren) als auch Modifikationen methodenunabhängiger Konfigurationen der Klassifikationsschemata, etwa bezüglich der Größe des klassifizierten räumlichen Ausschnitts, hinsichtlich der zur Klassifikation herangezogenen großskaligen Variablen bzw. Variablenkombinationen (z.B. Bodenluftdruck, geopotentielle Höhen, Windkomponenten) oder auch bezüglich des klassifizierten Zeitraums (Einzeltage oder Mehrtagessequenzen).

### Literatur:

- Cheng, S. C., M. Campbell, Q. Li, G. Li, H. Auld, N. Day, D. Pengelly, S. Gingrich & D. Yap (2007): A synoptic climatological approach to assess climatic impact on air quality in South-central Canada. Part I: Historical Analysis. *Water Air Soil Pollut* 182, 131-148.
- Holst, J., H. Mayer & T. Holst (2008): Effect of meteorological exchange conditions on PM<sub>10</sub> concentration. *Met. Zeitschrift*, 17, 273-282.
- Makra, L., J. Mika, A. Bartzokas, R. Beczi, E. Borsos & Z. Sümeghy (2006): An objective classification system of air mass types for Szeged, Hungary, with special interest in air pollution levels. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 92, 115-137.



## **Modeling of changes in human thermal bioclimate resulting from changes in urban design. - Example based on a popular place in Freiburg, SW-Germany**

*Dominik Fröhlich, Andreas Matzarakis*

*Meteorological Institute, Albert-Ludwigs-University Freiburg, Werthmannstr. 10,  
D-79085 Freiburg*

Urban street design has a strong influence on human thermal bioclimate. Especially shading and ground coverage show great impact (Lin et al 2010 a, b). Thus, if the design of a popular urban place is changed, human thermal bioclimate on the place may be seriously affected. Facing the impact of global climate change especially heat stress should be reduced (Matzarakis and Endler 2010). According to the “ideal urban climate” a thermal bioclimate with lots of spatial variation, but avoiding extremes” (Mayer 1989) is to be preferred.

Freiburg is calling itself a “green city” and has already taken some effort in human bioclimate in the past (Matzarakis et al 2008). Furthermore studies on climate change predict an increase of heat stress for Freiburg (Matzarakis and Endler 2010). The place of the old synagogue is a popular place in the western part of the inner city. Due to the university and the theater around it, there are lots of people on the place. This place is now going to be redesigned by the city administration. The changes in thermal bioclimate due to the redesign have been calculated using numerical models. For this study, the three models SkyHelios (Matzarakis and Matuschek 2011), RayMan (Matzarakis et al 2007, 2010) and ENVI-met (Bruse 1999) have been applied. Each model has been used to calculate two situations, one for the current place and one for the redesigned one. Afterwards the results have been compared to show the changes. For this study a aerial photograph of the current place, the blueprint of the redesigned place, a elevation raster, as well as Shapefiles of the surrounding buildings have been used as input data. Also two ENVI-met surface models for the current and the redesigned place could be used from a former project (Röckle et al. 2010). For the meteorological input a ten year period recorded by the urban climate station Freiburg (Matzarakis and Mayer 2008) was applied. As there are many parameters influencing thermal bioclimate (Mayer and Höppe 1987), conclusions are drawn from changes in physically equivalent temperature (PET) (Höppe 1999). To create RayMan obstacle files, that are necessary for the calculations, manually in the RayMan Editor is very time consuming. Thus SkyHelios was used to calculate Fisheye images, that can be used in RayMan instead of obstacle files. First PET was calculated for a ten year period at six Points on the current and the redesigned place using RayMan. Results from those calculations have been classified into nine classes of thermal perception, using a table from Matzarakis and Mayer 1996. To even more facilitate the results, the three classes of cold stress, comfortable conditions, and heat stress have been merged into a cold, a comfortable, and a hot thermal stress class.

The calculations with RayMan show a strong decrease of cold stress in Spring and Fall, with a maximum of nearly eight hours per month (h/M) in April. In Summer, an increase in cold stress with a maximum of nearly four (h/M) in August is calculated. During the winter month cold stress is little decreased by less than one (h/M). Looking at the class of thermal comfort there is a certain increase in spring and fall. During the summer month, the frequency of thermally comfortable conditions is calculated to be severely decreased by up to 12 (h/M) in August. There can be nearly no development seen for the winter month. A much more interesting development is shown by the classes of heat stress, as it only shows an increase. Especially in the summer month the frequency of heat stress is calculated to be severely increased by up to eight (h/M) in September.

To analyze the spatial distribution of thermal stress over the place calculations with ENVI-met for a hot and dry seven day period have been performed for the current and the redesigned place. This period was selected because thermal stress is mainly a problem during the summer month as people are adapted to cold in winter. An additional module, CalcPET, was used as ENVI-met version 3.1BETA4 can not calculate PET itself. As ENVI-met is a prognostic model, it was not possible to use a seven day record from the urban climate station, but only start values.

Comparing the ENVI-met results for the current and the redesigned place on the third day, a

difference of over ten °C (PET) between places with and without shading and can be seen. Because of the trees in the central area of the place that will be removed during the redesign, the area with very high PET of around 51°C will become larger. The new water basins on the redesigned place show slightly reduces PET compared to the lawn on the current place, but only inside the basins. A severe increase in PET of about six °C is shown in the area in front of the KG II, that is currently covered with grass and will be covered with stone plates after the redesign.

Results show that thermal bioclimate is strongly influenced by the redesign. According to the “ideal urban climate” (Mayer 1989) the reduction in the frequency of cold stress and the increase in frequency of thermally comfortable conditions in spring and fall is to be seen as an advantage. The strong decrease in frequency of thermally comfortable conditions and the severe increase in frequency of heat stress in summer is, in contrast, a big disadvantage. Both developments are caused by the larger area without shading on the redesigned place, as well as by the change in ground coverage. This also can be seen in the results of the calculations with ENVI-met.

#### Literature

- Bruse M (1999) Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind-, Temperatur-, und Feuchtverteilung in städtischen Strukturen. Dissert., Univ. Bochum, Germany
- Höppe PR (1999) The physiological equivalent temperature - a universal index for the bioclimatological assessment of the thermal environment. *Int. J. Biometeorol.* **43**, 71-75
- Lin TP, Matzarakis A, Hwang RL (2010) Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Build. Environ.* **45**, 213-211
- Lin TP, Matzarakis A, Hwang RL, Huang YC (2010) Effect of pavements albedo on long-term outdoor thermal comfort. In: Matzarakis A, Mayer H, Chmielewski FM, Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology. *Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg* **20**, 498-504
- Matzarakis A, Endler C (2010) Adaptation of thermal bioclimate under climate change conditions - The example of physiologically equivalent temperature in Freiburg, Germany. *Int. J. Biometeorol.* **54**, 479-483
- 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, Mayer H (1996) Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* **18**, 7-10
- Matzarakis A, Mayer H (2008) Importance of urban meteorological stations - the example of Freiburg, Germany. *Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg* **17**, 119-128
- Matzarakis A, Rutz F, Mayer H (2007) Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *Int. J. Biometeorol.* **51**, 323-334
- 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
- Mayer H (1989) Workshop “Ideales Stadtklima” am 26. Oktober 1988 in München. *DMG-Mitteilungen* **3**, 52-54
- Mayer H, Höppe P (1987) Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. *Theor Appl Climatol.* **38**, 43-49
- Röckle R, Hermsdörfer K, Richter CJ (2010) Mikroklimatische Untersuchung Platz der Alten Synagoge im Zuge der Stadtbahnplanung mit Umgestaltung Kronenstrasse, Werthmannstrasse, Rotteckring und Friedrichring. iMA Richter & Röckle GmbH & Co. KG, 09-12-05-FR II.

## Wegstreckenintegrierende CO<sub>2</sub>-Messungen in Essen, NRW

Christian Büns<sup>1</sup>, Wilhelm Kuttler<sup>1</sup>

Universität Duisburg-Essen; Fakultät für Biologie; Angewandte Klimatologie und  
Landschaftsökologie; Schützenbahn 70; 45127 Essen  
Christian.buens@uni-due.de

Städte sind bedeutende Quellen für CO<sub>2</sub>. Der Anteil des dort emittierten CO<sub>2</sub> an der globalen Gesamtemission wird durch das fortschreitende Bevölkerungswachstum und die Zunahme des Verstädterungsgrades auch und vor allem in Entwicklungsländern weiter zunehmen. Die Bestimmung der urbanen CO<sub>2</sub>-Konzentration kann somit auch Aufschlüsse über die weitere Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre liefern.

Zur kontinuierlichen Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde ein wegstreckenintegrierendes Messgerät (LasIR SB 210, Unisearch Associates) auf einer offenen Wegstrecke von 704 m in 34 m ü. Gr. im dicht bebauten Stadtzentrum von Essen, Nordrhein-Westfalen, installiert. Dies erlaubt die Erfassung der CO<sub>2</sub>-Konzentration als Mittelwert über die betrachtete Wegstrecke und kann so eine bessere räumliche Repräsentativität liefern als herkömmliche urbane Punktmessungen. Während der 13-monatigen Messung von Februar 2010 bis Februar 2011 ergibt sich ein charakteristischer Jahres- und Tagesgang der CO<sub>2</sub>-Konzentration mit einem Mittelwert von 423 ppm ±34 ppm. Die mittlere Amplitude der gemessenen Werte liegt bei 27,8 ppm (6,5 %) im Jahresgang und bei 18 ppm (4,2 %) im mittleren Tagesgang. Der Vergleich mit einer parallel laufenden suburbanen CO<sub>2</sub>-Punktmessung zeigt durchschnittlich 29 ppm (-6,8 %) niedrigere Werte als am urbanen Standort.

Neben den lokalen CO<sub>2</sub>-Quellen und Senken in der Stadt spielen meteorologische Größen eine entscheidende Rolle für das Auftreten unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Tages- und Jahresgang. Der Wind hat dabei einen großen Einfluss auf die Durchmischung der unteren Troposphäre und sorgt mit Zunahme der Windgeschwindigkeit für eine Abnahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf ein stadttypisches und jahreszeitenabhängiges Hintergrundniveau. Es treten allerdings auch deutliche windrichtungsabhängige Unterschiede auf, die auf die Position lokaler CO<sub>2</sub>-Quellen im Umkreis des Untersuchungsgebietes zurückzuführen sind. Stabile Schichtung der untersten Atmosphärenschichten sorgt für deutlich erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (+3,5 % gegenüber neutraler Schichtung), vor allem, wenn eine stabile Schichtung tagsüber erhalten bleibt und die lokalen Emissionen sich in einer sehr geringen Mischungsschicht akkumulieren können (bis zu +22 % gegenüber neutraler Schichtung).

Anders als erwartet ergeben sich für diesen stark urban geprägten Standort keine signifikanten Unterschiede in der Höhe der CO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen Werktagen und Wochenenden. Auch sind für den Gesamtzeitraum der Messung keine signifikanten Korrelationen zu potenziellen CO<sub>2</sub>-Quellen wie dem Straßenverkehr zu sehen. Die Messung in 34 m ü. Gr. und Mittelung über die Messstrecke scheint so von kurzfristigen Änderungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration durch lokale Quellen unbeeinflusst zu bleiben.

C. Büns, Kuttler, W., 2011: Path-integrated measurements of carbon dioxide in the urban canopy layer. In press. Atmos. Env. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.09.077

## **Einflüsse der Mischungsschichthöhe und des Windes auf die Partikelgrößenverteilung im Stadtgebiet von Augsburg**

K. Schäfer<sup>1</sup>, M. Höß<sup>1</sup>, R. Friedl<sup>1</sup>, S. Emeis<sup>1</sup>, C. Münkel<sup>2</sup>, S. Schrader<sup>1</sup>, M. Hoffmann<sup>1</sup>, C. Jahn<sup>1</sup>, J. Jacobeit<sup>3</sup>, J. Cyrus<sup>4</sup>, M. Pitz<sup>4</sup>, P. Suppan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karlsruher Institute für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen  
Phone: +49 8821 183 192, Fax: +49 8821 73573, e-mail: klaus.schaefer@kit.edu

<sup>2</sup>Vaisala GmbH, Hamburg

<sup>3</sup>Universität Augsburg, Lehrstuhl für physische Geographie und quantitative Methoden, Augsburg

<sup>4</sup>Helmholtz Zentrum München, Deutsches Zentrum für Gesundheit und Umwelt (HMGU), Institut für Epidemiologie II (Epi), Neuherberg

Urbane Regionen werden häufig durch hohe Luftschadstoffbelastungen beeinträchtigt, welche die menschliche Gesundheit ernsthaft beeinflussen können. Partikel und besonders ultra-feine Partikel (UFP) stellen ein hohes gesundheitliches Risiko dar. Solche Belastungen werden nicht nur durch Emissionen sondern auch durch meteorologische Situationen hervorgerufen. Windgeschwindigkeit und –richtung sowie die Höhe der Mischungsschicht (MLH) sind entscheidende Faktoren für die Austauschprozesse der Luftschadstoffemissionen. Es wird hier dargestellt, wie die Kenntnis dieser Faktoren zum Verständnis der Partikelgrößenverteilung beiträgt.

Die Mischungsschichthöhe wird in Augsburg kontinuierlich mit den Fernerkundungsverfahren Ceilometer, SODAR und RASS erfasst. Es werden die Ceilometers LD40 und CL31 von Vaisala eingesetzt, die augensichere, Mini-LIDAR-Geräte sind. Ein Vergleich der verschiedenen Messergebnisse dieser Fernerkundungsverfahren während gleichzeitiger Messungen wurde durchgeführt. Die Ceilometer ermöglichen die Bestimmung der Mischungsschicht bei Abwesenheit von niedrigen Wolken und Niederschlag. Die Informationen aus der beobachteten Aerosolschichtung der Ceilometer stimmen gut mit den Temperaturinversionen und Windstrukturen aus den RASS- bzw. SODAR-Messungen überein.

Die meteorologischen Daten werden von den Stationen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Deutschen Wetterdienstes und der Kooperativen Gesundheitsforschung Augsburg (KORA) bereitgestellt. Die Partikelgrößenverteilungen wurden mit einem Twin Differential Mobility Particle Sizer an der KORA-Station im Zentrum von Augsburg gemessen.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf zwei Intensivmessphasen in den Wintern 2006/2007 und 2007/2008. Die tägliche Variation der Konzentration der ultra-feinen Partikel ist direkt mit dem Verlauf der Mischungsschichthöhe gekoppelt. Die verschiedenen Partikelgrößenklassen werden unterschiedlich vom Wind und der Mischungsschichthöhe beeinflusst. Diese Ergebnisse werden durch die Partikelbildungsprozesse verursacht, die von der Emissionscharakteristik und der Feuchtigkeit abhängen.

## Untersuchungen zur Nahfeldausbreitung von Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen

*Susann Heise<sup>1)</sup>, Bernd Leidl, Frank Harms*

*1) Meteorologisches Institut, KlimaCampus, Universität Hamburg, Hamburg,  
Susann.Heise@zmaw.de*

Luftschadstoffe aus Kleinf Feuerungsanlagen können neben Emissionen aus Industrieanlagen und Fahrzeugen signifikant zur lokalen Luftbelastung in der atmosphärischen Grenzschicht beitragen. Häufig werden Rauchgase über an Gebäuden nachgerüstete Kamine abgeleitet, die in der Regel nicht über dem First emittieren. Bei niedrigen Emissionshöhen können Brandgase in die durch Windeinfluss an Gebäuden entstehenden Rezirkulationsgebiete gelangen. Die Überschreitung von Luftschadstoffgrenzwerten und Geruchsbelästigung im Nahfeld sind mögliche Folgen, die zu verhindern sind. Die Kommission Reinhaltung der Luft im VDI gibt mit der VDI-Richtlinie 3781 Blatt 4 „Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre – Bestimmung der Schornsteinhöhe für kleinere Feuerungsanlagen“ eine Entscheidungshilfe für an der Genehmigung von Kleinf Feuerungsanlagen beteiligte Personen. Die Richtlinie wird gegenwärtig überarbeitet. Sie soll verlässlichere, problemangepasste Informationen zur Schornsteinhöhe und -anordnung an Gebäuden geben. Die Richtlinienarbeit wird mit systematischen Experimenten in einem Grenzschichtwindkanal des Meteorologischen Instituts der Universität Hamburg unterstützt. Es werden die turbulenten Ausbreitungs- und Strömungsmuster an einzelnen Modellgebäuden untersucht

Um die Ablöse- und Nachlaufzonen von Gebäuden mit verschiedenen Abmessungen zu bestimmen, wurden zwölf Modellgebäude im Maßstab 1:200 mit unterschiedlicher Gebäudebreite und -höhe, sowie Dachneigung angefertigt und detailliert im kleinen Grenzschichtwindkanal des EWTL an der Universität Hamburg untersucht. Der Lösungsplan dieser Fragestellung umfasste zunächst die Visualisierung der Strömung mittels Laserlichtschnitt (Abbildung). Hieraus wurden Informationen über den Anstieg und die Überhöhung des Rezirkulationsgebietes abgeleitet. Zusätzlich wurden in mehreren Messkampagnen mittels LDA-Strömungsmessungen und Konzentrationsmessungen die Abmessungen des Rezirkulationsgebietes quantitativ bestimmt. Aus den Messergebnissen werden kritische Zonen im Nahfeld von Gebäuden abgeleitet, in die keine Rauchgaseinleitung erfolgen sollte und es werden Empfehlungen gegeben, wie die Immissionsbelastung im Nahfeld der Freisetzung minimiert werden kann. Der Beitrag stellt die Ergebnisse der Windkanalversuch vor und demonstriert die besonderen Möglichkeiten von Laborexperimenten bei der Modellierung und Messung transienter Strömungs- und Ausbreitungsphänomene.



**Abbildung: Visualisierung der Strömung hinter einem Gebäude mittels Laserlichtschnitt (oben: Dachneigung 15°, unten: Dachneigung 45°)**

## **Literatur**

Verein Deutscher Ingenieure 1980: Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre - Bestimmung der Schornsteinhöhe für kleinere Feuerungsanlagen, VDI-Richtlinie 3781 Blatt 4, 1-4

## **Erfassung des Einflusses von Feuchte- und Energieflüssen städtischer Böden auf das lokale Klima**

*Sarah Sandoval<sup>1),2)</sup>, Annette Eschenbach<sup>2)</sup>, Felix Ament<sup>1)</sup>*

*1) Meteorologisches Institut, Universität Hamburg, Bundesstrasse 55, 20146 Hamburg, sarah.sandoval@zmaw.de*

*2) Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, Allende-Platz 2, 20146 Hamburg*

Boden als Speicher und Transmitter für Wasser und Wärmeenergie beeinflusst das lokale Klima. Ziel des Projektes HUSCO (Hamburg Urban Soil Climate Observatory) ist ein genaueres Verständnis der Interaktionen zwischen Pedosphäre und Atmosphäre im urbanen Raum. Im Fokus steht die Untersuchung des Einflusses des Bodenwasserhaushaltes innerhalb verschiedener typischer Stadtstruktureinheiten (Grünfläche, Wohnbebauung, voll versiegelte Flächen). Der lokale Effekt von Grundwasserflurabstand und Bodeneigenschaften auf meteorologische Größen wird mittels mehrjähriger Messungen von atmosphärischen und bodenkundlichen Parametern sowie ergänzender Flussmessungen quantifiziert. Die Ergebnisse dieses Projekts sollen konkretere Vorhersagen zu den Auswirkungen des Klimawandels im urbanen Raum und die Ableitung von Anpassungsoptionen an den Klimawandel durch stadtplanerische Maßnahmen ermöglichen.

Langzeitmessungen begannen im Sommer 2010 in Hamburg. Die Messstandorte wurden unter den Gesichtspunkten der Bauart, Größe und Vegetationsbestand der Grünfläche, sowie relevanter Bodeneigenschaften ausgewählt. Zwei Referenzstandorte – entsprechend zwei Stadtquartieren – mit unterschiedlichem Grundwasserflurabstand werden betrachtet: ein hoher Grundwasserstand von  $< 2,5$  m und ein niedriger Grundwasserstand von  $> 5$  m unter Geländeoberfläche. Um die lokalen klimatischen Effekte, die Heterogenität von Lufttemperatur und -feuchte in urbanen Gebieten, charakterisieren zu können, wurden sechs Meteo-Stationen installiert, welche die wichtigsten atmosphärischen Parameter aufzeichnen. Zusätzlich werden 13 Boden-Stationen betrieben, um saisonale Änderungen und räumliche Heterogenität von Bodenwasser- und Bodenwärmehaushalt zu erfassen. Um die betrachteten klimasteuernden Prozesse quantifizieren zu können, ermitteln zwei Eddy Kovarianz Systeme die Flüsse von Energie und Wasser. Ergänzend werden die Daten eines 250 m hohen meteorologischen Messmastes in Hamburg ausgewertet, um die übergeordneten meteorologischen Bedingungen bewerten zu können.

In diesem Beitrag werden die Ziele des Projekts, der Messaufbau, sowie erste Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Die Effekte verschiedener Stadtstrukturen und Flächennutzungen sowie des Grundwasserflurabstandes auf die atmosphärischen Parameter werden auf der lokalen und der Mikroskala analysiert. Ereignisse, welche zur größten Variabilität zwischen den Referenzstandorten führen, werden betrachtet. Ein Vergleich der Referenzstandorte in Fallstudien, etwa der Reaktion auf Regenereignisse und Phasen anhaltender Trockenheit, wird hilfreich sein um die Frage zu beantworten: Ist kapillarer Aufstieg im Boden ein signifikanter Einflussfaktor für das lokale Klima?

**Danksagung:** Das Projekt ist finanziert von der DFG als Teil des Exzellenclusters “Integrated Climate System Analysis and Prediction (CliSAP)”, KlimaCampus, Hamburg.

## Umweltzone Leipzig – Was bringt sie wirklich? – Ein erster Blick

Fabian Rasch<sup>1</sup>, Wolfram Birmili<sup>1</sup>, André Sonntag<sup>1</sup>, Kay Weinhold<sup>1</sup>, Stephan Nordmann<sup>1</sup>,  
Gunter Löschau<sup>2</sup>, Alfred Wiedensohler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (IfT), Leipzig

<sup>2</sup>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie Sachsen (LfLUG), Dresden

### Abstract

Seit dem 01.03.2011 ist in der Stadt Leipzig die Umweltzone in Kraft. Dies bedeutet, dass nur noch Kraftfahrzeuge mit einer grünen Plakette diese Zone passieren dürfen.

Das IfT-Leipzig betreut in Kooperation mit dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie (LfLUG) Sachsen fünf Messstationen in und um Leipzig. Sie sind so ausgewählt, dass der verkehrsnahen, der städtischen und der regionale Anteil gemessen werden kann. Ab dem 01.07.2010 stehen zeitlich hochaufgelöste Daten von Mobilitätsgrößenspektrometern (5 Stationen) für den feinen ( $<1\mu\text{m}$ ) und vom aerodynamischen Partikelgrößenspektrometer (2 Stationen) für den groben ( $>1\mu\text{m}$ ) Partikelgrößenspektrum zur Verfügung. Ergänzt werden diese Daten durch zeitlich hochaufgelöste Rußmessungen.

Es liegen somit Datensätze vor und nach dem Inkrafttreten der Umweltzone vor. Der Zeitraum vom 01.07. bis zum 31.12.2010 wurde ausführlich dokumentiert und analysiert. Es wurde gezeigt, dass die beiden verkehrsnahen Stationen wie erwartet die höchsten Partikel- und Massenkonzentrationen sowohl im  $\text{PM}_{10}$  bzw.  $\text{PM}_1$  wie auch in der Rußmassenkonzentrationen haben. Desweiteren wurden großräumige meteorologische Prozesse wie Luftmassenwechsel und Frontdurchgänge mit der Partikelkonzentration verglichen und deren wichtige Abhängigkeit bestätigt. Weiterführend liegt nun der Fokus darauf etwaige Effekte der Umweltzone wissenschaftlich zu begleiten, zu dokumentieren und auszuwerten. Zeitreihen für die Rußmassenkonzentrationen im Tagesmittel zeigen einen Minderungstrend, der jedoch anscheinend noch sehr von meteorologischen Einflüssen geprägt ist. Auch die Vergleiche von Tages-Wochengängen für Rußmassenkonzentrationen vor (01.07.2010-28.02.2011) und nach (01.03.2011-31.10.2011) der Einführung der Umweltzone zeigen einen ähnlichen Trend. Im morgendlichen Peak liegt die Differenz an der Station Leipzig-Mitte bei ca.  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hierbei muss aber beachtet werden, dass noch keine exakte meteorologische Auswertung vorgenommen wurde. Stabile Hochdrucklagen und Inversion begünstigen hohe Konzentrationen. Frontdurchgänge, wechselnde und vor allem windreiche Wetterlagen sorgen dagegen für niedrige Konzentrationen.

Das IfT-Leipzig begleitet weiterhin die Umweltzone und erweitert seinen Datensatz mit jedem Tag. Die gewonnenen Daten werden jeweils aktuell ausgewertet und fortgeführt. Desweiteren werden ausführliche meteorologische Analysen (Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsabhängigkeit, Clusteranalysen u.a.) vollzogen, um eine exakte Aussage über einen Effekt der Umweltzone zu treffen.



## Urban parameterization in COSMO-CLM.

*Kristina Trusilova, Susanne Brienzen, Barbara Früh, Andreas Walter*

*Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, D-63067 Offenbach,  
E-mail: [kristina.trusilova@dwd.de](mailto:kristina.trusilova@dwd.de)*

Studying effects of urbanization on the environment is becoming increasingly important for planning of adaptation strategies to the changing climate. To investigate urban impacts on the climate a non-hydrostatic regional climate model COSMO-CLM can be employed.

Model applications require not only the representation of urban warming at the lower atmosphere in the model but a possibility to resolve feedbacks between the urban land cover and the atmosphere. Therefore the surface-layer parameterization of COSMO-CLM needs to be further developed to be able to reproduce urban boundary layers.

We extend the land surface scheme of the model COSMO-CLM by a parameterization Town Energy Budget (TEB) scheme (Masson 2000). The scheme TEB resolves energy budgets for urban surfaces and air conditions in street canyons taking into account the shape and materials of city-representative buildings. TEB is coupled to the standard land surface scheme TERRA\_ML of COSMO-CLM using the “tile approach” for a single urban class (a composite approach is applied to other land use classes).

The new implementation of COSMO-CLM+TEB was used for 1-year simulation over Europe at spatial resolution of  $0.125^\circ$  (~14 km) and evaluated. An additional 1-year nested simulation for Germany at the spatial resolution of  $0.025^\circ$  (~2.8 km) was performed in order to capture urban areas and their effects on the boundary layer in detail.

## Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig

- Band 1 *A. Raabe, G. Tetzlaff* und *W. Metz* (Edn.), 1995: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig I
- Band 2 *R. Devantier*, 1995: Wolkenbildungsprozesse über der südwestlichen Ostsee - Anwendungen eines neuen Wolkenschemas in einem mesoskaligen Modell
- Band 3 *J. Laubach*, 1996: Charakterisierung des turbulenten Austausches von Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid über niedriger Vegetation anhand von Eddy-Korrelations-Messungen
- Band 4 *A. Raabe* und *J. Heintzenberg* (Edn.), 1996: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig II
- Band 5 Wind- und Seegangsatlas für das Gebiet um Darß und Zingst.  
*D. Hinneburg, A. Raabe* und *G. Tetzlaff*, 1997: Teil I: Windatlas
- Band 6 *W. von Hoyningen-Huene* und *G. Tetzlaff* (Edn.), 1997: Sediment and Aerosol  
Teil I: Beiträge zur Alfred-Wegener-Konferenz, Leipzig 1997  
Teil II: Aktuelle Beiträge aus dem Institut für Meteorologie
- Band 7 *B.-R. Beckmann*, 1997: Veränderungen in der Windklimatologie und in der Häufigkeit von Sturmhochwassern an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns
- Band 8 *P. Posse*, 1997: Bestimmung klimarelevanter Parameter des maritimen Aerosols unter besonderer Berücksichtigung der Nichtkugelform realer Aerosolteilchen
- Band 9 *A. Raabe, K. Arnold* und *J. Heintzenberg* (Edn.), 1998: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig III
- Band 10 Wind- und Seegangsatlas für das Gebiet um Darß und Zingst, Teil II, 1998:  
*D. Hinneburg, A. Raabe* und *G. Tetzlaff*: Vergleich Windatlas – Beobachtungsdaten; *M. Börngen, H.-J. Schönfeldt, F. Riechmann, G. Panin* und *G. Tetzlaff*: Seegangsatlas; *M. Stephan* und *H.-J. Schönfeldt*: Sedimenttransportatlas
- Band 11 *J. Rissmann*, 1998: Der Einfluss langwelliger Strahlungsprozesse auf das bodennahe Temperaturprofil
- Band 12 *A. Raabe, K. Arnold* und *J. Heintzenberg* (Edn.), 1999: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig IV
- Band 13 *U. Müller, W. Kuttler* und *G. Tetzlaff* (Edn.), 1999: Workshop Stadtklima 17. / 18. 02. 1999 in Leipzig
- Band 14 *R. Surkow*, 1999: Optimierung der Leistungsverfügbarkeit von Windenergie durch ihre Integration in Wind-Biogas-Hybridanlagen
- Band 15 *N. Mölders*, 1999: Einfache und akkumulierte Landnutzungsänderungen und ihre Auswirkungen auf Evapotranspiration, Wolken- und Niederschlagsbildung
- Band 16 *G. Tetzlaff* und *U. Grünwald* (Edn.), 1999:  
2. Tagung des Fachausschusses Hydrometeorologie 15./16. 11. 1999 in Leipzig
- Band 17 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2000: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig V
- Band 18 *K. Arnold*, 2000: Ein experimentelles Verfahren zur Akustischen Tomographie im Bereich der atmosphärischen Grenzschicht
- Band 19 *A. Ziemann*, 2000: Eine theoretische Studie zur akustischen Tomographie in der atmosphärischen Grenzschicht
- Band 20 *Ch. Jacobi*, 2000: Midlatitude mesopause region dynamics and its coupling with lower and middle atmospheric processes
- Band 21 *M. Klingspohn*, 2000: Interdekadische Klimavariabilität über dem Nordatlantik – Statistische Analysen und Modellstudien –
- Band 22 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2001: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VI
- Band 23 *K. Arnold, A. Ziemann, G. Tetzlaff, V. Mellert* und *A. Raabe* (Edn.), 2001: International Workshop Tomography and Acoustics: Recent developments and methods 06. - 07.03.2001 in Leipzig
- Band 24 *O. Fanenbruck*, 2001: Ein thermophysiolgisches Bewertungsmodell mit Anwendung auf das Leipziger Stadtgebiet
- Band 25 *M. Lange*, 2001: Modellstudien zum CO<sub>2</sub>-Anstieg und O<sub>3</sub>-Abbau in der mittleren Atmosphäre und Einfluß des Polarwirbels auf die zonale Symmetrie des Windfeldes in der Mesopausenregion
- Band 26 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2002: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VII
- Band 27 *M. Simmel*, 2002: Ein Modul zur spektralen Beschreibung von Wolken und Niederschlag in einem Mesoskalenmodell zur Verwendung auf Parallelrechnern

- Band 28 *H. Siebert*, 2002: Tethered-Balloon Borne Turbulence Measurements in the Cloudy Boundary Layer
- Sonderband *G. Tetzlaff* (Hrsg.), 2002:- Atmosphäre - Aktuelle Beiträge zu Luft, Ozon, Sturm, Starkregen und Klima
- Band 29 *U. Harlander*, 2003: On Rossby wave propagation in atmosphere and ocean
- Band 30 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2003: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig VIII
- Band 31 *M. Wendisch*, 2003: Absorption of Solar Radiation in the Cloudless and Cloudy Atmosphere
- Band 32 *U. Schlink*, 2003: Longitudinal Models in Biometeorology: Effect Assessment and Forecasting of Ground-level Ozone
- Band 33 *H. Heinrich*, 2004: Finite barotrope Instabilität unter synoptischem Antrieb
- Band 34 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2004: Meteorologische Arbeiten aus Leipzig IX
- Band 35 *C. Stolle*, 2004: Three-dimensional imaging of ionospheric electron density fields using GPS observations at the ground and onboard the CHAMP satellite
- Band 36 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2005: Meteorologische Arbeiten (X) und Jahresbericht 2004 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 37 *A. Raabe* und *K. Arnold* (Edn.), 2006: Meteorologische Arbeiten (XI) und Jahresbericht 2005 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 38 *K. Fröhlich*, 2006: The Quasi Two-Day Wave – its impact on zonal mean circulation and wave-wave interactions in the middle atmosphere
- Band 39 *K. Radtke*, 2006: Zur Sensitivität von Starkwindfeldern gegenüber verschiedenen meteorologischen Parametern im Mesoskalenmodell LM
- Band 40 *K. Hungershöfer*, 2007: Optical Properties of Aerosol Particles and Radiative Transfer in Connection with Biomass Burning
- Band 41 *A. Raabe* (Hrsg.), 2007: Meteorologische Arbeiten (XII) und Jahresbericht 2006 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 42 *A. Raabe* (Hrsg.), 2008: Meteorologische Arbeiten (XIII) und Jahresbericht 2007 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 43 *A. Kniffka*, 2008: Einfluss der Inhomogenitäten von Aerosol, Bodenalbedo und Wolken auf das aktinische Strahlungsfeld der Atmosphäre
- Band 44 *M. Barth*, 2009: Akustische Tomographie zur zeitgleichen Erfassung von Temperatur- und Strömungsfeldern
- Band 45 *A. Raabe* (Hrsg.), 2009: Meteorologische Arbeiten (XIV) und Jahresbericht 2008 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 46 *G. Stober*, 2009: Astrophysical Studies on Meteors using a SKiYMET All-Sky Meteor Radar
- Band 47 *A. Raabe* (Hrsg.), 2010: Meteorologische Arbeiten (XV) und Jahresbericht 2009 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 48 *A. Raabe* (Hrsg.), 2011: Meteorologische Arbeiten (XVI) und Jahresbericht 2010 des Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig
- Band 49 *A. Raabe* (Hrsg.), 2012: METTOOLS VIII – Tagungsbeiträge 20.03.2012 – 22.03.2012

**Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der  
Universität Leipzig**

**Band 49 (2011):**

**METTOOLS\_VIII Tagungsbeiträge  
20.03.2012-22.03.2012**

**ISBN 978-3-9811114-9-1**

**Abbildung auf Umschlag**

**Blick vom Leipziger Institut für Meteorologie (LIM)  
in Richtung Campus der Universität Leipzig**

**Herausgegeben im Selbstverlag:  
Institut für Meteorologie, Universität Leipzig**

**Herausgeber:  
A. Raabe**

**Bestellungen richten Sie bitte an:**

**Institut für Meteorologie, Universität Leipzig  
Stephanstr. 3  
D-04103 Leipzig**

**Tel: 0341 - 9732850  
Fax: 0341 - 9732899  
e-mail: [staake@rz.uni-leipzig.de](mailto:staake@rz.uni-leipzig.de)  
Preis pro Band: 20,-- €**