



Universität Augsburg  
Wissenschaftszentrum  
Umwelt

# Jahresbericht 2015



# Klimawandel und Feinstaub in Bayern

## PROJEKTTEAM

- PD Dr. Christoph Beck  
christoph.beck@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2129
- M. Sc. Cornelius Hald  
cornelius.hald@student.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2293
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2662
- M. Sc. Kai Lochbihler  
kai.uwe.lochbihler@student.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2293
- Stefan Siegmund  
stefan.siegmund@student.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2293
- Dipl. Geogr. Claudia Weitnauer  
claudia.weitnauer@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2765

## PROJEKTPARTNER

- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Deutscher Wetterdienst
- Wissenschaftszentrum Umwelt
- Projektgruppe Aerosole-Klima-Gesundheit

## FÖRDERUNG

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Geschäftszeichen BE 2406/2-1

## LAUFZEIT

- Oktober 2012 – September 2015

## Worum geht es?

Räumliche und zeitliche Unterschiede der Feinstaubbelastung sind zum einen auf entsprechende Variationen der natürlichen und anthropogenen Feinstaubemissionen, aber auch auf den modifizierenden Einfluss der lokalen meteorologischen und witterungsklimatologischen Rahmenbedingungen zurückzuführen. Geringe lokale Windgeschwindigkeiten können etwa die Anreicherung lokal emittierter Feinstäube in der bodennahen Atmosphäre begünstigen, während hohe Windgeschwindigkeiten eine Durchmischung belasteter und unbelasteter Luft und damit eine Reduzierung der Feinstaubkonzentration bewirken. In Abhängigkeit von der großräumigen Wetterlage können beispielsweise feinstaubbelastete Luftmassen aus entfernten Entstehungsgebieten herantransportiert werden, die zu einer zusätzlichen Feinstaubbelastung vor Ort führen; umgekehrt können niederschlagsbringende Wetterlagen eine Auswaschung von Feinstäuben aus der Atmosphäre und damit eine Entlastung der lokalen luft-hygienischen Situation bewirken.

Im Zuge des möglichen zukünftigen Klimawandels des 21. Jahrhunderts werden Modifikationen der oben genannten meteorologischen-witterungsklimatologischen Einflussgrößen des Feinstaubes erwartet, die mit entsprechenden Veränderungen der lokalen Feinstaubkonzentrationen in Bayern korrespondieren.

Vor diesem Hintergrund wurden im DFG-geförderten Forschungsprojekt „Klimawandel und Feinstaub-

## Klimawandel und Feinstaub in Bayern

belastung in Bayern“ (PACLIMBA – *Particulate Matter and Climate Change in Bavaria*) innerhalb der dreijährigen Projektlaufzeit zunächst verschiedene Vorgehensweisen zur Abschätzung lokaler Feinstaubkonzentrationen an 16 bayerischen Stationen aus großräumigen witterungsklimatologischen und lokalmeteorologischen Einflussgrößen entwickelt. Die geeignetsten Verfahren wurden auf Zukunftsprojektionen zweier globaler Klimamodelle angewendet, um Abschätzungen möglicher zukünftiger klimawandelbedingter Änderungen der Feinstaubkonzentrationen in Bayern zu erhalten.

### Zielsetzung & Methoden

Die zentralen Zielsetzungen des Forschungsprojektes waren erstens die Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen meteorologisch-witterungsklimatologischen Einflussgrößen und Feinstaubkonzentrationen in Bayern auf der Grundlage von Beobachtungsdaten und zweitens, darauf aufbauend, die Abschätzung möglicher zukünftiger klimawandelbedingter Veränderungen der Feinstaubkonzentrationen in Bayern im 21. Jahrhundert.

Unterschiedliche Methoden und Methodenkombinationen des sogenannten empirisch-statistischen *Downscalings* wurden eingesetzt, um das mit globalen Klimamodellen abgeschätzte zukünftige Veränderungssignal der großskaligen Rahmenbedingungen auf die lokale Ebene (Feinstaub-Stationen in Bayern) herunterzuskalieren. Diese Vorgehensweisen wurden zunächst für den Zeitraum 1980-2011, unter Verwendung täglicher Feinstaubkonzentrationsdaten für 16 ausgewählte Stationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern

(LÜB) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) entwickelt und bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit überprüft und verglichen. Auf diese Weise wurden die geeignetsten Ansätze zur Übertragung auf Kontroll- und Szenarienläufe verschiedener globaler Klimamodelle ermittelt. Für die Charakterisierung der meteorologisch-witterungsklimatologischen Einflussgrößen, der im Rahmen dieser Verfahren zentrale Bedeutung zukommt, wurden verschiedene Datensätze verwendet. Tägliche Messwerte potenziell feinstaubrelevanter lokaler meteorologischer Größen sowie vertikale Temperaturprofile aus Radiosondenaufstiegen lagen für den Zeitraum 1980-2001 aus den Messnetzen des Deutschen Wetterdienstes vor. Zur Erfassung der großskaligen atmosphärischen Rahmenbedingungen im rezenten Untersuchungszeitraum 1980-2011 wurden gegitterte ( $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  horizontale Auflösung) atmosphärische Felder des NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*) Reanalyse-datensatzes für verschiedene Variablen (unter anderem Bodenluftdruck, Lufttemperatur in 1000 hPa, geopotentielle Höhe der 500 hPa-Druckfläche, zonaler und meridionaler Wind in 500 hPa, relative Feuchte in 1000 und 850 hPa, Vertikalwind in 1000 hPa) herangezogen. Die entsprechenden gegitterten Variablen standen zudem für historische Referenzläufe (für den Zeitraum 1980-2005) und ebenso für Zukunftsprojektionen für zwei Szenarien des aktuellen Sachstandberichtes des Internationalen Weltklimarates (RCP 4.5 und RCP 8.5 in den Zeiträumen 2021-2050 sowie 2071-2100) zweier aktueller globaler Klimamodelle (ECHAM6, EC Earth) zur Verfügung. Die Verknüpfung der großskaligen und lokalen witterungsklimatologischen und meteorologischen Ein-

# Klimawandel und Feinstaub in Bayern

flussgrößen mit den lokalen Feinstaubkonzentrationen erfolgte auf drei unterschiedlichen Wegen: In einem ersten Ansatz werden großräumige Wetterlagenklassifikationen entwickelt, die bezüglich ihrer Aussagekraft für lokale Feinstaubkonzentrationen optimiert wurden. Die resultierenden Wetterlagen zeichnen sich durch jeweils spezifische Feinstaubkonzentrationen an

den 16 Bayerischen Stationen aus, so dass Abschätzungen zu möglichen zukünftigen Veränderungen der Feinstaubbelastung auf der Grundlage veränderter Auftrittshäufigkeiten der Wetterlagen ermittelt werden können. Eine alternative Vorgehensweise beinhaltet als ersten Schritt die statistische Modellierung lokaler meteorologischer Einflussgrößen aus großskaligen atmosphärischen

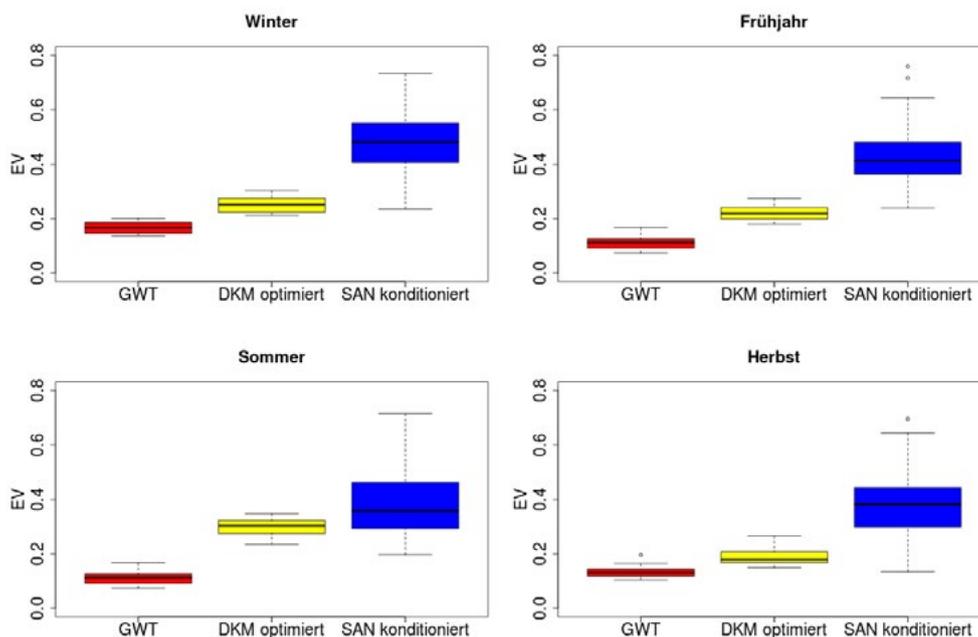


Abb. 1: Trennschärfe (Erklärte Varianz, EV) verschiedener Wetterlagenklassifikationen für lokale Feinstaubkonzentrationen in Bayern in den Jahreszeiten Winter, Frühjahr, Sommer und Herbst. Die Boxplots beinhalten jeweils die ermittelten Erklärten Varianzen an allen 16 betrachteten Bayerischen Stationen.

# Klimawandel und Feinstaub in Bayern

Feldern. Die modellierten lokalen meteorologischen Größen werden anschliessend zur Abschätzung der lokalen Feinstaubkonzentrationen herangezogen. Hierbei kommen verschiedene multivariate statistische Methoden zum Einsatz. Diese berücksichtigen im Rahmen eines dritten Ansatzes, zusätzlich zu den lokalen meteorologischen Einflussgrößen, auch die großräumige Wetterlage zur Modellierung lokaler Feinstaubkonzentrationen.

## Durchführung und Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Analy-

sen zur Optimierung von Wetterlagenklassifikationen bezüglich ihrer Aussagekraft für lokale Feinstaubkonzentrationen durchgeführt. Die hierbei erreichte Verbesserung der sogenannten „Trennschärfe“ von Klassifikationsverfahren für die Zielgröße Feinstaub ist Abbildung 1 zu entnehmen. Dargestellt sind hier die erklärten Varianzen (als Maß für die Trennschärfe) verschiedener Wetterlagenklassifikationen. Deutlich wird eine markante Steigerung der Trennschärfe von einfachen Klassifikationsverfahren (GWT) über optimierte clusteranalytische Verfahren (DKM optimiert) bis hin zu komplexen, feinstaubspezifisch entwickelten Klassifikationsansätzen (SANDRA konditioniert).

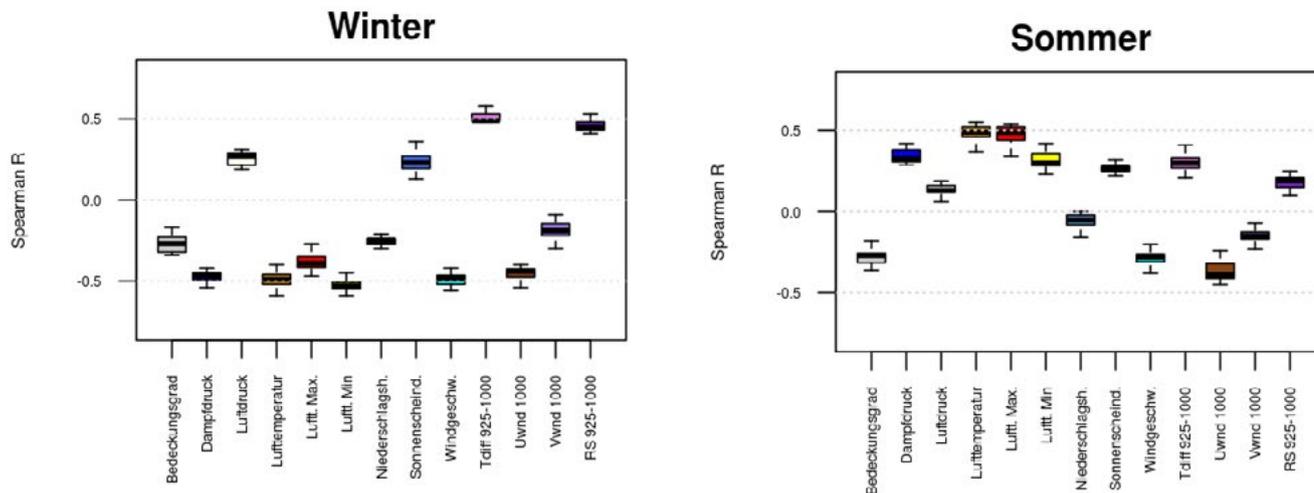


Abb. 2: Spearman Korrelationskoeffizienten zwischen Tageswerten der Feinstaubkonzentration und Tageswerten verschiedener lokaler meteorologischer Variablen (Tdiff 925-1000 = Temperaturdifferenz zwischen dem 1000 und 925 hPa-Niveau; Uwnd 1000 bzw. Vwnd 100 = zonale- bzw. meridionale Windkomponente in 1000 hPa; RS 925-1000 = Temperaturdifferenz zwischen 925 und 1000 hPa, ermittelt für die jeweils nächstgelegene Radiosondenstation). Die Boxplots beinhalten jeweils die ermittelten Korrelationen an allen 16 betrachteten Bayerischen Stationen.

## Klimawandel und Feinstaub in Bayern

Für die Erstellung statistischer Modelle zur Abschätzung von Feinstaubkonzentrationen aus lokalen meteorologischen Einflussgrößen, wurden verschiedene meteorologische Parameter berücksichtigt, die in variierendem Ausmaß und mit unterschiedlicher Wirkungsrichtung mit der Zielgröße Feinstaub verknüpft sind. Abbildung 2 illustriert anhand der *Spearman* Korrelationskoeffizienten zwischen Tageswerten der Feinstaubkonzentration und Tageswerten verschiedener lokaler meteorologischer Variablen wesentliche Zusammenhangsausprägungen im Winter und Sommer. Von zentraler Bedeutung für die Feinstaubkonzentrationen ist beispielsweise in beiden Jahreszeiten die Lufttemperatur, bei allerdings – im Winter und Sommer – entgegengesetztem Vorzeichen des Zusammenhangs.

Die verschiedenen Modellierungsansätze wurden zunächst für den Beobachtungszeitraum 1980-2011 entwickelt, auf ihre Zuverlässigkeit überprüft und bezüglich ihrer Qualität verglichen.

Abschließend wurden die jeweils geeignetsten Vorgehensweisen auf Klimamodelldaten zweier globaler Klimamodelle (ECHAM6, EC Earth) übertragen und Feinstaubwerte für einen Referenzzeitraum (1980-2005) sowie für zwei Zukunftszeiträume (2021-2050, 2071-2100) modelliert. Für die beiden Zukunftszeiträume wurden zudem jeweils zwei Szenarien (RCP 4.5, RCP 8.5) berücksichtigt, die einen unterschiedlich stark ausgeprägten anthropogenen Einfluss auf die zukünftige Klimaentwicklung annehmen.

Beispielhaft für die Station Nürnberg/Ziegelsteinstraße zeigt Abbildung 3 modellierte Feinstaubkonzentrationswerte für Winter und Sommer, für die Zeiträume 1980-2005, 2021-2050 und 2071-2100, für zwei Szenarien (RCP

4.5, RCP 8.5), auf der Grundlage zweier globaler Klimamodelle (ECHAM6, EC Earth) und unter Verwendung zweier unterschiedlicher Vorgehensweisen zur Abschätzung der Feinstaubwerte aus den Häufigkeitsänderungen von Wetterlagen (SD-PMT) bzw. aus Veränderungen lokaler meteorologischer Einflussgrößen (RF-RFCT).

Als markanteste Änderungen lassen sich Konzentrationszunahmen in den Sommermonaten feststellen, die in drei der vier Abschätzungsvarianten statistische Signifikanz – insbesondere für den späteren Projektionszeitraum (2071-2100) erreichen. Gegenteilige Änderungstendenzen mit langfristigen Konzentrationsabnahmen, sind im Winter festzustellen. Hier nicht gezeigte Änderungen in den Übergangsjahreszeiten sind deutlich geringer ausgeprägt und bleiben in den meisten Fällen insignifikant. Zwar ergeben sich für die 16 untersuchten Stationen durchaus variierende Zukunftsabschätzungen, die in Abbildung 3 illustrierte Erhöhung der Feinstaubkonzentrationen im Sommer und die Abnahme im Winter lassen sich aber als stationsübergreifend ausgeprägte, klimawandelbedingte Änderungstendenzen festhalten.

# Klimawandel und Feinstaub in Bayern

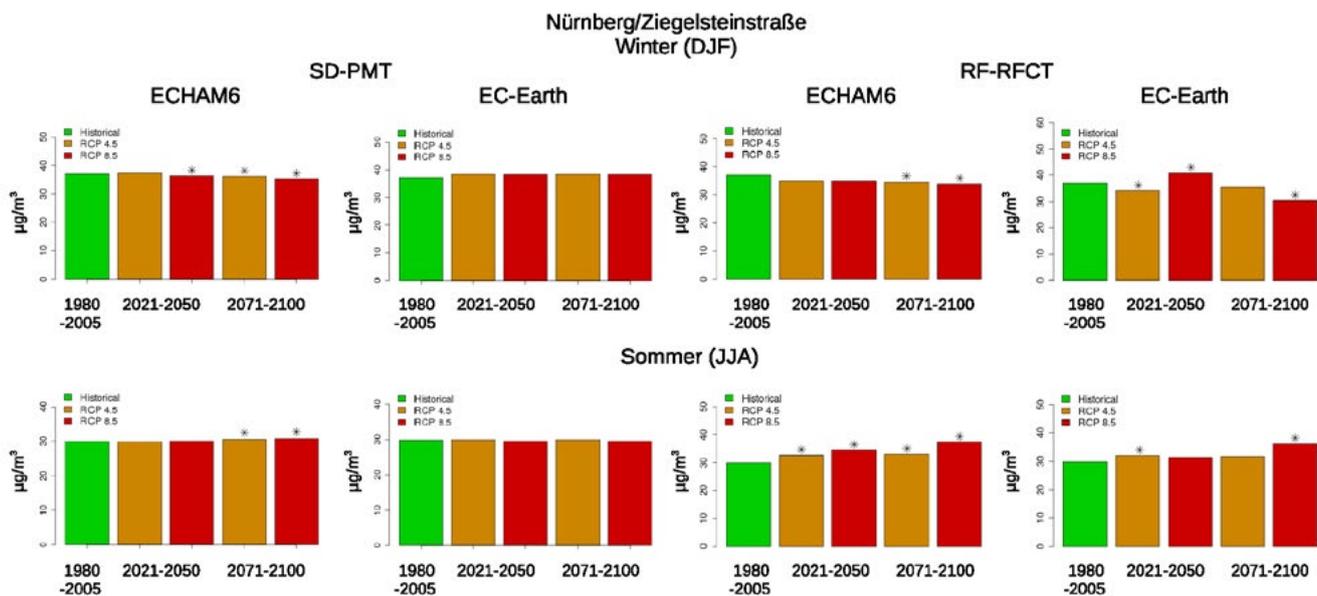


Abb. 3: Modellerte Feinstaubwerte für Winter und Sommer an der Station Nürnberg/Ziegelsteinstraße. Abschätzungen auf der Grundlage von ECHAM6- bzw. EC Earth-Modelldaten, für die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5, unter Verwendung zweier unterschiedlicher Vorgehensweisen zur Modellierung der Feinstaubkonzentrationen aus meteorologisch-witterungsklimatologischen Einflussgrößen (SDPMT bzw. RF-RFCT). Sternsymbole indizieren die statistische Signifikanz (Sicherheitswahrscheinlichkeit = 95%) der Unterschiede zwischen jeweiligem Projektionszeitraum und dem Referenzzeitraum 1980-2005.

## Literatur

- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2014) Downscaling of monthly PM10 indices at different sites in Bavaria (Germany) based on circulation type classifications, *Atmospheric Pollution Research* 5, 741752, doi: 10.5094/APR.2014.083.
- Beck, C./Weitnauer, C./Brosy, C./Siegmond, S./Jacobeit, J. (2015) Atmosphärische Zirkulationsdynamik und lokale Feinstaubkonzentrationen in Bayern - Quantifizierung rezenter Zusammenhänge und Abschätzungen klimawandelbedingter Entwicklungen, *DKT Abstracts*, DKT 10143, 10. Deutsche Klimatagung.
- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2014) Downscaling of monthly PM10 concentrations in Bavaria based on circulation type classifications, *9th International Conference on Air Quality - Science and Application*, GarmischPartenkirchen.
- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2013) A comparison of two classification based approaches for downscaling of monthly PM10 concentrations, *Geophysical Research Abstracts* 15, EGU201310642, Wien.
- Beck, C./Weitnauer, C./Brosy, C./Jacobeit, J. (2013) Klimawandel und Feinstaub in Bayern - Optimierung von Zirkulationsklassifikationen zur Abschätzung lokaler Feinstaubkonzentrationen, *Tagungsband der 32. Jahrestagung des AK Klima der DGfG*, Augsburg.
- Beck, C./Weitnauer, C./Jacobeit, J. (2012) Interannual variations in local PM10 concentrations at different sites in Bavaria and their relation to largescale circulation types, *Abstracts, 12th Annual Meeting of the European Meteorological Society and 9th European Conference on Applied Climatology ECAC*, Lodz.
- Weitnauer, C./Beck, C./Jacobeit, J. (2015) Impact of seasonal synoptic weather types on local PM10 concentrations in Bavaria/Germany: recent conditions and future projections, *Geophysical Research Abstracts* 17, EGU20152114, Wien.
- Weitnauer, C./Beck, C./Jacobeit, J. (2014) Influences of seasonal synoptic weather types on local PM10 concentrations from 1980 to 2011 in Bavaria (Germany), *Abstracts, 14th Annual Meeting of the European Meteorological Society and 10th European Conference on Applications of Climatology ECAC*, Prague.
- Weitnauer, C./Beck, C./Jacobeit, J. (2013) Characterizing the connection between largescale atmospheric conditions and local PM10 concentrations in Bavaria by means of circulation and weather type classification, *Abstracts, 13th Annual Meeting of the European Meteorological Society and 11th European Conference on Applications of Meteorology ECAM*, Reading.



Universität Augsburg  
Wissenschaftszentrum  
Umwelt

Wissenschaftszentrum Umwelt  
Environmental Science Center  
Universität Augsburg  
Universitätsstraße 1a  
86159 Augsburg  
Tel.: +49 821 598-3560  
Fax: +49 821 598-3559  
E-mail: [info@wzu.uni-augsburg.de](mailto:info@wzu.uni-augsburg.de)  
[www.wzu.uni-augsburg.de](http://www.wzu.uni-augsburg.de)

Der Jahresbericht 2015 umfasst den Berichtszeitraum von Januar bis Dezember 2015.

### **HERAUSGEBER**

Prof. Dr. Armin Reller  
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
Prof. Dr. Marita Krauss  
Dr. Jens Soentgen

### **REDAKTION**

Dr. Jens Soentgen  
Dr. Stefanie Seubert  
Stefan Fendt

### **LAYOUT**

Stefan Fendt  
2bex Design+Konzept, Kaufbeuren