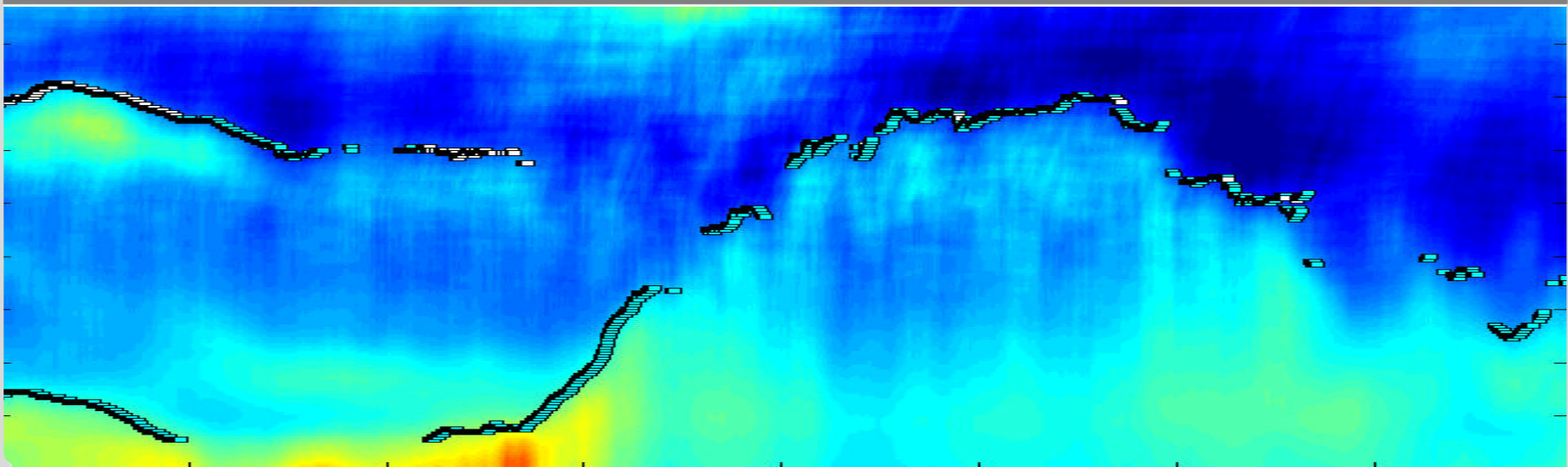


Die städtische Wärmeinsel – Chancen und Risiken von Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen

Stefan Emeis und Joachim Fallmann
Karlsruher Institut für Technologie
stefan.emeis@kit.edu

INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



Mehr als die Hälfte der Menschheit lebt in Städten

Ein Großteil der anthropogenen Schadstoffemissionen erfolgt in Städten

Luftqualität in urbanen Räumen ist vielfach schlecht und belastend (z.B. Beijing, ...)

Städte sind wärmer als ihre Umgebung (ebenfalls belastend)



Thema des Wissenschaftsjahres 2015: Zukunftsstadt (BMBF)

Forschungs- und Innovationsagenda für die CO₂-neutrale, energie- und ressourceneffiziente und klimaangepasste Stadt (Nationale Plattform Zukunftsstadt (vier Bundesministerien))

Stuttgart bei „schönem Wetter“

links: Kaltluft, rechts: sommerliche Inversion

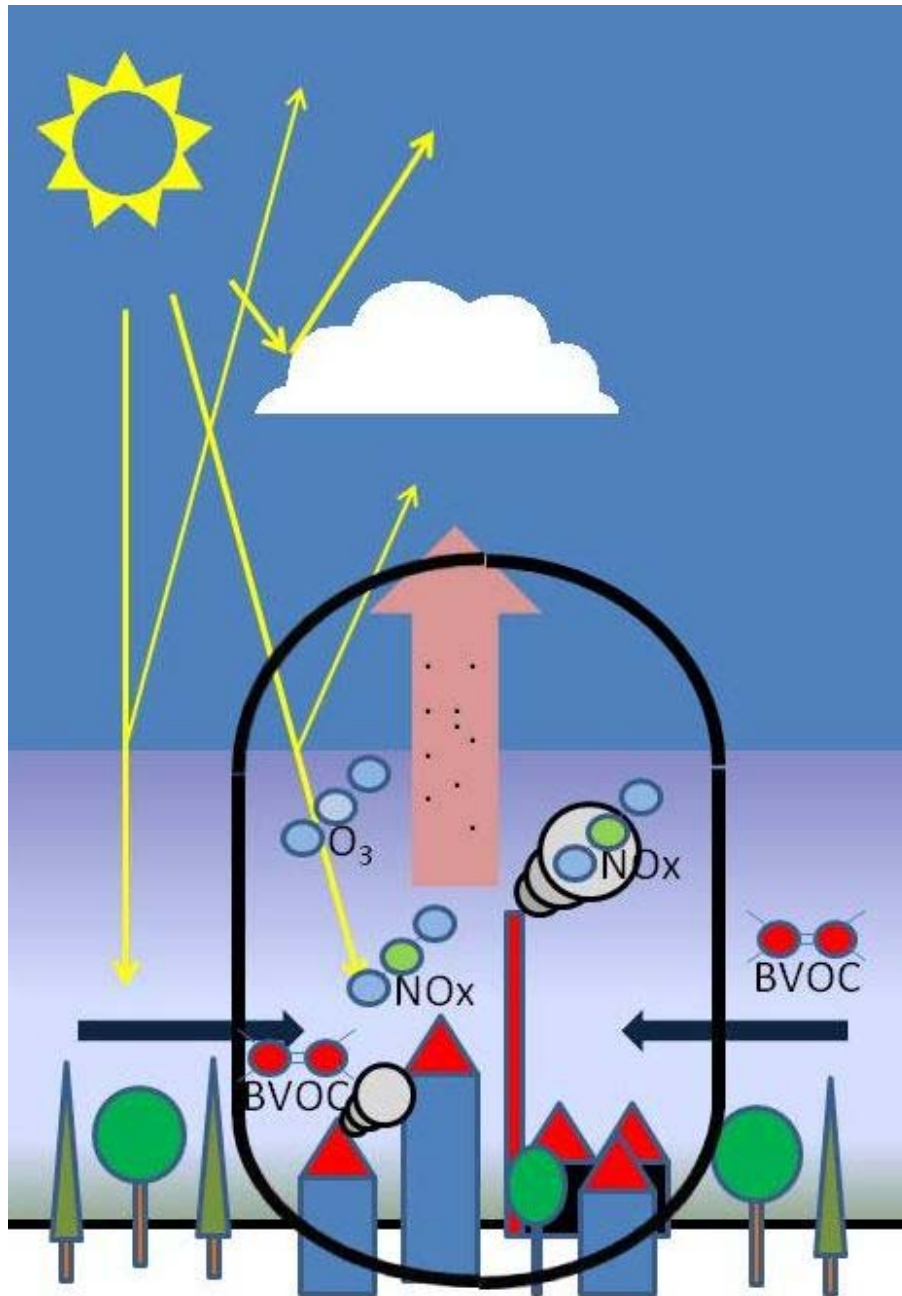


www.stadtklima-stuttgart.de

Venedig bei „schönem Wetter“ kurz vor der Landung am 16.10.2013



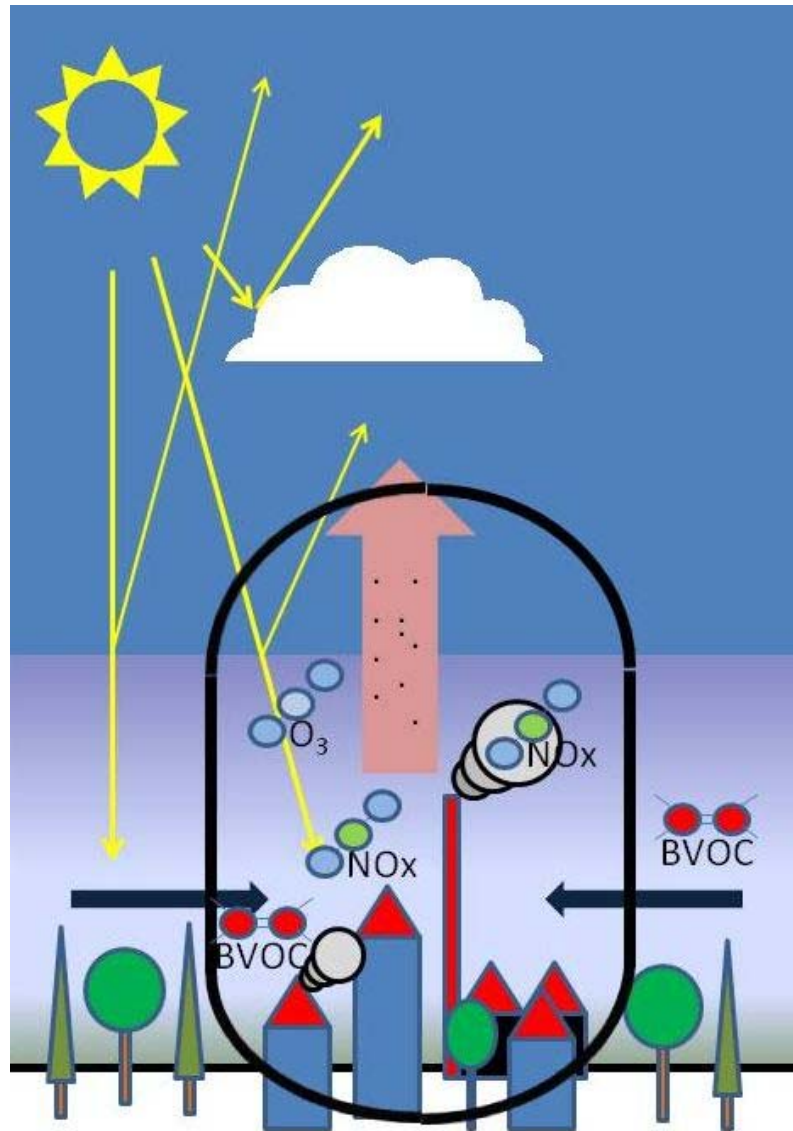
Foto:
Joachim Fallmann



Die Stadt als einzigartiges luftchemisches Reaktionsgefäß

- wärmer
- trockener
- geringere Windgeschwindigkeit
- Vermischung unterschiedlicher Emissionen

Landoberflächenprozesse im Klimasystem Wechselwirkungen zwischen Stadt und Umland

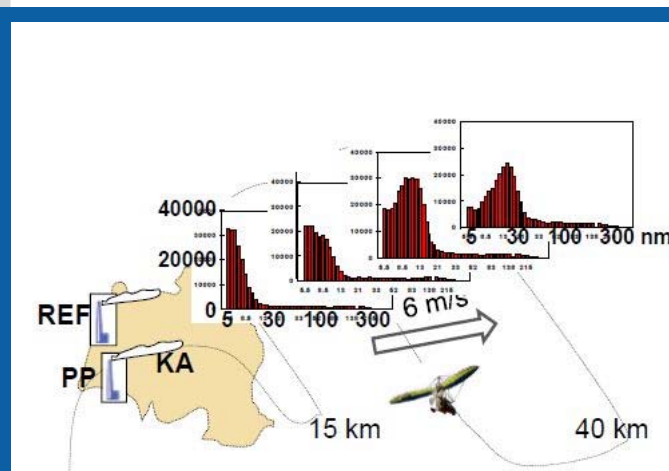


Die Stadt als einzigartiges “Reaktionsgefäß”

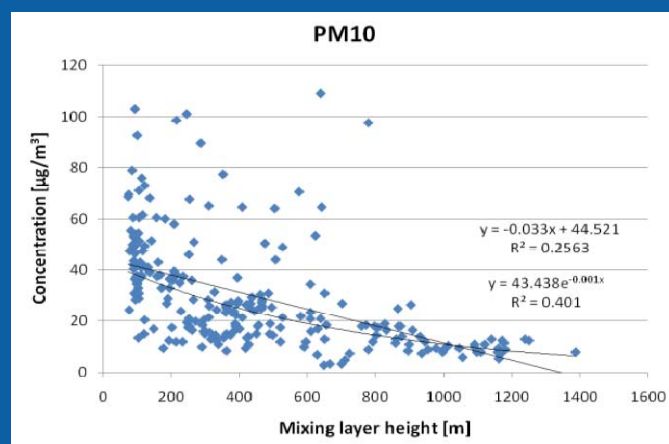
Drei Zielsetzungen:

- (1) **Aerosolpartikelquellen identifizieren (aus anthropogenen, biogenen und geogenen Emissionen und durch sekundäre Bildung)**
- (2) **Einfluss von anthropogenen und biogenen Emissionen auf die Luftqualität, die regionale Meteorologie und die Klimatologie untersuchen**
- (3) **Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen für städtische Wärmeinseln untersuchen und deren Einfluss auf die Luftqualität analysieren**

(1) Aerosolpartikelquellen identifizieren (aus anthropogenen, biogenen und geogenen Emissionen und durch sekundäre Bildung)



Partikelgrößenverteilung als Funktion der Entfernung von der Quelle



Verdünnung von Partikelkonzentrationen als Funktion der Mischungsschichtdicke

Fragen:

- (1) Einfluss von Emissionsreduktionen auf die Luftqualität?
- (2) Änderung von Partikelzusammensetzungen aufgrund von Landnutzungsänderungen?
- (3) Einfluss erneuerbarer Energien (z.B. Holzverbrennung)?
- (4) Einfluss der Klimaänderung auf die Advektion von Wüstensand?
- (5) Einfluss der lokalen Meteorologie auf die Luftqualität?

Werkzeuge:

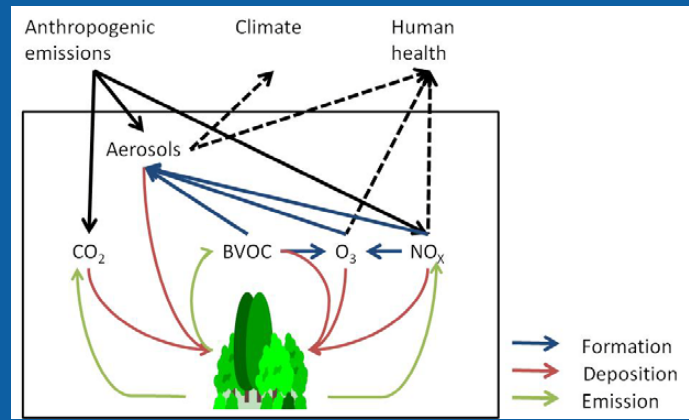
- (1) luftgestützte (Ultraleichtflugzeug) und bodengestützte in-situ Messungen (Partikelgröße und chemische Zusammensetzung)
- (2) in- situ und Fernmessung meteorologischer Größen (z.B. MLH)
- (3) Emissionsmodelle, Boxmodelle, WRF-Chem

Partner:

- (1) andere IMK und KIT-Institute, internationale WRF-chem community
- (2) Universität Augsburg, HMGU, DWD, Süddeutsche Aerosol-Kooperation
- (3) Chinesische Akademie der Wissenschaften, Beijing

(2) Einfluss von anthropogenen und biogenen Emissionen auf die Luftqualität, die regionale Meteorologie und die Klimatologie

untersuchen



Fragen:

- (1) Einflüsse von BVOC auf sekundäre Aerosolbildung?
- (2) Ändert städtische Luftqualität BVOC-Emissionen?
- (3) Aerosol-Strahlung-Rückkopplung (regional dimming), Einfluss auf lokale und regionale Sekundärzirkulationen?
- (4) Änderung des Niederschlags stromab von Quellen?

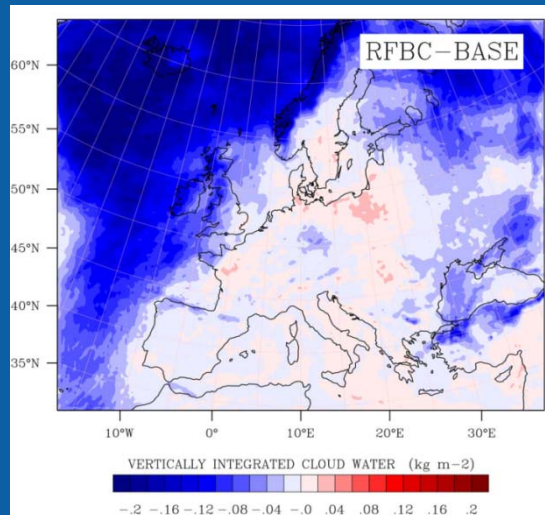
BVOC-Wechselwirkungen in Stadtluft

Werkzeuge:

- (1) WRF-Chem Simulationen mit verbesserter Turbulenzparameterisierung und BVOC-Emissionen
- (2) Modelle für biogene Emissionen, Landnutzungsszenarien
- (3) Messungen zur Validierung

Partner:

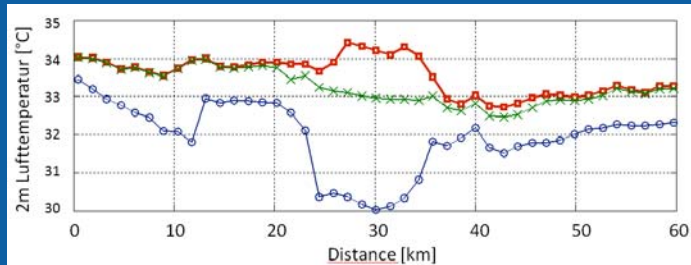
- (1) andere IMK-IFU Gruppen
- (2) IASS Potsdam, NOAA Boulder, HMGU
- (3) AQMEII (Air Quality Model Evaluation International Initiative)



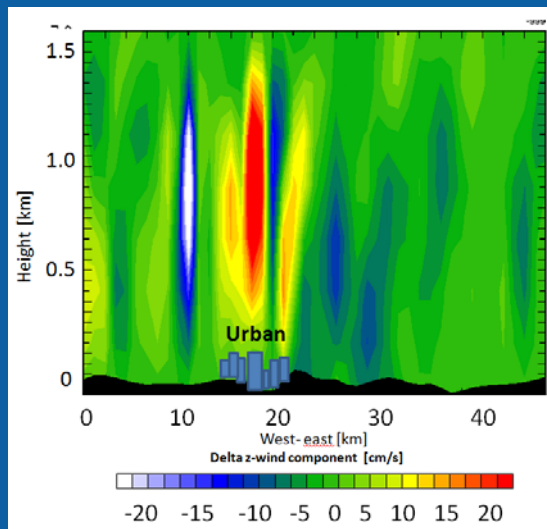
Geänderter Wolkenwassergehalt durch indirekte Aerosolrückwirkung

(3) Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen für städtische Wärmeinseln untersuchen und deren Einfluss auf die

Luftqualität analysieren



**Temperaturquerschnitt durch eine Stadt: rot: Ausgangsfall
grün: keine Stadt,
blau: weiße Dächer**



Sekundärzirkulation durch Wärmeinsel (rot: aufwärts)

Fragen:

- (1) Effizienz von Vermeidungsstrategien (Begrünung, grüne oder weiße Dächer, Wasserflächen, Gebäudeform und -dichte)?
- (2) Einfluss dieser Strategien auf das regionale Wetter und Klima und auf die Luftqualität?
- (3) Wechselwirkung Wärmeinsel und Klimaänderung?

Werkzeuge:

- (1) WRF-Chem Simulationen mit „urbanisiertem“ Modell
- (2) Evaluation regionaler Klimasimulationen
- (3) Landnutzungs- und Emissionsszenarien

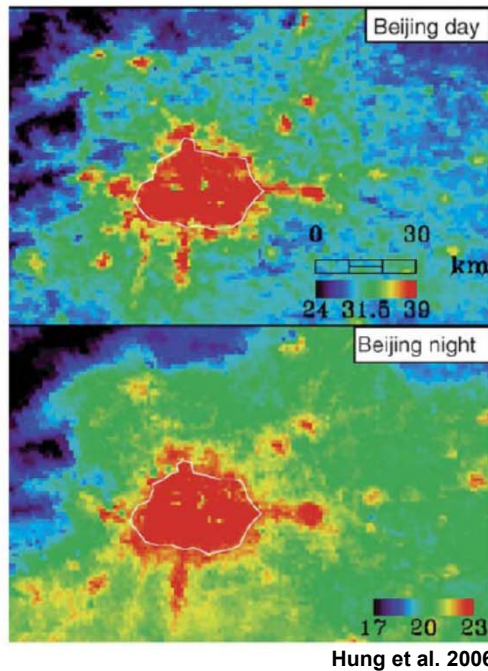
Partner:

- (1) Dialog mit Entscheidungsträgern (z.B. Stuttgart)
- (2) Kooperation in Europäischen Projekten
- (3) NOAA Boulder
- (4) Kooperation mit anderen Gruppen im IFU

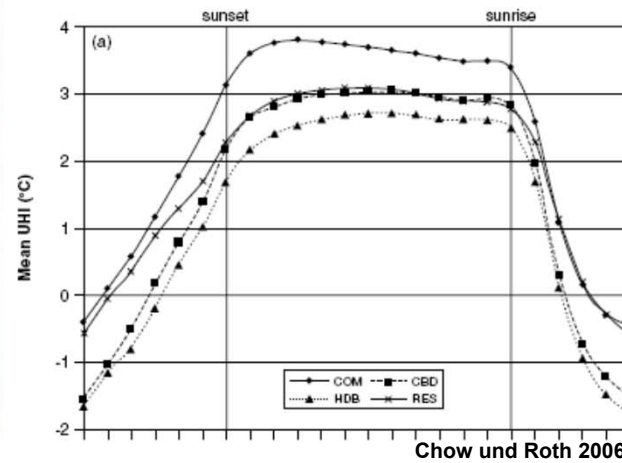
Problem:

Städte wärmer als ihre Umgebung

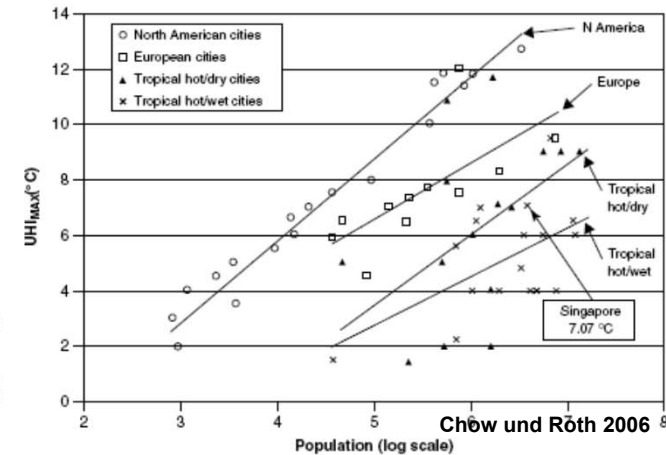
- ➔ **Hitzestress für die Bewohner**
- ➔ **schlechtere Luftqualität**
- ➔ **höherer Energie- und Wasserbedarf**



Infrarot-Satellitenbild von Peking



Überwärmung nachts am stärksten



Überwärmung abhängig von der Bevölkerungszahl

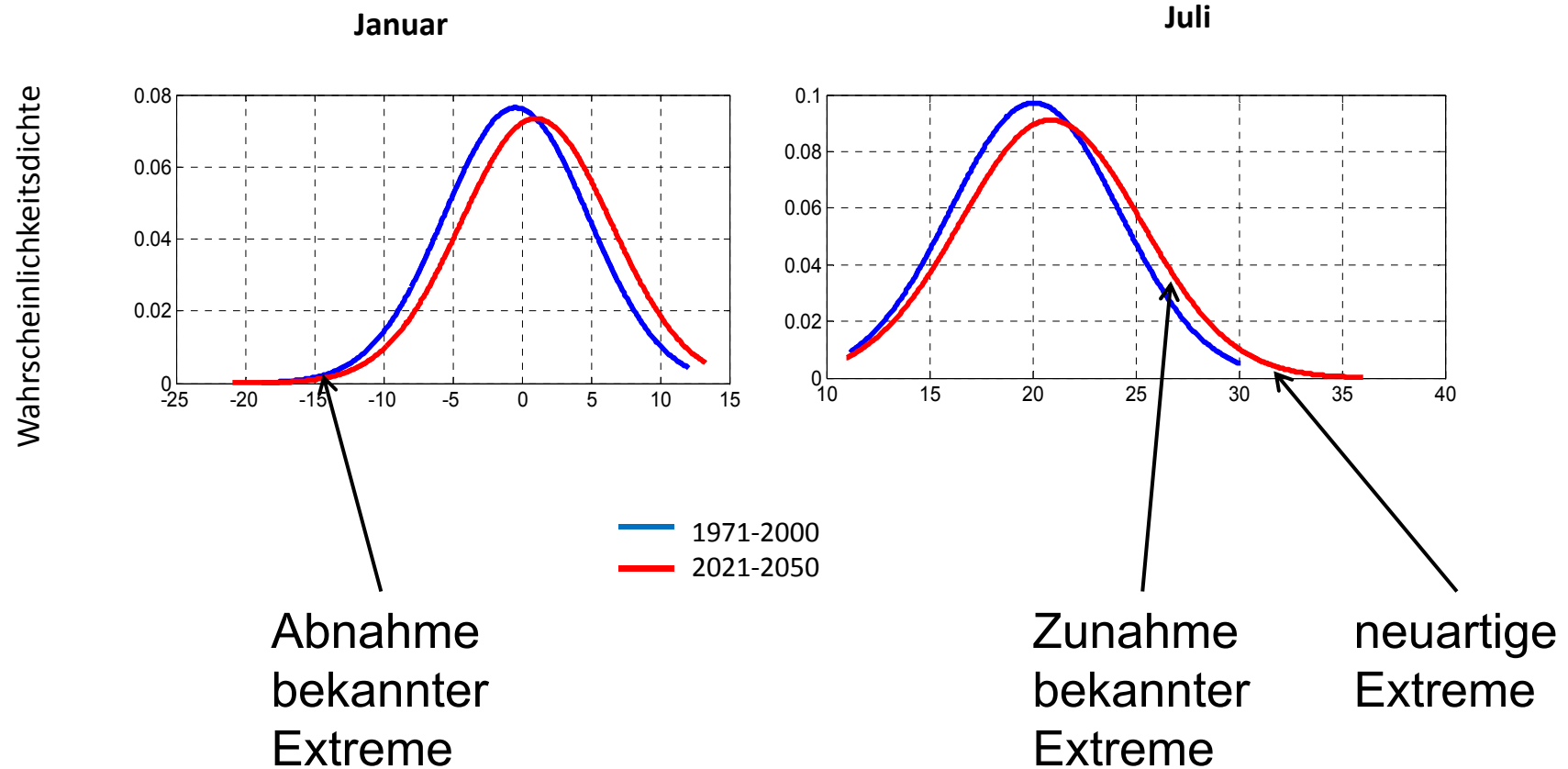


Photo: 2011 Stefan Emeis

Warme Städte beeinflussen das lokale und regionale Wetter (Wolkenbildung über Manhattan am 28. Mai 2011)

München 2021-2050: Klimawandel führt zu anderen und neuen Extremen

Regionale Klimamodellierung (WRF, Sven Wagner, IMK-IFU)



Drei mögliche Strategien gegen Klimawandel und überwärmte Großstädte:

1) Anpassungs- bzw. Reparaturstrategien

2) Milderungsstrategien

3) Vermeidungsstrategien

1) Anpassungs- und Reparaturstrategien:

Klimawandel

Großstädte (Megacities)

CO₂-Abscheidung

Klimaanlagen

Energieaufwand, Endlichkeit der fossilen Rohstoffe bleibt

Energieaufwand, mehr CO₂-Emissionen

Düngung der Meere

aufwändigere ärztliche Versorgung

Energieaufwand, nicht absehbare ökologische Folgen

bindet finanzielle Ressourcen

Aufforstung

Umzug aufs Land

Energieaufwand, Düngung, Flächenbedarf, spätere Nutzung des Holzes

Verstädterung, erhöhtes Verkehrsaufkommen, fehlende Agrarflächen

2) Milderungsstrategien:

Klimawandel

SO₂-Eintrag in die Stratosphäre

Energieaufwand, nicht absehbare ökologische Folgen

Spiegel im Weltall

Energieaufwand, behindert auch die Nutzung der Solarenergie

Großstädte (Megacities)

mehr Bäume/Grünanlagen

Wasserbedarf, Emission schädlicher Kohlenwasserstoffe, die zur Ozonbildung beitragen, filtert Luftschadstoffe, kühlt nachts stärker aus

mehr Wasserflächen

Brutstätte für Schadinsekten
dämpft Temperaturextreme in beide Richtungen

Dämmung von Gebäuden

Energieaufwand für Dämmmaterial

grüne Dächer

dämpft Temperaturextreme in beide Richtungen, Wasserbedarf problematisch, wenn das Klima trockener wird

Milderungsstrategie: begrünte Straßenbahntrassen



Photo: Gisela, Matthias und Jonas Frey, www.bahnbilder.de

Milderungsstrategie: städtische Wasserflächen



Photo: 2013 Stefan Emeis

Milderungsstrategie: grünes Dach in Chicago



Photo: Tony The Tiger, http://en.wikipedia.org/wiki/File:20080708_Chicago_City_Hall_Green_Roof.JPG

Milderungsstrategie: große Parks in Städten



Photo: 2011 Stefan Emeis

3) Vermeidungsstrategien:

Klimawandel

Großstädte (Megacities)

Erneuerbare Energien

**Erhöhung der Albedo im Sommer
(weiße Dächer)**

Vermeidung von CO₂-Emissionen

**reduziert Aufwärmung der Städte, verringert
Energiebedarf für Kühlung, verlangsamt
Alterungsprozesse des Baumaterials**

effizientere Energienutzung

**Verringerung der Albedo im Winter
(dunkle Wände)**

Vermeidung von CO₂-Emissionen

verstärkt Aufwärmung, verringert Heizbedarf

Solaranlagen auf Dächern

**nutzt die einkommende Energie sinnvoll, dämpft
Aufwärmung und Auskühlung der Gebäude**

enge Gassen (wie in Wüstenstädten)

verkehrstechnisch ungünstig

Santorin in Griechenland als Beispiel ...

... aber was passiert in höheren Breiten im Winter?



Foto: Mstyslav Chernov, Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/Oia_%28panoramic_cityscape%29._Santorini_island_%28Thira%29%2C_Greece.jpg

Wüstenstädte ...

... sind vielleicht eine gute Lösung
in den Tropen und Subtropen



Beni Izguen, Algerien

Photo: Holger Reineccius, <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Beni-Izguen.jpg>

Weißer Dächer zusammen mit dunklen Seitenwänden



weißes reflektierendes
Dach

dunkle absorbierende
Wände

ideale Kombination für
höhere Breiten ...

... aber noch unüblich

Quelle: Baufriz, <http://www.baufriz.com/lu/architektenhaus-mit-weissem-klimaschutz-dach>

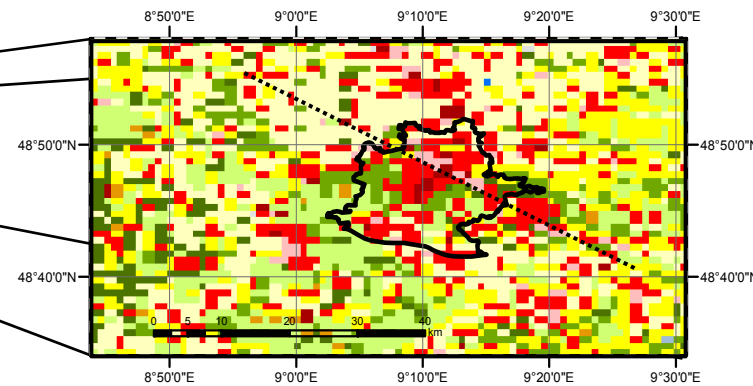
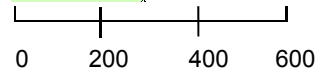
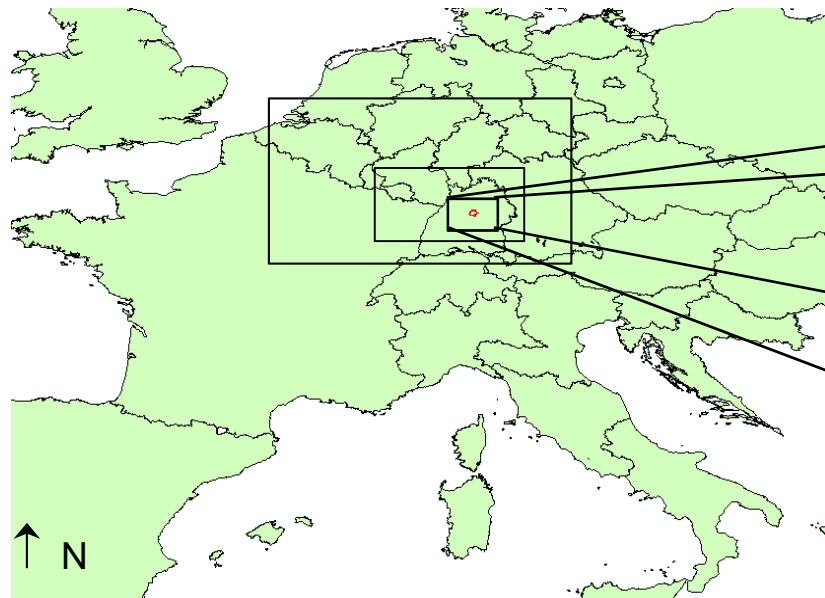
Cooler City – Cleaner City ?

- **Wie können stadtplanerische Maßnahmen die Wärmeinsel verringern?**
- **Wie beeinflussen diese Strategien die Luftqualität?**

invers03

www.stadtklima-stuttgart.de

Numerische Simulationen mit WRF - Meteorologischer Teil -



Corine Land Cover



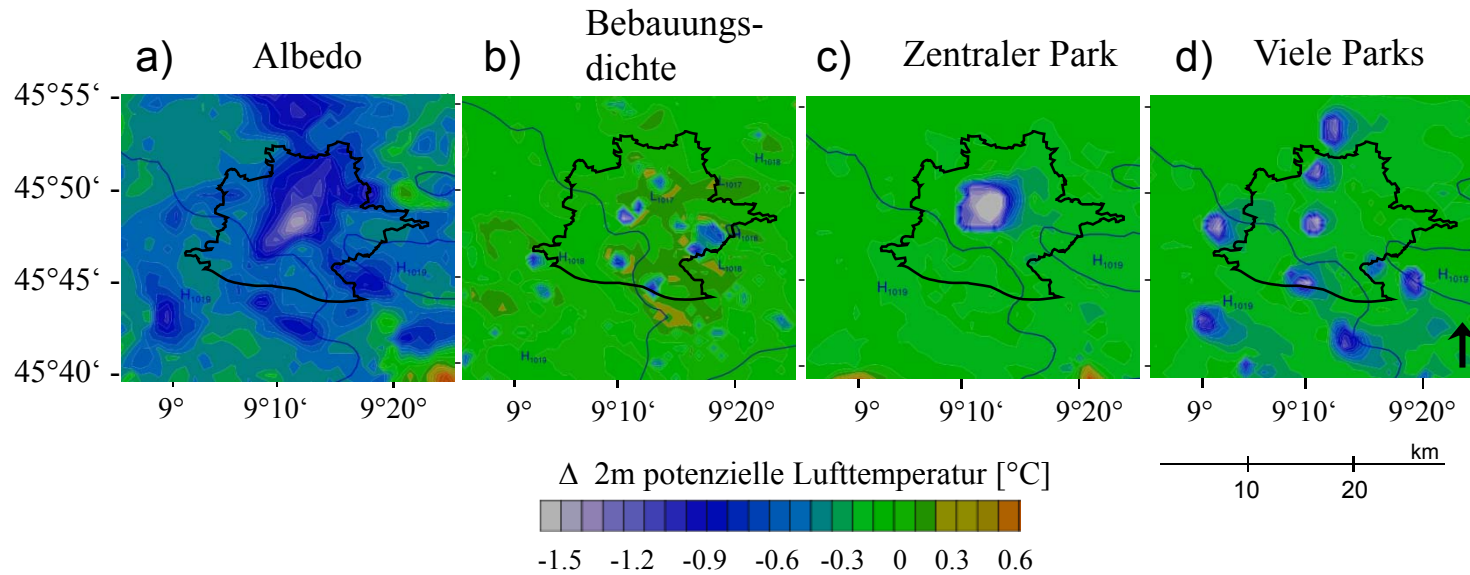
Urban

geographical input	1km USGS
dx, dy	15km, 3km, 1km
west-east [km]	645, 228, 61
south-north [km]	510, 168, 49
vertical layers	36
lowest model level	15m
Meteorological BC	ERA-Interim

start time	8/11/03 - 0:00
end time	8/18/03 - 0:00
microphysics	WSM06
LW/SW	RRTM
land surface model	Noah LSM
urbanization scheme	BEP
boundary layer	MYJ
cumulus scheme	Kain-Fritsch

Wärmeinsel-Vermeidungs-Szenarien

13. Aug. 2003 – 8 Uhr abends



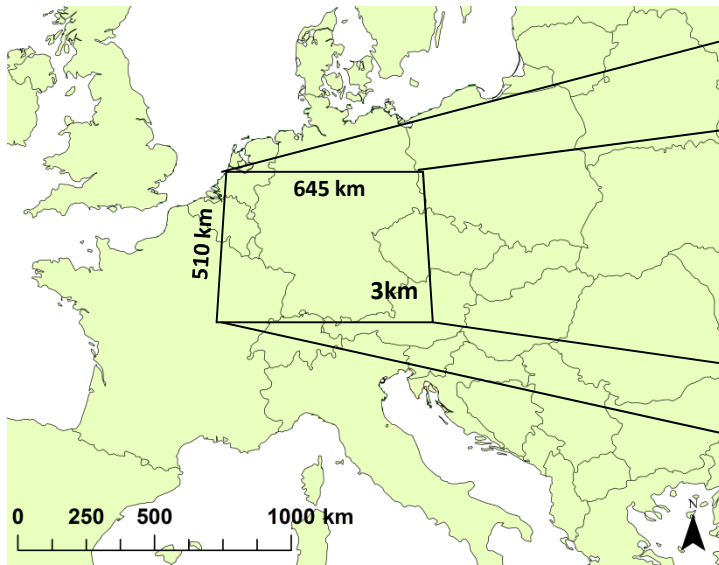
Einfluss der Vermeidungsmaßnahmen auf die Wärmeinselintensität

Scenario	Control	Albedo	Many Parks	Big Park	Density
T mean urban [°C]	33.1	31.5	32.5	32.3	32.4
T max [°C]	34.3	31.9	33.5	33.3	33
UHI; delta Θ	2.52	0.84	1.47	1.19	1.32

Fallmann et al. 2014

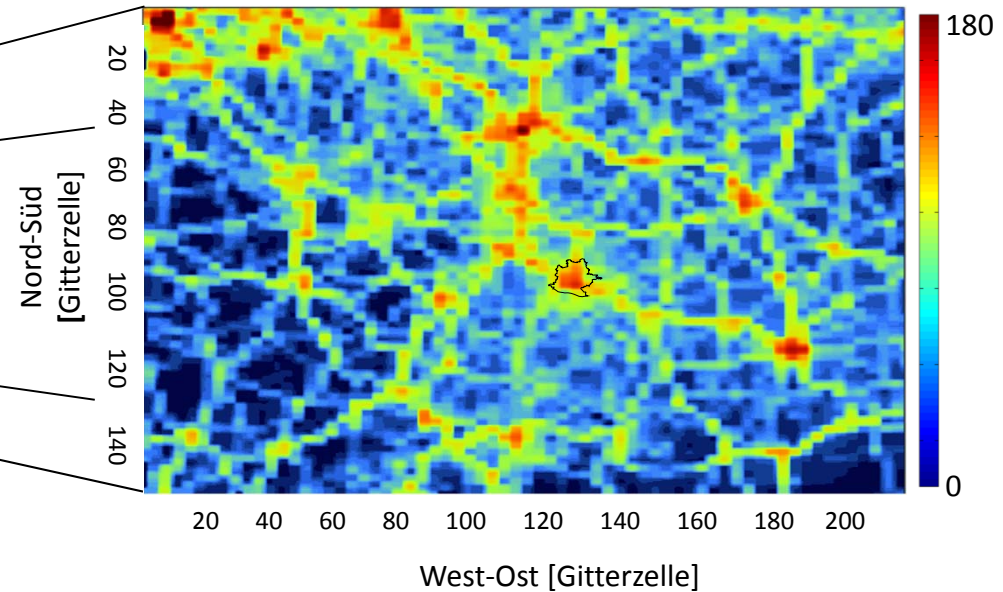
Numerische Simulationen mit WRF - Luftchemischer Teil -

WRF-Chem Domain



NO- Emissionen

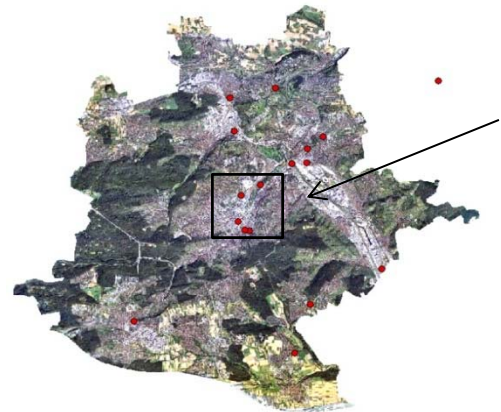
NO [mol km⁻² h⁻¹]



geographical input data	30 Deg USGS land use with 33 classes
dx, dy	3km
west-east	200
south-north	150
vertical layers	36
lowest model level	20m
meteorological boundary conditions	0.5 Deg ERA-Interim reanalysis
chemical boundary conditions	Mozart global data
biochemistry	Megan
chemical option	RADM2 chemical mechanism; MADE/SORGAM aerosols

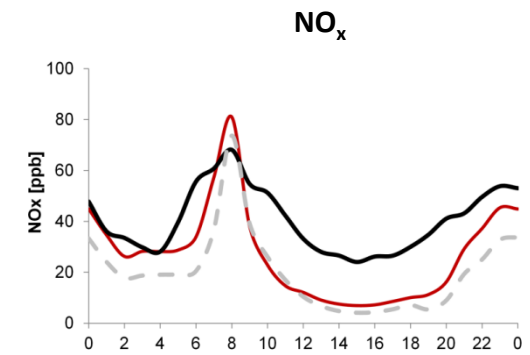
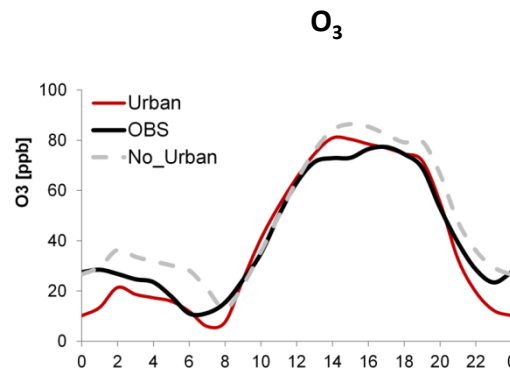
emission data	7km MACC emission for Europe
running time	8/9/03 – 8/18/03
microphysics	Lin et al
longwave	RRTMG
shortwave	RRTMG
land surface model	Noah LSM
urbanization scheme	BEP
boundary layer	MYJ
cumulus scheme	Grell-Devenyi ensemble scheme
photolysis	FastJ

Prüfung von WRF-chem anhand von Messdaten



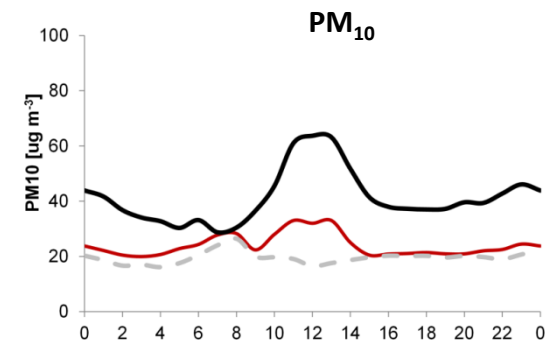
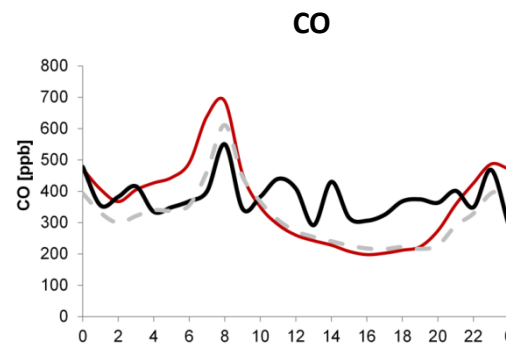
WRF-Gitterzelle

● Beobachtungen

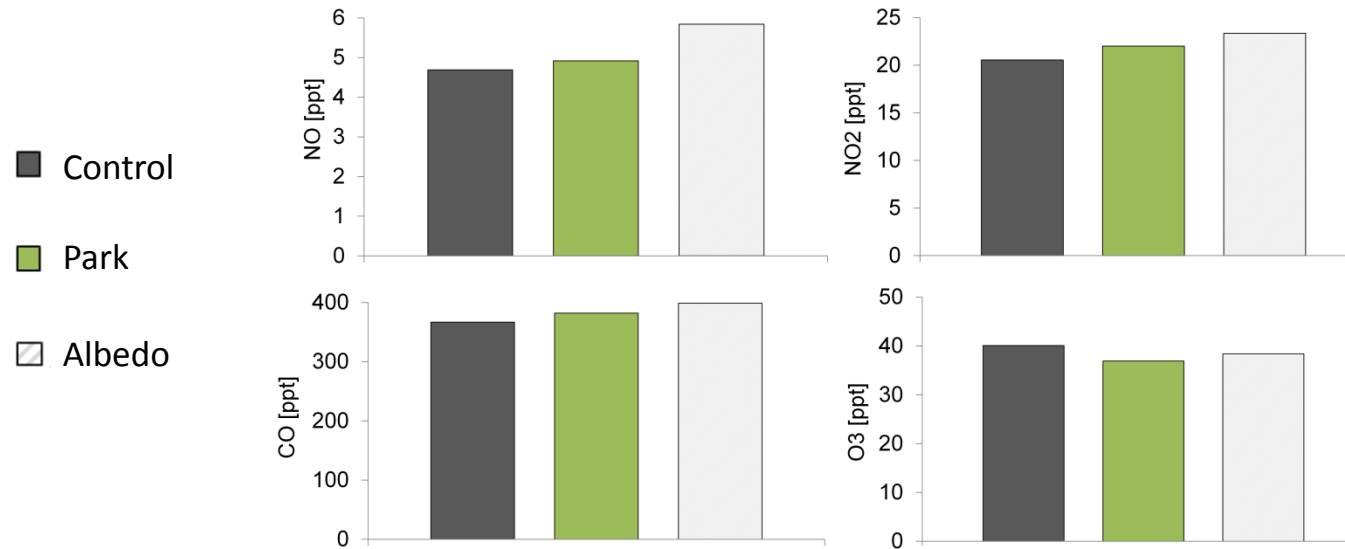


Mittel von vier Stationen:

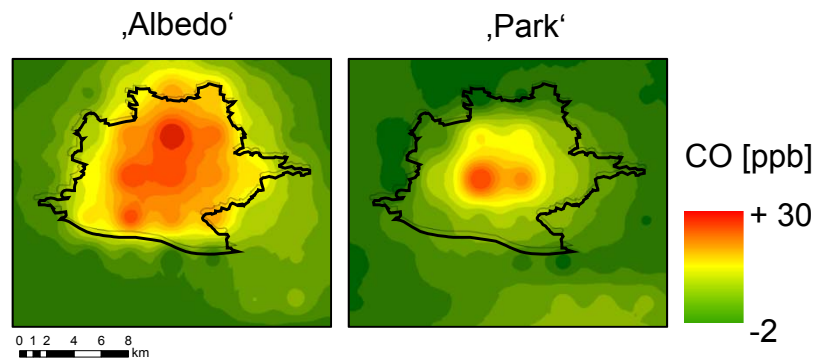
- Bad Cannstadt
- Schwabenzentrum
- Zuffenhausen
- Hafen



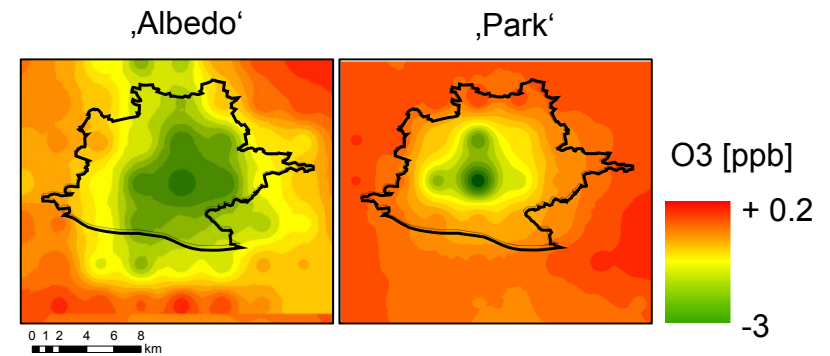
Effekt auf die bodennahe Schadstoff- Konzentration (Tagesmittel)



Primäre Schadstoffe (Bsp. CO)



Sekundäre Schadstoffe (Bsp. Ozon)



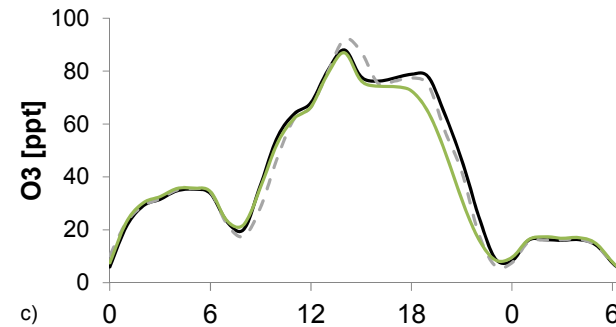


UHI Vermeidungsstrategien

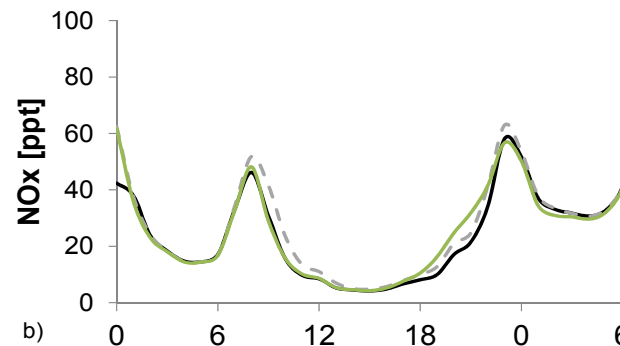
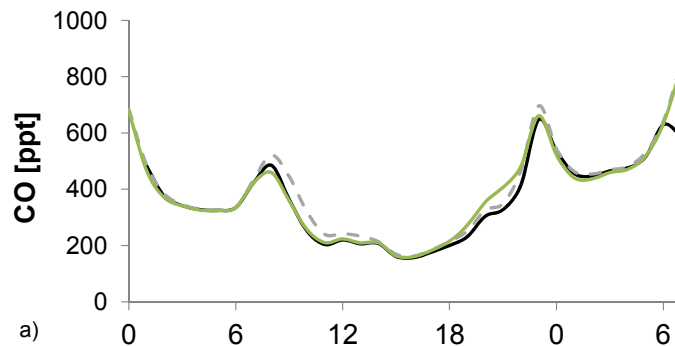
Auswirkung auf den Tagesgang der Luftqualität

- Control
- - - Albedo
- Park

sekundär gebildeter Schadstoff



primär emittierte Schadstoffe



Auswirkungen der Reduktion der Wärmeinsel auf die Luftqualität

- über die Dynamik:** **verringerte thermisch erzeugte Turbulenz**

geringere Dicke der Mischungsschicht

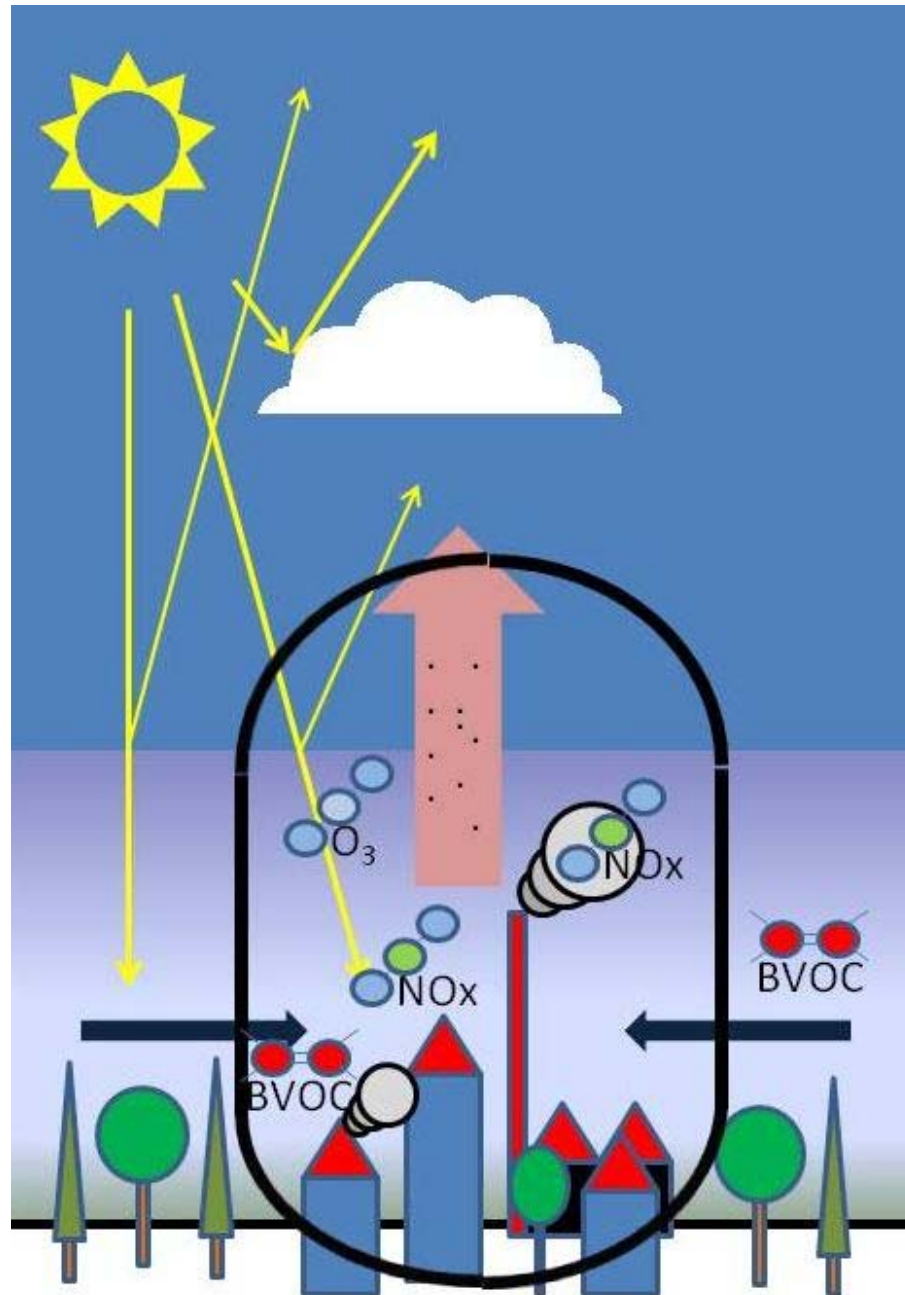
**→ höhere Konzentrationen primär emittierter
Schadstoffe**

- über die Temperatur:** **geringere chemische Reaktionsraten**

**→ geringere Konzentrationen sekundär
gebildeter Schadstoffe**

- über die Strahlung:
(weiße Dächer)** **mehr kurzwellige Strahlung**

→ höhere Photolyse → mehr Ozon



Zusammenfassung

Die Stadt als einzigartiges luftchemisches Reaktionsgefäß

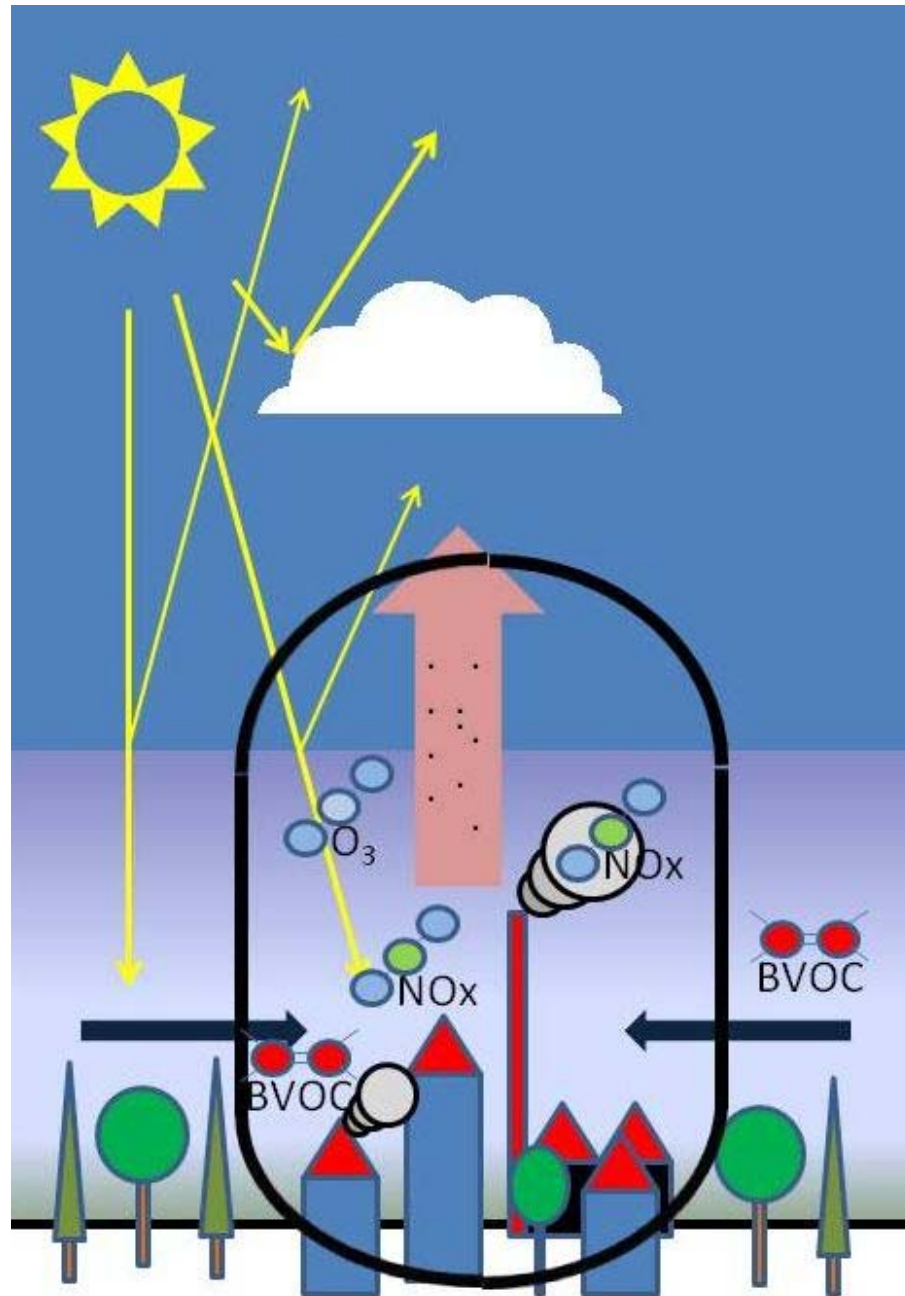
- Ist überwärmt
- biogene und anthropogene Schadstoffe sorgen für eine spezielle Luftchemie
- Temperatur und Chemie hängen komplex zusammen
- geplante Maßnahmen müssen in ihrer Gesamtheit betrachtet werden

Zukünftiger Forschungsbedarf

Monitoring und Analyse der Stoffflüsse in einer Stadt und zwischen einer Stadt und ihrer Umgebung in einem sich wandelnden Klima: Austausch zwischen Grundwasser, Boden, Vegetation, Atmosphäre

geplante Initiative in der Helmholtz-Gemeinschaft: UrbENO

wissenschaftliche Begleitung des notwendigen Umbaus der Städte zu klimaverträglichen Städten im Rahmen einer Transformation zur Nachhaltigkeit



„Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“

„Bei der Transformation zur Nachhaltigkeit kommt dem Klimaschutz eine besondere Bedeutung zu, denn er ist eine *conditio sine qua non* für nachhaltige Entwicklung: Klimaschutz allein kann zwar den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen für die Menschheit nicht sichern, aber ohne wirksamen Klimaschutz entfallen absehbar essentielle Entwicklungsmöglichkeiten der Menschheit.“

aus dem Hauptgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU, 2011)

darin werden drei Handlungsfelder benannt:

- Energie
- Urbanisierung
- Landnutzung





Quelle: Südd.Z., 2.9.6



**Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit**

