

Werkzeuge und Akzeptanz der Stadtklimaforschung

Stefan Emeis
IMK-IFU, Karlsruher Institut für Technologie, Garmisch-Partenkirchen
stefan.emeis@kit.edu

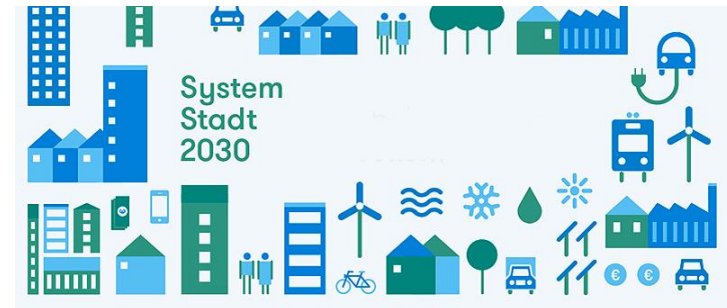
INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



Ausgangslage:

Städte und urbane Gebiete müssen **klima-resilient** werden:

- Wärmestress
- Luftreinhaltung
- Verkehr/Mobilität
- Wasser und Abwasserversorgung
- Energie
- Bauplanung und -ausführung
- etc.



<https://werteundwandel.de/inhalte/resilienz-stadt-neu-denken/>



<https://resilienz-aachen.de/kriterienkatalog-zum-deutschen-nachhaltigkeitspreis/>

Unterstützung durch die Wissenschaft ist notwendig

wir müssen jetzt anfangen, warten auf finale Erkenntnisse nicht möglich,
(‘no-regret measures’ müssen sofort in Angriff genommen werden)

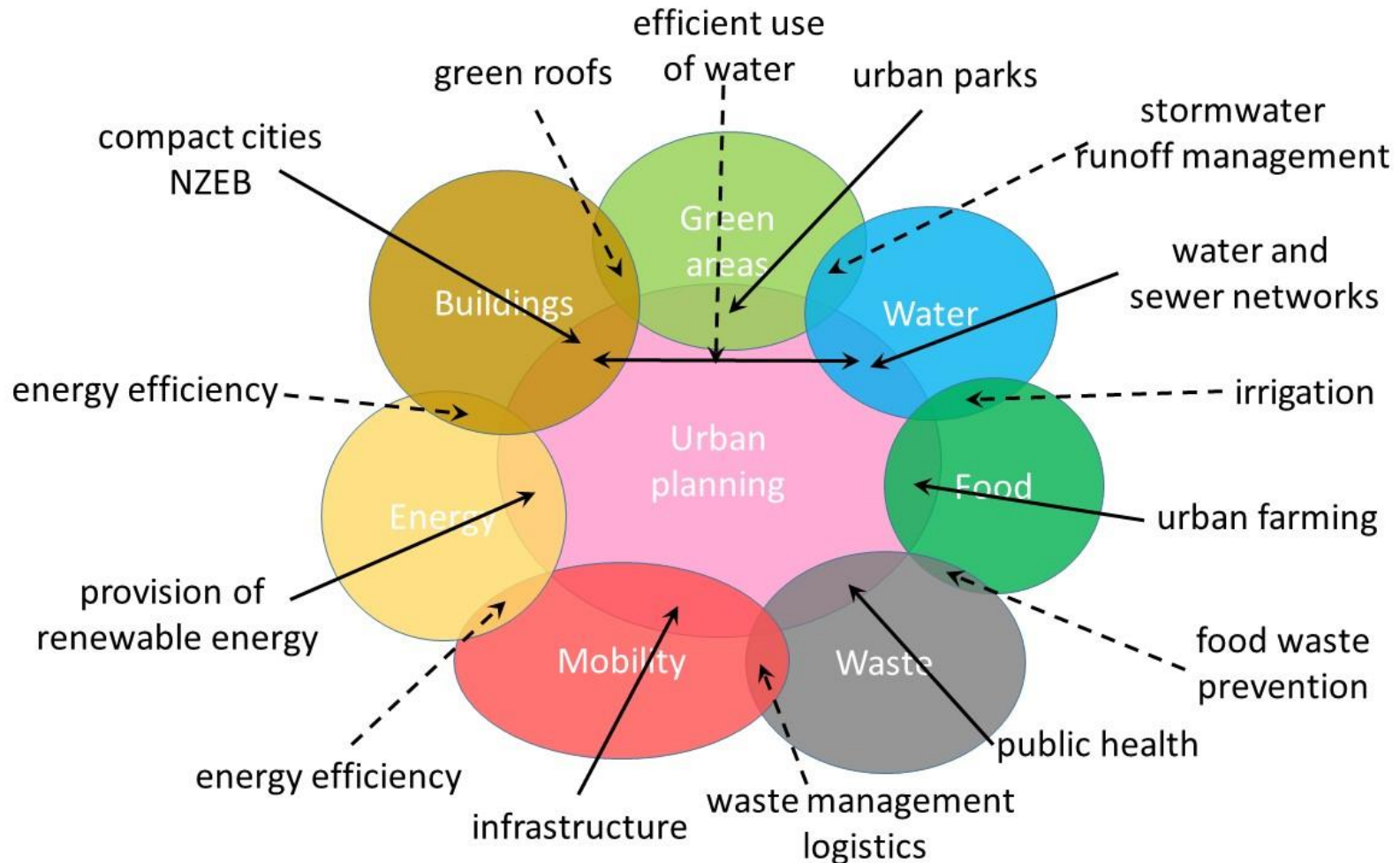
aus der Sicht eines Atmosphärenwissenschaftlers:

Herausforderungen und Notwendigkeiten für urbane Gebiete



aus der Sicht der Planer:

Herausforderungen und Notwendigkeiten für urbane Gebiete



(modified from Satterthwaite, 2008).

Beides zusammen::

Herausforderungen und Notwendigkeiten für urbane Gebiete



In diesem Vortrag:

(1) meteorologische Grundlagen und Werkzeuge

Stadtklima-Projekt [UC]² und das neue Modellierungs-Werkzeug: PALM4U

(2) Ideen, Umsetzung und Akzeptanz

**die Akzeptanz meteorologischer und klimatologischer Forschung
in Stadtplanung und Architektur**

[UC]² Urban Climate Under Change Stadtklima im Wandel

BMBF-Vorhaben [UC]²

Phase 1: **2016-2019** **01LP1601, 01LP1602, 01LP1603**

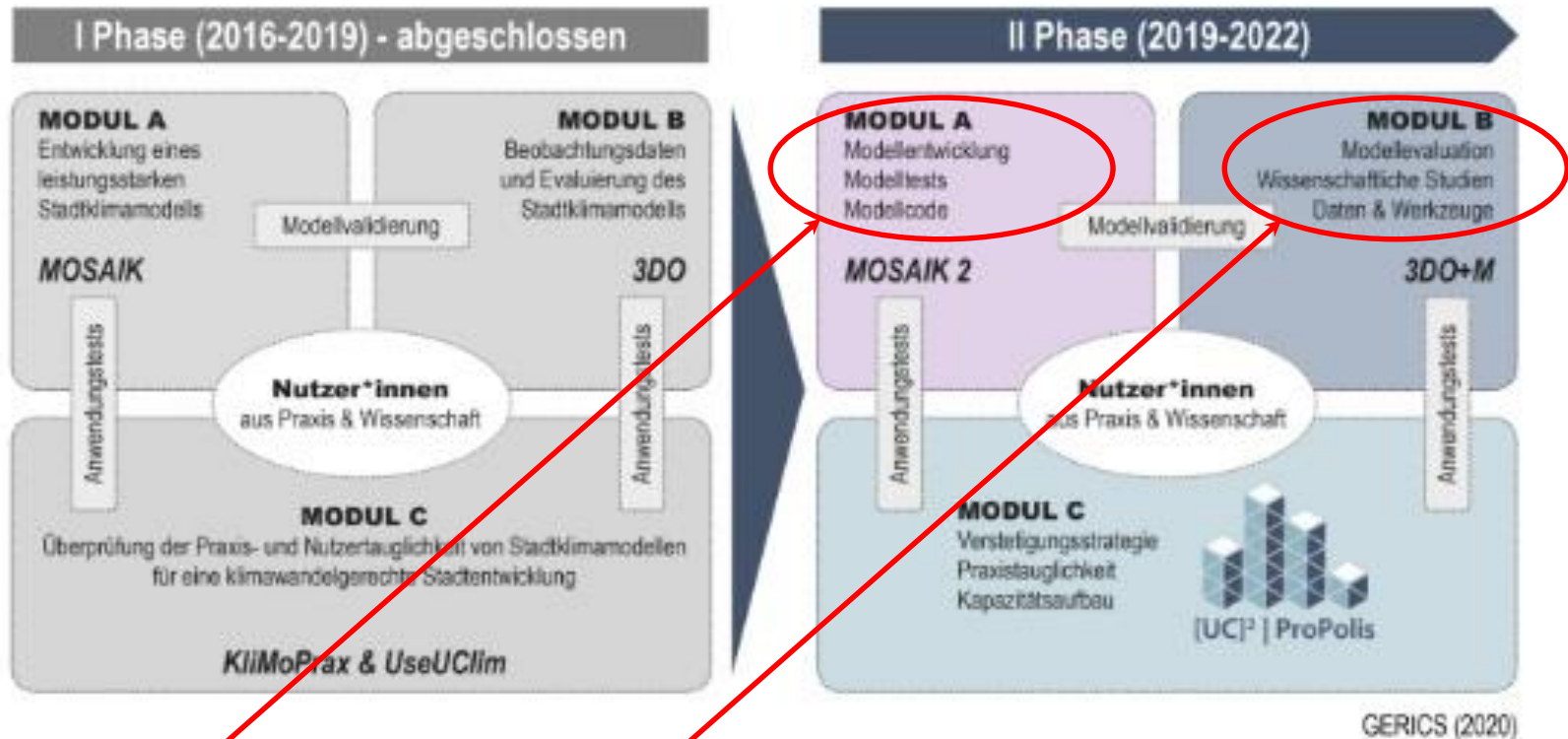
Modul A (MOSAIK): **Modellentwicklung**
Modul B (3DO): **Bereitstellung von Validierungsdaten**
Modul C (KliMoPrax + UseUClim): **Anwenderdialog**

Phase 2: **2019-2022** **01LP1911, 01LP1912, 01LP1913**

Modul A (MOSAIK-2): **Modellweiterentwicklung**
Modul B (3DO+M): **Demonstration typischer Anwendungen**
Modul C (ProPolis): **Operationalisierung**

Phase 3: **?**

[UC]² – Urban Climate Under Change - Projektstruktur



Phase 1

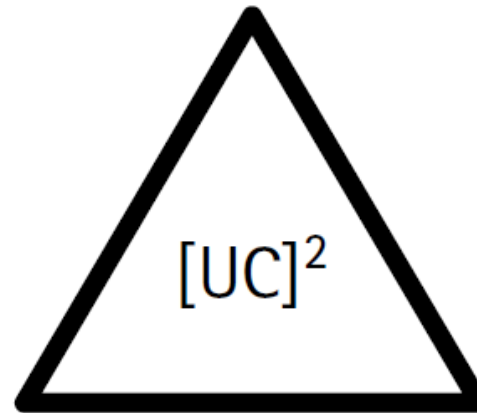
Phase 2

IFU: Luftchemie

IFU: Messungen in und Modellierung für Stuttgart



Modul A
Modellentwicklung
MOSAIK



Grafik: Maronga et al. 2019 Vortrag DACH Garmisch-Partenkirchen

aus dem existierenden LES-Modell PALM wird das neue deutsche Stadtklimamodell PALM4U

im Rahmen des BMBF-Vorhabens [UC]²

Prozesse in PALM-4U

Urbane Oberfl.

- Energiebilanz
- Wärmeleitung
- Material
- Grünelemente

Chemie

- Transport
- Reaktionen
- Photolyse
- Emissionen

Technische Lösungen

- Mesoskaliges Nesting
- LES-LES Nesting
- RANS Modus
- Benutzeroberfläche



Strahlung

- Energiebilanz
- Schatten
- Reflektionen

Vegetation & Boden

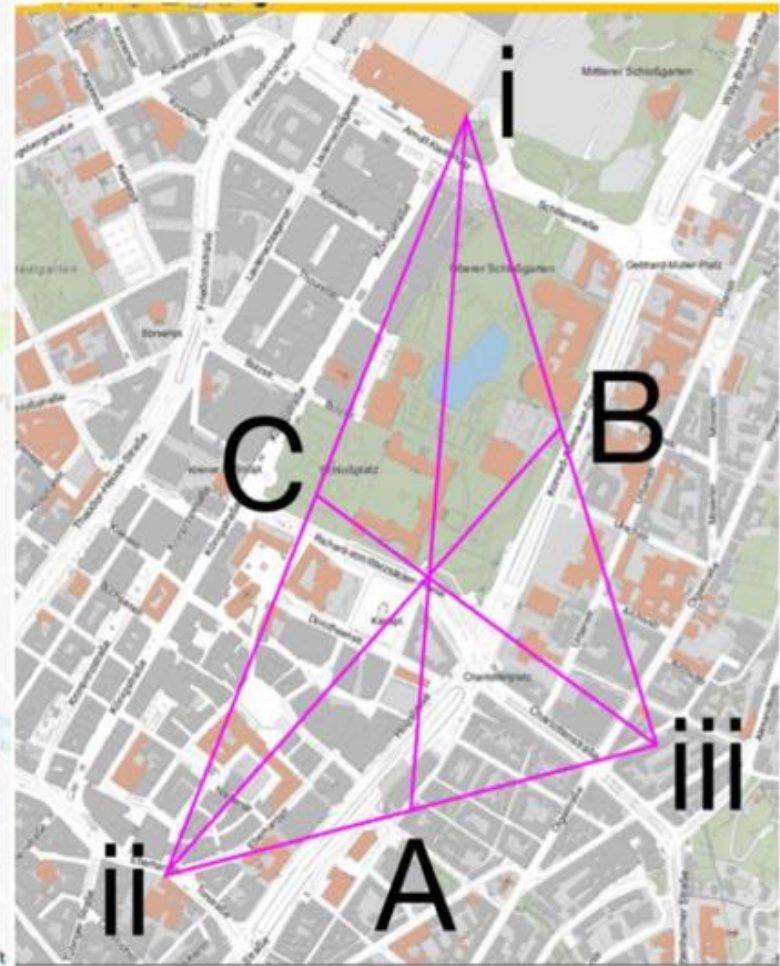
- Energiebilanz
- Impulssenke
- Schatten
- Wurzeln
- Bodenfeuchte

Auswirkungen

- Multiagentensystem
- Biometeorologische Indizes

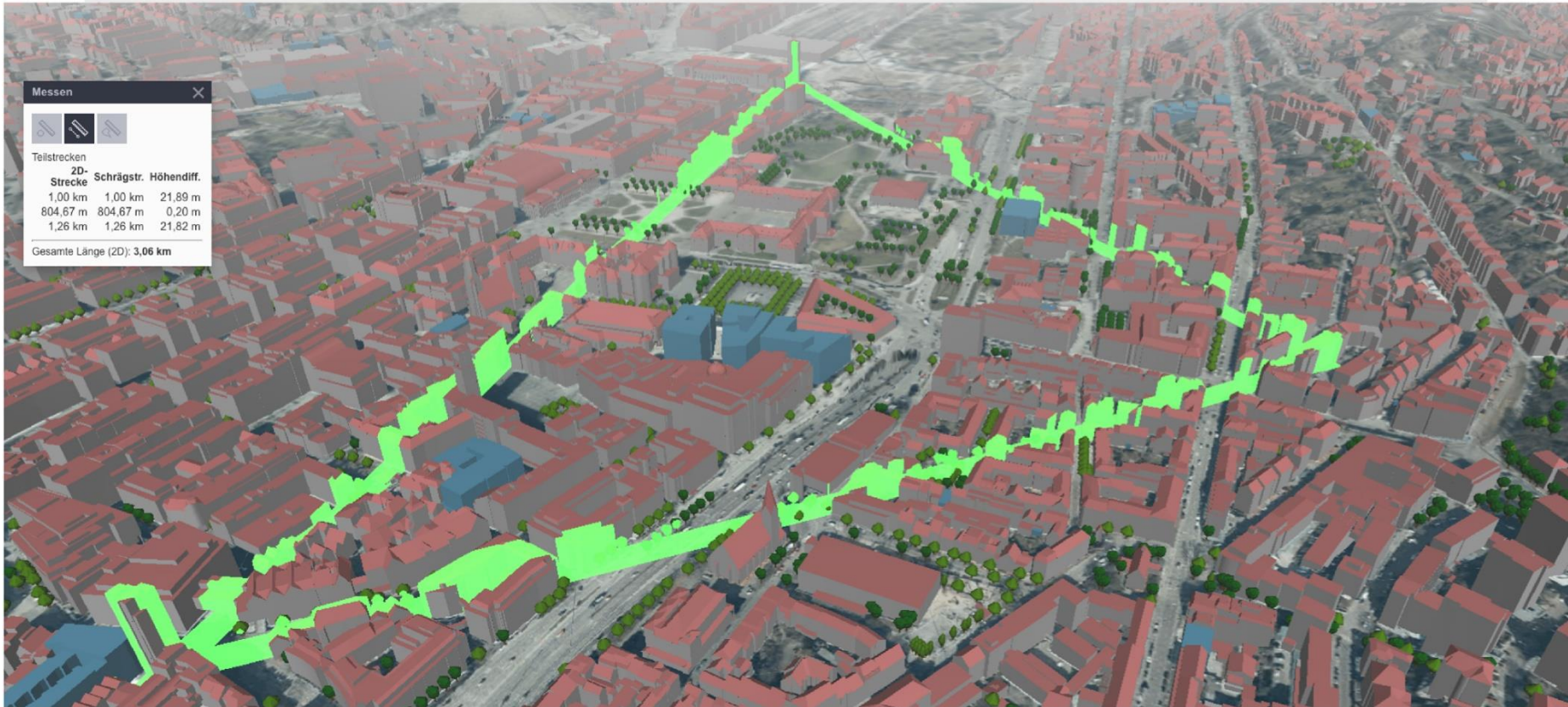
Grafik: Maronga et al. 2019 Vortrag DACH Garmisch-Partenkirchen

PALM4U: Feldexperiment in Stuttgart



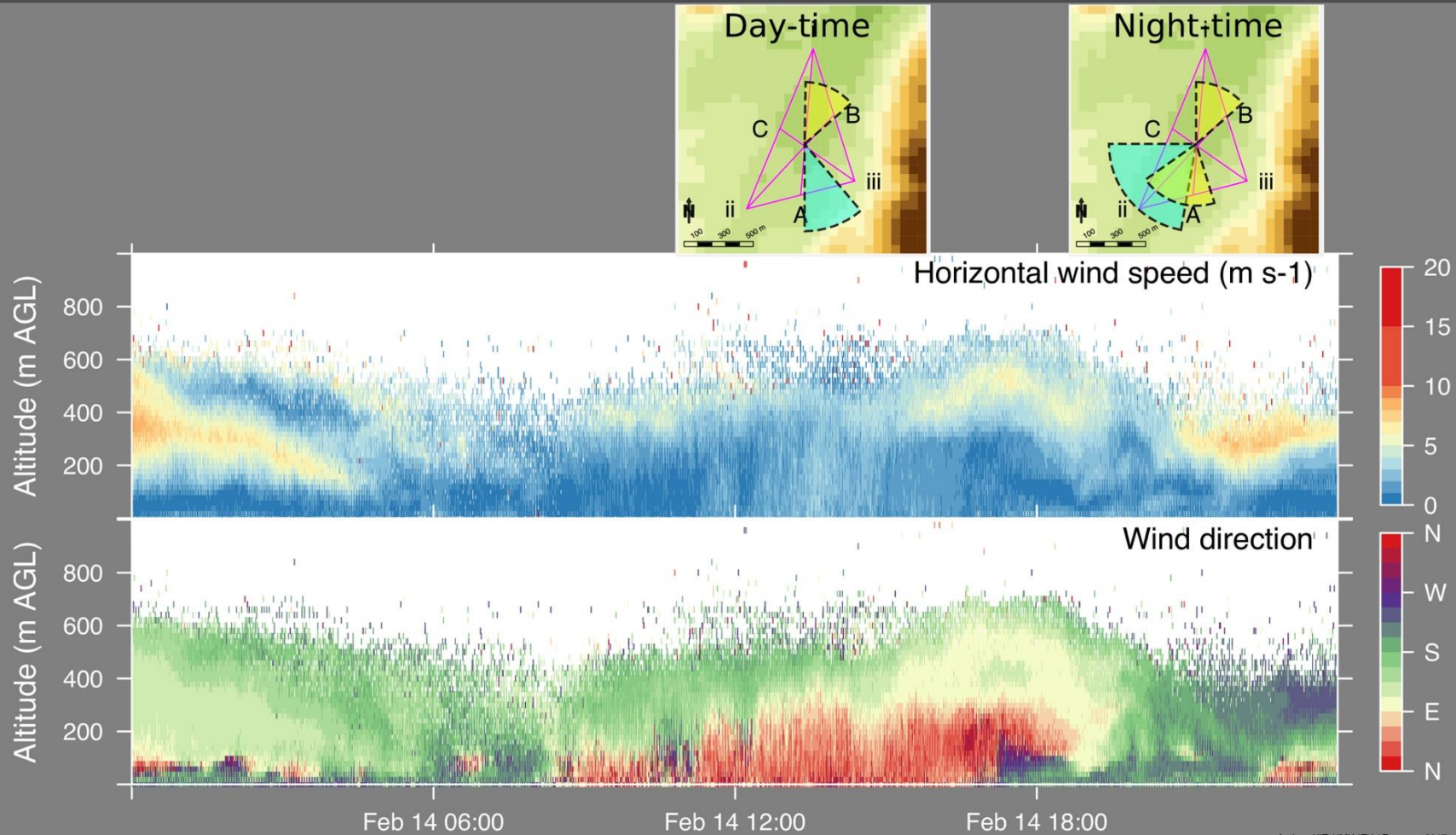
Experimente (Mattias Zeeman (phys.) und Christopher Holst (num.))

WL: Wind Lidar (HaloPhotonics StreamLine)



Results WindLidar (IOP 1.1)

B-3DO | matthias.zeeman@kit.edu | 19.6.2017

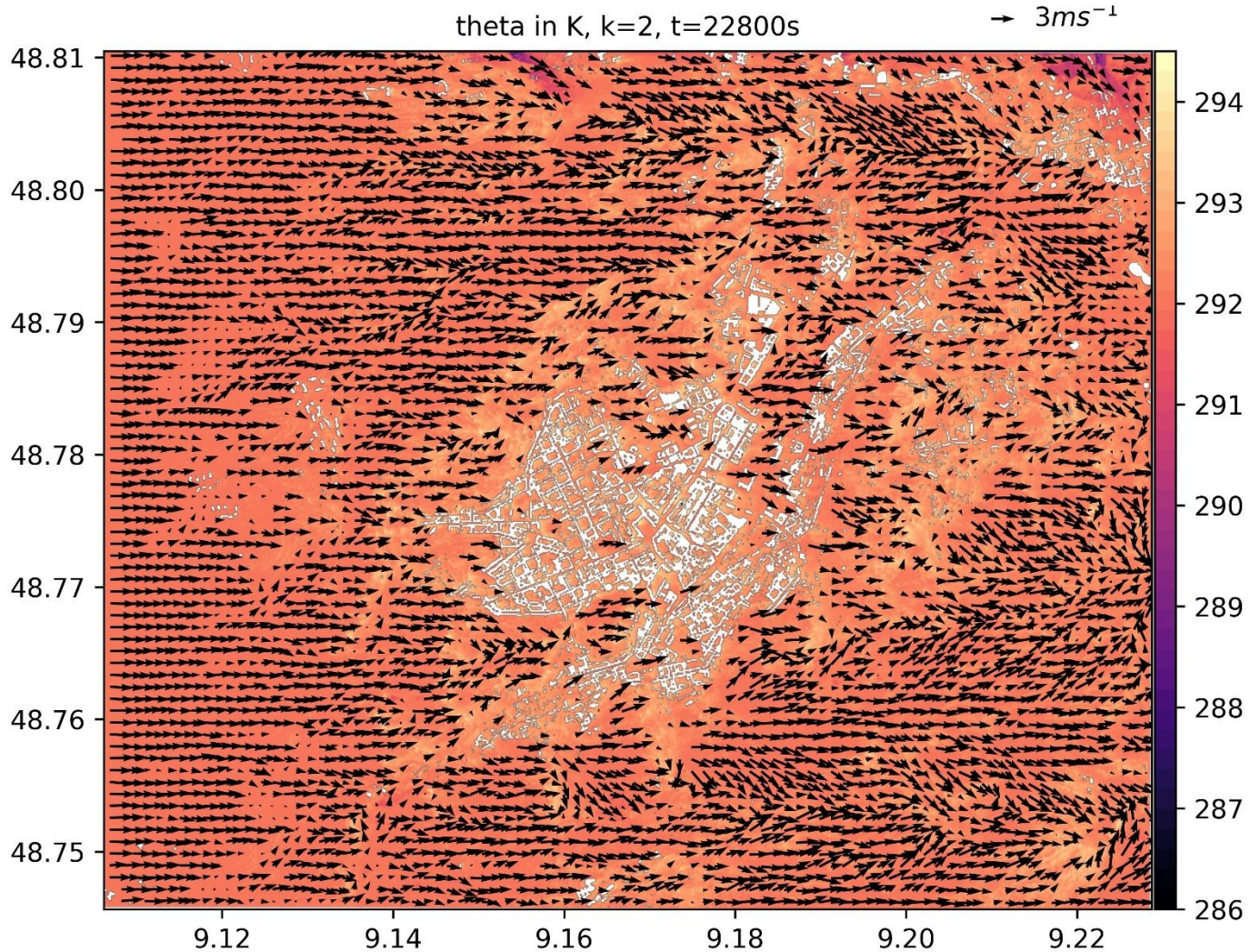


PALM4U: Feldexperiment in Stuttgart



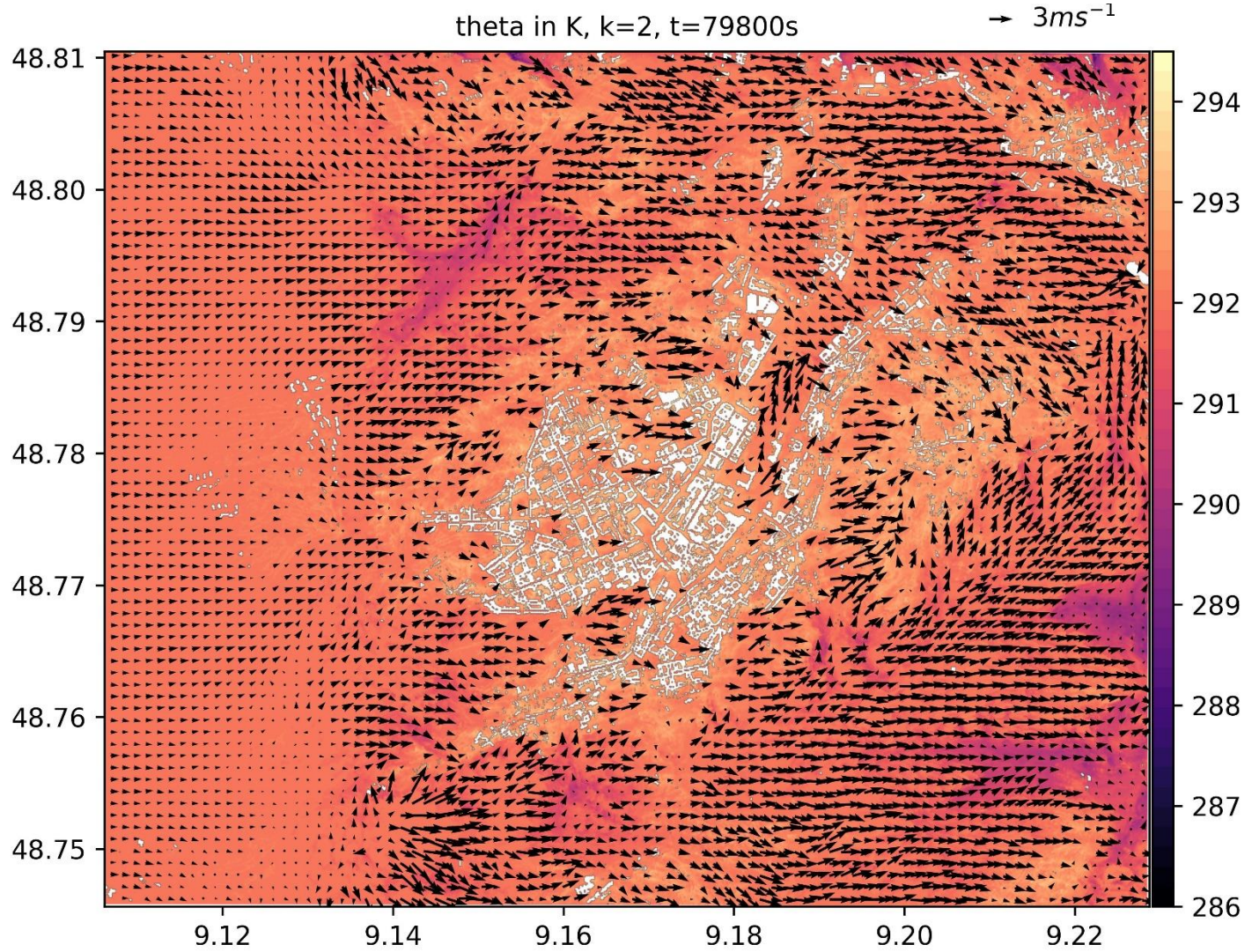
Infrarotkamera

PALM4U: Simulation für Stuttgart

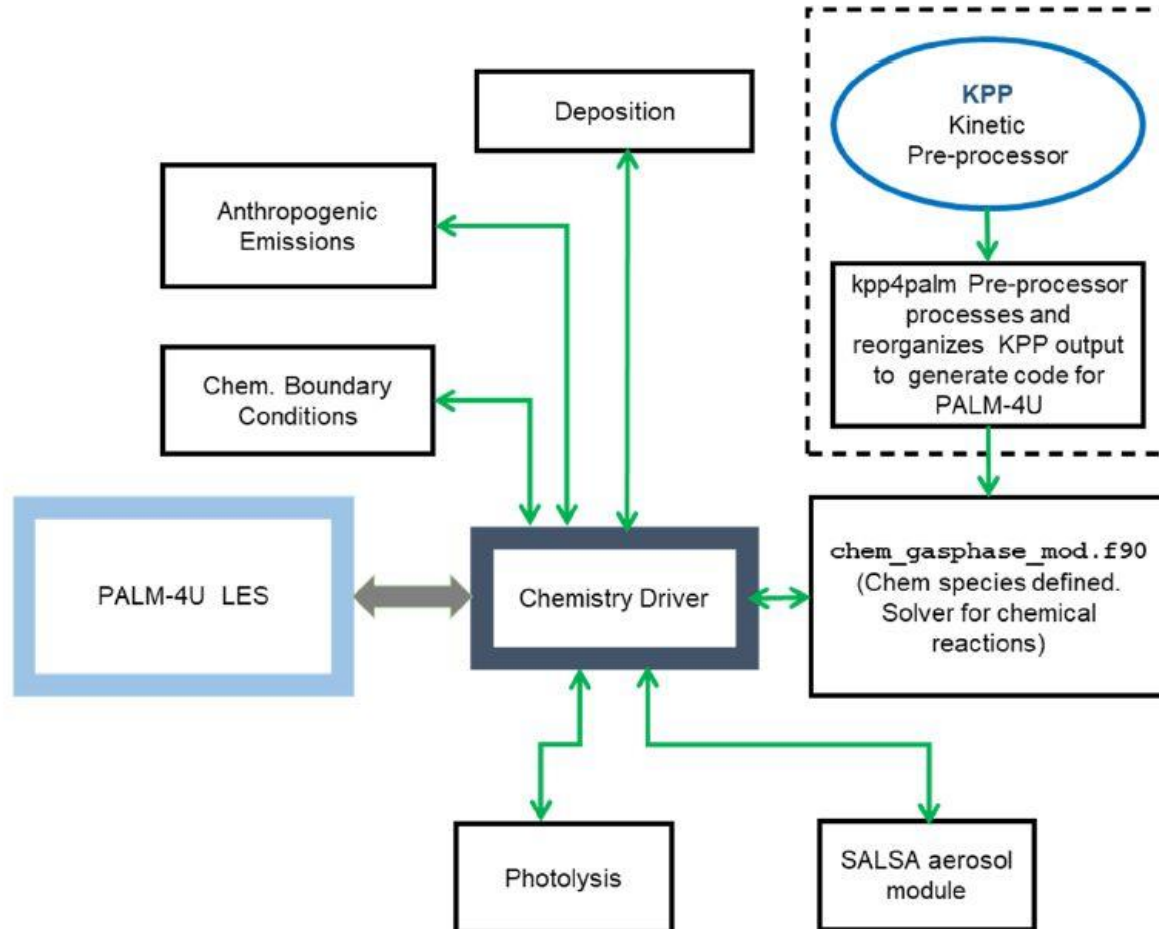


Pot. Temperatur und Wind in 15 m Höhe, morgens

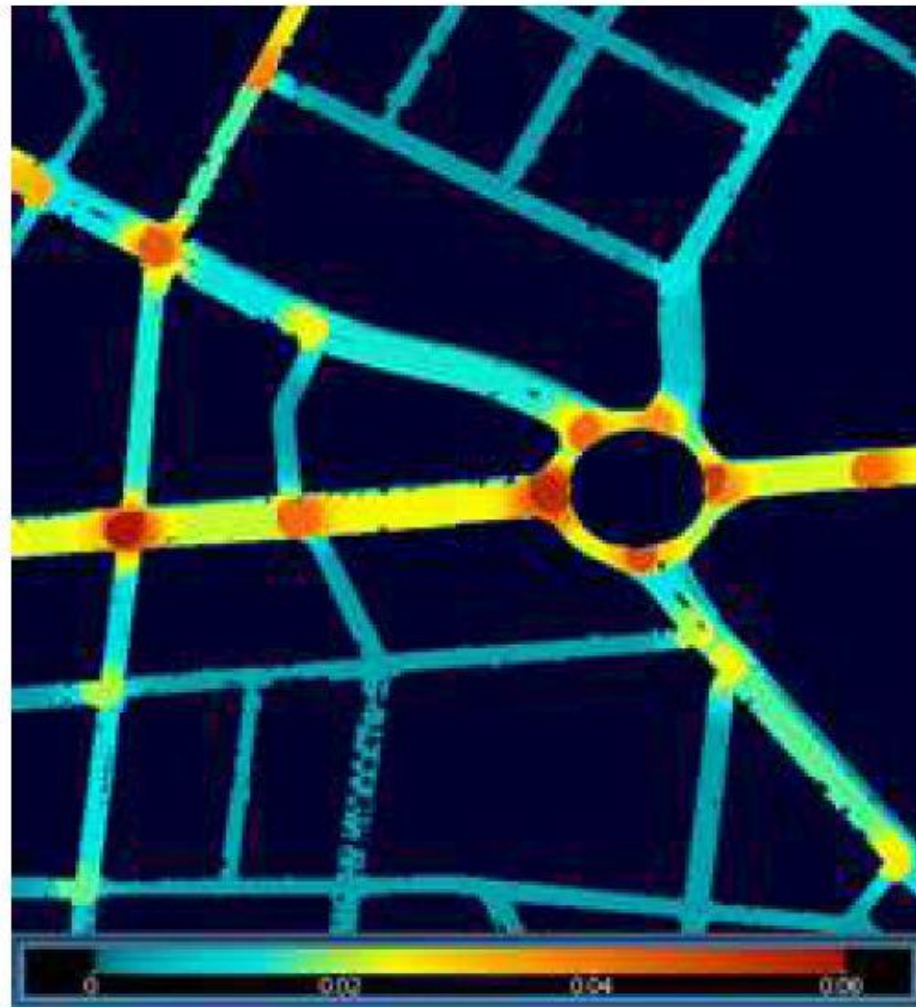
PALM4U: Simulation für Stuttgart



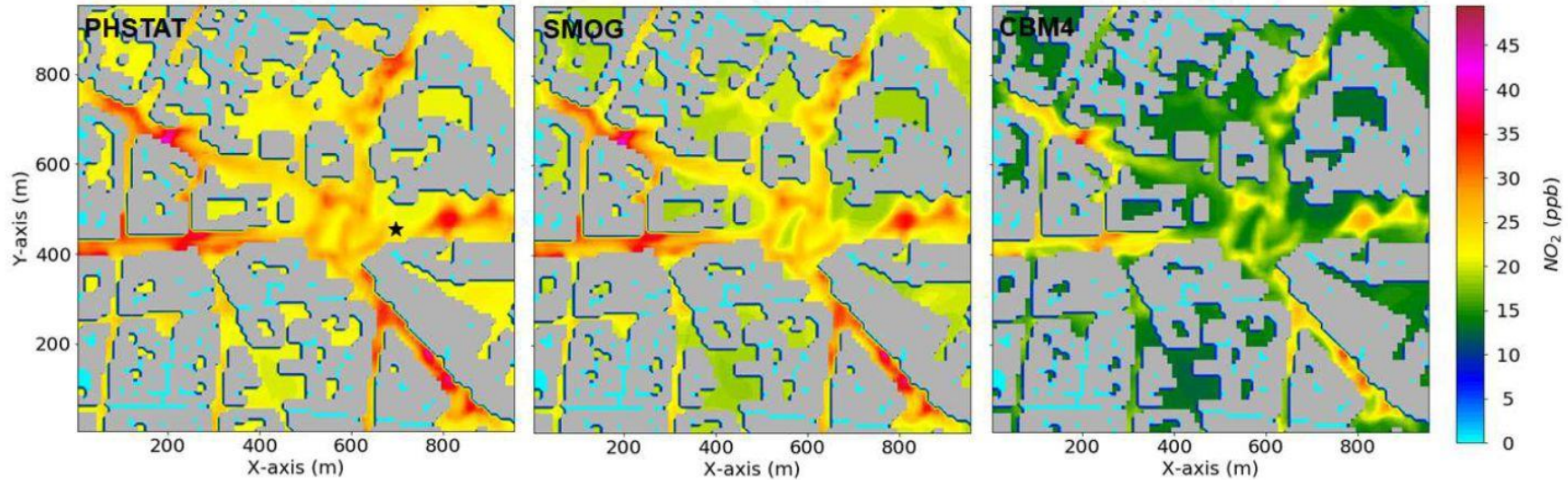
Pot. Temperatur und Wind in 15 m Höhe, abends



Modellschema (Renate Forkel und Basit Khan)



Beispiel: Emissionskataster für NO



PHSTAT: photostationäres Gleichgewicht

SMOG: 13 Komponenten, 12 Reaktionen

CBM4: 32 Komponenten, 81 Reaktionen

Beispiel: modellierte NO₂-Verteilung



Urban Climate Under Change [UC]² – A National Research Programme for Developing a Building-Resolving Atmospheric Model for Entire City Regions

DIETER SCHERER^{1*}, FLORIAN ANTRETTNER², STEFFEN BENDER³, JÖRG CORTEKAR³, STEFAN EMEIS⁴,
UTE FEHRENBACH¹, GÜNTER GROSS⁵, GUIDO HALBIG⁶, JENS HASSE^{7,8}, BJÖRN MARONGA⁵,
SIEGFRIED RAASCH⁵ and KATHARINA SCHERBER¹

¹Institute of Ecology, Chair of Climatology, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany

²Fraunhofer-Institute for Building Physics (IBP), Valley, Germany

³Climate Service Center Germany (GERICS), Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Centre for Materials and Coastal Research, Hamburg, Germany

⁴Institute of Meteorology and Climate Research - Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Garmisch-Partenkirchen, Germany

⁵Institute of Meteorology and Climatology, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Germany

⁶Deutscher Wetterdienst, Essen, Germany

⁷German Institute of Urban Affairs (Difu), Köln, Germany

⁸Research Institute for Water and Waste Management at RWTH Aachen, Aachen, Germany

(Manuscript received February 16, 2018; in revised form January 14, 2019; accepted January 24, 2019)

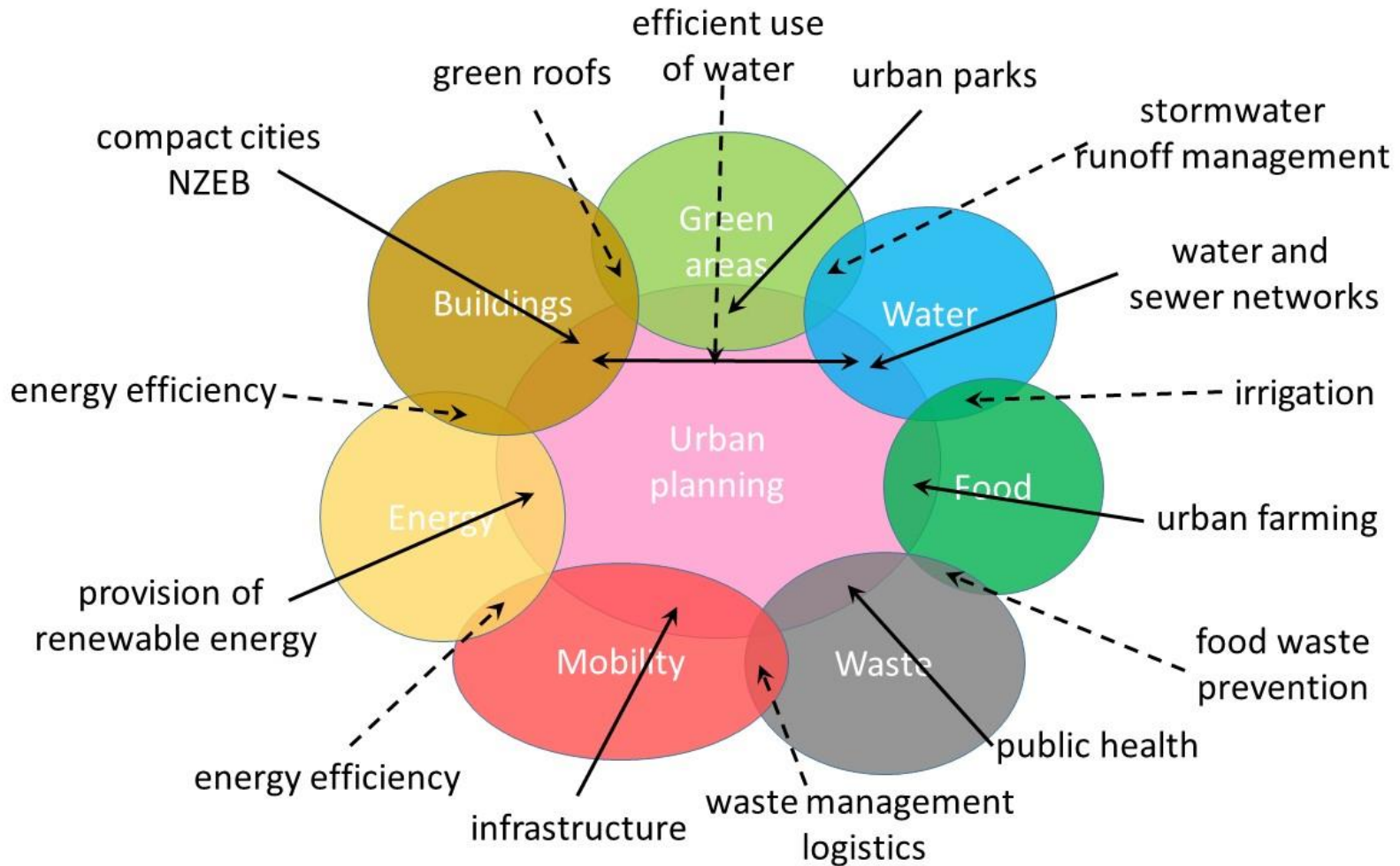
Abstract

Large cities and urban regions are confronted with rising pressure by environmental pollution, impacts of climate change, as well as natural and health hazards. They are characterised by heterogeneous mosaics of urban structures, causing modifications of atmospheric processes on different temporal and spatial scales. Planning authorities need reliable, locally relevant information on urban atmospheric processes, providing fine spatial resolutions in city quarters or street canyons, as well as projections of future climates, specifically downscaled to individual cities. Therefore, building-resolving urban climate models for entire city regions are required as a tool for urban development and planning, air quality control, as well as for design of actions for climate change mitigation and adaptation. To date, building-resolving atmospheric models covering entire large cities are mostly missing. The German research programme “*Urban Climate Under Change*” ([UC]²) aims at developing a new urban climate model, acquiring three-dimensional observational data for model testing and validation, and testing its practicability and usability in collaboration with relevant stakeholders to provide a scientifically sound and practicable instrument to address the above mentioned challenges. This article provides an outline of the collaborative activities of the [UC]² research programme.

Keywords: urban climate, air quality, urban planning, climate change, building-resolving atmospheric model, large eddy simulation, observational data, model validation, applicability tests, data management

aus der Sicht der Planer:

Herausforderungen und Notwendigkeiten für urbane Gebiete



(modified from Satterthwaite, 2008).

Beides zusammen::

Herausforderungen und Notwendigkeiten für urbane Gebiete



Über die Jahrtausende entstandene Ideen prägen unsere heutigen Städte. **Es dominieren:**

- wirtschaftliche Interessen,
- technische Funktionalitäten,
- Wohnbedarf
- Verkehr,
- Prestige und Ästhetik

aber nicht (ausreichend):

- Nachhaltigkeit
- gesundes Lokalklima
- Klimaresilienz

Welche Ideen kann die Klimaforschung beisteuern, damit unsere Bauten und Städte nachhaltiger und klimaresilienter werden?

Solange Gebäude wie der „Fryscraper“ in London gebaut werden ...



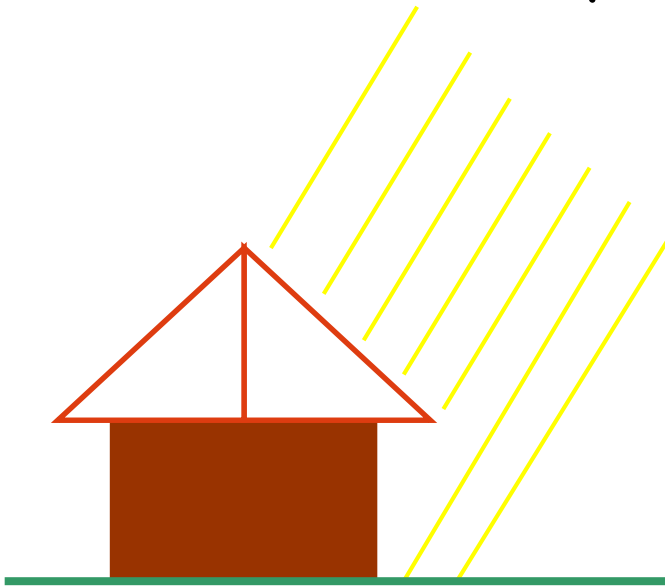
de Boer, J., Fang, Y., Wössner, S., 2017: IBP-Mitteilungen 550. Fraunhofer Institut für Bauphysik

... werden die falschen Prioritäten gesetzt

Reflektion und Absorption von Sonnenstrahlen

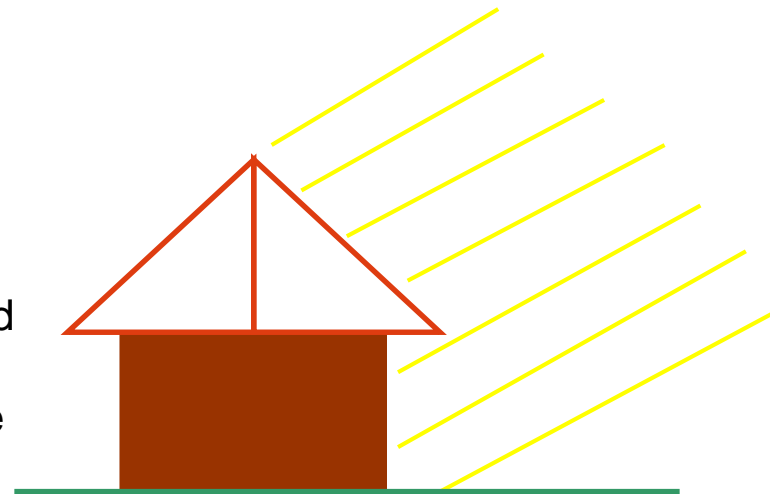
Sommer

Die Sonnenstrahlen werden vom **hellen Dach** reflektiert und das Haus wärmt sich nicht auf. Das **überstehende Dach** verhindert, dass sich die Hauswand aufwärmt. Der Kühlungsbedarf ist gering.



Winter

Die Sonnenstrahlen werden teilweise vom hellen Dach reflektiert. Die flach stehende Sonne wärmt aber die **dunkle Hauswand** auf bzw. scheint **durch die Fenster** ins Innere. So wird der Heizbedarf verringert. Eine Alternative zu dunklen Farben ist eine transparente Wärmedämmung.



Weißer Dächer zusammen mit dunklen Seitenwänden



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

**weißes reflektierendes
Dach**
(schützt im Sommer)

**dunkle absorbierende
Wände**
(wärmt im Winter)

**ideale Kombination für
höhere Breiten**

**aber noch unüblich und
durch Bauordnungen oft
nicht zugelassen**

weiße griechische Städte ...



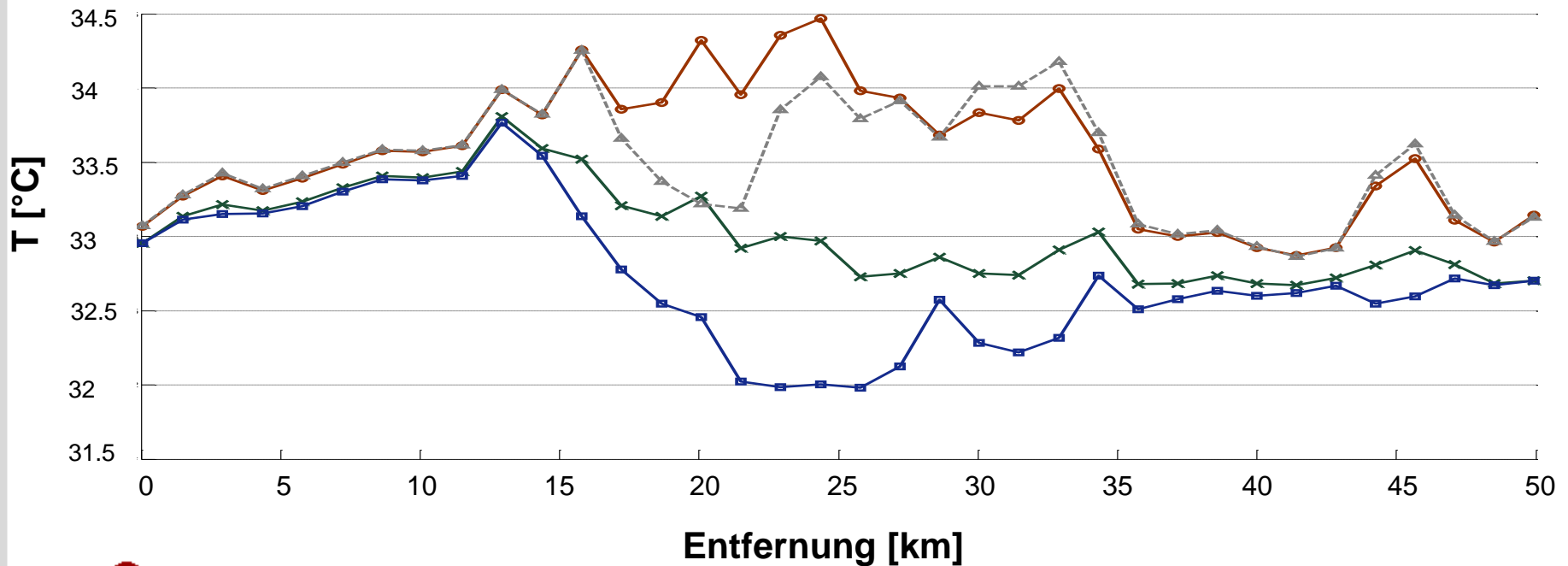
Foto: Mstyslav Chernov, Quelle: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c1/Oia_%28panoramic_cityscape%29._Santorini_island_%28Thira%29%2C_Greece.jpg

große Parks in Städten

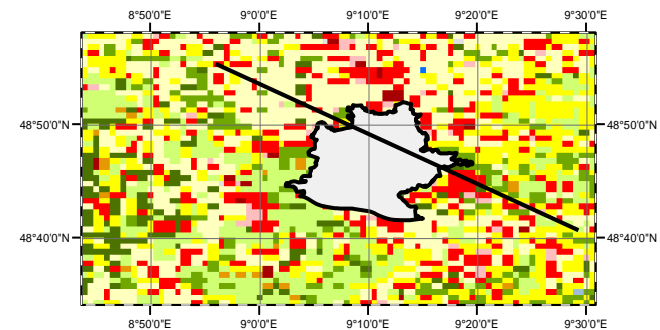


Photo: 2011 Stefan Emeis

numerische Modellstudie: Querschnitt durch Stuttgart von NW nach SE mittags

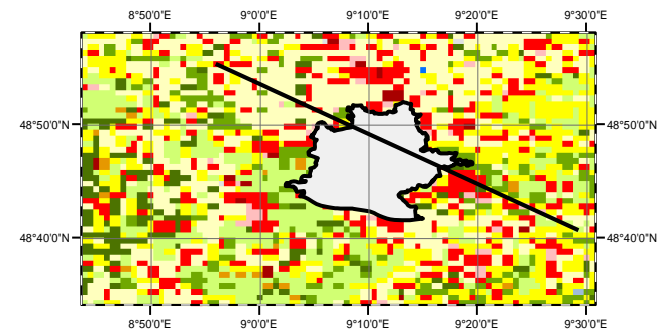
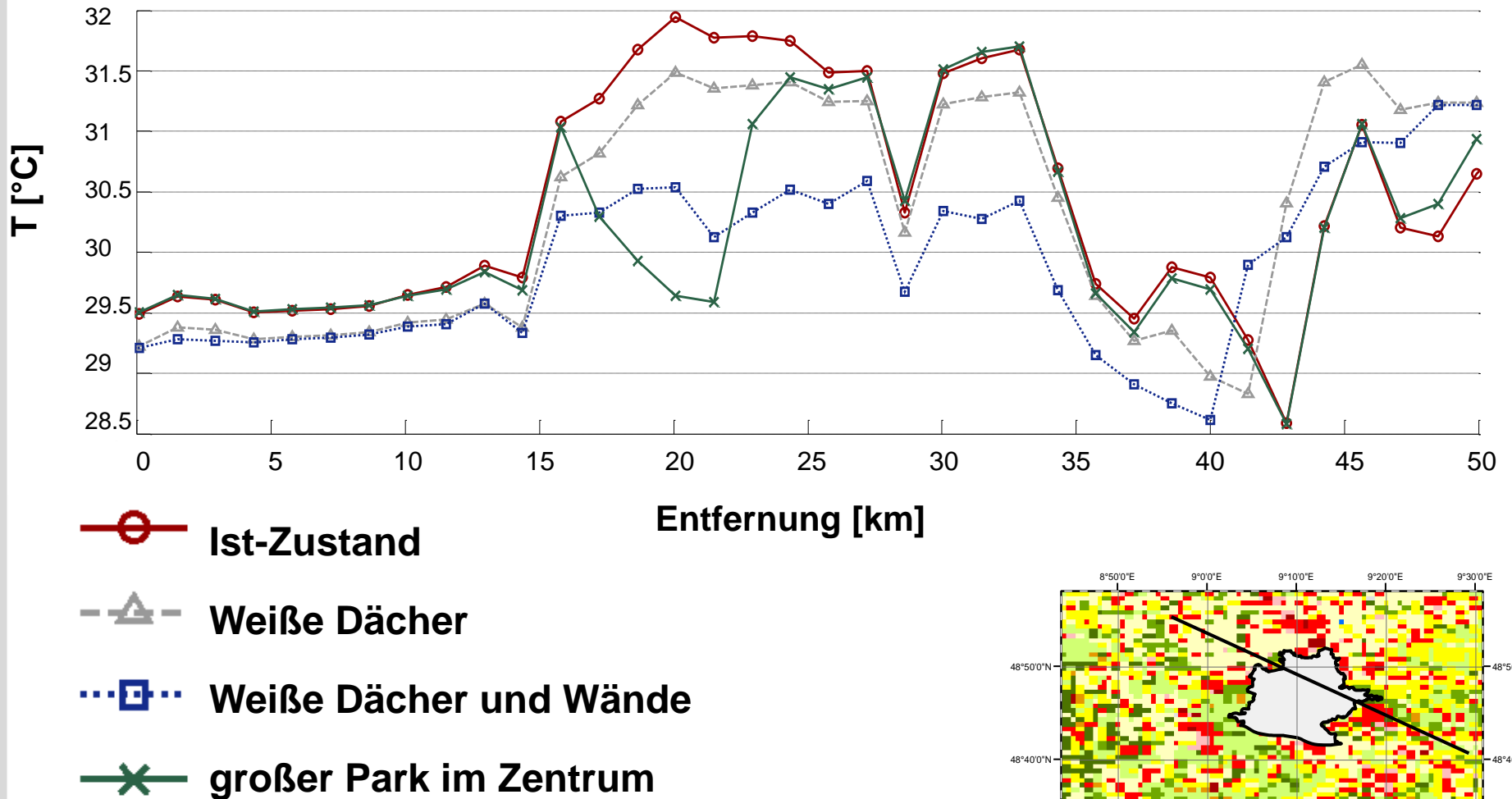


- Ist-Zustand
- △- Weiße Dächer
- Weiße Dächer und Wände
- ×— großer Park im Zentrum



Fallmann, J., S. Emeis, P. Suppan, 2013: Mitigation of urban heat stress – a modelling case study for the area of Stuttgart. *Die Erde*, 144, 202-216.
DOI: [10.12854/erde-144-15](https://doi.org/10.12854/erde-144-15)

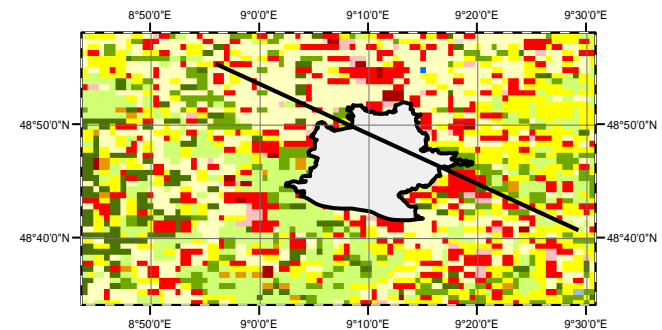
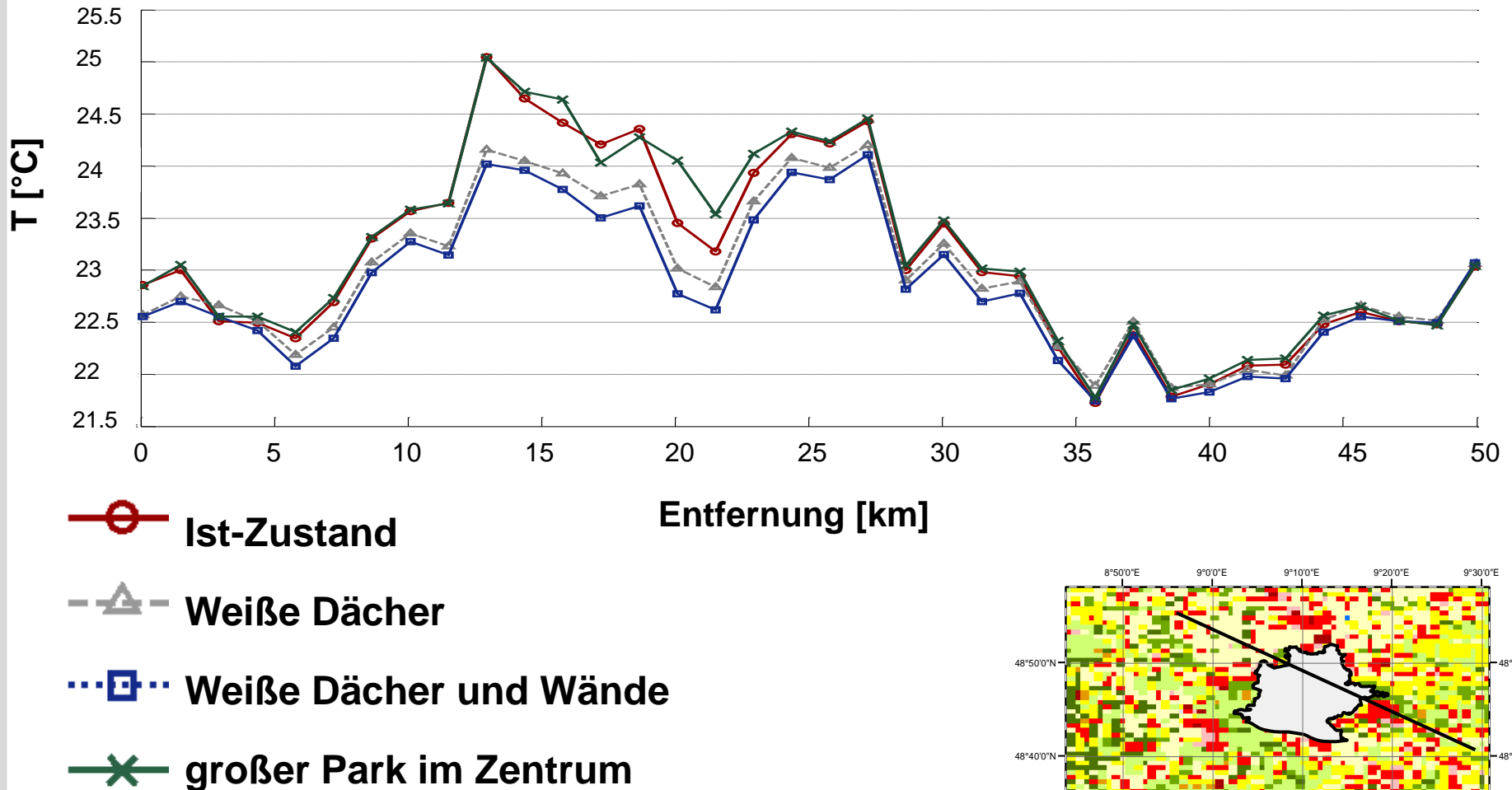
numerische Modellstudie: Querschnitt durch Stuttgart von NW nach SE abends



Fallmann, J., S. Emeis, P. Suppan, 2013: Mitigation of urban heat stress – a modelling case study for the area of Stuttgart. *Die Erde*, 144, 202-216.
DOI: [10.12854/erde-144-15](https://doi.org/10.12854/erde-144-15)

numerische Modellstudie: Querschnitt durch Stuttgart von NW nach SE

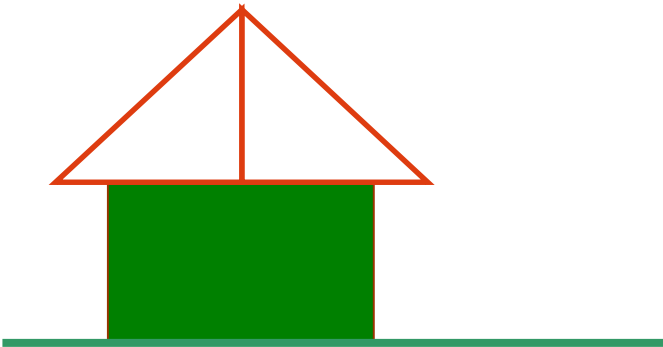
nachts



Fallmann, J., S. Emeis, P. Suppan, 2013: Mitigation of urban heat stress – a modelling case study for the area of Stuttgart. *Die Erde*, 144, 202-216.
DOI: [10.12854/erde-144-15](https://doi.org/10.12854/erde-144-15)

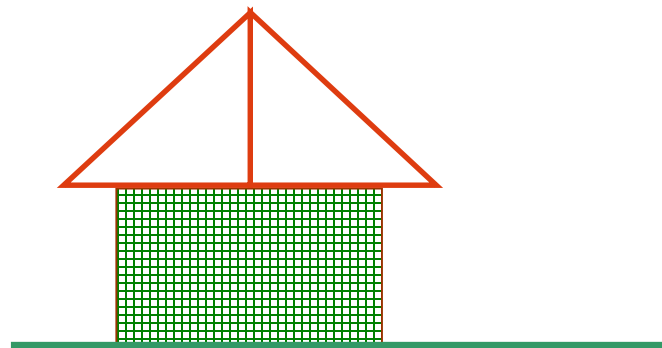
Nordwest-, Nord- und Nordostseiten

Die optimale Begrünung geschieht durch **immergrüne Pflanzen** wie beispielsweise Efeu, die ganzjährig Blätter tragen und somit zur Isolierung des Hauses beitragen. Das kühlt im Sommer und wärmt im Winter und sie schützt im Winter vor Wind und Regen. **Zudem filtert sie Luftschadstoffe heraus.**



Südost-, Süd- und Südwestseiten

Die optimale Begrünung geschieht durch **Pflanzen wie beispielsweise Wein, die nur im Sommer Blätter tragen** und somit zur Kühlung im Sommer beitragen. Im Winter kann das Sonnenlicht dagegen durchdringen und das Haus wärmen.



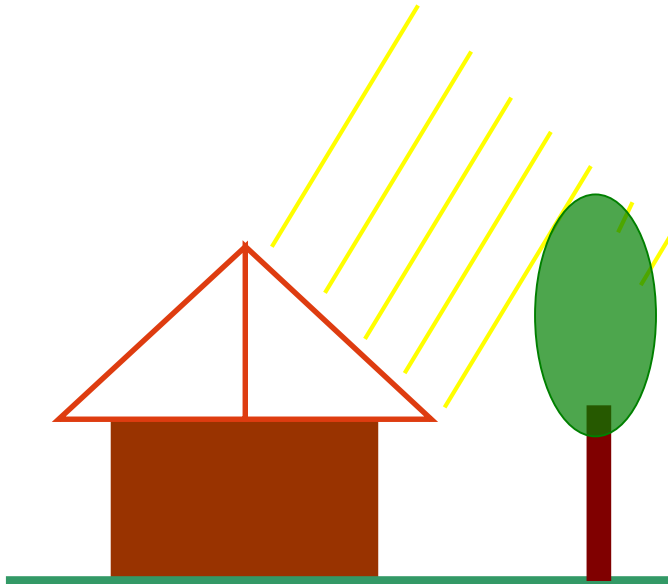
Fassadenbegrünung (Beispiel Auckland)



Fassadenbegrünung (Beispiel 'Bosco Verticale', Mailand)



Source: www.stefano-boeri-architetti.net

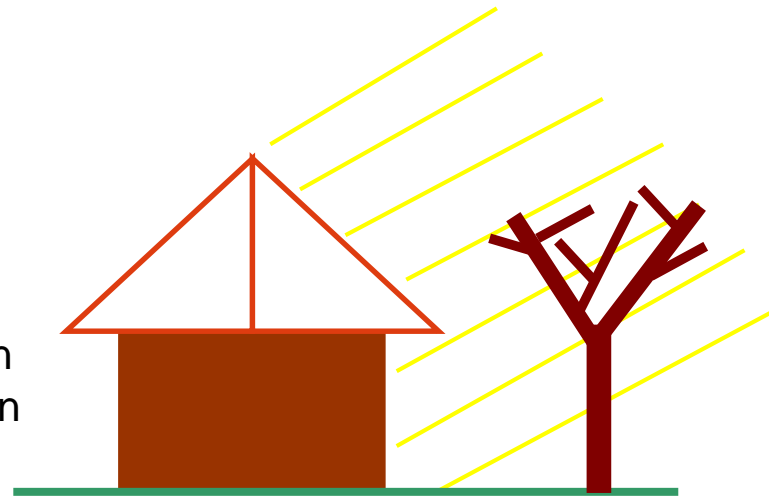


Sommer

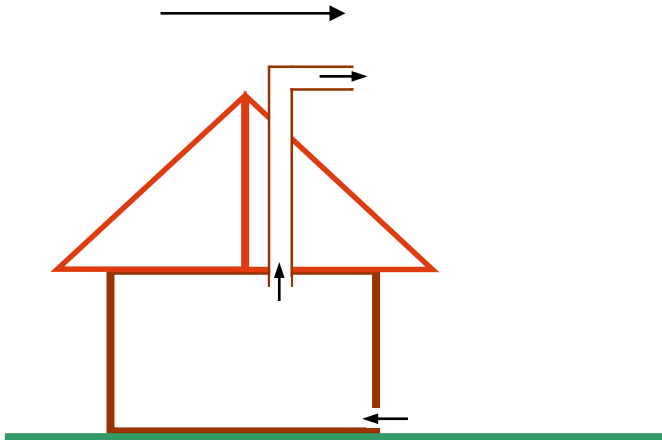
Laubbäume bieten Schatten und tragen zur Kühlung von Räumen auf der Südseite bei, beispielsweise von Büroräumen.

Winter

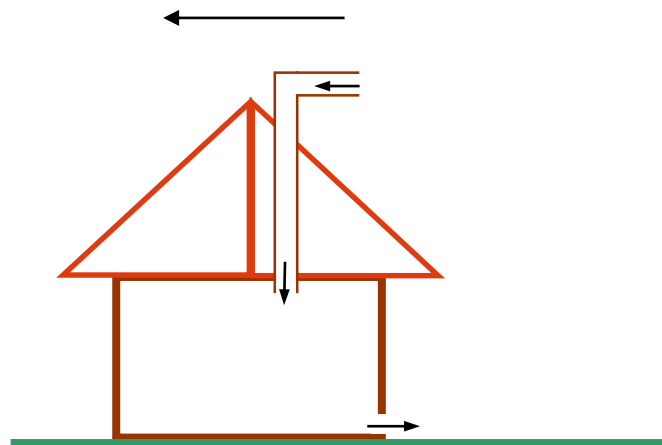
Laubbäume und Sträucher auf der Südseite sind im Winter weitgehend lichtdurchlässig und erlauben die Aufwärmung von Häusern durch die flach einfallende Sonne.



Natürliche Belüftung (Windturm)



Seit Jahrtausenden nutzt der Mensch den Wind zur natürlichen Belüftung von Gebäuden in heißen Klimaten. Dabei können regelmäßige auftretende Windsysteme wie Land-Seewind-Systeme oder Berg-Talwind-Systeme gut genutzt werden. Der Auslass über Dachniveau muss drehbar gestaltet werden und in die windabgewandte Richtung zeigen. Durch den darüberstreichenden Wind entsteht ein Unterdruck, **der die warme Luft aus dem Gebäude saugt.**

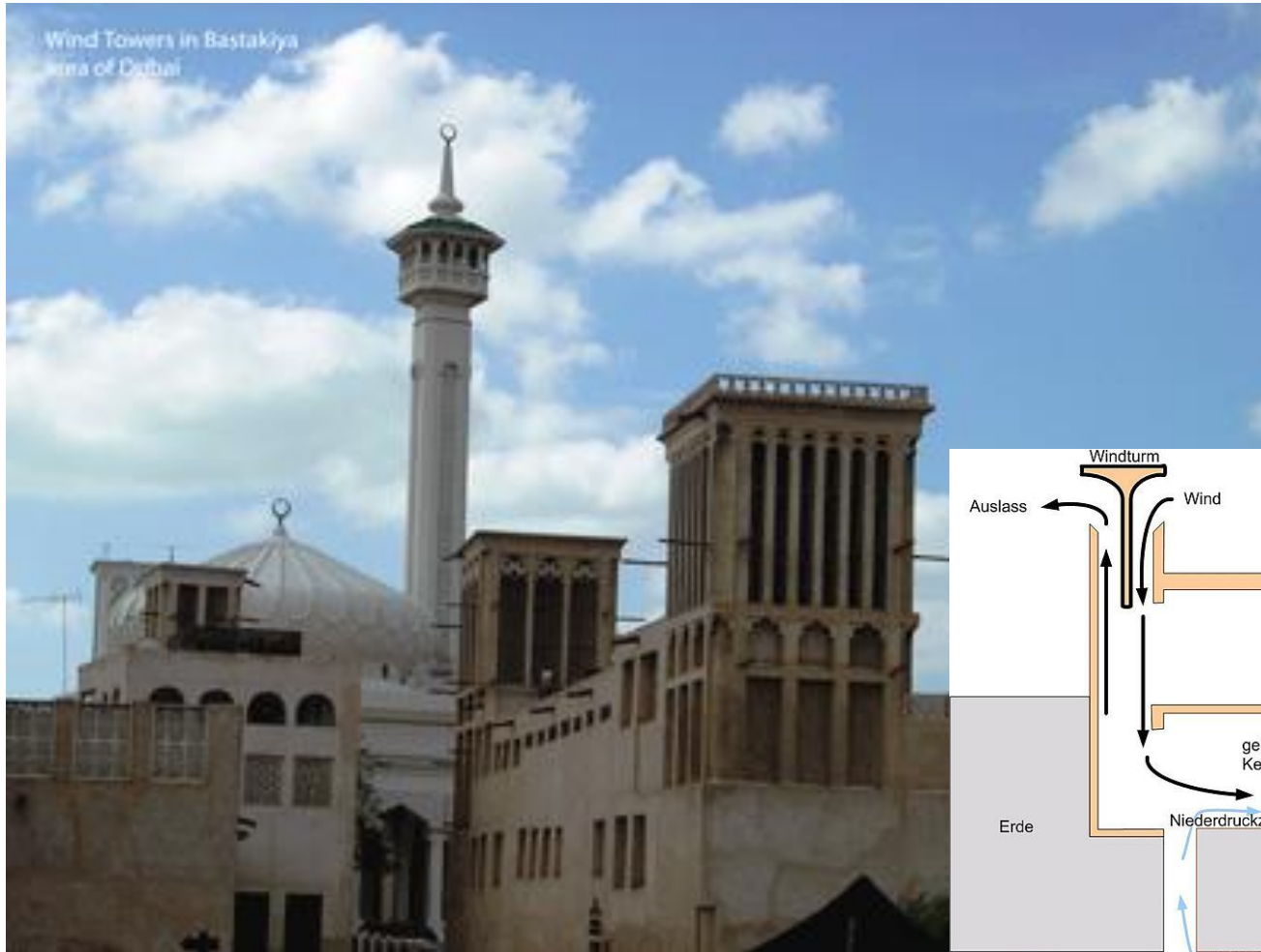


Der Kühleffekt kann verstärkt werden, wenn die **angesaugte Luft unterirdisch zugeführt wird** und dabei eventuell auch noch über Wasserflächen geführt wird (siehe z.B.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Windturm>).

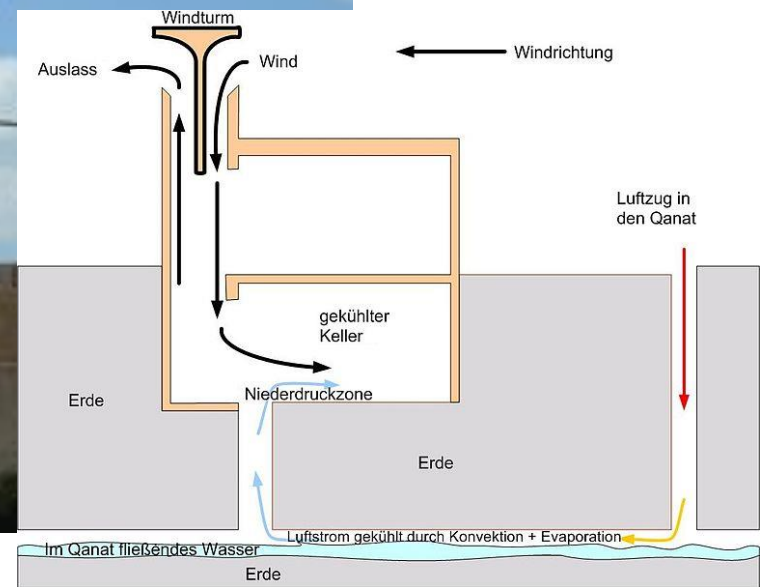
Bei manchen Windtürmen befindet sich der Einlass ebenfalls über Dachniveau auf der windzugewandten Seite. **Moderne Windtürme** wie in Masdar City ventilieren so die Städte und sorgen für kühlere Luft in Bodennähe. (siehe z.B.: <http://www.masdarcity.ae/en/>)

Wüstenstädte ... - Belüftung durch Windtürme (badgir,)

بادگیر



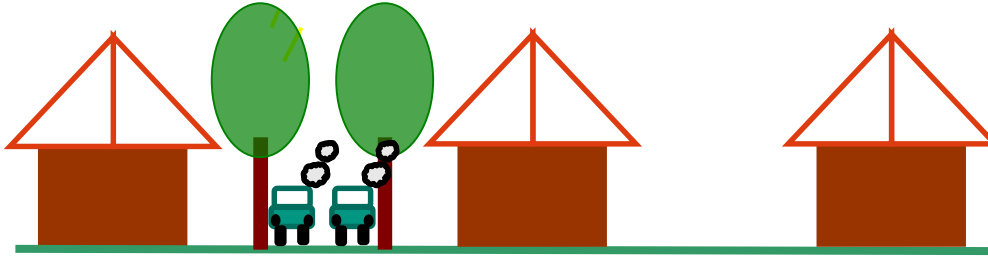
http://www.thedukeofdubai.com/images/gallery/8KARBcLJyC4s_windtower1.gif



<https://de.wikipedia.org/wiki/B%4%81dgir>

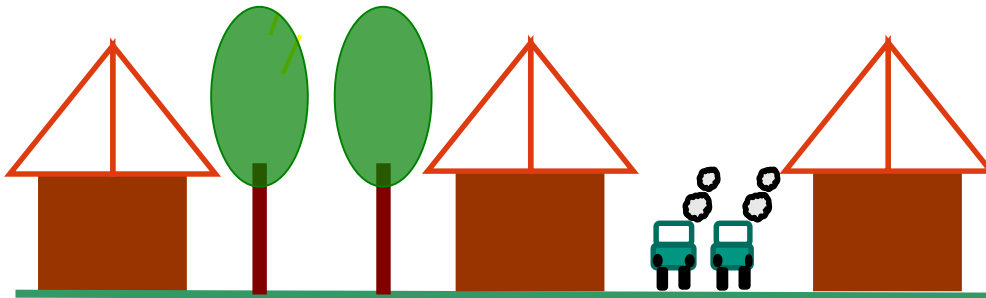
Unterschiedlicher Einfluss von Straßenbäumen

Städtisches Grün beeinflusst das Stadtklima prinzipiell günstig.
Allerdings sollte man verschiedene Fälle unterscheiden.



Straßenbäume in Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen

können sich durchaus **negativ** auswirken, da sie den Abzug und die vertikale Vermischung der Autoabgase behindern.



Straßenbäume in Straßen mit geringem Verkehrsaufkommen

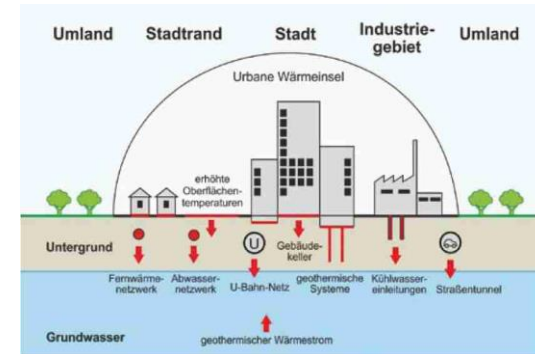
können sich dagegen **positiv** auswirken, da sie Schadstoffe aus der Umgebung herausfiltern und in der StraÙe für ein gutes Klima sorgen.

typische Platanenallee in vielen Städten – hier: Köln im Winter kahl, im Sommer Abgase darunter gefangen



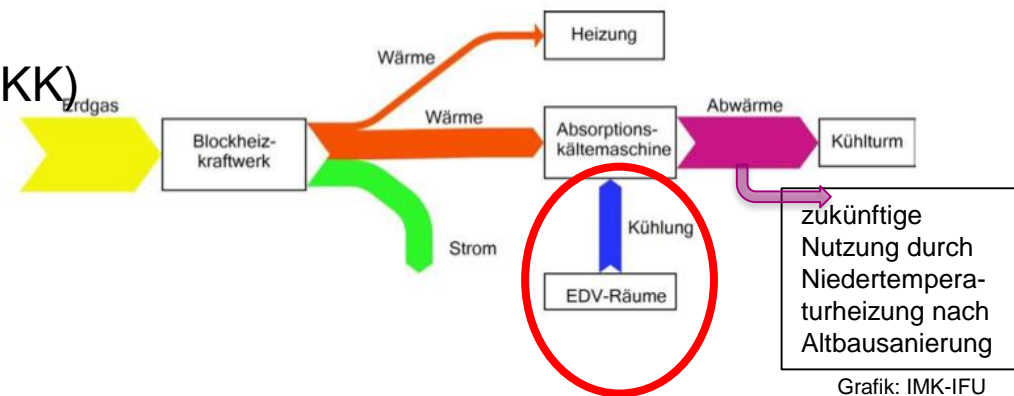
Weitere Ideen, die Städte nachhaltiger machen könnten

- **Grundwasserwärmepumpen** (kühlt gleichzeitig die Wärmeinsel im Grundwasser (Philipp Blum, AGW, KIT)



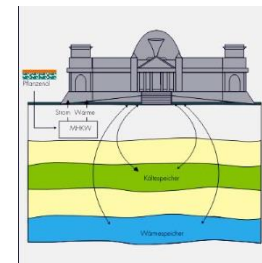
<https://www.agw.kit.edu/downloads/Ingenieurgeologie/>
www.klima-umwelt.kit.edu_downloads_KIT_Newsletter_6-13.pdf

- **IT-Abwärme** nutzen Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)



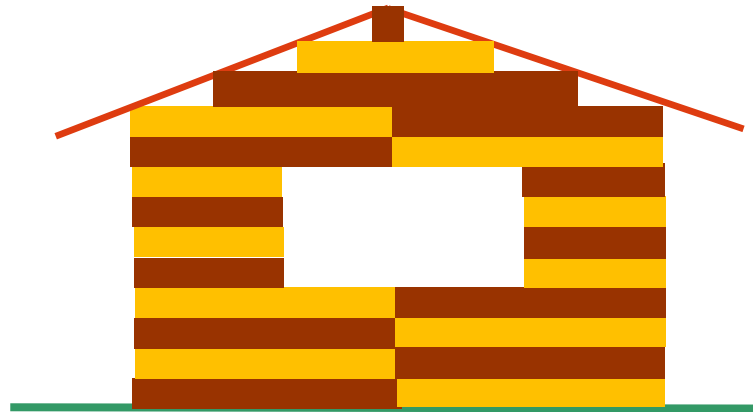
Grafik: IMK-IFU

- **Gebäudewärme** (im Sommer → Erdspeicher, im Winter ← Erdspeicher, Beispiel Reichstagsgebäude Berlin)



<https://www.scinexx.de/dossierartikel/nasser-waerme-tresor/>

Holz vs. Beton



Holz

besser als Beton

- weniger Energie und CO₂-Emissionen während der Herstellung und des Baus
- entfernt CO₂ für Jahrhunderte aus dem atmosphärischen Kreislauf
- Feuersicherheit heutzutage kein Problem

Weitere Punkte

die interdisziplinär entwickelt werden sollten:

Stadtplanung

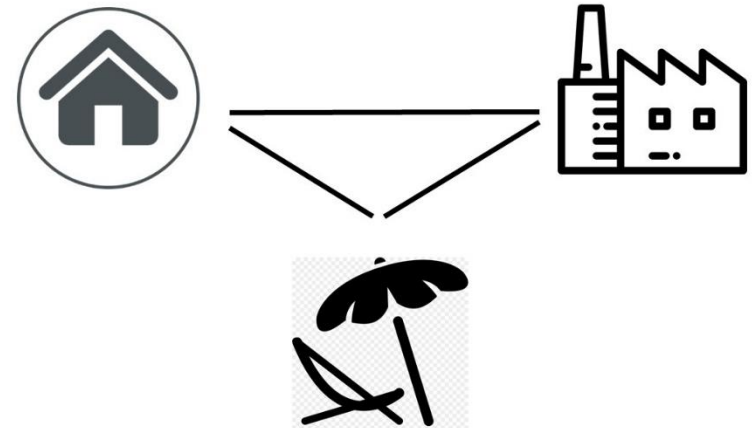
Energieversorgung

Frischluftschneisen

Reduktion der Zersiedelung

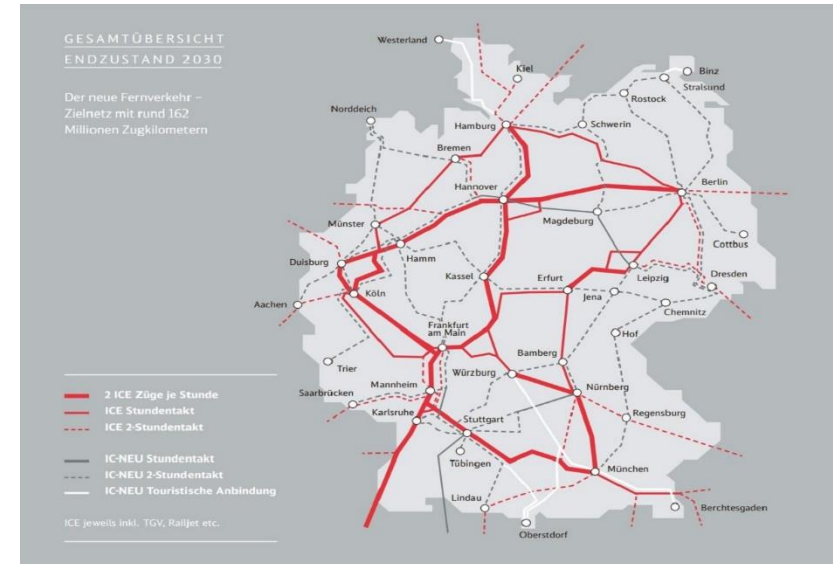
**Abkehr von strikter funktionaler
Trennung (von „Athen“ zu „Leipzig“)**

Ausbau und Privilegierung des ÖPNV



Infrastrukturplanung

Hochgeschwindigkeitsbahnverbindungen statt Kurzstreckenflugverbindungen



<https://www.deutschebahn.com/>

Urbane Wohn- und Industriegebiete aus tiefliegenden Küstengebieten entfernen



<https://utopia.de/klimawandel-meeresspiegel-staedte-150634/>

Aber:

Achtung!

nicht-lineare Wechselwirkungen zwischen einzelnen Maßnahmen können zu Problemen führen

daher:

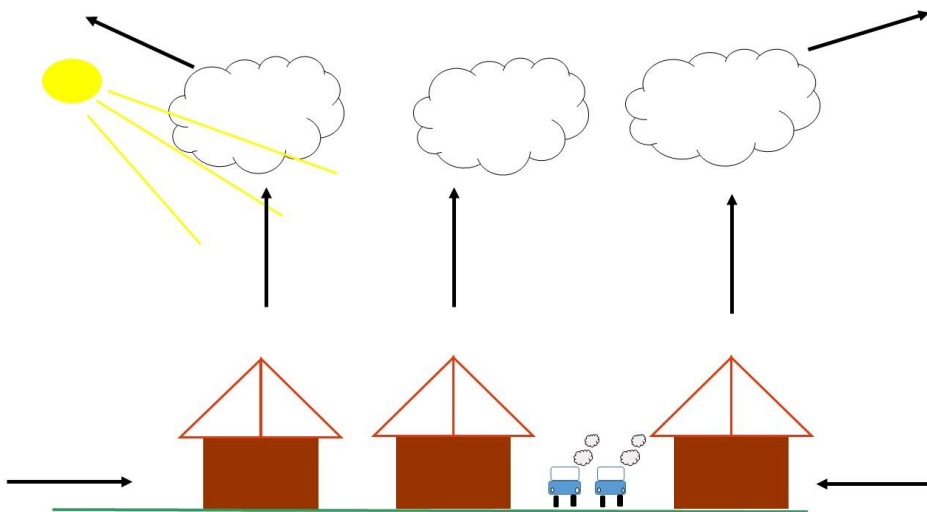
ein systemischer holistischer Ansatz ist unabdingbar

PALM4U ist ein erster Schritt dahin

z.B. verringerte Wärmeinsel vs. Durchmischung ☠

daher:

Abschaffung aller Verbrennungsvorgänge in Städten notwendig



Fallmann, J., R. Forkel, S. Emeis, 2016: Secondary effects of urban heat island mitigation measures on air quality. *Atmos. Environ.*, 125, 199-211.

DOI:[10.1016/j.atmosenv.2015.10.094](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.094)

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

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

Parsaee, M; M. M. Joybari; P. A. Mirzaei; F. Haghightat. 2019. Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental Technology & Innovation* 14, 100341.

Alle drei Arbeiten zeigen, dass die Erkenntnisse der Klimaforschung bisher zu wenig Eingang in die Stadtplanung und die Architektur gefunden haben.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Developments in the Built Environment

journal homepage: www.editorialmanager.com/dibe/default.aspx



How to bring urban and global climate studies together with urban planning and architecture?



Joachim Fallmann^{a,*}, Stefan Emeis^b

^a *Institute of Atmospheric Physic, University of Mainz, Mainz, Germany*

^b *Karlsruhe Institute of Technology, Garmisch-Partenkirchen, Germany*

ARTICLE INFO

Keywords:

Urban climate
Climate change
Urban planning
Building design
Adaptation
Meteorological perspective

ABSTRACT

Climate friendly urban planning plays a key role in climate change mitigation and adaptation and allows for sustainable development of living conditions for future generations. It has been long understood that measures such as urban greening, planted facades and roofs or highly reflecting building materials are able to dampen excess heat and help reducing energetic costs. Transferring scientific and often theoretical knowledge into actual urban planning however necessarily involves an interdisciplinary dialogue. This paper intends to provide a review of existing literature from a meteorological perspective in order to answer the question how results from urban climate studies can be linked to architectural design of future urban areas. Results from state of the art research are evaluated and critically addressed, hence providing a catalogue for urban planners and stakeholders which should serve as basis for a re-evaluation of the term 'smart city'.

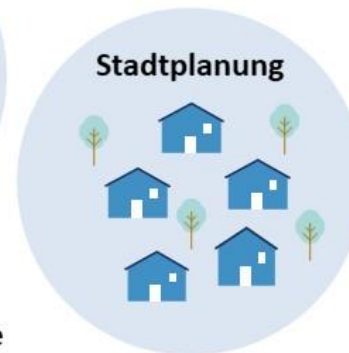
Ergebnisse des Reviews – Ranking aus meteorologischer Perspektive



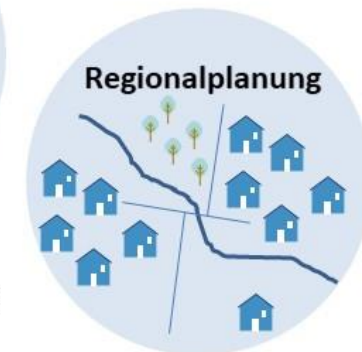
- (1) Oberflächen
- (2) Passive: Kühlung
→ Orientierung
- (3) Passiv: Heizen
→ Material
- (4) Gebäudematerial
→ CO₂, Recycling
- (5) Passiv:
→ Windkühlung
- (6) Dachform



- (1) Grün am Gebäude
- (2) **Stadtgrün**
- (3) Wasserflächen
- (4) Urban Gardening



- (1) Energieversorgung
- (2) Frischluft
- (3) **Verdichtung**
- (4) Öffentlicher Nahverkehr



- (1) Verkehr
- (2) **Klimatische Extrem-Events**

Fallmann, J. and Emeis, S., 2020. How to Bring Urban and Global Climate Studies together with Urban Planning and Architecture?. *Developments in the Built Environment*, p.100023.



**Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit**

