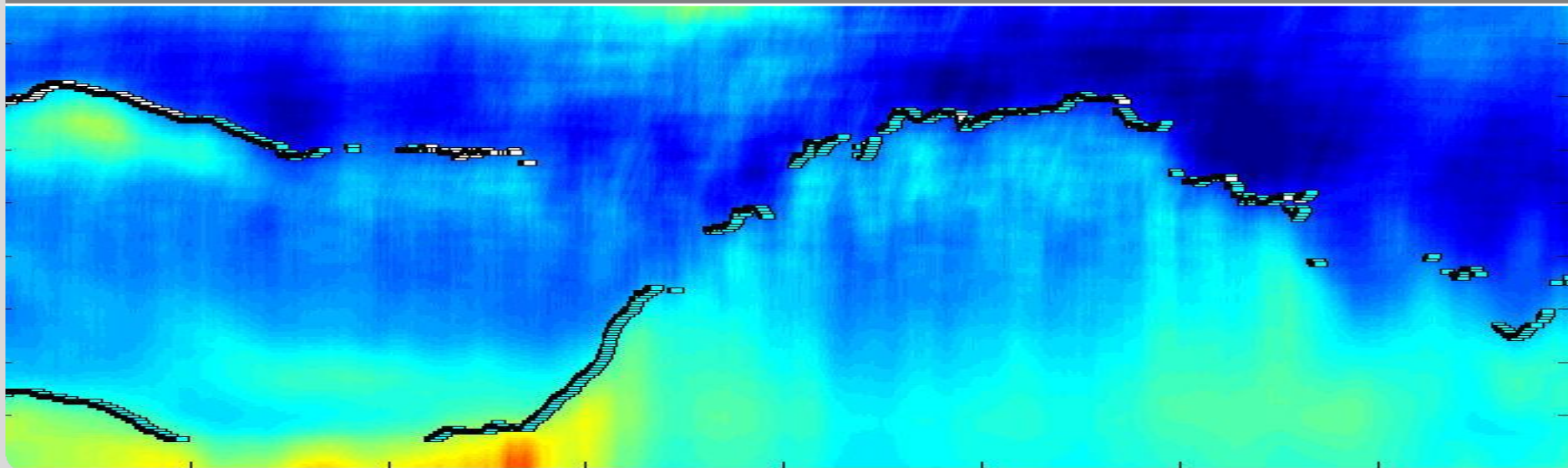


# Überschwemmungen, Hitzewellen und sonstige Wetterextreme - Was erwartet uns? Wo und wie können wir in Zukunft siedeln?

Stefan Emeis  
stefan.emeis@kit.edu

INSTITUTE OF METEOROLOGY AND CLIMATE RESEARCH, Atmospheric Environmental Research



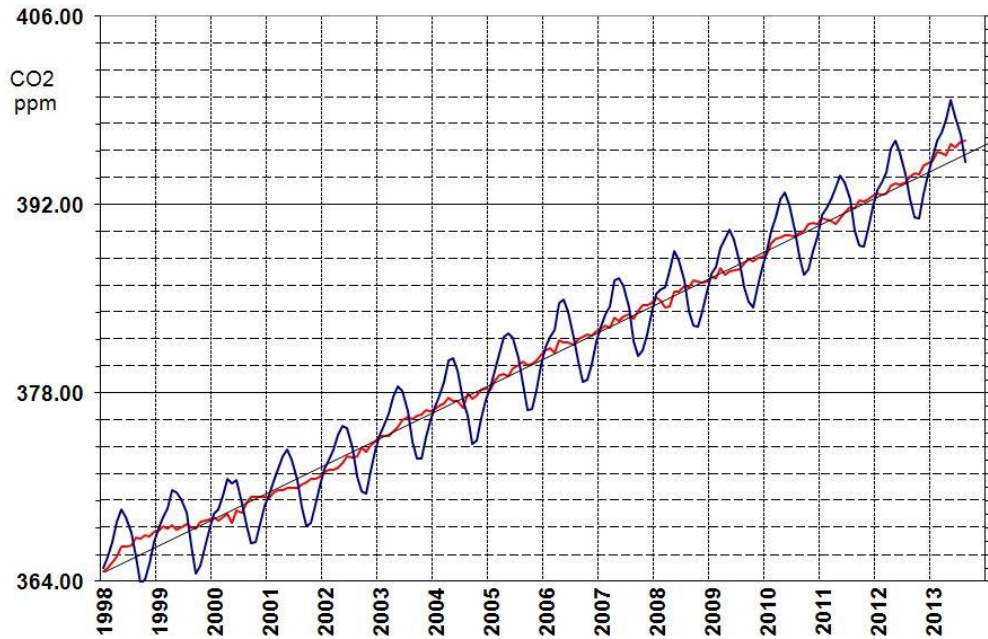
- **Globale Klimaänderung**
- **Klimaprojektionen für Bayern**
- **Überschwemmungen**
- **Überwärmung von Städten**

- **Globale Klimaänderung**
- Klimaprojektionen für Bayern
- Überschwemmungen
- Überwärmung von Städten

# Klimaänderung global

## Treibhausgaskonzentrationen

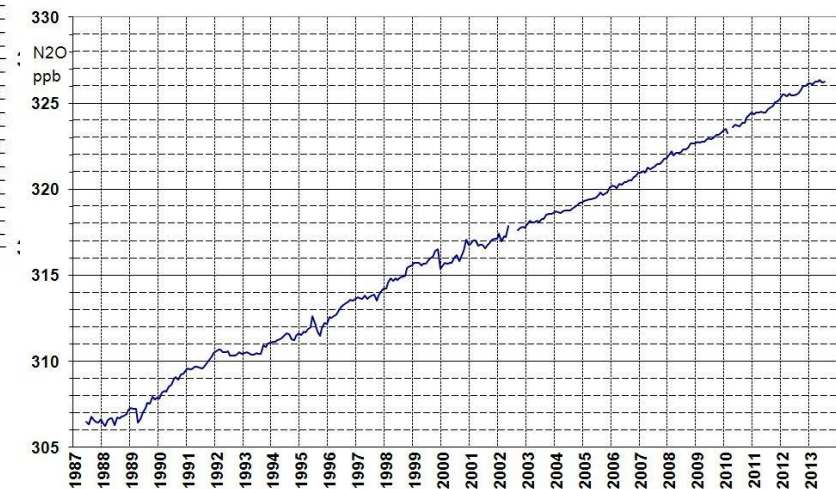
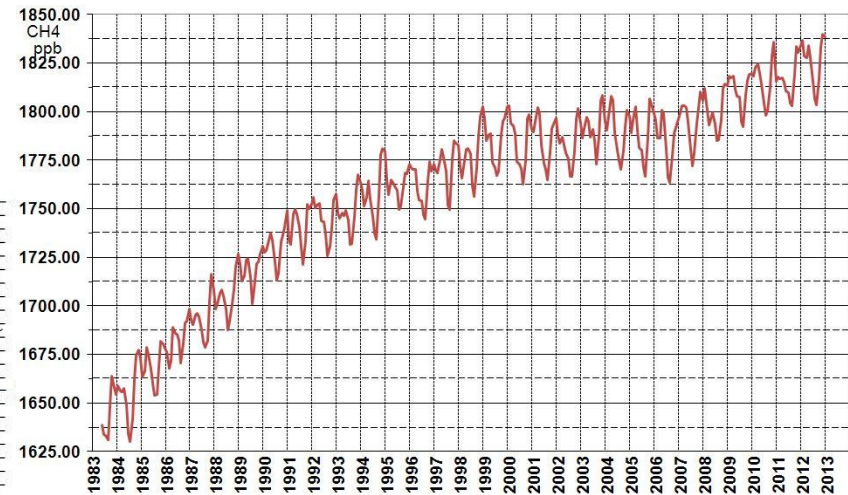
### Daten von Mauna Loa



### Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) [74%]

Eigene Grafiken, Datenquellen: NOAA ESRL Data, <ftp://ftp.cmdl.noaa.gov>

### Methan (CH<sub>4</sub>) [14 %]



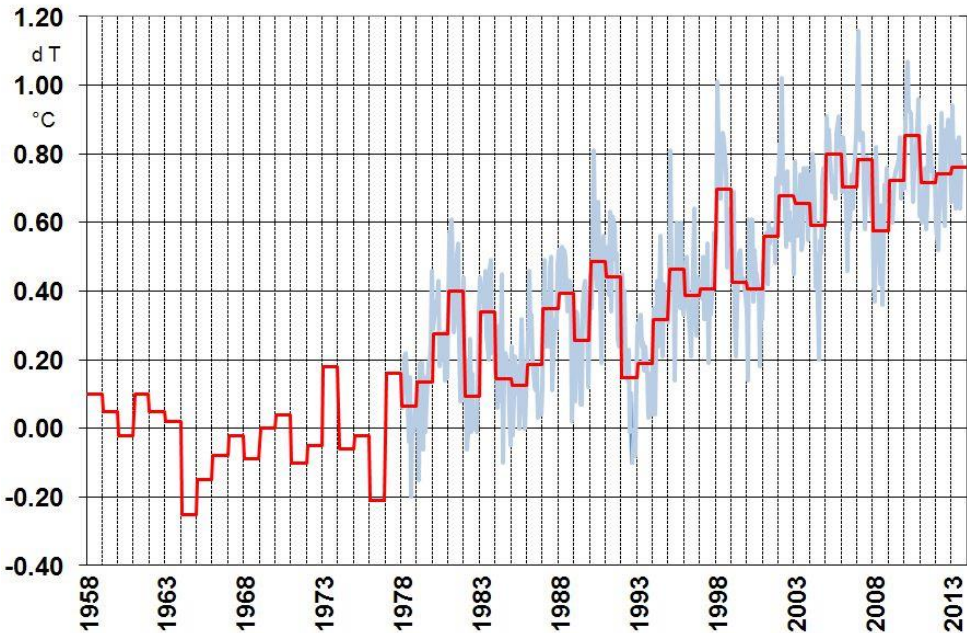
### Lachgas (N<sub>2</sub>O) [8 %]



# Klimaänderung global

## Auswirkungen

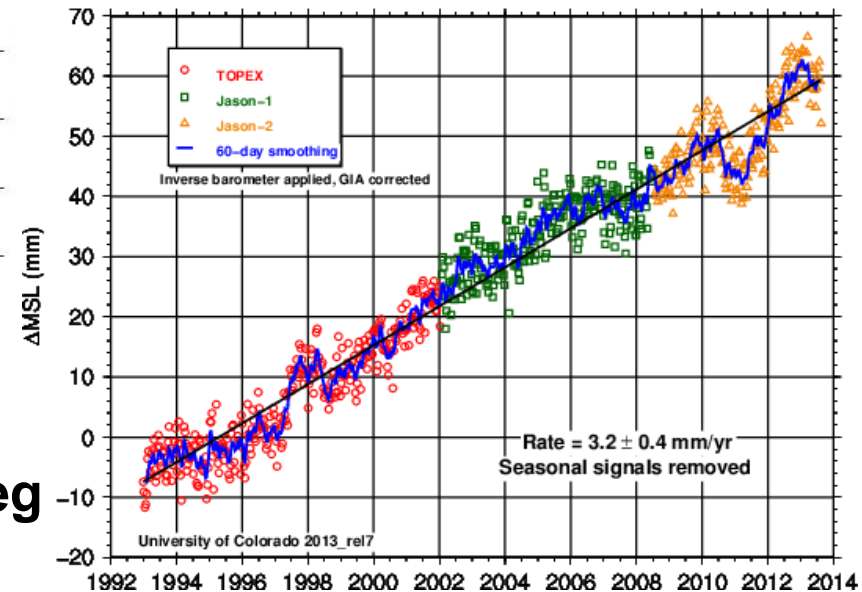
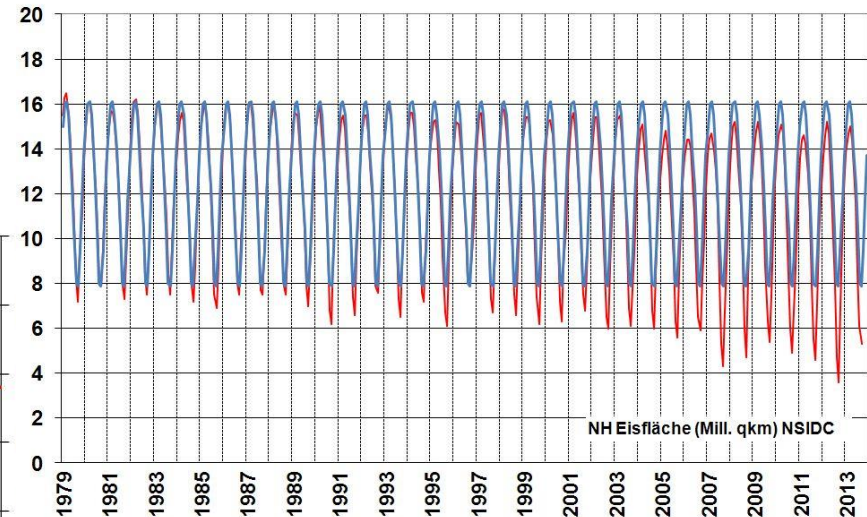
# Abnahme Nordpolareis



globaler Temperaturanstieg

globaler Meeresspiegelanstieg

Eigene Grafiken (für Temp., Eis), Datenquellen: Temp.: data.giss.nasa.gov, Meeresspiegel: sealevel.colorado.edu, Eis: nsidc.org



# IPCC-Bericht 2013

	Änderung bis 1986-2005	Änderung von 1986-2005 bis 2046-2065	Änderung von 1986-2005 bis 2081-2100	Gesamtänderung bis 2081-2100
globale Temperatur	0,7 °C	1,0 °C (0,4-1,6) 1,4 °C (0,9-2,0) <b>1,3 °C (0,8-1,8)</b> 2,0 °C (1,4-2,6)	1,0 °C (0,3-1,7) 1,8 °C (1,1-2,6) <b>2,2 °C (1,4-3,1)</b> 3,7 °C (1,6-4,8)	1,7 °C (1,0-2,4) <b>2,5 °C (1,8-3,3)</b> <b>2,9 °C (2,1-3,8)</b> <b>4,4 °C (2,3-5,5)</b>
Meeresspiegel	15 cm	24 cm (17-32) 26 cm (19-33) <b>25 cm (18-32)</b> 30 cm (22-38)	40 cm (26-55) 47 cm (32-63) <b>48 cm (33-63)</b> 63 cm (45-82)	55 cm (41-70) 62 cm (47-78) <b>63 cm (48-78)</b> 45 cm (60-97)

## Vier Szenarios (RCPs):

Anstieg des Strahlungsantriebs seit 1750:	2,6	4,5	<b>6,0</b>	8,5	W/m <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Jahre 2100:	421	538	<b>670</b>	936	ppm
Anstieg der CO <sub>2</sub> -Konzentrationen:	0,25	1,62	<b>3,18</b>	6,31	ppm/Jahr

- Globale Klimaänderung
- **Klimaprojektionen für Bayern**
- Überschwemmungen
- Überwärmung von Städten

# Temperaturänderung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

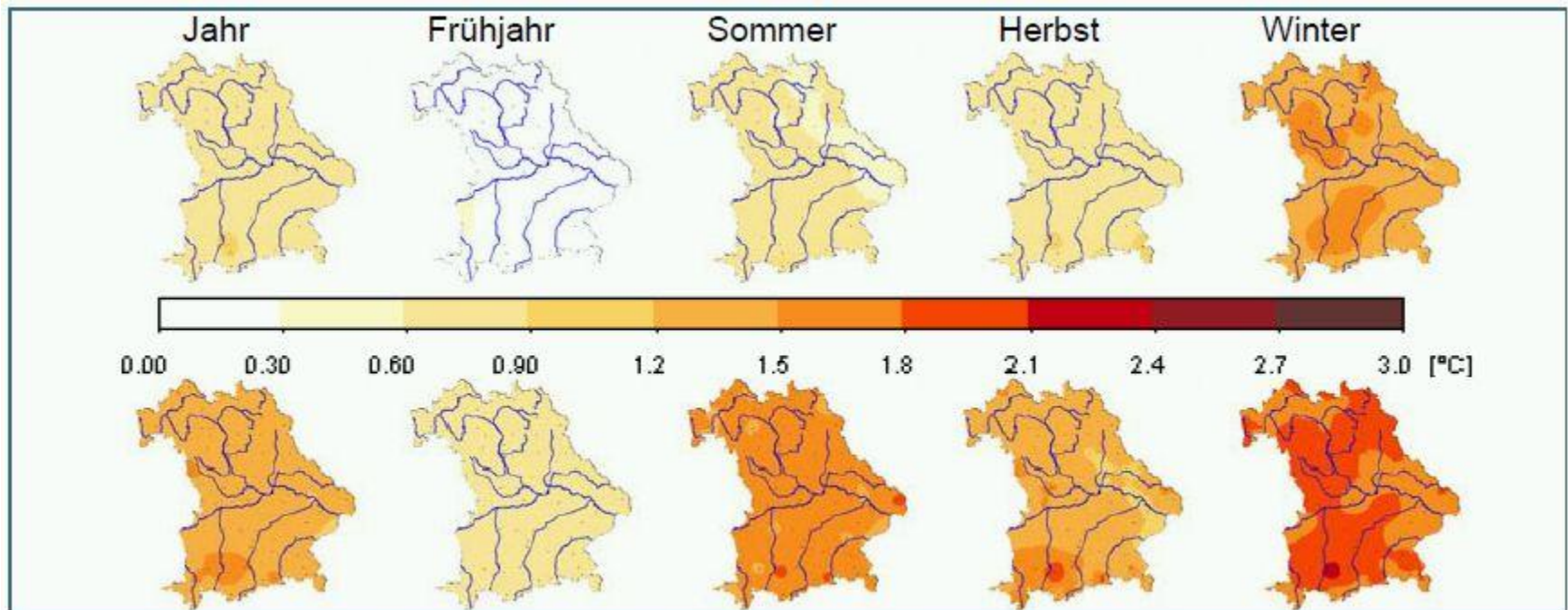


Abb. 11: Räumlich-zeitliche Variabilität der Änderung der Mitteltemperatur: Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000 in [°C]; WETTREG 2006 (obere Reihe), WETTREG2010 (untere Reihe).

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: Klimabericht Bayern  
 ([http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail\\_publicationen.php?pid=09030201071086](http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail_publicationen.php?pid=09030201071086))



# Temperaturänderung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

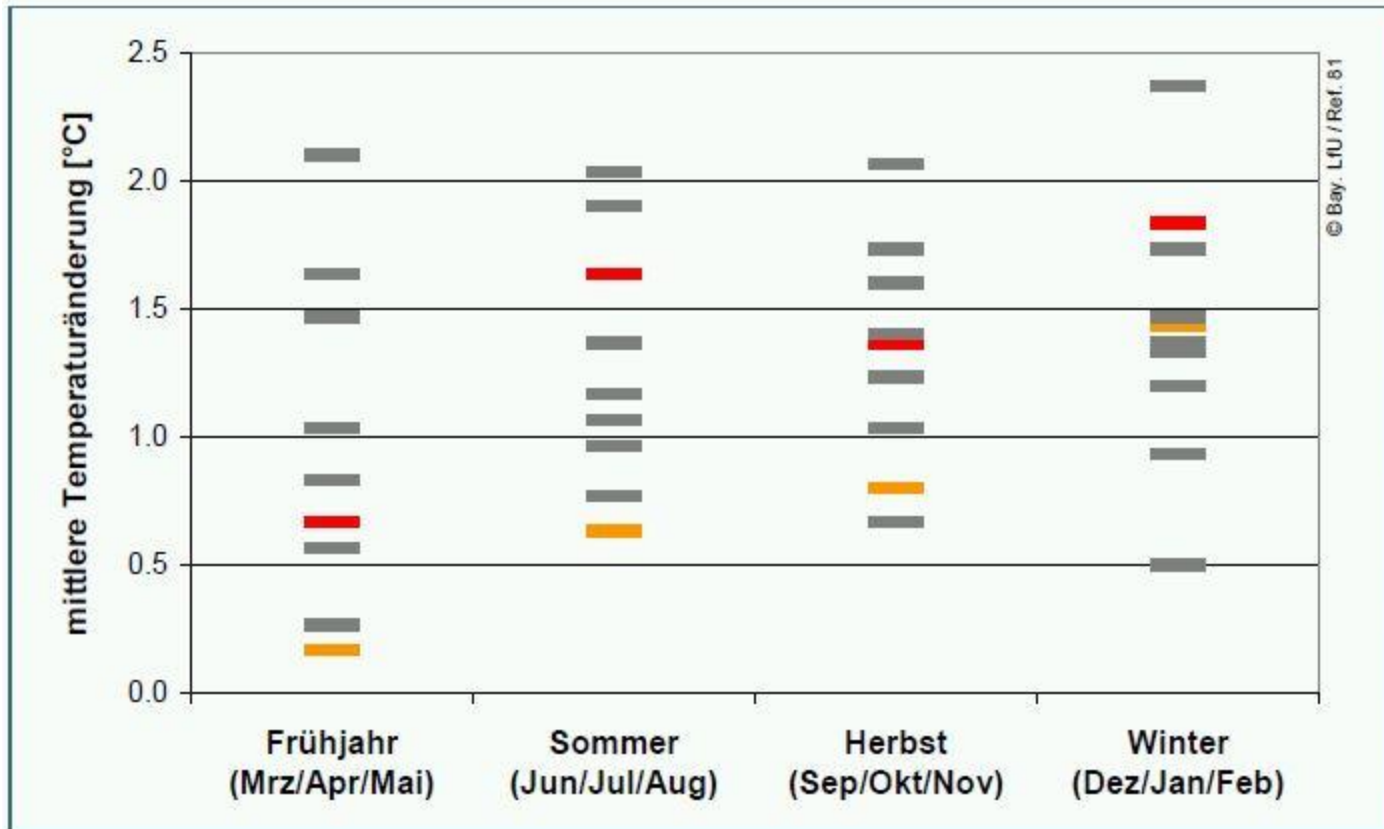


Abb. 9: Jahreszeitliche Spannweite der Änderung der durchschnittlichen Temperatur in Bayern von zehn regionalen Klimaprojektionen in [°C], Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000; WETTREG2006 (in orange) und WETTREG2010 (in rot) sind hervorgehoben.

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: Klimabericht Bayern ([http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail\\_publikationen.php?pid=09030201071086](http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail_publikationen.php?pid=09030201071086))

# Änderung der Häufigkeit 2021-2050 gegenüber 1971-2000

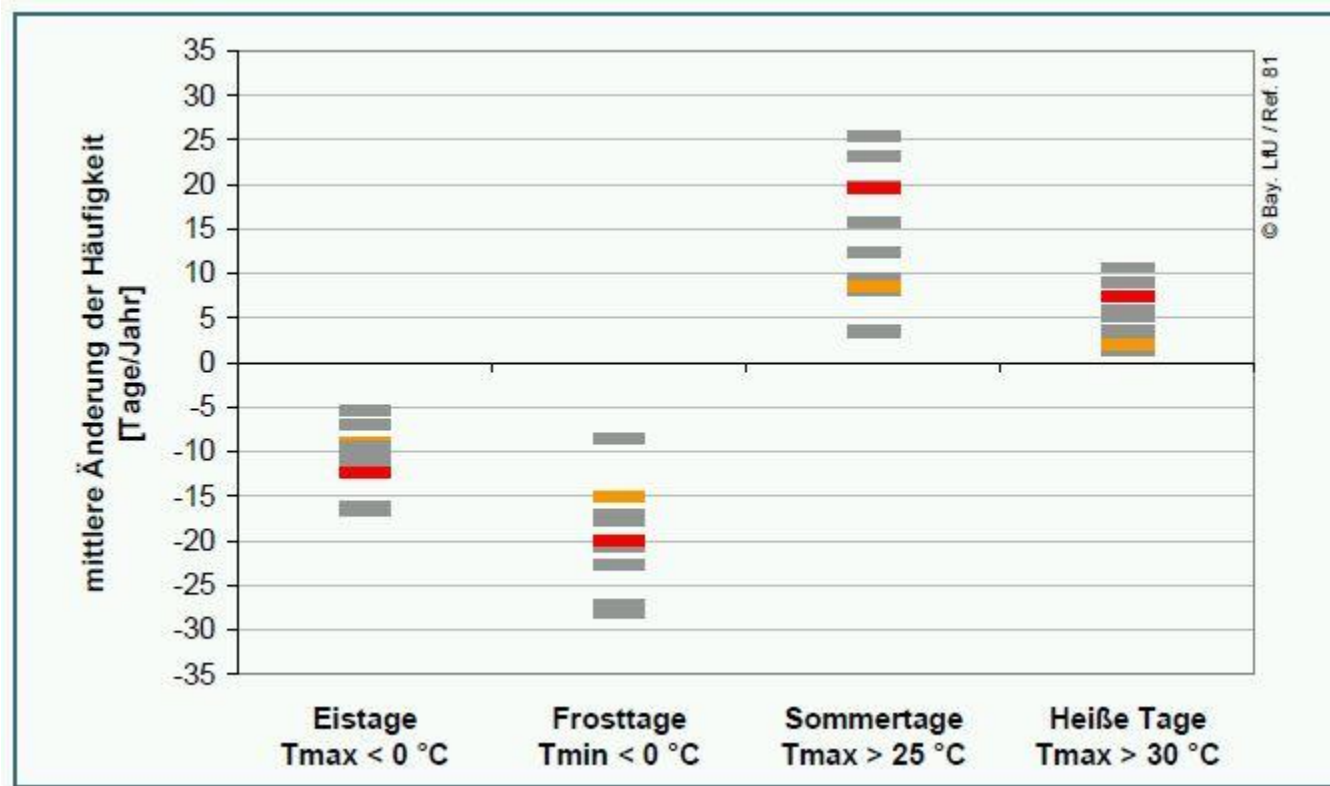


Abb. 12: Spannweite der mittleren Veränderung der Häufigkeit der Kenntage pro Jahr in Bayern; Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000; Auswertung von zehn regionalen Klimaprojektionen (in grau), WETTREG2006 (in orange) und WETTREG2010 (in rot) sind hervorgehoben.

bisher in  
Freising:

40

115

31

5

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: Klimabericht Bayern  
([http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail\\_publicationen.php?pid=09030201071086](http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail_publicationen.php?pid=09030201071086))

# Niederschlagsänderung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

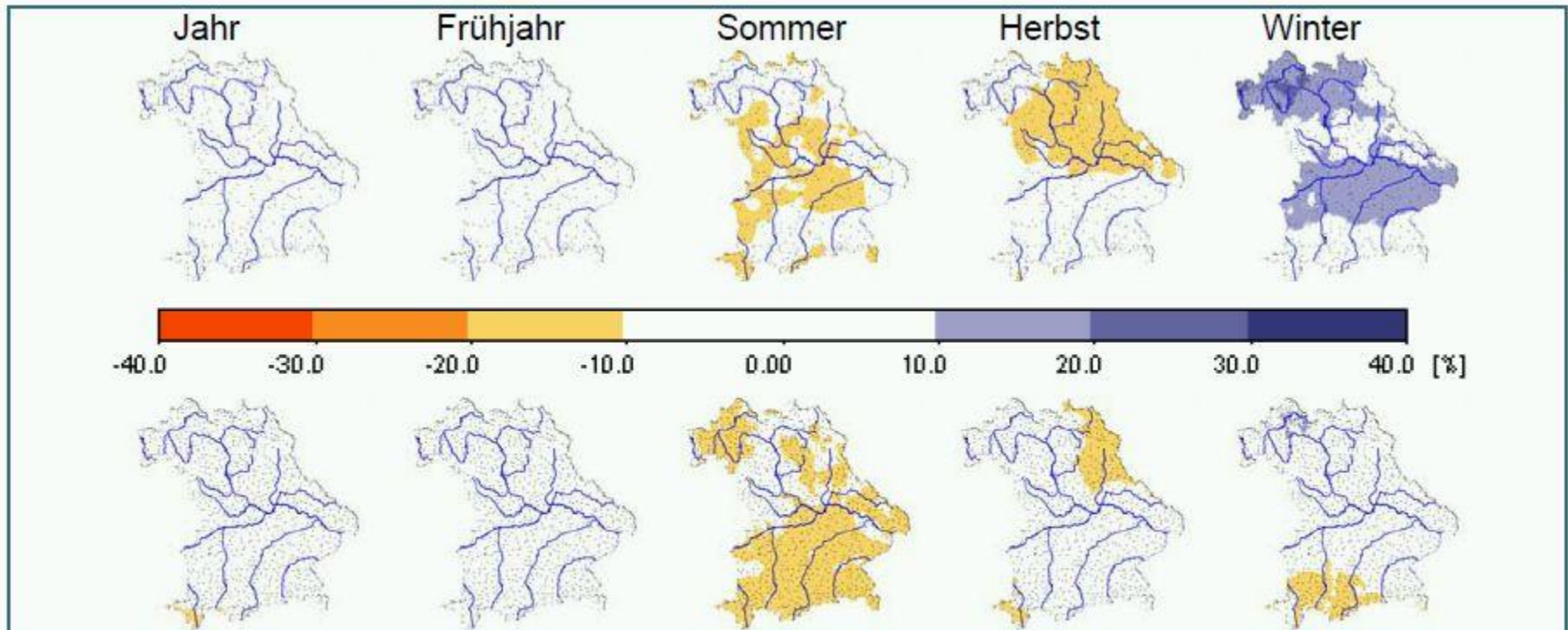


Abb. 17: Räumlich-zeitliche Variabilität der relativen Niederschlagsänderung 2021-2050 gegenüber 1971-2000 in [%]; WETTREG2006 (obere Reihe) und WETTREG2010 (untere Reihe).

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: Klimabericht Bayern  
([http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail\\_publicationen.php?pid=09030201071086](http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail_publicationen.php?pid=09030201071086))

# Niederschlagsänderung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

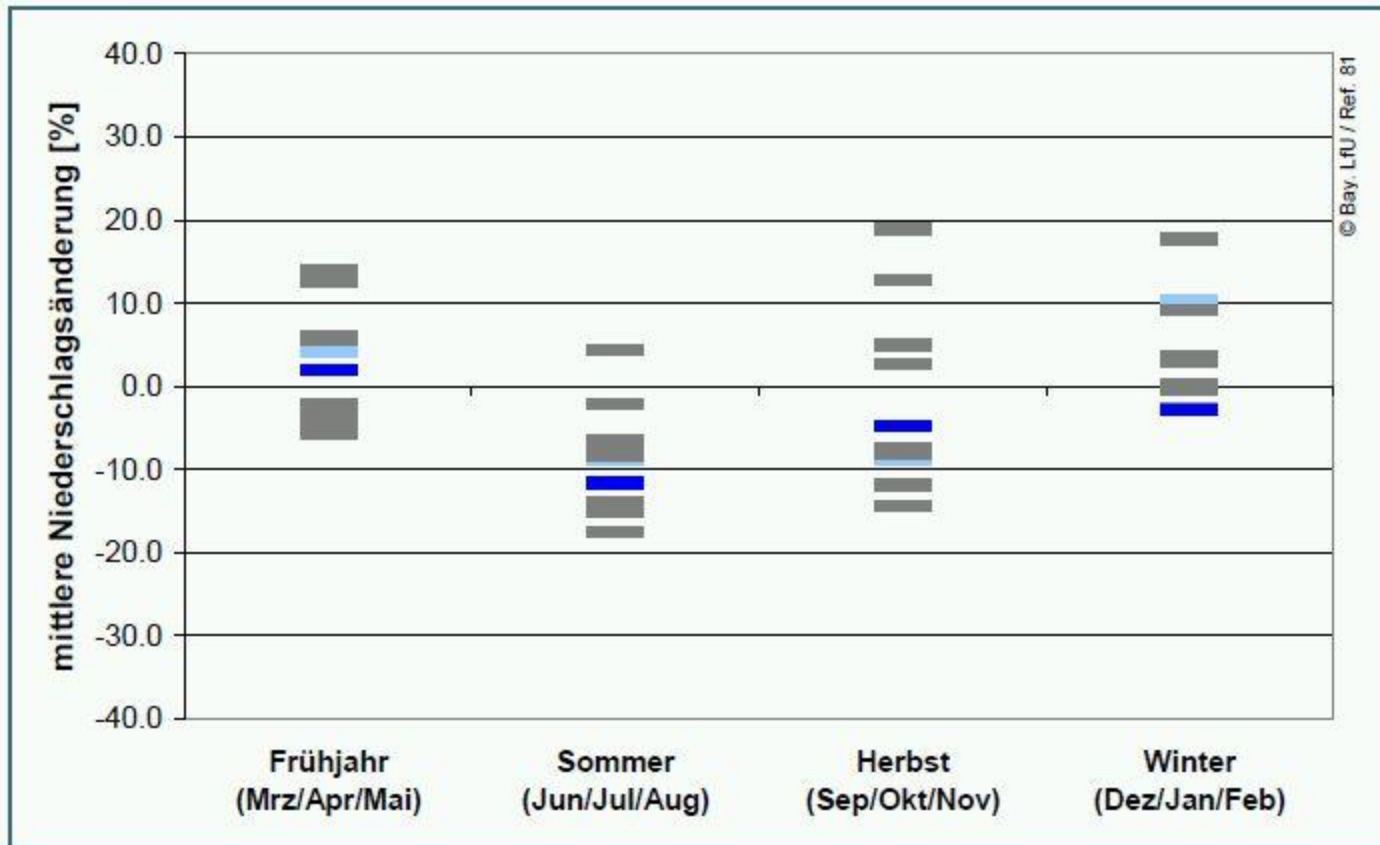


Abb. 15:  
 Jahreszeitliche Spannweite der relativen Änderung des Gebietsniederschlags in Bayern in [%]. Vergleich der Zeiträume 2021–2050 und 1971–2000; Auswertung von zehn regionalen Klimaprojektionen (in grau), WETTREG2006 (in hellblau) und WETTREG2010 (in blau) sind hervorgehoben.

Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt 2012: Klimabericht Bayern  
 ([http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail\\_publikationen.php?pid=09030201071086](http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail_publikationen.php?pid=09030201071086))



# Prozentuale Zunahme Starkregen (> 95 Perzentil) 2021-2050 gegenüber 1971-2000

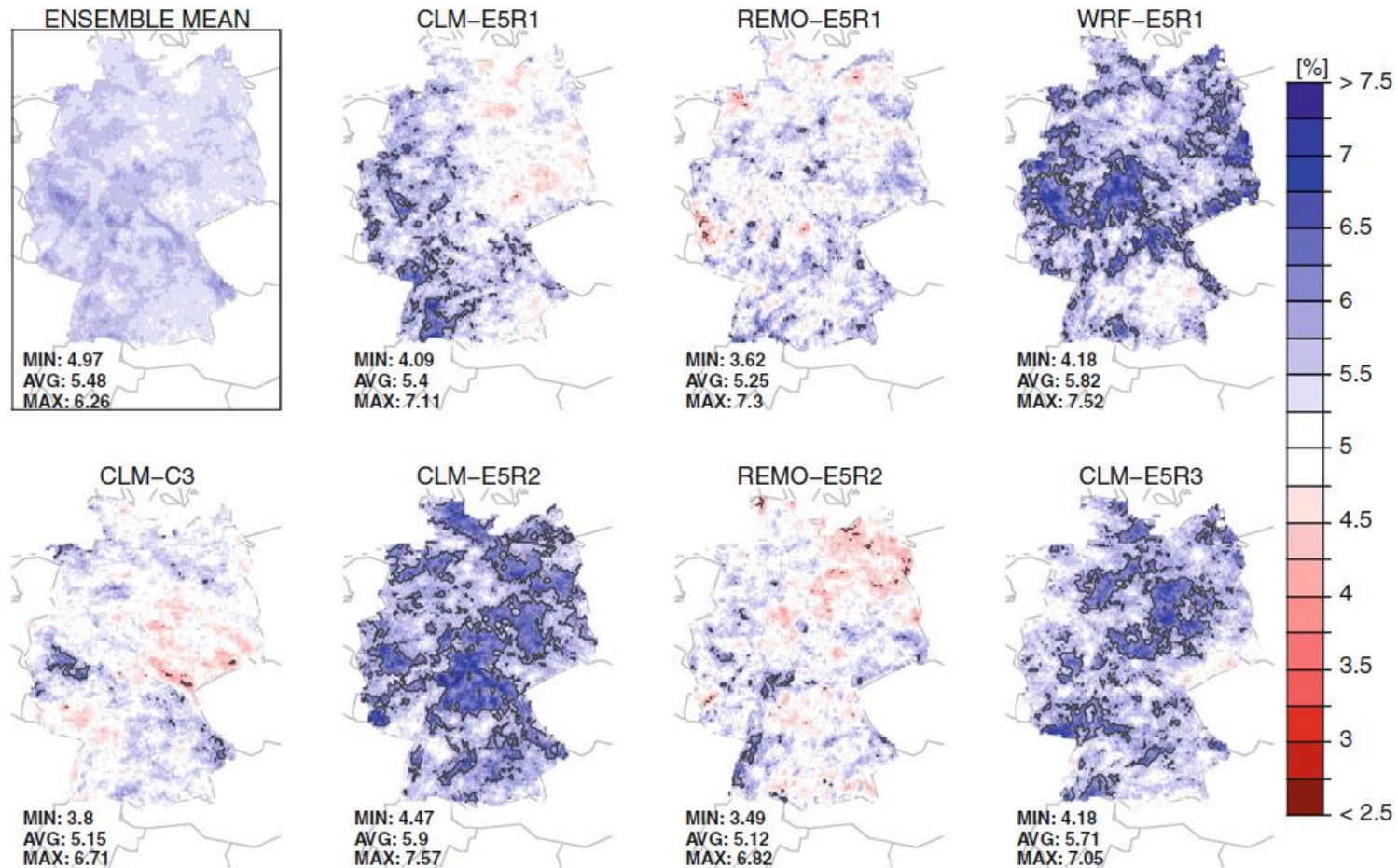


Fig. 7 Projected percentage of wet days in 2021–2050 with precipitation amounts larger than the 95 percentiles of the reference period 1971–2000 for the CLM (CLM-E5R1–3 and CLM-C3), REMO (REMO-E5R1–2) and WRF (WRF-E5R1) simulations and the

ensemble mean. Values above 5 % indicate an increase and below 5 % a decrease for the future time period. Contours (except for the ensemble mean) delineate significant and non-significant regions at the 95 % confidence interval

Quelle: Wagner, S., P. Berg, G. Schädler, H. Kunstmann, 2013. *Climate Dynamics* 40, 415-427



# Prozentuale Zunahme Trockenperioden (> 5 Tage) 2021-2050 gegenüber 1971-2000

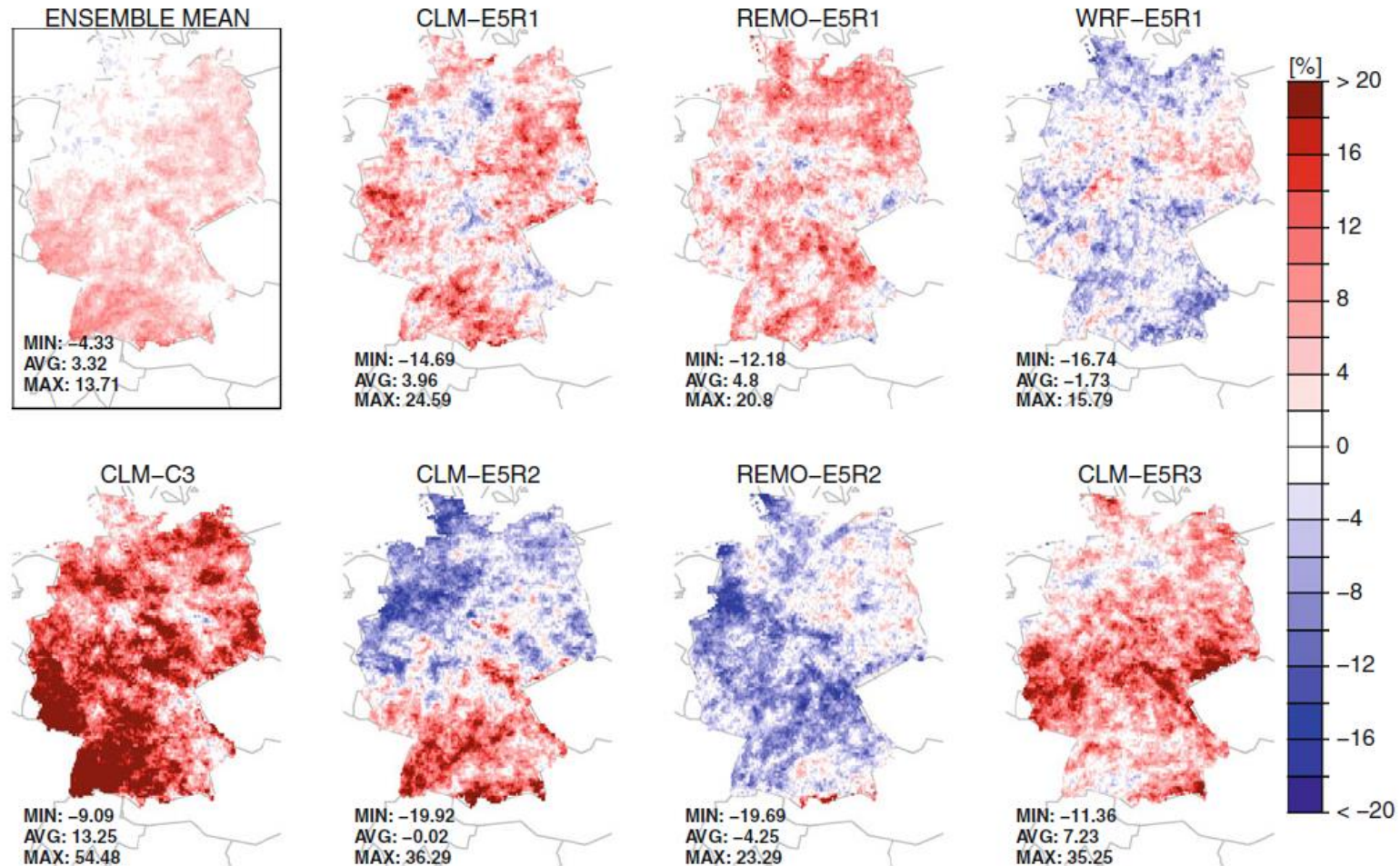


Fig. 8 Projected percentage change of the number of dry periods of more than 5 consecutive days over Germany between 1971–2000 and 2021–2050 for the CLM (CLM-E5R1–3 and CLM-C3), REMO (REMO-E5R1–2) and WRF (WRF-E5R1) simulations and the ensemble mean

Quelle: Wagner, S., P. Berg, G. Schädler, H. Kunstmann, 2013. *Climate Dynamics* 40, 415-427

## Lufttemperatur

Zunahme von (1971-2000) bis (2021-2050)	ca. + 1,5°C
Zunahme der Zahl der Sommertage (> 25°C)	ca. + 50 %
Zunahme der Zahl der heißen Tage (> 30°C)	ca. + 100 %
Abnahme der Zahl der Frosttage (< 0°C)	ca. - 15 %
Abnahme der Zahl der Eistage ( $T_{\max} < 0^\circ\text{C}$ )	ca. - 25 %

## Niederschlag

Sommer: geringe Abnahme

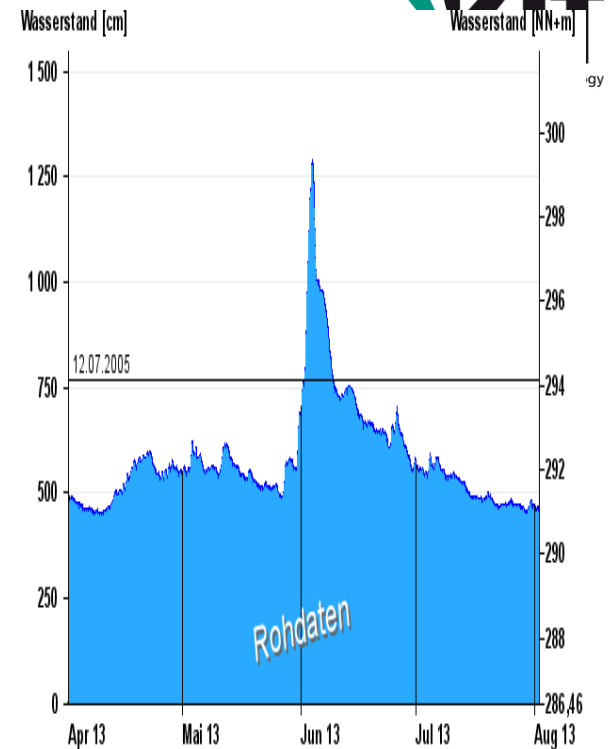
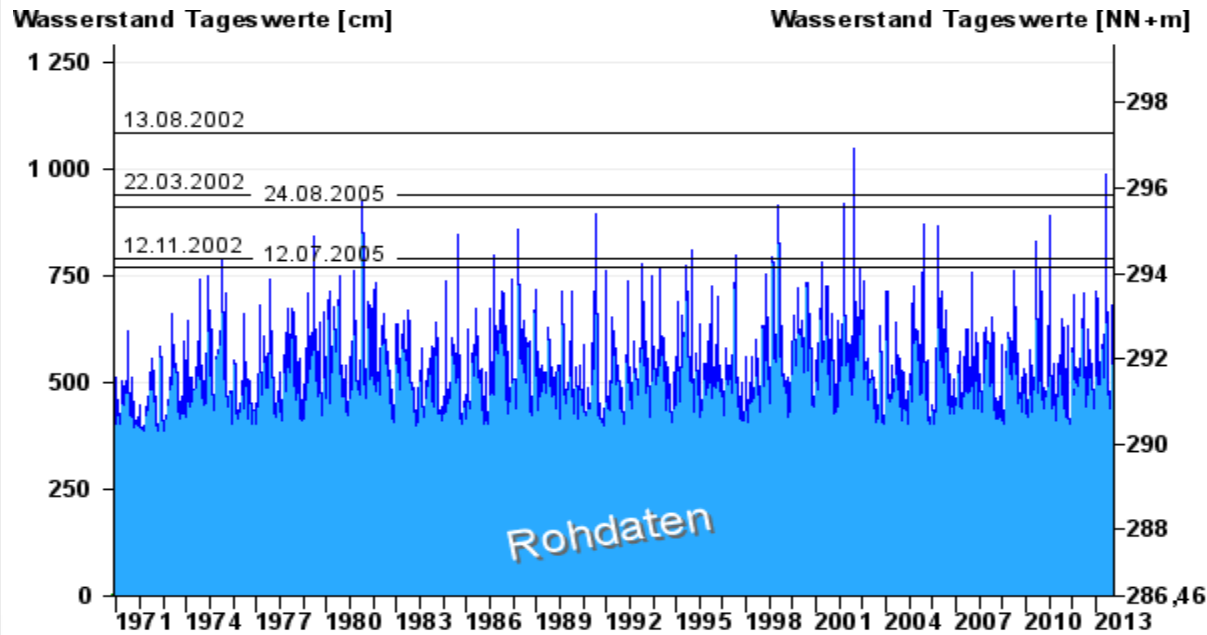
Winter: 10 bis 20% Zunahme, der vermehrt als Regen fällt und den die Vegetation nicht aufnehmen kann

Zunahme von längeren trockenen Perioden

Zunahme von Starkniederschlägen

- Globale Klimaänderung
- Klimaprojektionen für Bayern
- **Überschwemmungen**
- Überwärmung von Städten

# Hochwasserereignisse



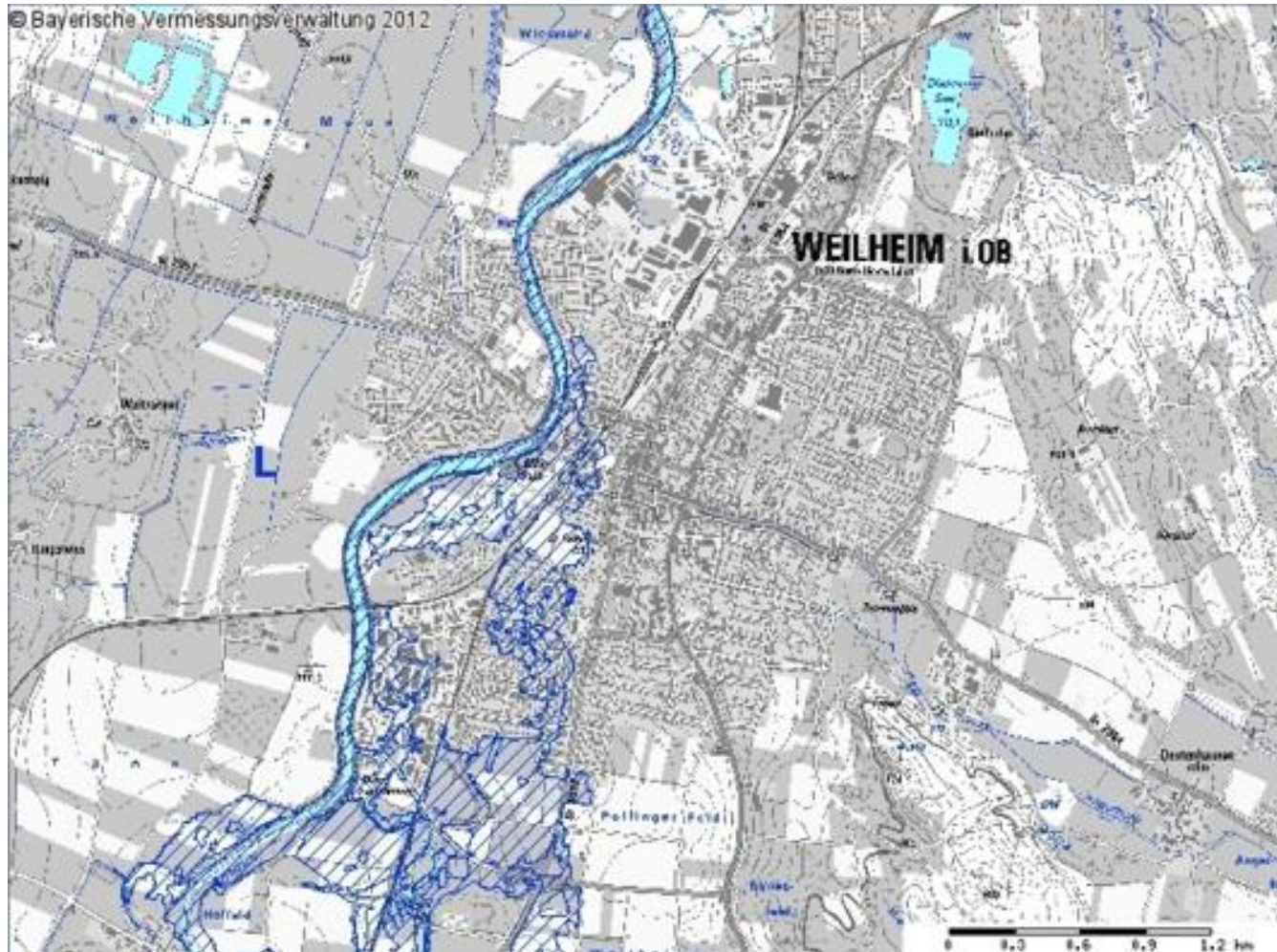
## Wasserstände Passau

- 02.06.2013** Wasserstand: 1289 cm
- 13.08.2002** Wasserstand: 1081 cm
- 22.03.2002** Wasserstand: 939 cm
- 24.08.2005** Wasserstand: 910 cm
- 12.11.2002** Wasserstand: 790 cm
- 12.07.2005** Wasserstand: 767 cm

Quelle: Hochwassernachrichtendienst Bayern:  
<http://www.hnd.bayern.de/>



# ausgewiesene Überschwemmungsgebiete sind bekannt



<http://www.wva-wm.bayern.de/hochwasser/ueberschwemmungsgebiete/pic/ueberschwemmungsgebietewm.jpg>



# mögliche Reaktionen auf verstärkte Hochwasserereignisse

## Siedlungsplanung:

keine Wohn- und Gewerbegebiete in gefährdeten Regionen

keine Ölheizungen in gefährdeten Regionen

Deiche

## Wasserwirtschaft:

zusätzliche Polder an den Flüssen

Verringerung der Flussgeschwindigkeiten in den Oberläufen

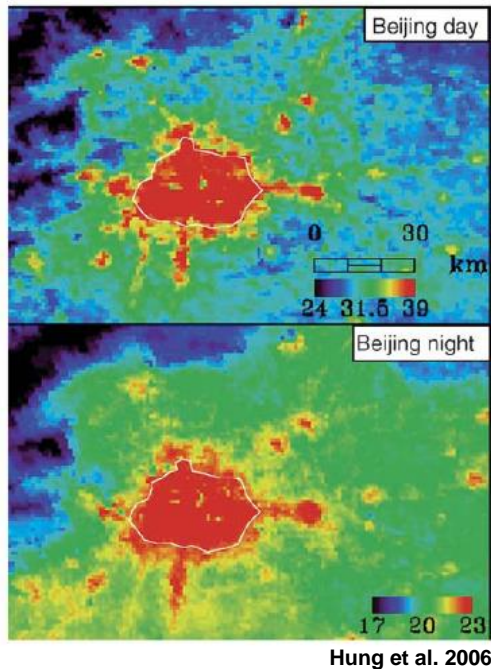
Bewahrung von Bergwäldern als Wasserspeicher

- Globale Klimaänderung
- Klimaprojektionen für Bayern
- Überschwemmungen
- **Überwärmung von Städten**

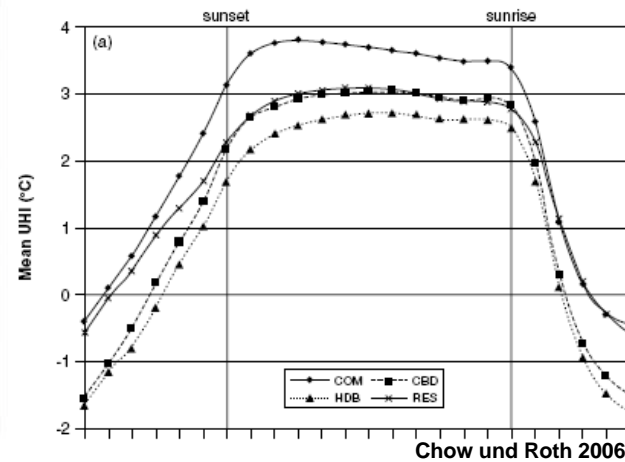
# Problem:

**Städte wärmer als ihre Umgebung**

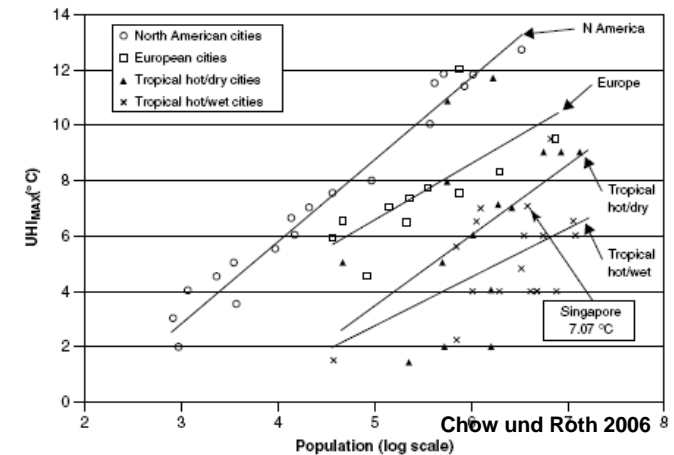
- ➔ **Hitzestress für die Bewohner**
- ➔ **schlechtere Luftqualität**
- ➔ **höherer Energie- und Wasserbedarf**



**Infrarot-Satellitenbild von Peking**



**Überwärmung nachts am stärksten**



**Überwärmung abhängig von der Bevölkerungszahl**

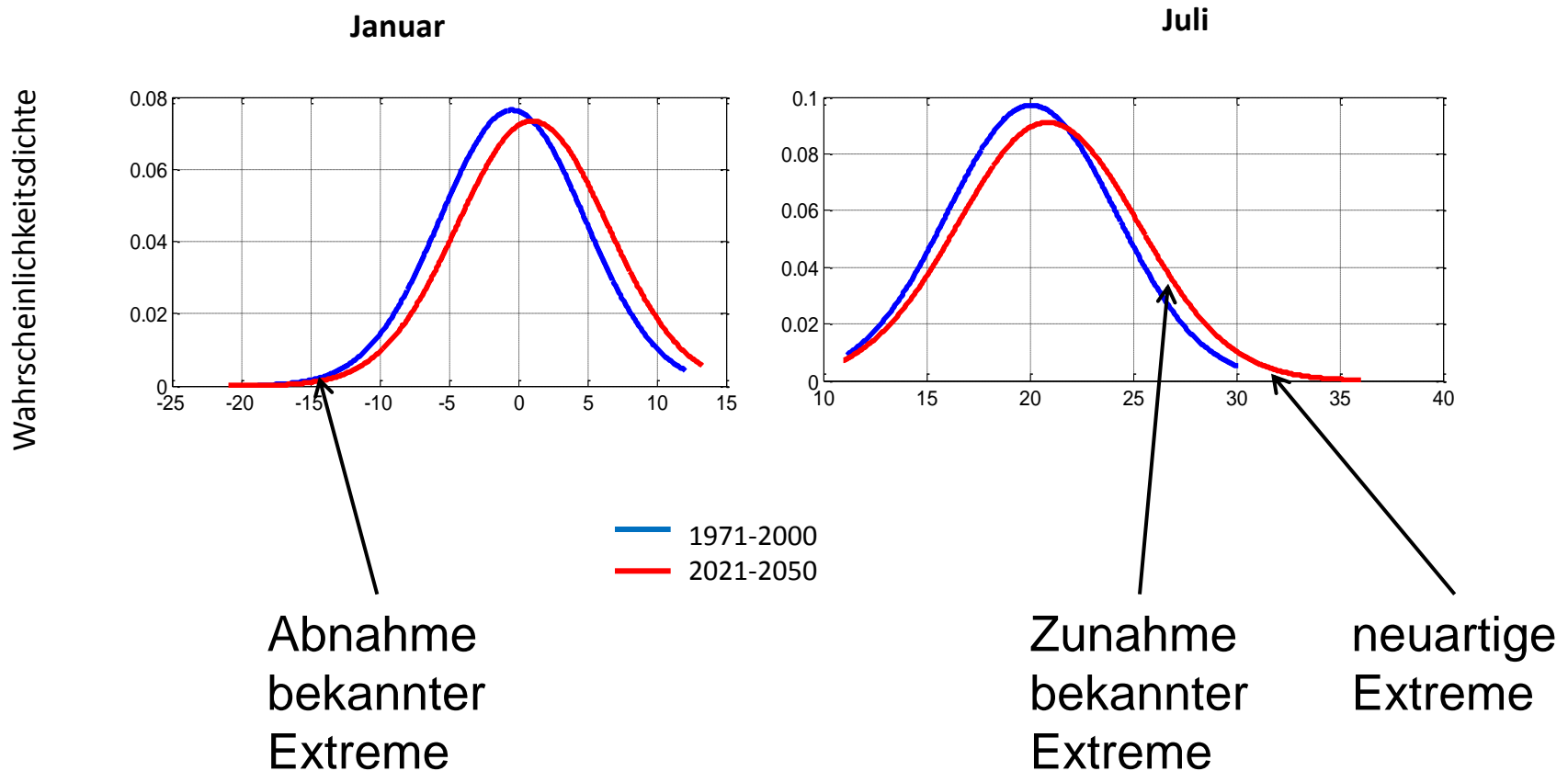


Photo: 2011 Stefan Emeis

## **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)**

**CO<sub>2</sub>-Abscheidung**

**Klimaanlagen**

**Energieaufwand, Endlichkeit der fossilen Rohstoffe bleibt**

**Energieaufwand, mehr CO<sub>2</sub>-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

#### SO<sub>2</sub>-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](http://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](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 CO<sub>2</sub>-Emissionen**

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

**effizientere Energienutzung**

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

**Vermeidung von CO<sub>2</sub>-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](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**

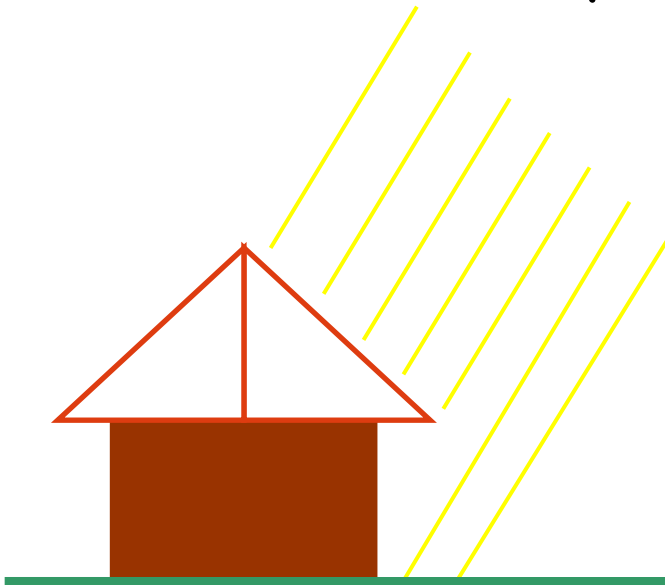
**aber noch unüblich**

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

# Reflektion und Absorption von Sonnenstrahlen

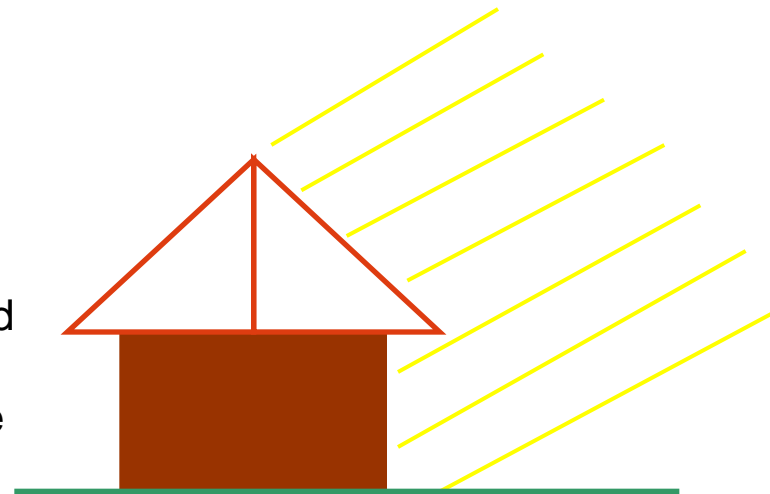
## Sommer

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.



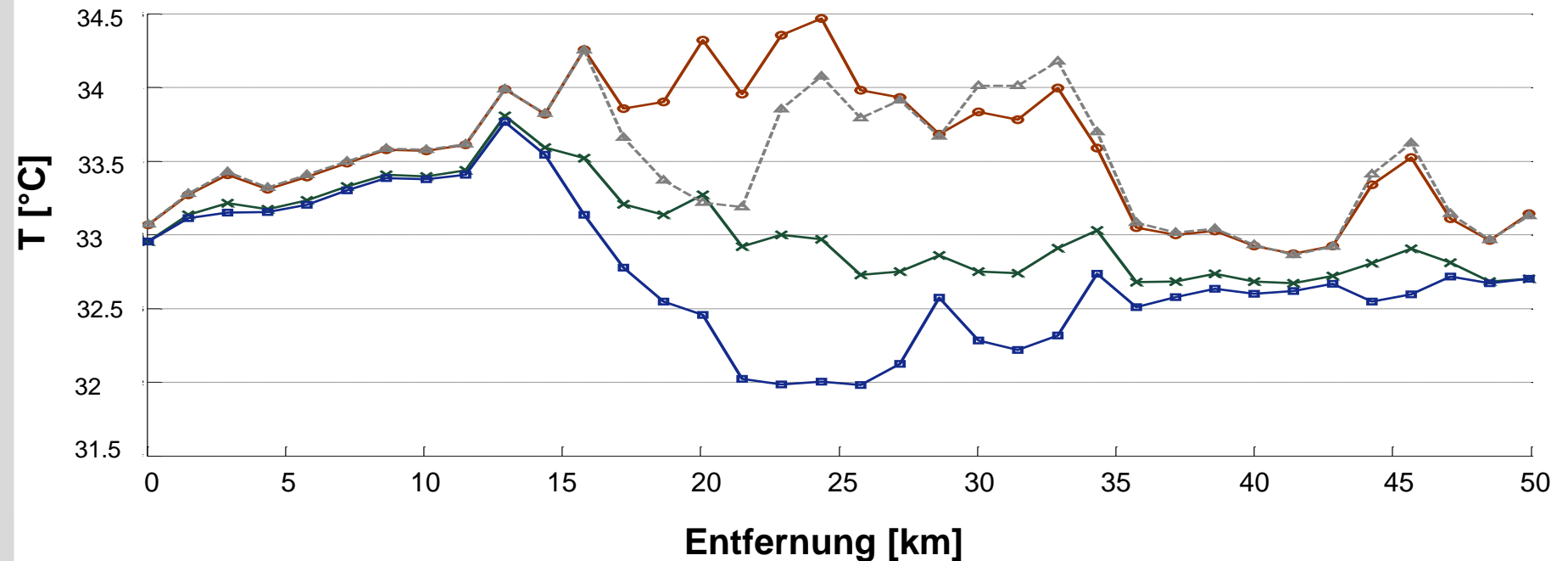
## Winter





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.

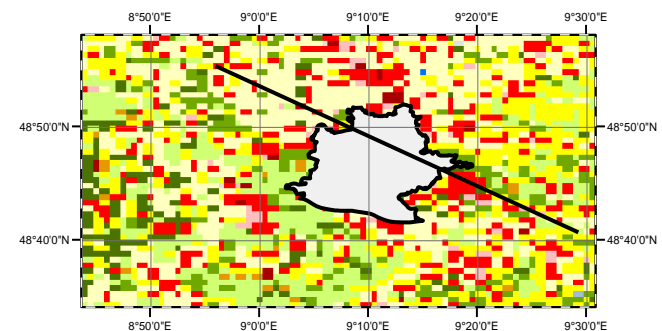


# Modellstudie: Vermeidungsmaßnahmen am Beispiel Stuttgart

mittags

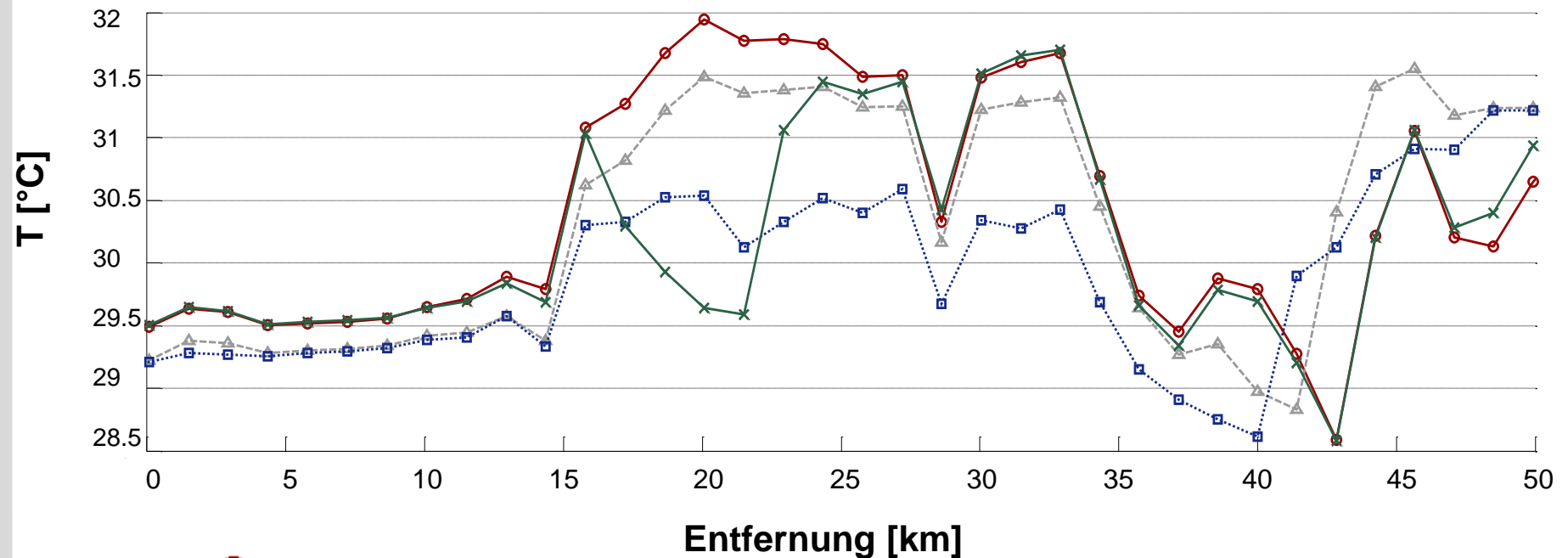






-  Ist-Zustand
-  Weiße Dächer
-  Weiße Dächer und Wände
-  großer Park im Zentrum

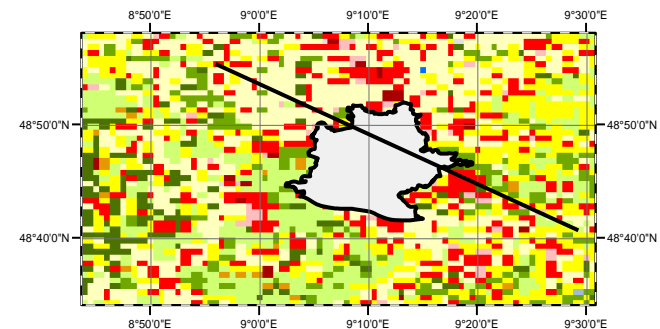


# Modellstudie: Vermeidungsmaßnahmen am Beispiel Stuttgart

abends

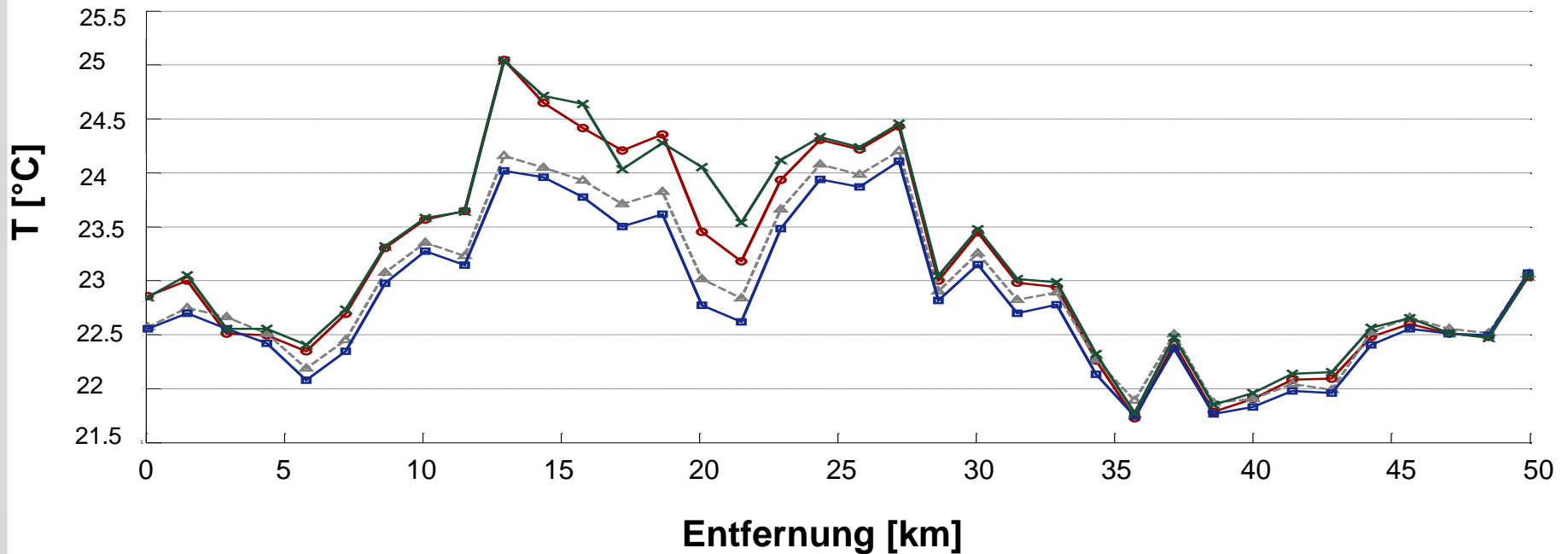






-  **Ist-Zustand**
-  **Weiße Dächer**
-  **Weiße Dächer und Wände**
-  **großer Park im Zentrum**

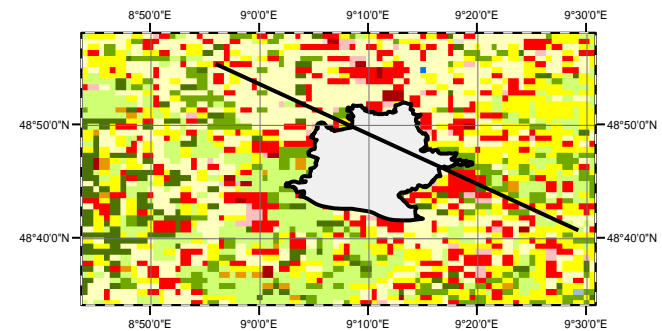


# Modellstudie: Vermeidungsmaßnahmen am Beispiel Stuttgart

nachts



-  Ist-Zustand
-  Weiße Dächer
-  Weiße Dächer und Wände
-  großer Park im Zentrum





## a1) global, einmalig durch Albedo-Erhöhung

Städte bedecken ca. 1% der Landfläche,

Annahme: **Albedo aller Städte wird um gut 10% erhöht**

→ radiative forcing  $-0,04 \text{ Wm}^{-2}$  (Vergleich: Treibhausgase: ca.  $3 \text{ Wm}^{-2}$ )

→ es würde nur ca. eine Jahresproduktion von  $\text{CO}_2$  kompensiert

## a2) global, wiederkehrend durch $\text{CO}_2$ -Einsparung bei Klimaanlageanlagen

alle Klimaanlageanlagen dieser Welt verbrauchen maximal  $0,64 \text{ TW}$

globaler Energiebedarf der Menschheit derzeit  $16 \text{ TW}$

→ es könnten maximal 4% Energie und damit  $\text{CO}_2$ -Emissionen eingespart werden

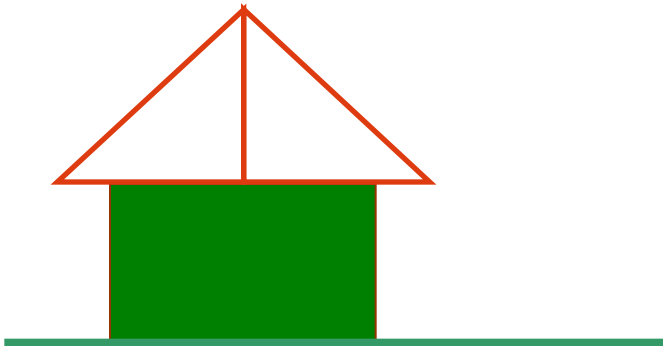
## b) lokal

verringert Energieaufnahme einer Stadt um ca.  $20 \text{ Wm}^{-2}$

→ Überwärmung der Stadt wird um gut 10% verringert

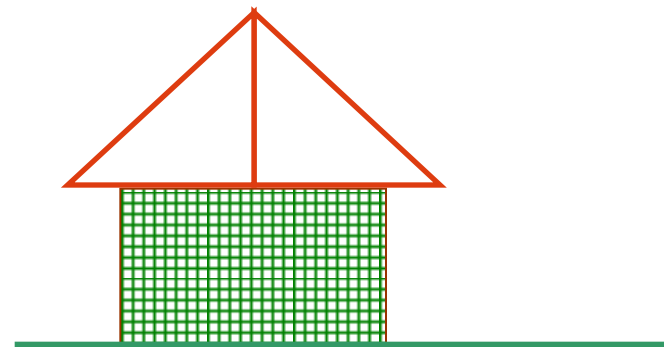
## Nordwest-, Nord- und Nordostseiten

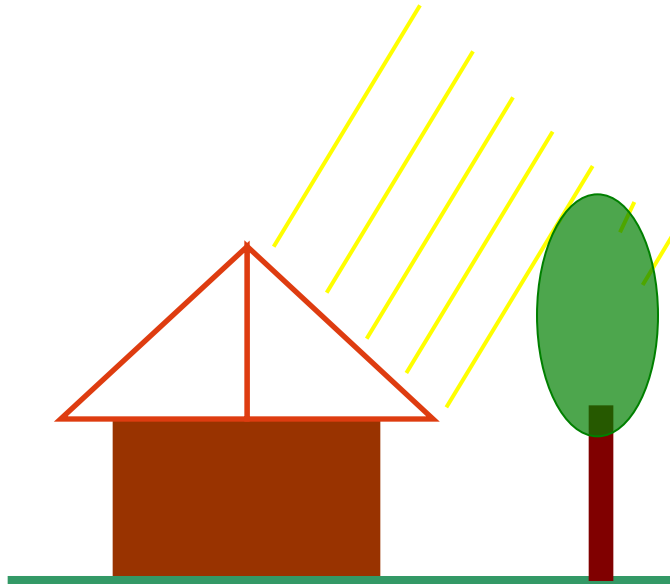
Die optimale Begrünung geschieht durch **immergrüne Pflanzen** wie beispielsweise Efeu, die ganzjährig Blätter tragen und somit zur Isolierung des Hauses beitragen. Das kühlt im Sommer und wärmt im Winter und sie schützt im Winter vor Wind und Regen. **Zudem filtert sie Luftschadstoffe heraus.**



## 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.



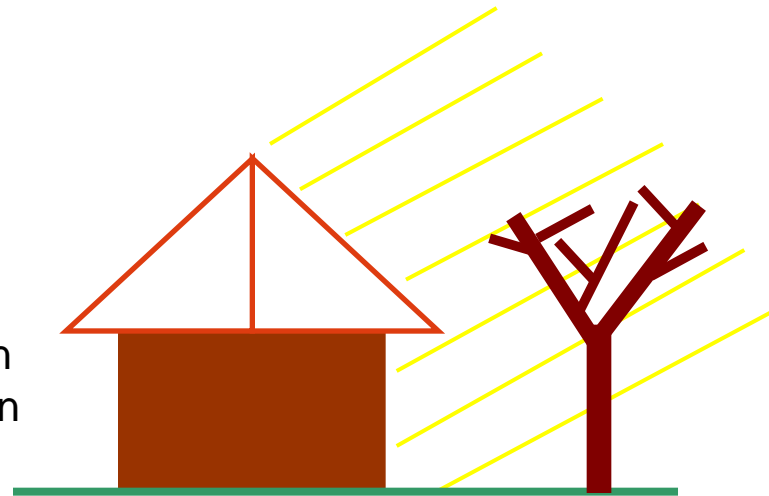


## Sommer

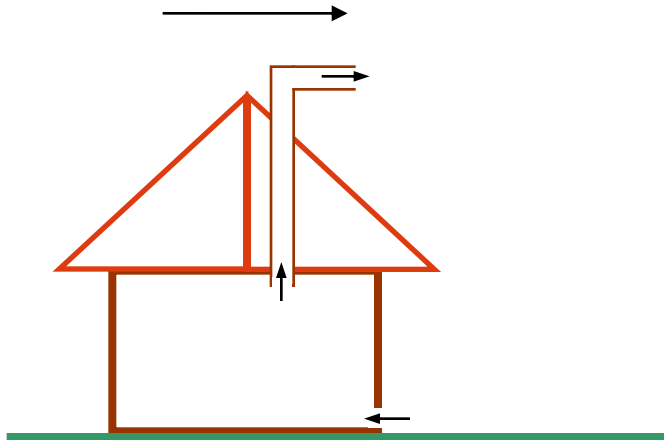
**Laubbäume** bieten Schatten und tragen zur Kühlung von Räumen auf der Südseite bei, beispielsweise von Büroräumen.

## Winter

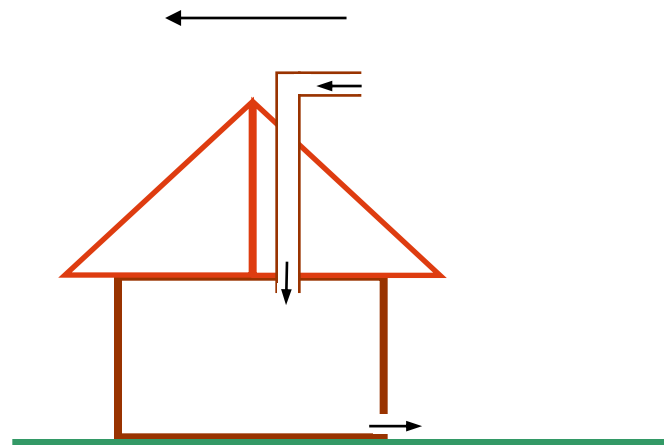
**Laubbäume** und Sträucher auf der Südseite sind im Winter weitgehend lichtdurchlässig und erlauben die Aufwärmung von Häusern durch die flach einfallende Sonne.



# 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.**

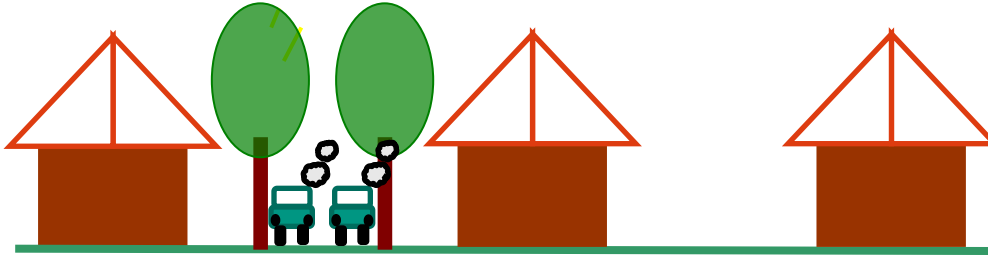


Der Kühleffekt kann verstärkt werden, wenn die **angesaugte Luft unterirdisch zugeführt wird** und dabei eventuell auch noch über Wasserflächen geführt wird (siehe z.B.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Windturm>).

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/>)

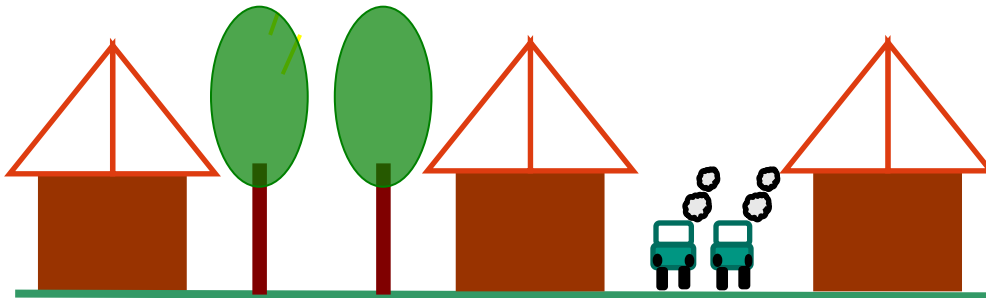
# Unterschiedlicher Einfluss von Straßenbäumen

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.



Vermeidungsmaßnahmen sind am **nachhaltigsten**

**sie erfordern aber ein Umdenken**

**in der Bevölkerung: sie muss sich so etwas vorstellen können,  
sie muss den Nutzen erkennen und verstehen**

**in der Verwaltung: sie muss so etwas genehmigen (können)**

**in der Politik: sie muss die Bevölkerung einstimmen und  
mitnehmen,  
sie muss die gesetzlichen Rahmenbedingungen  
schaffen**

Generell ist eine neue **Denkweise** notwendig:

**die Welt funktioniert nicht nur mechanisch wie ein Uhrwerk,  
sonders sie ist komplex und nichtlinear  
(→ Abschätzungen über Folgen einer Handlung sind nur mit  
aufwendigen Computermodellen ansatzweise möglich)**

**Alles hängt mit Allem zusammen, jede Handlung hat Folgen  
auch für Andere  
(→ jeder muss auch globale Verantwortung übernehmen)**

**es gibt nicht für jede nachteilige Folge eine Reparaturmaßnahme,  
schon gar nicht auf der globalen Skala  
(→ nur Vermeidungsstrategien werden uns auf Dauer weiterhelfen)**



Quelle: Südd.Z., 2.9.6





**Vielen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit**

## Auswirkungen für Bayern und Deutschland:

- Wasser: steigende **Hochwassergefahr** im Frühjahr, kürzere Schneedauer, reduzierte Grundwasserbildung im Sommer
- Landwirtschaft: längere Wachstumsperioden, trockenerer und wärmere Sommer, größere Extreme, neue Sorten notwendig
- Forstwirtschaft: Fichte: vielerorts zu warm und zu trocken, Buche: vielerorts zu trocken, Borkenkäferbefall steigt
- Biodiversität: Arten, die an bestimmte Regionen gebunden sind, sind bedroht, insbesondere in den Alpen
- Gesundheit: **Hitzestress** im Sommer nimmt zu, Krankheitsüberträger können leichter überleben und sich ausbreiten (Zecken, Tigermücke, usw.)
- Tourismus: Wintertourismus in den Alpen wird erschwert, Sommertourismus an Nord- und Ostsee wird befördert

Quelle: UBA: Zebisch et al. 2005: Klimawandel in Deutschland. <http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2947.pdf>  
durchgeführt vom PIK, Potsdam, im Auftrag des UBA, Förderkennzeichen 201 41 253, UBA-FB 000844



