



Johanna Nemec, Maja Žuvela-Aloise

Temperaturunterschiede in der Stadt – Stadtklima der Zukunft in Wien

BM.W.F^a

Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung



Überblick

- **Geschichtlicher** Rückblick über Untersuchungen des Stadtklimas von Wien
- **Stadtklimamodellierung**: MUKLIMO_3 Modell- und Methodenbeschreibung
- Stadtklima Wien und **Modellvalidierung** mit mobilen Messungen
- **Zukunftsszenarien** für Wien
- Anpassungsstrategien

Erste Temperaturmessungen Wien (W. Schmidt)

Erste systematische Messungen der Temperaturverteilung in Wien durch W. Schmidt 1931 und 1932:

„6. Juli 1932: ... die Höchsttemperatur betrug $33,7^{\circ}\text{C}$. Die Temperaturunterschiede sind sehr unruhig und zeigen markante Einschnitte an baumbestandenen und den ganzen Tag beschatteten Plätzen und besonders an engen Straßen. Die Mulde in der Billrothstraße zeigt ein Temperaturdefizit von fast 3° , die enge Schottengasse 2° , die ziemlich verkehrsreiche, aber enge Wollzeile sogar 7° ... An ruhigen, heißen Sommertagen zeigen mittelbreite Straßen der Inneren Stadt eine um 2° bis $2,5^{\circ}$ höhere Temperatur als die Villenviertel des Stadtrandes (Hohe Warte), die Bezirke außerhalb des Gürtels sind noch um 1° bis $1,5^{\circ}$ wärmer als die Randlagen.“

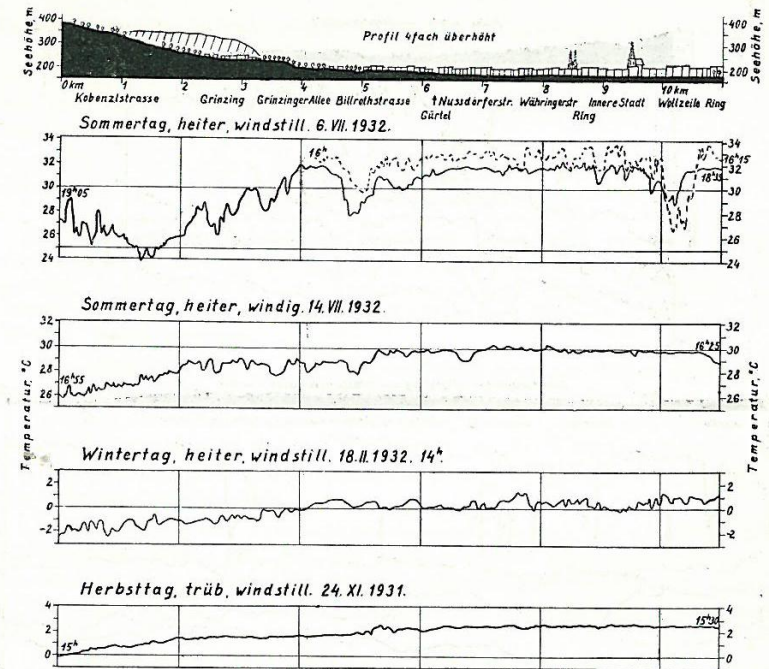
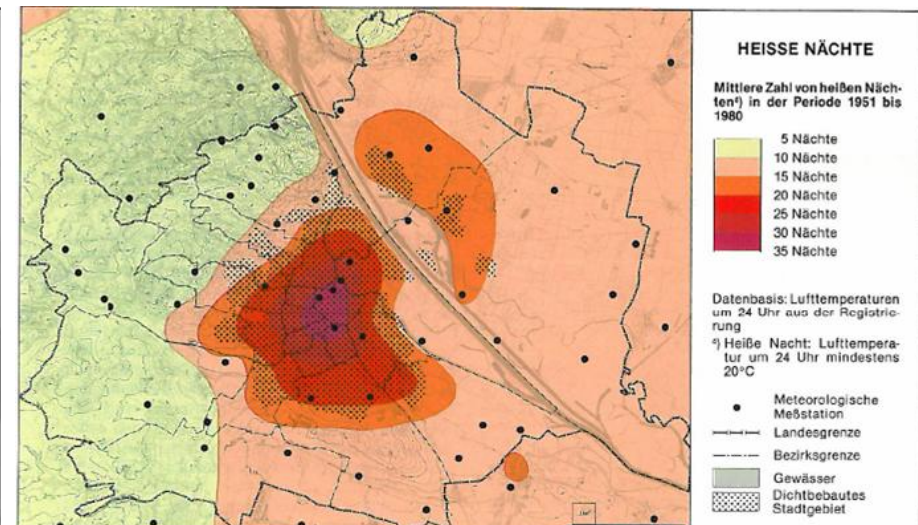
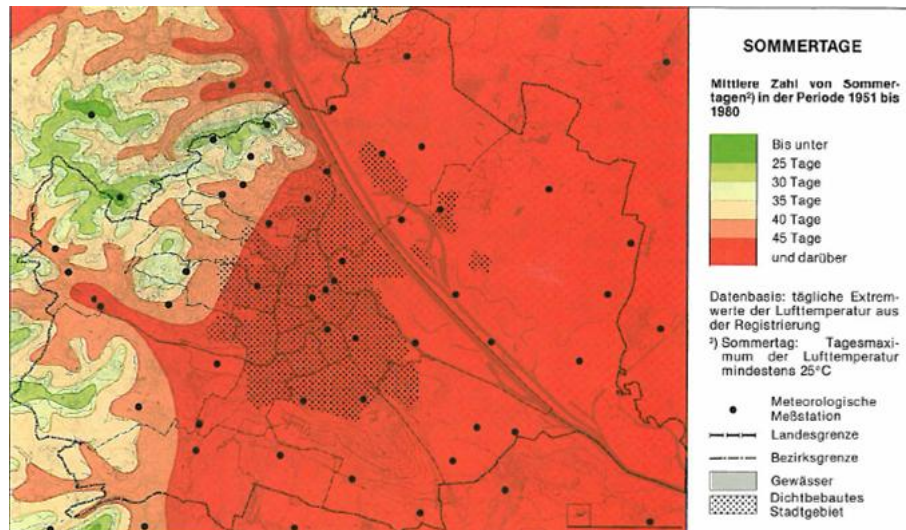
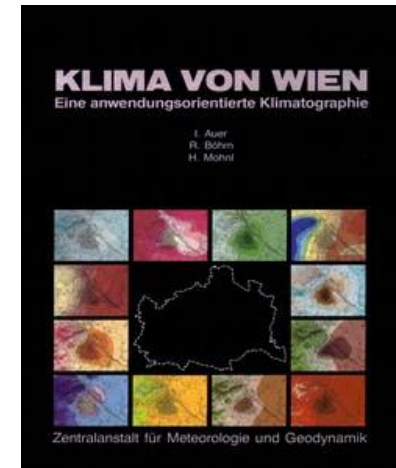


Abb. 28. Vergleich der Temperaturverteilung in Wien im Schnitt: Kobenzl — Stephansplatz — Parkring am Nachmittag eines heiteren, windstillen und eines windigen Sommertages, eines heiteren Wintertages und eines trüben Herbsttages.

Buch „Klima von Wien“ (1989)

→ Detaillierte Analyse der meteorologische Stationsdaten im Großraum Wien

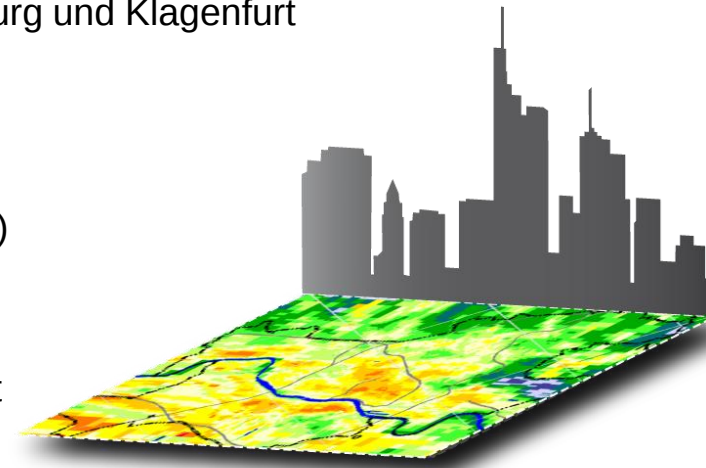
Das Klima von Wien, I. Auer, R. Böhm, H. Mohnl, ZAMG, 1989



Stadtklimamodell MUKLIMO_3



- entwickelt beim DWD (Sievers, 1990; 1995)
- seit 2010 an der ZAMG: Anwendung für Wien, Graz, Linz, Salzburg und Klagenfurt
- 3D Mikroskaliges Urbanes KLimaMOdell
- Horizontale Auflösung: 10 – 200 m
- Vertikale Auflösung: 5 – 100 m (höhere Auflösung in Bodennähe)
- Eingangsdaten: Höhenmodell und Landnutzungsdaten
- Anfangs- und Randbedingungen werden mit 1D Modell bestimmt
- Das Modell berechnet den Tagesgang des Windes, der Temperatur und Feuchtigkeit in der Atmosphäre, sowie die solare und die thermische Strahlung.
- Parametrisierung von unaufgelösten Bebauung:
 - Luftströmungen, Turbulenz, Abschattung, bremsende Wirkung von Gebäuden
- 3 Schichtiges Vegetationsmodell
- 15 Schichtiges Bodenmodell



Höhen- und Landnutzungsdaten

Niederösterreich:

15 Landnutzungskategorien
(ARC-SYS Seibersdorf)

www.ait.ac.at

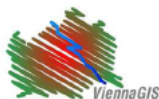
DEM: 50 m Auflösung
(BEV DGM - Digitales
Geländehöhenmodell)

www.bev.gv.at

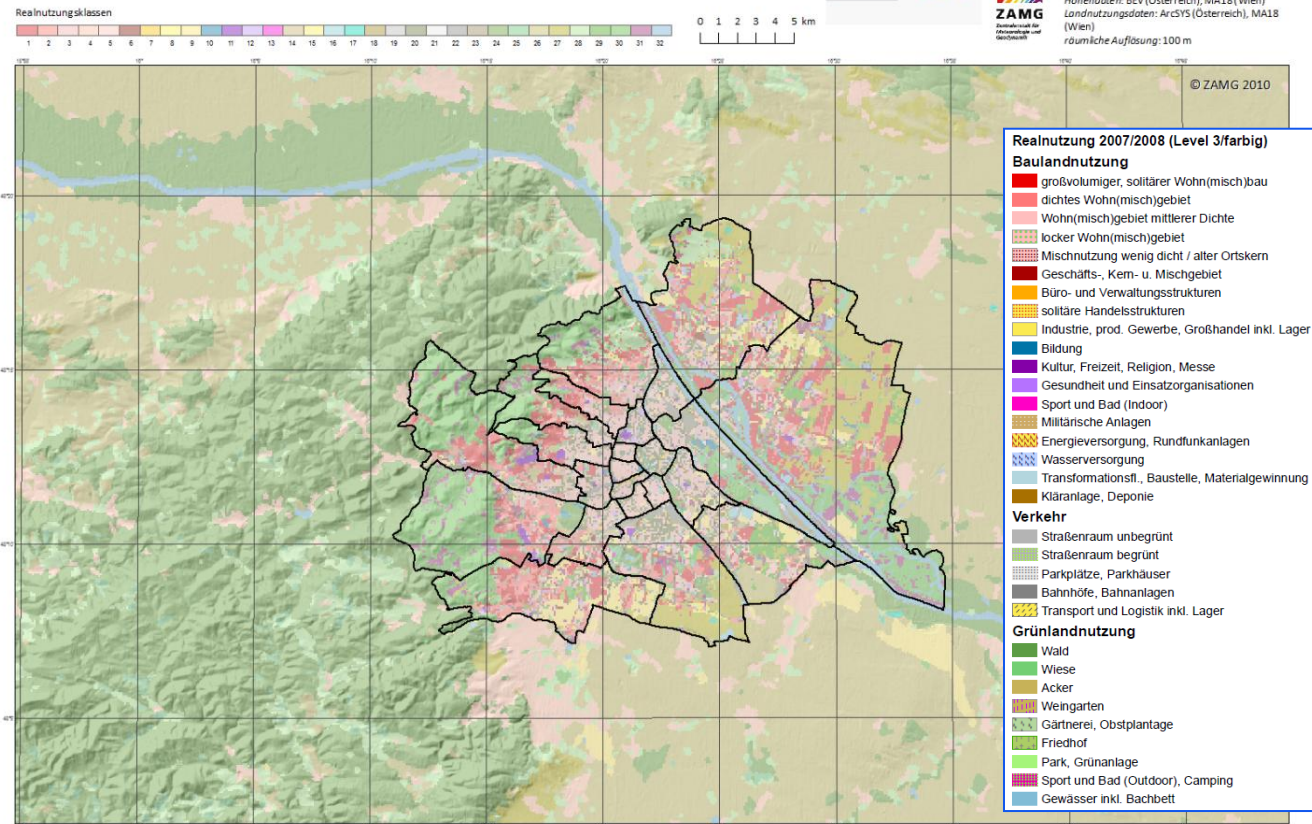
Wien:

32 Landnutzungskategorien

DEM: 10 m Auflösung



Landnutzung 2007/2008



Die „Kuboidmethode“

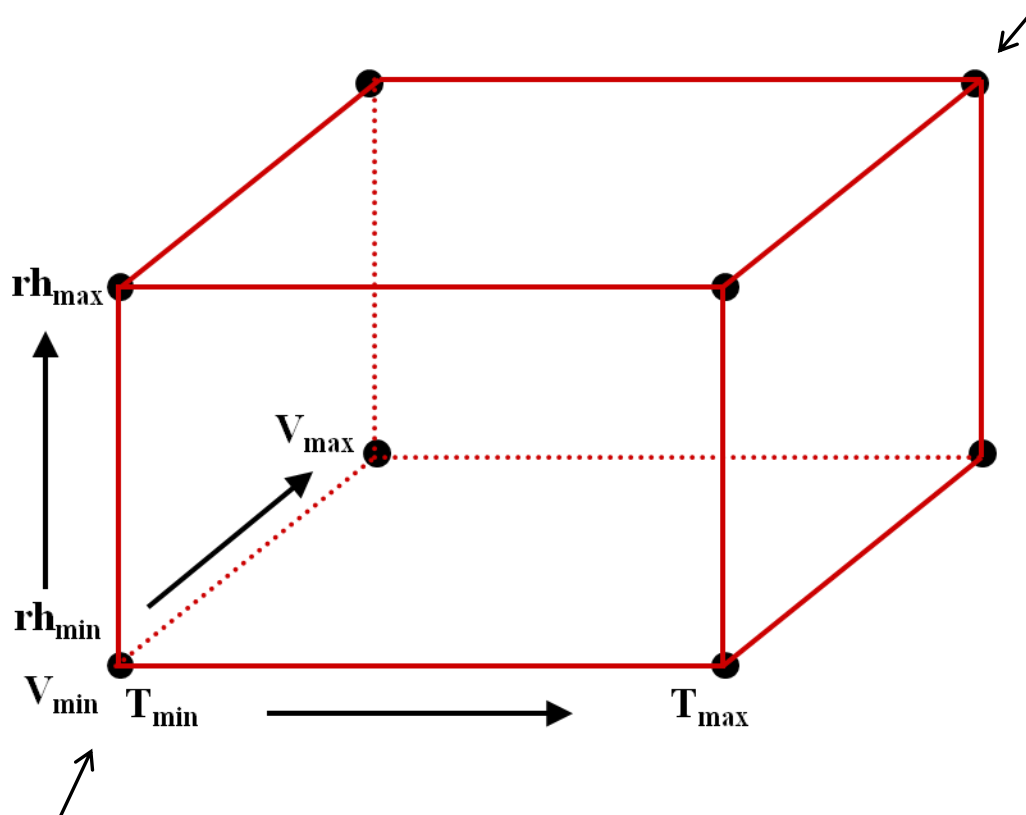
zur Berechnung von Klimaindizes

$T = 25\text{ °C}$, $r.F. = 80\%$, $v = 3\text{ m/s}$



Deutscher Wetterdienst

(Früh et al., 2010)



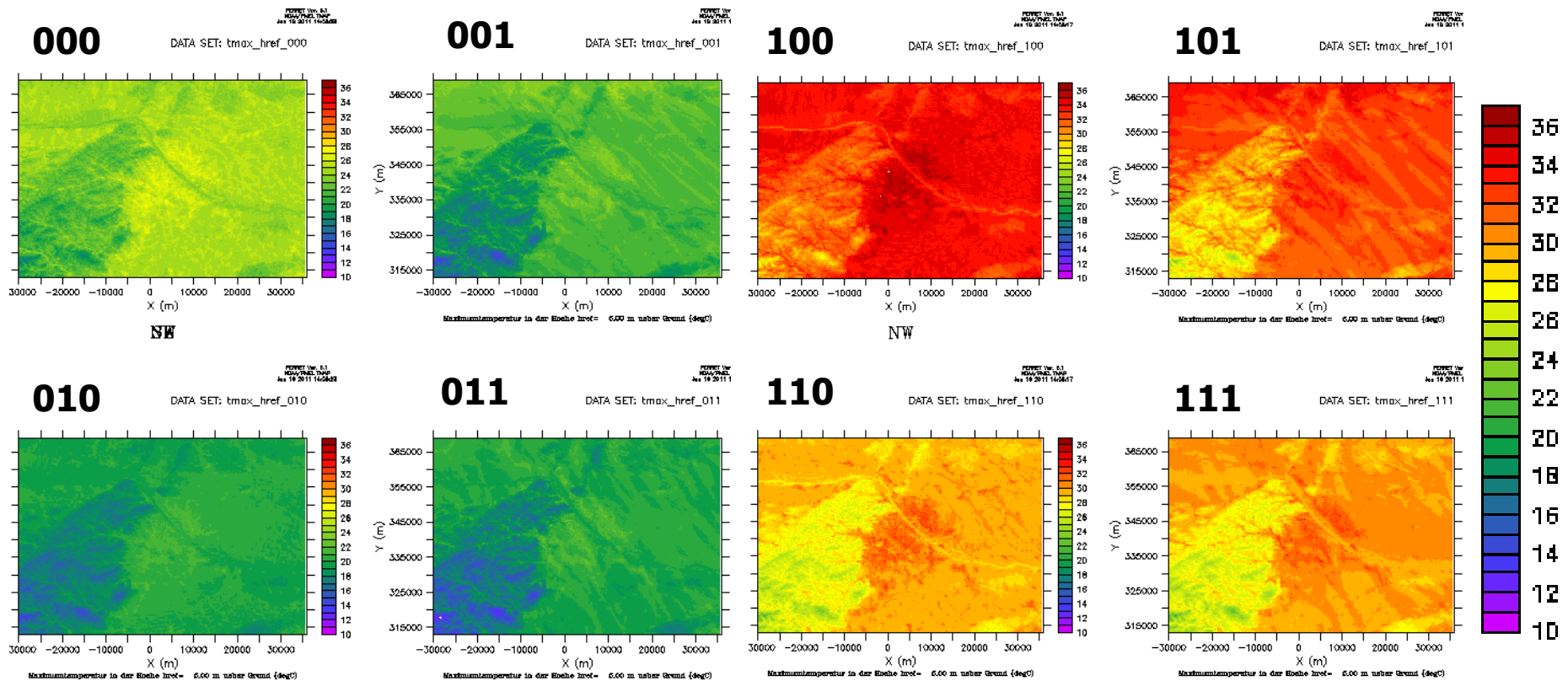
Methode:

1. MUKLIMO_3 Simulationen für jeden Eckpunkt
2. Lineare Regression zwischen den Eckpunkten in Abhängigkeit von der Referenzstation
3. Für 2 vorherrschende Windrichtungen

→ 16 MUKLIMO Simulationen

$T = 15\text{ °C}$, $r.F. = 42\%$, $v = 0.7\text{ m/s}$

MUKLIMO_3 Eckpunktsimulationen - Maximumtemperatur



Referenzstation Groß-Enzersdorf (1971-2000)

Bei welchen mittleren meteorologische Bedingungen an der Referenzstation ist mit einen Sommertag ($T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$) in der inneren Stadt zu rechnen?

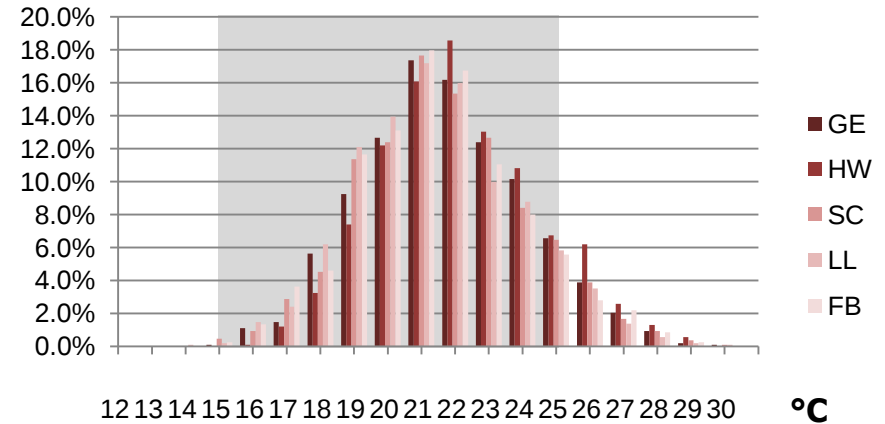
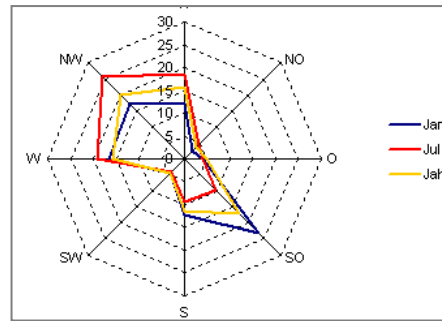
KUBOID Parameter:

Temperatur: $15^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$

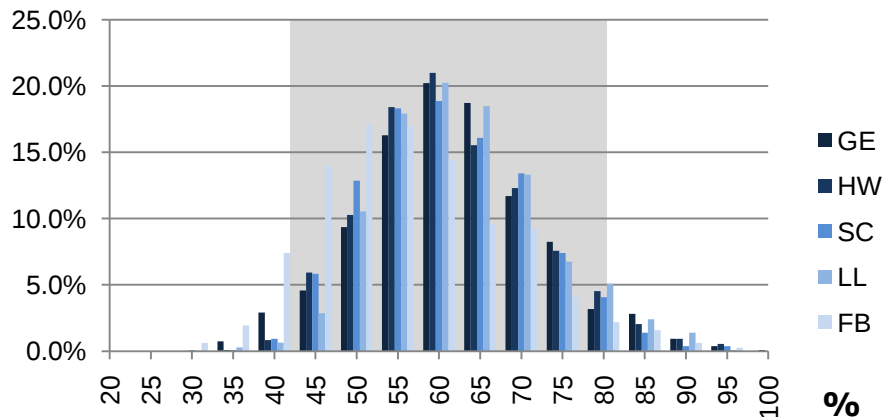
Luftfeuchtigkeit: 42% -80%

Windrichtung: NW, SE

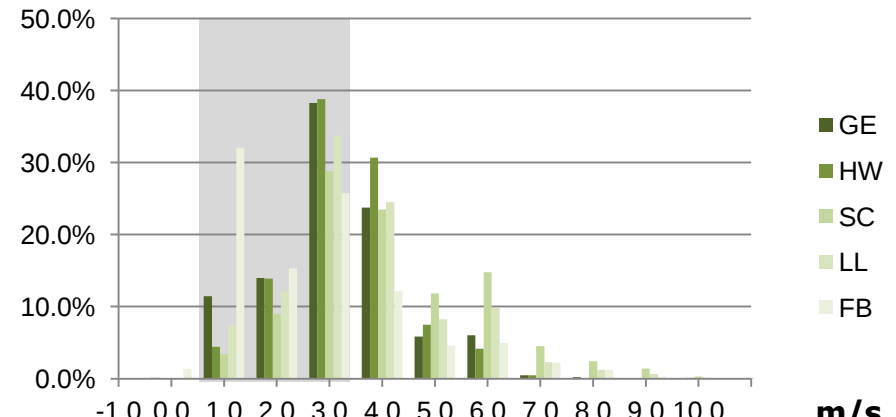
Windgeschw.: 0.7 m/s – 3 m/s



Temperatur

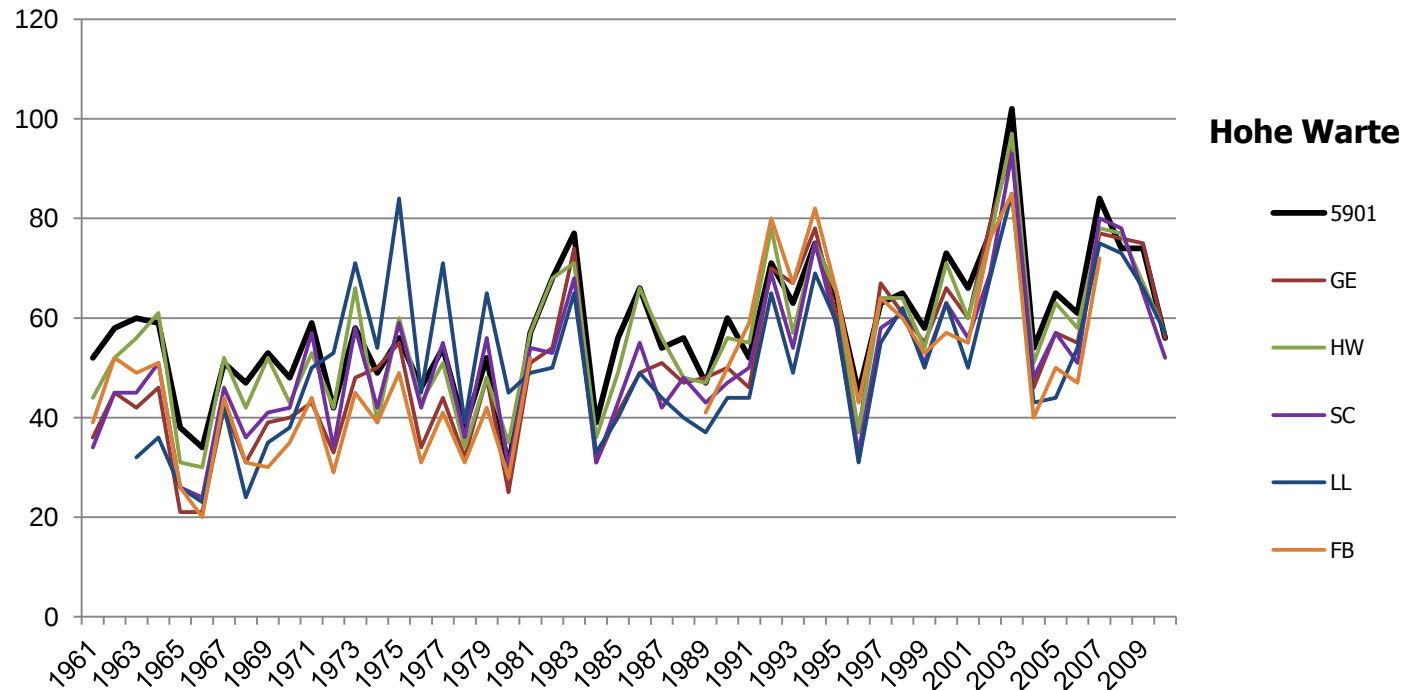


Luftfeuchtigkeit



Windgeschwindigkeit

Zeitreihen der Anzahl der Sommertage pro Jahr



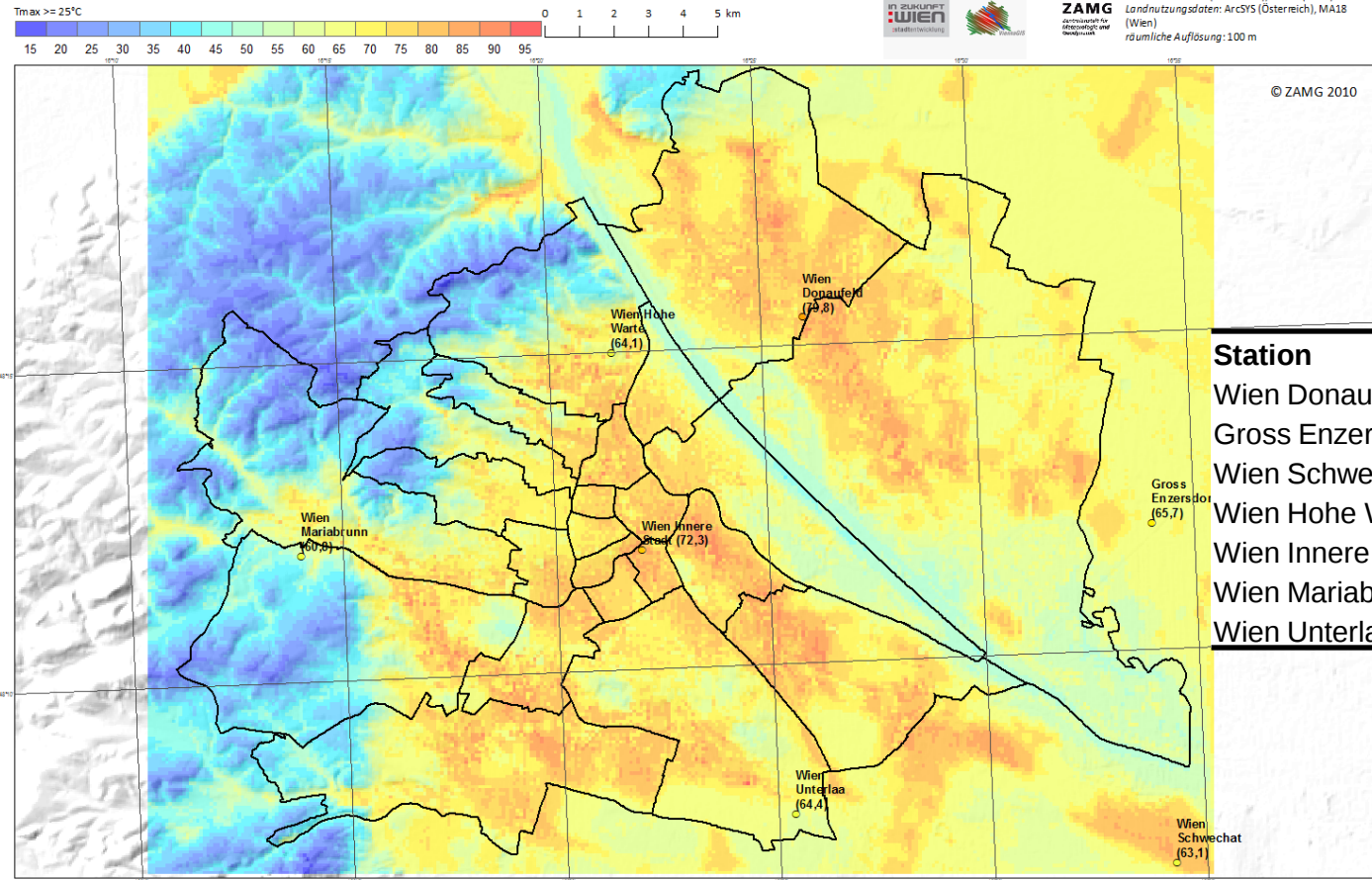
	5901	GE	HW	SC	LL	FB	dGE	dHW	dSC	dLL	dFB
1961-1990	52,1	42,4	49,6	44,8	45,9	39,1	-18,7%	-4,9%	-14,1%	-12,0%	-25,0%
1971-2000	56,4	50,5	54,8	50,8	52,5	50,1	-10,5%	-2,8%	-9,9%	-7,0%	-11,2%
1981-2010	64,1	59,3	61,9	56,8	53,8	59,9	-7,5%	-3,3%	-11,3%	-16,1%	-6,5%

Ergebnisse von Wien

Sommertage: 1981-2010

MUKLIMO Szenario Vtest_100m_101012

$T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$



Station	Beob.	Modell	Diff.
Wien Donauefeld	79,8	76,9	-4%
Gross Enzersdorf	65,7	64,6	-2%
Wien Schwechat	63,1	79,4	26%
Wien Hohe Warte	64,1	64,2	0%
Wien Innere Stadt	72,3	78,3	8%
Wien Mariabrunn	60,8	61,8	2%
Wien Unterlaa	64,4	61,4	-5%

Vergleich mit Satelliten- und Thermalbildern

Surface temperature 09.09.2008

MODIS satellite (md_a1_20080909)

ZAMG Messstationen (tmax 20080909)

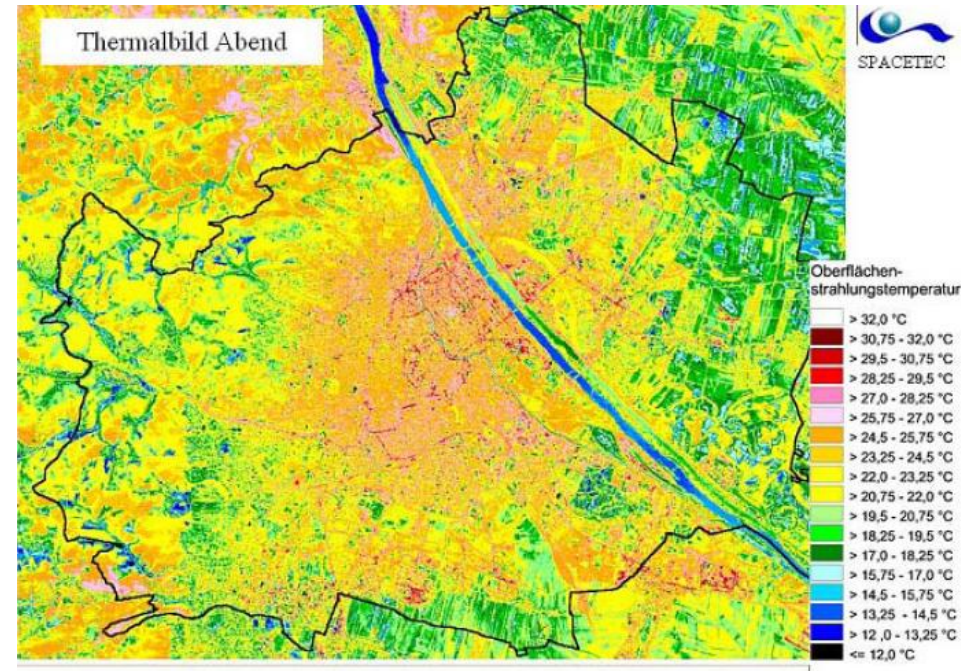
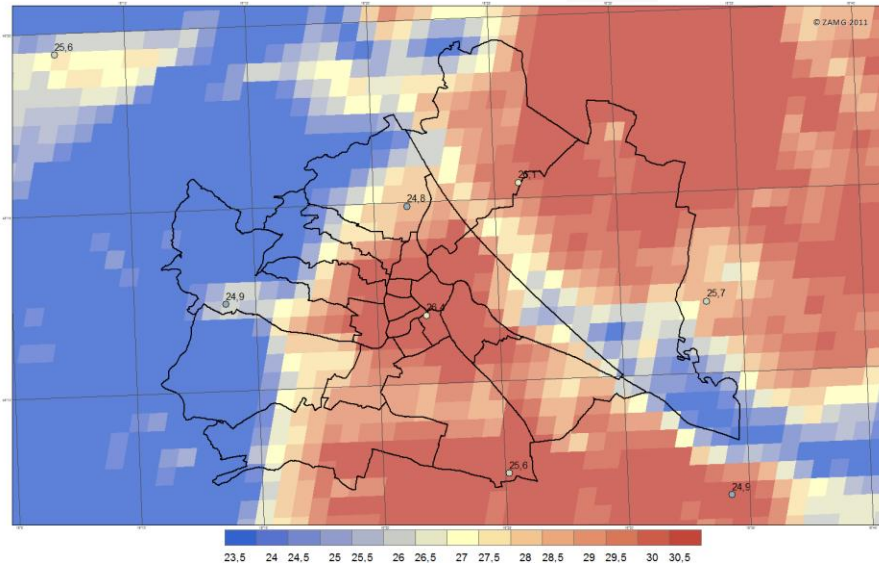


Abbildung 19: Thermalbefliegung 15.08.2001 abends 21 Uhr MEZ

(Mursch-Radlgruber et al., 2009)

Temperatur Messfahrt 11.09.2008

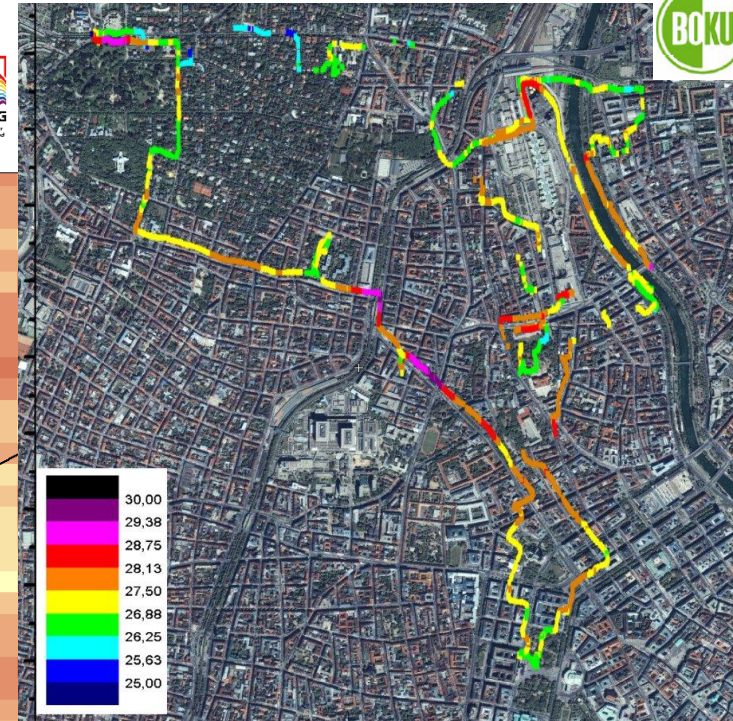
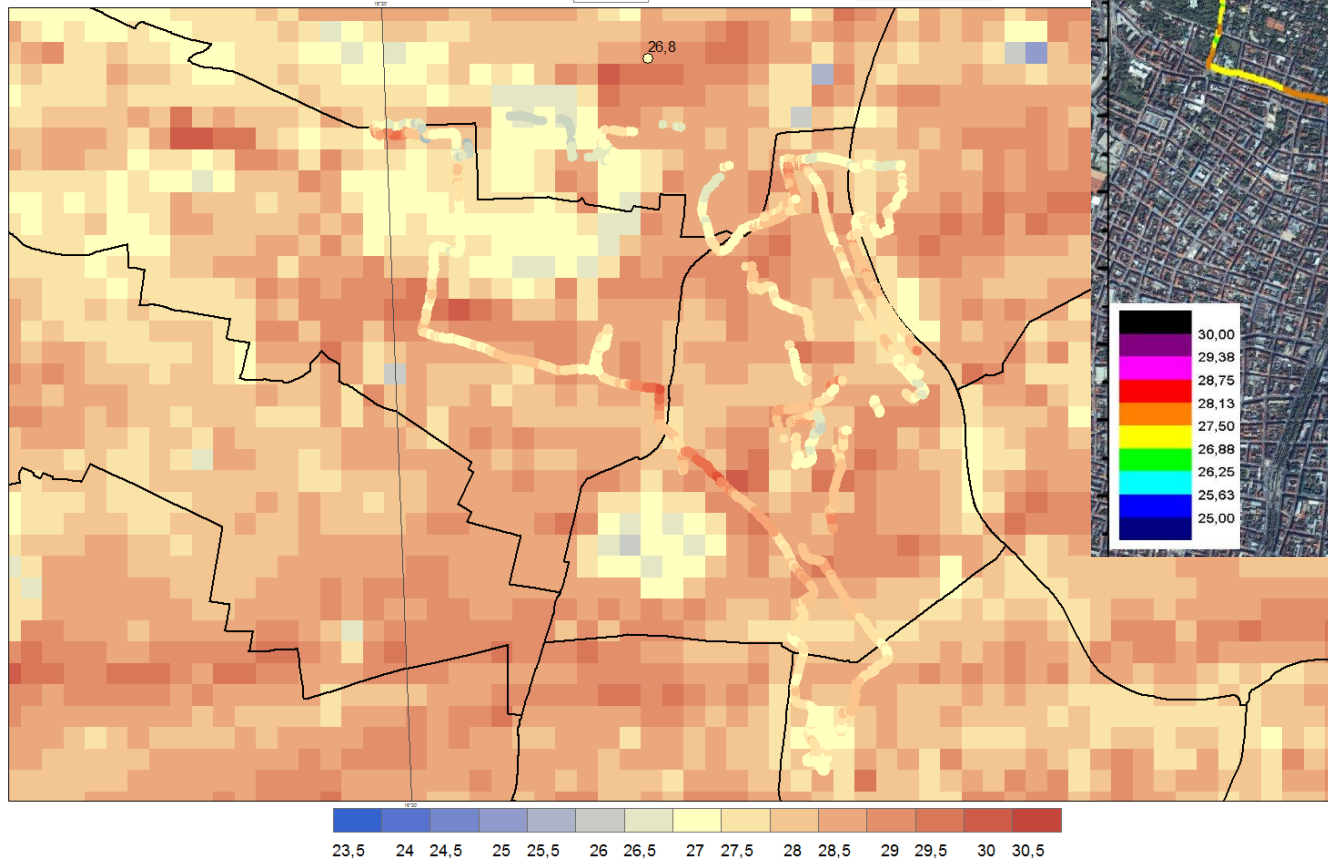
Surface temperature 11.09.2008

MUKLIMO t_href 12:00

BOKU Messfahrt 12:08 - 14:25



0 100 200 300 400 500 Meters



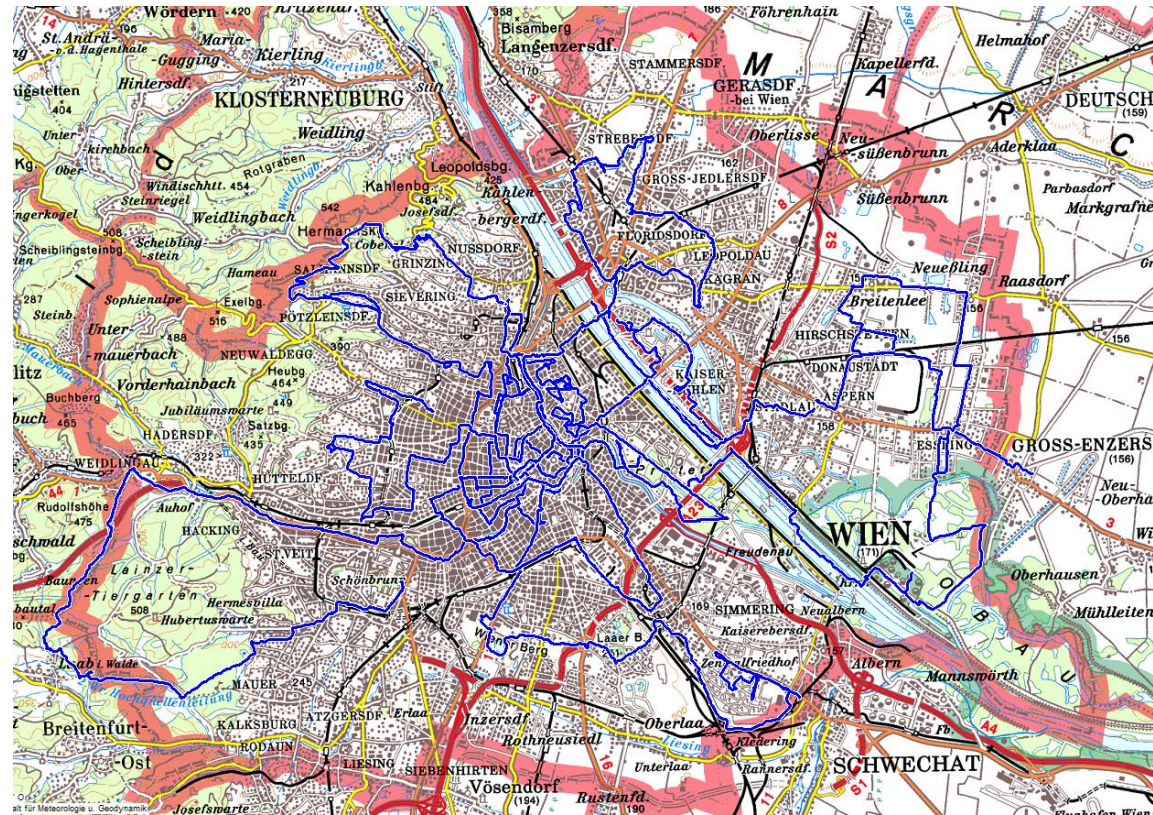
Modellvalidierung

Motivation:

- Validierung der Temperaturverteilung der MUKLIMO_3 Simulationen
- Auswertung der Hitzebelastung in Wien
- Verdichtung des Stationsmessnetz
- Optimierung der Landnutzungsparameterisierung im MUKLIMO_3 Modell

Messfahrt am 07. Juli 2011 (14:00 – 16:00)

- 11 Fahrradrouten durch Wien
- 15-30 km pro Route, mehr als 300 km
- ~16 000 Temperaturmessungen an einem Hitzetag



Messgeräte

iButton -Temperatur Logger (5 s)



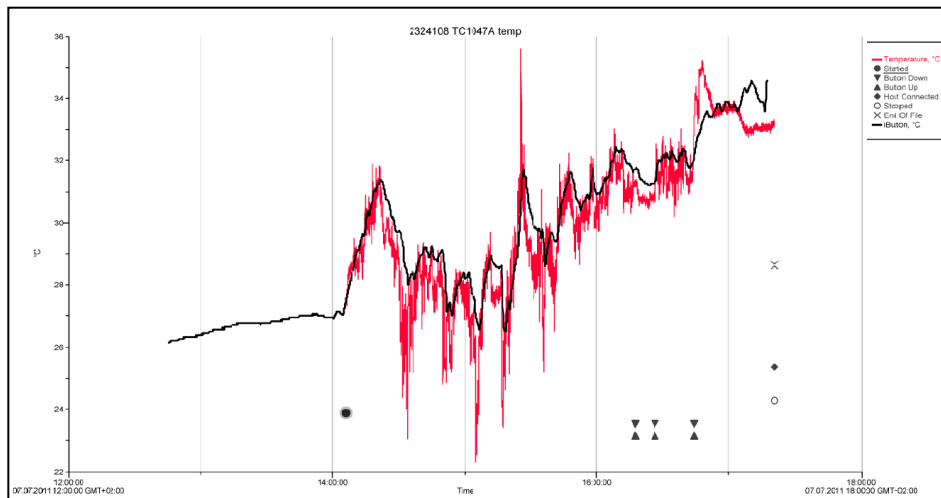
Befestigung auf Fahrradrahmen mit Strahlungsschutz



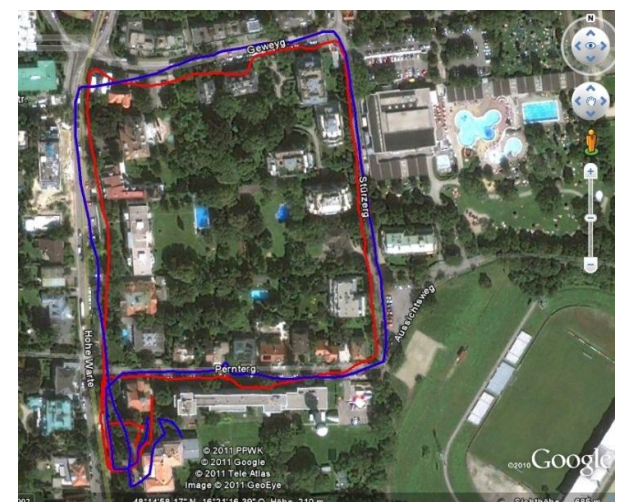
GPS Geräte



iButton vs. HOBO Temperatursensor



GPS vs. Smartphone

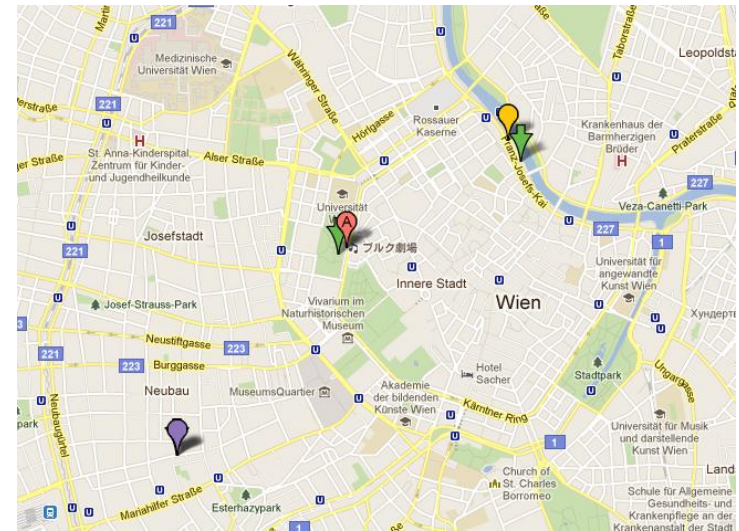


Zusätzliche Stationen in der Stadt

iButton mit Strahlungsschutz



- Tagesgang der Temperatur
- 24 Stunden, Aufnahme jede 10 Minuten



Donaukanal



Rathauspark



Lindengasse, 7. Bezirk



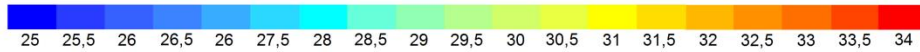
Routenplanung

1. **Wienerwaldroute** – Bebauung vs. Wald, Höhengradient
2. **Oasen im 2ten** – Parkanlage in der Stadt
3. **Inseltour** – Wasserflächen, Bebauung
4. **Cityschnecke** – dichte Bebauung
5. **Transdanubien Nord** – Wohn- und Industriegebiet, Parkplätze
6. **Lobau Tour** – Wasser und Waldgebiete, Industrieanlage
7. **Friedhofstour** – Friedhof, Bahnanlagen,
8. **Haute Volee Tour** – Park und Wald, lockere Bebauung, Höhengradient, Wienertal
9. **Bahnhofstour** – Bahnhöfe und Bahnanlage, dichte Bebauung
10. **Telefonwegtour** – Agrarfläche, lockere Bebauung
11. **Vorortelinie** – Wohn(misch)gebiete

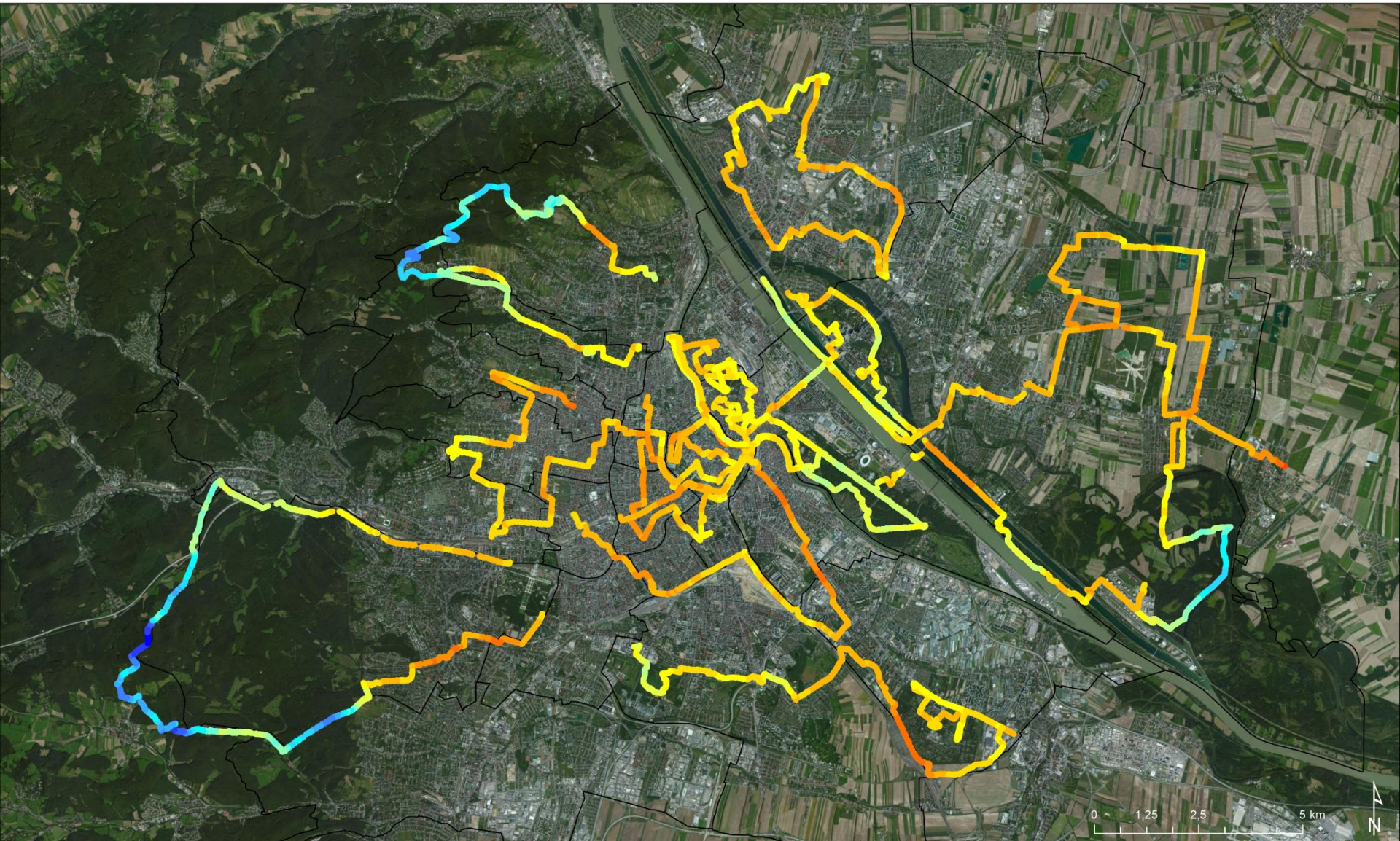


ZAMG Temperatur Messfahrten 07.07.2011 (15:00 Uhr)

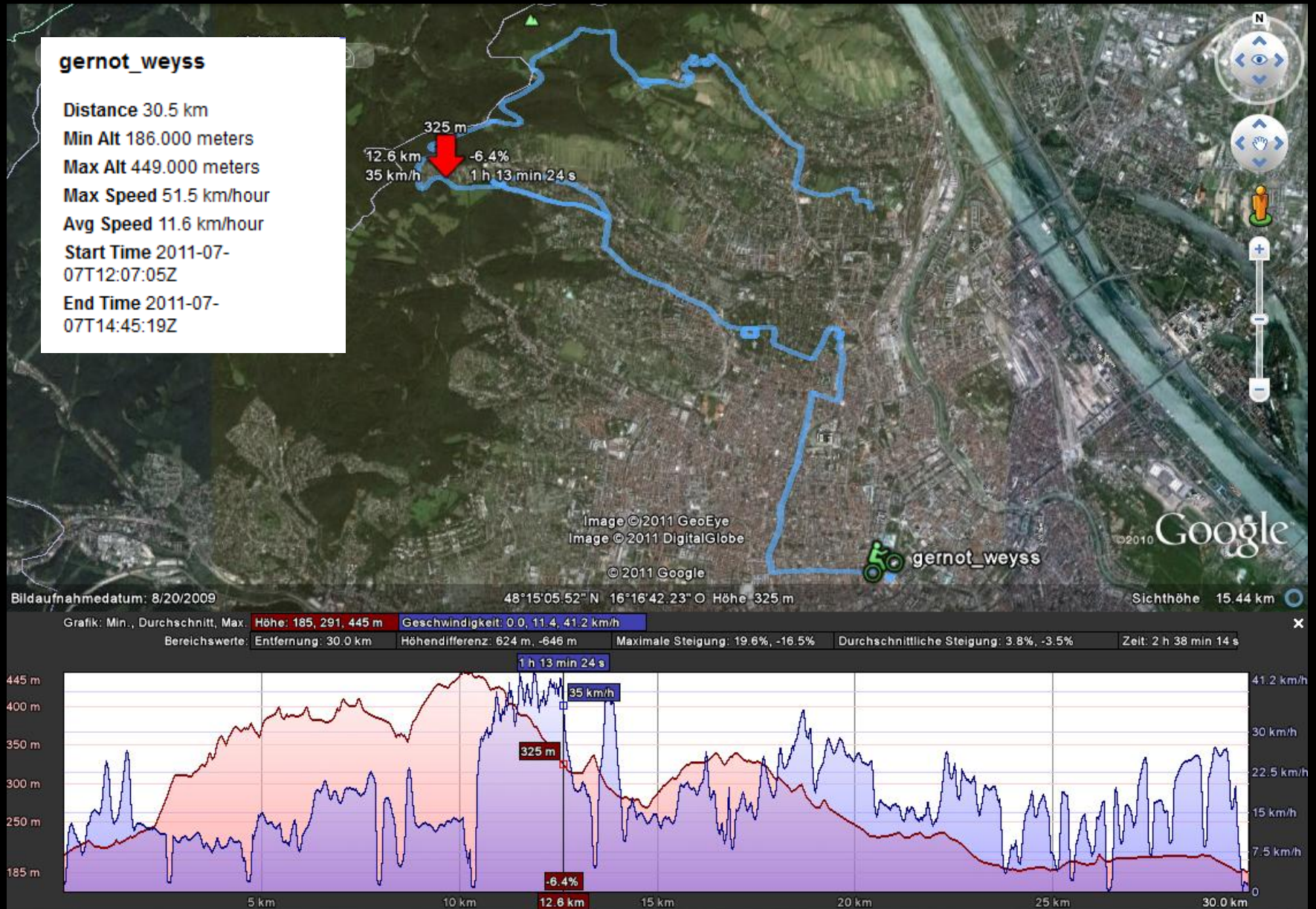
Temperatur (°C)



Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Abteilung für Klimaforschung
Bezirksgrenzen: Magistrat der Stadt Wien (MA18)
Kartengrundlage: Bing Maps Aerial



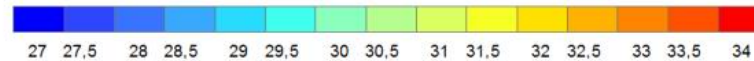
Beispiel Wienerwald Route



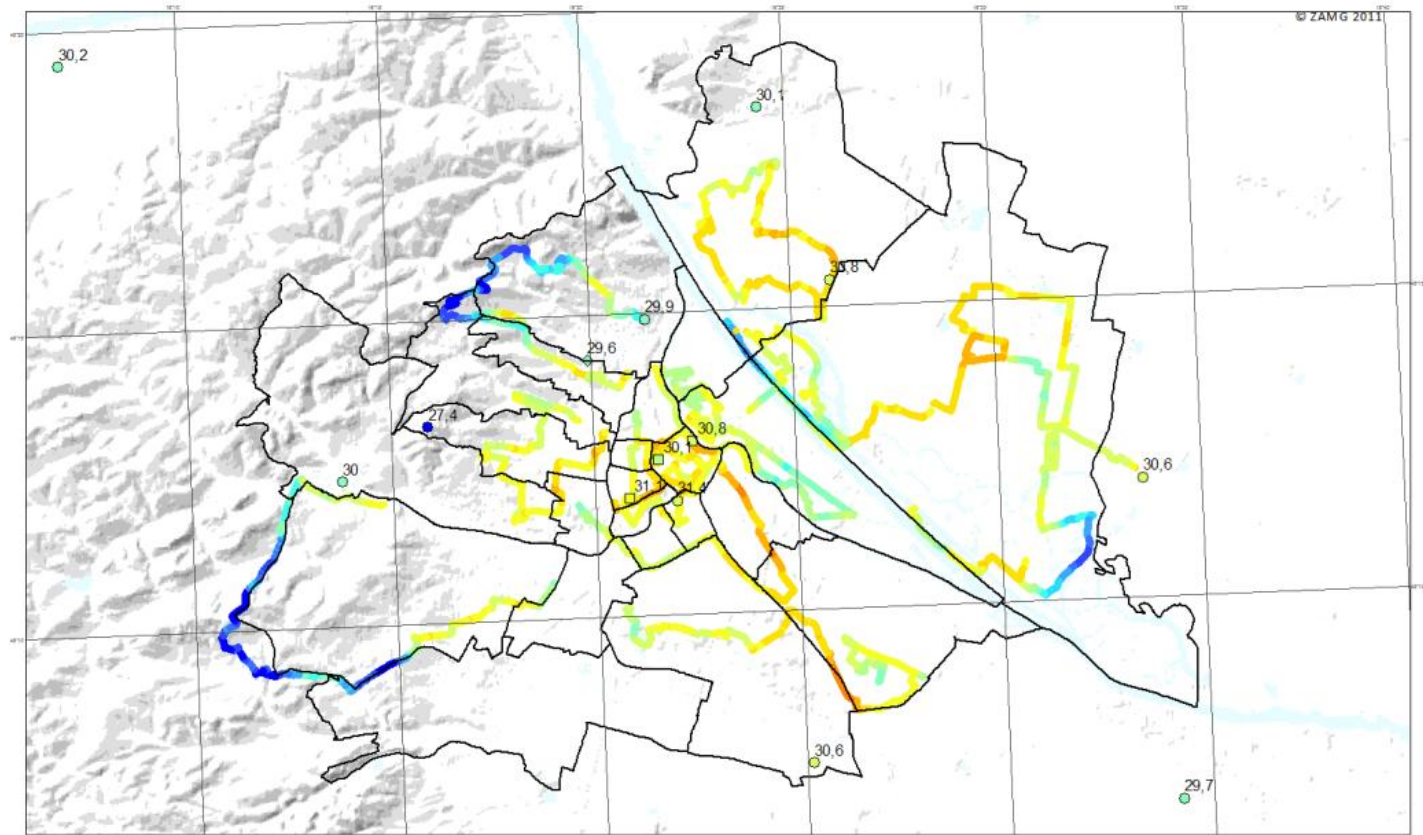
Messergebnisse

ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 14:00-16:00 MESZ

Temperatur (°C)



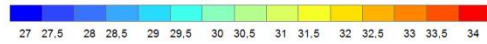
- **Gute Übereinstimmung** von stationären (permanent und vorübergehend) und mobilen Messungen
- **Höchste Temperaturen** wurden auf großen Straßen gemessen
- Lobau und Wienerwald ähnlich **niedrige Temperaturen**



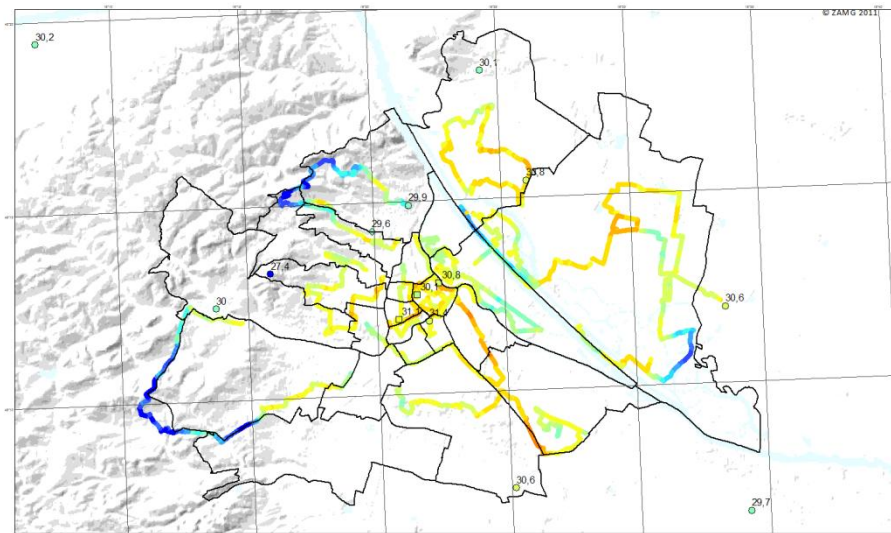
Vergleich Messungen - Modell

ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 14:00-16:00 MESZ

Temperatur (°C)

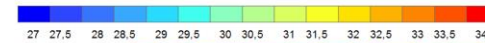


Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Abteilung für Klimaforschung
Klimamessdaten: ZAMG, BOKU
Höhendaten: BEV (Österreich)

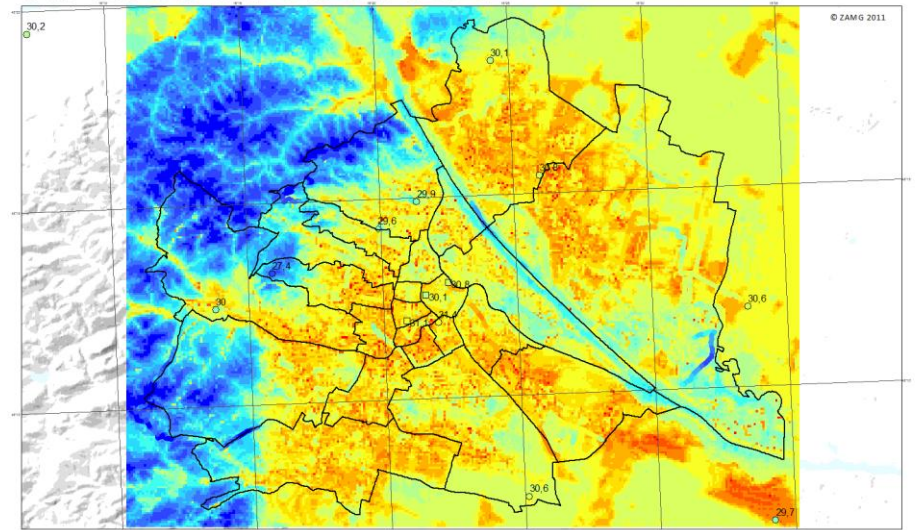


ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)

Temperatur (°C)



Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Abteilung für Klimaforschung
Simulationsdaten (15:00 MESZ): ZAMG, BOKU
Höhendaten: BEV (Österreich)

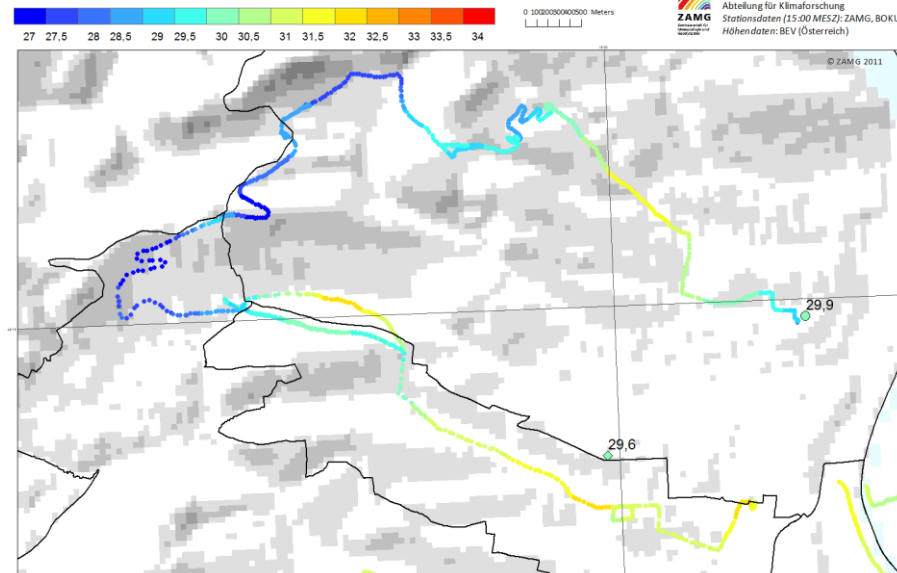


- **Höhengradient** stimmt gut überein
- **Straßeneffekt** in Messungen stark sichtbar
- Generell ist die Simulation etwas zu warm
- Speziell in der **Lobau** sind die Messungen viel **kühler**
- **Transdanubien** ähnlich **warm** wie Zentrum (während Tag)

Die „Wienerwald Route“

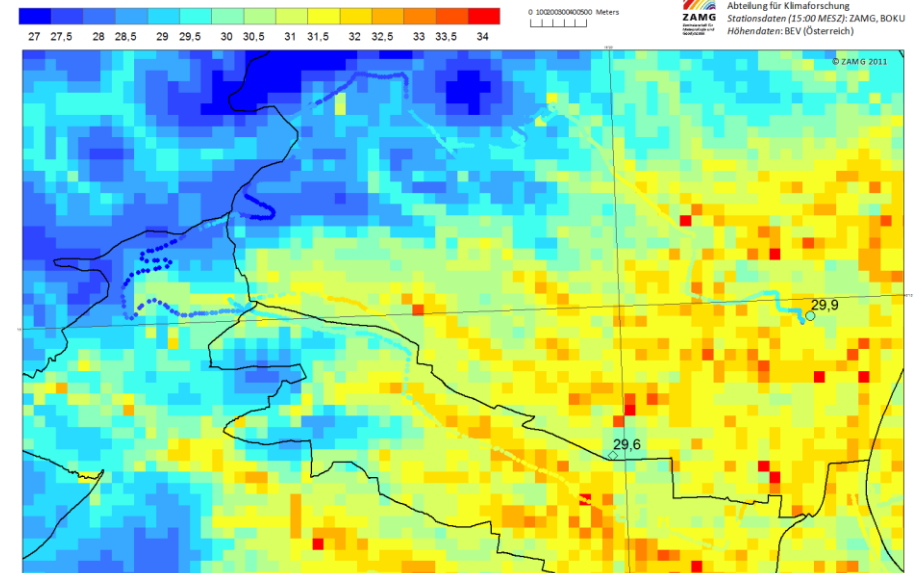
ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)

Temperatur (°C)



ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)

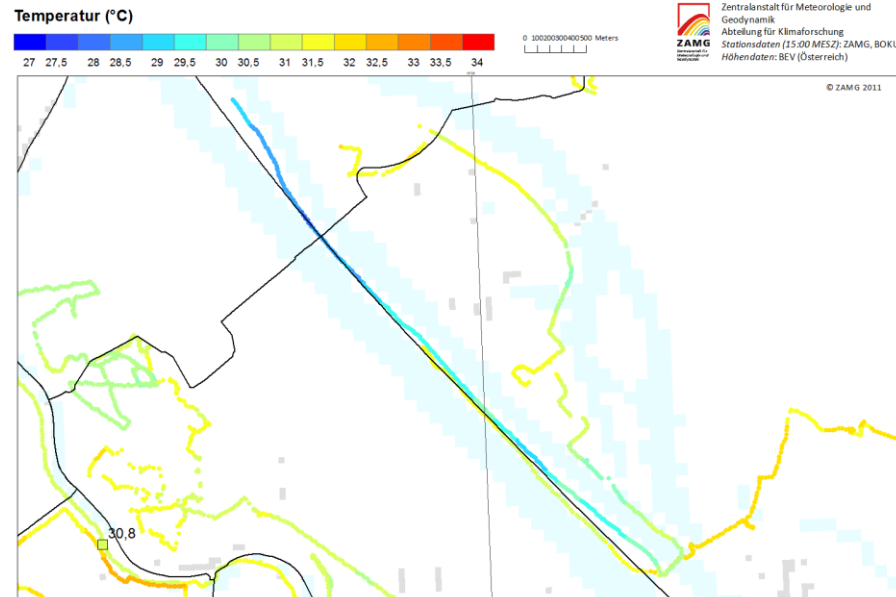
Temperatur (°C)



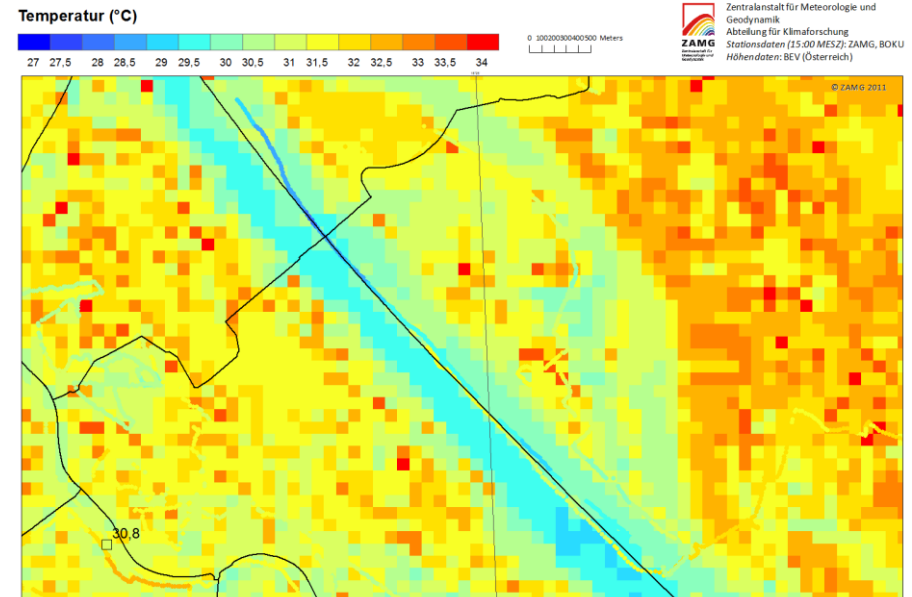
- **Höhengradient** stimmt gut überein
- Effekt von Bebauung und grünen Flächen gut sichtbar
- **Unterschiede zwischen Pixeln** zu groß → Anpassung der Landnutzungsparameterisierung
- Optimierung des vertikalen und horizontalen Austausches im Modell

„Oasen im 2ten“ und „Inseltour“

ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)



ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)

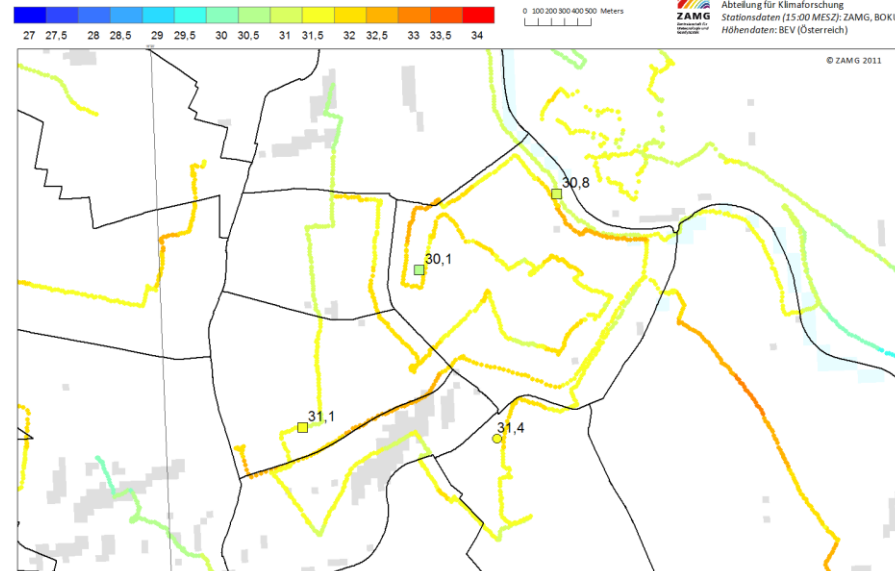


- Abkühlung durch **Parks** gut sichtbar (z.B. Augarten)
- Deutlicher Einfluss von **Wasserflächen** (Donaukanal, alte und neue Donau)
- **Unterschiede zwischen Pixeln** zu groß

„Cityschnecke“

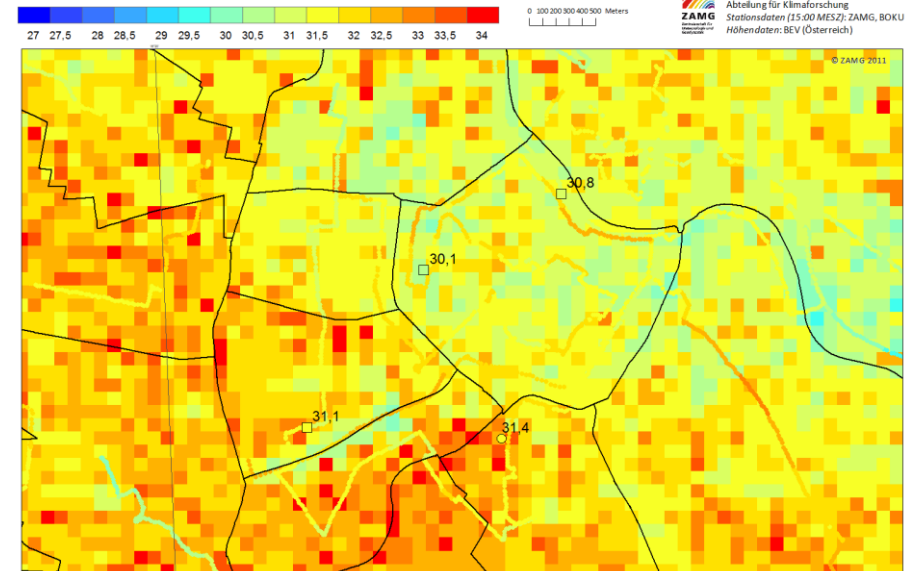
ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)

Temperatur (°C)



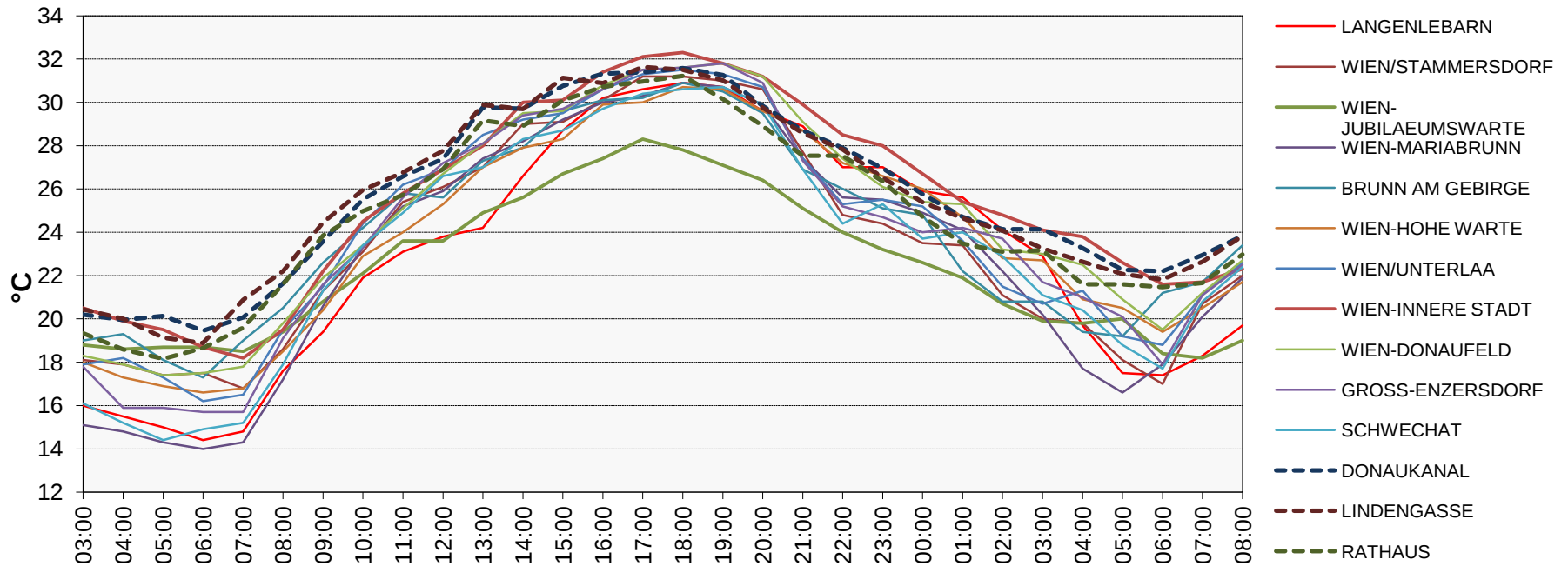
ZAMG Temperatur Messfahrt 07.07.2011 (14:00-16:00 MESZ)

Temperatur (°C)

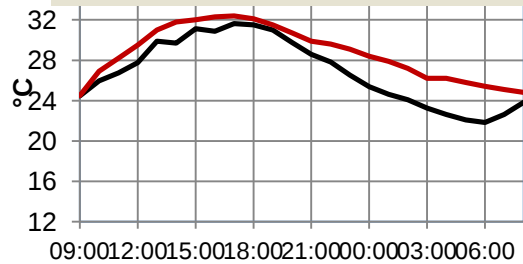


- Gering Temperaturunterschiede bei Messungen
- Gute Übereinstimmung zwischen mobilen und stationären Messungen
- **Straßenzüge gut sichtbar**
- Beschattungseffekt in Simulation sehr deutlich

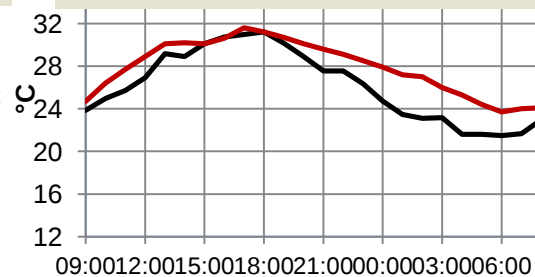
Temperatur Tagesgang



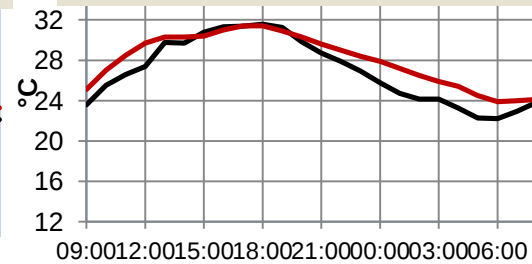
Wien Lindengasse



Wien Rathauspark



Wien Donaukanal



Zusammenfassung

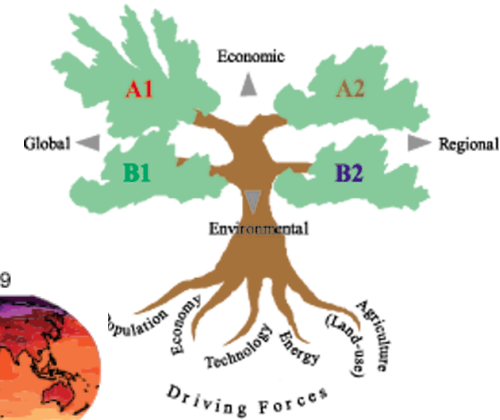
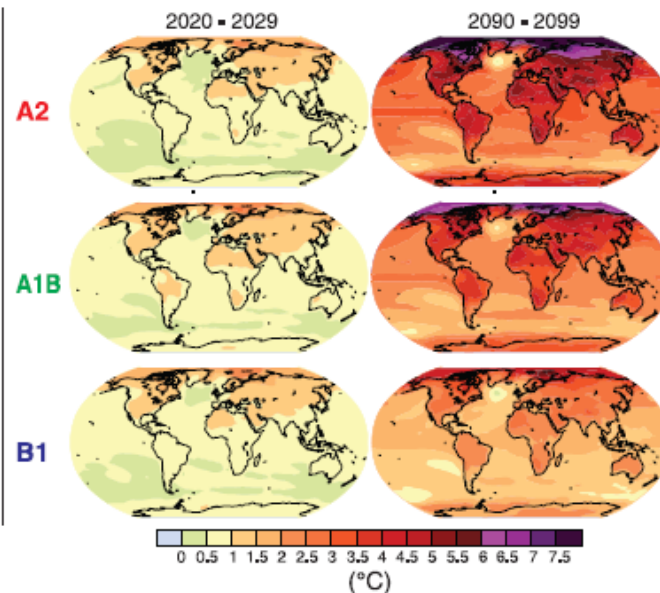
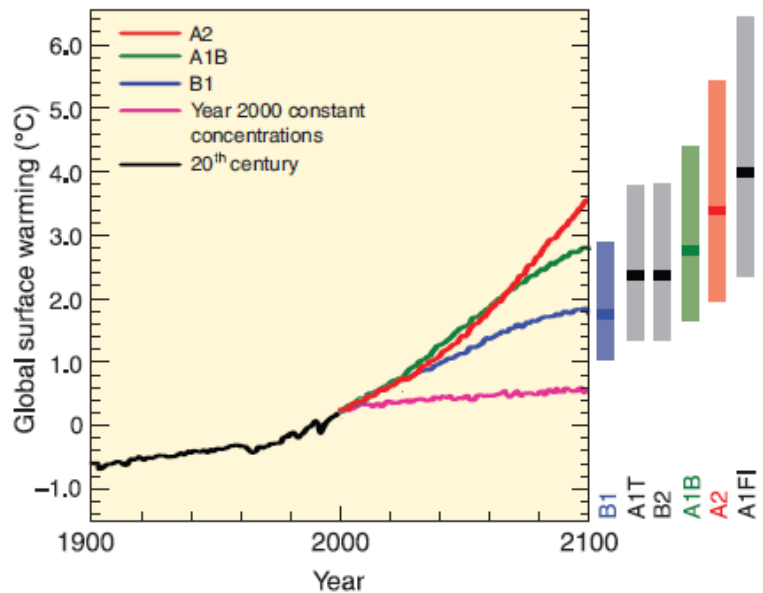
- Simulationen der Maximumtemperatur für Wien und Umgebung mit dem Stadtklimamodell MUKLIMO_3 zeigen gute Übereinstimmung mit Beobachtungen
- Mobile Messungen bestätigen starke räumliche Temperaturgradienten
- Grenzen bei Modellvalidierung:
 - Modell: 100 m Auflösung, unaufgelöste Bebauung, Parameterisierung der Prozessen
 - Messungen: iButton-Reaktionszeit, Messungen auf gr. Strassen, mikroskallige Prozesse
- Untersuchung der flächenhafte Minimumtemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit sind zur weiteren Modellverbesserung geplant

Klimawandel und Klimazukunft

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change



Atmosphere-Ocean General Circulation Model projections of surface warming



Im 20. Jahrhundert hat sich die globale Mitteltemperatur um knapp 1°C erhöht.

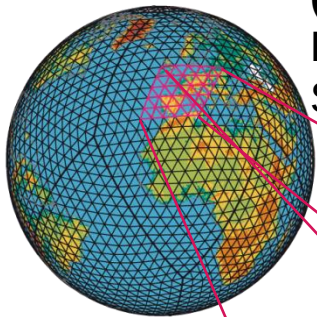
Durch die anthropogene Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts wird sich die globale Mitteltemperatur in diesem Jahrhundert um 2.9°C (1.8-4.0°C) erhöhen.

Downscaling der Klimaprojektionen

Globale Klimamodelle

(~100 km)

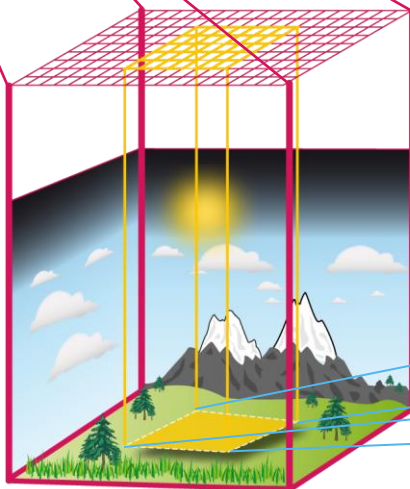
Reanalyse, ECHAM5 + IPCC
Szenarien



Ensemble – Regionale Klimamodelle

(~10 km)

REMO, CLM, WETTREG, STAR

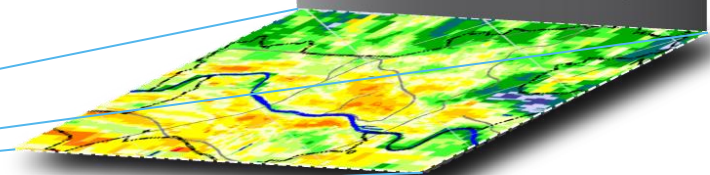


Deutscher Wetterdienst

Stadtklimamodell

(~100 m)

MUKLIMO_3

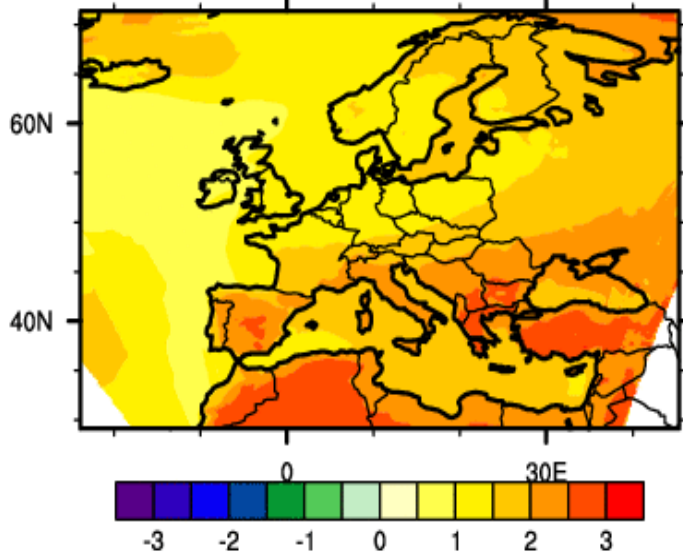


(Sievers, 1990; 1995; Fröh et al., 2010)

Klimasimulationen für Europa und Alpenraum

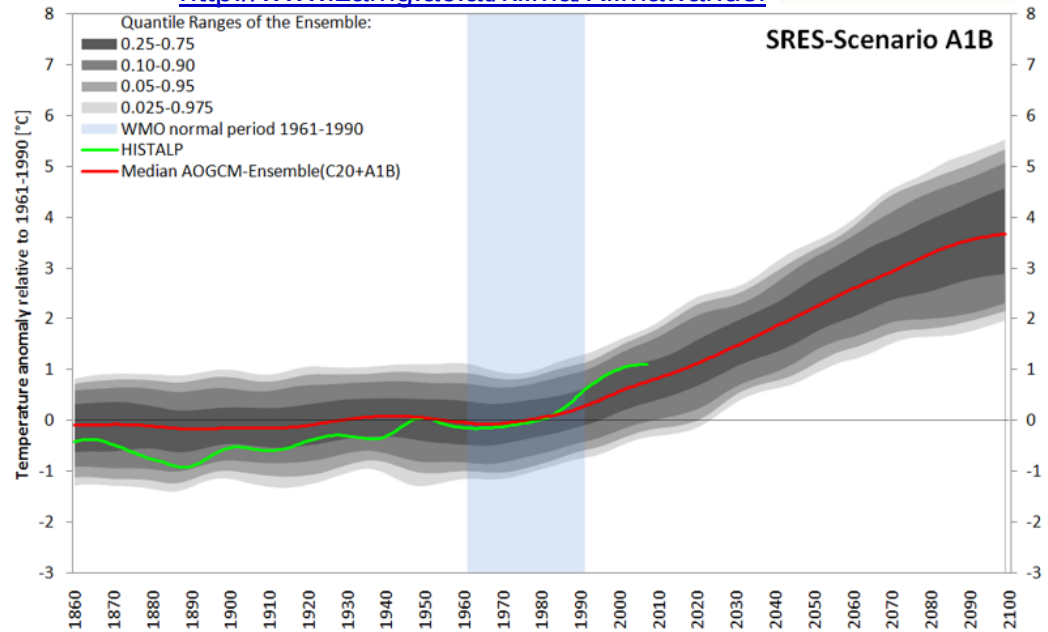


Mean changes JJA



Mögliche zukünftige Änderung der Sommer Temperatur (°C) 2030-2050 im Vergleich zu heute (1961-2000). (ENSEMBLES 2010)

<http://www.zamg.ac.at/klima/Klimawandel>



Änderung des Jahresmittels der Lufttemperatur (30-jährig gefiltert) im Alpen-Großraum, bezogen auf das Mittel von 1961-1990 aus Klimamodellierungsdaten (IPCC 2007) und Messdaten.

Klimaprojektionen für Österreich

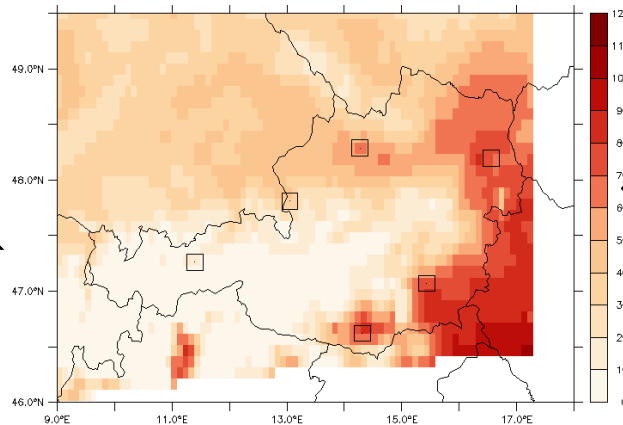


			Szenario	ERA40	CTL-C20	A1B	B1	A2
	Projekt	Model	Auflösung					
1	ENSEMBLES	C4I-RCA3-ERA40	25 km	x				
2		C4I-RCA4-HadCM3 Q16	25 km		x	x		
3		DMI-HIRHAM5-ERA40	25 km	x				
4		DMI-HIRHAM5-ECHAM5 r3	25 km		x	x		
5		DMI-HIRHAM5-Arpege	25 km		x	x		
7		ETHZ-CLM3.21-ERA40	25 km	x				
8		ETHZ-CLM3.21-HadCM3 Q0	25 km		x	x		
9		HC-HadRM3 Q0-ERA40	25 km	x				
10		HC-HadRM3 Q0-HadCM3 Q0	25 km		x	x		
11		HC-HadRM3 Q3-ERA40	25 km	x				
12		HC-HadRM3 Q3-HadCM3 Q3	25 km		x	x		
13		HC-HadRM3 Q16-ERA40	25 km	x				
14		HC-HadRM3 Q16-HadCM3 Q16	25 km		x	x		
17		KNMI-RACMO2-ERA40	25 km	x				
18		KNMI-RACMO2-ECHAM5 r3	25 km		x	x		
19		MPI-M-REMO-ERA40	25 km	x				
20		MPI-M-REMO-HadCM3 Q0	25 km		x	x		
22		SMHI-RCA3-HadCM3 Q3	25 km		x	x		
23		SMHI-RCA3-MPI-MET	25 km		x	x		
24		SMHI-RCA3-BCM	25 km		x	x		
25	CONSORTIAL LÄUFE	CCLM-Com-CCLM-ECHAM5 r1	18 km		x	x	x	
26		CCLM-Com-CCLM-ECHAM5 r2	18 km		x	x	x	
27		CCLM-Com-CCLM-ECHAM5 r3	18 km		x			
28	UBA-BFG	MPI-MET-REMO_ECHAM5	10 km		x	x	x	x
30	RECLIP	ZAMG-CCLM-ERA40	10 km	x				
31		ZAMG-CCLM-ECHAM5 r2	10 km				x	

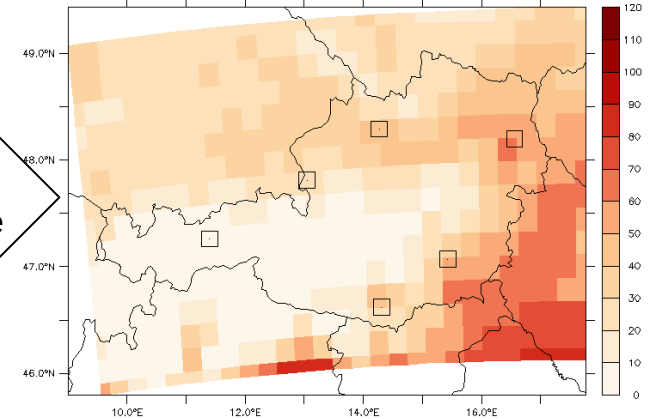
Unsicherheiten der Klimamodelle

IPCC Szenario A1B

MPI-MET_REMO_ECHAM5_r1

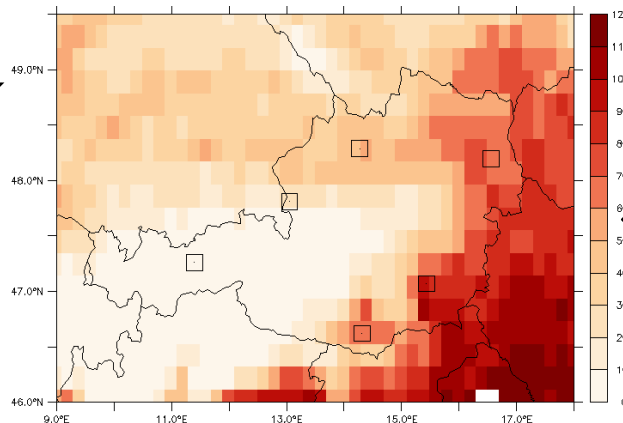


MPI-MET_REMO_HadCM3Q0

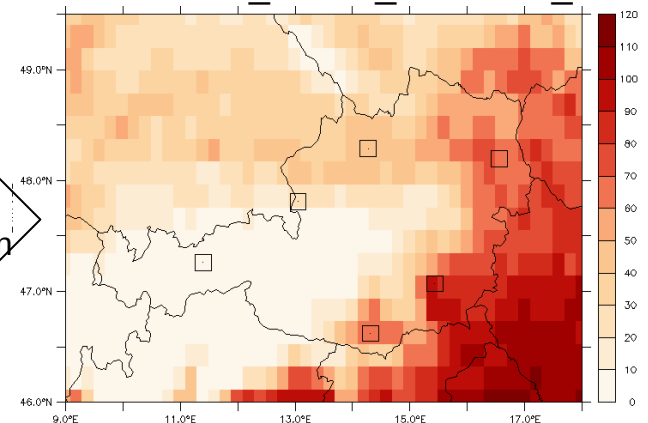


unterschiedliche
globale Klimamodelle

CCLM-Com_CCLM_ECHAM5_r1



CCLM-Com_CCLM_ECHAM5_r3



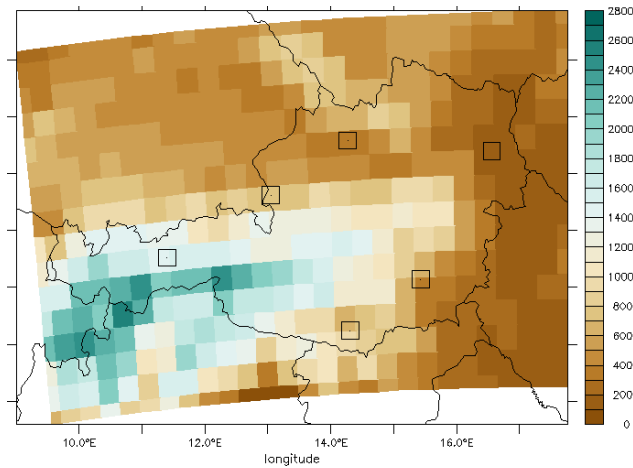
unterschiedliche
Globalmodell-Realisationen

unterschiedliche
regionale Klimamodelle

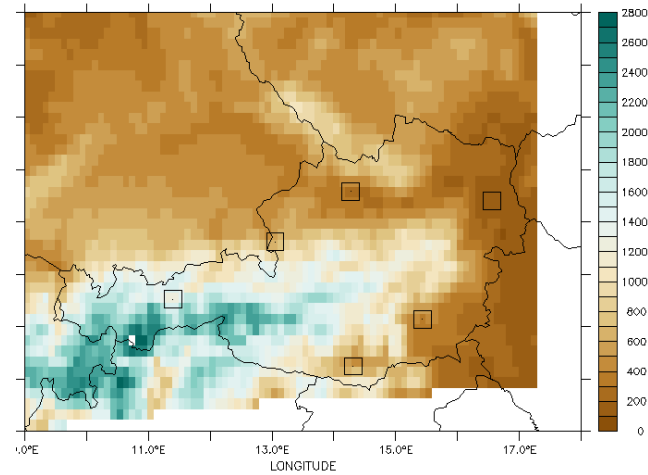
Unterschied in Abweichung, interne Variabilität und Sensitivität der verschiedenen globalen und regionalen Modellen.

Auflösung regionaler Klimamodelle

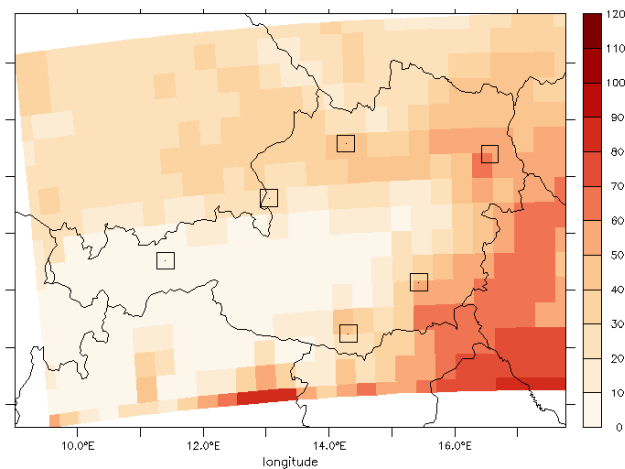
ENSEMBLES: 25 km



UBA-BFG: 10 km

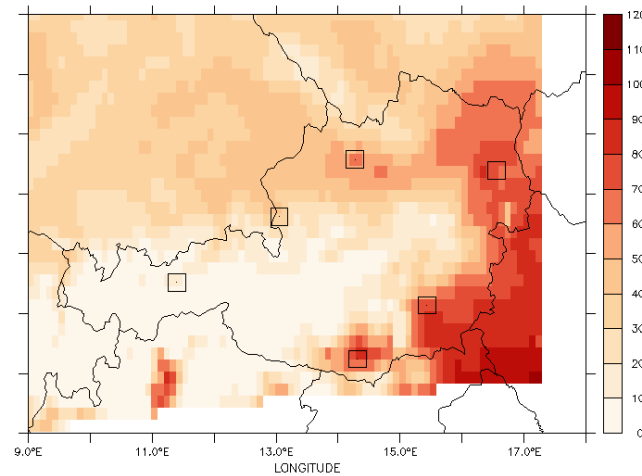


ENSEMBLES_REMO Orography (m)



ENSEMBLES_MPI-MET_REMO_HadCM3Q0_1971-2000_summerdays

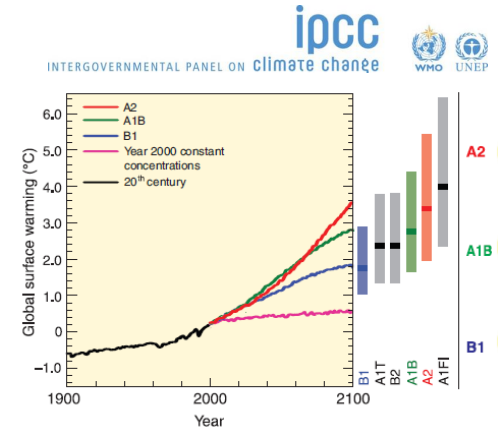
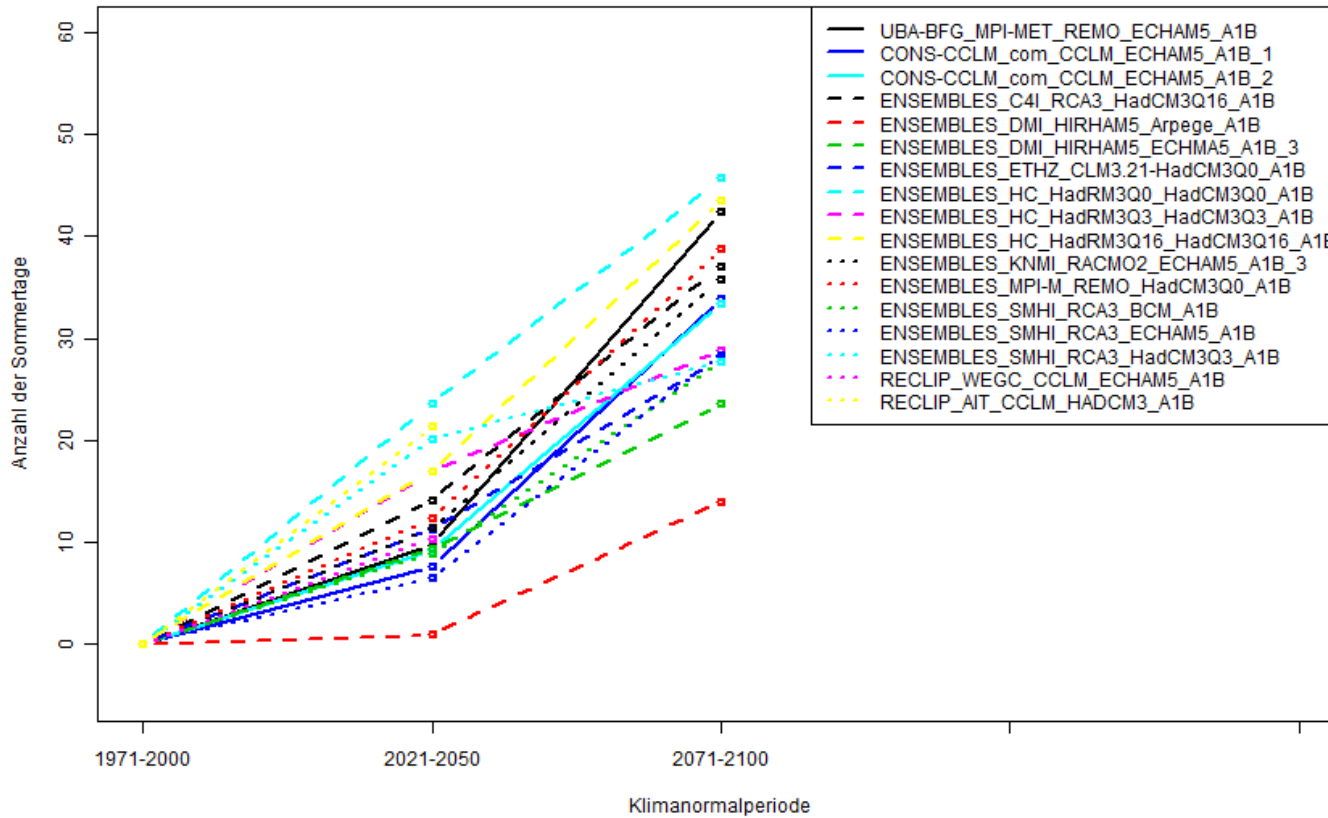
UBA-BFG_REMO Orography (m)



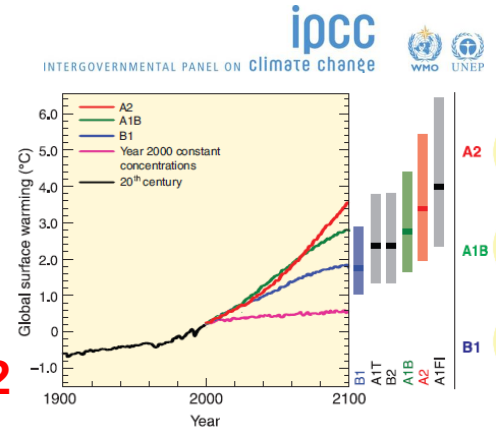
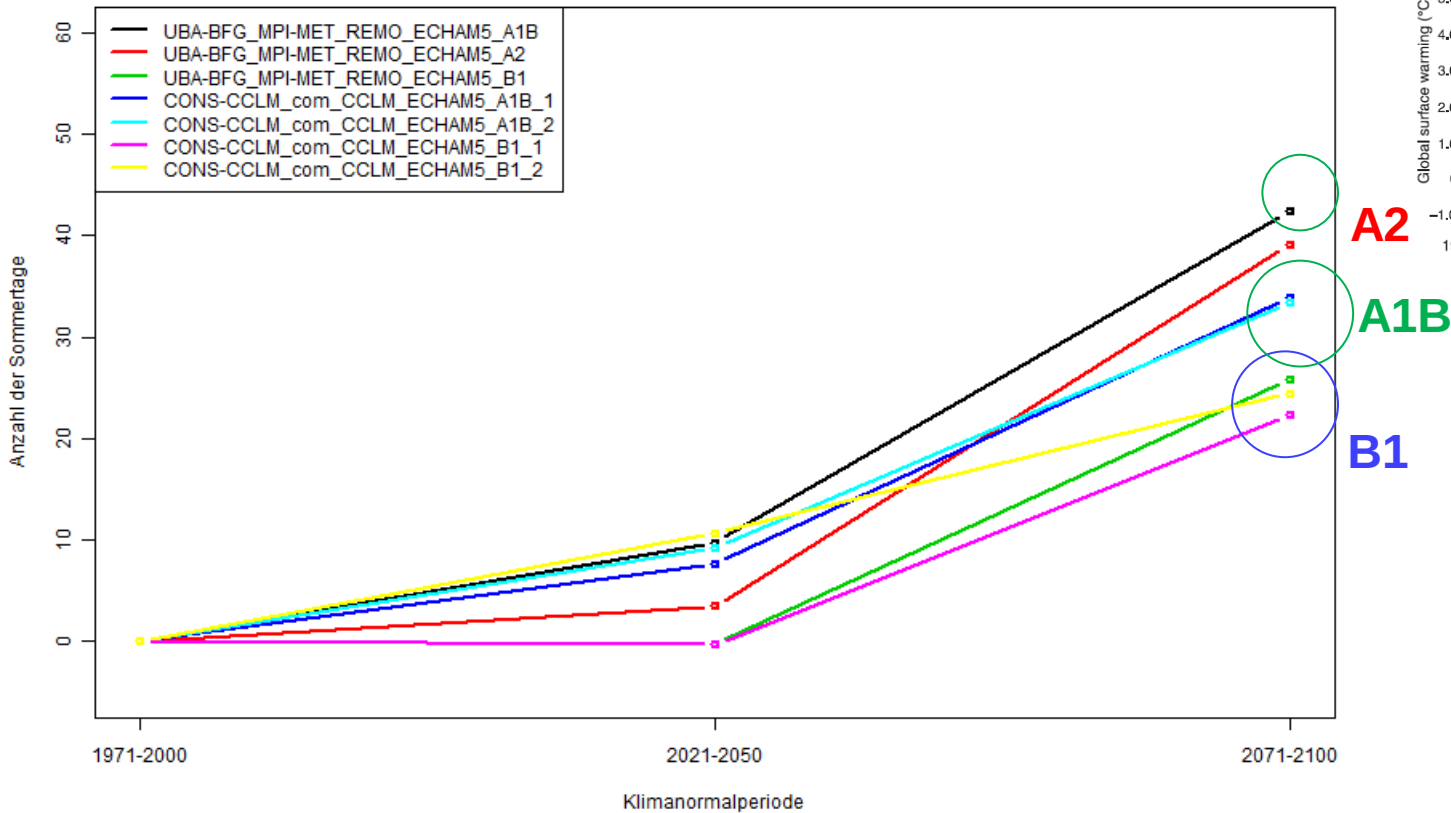
UBA-BFG_MPI-MET_REMO_ECHAM5_r1_1971-2000_summerdays

Regionale Klimasimulationen für Wien

IPCC Szenario A1B



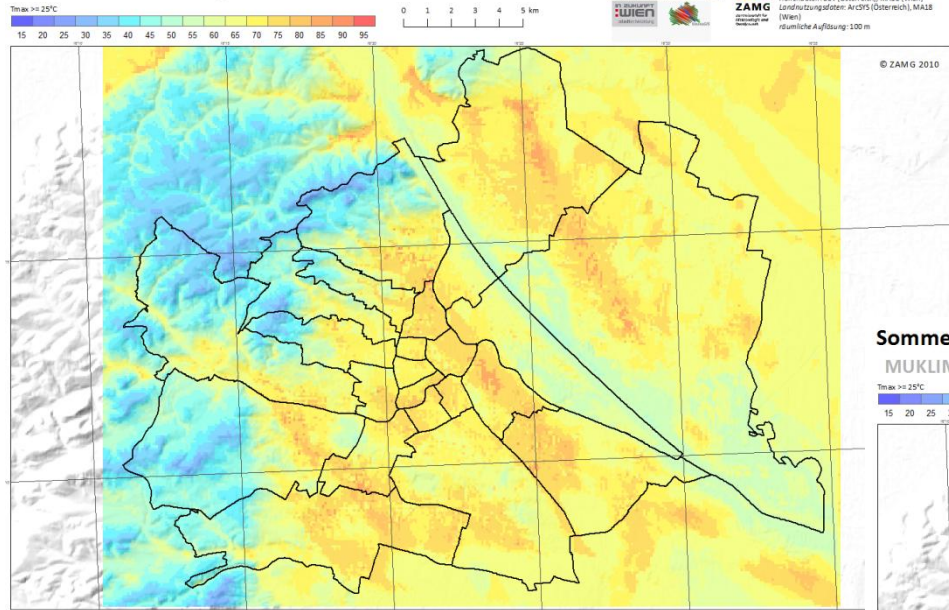
Regionale Klimasimulationen für Wien



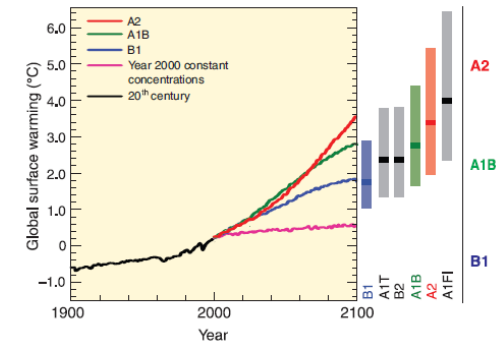
Sommertage in Wien: 2021-2050

Sommertage: 2021-2050

MUKLIMO Szenario A1B_1

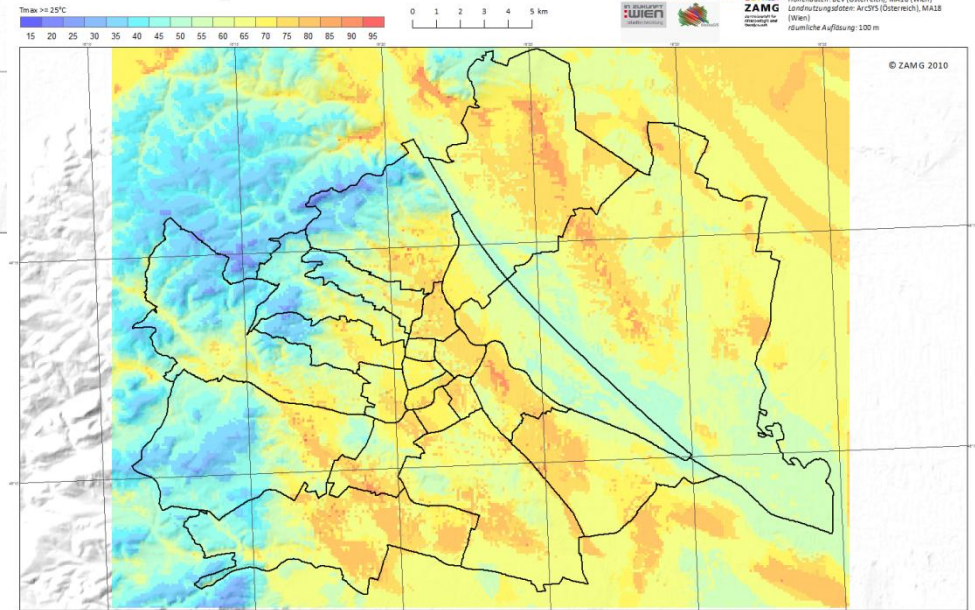


$T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$



Sommertage: 2021-2050

MUKLIMO Szenario B1_1

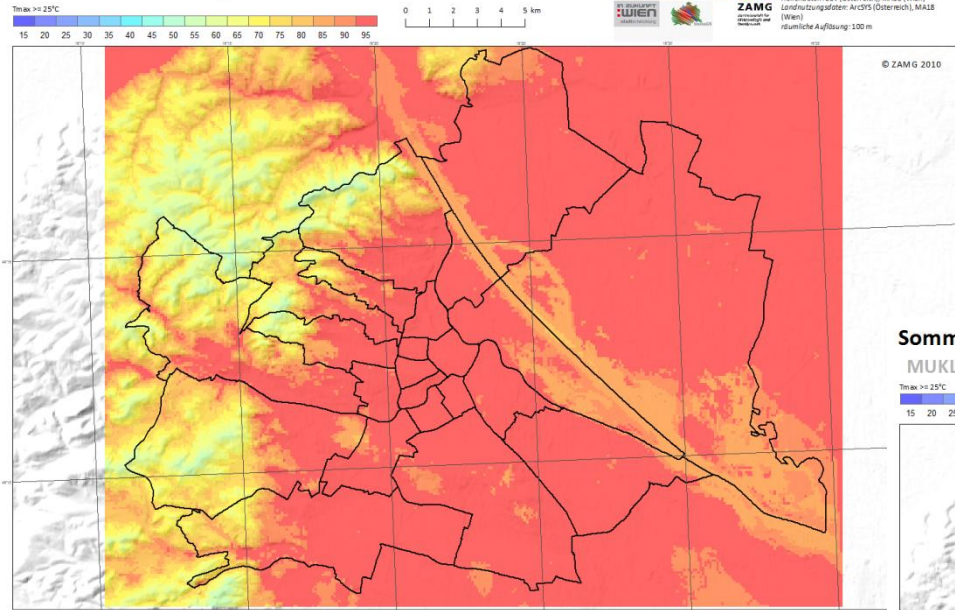


Szenario	2021-2050		
	Min	Avg	Max
A1B_1	0.7	5.0	11.5
A1B_2	-0.6	3.7	10.7
B1_1	-0.8	2.2	9.0
B1_2	1.7	6.6	14.1

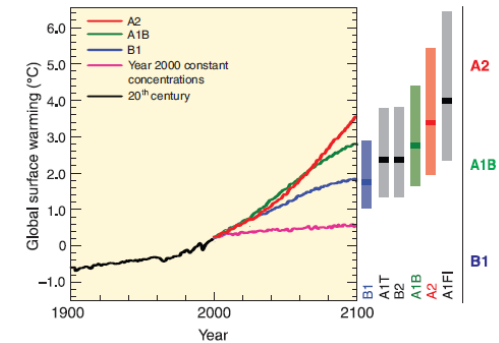
Sommertage in Wien: 2071-2100

Sommertage: 2071-2100

MUKLIMO Szenario A1B_1

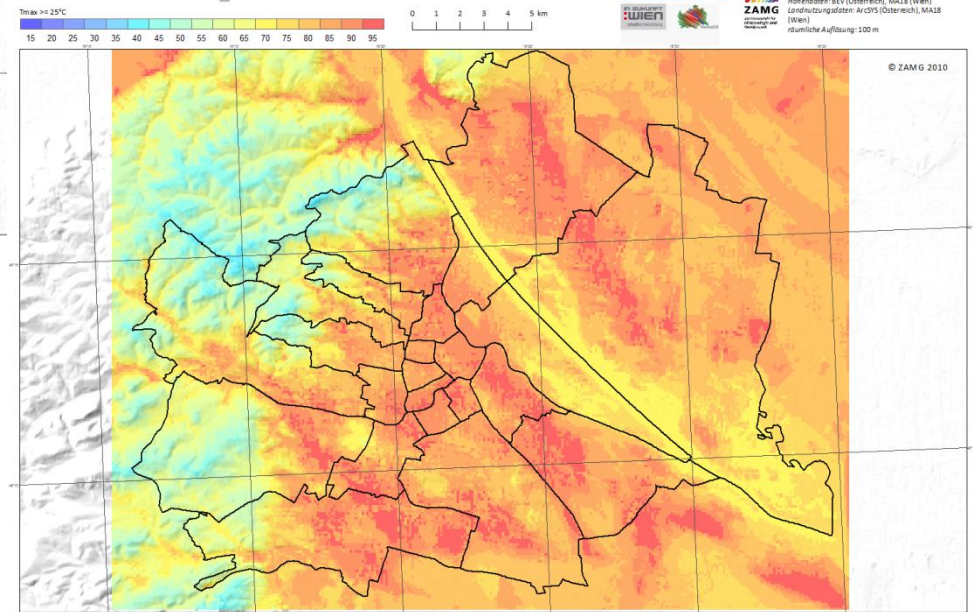


$T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$



Sommertage: 2071-2100

MUKLIMO Szenario B1_1



Szenario	2071-2100		
	Min	Avg	Max
A1B_1	25.5	34.8	42.0
A1B_2	23.6	32.8	41.2
B1_1	15.2	20.5	27.6
B1_2	15.0	23.2	31.4

Mögliche Anpassungsstrategien

- Höherer Anteil der grünen Flächen
- Dachbegrünung
- Änderung der Albedo (Reflexion) an Gebäuden
- Schatten-Effekt
- Wasser statt Bebauung
- Einfluß von neuer Bebauung

