

Anwender-Workshop „JELKA“
3. Dezember 2013

Vortrag I:
Von der Notwendigkeit der
Anpassung an den Klimawandel...

Uwe Kurmutz

Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz (THINK)



1. Das Stadtklima und seine Besonderheiten
2. Das Lokalklima Jenas
3. Ergebnisse der DWD-Untersuchung
4. Globaler Klimawandel
5. Lokale Auswirkungen des Klimawandels
6. Weiterführendes

Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Allgemeines

- Jede Bebauung beeinflusst Klimatelemente wie Temperatur, Niederschlag oder Wind
- Einfluss nimmt mit Ausmaß der bebauten Fläche zu und führt zu einer charakteristischen klimatischen Ausprägung, dem Stadtklima
- Ursachen:
 - Großflächige Versiegelung und räumliche Vergrößerung der versiegelten Oberfläche durch Gebäude
 - Reduzierte Vegetations- und Wasserflächen
 - Abgabe von Wärme und Spurenstoffen an die städtische Luft durch Heizung, Verkehr, Hausbrand und Industrie



Städtische Oberflächen beeinflussen das Lokalklima (Quelle: Gude 2008)

Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Allgemeines

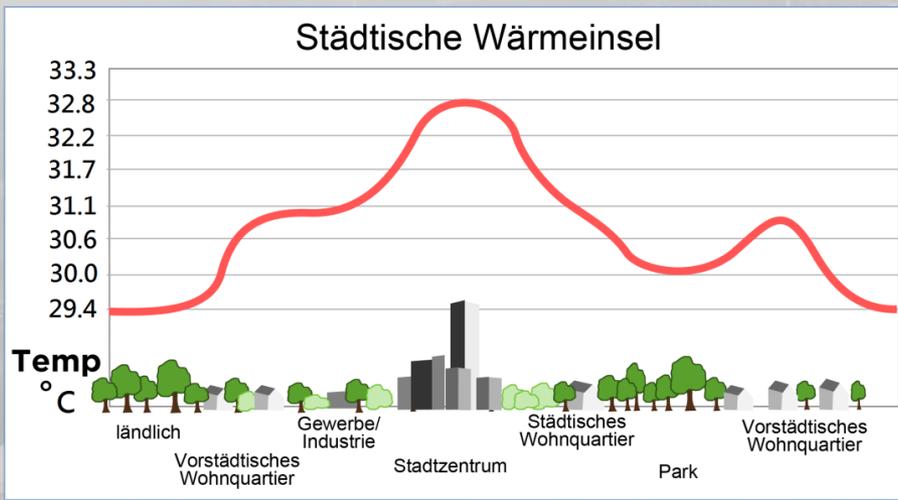
- Ergebnis:
 - Herabgesetzte Verdunstung
 - Erhöhte Oberflächenrauigkeit
 - Veränderter Luftaustausch
 - Veränderter Strahlungs- und Energiehaushalt
 - Thermisch und lufthygienisch veränderte Stadtatmosphäre
- Weitreichende Auswirkungen auf Bevölkerung, Fauna und Flora in der Stadt
- negative Folgen: verstärkte bioklimatische und lufthygienische Belastung
- Ganzjähriger Effekt, jedoch verstärkt während windschwacher, sonnenscheinreicher Wetterlagen



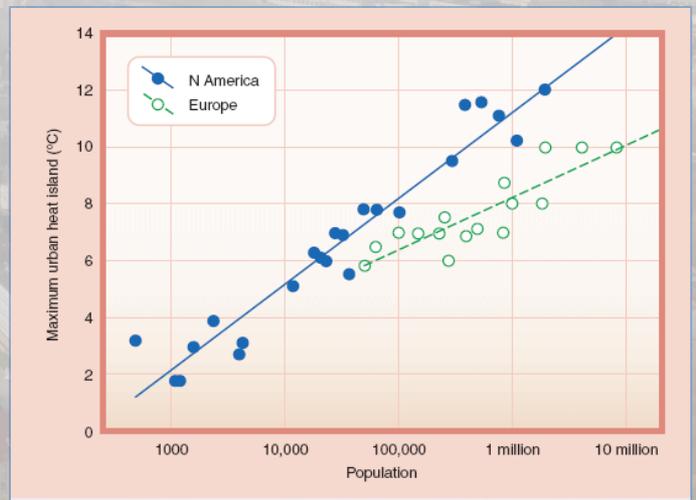
*Austauscharme
Wetterlagen
verstärken
stadtklimatische
Effekte
(Quelle: Mustafa 2011)*

Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Städtische Wärmeinsel

- Lufttemperatur im Jahresmittel um 1 bis 2 K wärmer als das Umland
- Hauptursache ist die von städtischen Baumaterialien gespeicherte Wärme der Sonnenstrahlung und Heizungen
- Abhängig von Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße, Stadt- bzw. Siedlungsstruktur und Wetterlage
- Kann in Großstädten Temperaturunterschiede bis zu 15 K erreichen



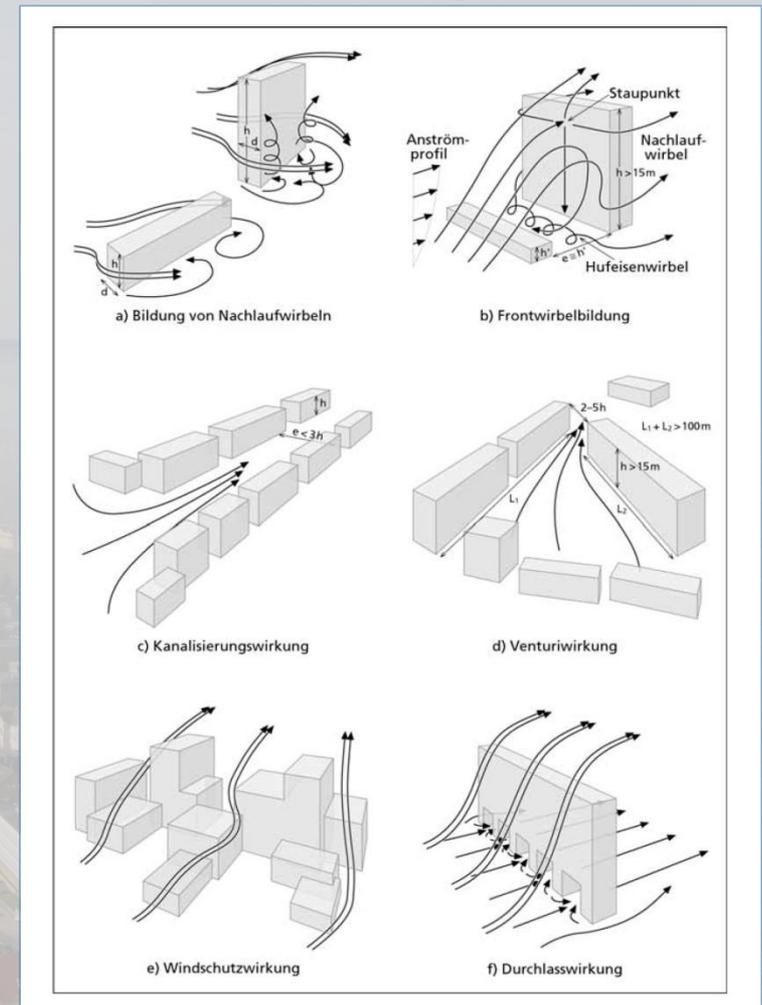
Struktur der städtischen Wärmeinsel
(Quelle: verändert nach Wikipedia 2011)



Zusammenhang zwischen Einwohnerzahl und maximaler Überwärmung von Städten (Quelle: UWM 2011)

Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Städtisches Windfeld

- Durchschnittliche Windgeschwindigkeit durch hohe Bodenrauigkeit der Bebauung herabgesetzt
- Umlenkungs-, Kanalisierungs- und Düseneffekte in Straßenschluchten und an Strömungshindernissen
- Bei Überwärmung der Stadt und autochthoner Wetterlage:
 - Flurwinde in flachem Gelände
 - Hangwinde und ggf. Berg-/ Talwindssystem in reliefiertem Gelände
- Windsysteme sind für Belüftung der Stadt entscheidend



*Modifikation des Windfeldes durch Bebauung
(Quelle: Gandemer 1977, verändert in MUNLV NRW 2010)*

Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Städtischer Feuchtehaushalt

- Herabgesetzte Verdunstung führt zu geringerer relativer Luftfeuchte am Tage
- Höhere Niederschläge auf windabgewandter Seite der Stadt (Lee)
- Geringere Versickerung der Niederschläge durch flächenhafte Versiegelung
- Erhöhter Oberflächenabfluss und verringerte Grundwasserneubildung



*Versiegelte Oberflächen
erhöhen den Oberflächenabfluss
(Quelle: Griebisch 2012, Kurmutz 2013)*

Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Lufthygiene und Bioklima

- Verstärkter Eintrag anthropogener Spurenstoffe, vor allem Stickoxide, Feinstaub, Ozon und organische Verbindungen von Bedeutung
- Aufgrund Energiebedarfs auch bedeutende Quelle anthropogener Treibhausgase



*Städtische Emissionen
(Quelle: ThINK 2012)*

- Wärmeinseleffekt führt zu bioklimatischen Belastungen:
 - Herabgesetzte Leistungsfähigkeit durch Hitze am Tage
 - Nachts verringerte Regeneration durch fehlende Abkühlung
- Ausdehnung der Vegetationsperiode bei Pflanzen durch höhere städtische Temperaturen

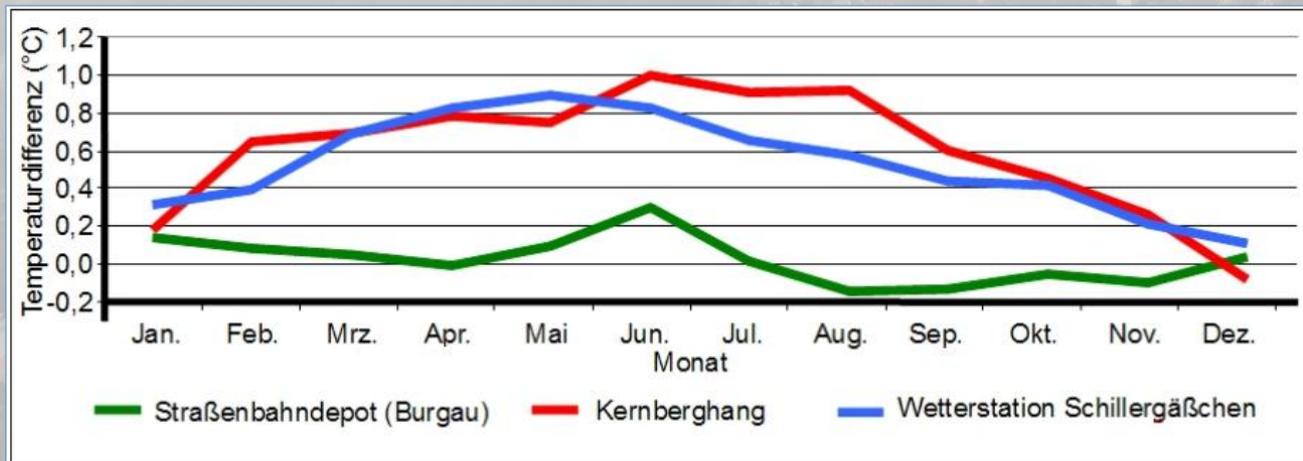
Das Stadtklima und seine Besonderheiten: Zusammenfassung

Einflussgrößen		Veränderung gegenüber Umland		Einflussgrößen		Veränderung gegenüber Umland	
Strahlungs- und Wärmehaushalt				Hygrische Verhältnisse			
SONNENSCHENDAUER				LUFTFEUCHTIGKEIT		geringe Unterschiede	
- im Sommer		bis -8%		NEBEL			
- im Winter		bis -10%		- Großstadt		weniger	
GLOBALSTRAHLUNG		bis -10%		- Kleinstadt		mehr	
ALBEDO		geringe Unterschiede		NIEDERSCHLAG			
GEGENSTRAHLUNG		bis +10%		- Regen		mehr (leeseitig)	
UV-STRAHLUNG				- Schnee		weniger	
- im Sommer		bis -5%		- Tauabsatz		weniger	
- im Winter		bis -30%		- Verdunstung		weniger	
Sensibler Wärmestrom		bis +50%		Thermische Verhältnisse			
WÄRMESPEICHERUNG IM STADTKÖRPER		bis +40%		LUFTTEMPERATUR			
Austausch und Lufthygiene				- Jahresmittel		ca. +2 K	
WIND				- Winterminima		bis +10 K	
- Geschwindigkeit		bis -20%		IN EINZELFÄLLEN		bis +15 K	
- Richtungsböigkeit		stark variierend		DAUER DER FROSTPERIODE		bis -30%	
- Geschwindigkeitsböigkeit		erhöht		Bioklima			
LUFTVERUNREINIGUNGEN				VEGETATIONSPERIODE		bis zu 10 Tage länger	
- CO, NOx, PMx, AVOC		mehr		HUMANE WÄRMEBELASTUNG		mehr	
- O ₃		weniger (Spitzenwerte höher)		HUMANER KÄLTEREIZ		weniger	

Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum un bebauten Umland (Quelle: MUNLV NRW 2010)

Das Lokalklima Jenas: Charakteristika

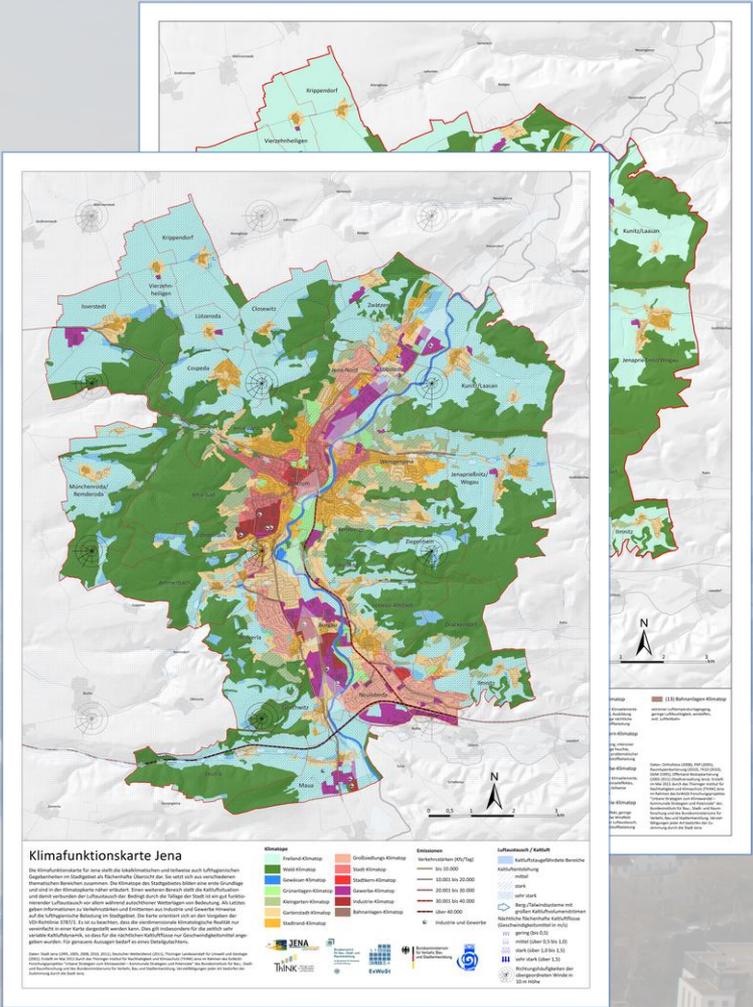
- Warmgemäßigte Klimazone Mitteleuropas
- Jährliche Mitteltemperatur bei 9,3 °C (0,4 °C im Januar bis 18,2 °C im Juli)
- Niederschlag bei 587 mm (34 mm im Februar bis 75 mm im Juni)
- 194 Sonnenstunden im Juli, 33 Sonnenstunden im Dezember
- Windverhältnisse: Südwest, Nordwest, Nordost
- Wärmeinsel vorhanden: ca. 1,3 K zwischen Stationen Sternwarte und Gembdental (für DWD-Messkampagne), Unterschiede bis zu 7 K



*Temperaturdifferenz
verschiedener
Messstationen zur
Messstation Klärwerk
in Jena-Zwätzen
(Quelle: Dörfer 2004)*

Das Lokalklima Jena: Klimatope und Klimafunktionen

- Räumliche Einheiten, in denen die mikroklimatisch wichtigsten Faktoren relativ homogen sind
- Abhängig von Flächennutzung, Oberflächenstruktur und Relief
- Ausweisung nach VDI-Richtlinie 3787/1, erweitert um „Großsiedlungs-Klimatop“ und „Kleingarten-Klimatop“
- Im stadtklimatischen Kontext relevant:
 - Luftaustausch (Kaltluft)
 - Luftbelastung
 - Windfeld
 - Nebel und Inversionen



Klimatop- und Klimafunktionskarte für Jena (Quelle: JenKAS 2012)



Das Lokalklima Jenas: Klimatope

Klimatoptyp	Status	Fläche [ha]	Anteil am Stadtgebiet [%]
Freiland	Ausgleichsraum	4.023	35
Wald	Ausgleichsraum	4.174	36
Gewässer	Ausgleichsraum	107	1
Grünanlagen	Gunstraum	144	1
Kleingarten	Gunstraum	427	4
Gartenstadt	Gunstraum	912	8
Stadttrand	Gunstraum, bei stärkerer Verdichtung: Ungunstraum	532	5
Großsiedlung	Ungunstraum	392	3
Stadt	Ungunstraum	225	2
Stadtkern	Lastraum	42	<1
Gewerbe	Lastraum, bei emissionsfreier Nutzung: Ungunstraum	386	3
Industrie	Lastraum, bei emissionsfreier Nutzung: Ungunstraum	101	1
Bahnanlage	Ungunstraum	11	<1

- Ausgleichsräume (unbelastet und ausgleichend) bei 70-80 %
- Gunsträume (wenig belastet) und Ungunsträume (mäßig belastet) je bei 10-15 %
- Lasträume (stark belastete Bereiche) unter 10 %

Klimatopanteile in Jena (Quelle: JenKAS 2012)

Ergebnisse der DWD-Untersuchung: Überblick

- Kooperation mit dem DWD in JenKAS:
 - Modellierung mit Kaltluftmodell und Stadtklimamodell
 - Messkampagne Mai – September 2011 mit drei festen Stationen (inkl. SODAR) und mehreren Messfahrten
- Aussagen zur Kaltluftdynamik im Stadtgebiet sowie zu Verteilung der Sommer- und heißen Tagen und deren künftige Veränderung

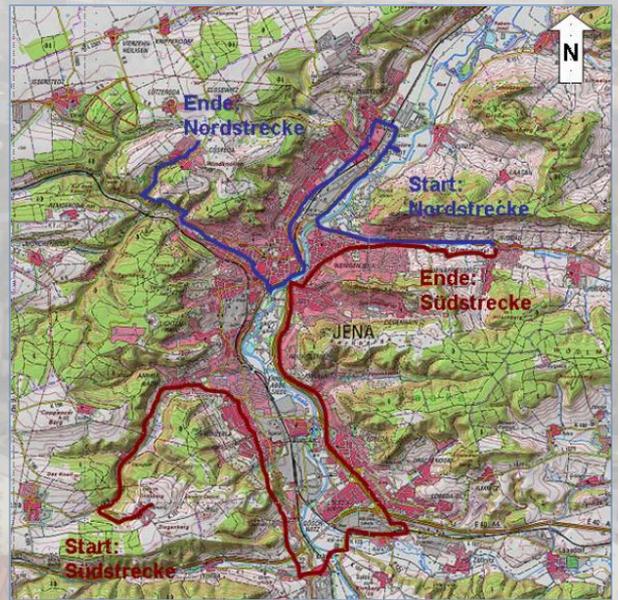


Nächtliche Messfahrt (Quelle: Maercker 2011)

Tabelle 6.2-3: Anzahl an Ereignistagen (absolut, GG: 153) an den Jenaer Stationen (vom 01.05. bis 30.09.2011, Basis: 10-Minuten-Mittel)

Station	Sommertage ($T_{max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$)	Heiße Tage ($T_{max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$)	Frosttage ($T_{min} < 0 \text{ }^\circ\text{C}$)
Gembdental	52	6	5
Griesberg	37	3	.
Sternwarte	62	15	.
Durchschnitt	50	8	2

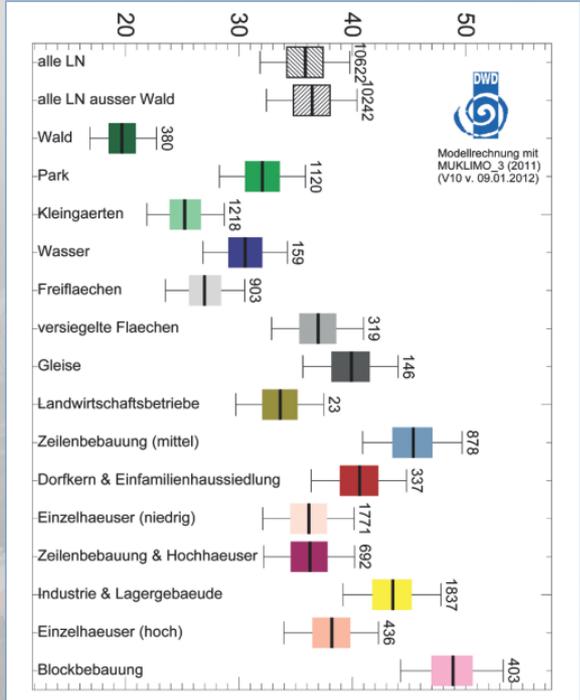
(Quelle: DWD 2012)



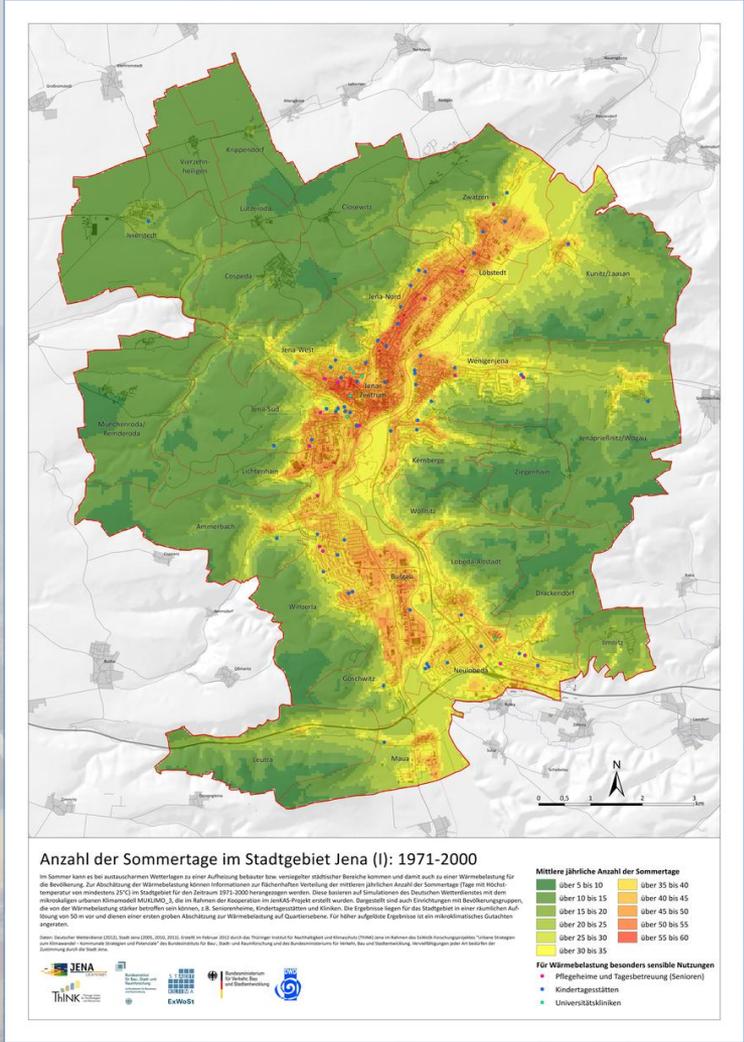
Strecke der Messfahrten (Quelle: DWD 2012)

Ergebnisse der DWD-Untersuchung: MUKLIMO_3

- Modellierung der Sommer- und heißen Tage für 1971-2000 und 2021-2050
- Höhere Zahl von Sommer- und heißen Tagen in Gebieten mit verdichteter Bebauung → Wärmeinsel



Anzahl der jährlichen Sommertage verschiedener Landnutzungen 1971-2000
(Quelle: DWD 2012)

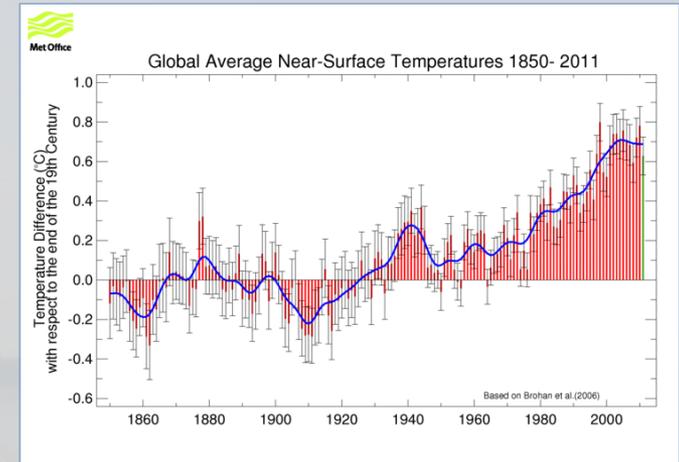


Anzahl der jährlichen Sommertage 1971-2000
(Quelle: JenKAS 2012)

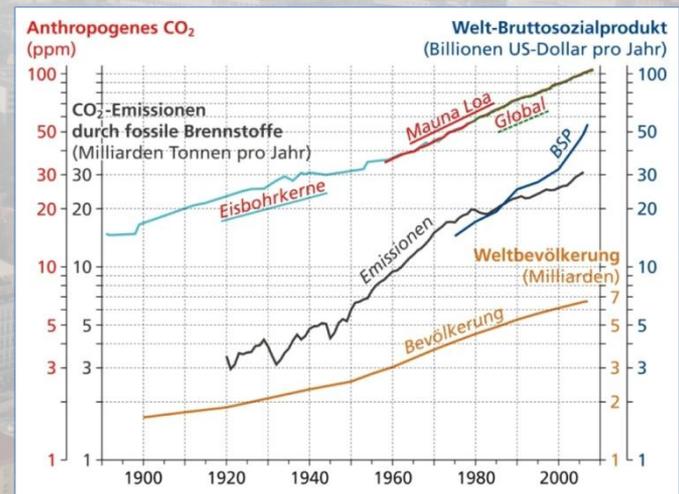


Globaler Klimawandel: Überblick

- Anthropogen verursachter Klimawandel findet bereits statt und ist irreversibel
- seit etwa 50 Jahren merkliche Erhöhung der Lufttemperatur und häufigere Wetterextreme
- Trend setzt sich auch künftig fort
- Modellierung der Entwicklung mittels globaler Klimamodelle, deren Aussagen mittels Regionalmodellen heruntergebrochen werden
- Veröffentlichung von Berichten zur Klimaveränderung durch UN-Weltklimarat (IPCC)
- Aussagen mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten
- Unsicherheiten bestehen in den Details



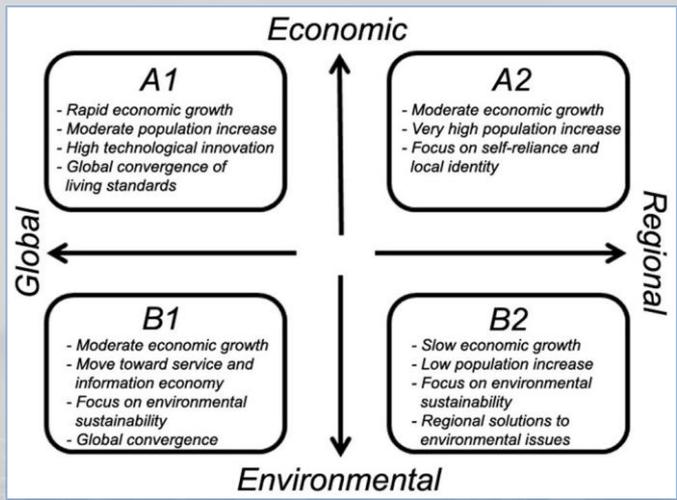
Mittlere globale Lufttemperatur in Bodennähe 1850-2011 (Quelle: Met Office 2012)



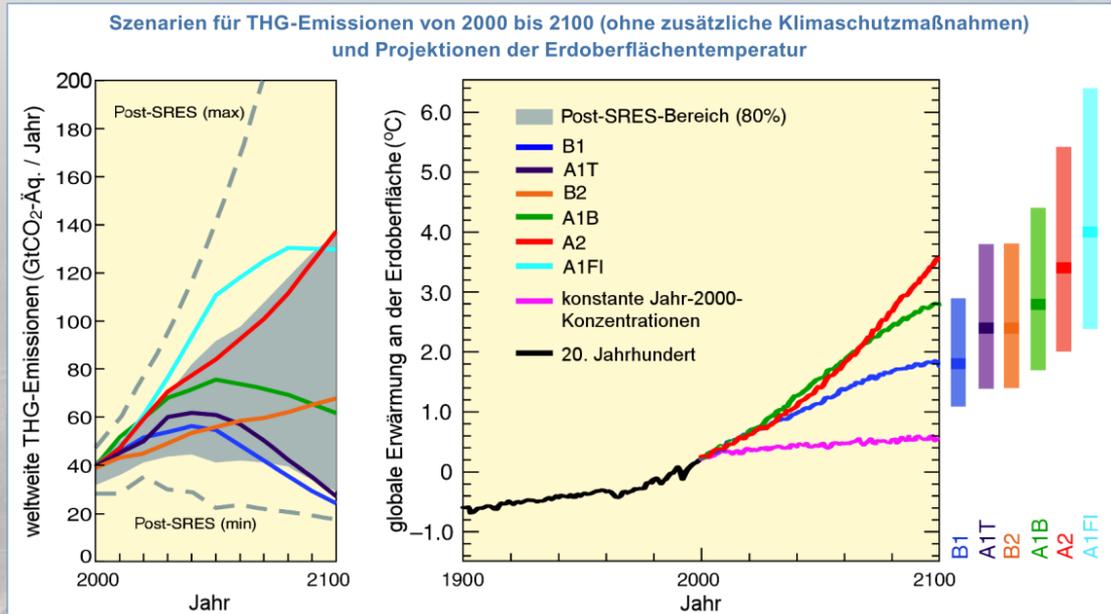
Entwicklung des atmosphärischen anthropogenen CO₂-Mischungsverhältnisses (Quelle: Kuttler 2011a)

Globaler Klimawandel: Szenarien

- Annahme unterschiedlicher Entwicklungsmöglichkeiten für Emissionen und sozio-ökonomische Randbedingungen → Vielzahl von Entwicklungspfaden (Szenarien)
- Globales 2 °C-Ziel nicht mehr realistisch, inzwischen 4 °C wenn „business as usual“



SRES- Emissionsszenarios
(Quelle: IPCC 2000)

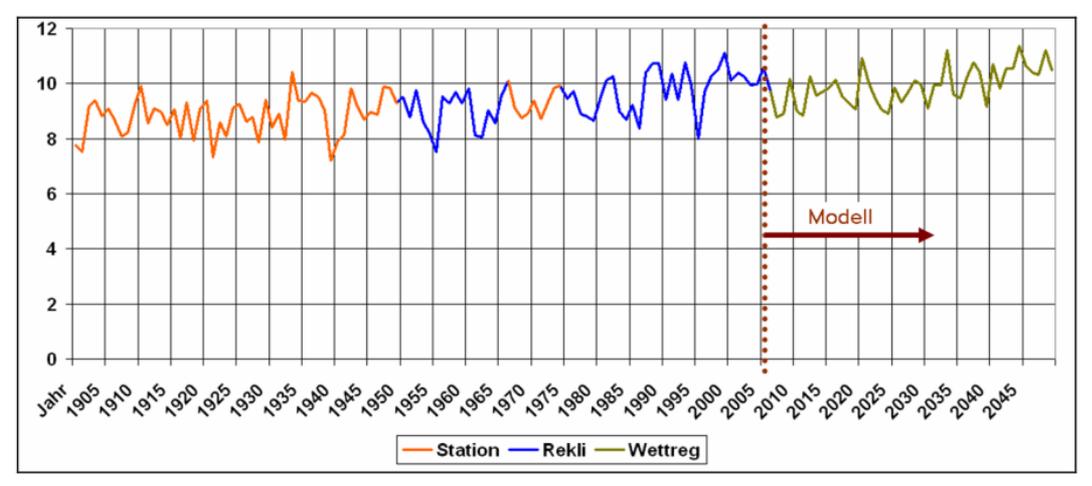


- Aktuell neue RCP-Szenarien etabliert
- Nutzung ab 5. Sachstandsbericht 2013/14

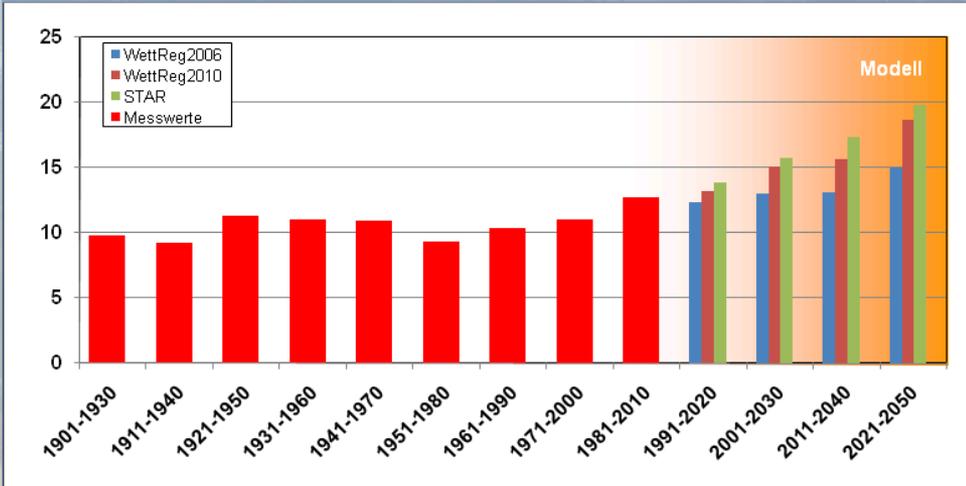
(Quelle: IPCC 2007)

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Kennwerte

- Beschreibung von klimatischen Veränderungen über charakteristische Kenntage bzw. -größen
- Auswertung von Mess- und Modelldaten
- Erhöhung der mittleren jährlichen Lufttemperatur um 1,2 K zwischen 1901-2005
- im Sommer deutlich zunehmende Hitze
- im Winter merklich milder



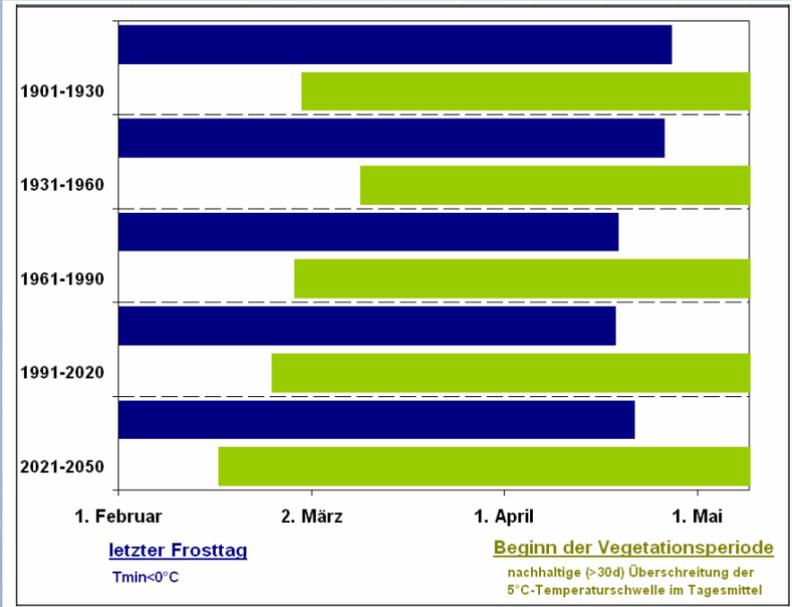
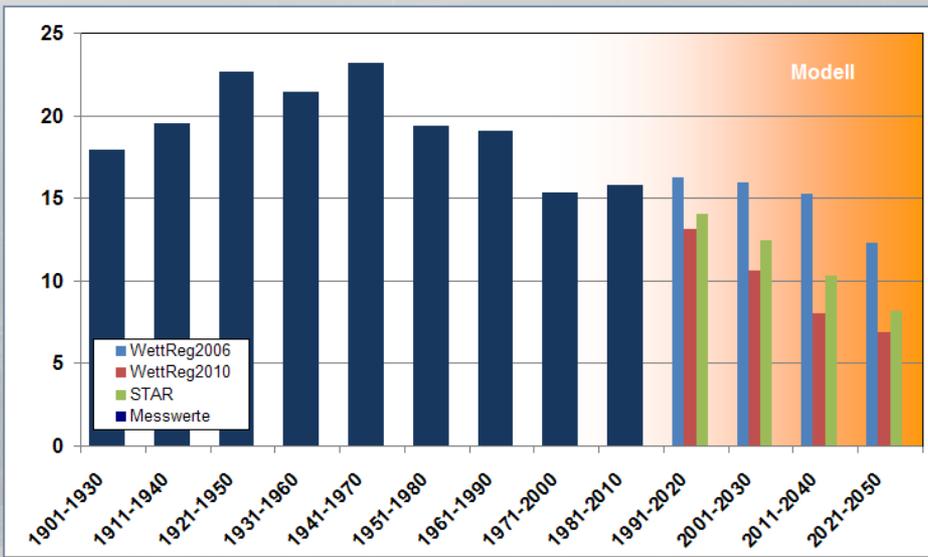
Entwicklung der Jahresmitteltemperatur (1901–2050) an der Station Jena-Schillergässchen (Quelle: JenKAS 2009)



Entwicklung der heißen Tage (1901–2050) an der Station Jena-Schillergässchen (Quelle: JenKAS 2012)

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Kennwerte

- Abnahme der Frost- und Eistage
- Früherer Beginn der Vegetationsperiode

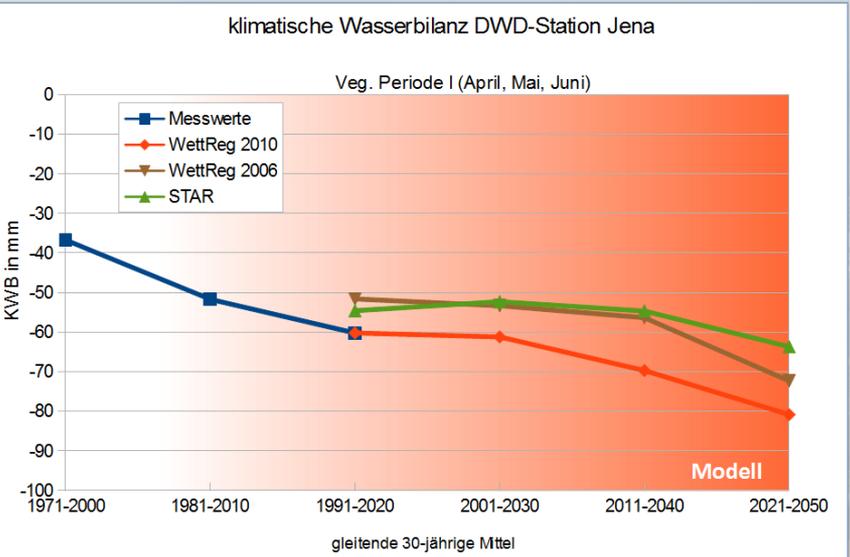


Entwicklung des mittleren Beginns der Vegetationsperiode und mittlerer Zeitpunkt des letzten Frosttages(1901–2050) an der Station Jena-Schillergässchen (Quelle: JenKAS 2009)

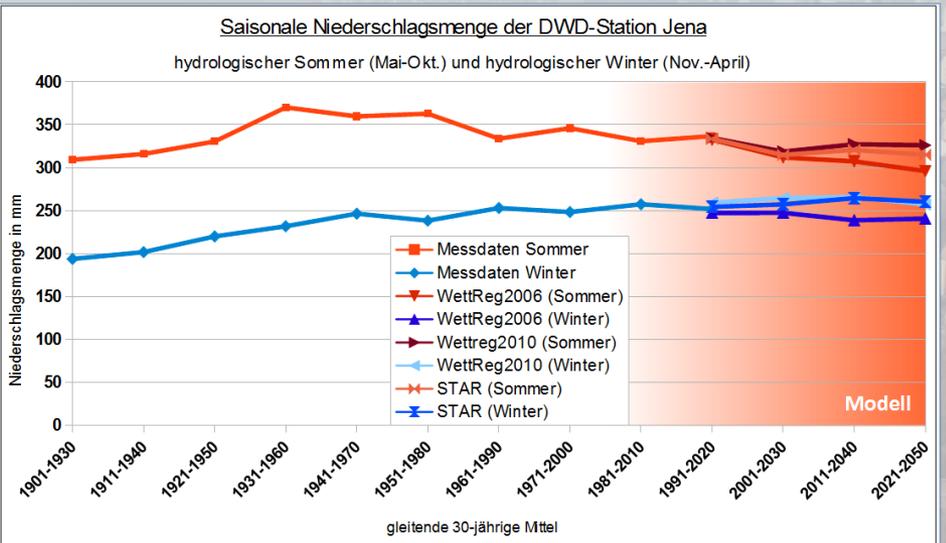
Entwicklung der Frosttage (1901–2050) an der Station Jena-Schillergässchen (Quelle: JenKAS 2012)

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Kennwerte

- Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz im Frühjahr und Sommer
- Bisher keine eindeutigen Trends der künftigen Niederschlagsentwicklung; Verschiebung der saisonalen Niederschlagsmengen wahrscheinlich
- Extremereignisse: Intensivierung von Starkniederschlägen, Gewittern, Sturm, Hagel, Schneunwetter, Hochwasser sowie Hitzeperioden wahrscheinlich



Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode I (1901–2050) (Quelle: JenKAS 2012)



Entwicklung der saisonalen Niederschlagsmengen (1901–2050) (Quelle: JenKAS 2012)

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Wärmebelastung

- Zunehmende Wärmebelastung als wesentlichste Auswirkung für Jena, besonders für sensible Personengruppen (Ältere, Kranke, Kinder) relevant
- Bioklimatische Belastung:
 - Herabgesetzte Leistungsfähigkeit durch Hitze am Tage
 - Nachts verringerte Regeneration durch fehlende Abkühlung
- Zunahme von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Hautkrebs

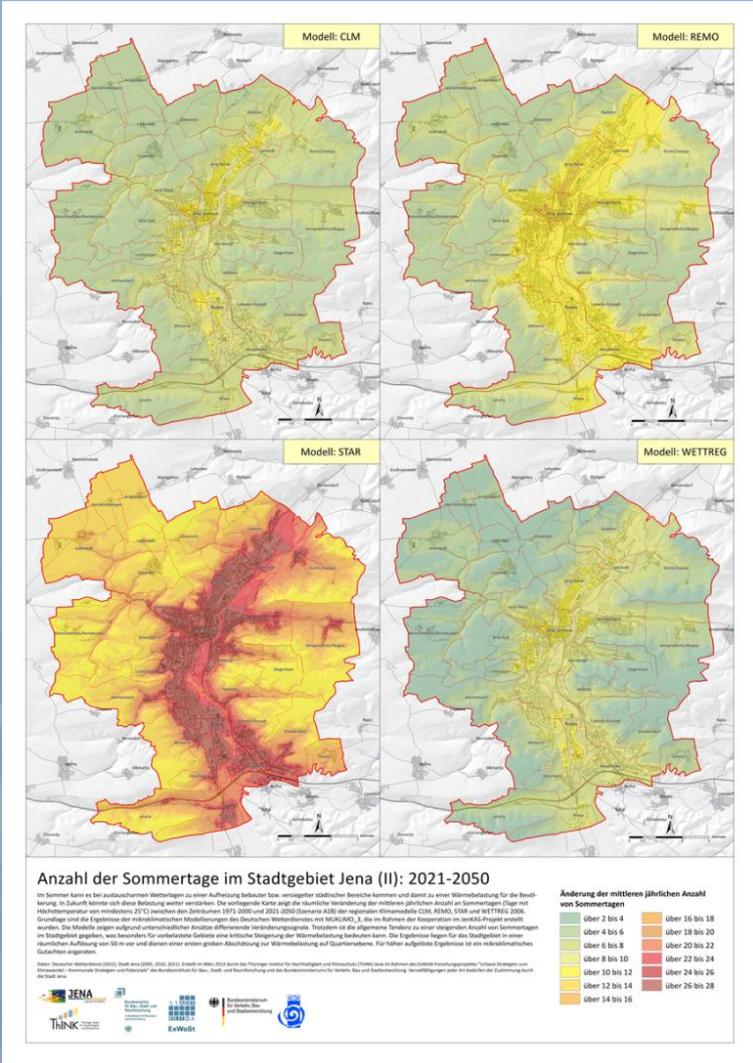


*Steigende Wärmebelastung
(Quelle: Lerm 2012)*

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Wärmebelastung

- Betroffene Stadtbereiche: v.a. „vorbelastete“ Gebiete
 - Verdichtete Innenstadt (Zentrum, Nord)
 - Industrie- und Gewerbegebiete (Burgau, Göschwitz etc.)
- Relevante Handlungsfelder: v.a.
 - Gesundheit
 - Tourismus
 - Infrastruktur

Veränderung der Anzahl der mittleren jährlichen Sommertage in der Periode 2021-2050 (Quelle: JenKAS 2012)



Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Überschwemmungen

- Hochwasser an Saale: unsichere Entwicklung, da komplexes Zusammenspiel zwischen Talsperrensystem und nachgelagertem Einzugsgebiet
- Hochwasser an kleinen Gewässern: höhere Gefährdung durch häufigere und intensivere sommerliche Starkregen
- Rückstau bzw. Überschwemmungen auf Straßen nach sommerlichen Starkregen durch überlastetes Kanalnetz häufiger
- Auswirkungen:
 - Gefährdung von Menschenleben
 - Materielle Schäden
 - Hygienische bzw. gesundheitliche Belastungen

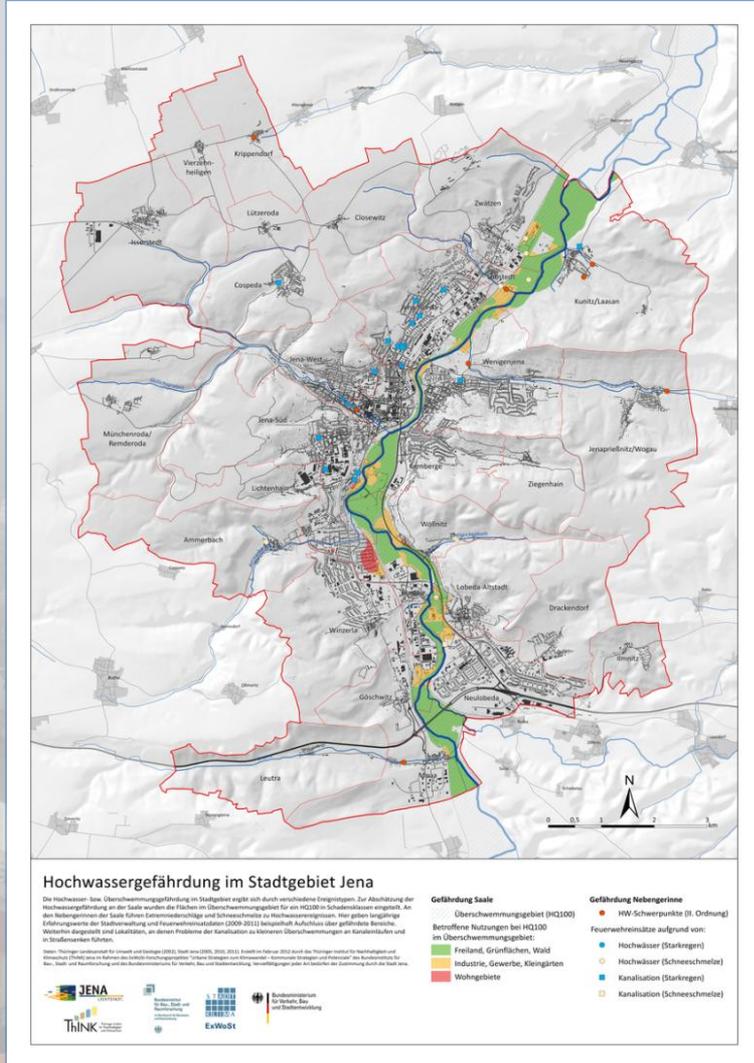


*Hochwasser an Saale und Leutra
(Quelle: Knopf 2013, Stadt Jena 1994)*

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Überschwemmungen

- Betroffene Stadtbereiche: v.a.
 - Überschwemmungsgebiet der Saale (Zentrum, Ringwiese, Göschwitz etc.)
 - nähere Umgebung von kleinen Fließgewässern (Jena-West, Wenigenjena)
 - Abflusslose Straßensenken
- Relevante Handlungsfelder: v.a.
 - Wasserwirtschaft
 - Infrastruktur
 - Katastrophenschutz
 - Gesundheit

*Gefährdung durch Hochwasser und Überschwemmungen in Jena
(Quelle: JenKAS 2012)*



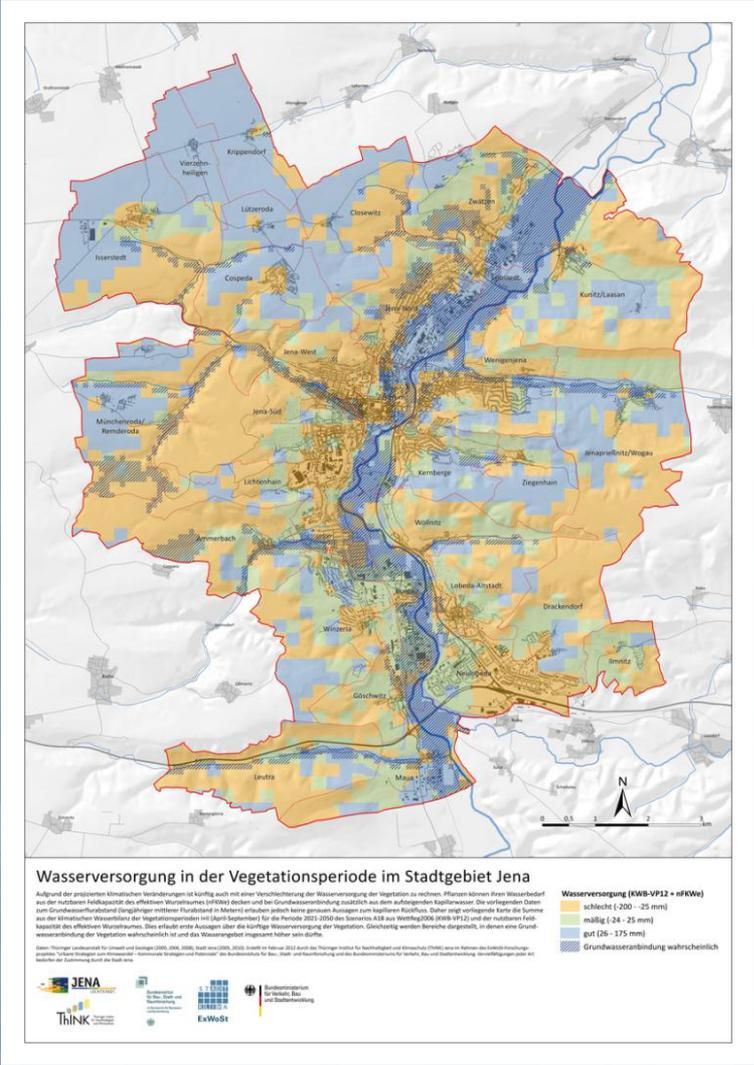
- Zunehmende Trockenheit bzw. Wasserknappheit aufgrund steigender Temperaturen und der damit verbundenen erhöhten Verdunstung
- Verschlechterung der Klimatischen Wasserbilanz
- Auswirkungen:
 - Trockenstress für Nutzpflanzen und Stadtgrün
 - Erhöhte Waldbrandgefahr
 - Bodenerosion durch Wind, aber auch erhöhten Oberflächenabfluss
 - Geringere Grundwasserneubildung und Wasserstände der Oberflächengewässer



*Trockenheit in der Landwirtschaft
(Quelle: BMU / Brigitte Hiss)*

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Trockenheit

- Betroffene Stadtbereiche: v.a.
 - Stadtgrün in verdichteten Siedlungsbereichen ohne Grundwasseranbindung (Zentrum, West, Wenigenjena)
 - Wälder auf Hochflächen um Jena
- Relevante Handlungsfelder: v.a.
 - Land- und Forstwirtschaft
 - Wasserwirtschaft
 - Naturschutz



Wasserversorgung in der Vegetationsperiode in Jena (Quelle: JenKAS 2012)

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Erosion

- Verstärkte linien- und flächenhafte Erosion auf Äckern durch häufigere bzw. intensivere Niederschlagsereignisse
- Veränderung der Infiltrationskapazität durch ausgeprägtere Trockenperioden führen zu intensiverem Oberflächenabfluss mit Erosion
- Evtl. weitere Massenbewegungen
- Auswirkungen:
 - Verlust von Boden inkl. Humus und Pflanzennährstoffen
 - Eintrag von Nähr- und Schadstoffen in Gewässer
 - Ertragseinbußen
 - Ablagerung von Material auf Straßen

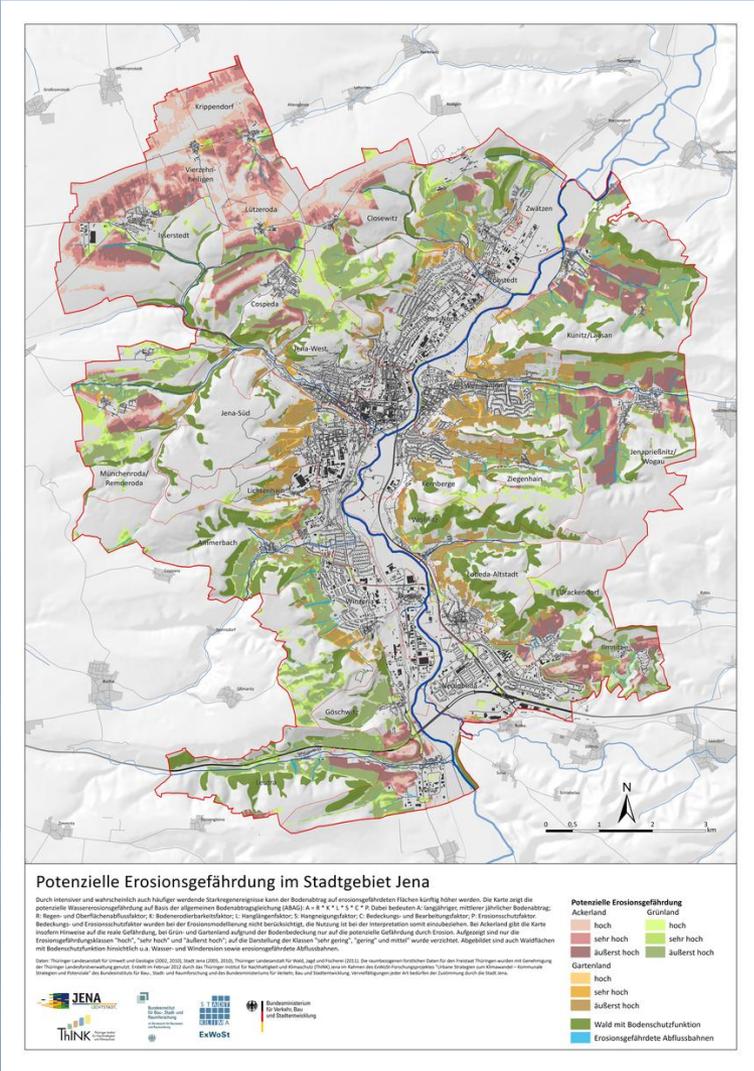


*Erosion durch Starkregen in Jena-Kunitz
(Quelle: Stadt Jena 2011)*

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Erosion

- Betroffene Stadtbereiche: v.a.
 - nordwestliche Hochflächen der Saaleplatte (Vierzehnheiligen, Isserstedt, Krippendorf etc.)
 - Kessel des Hufeisens (Kunitz/Laasan)
 - Gembdental (Jenaprießnitz/Wogau)
- Relevante Handlungsfelder: v.a.
 - Landwirtschaft
 - Wasserwirtschaft
 - Naturschutz

*Potenzielle Erosionsgefährdung in Jena
(Quelle: JenKAS 2012)*



Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Extremereignisse

- Intensivierung von Starkniederschlägen, Gewittern, Sturm, Hagel, Schneeeunwetter, Hochwasser sowie Hitzeperioden wahrscheinlich
- Vorhersagen schwer bis nicht möglich aufgrund des seltenen Auftretens
- Auswirkungen (neben Hitze und HW):
 - Zerstörung von Infrastruktur (Straßen, Bahntrassen, Leitungen)
 - Windwurf (Forst, Stadtgrün)
 - Schäden an Häusern und Autos
- Betroffene Stadtbereiche: alle
- Relevante Handlungsfelder: v.a. Infrastruktur, Katastrophenschutz, Forstwirtschaft



*Überschwemmung nach Starkregen,
Windwurf nach Orkan Emma in Jena
(Quelle: TLZ 1993, Mustafa 2008)*

Lokale Auswirkungen des Klimawandels: Klimafolgen - Chancen

- Klimawandel bietet langfristig auch Chancen
- Kostenreduktion in der Kommune:
 - Verringerter Heizenergiebedarf
 - Reduzierter Einsatz von Winterdiensten
 - Rückgang frostbedingter Straßenschäden
- Stärkung des Tourismus:
 - Längere Saison für Stadt-, Rad- und Wandertourismus
 - Begünstigung von Orchideenstandorten
 - Erhöhte Übernachtungszahlen
- Landwirtschaft:
 - Verlängerung der Anbauperiode
 - Anbau von Sonderkulturen (z. B. Wein)



Gewinner des Klimawandels: wärmeliebende Arten um Jena (Quelle: Lerm 2008/2010)

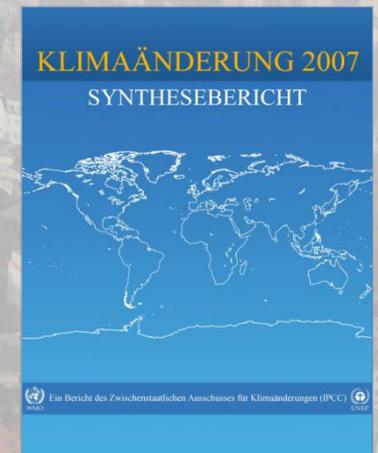
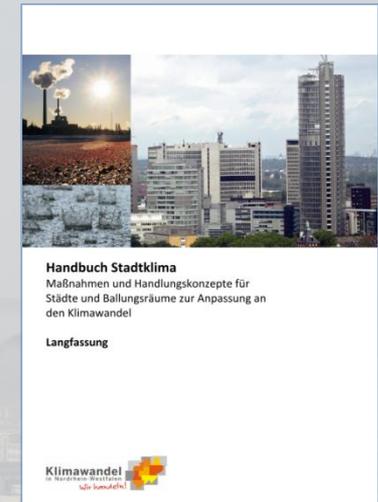
- Erhöhung der Lebensqualität:
 - Stärkere Nutzung von Freibädern, Parks, Freiluftveranstaltungen, Straßen-Cafés durch die Bevölkerung
 - Positive gesundheitliche Effekte
- Förderung der kommunalen bzw. regionalen Entwicklung
 - Erhöhung der Attraktivität in der Außenwirkung
 - Positionierung als Vorreiterkommune
 - Stärkung als Standort für Klimaanpassungs- und -schutztechnologien



*Städtische Klimakomfortinsel;
Nutzung erneuerbarer Energien
(Quelle: Griebisch 2012, Maercker 2012)*

Weiterführendes

- Stadt Jena
 - Stadt Jena – Abschlussbericht zum Projekt JenKAS-2009
 - Stadt Jena – Handbuch einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung.
<http://jenkas.de/index.php/ergebnisse/handbuch>
 - Deutscher Wetterdienst – Abschlussbericht zu den Klimauntersuchungen in Jena.
- Stadtklima
 - Handbuch Stadtklima (Nordrhein-Westfalen)
http://www.umwelt.nrw.de/klima/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/staedte_und_ballungsraeume/projektseite_01/index.php
 - Städtebauliche Klimafibel – Hinweise für die Bauleitplanung.
<http://www.staedtebauliche-klimafibel.de>
 - Verein Deutscher Ingenieure – Richtlinie 3787
 - Helbig – Stadtklima und Luftreinhaltung
- Klimawandel
 - IPCC – Klimaänderung 2007. Synthesebericht. <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutsch/IPCC2007-SYR-german.pdf>
 - Umweltbundesamt – Klimawandel in Deutschland.
<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimawandel-in-deutschland>
 - Glossar Klimafolgen und Anpassung.
http://www.anpassung.net/cln_108/nn_700470/DE/Service/Glossar/glossar_node.html?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Uwe Kurmutz

THINK - Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz GmbH
Leutragraben 1, D-07743 Jena

Telefon: ++49 (0)36 41/ 57 33 250 // Fax: ++49 (0)36 41/ 57 343 250

Internet: www.think-jena.de // E-Mail: Uwe.Kurmutz@think-jena.de

