



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

CLUSTER OF EXCELLENCE
CLIMATE, CLIMATIC CHANGE,
AND SOCIETY (CLICCS)

Wie heiß wird es in deutschen Städten?

Prof. Dr. Heinke Schlünzen

11.10.2023 - 7. Bundeskonferenz „Gesund und aktiv älter werden“



Hamburg - Straßenbaum (2017)

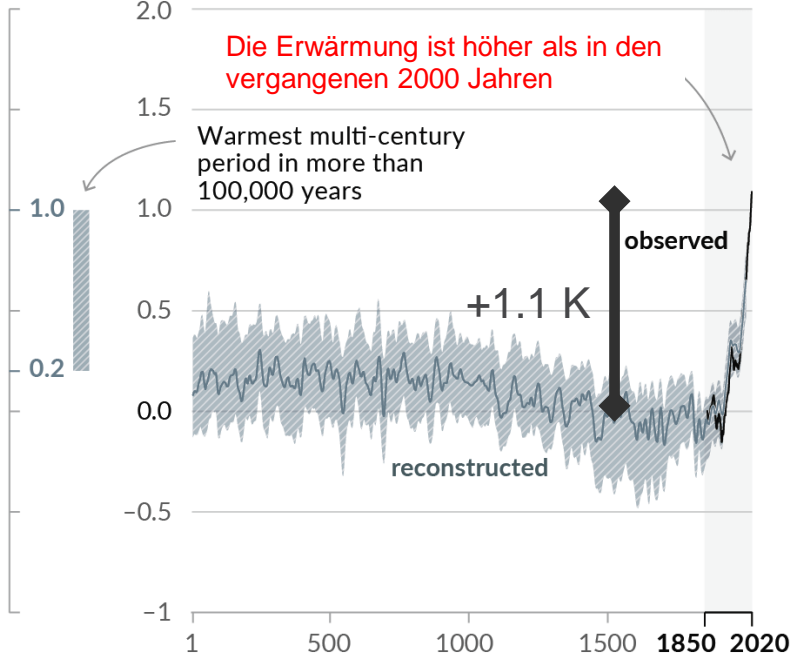
Foto: selbst

Agenda

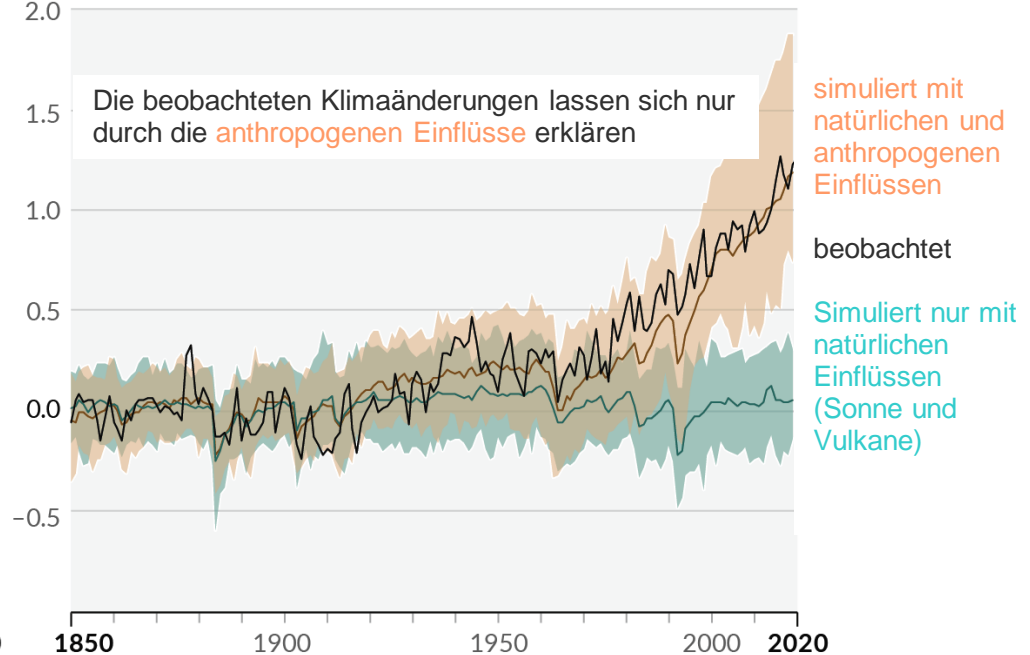
- 1 Klimawandel – von global bis in die Stadt
- 2 Klima-Besonderheiten in Städten
- 3 Zukunftsklima
- 4 Anpassungsmaßnahmen
- 5 Schlussbemerkungen

Globale bodennahe Temperaturänderung relativ zu 1850-1900

Globale Temperaturänderungen:
1-2000: dekadische Mittel rekonstruiert,
°C 1850-2020: beobachtet

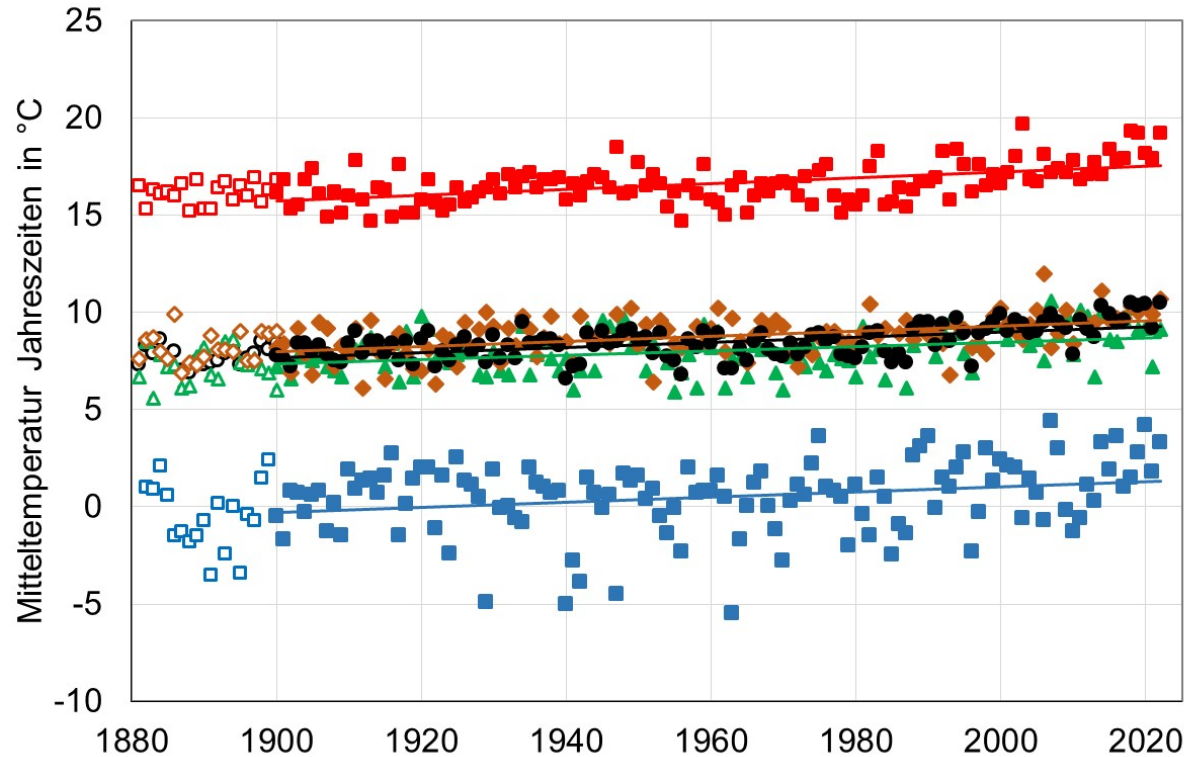


Globale Temperaturänderungen: Jahreswerte
beobachtet und simuliert (**natürliche und anthropogene** Einflüsse, nur **natürliche Einflüsse**)



Bodennahe Temperaturänderung in Deutschland

- Jahr-zu-Jahr Variabilität für alle Jahreszeiten.
- Höchste Variabilität im Winter.
- Zunahmen relativ zu 1882-1900 (linearer Trend bis 2022):
 - Frühling: ~1,3 K
 - Sommer: ~1,8 K
 - Herbst: ~1,6 K
 - Winter: ~1,6 K
 - Ges. Jahr: ~1,6 K**
- Zunahme ~0,5 K höher als global (1,1 K).



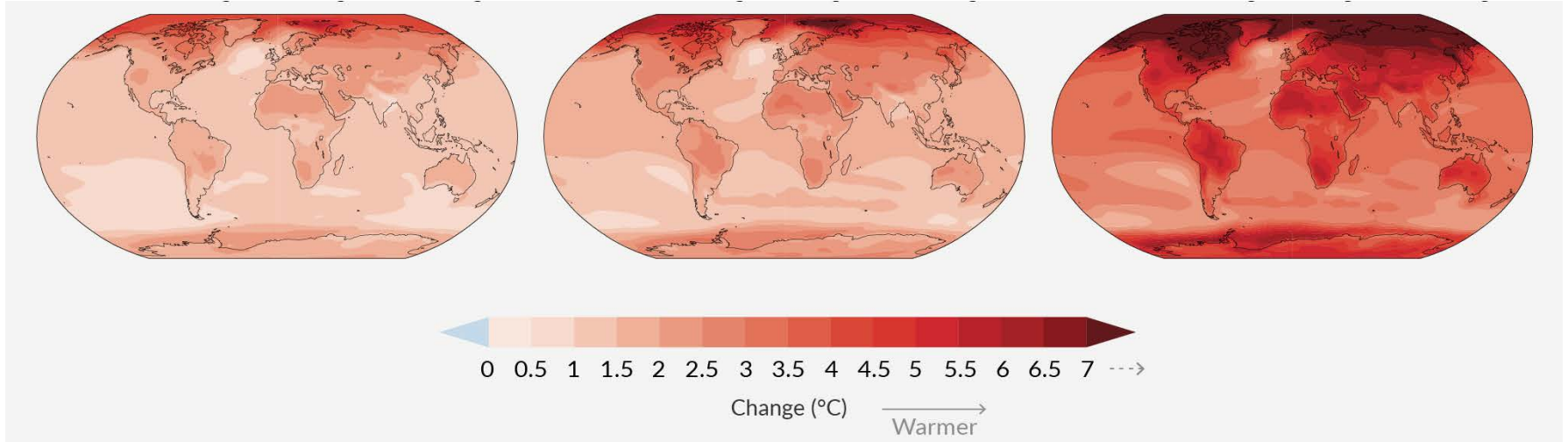
Eigene Abbildung. Daten vom DWD (23.09.2023), „Zeitreihen und Trends“

Mittlere regionale Änderung der bodennahen Jahresmitteltemperatur gegenüber 1850-1900, für 1.5 K / 2 K / 4 K globale Temperaturzunahme

...bei +1.5 K

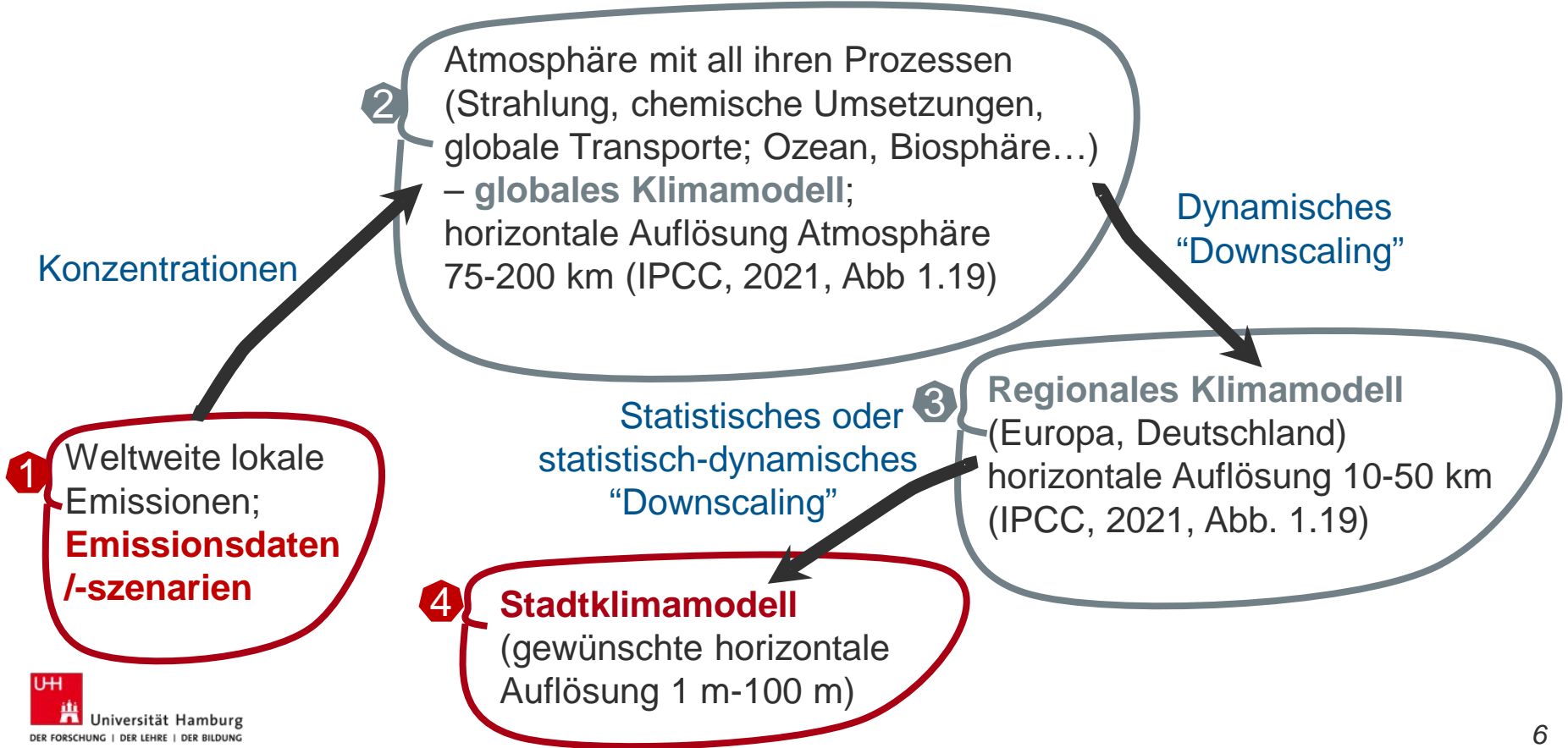
...bei +2 K

...bei +4 K



Quelle für Abbildung: Ausschnitt Abbildung SPM.5 in IPCC (2021).

Modellkette zur Berechnung von Stadtklima



Was zeigt ein Stadtklimamodell und welche städtischen Temperaturüberhöhungen gibt es noch?

- Im untersten Modellniveau: Differenzen der Temperatur zum ländlichen Umland (Abb. rechts).
- In etwa 2 m über Grund: Differenzen der bodennahen Temperatur zum Umland aus Mess- oder Modellwerten.
- Aus Satellitendaten: Oberflächentemperaturunterschiede (einige 10 K höher/niedriger als die 2 m Lufttemperatur sind möglich, auch innerhalb der Stadt).
- In der Atmosphäre über der Stadt: erwärmte und höhere Grenzschicht durch Wärmeabgabe der Stadt in die Atmosphäre.
- Unter der Stadt: erwärmte Böden durch Wärmeleitung, Versorgungsleitungen usw.

Modellierte Wärmeinsel in 10 m über Grund
(nachts, Klimamittel 1971-2000, Sommer).

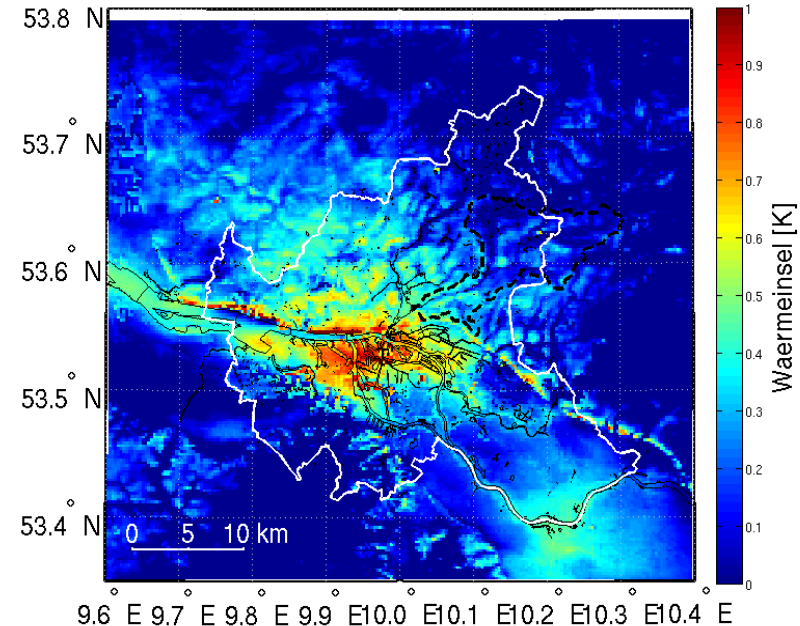


Abbildung aus: Linde et al. 2014

Was zeigt ein Stadtklimamodell und welche städtischen Temperaturüberhöhungen gibt es noch?

- Im untersten Modellniveau: Differenzen der Temperatur zum ländlichen Umland (Abb. rechts).
- In etwa 2 m über Grund: Differenzen der bodennahen Temperatur zum Umland aus Mess- oder Modellwerten.
- Aus Satellitendaten: Oberflächentemperaturunterschiede (einige 10 K höher/niedriger als die 2 m Lufttemperatur sind möglich, auch innerhalb der Stadt).
- In der Atmosphäre über der Stadt: erwärmte und höhere Grenzschicht durch Wärmeabgabe der Stadt in die Atmosphäre.
- Unter der Stadt: erwärmte Böden durch Wärmeleitung, Versorgungsleitungen usw.

Modellierte Wärmeinsel in 10 m über Grund (nachts, Klimamittel 1971-2000, Sommer).

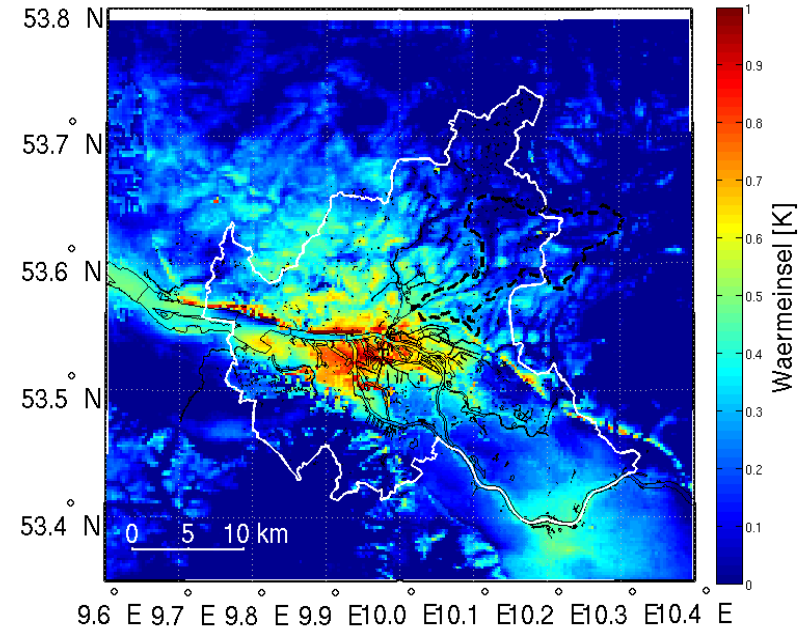


Abbildung aus: Linde et al. 2014

Einflüsse von Städten auf Temperaturen

■ Städte

- Emittieren überproportional viele Treibhausgase und tragen damit zum globalen Klimawandel direkt bei,
- Verändern Oberflächeneigenschaften (Versiegelung, Verdichtung der Böden)
→ **Speicherung von Wärme tagsüber**,
- Vermindern die Verdunstung und Windgeschwindigkeit,
- Erhöhen die Böigkeit,
- Emittieren anthropogene Wärme.

→ **Wärmeinseleffekt**

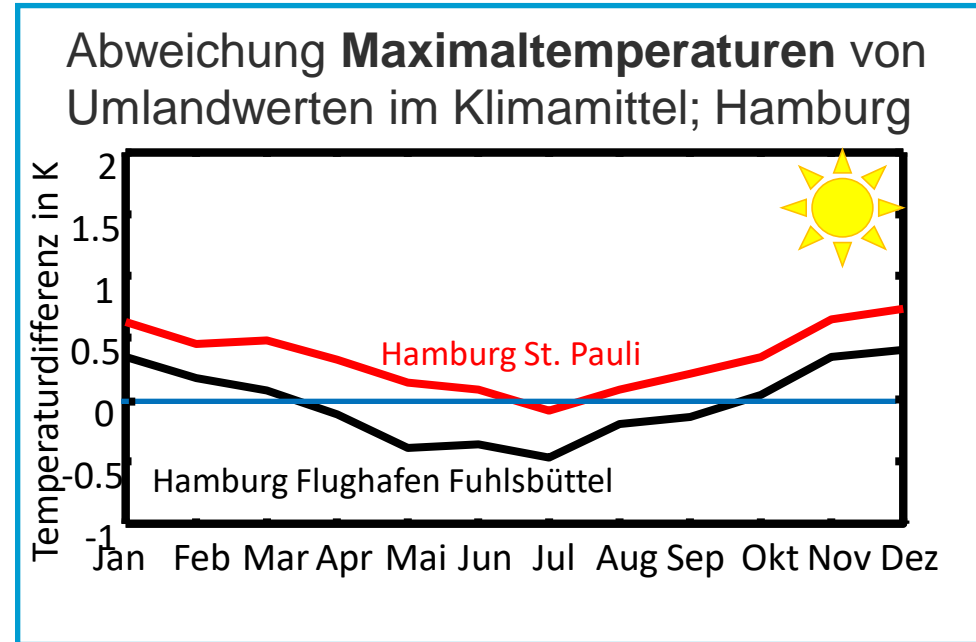


Abbildung basiert auf Schlünzen et al. (2010)

Einflüsse von Städten auf Temperaturen

- Städte
 - ...Verändern Oberflächeneigenschaften (Versiegelung, Verdichtung der Böden)
 - Speicherung von Wärme tagsüber
 - **Wärmeabgabe Spät-Nachmittag / Nachts ...**
- **Wärmeinseleffekt**
 - Temperaturen in der Stadt gegenüber dem Umland nachts erhöht: **0.5-3 K im Klimamittel**, im Einzelfall **bis 10 K**.
 - Im Sommer bzw. nachts Unterschiede größer als im Winter bzw. tagsüber
 - Tendenz in unserer Hand, wir prägen die Stadtstrukturen.

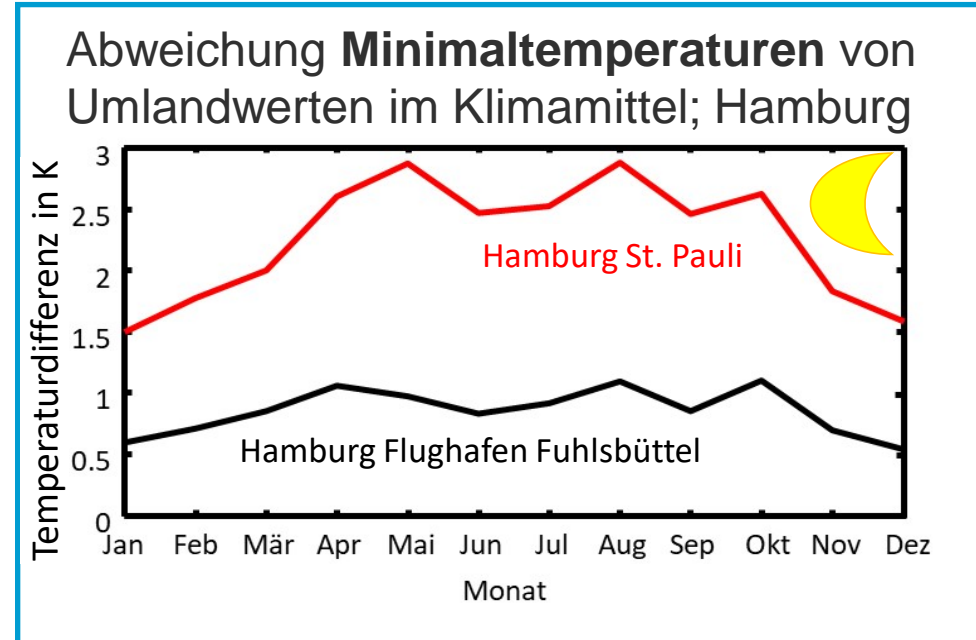
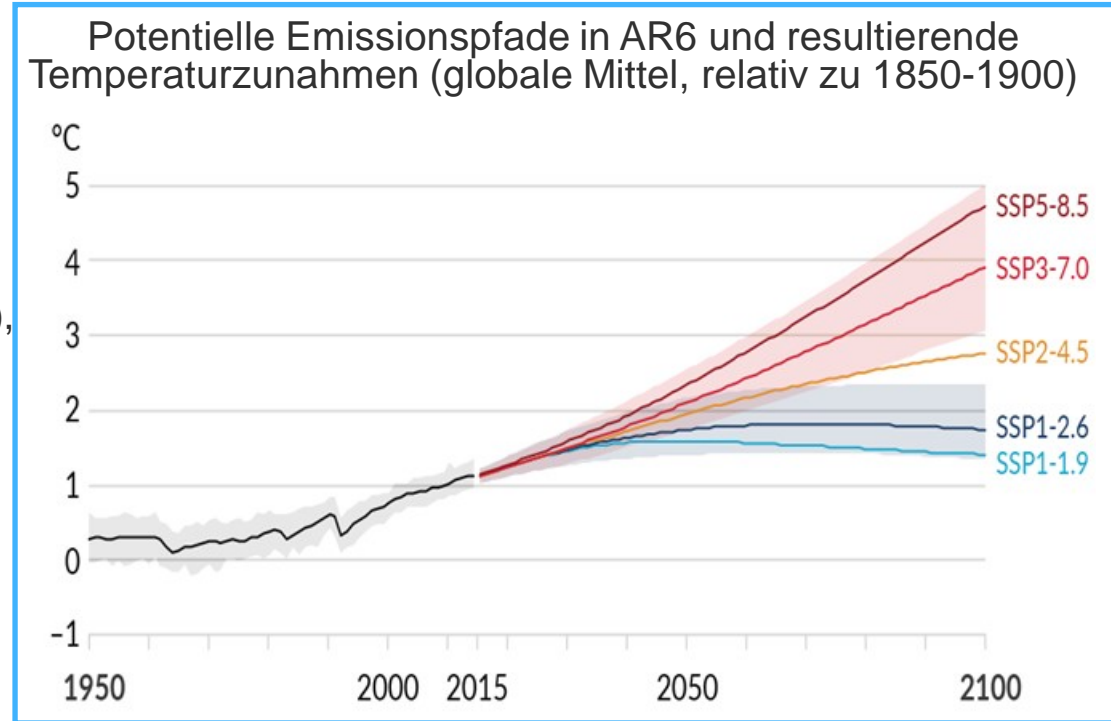


Abbildung basiert auf Schlünzen et al. (2010).

Globale Klimaänderungen - worauf müssen wir uns für die Zukunft einstellen?

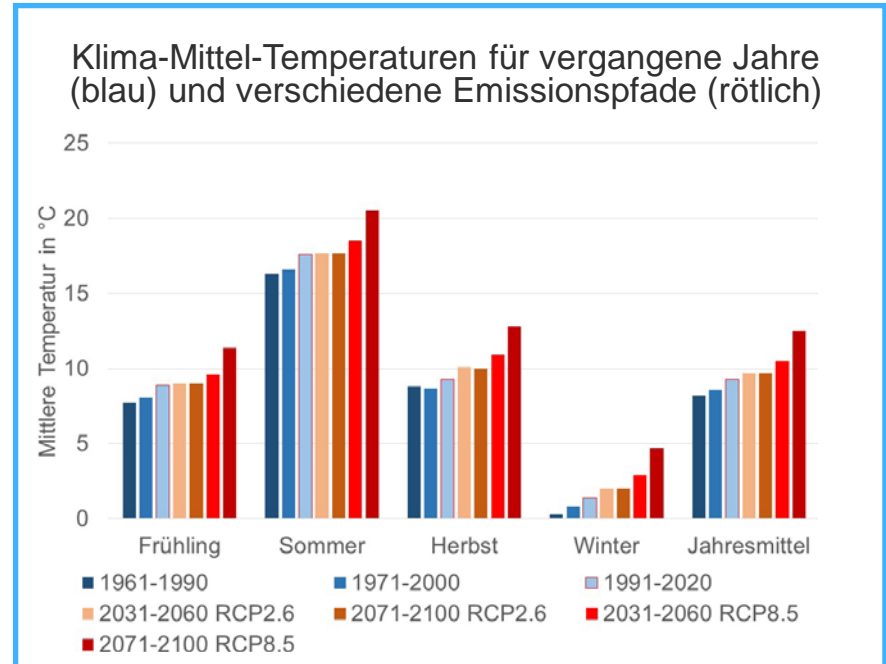
- Weitere Treibhausgas-Emissionen (THG: CO₂ä) führen zu weiterer Erwärmung in der Zukunft.
- Global beträgt die Temperaturzunahme 2100 je nach Emissionspfad
~1.5 °C (**Sehr geringe** THG Emissionen),
~1.8 °C (**Geringe** THG Emissionen),
>2.7 °C (**Mittlere** THG Emissionen),
>3.9 °C (**Hohe** THG Emissionen),
>4.7 °C (**Sehr hohe** THG Emissionen).



Quelle für Abbildung: Figure SPM.8 in IPCC (2021)

Thermische Entwicklung in der Zukunft

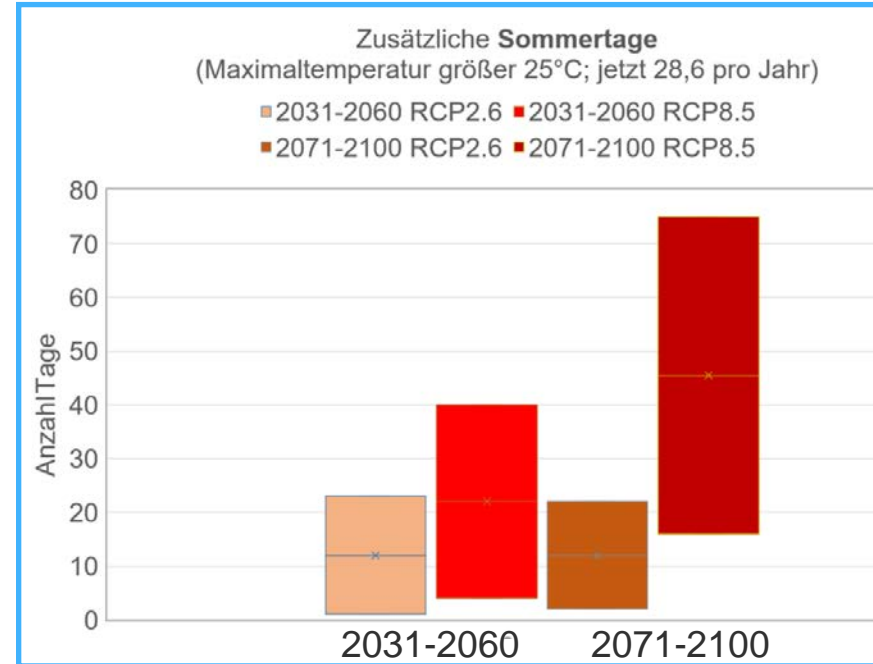
- Es wird weiter wärmer;
jede zusätzlich emittierte Tonne
CO₂ verstärkt den Klimawandel.



Eigene Abbildung, Daten DWD (2022)

Thermische Entwicklung in der Zukunft

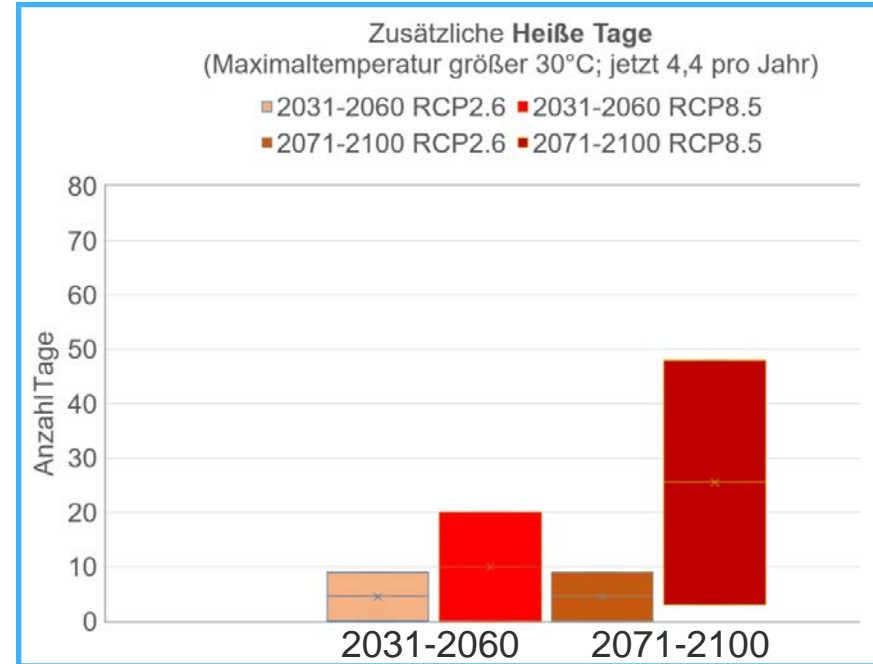
- Zahl der Sommertage (Maximaltemperatur größer 25 °C) steigt.
- Zahl der heißen Tage (Maximaltemperatur größer 30°C) steigt.
- Zahl der tropischen Nächte (Minimaltemperatur > 20 °C) steigt.
- **Durch die städtische Wärmeinsel können die Werte im Klimamittel einige Grad, lokal und zeitweise auch bis zu 10 Grad höher sein als im Umland.**



Eigene Abbildung, Daten Pfeifer et al. (2021)

Thermische Entwicklung in der Zukunft

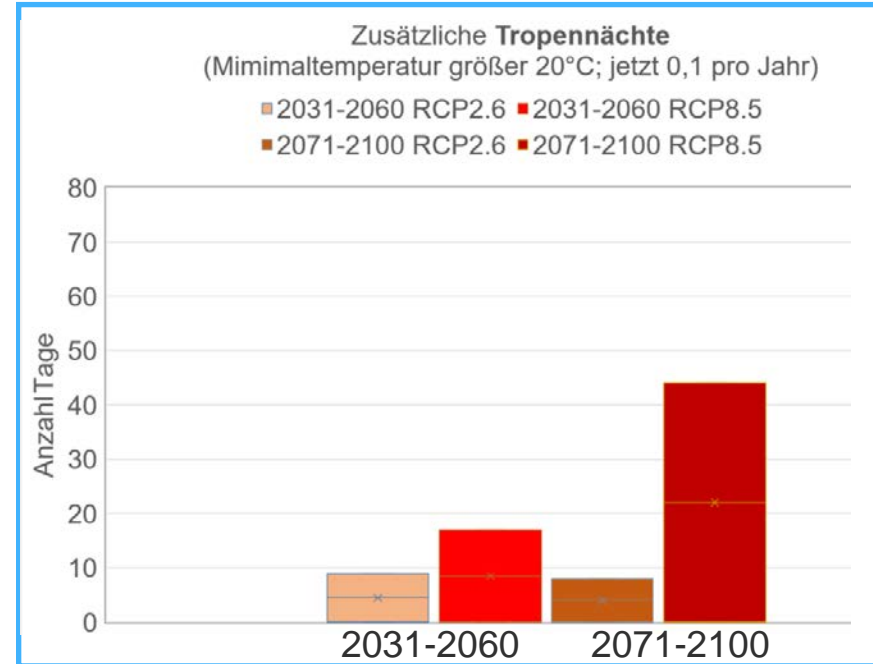
- Zahl der Sommertage (Maximaltemperatur größer 25 °C) steigt.
- Zahl der heißen Tage (Maximaltemperatur größer 30°C) steigt.
- Zahl der tropischen Nächte (Minimaltemperatur > 20 °C) steigt.
- **Durch die städtische Wärmeinsel können die Werte im Klimamittel einige Grad, lokal und zeitweise auch bis zu 10 Grad höher sein als im Umland.**



Eigene Abbildung, Daten Pfeifer et al. (2021)

Thermische Entwicklung in der Zukunft

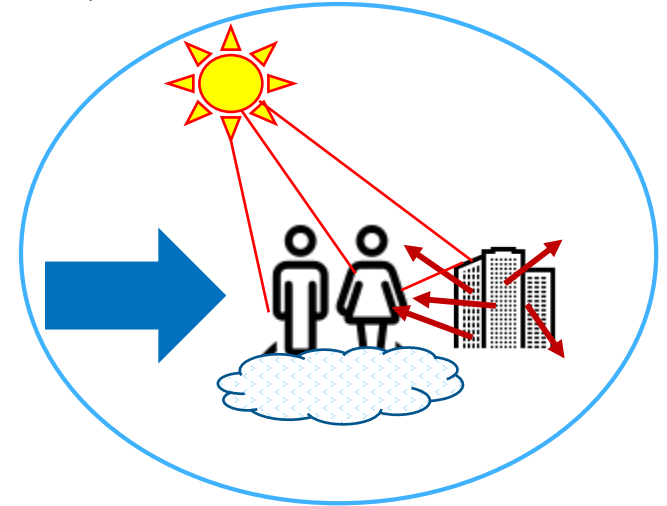
- Zahl der Sommertage (Maximaltemperatur größer 25 °C) steigt.
- Zahl der heißen Tage (Maximaltemperatur größer 30°C) steigt.
- Zahl der tropischen Nächte (Minimaltemperatur > 20 °C) steigt.
- **Durch die städtische Wärmeinsel können die Werte im Klimamittel einige Grad, lokal und zeitweise auch bis zu 10 Grad höher sein als im Umland.**



Eigene Abbildung, Daten Pfeifer et al. (2021)

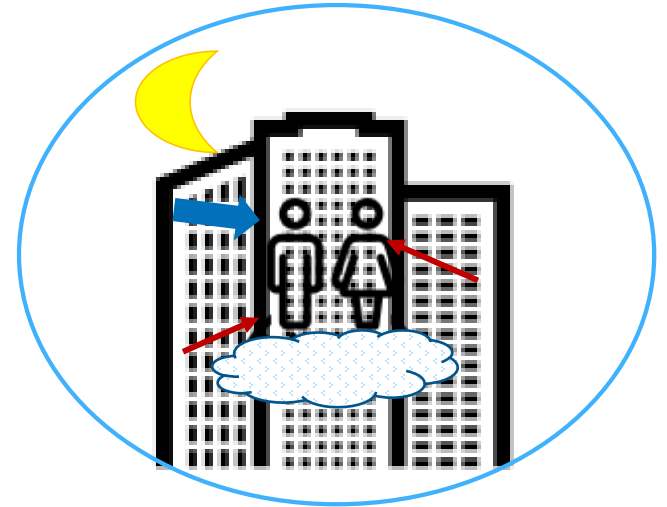
Welche Temperatur ist relevant? - Tagsüber

- Höchste Temperatur?
- Die **Temperatur** ist nicht alles, was der Körper registriert, sondern die Luft wird
 - mit **Wind** meist als kälter empfunden (erhöhte Wärmeabgabe, verstärkte Verdunstung),
 - mit hoher **Luftfeuchte** als wärmer empfunden (verminderte Verdunstung),
 - in der **Sonne (kurzwellige Strahlung)** als deutlich wärmer empfunden (Hautoberflächentemperatur erhöht sich, Einstrahlung / Reflektionen spielen eine Rolle),
 - durch **langwellige Abstrahlung** von versiegelten Flächen / Gebäuden als wärmer empfunden.
 - Kleidung, körperlicher Belastung, Gesundheitszustand beeinflussen das Wärmeempfinden.
 - Die gefühlte Temperatur (z.B. VDI 3787-2) berücksichtigt die meisten Einflüsse und enthält Hinweise zur thermischen Beanspruchung.



Welche Temperatur ist relevant? - Nachts

- Die **Temperatur des Innenraums** ist besonders relevant
 - mit **Wind** meist als kälter empfunden (erhöhte Wärmeabgabe, verstärkte Verdunstung),
 - mit hoher **Luftfeuchte** als wärmer empfunden (verminderte Verdunstung),
 - in der **Sonne (kurzwellige Strahlung)** als deutlich wärmer empfunden (Hautoberflächentemperatur erhöht sich, Einstrahlung / Reflektionen spielen eine Rolle),
 - durch **langwellige Abstrahlung** von versiegelten Flächen / Gebäuden als wärmer empfunden.
 - Kleidung, körperlicher Belastung, Gesundheitszustand beeinflussen das Wärmeempfinden.
 - Die nächtliche thermische Beanspruchung wird durch die Innenraum-Temperatur meist recht gut beschrieben.



Anpassungsmaßnahmen, z.B. Wasserflächen

Positiv

- Ganzjährig
 - Niedrige Wassertemperatur (z.B. kalte Grundwasserquellen) kühlt im Sommer und wärmt im Winter
 - Gute Wärmespeicherung
- Sommer-Tagsüber
 - (meist) geringere Temperaturen in Lee der Wasserflächen
 - Erhöhte Luftkühlung durch Verdunstung
 - In Lee (meist) höherer thermischer Komfort



Fotos: selbst

Negativ

- Ganzjährig
 - Hohe Wassertemperatur (z.B. Kühlwassereinleitung) wärmt
 - Höhere Luftfeuchte
 - Gute Wärmespeicherung
- Sommer - Nacht
 - (meist) höhere Temperaturen in Lee der Wasserflächen
 - In Lee (meist) geringerer thermischer Komfort
- Sommer - Tag und Nacht
 - Reservoir für Mücken (potentielle Krankheitsüberträger)

Anpassungsmaßnahmen, z.B. Wasserflächen

Positiv

- Ganzjährig
 - Niedrige Wassertemperatur (z.B. kalte Grundwasserquellen) kühlt im Sommer und wärmt im Winter
 - Gute Wärmespeicherung
- Sommer - Tag
 - (meist) höhere Temperaturen in Lee der Wasserflächen
 - Erhöhte Luftfeuchte
 - Verdunstungskühlung
 - In Lee (meist) höherer thermischer Komfort
- Sommer - Nacht
 - (meist) höhere Temperaturen in Lee der Wasserflächen
 - In Lee (meist) geringerer thermischer Komfort
- Sommer - Tag und Nacht
 - Reservoir für Mücken (potentielle Krankheitsüberträger)

**Wasserflächen kühlen (meist) tagsüber,
erwärmen (meist) nachts,
Wassertemperatur sehr relevant**



Fotos: selbst

Anpassungsmaßnahmen, z.B. Laubbäume an Straßen

Positiv

- Tagsüber
 - Temperatur vermindert durch Abschattung und Verdunstung
 - Kurzwelle Strahlung vermindert (im Schatten)
 - Oberflächentemperatur von (beschatteten) Straßen und Gebäudewänden geringer
 - Im Schatten besserer thermischer Komfort.

Nur Sommer



Fotos: selbst

Negativ

- Tagsüber
 - Erhöhte Luftfeuchte (Verdunstung)
 - Thermischer Komfort evtl. reduziert
 - Evtl. in Gebäuden dunkler (Schatten)
- Nachts
 - Verminderte Abkühlung (Baumtunnel)
 - Thermischer Komfort evtl. geringer
- Tagsüber und nachts
 - Reduzierter Luftaustausch
 - Bodennah emittierte Stoffe verbleiben länger in Baumtunneln

Anpassungsmaßnahmen, z.B. Laubbäume an Straßen

Positiv

■ Tagsüber

- Temperatur vermindert durch Abschattung und Verdunstung
- Kurzwellige Strahlung vermindert (im Sommer)
- Oberfläche (beschattet) Gebäude
- Im Schatten thermischer Komfort.



Nur Sommer

Nachts

Durch Straßenbäume beschattete Flächen verbleiben kühler, Savannenstruktur bevorzugen

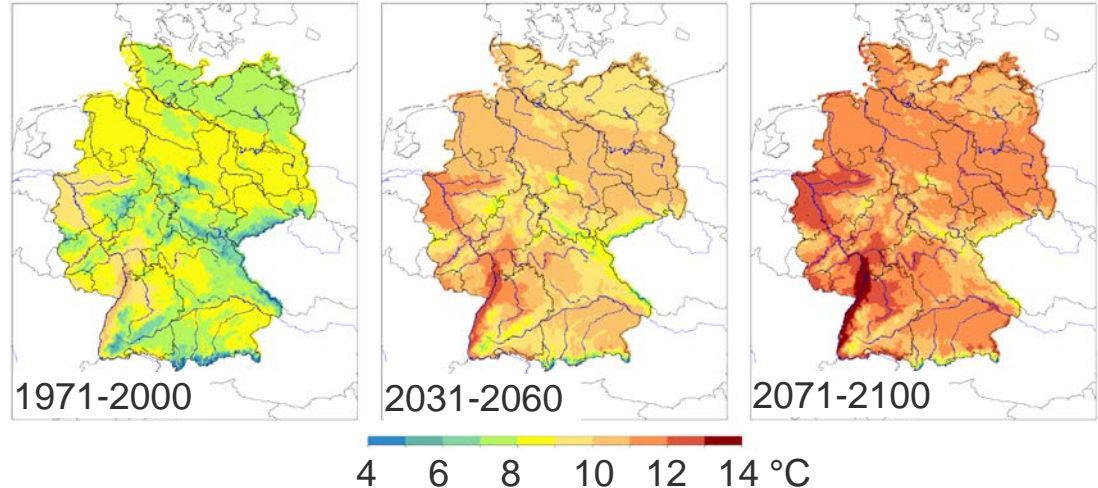
- Nachts
 - Verminderte Abkühlung (Baumtunnel)
 - Thermischer Komfort evtl. geringer
- Tagsüber und nachts
 - Reduzierter Luftaustausch
 - Bodennah emittierte Stoffe verbleiben länger in Baumtunneln

Fotos: selbst

Schlussbemerkungen - Wie heiß wird es in deutschen Städten?

Auf Lufttemperaturen bezogen

- Tagsüber so warm wie im Umland
- Überall kann es ~4 K (RCP 8.5) wärmer werden.
- Nachts werden Städte (ohne Anpassungsmaßnahmen) weiterhin wärmer sein als das Umland, im klimatischen Mittel
 - in urbanen Zentren ~3 K,
 - in Einzelsituationen bis 10 K.



30 Jahres-Mittel der 2m-Temperatur aus COSMO-CLM Klimasimulationen mit 3 km Auflösung für RCP 8.5 (Abbildung, DWD, https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimawandel_node.html)

Schlussbemerkungen – Können wir etwas tun?

Auf das thermische Wohlempfinden bezogen

- Hohe thermische Belastungen sind schon jetzt erreicht. Sie sind durch Temperatur, Wind, Einstrahlung und Feuchte geprägt, die (fast alle) im Zukunftsklima zunehmen.
- Daher Stadteffekt reduzieren:
 - Massive Baumaterialien durch weniger Wärme speichernde ersetzen,
 - Reflektierende Materialien (auch offen Glasflächen) vermeiden,
 - Fenster gegen direkte Sonne schützen – Licht ins Haus lassen (z.B. Bäume, aber Baumtunnel vermeiden)
 - Heterogene Städte (Anzahl Stockwerke, Baumhöhen, Gebäudeausrichtungen, Baulinie)
 - Abwägen was passt: Anpassungsmaßnahmen haben positive wie negative Wirkungen; die Eingriffe addieren sich positiv oder negativ zu den Klimawandelfolgen.

Jede zusätzlich emittierte t CO₂ verstärkt den Klimawandel: THG Emissionen reduzieren, damit die Folgen des Klimawandels so gering wie möglich sind.

Referenzen

DWD (2022): Nationaler Klimareport; 6. überarbeitete Auflage, Deutscher Wetterdienst, Deutschland, 53 Seiten.

<https://www.dwd.de/nationalerklimareport>

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

Linde M., Hoffmann P., Schlünzen K. H., Schoetter R. (2014): Auswirkungen auf die mittlere Lufttemperatur im Sommer. in Kruse, E., T. Zimmermann, A. Kittel, W. Dickhaut, J. Knieling, C. Sörensen (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung-beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Berichte aus dem KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 2, TuTech Verlag, Hamburg, Germany, p. 162-168; ISBN: 978-3-941492-68-4 https://edoc.sub.uni-hamburg.de/klimawandel/files/986/Band+2_Stadtentwicklung+Klimaanpassung_Wandse.pdf

Pfeifer S., Rechid D. Bathiany S. (2021): Klimaausblicke Deutschland. Dezember 2020. Climate Service Center Germany (GERICS), https://www.gerics.de/products_and_publications/fact_sheets/klimaausblicke/index.php.de

Schlünzen K.H., Hoffmann P., Rosenhagen G., Riecke W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. Int. J. Climatol., 30, 1121-1136, doi: 10.1002/joc.1968.

VDI (2022): VDI 3787 Blatt 2: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss . 80 Seiten, Beuth Verlag, Berlin.

WMO (2022): „Guidance to Measuring, Modelling and Monitoring the Canopy Layer Urban Heat Island (CL-UHI)“, Schlünzen, Grimmond, Baklanov (eds.), WMO report 1292, 87 pages; at WMO print office since 22.11.2022.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

heinke.schlunzen@uni-hamburg.de