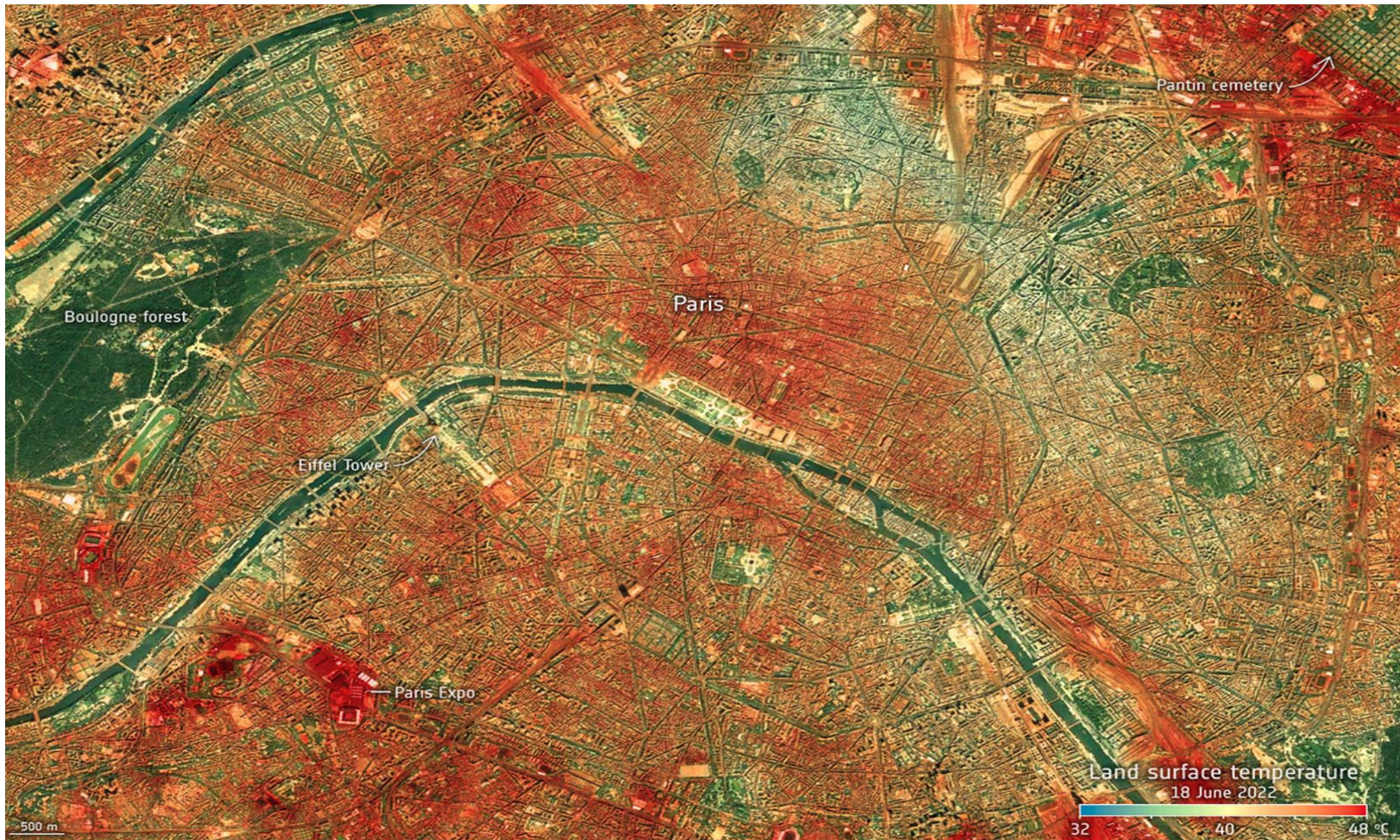


# Städte im Zeichen des Klimawandels

1



(Paris, Oberflächentemp. 18.6.2022, nachm.,  
Quelle; NASA; R. Bachert 8.7.22)

Univ.- Prof. (i. R.) Dr. rer. nat. Wilhelm Kuttler  
Angewandte Klimatologie, Universität Duisburg-Essen

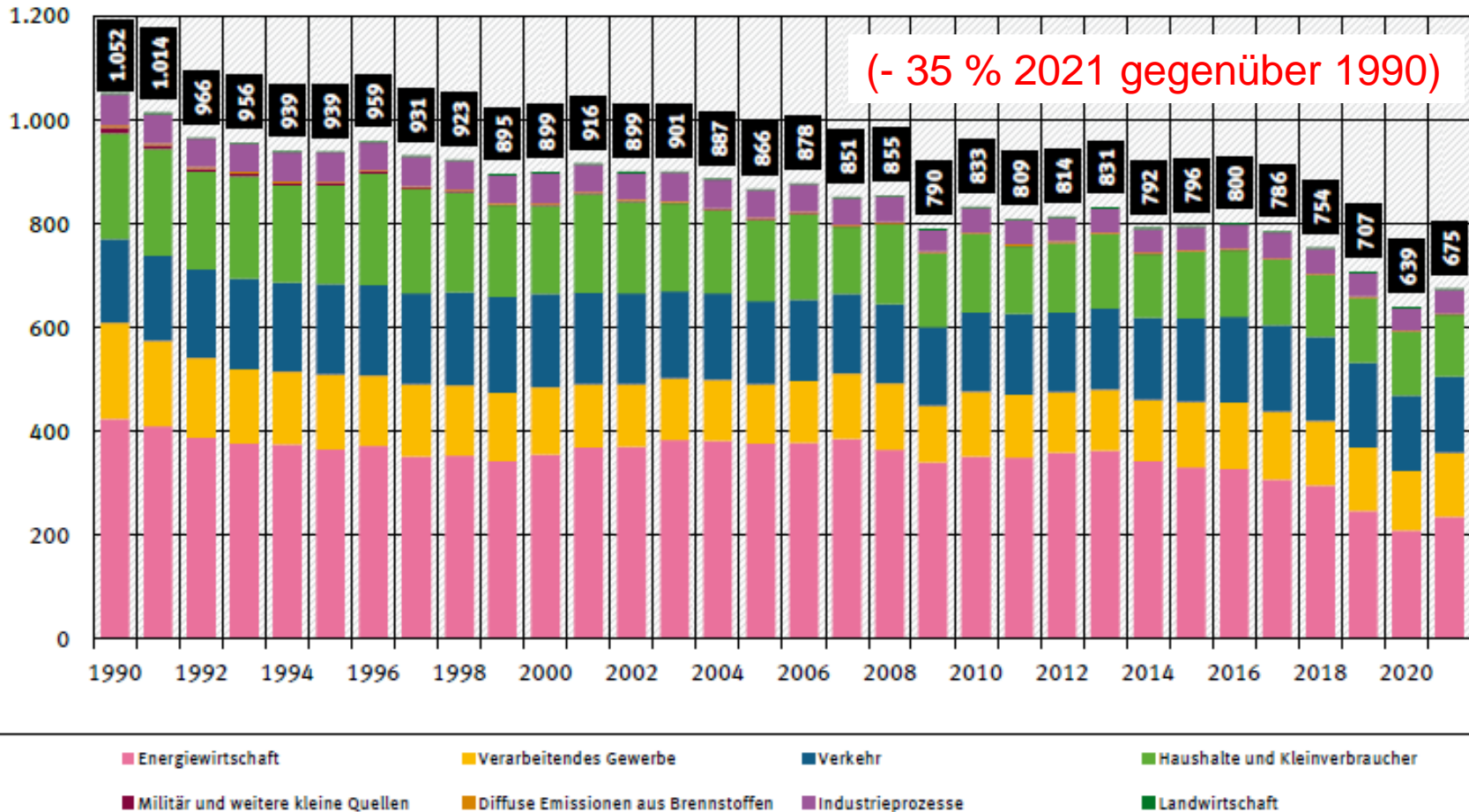
# Gliederung

- Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission und der Lufttemperatur
- Städte – klimatisch/lufthygienische Charakterisierung
- Gegenwärtige und zukünftige klimatische Probleme von Städten: Hitze und Starkregen
- Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel
- Zusammenfassung



# CO<sub>2</sub>-Emission in Deutschland und weltweit

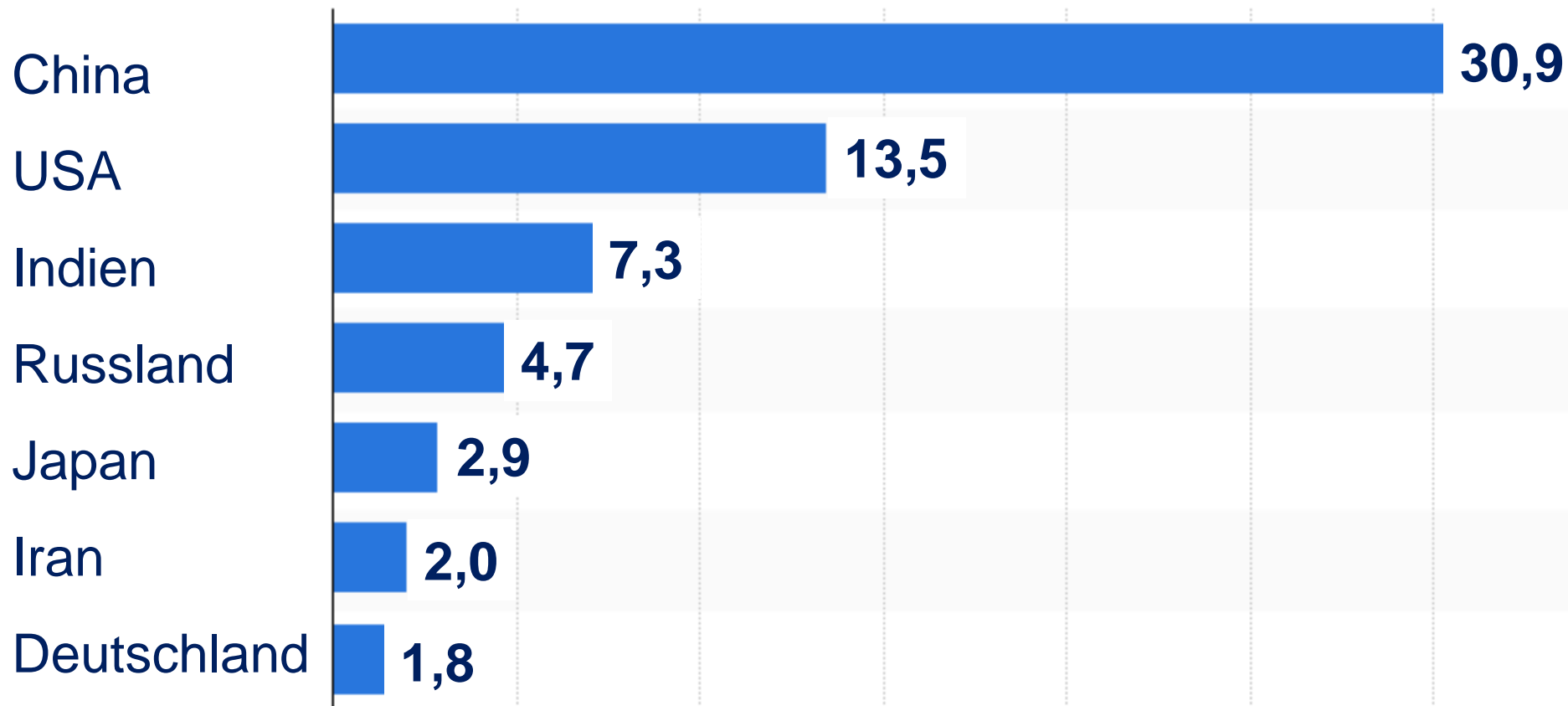
# Kohlendioxidemission in Deutschland nach Kategorien (1990 - 2021 in Mio. t)



Kohlendioxid-Emissionen: ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft  
 Verkehr: ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr  
 Haushalte und Kleinverbraucher: mit Militär und weiteren kleinen Quellen (u.a. land- und forstwirtschaftlichem Verkehr)

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2020 (Stand 01/2022), für 2021 vorläufige Daten (Stand 15.03.2022)

# Anteil (in %) an der weltweiten Kohlendioxidemission (2021)<sup>1)</sup>

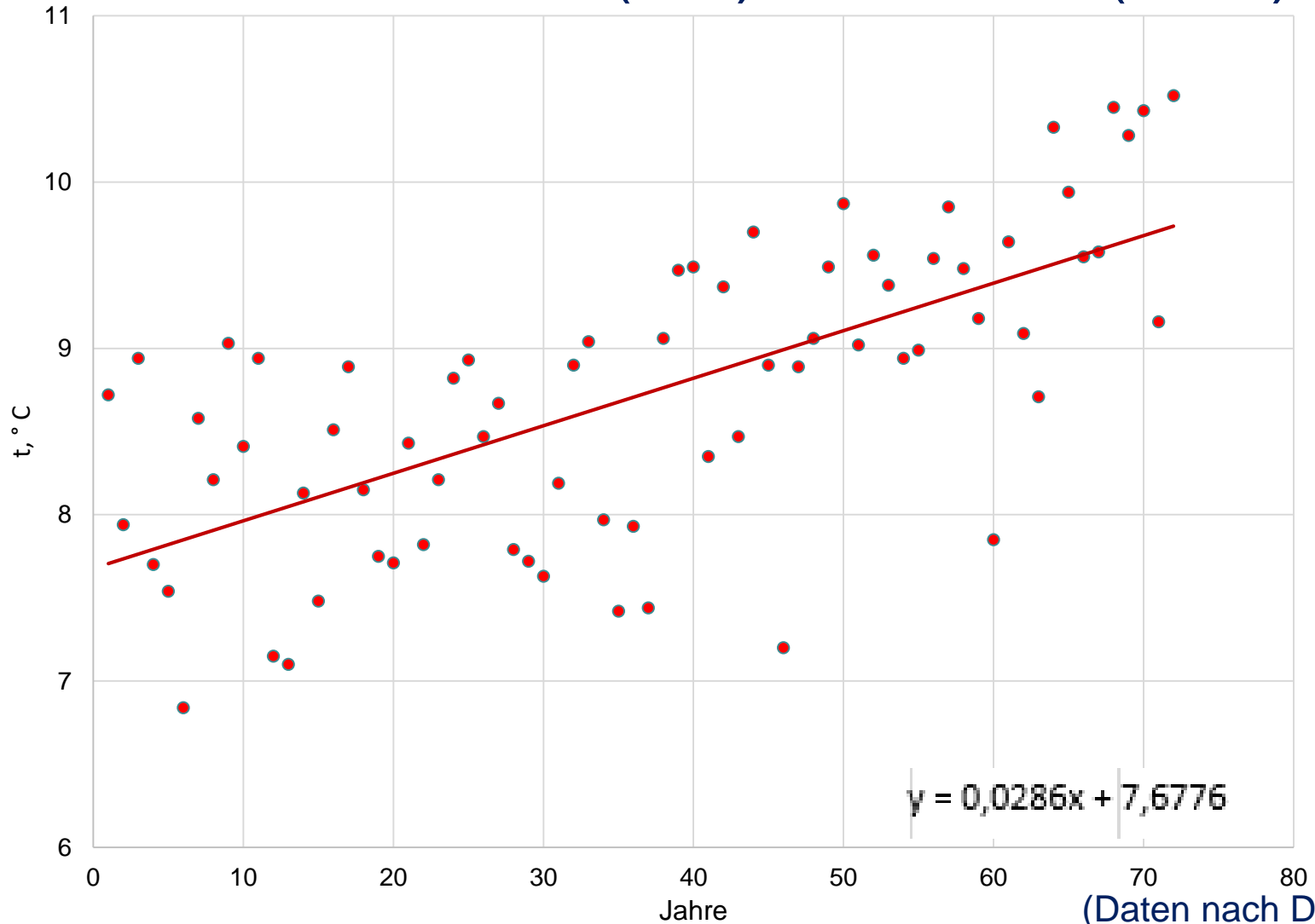


<sup>1)</sup> nur im jeweiligen Inland freigesetzte Emissionen

(Quelle: statista 2021)

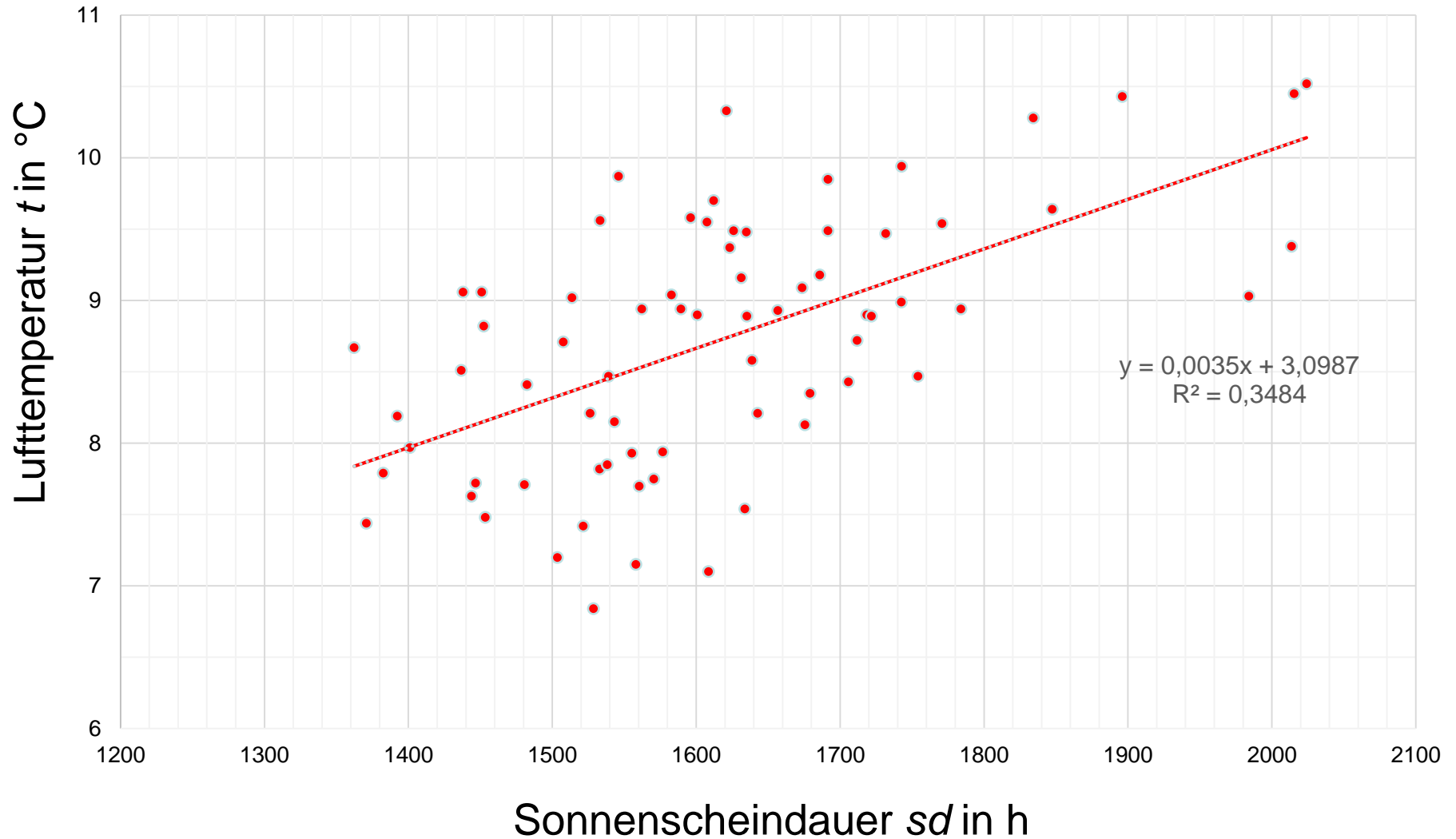
# Entwicklung der Lufttemperatur in Deutschland

# Jahresmittel der Lufttemperatur $t$ in Deutschland<sup>6</sup> zwischen 1951 (= 1) und 2022 (= 72)



(Daten nach DWD 2023)

# Zusammenhang zwischen den Jahresmitteln der Lufttemperatur $t$ und den Jahressummen der Sonnenscheindauer $sd$ in Deutschland zwischen (1951 - 2022)





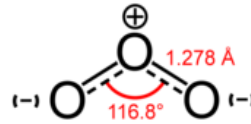
# Städte – klimatisch/lufthygienische Charakterisierung

# Klimatische und lufthygienische Charakteristika von Städten

- Bevölk.: > 60 % weltweit urban; Energie/Ressource  $\uparrow$
- Stadtoberfläche: (2 d  $\rightarrow$  3 d; Innen-/Nachverdichtung; starke Versiegelung (Abfluss $\uparrow$ , ET $\downarrow$ ))
- Materialbeschaffenheit: Überwieg. künstl.: ( $\rho\uparrow$ ,  $\lambda\uparrow$ ,  $\zeta\uparrow$ )
- Stadtatmosphäre: Emission von Spurenstoffen (z. B. NO<sub>x</sub>, CO, PM, VOC, > 70 % CO<sub>2eq.</sub>), Abwärme
- Niederschläge: Stadtzentrum  $\uparrow$ , urbane Luvgebiete  $\uparrow \uparrow$
- Stadt ./ Umland:  $t_{(\text{Luft, Oberfl.})}\uparrow$ ;  $v\downarrow$ ;  $K_M\uparrow$ ;  $L\uparrow$ ;  
 $Q_H \gg Q_E \rightarrow Bo \gg 1$ ;  $Q_F\uparrow$

# Luftqualitätsprobleme

# Ozonbildung



- Durch  $NO_2$ , PAN und flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOCs) als wichtige Vorläufergase für die Ozonbildung sowie starke Einstrahlung/hohe Lufttemperaturen
- VOCs bestehen aus zwei Gruppen:
  - Anthropogene VOCs (AVOC) und
  - Biogene VOCs (BVOC) werden von bestimmten Bäumen und Sträuchern bei hohen Temperaturen abgegeben
  - AVOCs Emission ist kaum temperaturabhängig
  - BVOCs Emission (z. B. Isopren  $C_5H_8$ ) ist dagegen in hohem Maße positiv mit der Temperatur korreliert, das heißt, „Klimawandel sensibel“
- Deshalb hat Isopren an heißen Tagen einen erheblichen Einfluss auf die Ozonproduktion
- Durch BVOC auch SOA-Bildung



# Trockentoleranz, Isoprenemission und Allergiepotezial verschiedener Baumarten

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Trocken-Toleranz <sup>1)</sup>	Isopren-Emission <sup>2)</sup>	Kritisches Allergie-Potential <sup>3)</sup>
<b>Acer campestre</b>	Feldahorn	++		nein
<b>Acer platanoides</b>	Spitzahorn	+		nein
<b>Carpinus betulus</b>	Hainbuche	+		ja
<b>Fraxinus excelsior</b>	Gemeine Esche	+		ja
<b>Ginkgo biloba</b>	Ginkgo	++		k.A.
<b>Platanus × acerifolia</b>	Ahornblättrige Platane	++	hoch	ja
<b>Populus alba</b>	Silberpappel	++	hoch	nein
<b>Populus tremula</b>	Zitterpappel	+	hoch	nein
<b>Prunus avium</b>	Vogelkirsche	++		nein
<b>Quercus petraea</b>	Traubeneiche	+	hoch	ja
<b>Quercus rubra</b>	Roteiche	+	hoch	ja
<b>Robinia pseudoacacia</b>	Gemeine Robinie	++	hoch	nein
<b>Tilia cordata</b>	Winterlinde	+		nein

1) +, ++ = gute, sehr gute Trockentoleranz (Roloff et al. 2008)

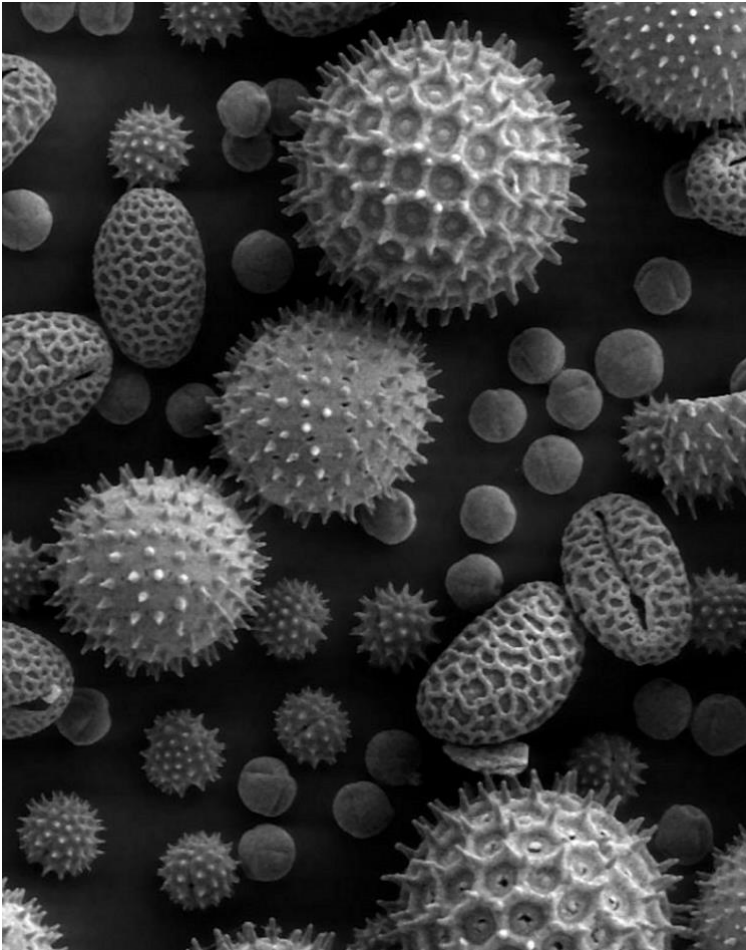
2) hoch = Baumarten mit einer Isoprenemissionsrate > 10 µg Isopren/(g TS · h)

3) Als kritisch eingestufte Baumarten sollten nicht angepflanzt werden (Bergmann et al. 2012)

(Quelle: Kuttler 2013; Wagner 2014; Mücke et al. 2014; ergänzt)



Stärkere pollenallergische Reaktion unter der Stadtbevölkerung durch im Vergleich zum Umland höhere Lufttemp. und CO<sub>2</sub>-Konz.



Allergie auslösendes Protein in Beifusspollen (Amb a1) wird produziert durch

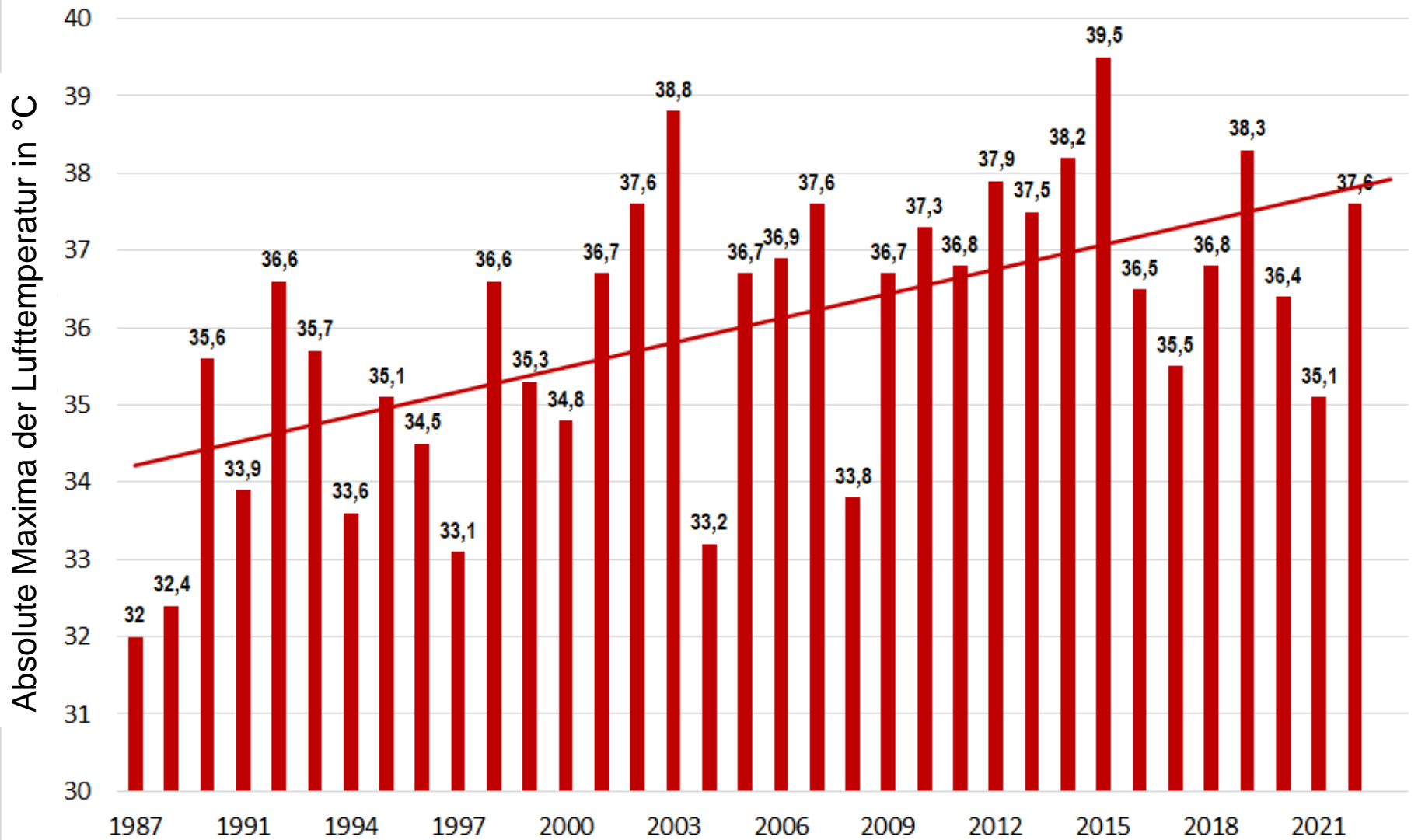
- Höhere Temperaturen und erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration (jeweils im Vergl. z. Umland)
- Beifuss ist eine Kohlenstoff limitierte (C<sub>3</sub>) Pflanze → hohe Temperaturen und hohe CO<sub>2</sub> Konzentrationen stimulieren die Produktion des Allergie auslösenden Proteins

[Quelle: Ziska et al., 2003; verändert]

# Gegenwärtige und zukünftige klimatische Probleme der Städte: Hitze und Starkregen

# Hitze

# Maximaltemperaturen in Stuttgart Mitte



(Daten: AfU Stuttgart, Grafik: Baumüller, 2022)



# Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland

[ $\leq 0,9\%$  Jahresgesamtmortalität Deutschland]



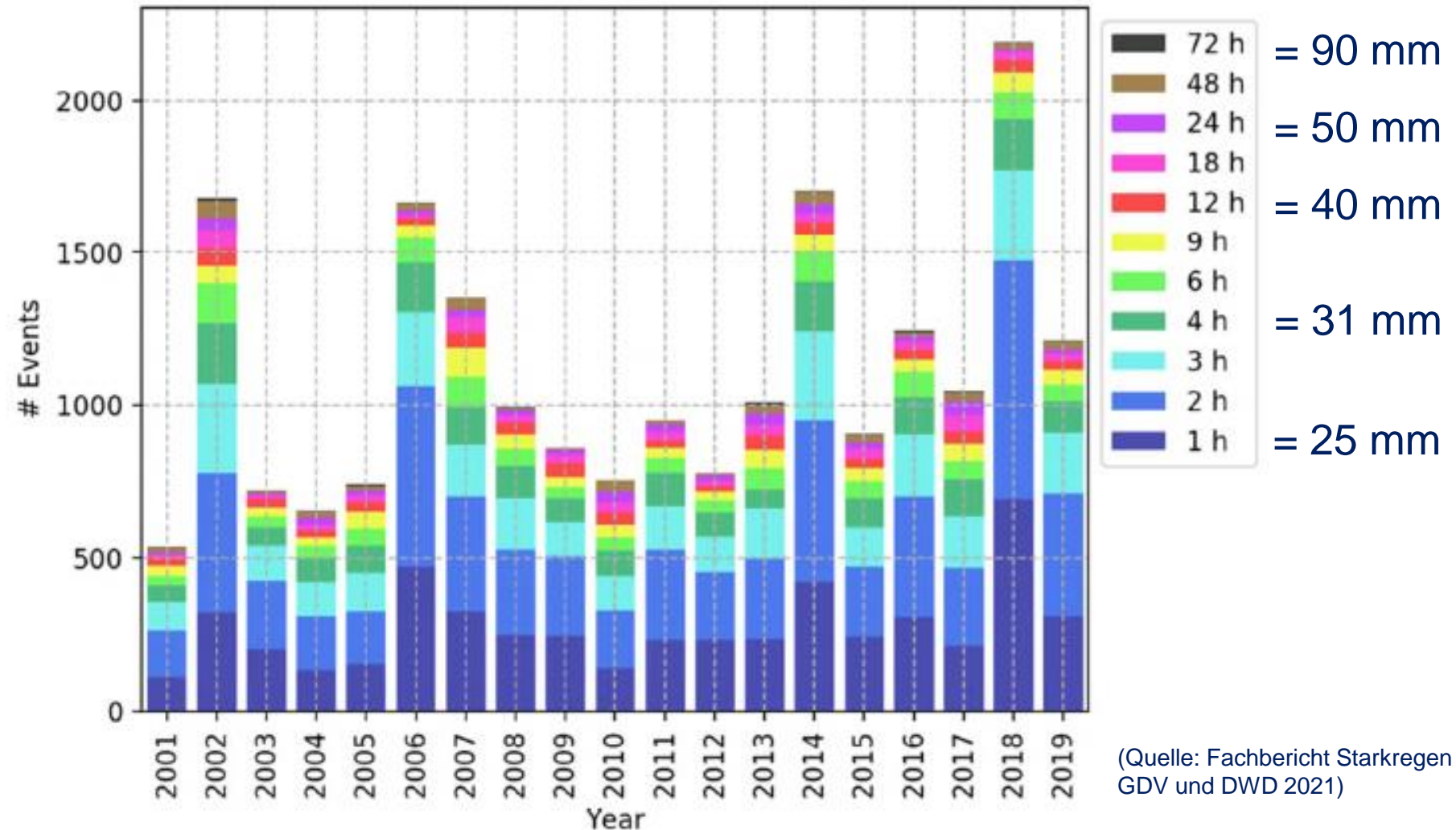
(zus.gestellt v. J. Baumüller 2022; Daten nach RKI)



# Starkregen

# Aufteilung der Starkregenereignisse (2001-2019) in Deutschland nach Dauerstufen (farblich kodiert)

Events 01.01.2001-31.12.2019



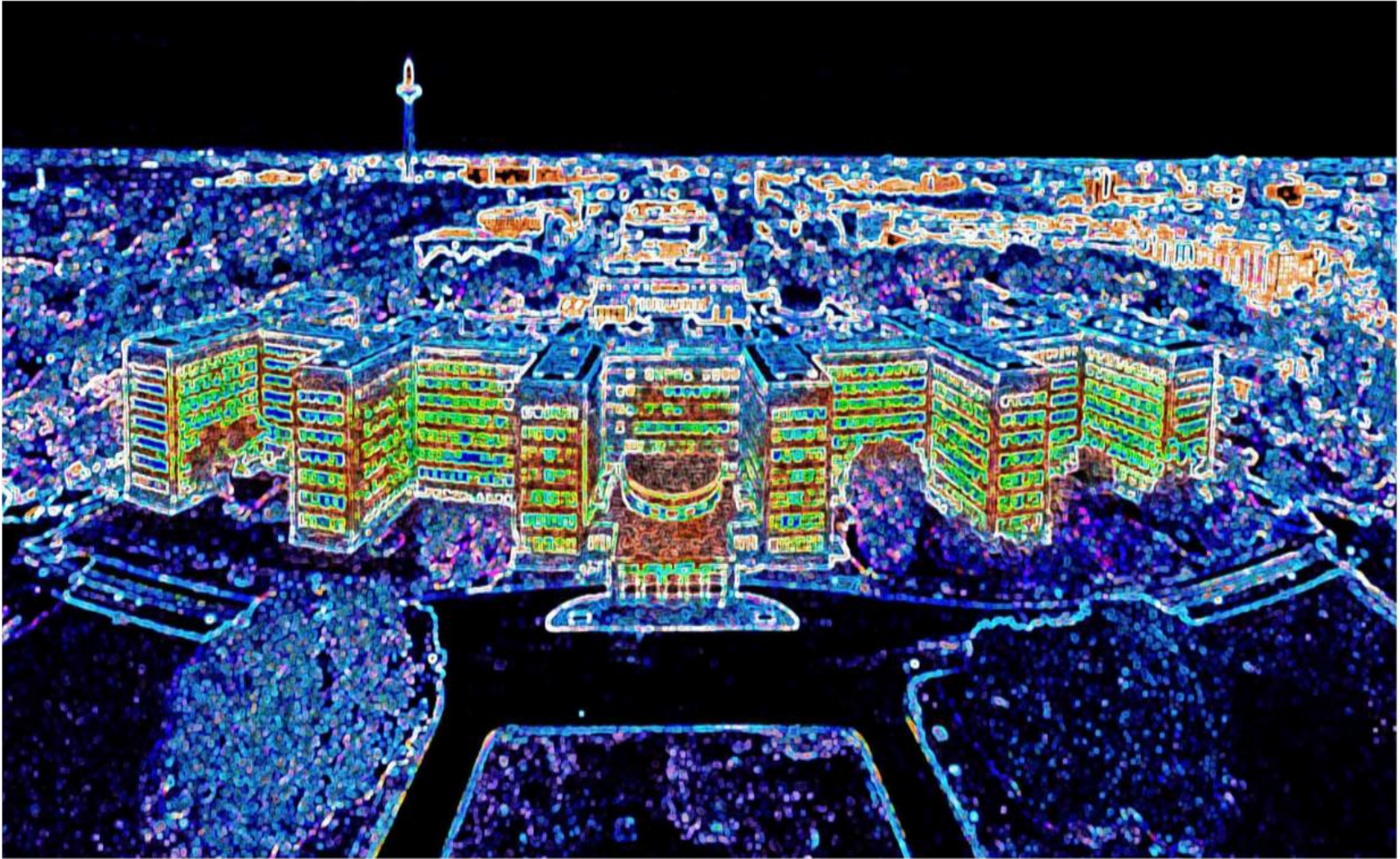
(Quelle: Fachbericht Starkregen  
GDV und DWD 2021)

# Lokale Maßnahmen gegen den globalen Klimawandel

- Gebäudehüllen aufhellen, verschatten, dämmen
- Versiegelung reduzieren/beseitigen
- Dach-/Fassadenbegrünung ausbauen
- Urbane Grün-/Wasserflächen schaffen/vergrößern
- Böden und Luft befeuchten
- Luftleitbahnen erhalten/anlegen
- Abfluss von Extremniederschlägen vermindern
- Energie einsparen



# Gebäudehüllen dämmen



**Einleuchtend:** Das IG-Farben-Haus wurde 1930 erbaut; es gehört daher zu den Frankfurter Uni-Gebäuden mit dem höchsten Energieverbrauch.

Illustration Uwe Dettmar

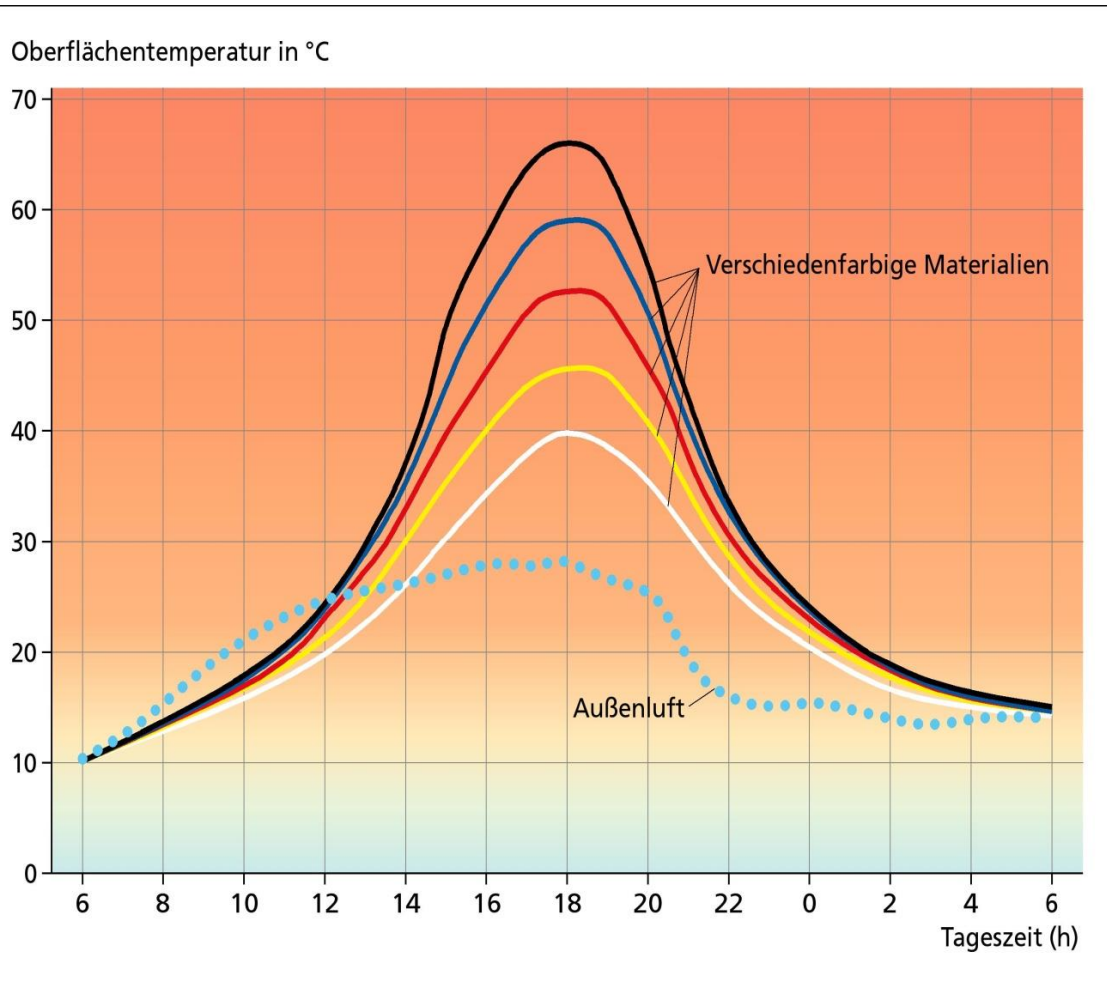
FAZ vom 17.01.2023

# Oberflächen aufhellen

Einfluss der Außenwandfarbe von  
Gebäuden auf die Oberflächentemperatur



# Oberflächentemperaturen baugleicher Westwände in Abhängigkeit von Farbgebung und Tageszeit während eines sommerlichen Strahlungstages



$$t_{65\text{ °C}} = 740 \text{ W/m}^2$$

$$t_{40\text{ °C}} = 540 \text{ W/m}^2$$

Bei  $\Delta P = 200 \text{ W/m}^2$ ,

- 5 h/d,
- 30 d/a
- 1 km<sup>2</sup> akkumulierte Wandfläche ergeben sich  $3 \cdot 10^7 \text{ kWh/a}$ , entspricht dem Jahresenergieverbrauch von 7.500 „Normfamilien“ (4.000 kWh/a).

(Quelle der Abb.: Gertis 1980, verändert.; eigene Berechnungen)

# Urbane Grün-/Wasserflächen schaffen/vergrößern

## Gebäudeoptimierung



## Quartiergestaltung

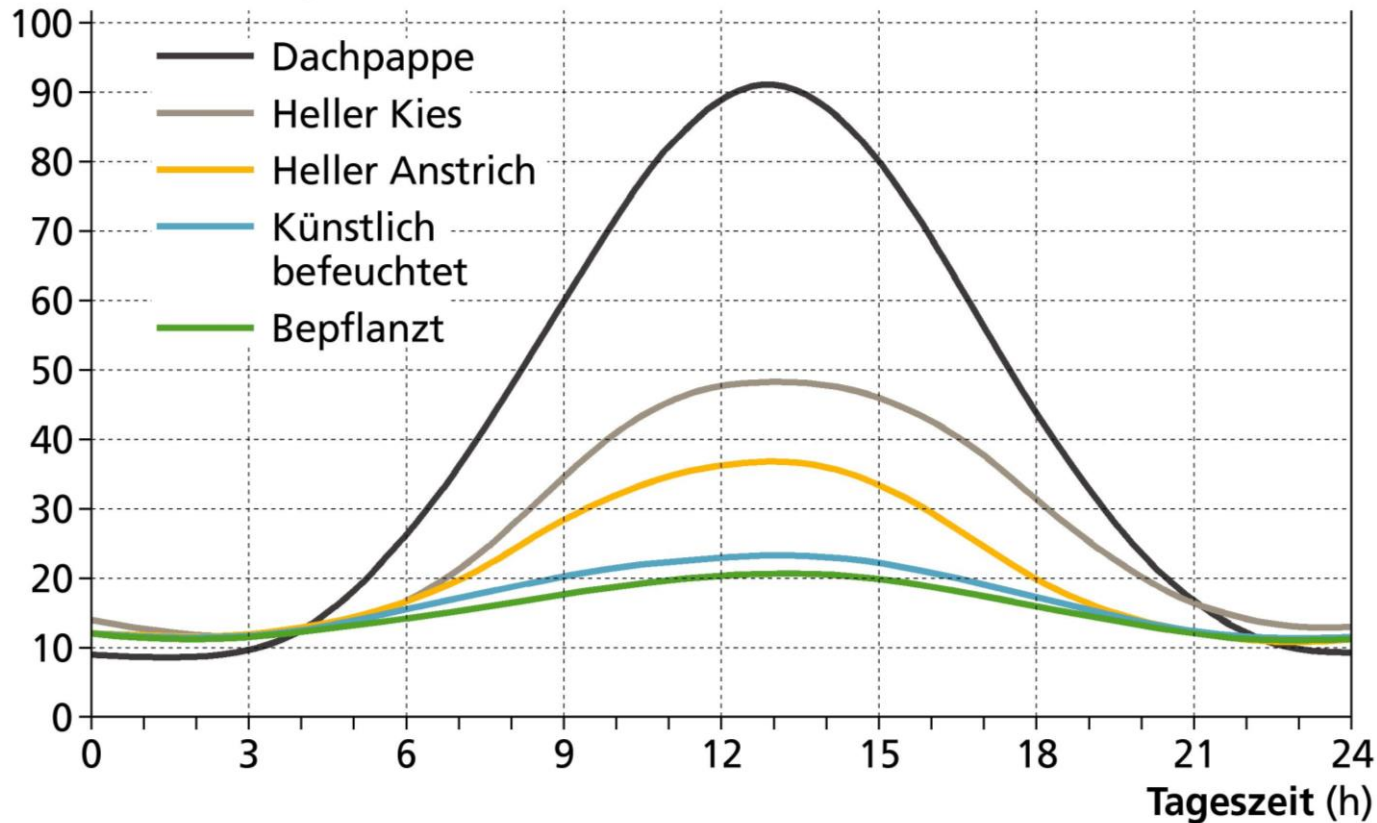


# Dach-/Fassadenbegrünung



# Oberflächentemperaturen von Dachabdeckungen während eines sommerlichen Strahlungstages in Berlin

Oberflächentemperatur (°C)



(Quelle: Horbert 2000, verändert.)

# Bäume in der Stadt

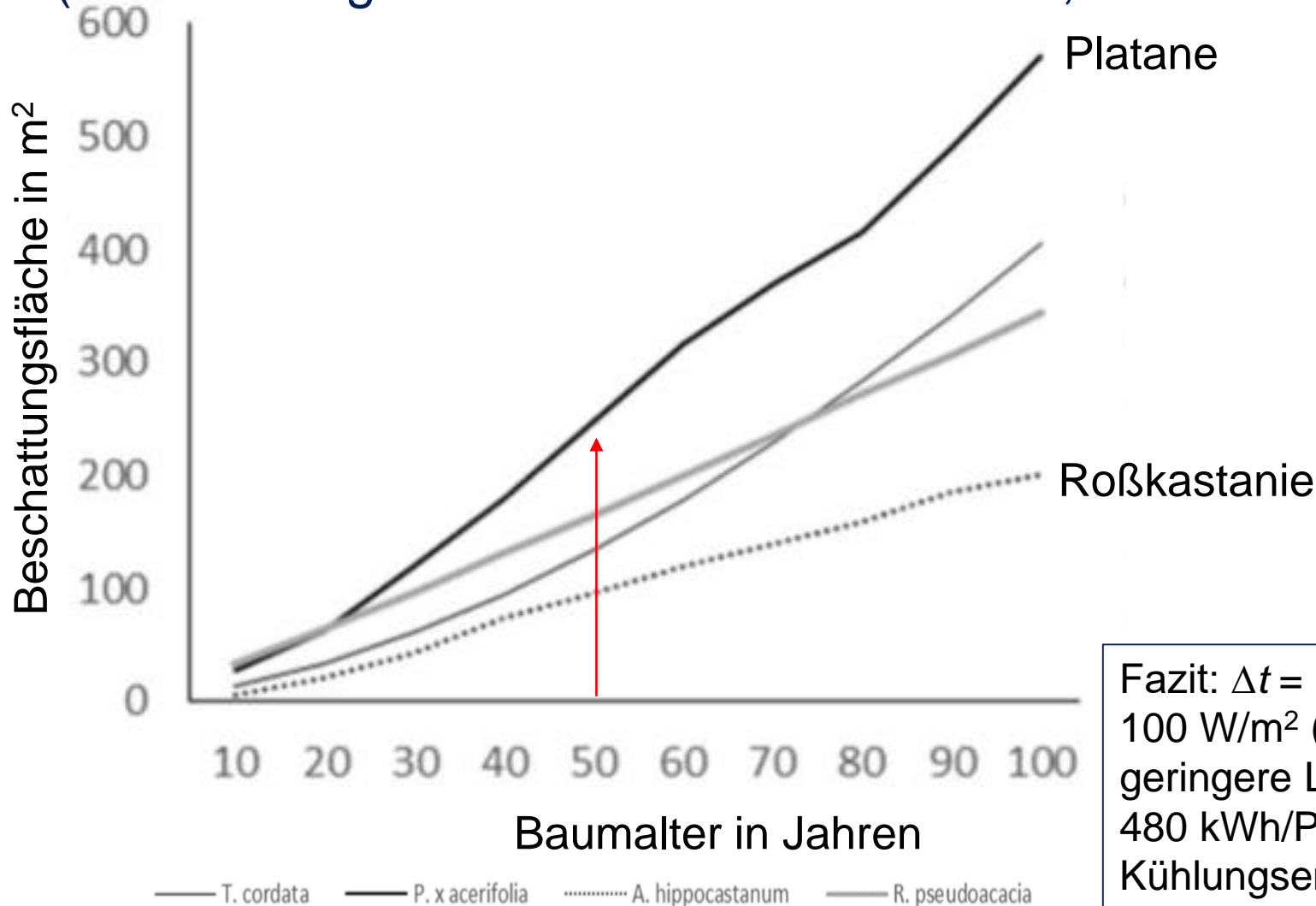


Essen, Alte Bottroper Straße

(Foto: U. Kühn)



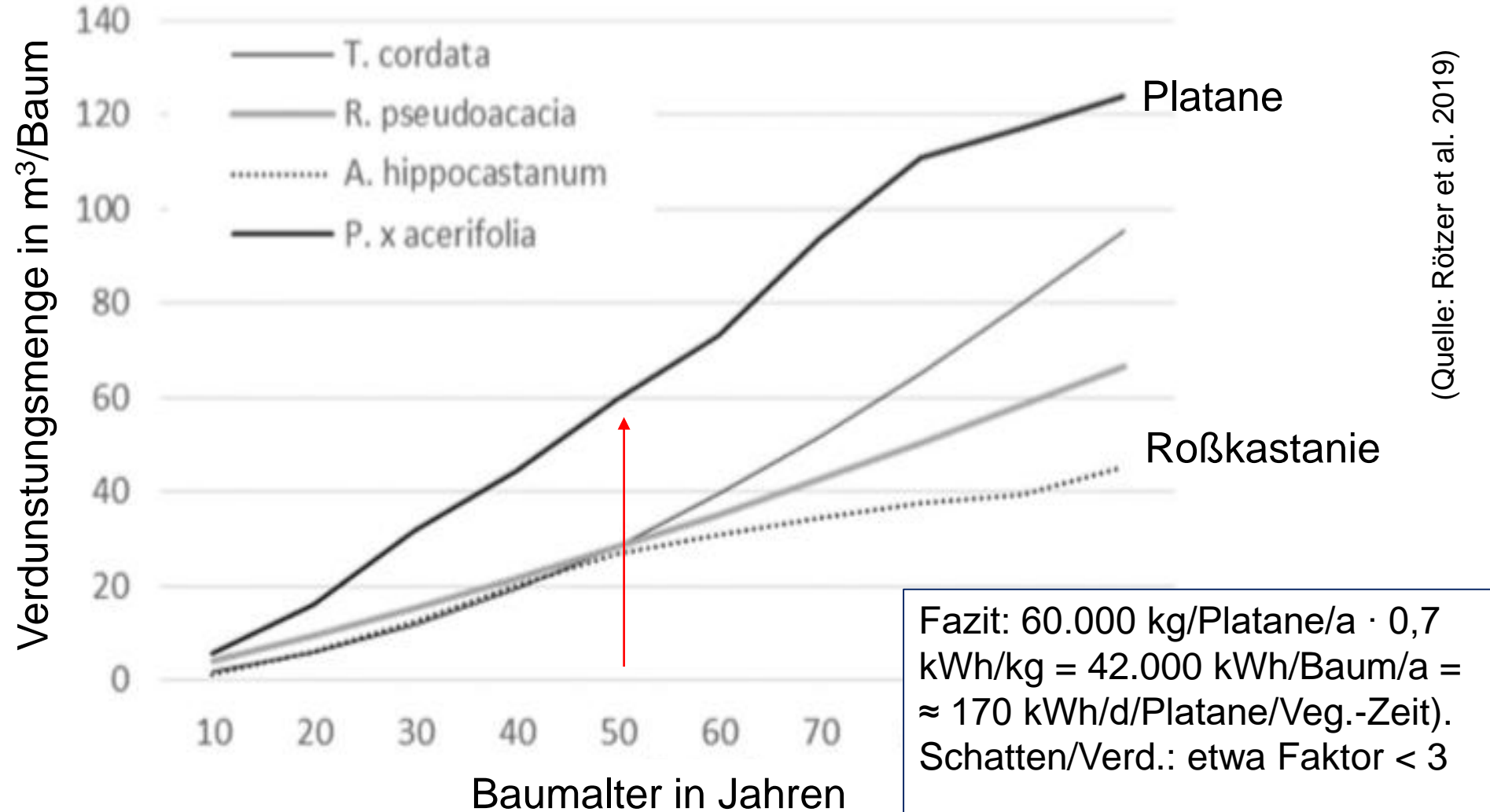
# Mittlerer Beschattung (in m<sup>2</sup>) von Platane, Linde, Robinie und Roßkastanie in Abhängigkeit ihres Alters (Beschattungsfläche für 21. Juni 8-18 Uhr, Süddeutschland)



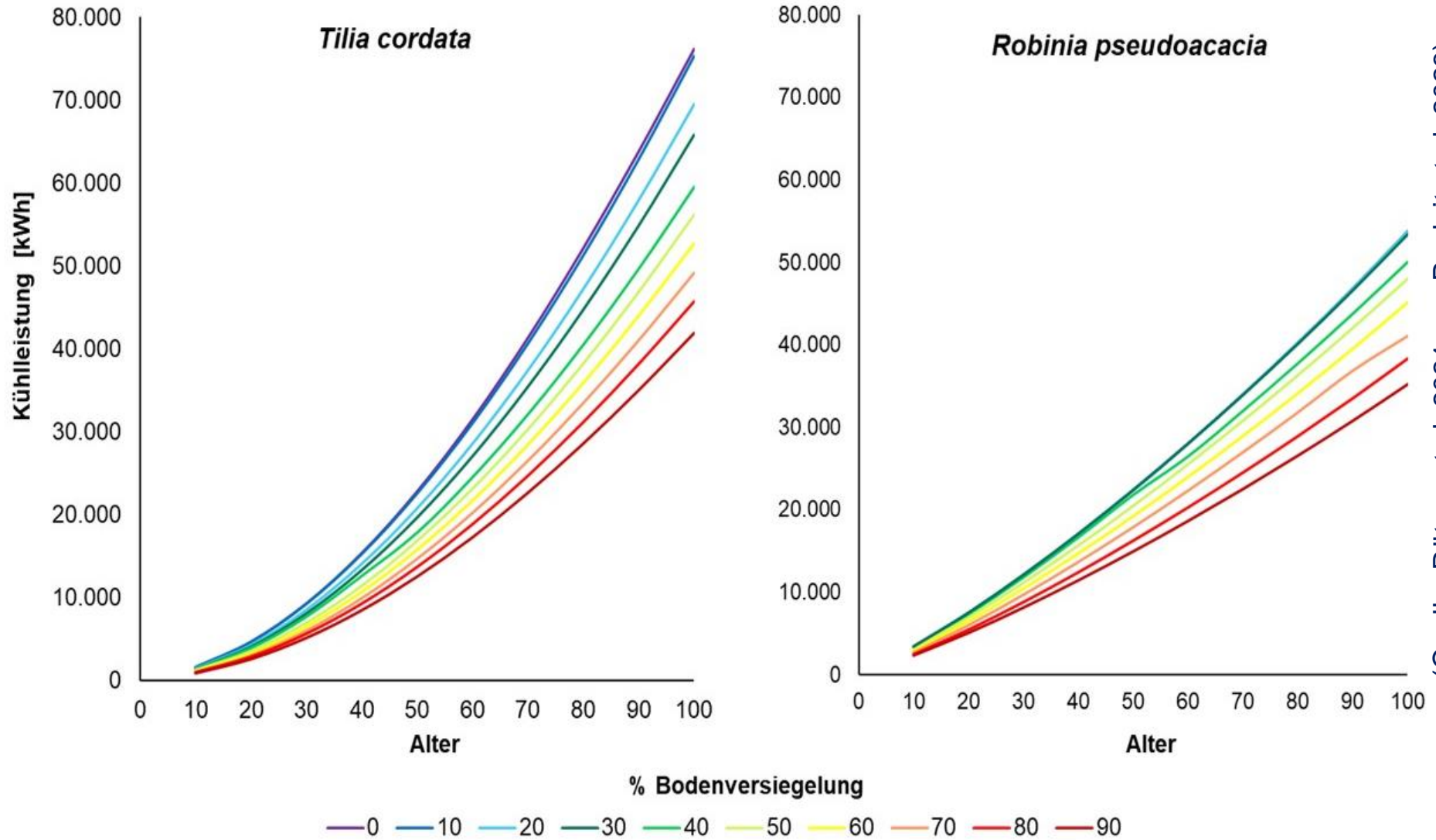
Fazit:  $\Delta t = 15 \text{ K}$  ergibt  
100 W/m<sup>2</sup> (S-Platane)  
geringere Leistung; d.h.,  
480 kWh/Platane/d an  
Kühlungsenergie

(Quelle: Rötzer et al. 2019)

# Mittlere jährliche Verdunstungsmengen (in m<sup>3</sup>/Baum) von Platane,<sup>29</sup> Linde, Robinie und Roßkastanie in Abhängigkeit ihres Alters (Standorte: Süddeutschland)



# Transpirationskühlung pro Vegetationsperiode von Winterlinde (*T. cordata*) und Scheinakazie (*R. pseudoacacia*) in Abhängigkeit des Alters und der Bodenversiegelung (Mittelwerte für süddeutsche Städte)

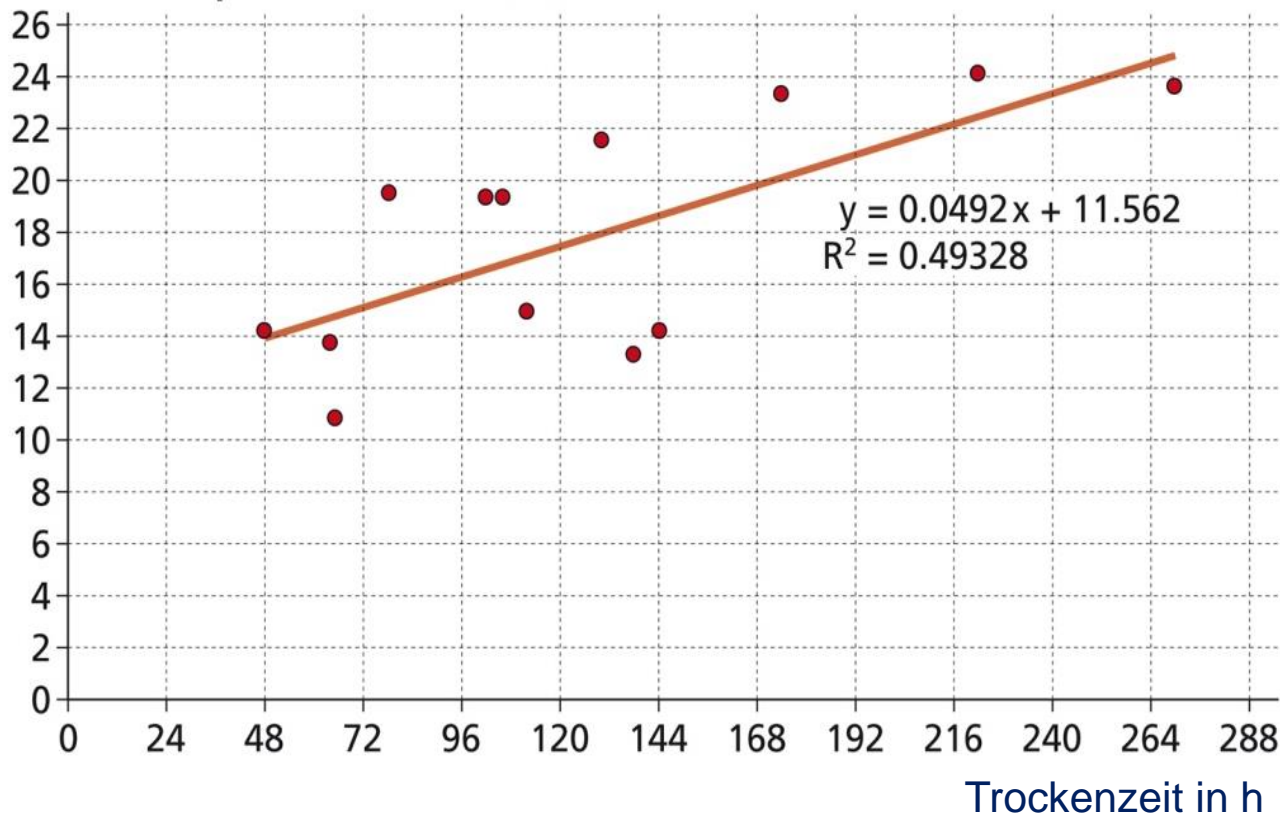


(Quelle: Rötzer et al. 2021 aus Pauleit et al. 2023)

# Grünflächen bewässern

# Oberflächentemperatur einer nach einem Niederschlagsereignis trockenfallenden Rasenfläche in der Stadt

Oberflächentemperatur in °C



1) 16., 22., 23., 26., 28., 30.09.; 15., 17., 21., 24., 27., 31.10. 2011

Standort: Klimastation der UDE



$$t_s: 14 \text{ °C} = 287 \text{ K} = 385 \text{ W/m}^2$$

$$t_s: 24 \text{ °C} = 297 \text{ K} = 441 \text{ W/m}^2$$

$$t_{s\ 14}: 4,6 \text{ kWh/m}^2$$

$$t_{s\ 24}: 5,3 \text{ kWh/m}^2$$

(Quelle: Kuttler 2013)

# Oberflächen und Luft befeuchten





Source: Choo, 2007.

## Traditionelles Uchimizu Ereignis (Wassersprenkeln) in Tokio gegen Sommerhitze



# Wassernebel-Kühlsystem in Hiroshima, Japan



(Foto: J. Baumüller, 2012)

# Luftleitbahnen zwischen Stadt und Umland sicherstellen



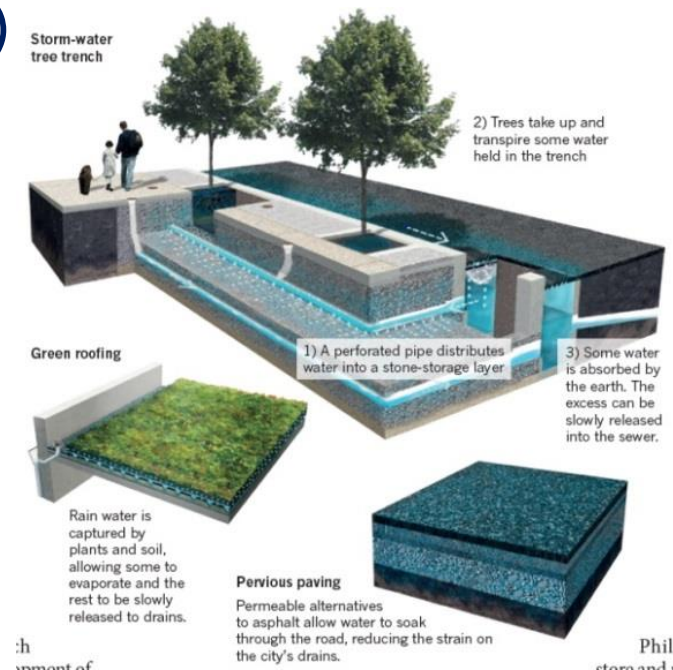
(Foto: W. Kuttler)

(Foto: W. Kuttler)

# Starkregenmanagement

# Starkregen bewältigen

- Rückbau versiegelter Flächen
- Verbesserung der Regenwasserversickerung (auf Bodenzusammensetzung achten, Rigolen anlegen)
- Anlegen von unterirdischen Regenwasser-zwischenspeichern („Sponge Cities“)
- Kontrollierte oberirdische Wasserspeicherung in Tunneln, Senken und auf Straßen (Bordsteine erhöhen), etc.
- Abflüsse sichern
- Rückstauklappen einbauen





# Zusammenfassung potenzieller Maßnahmen (1)

- **Perforierte Bauweise (hoch verdichtet, jedoch mit ausreichenden Grün- und Freiflächen versehen), Verschattungsmöglichkeiten, Bevorzugung von Passiv- und Plus-Energiehäusern**  
*(→ minimaler Energieverbrauch im Sommer und Winter; Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission)*
- **Stadt der kurzen Wege und optimale Anbindung an Personennahverkehr**  
*(→ Reduktion von Kfz- und CO<sub>2</sub>-Emissionen)*
- **Unterbindung/Reduzierung des suburbanen Wachstums („urban sprawl“)**  
*(→ Sicherstellung der ruralen Kalt- und Frischluftproduktion; keine Ausweitung der urbanen Überwärmung)*

# Zusammenfassung potenzieller Maßnahmen (2)

- **Urbane Durchgrünung (Dach, Fassade, ebenerdig) mit „low emitter“ Pflanzen; stärker wintergrüne Pflanzen berücksichtigen (auch zur Staubbindung)**  
(→ *Reduktion der Oberflächen- und Lufttemperaturen sowie der biogenen Ozonvorläufergase*)
- **Bodennahe Durchlüftung bei Schwachwindlagen bis in die Innenstädte garantieren**  
(→ *Frisch- und Kaltlufttransport aus dem ruralen Umland*)
- **Sinnvoller Einsatz regenerativer Energien**  
(→ *Reduktion der CO<sub>2</sub> - Emission*)
- **Energie einsparen**

# Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## DAS KLIMA VON ESSEN THE CLIMATE OF ESSEN

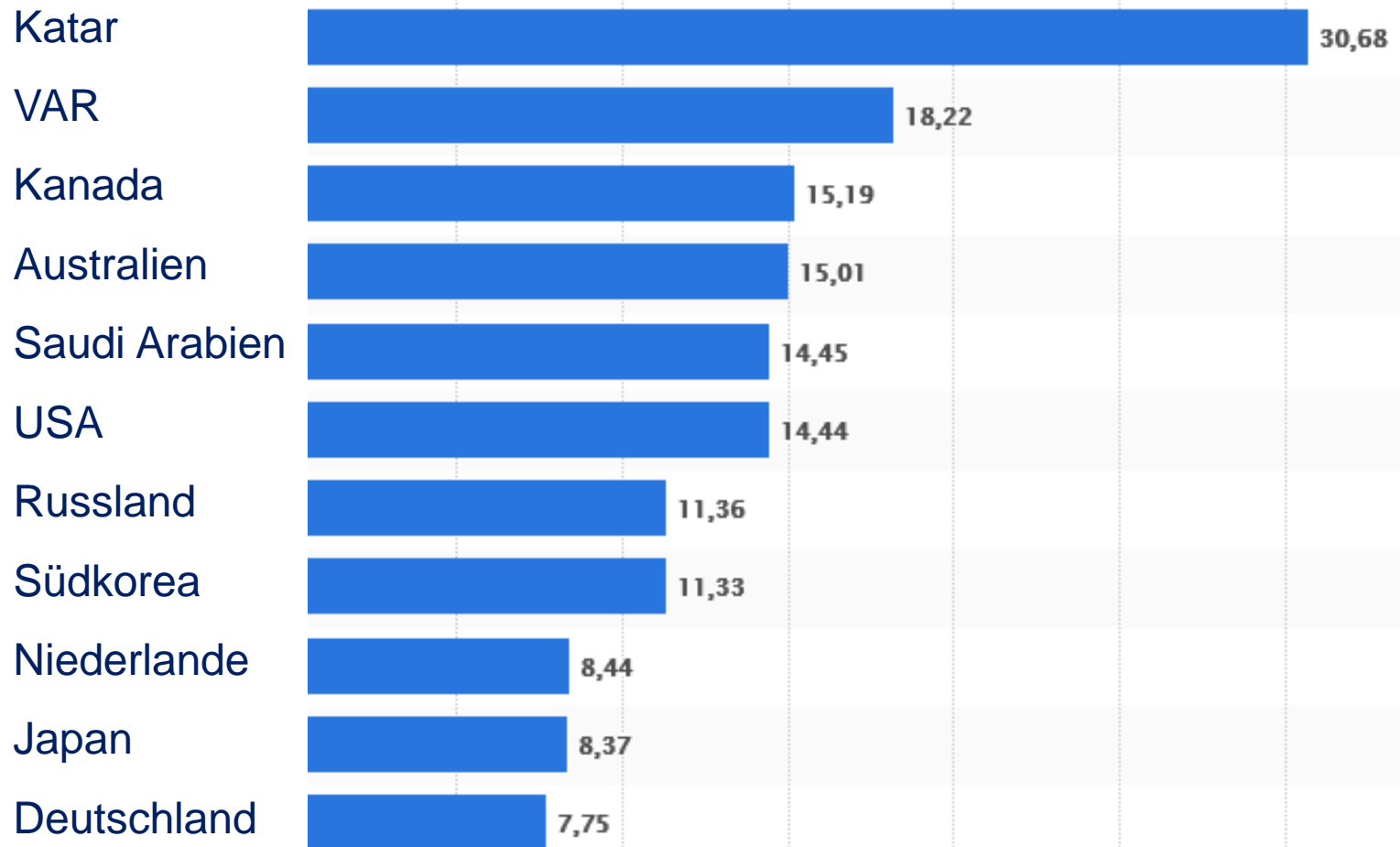
W. Kuttler, A. Miethke,  
D. Dütemeyer, A.-B. Barlag



WESTARP  
WISSENSCHAFTEN

([wikutt@outlook.de](mailto:wikutt@outlook.de))

# Prokopfemission an CO<sub>2</sub> in t/a (2021)



(Quelle: statista)