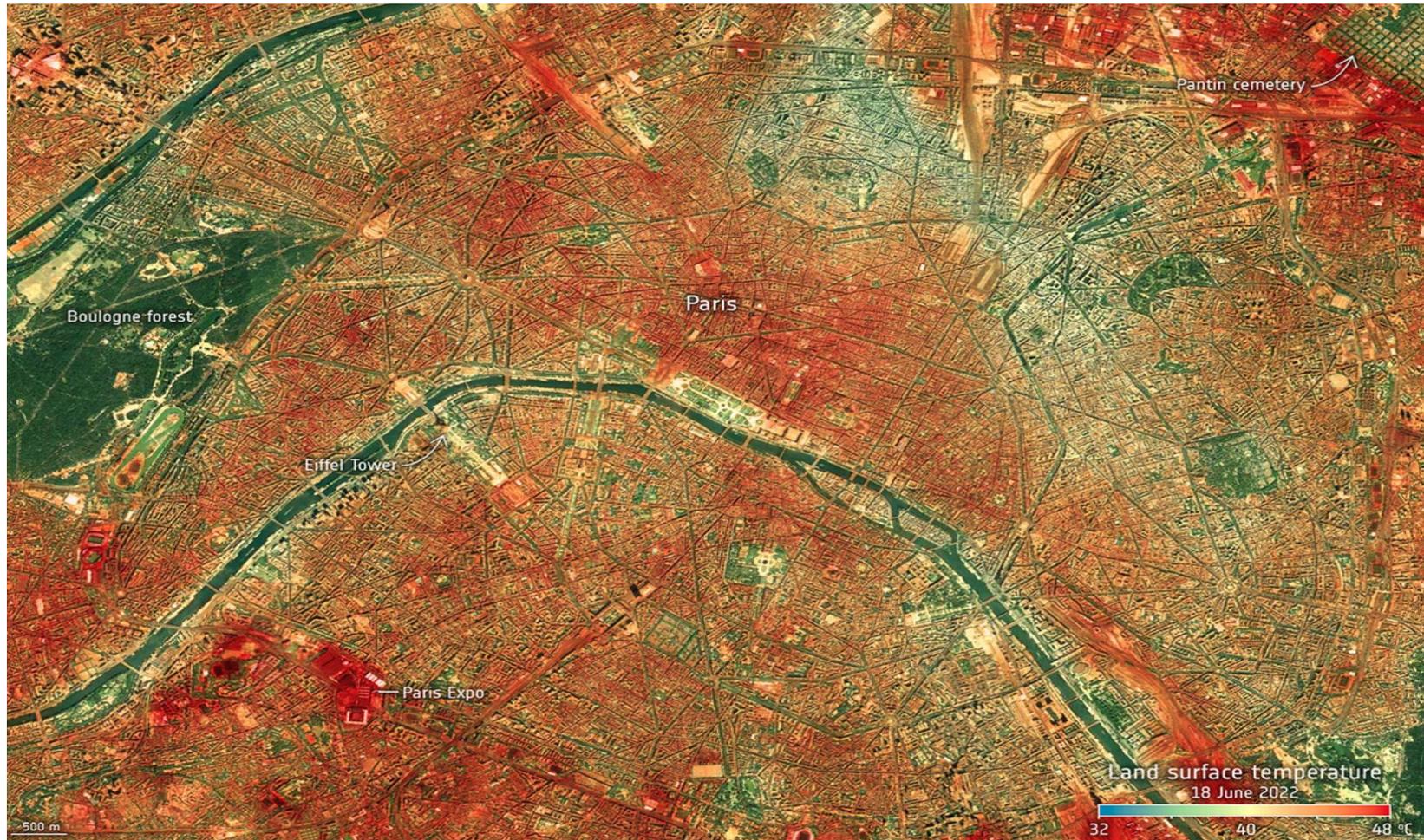


Städte im Zeichen des Klimawandels

1



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

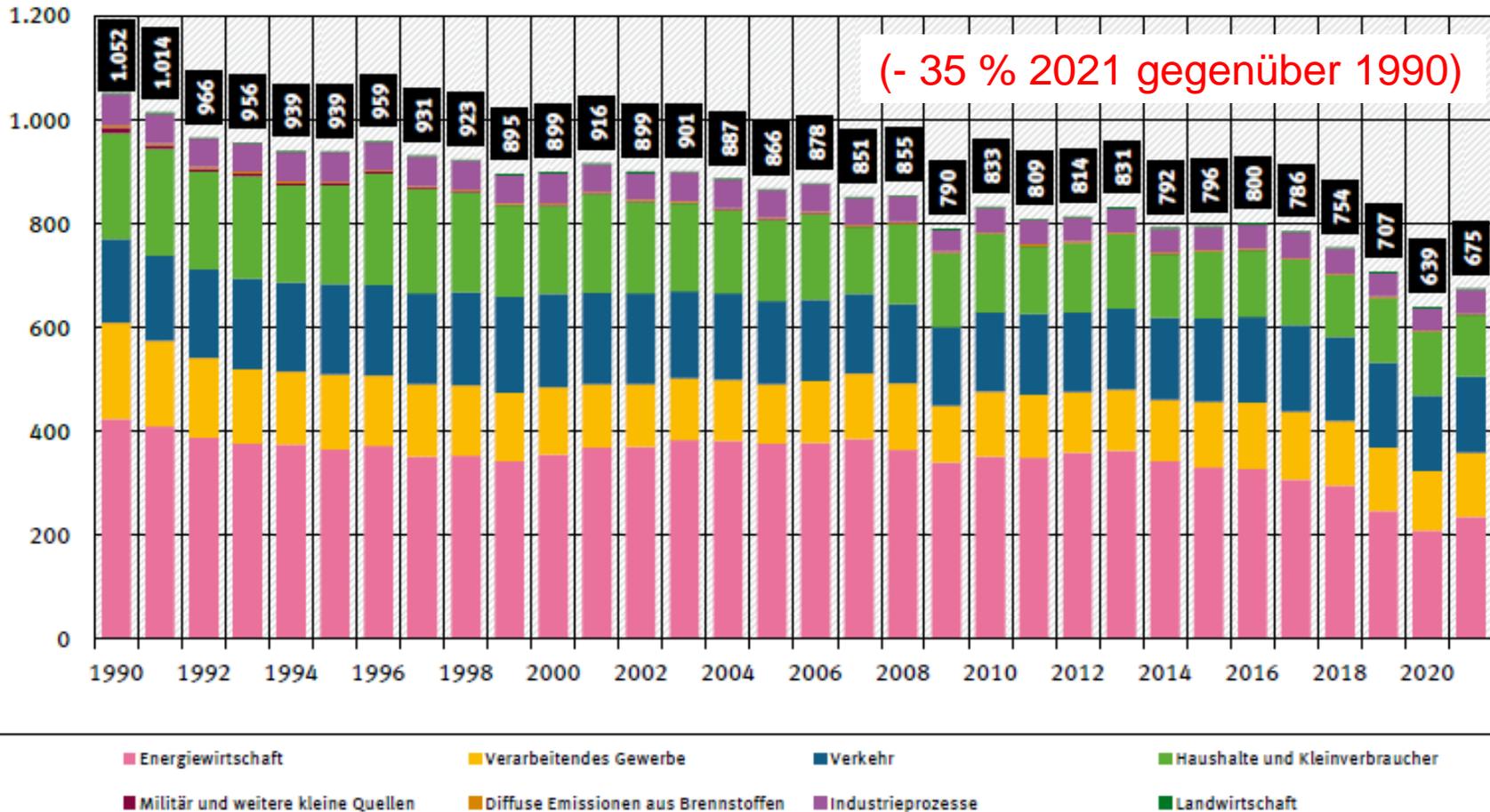
Univ.- Prof. (i. R.) Dr. rer. nat. Wilhelm Kuttler
Angewandte Klimatologie, Universität Duisburg-Essen

Gliederung

- Entwicklung der CO₂-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

CO₂-Emission in Deutschland und weltweit

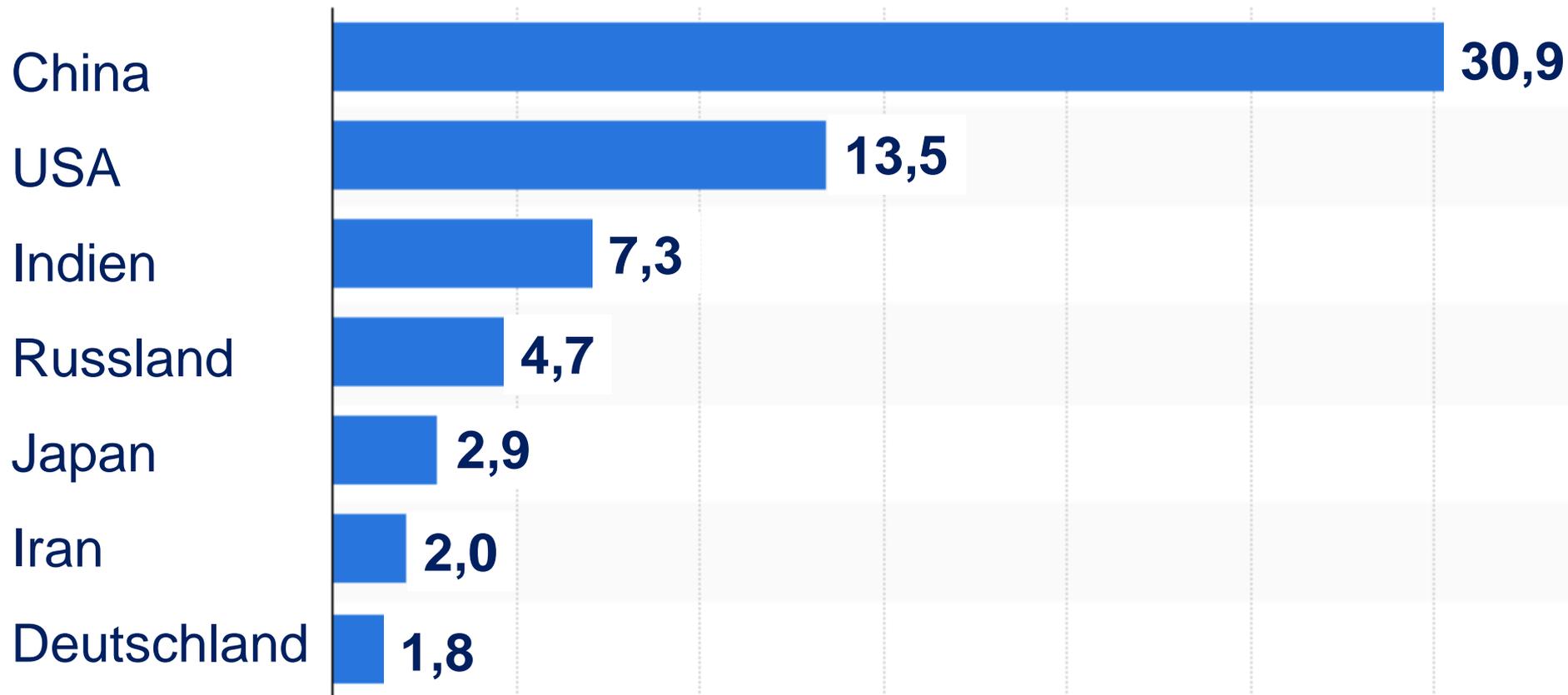
Kohlendioxidemission in Deutschland nach Kategorien (1990 - 2021 in Mio. t)



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)¹⁾

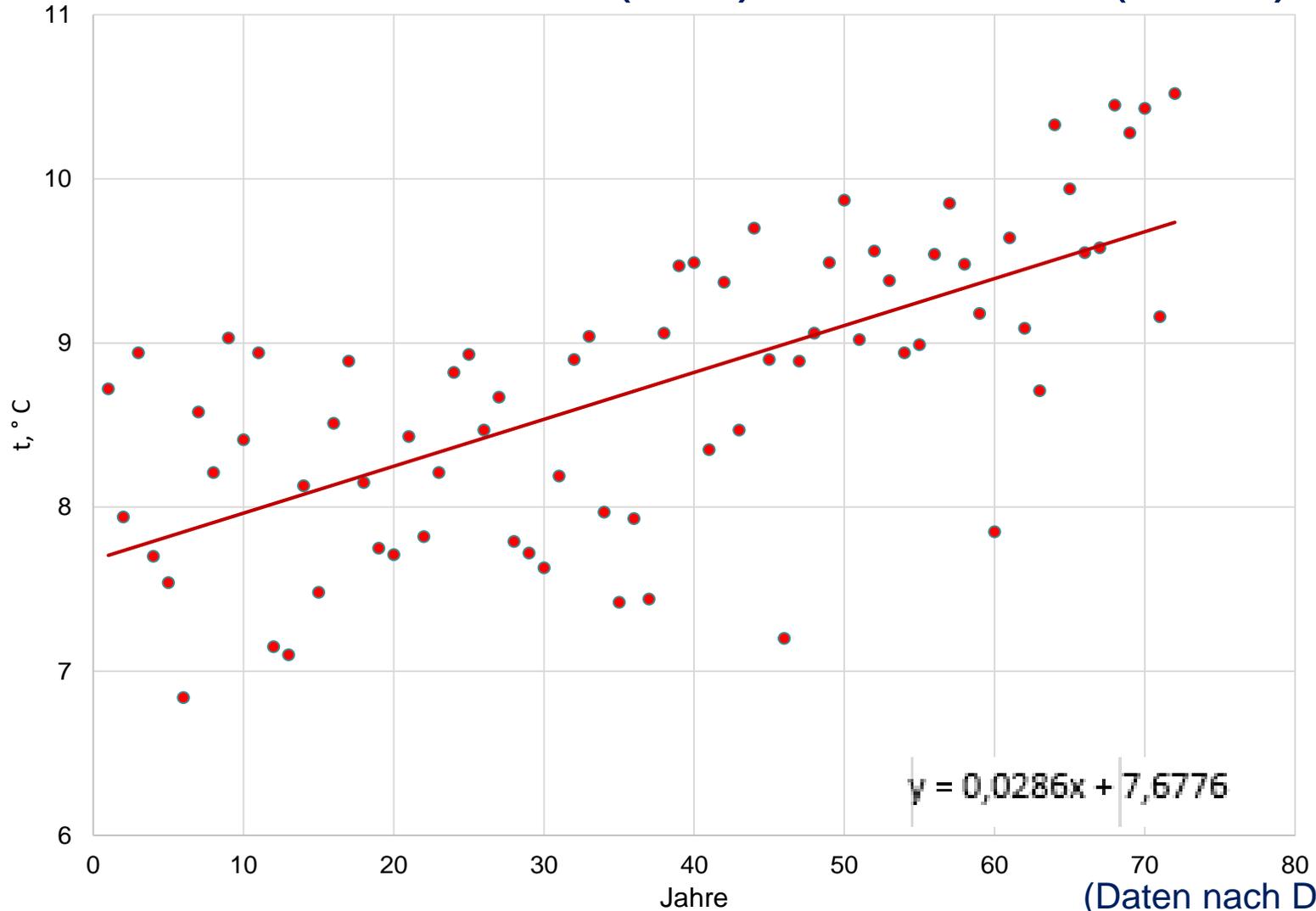


¹⁾ nur im jeweiligen Inland freigesetzte Emissionen

(Quelle: statista 2021)

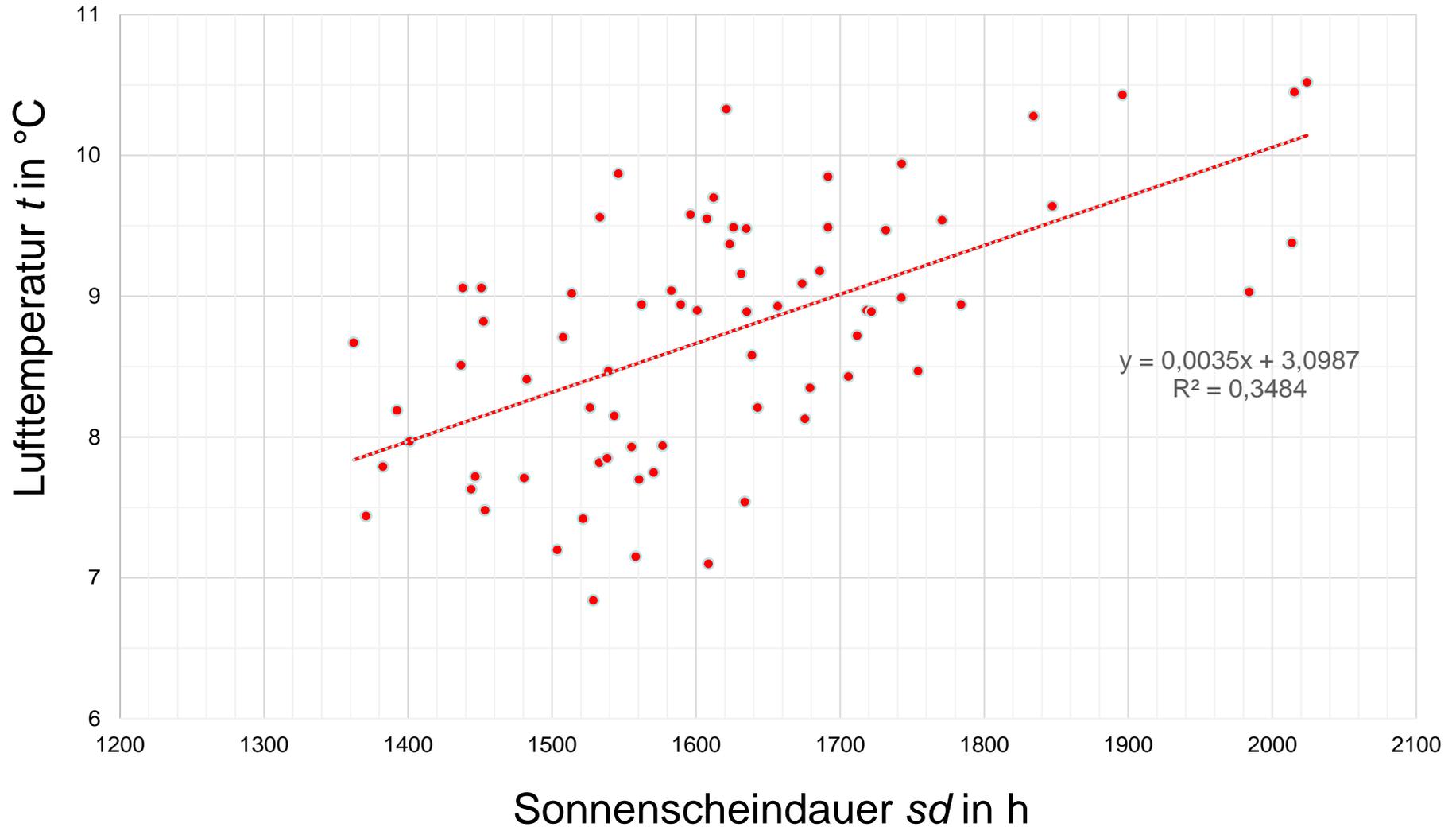
Entwicklung der Lufttemperatur in Deutschland

Jahresmittel der Lufttemperatur t in Deutschland⁶ 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)



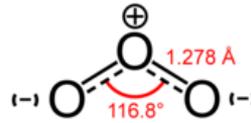
Städte – klimatisch/lufthygienische Charakterisierung

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_x, CO, PM, VOC, > 70 % CO_{2eq.}), 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 ¹⁾	Isopren-Emission ²⁾	Kritisches Allergie-Potential ³⁾
Acer campestre	Feldahorn	++		nein
Acer platanoides	Spitzahorn	+		nein
Carpinus betulus	Hainbuche	+		ja
Fraxinus excelsior	Gemeine Esche	+		ja
Ginkgo biloba	Ginkgo	++		k.A.
Platanus × acerifolia	Ahornblättrige Platane	++	hoch	ja
Populus alba	Silberpappel	++	hoch	nein
Populus tremula	Zitterpappel	+	hoch	nein
Prunus avium	Vogelkirsche	++		nein
Quercus petraea	Traubeneiche	+	hoch	ja
Quercus rubra	Roteiche	+	hoch	ja
Robinia pseudoacacia	Gemeine Robinie	++	hoch	nein
Tilia cordata	Winterlinde	+		nein

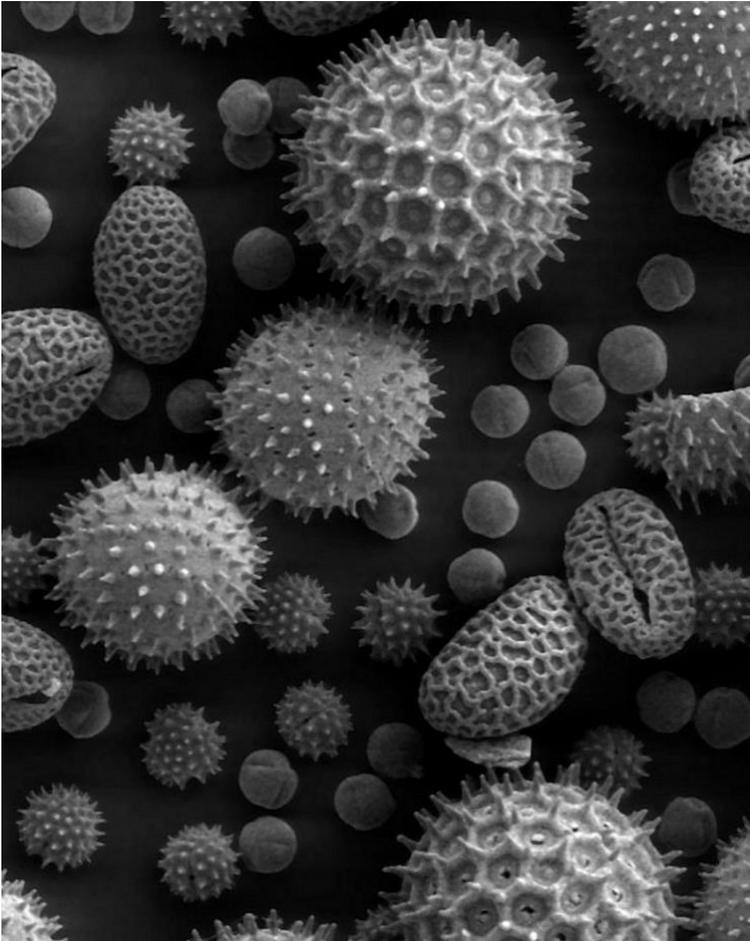
1) +, ++ = gute, sehr gute Trockentoleranz (Roloff et al. 2008)

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 CO₂-Konz.



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

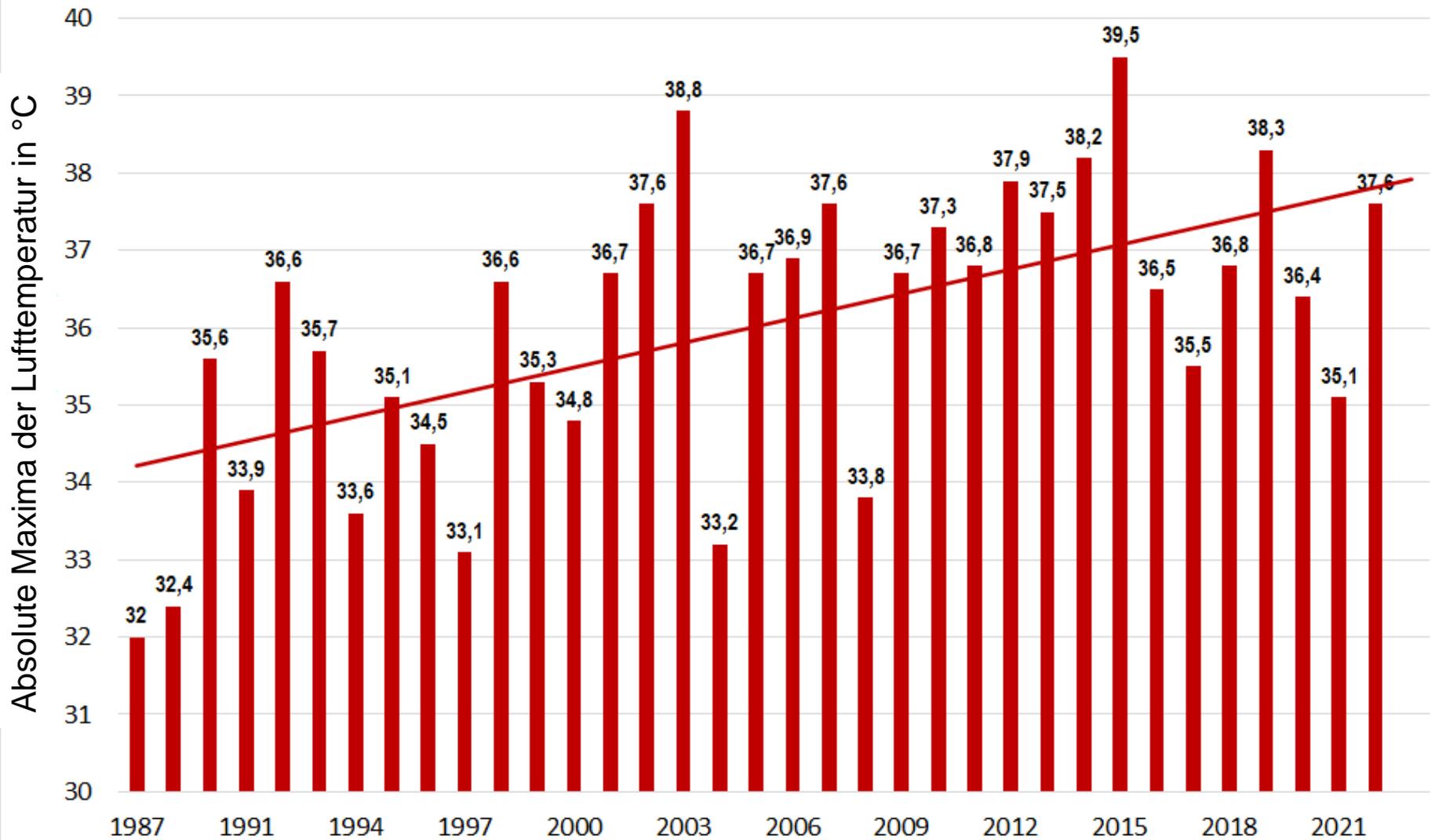
- Höhere Temperaturen und erhöhte CO₂-Konzentration (jeweils im Vergl. z. Umland)
- Beifuss ist eine Kohlenstoff limitierte (C₃) Pflanze → hohe Temperaturen und hohe CO₂ Konzentrationen stimulieren die Produktion des Allergie auslösenden Proteins

[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]

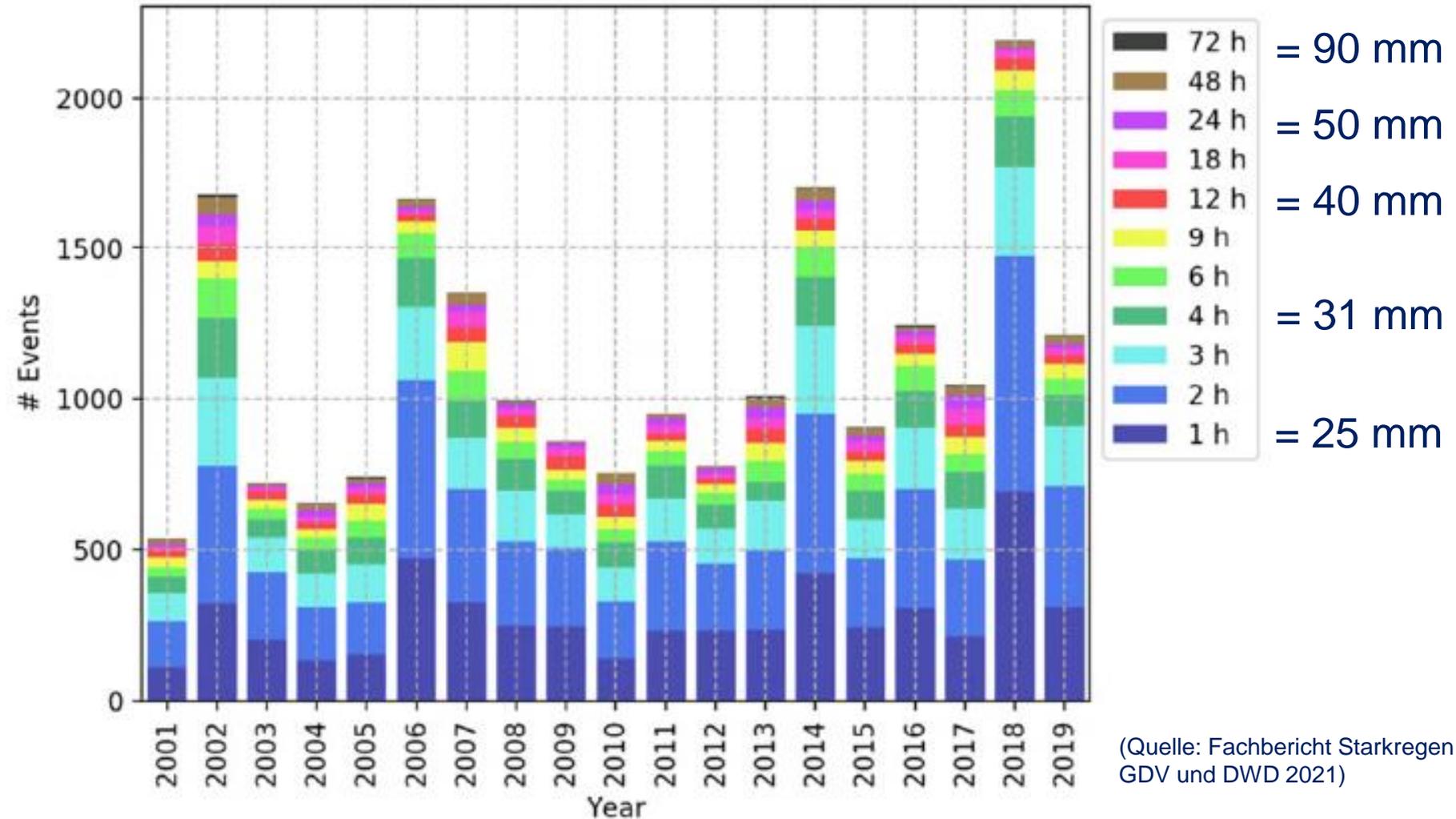


(zus.gestellt v. J. Baumüller 2022; Daten nach RKI)

Starkregen

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

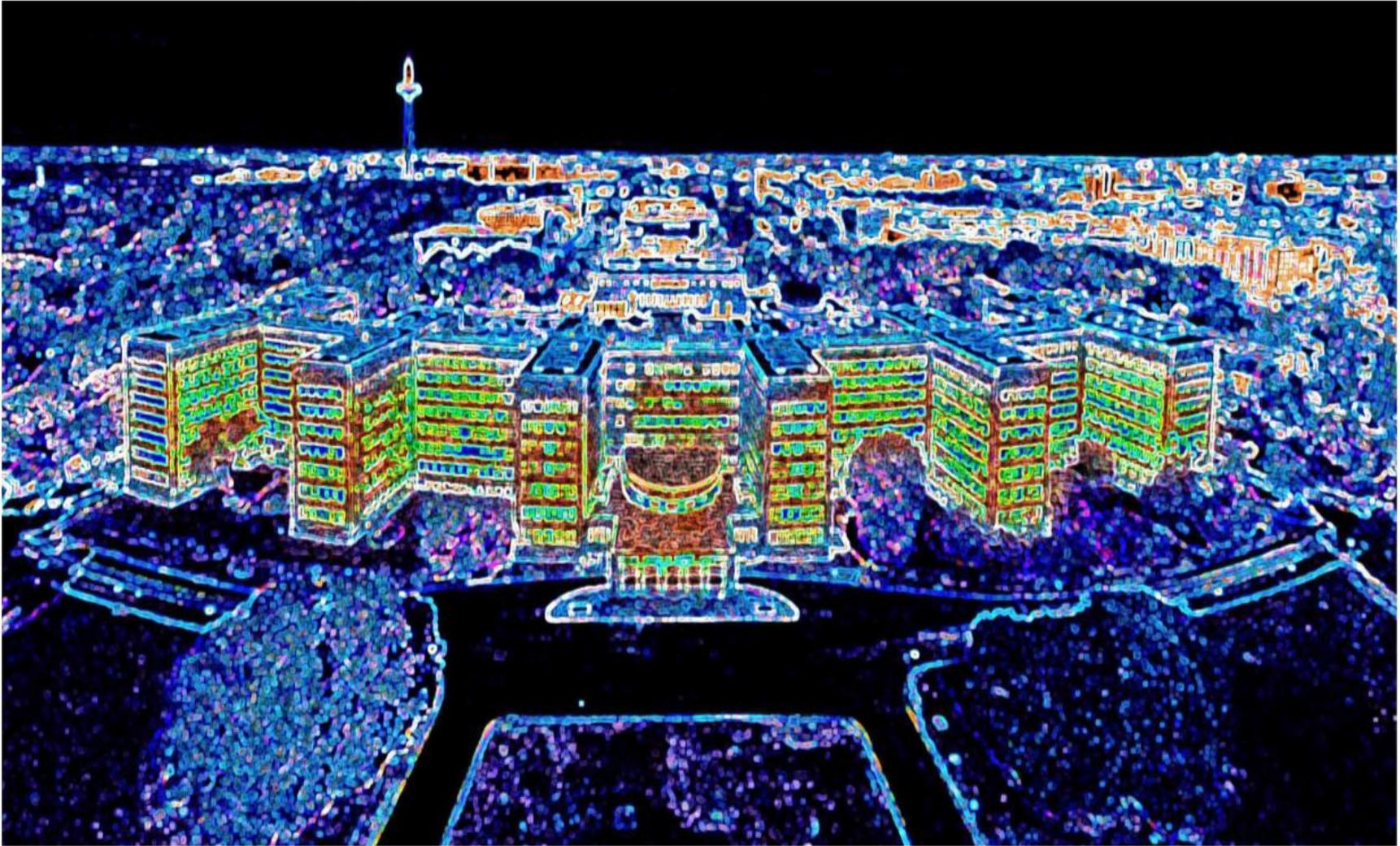
Events 01.01.2001-31.12.2019



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.

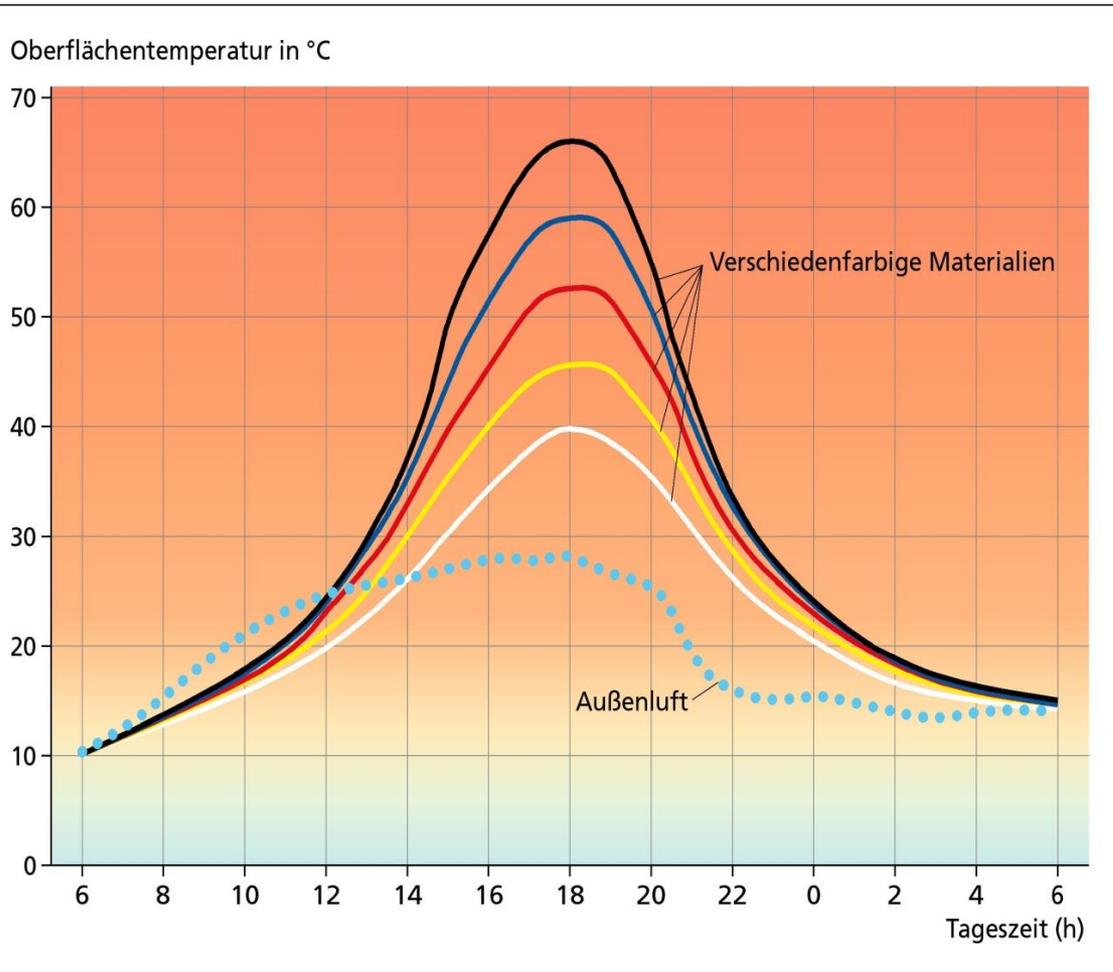
Illustration Uwe Dettmar

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 km² akkumulierte Wandfläche ergeben sich $3 \cdot 10^7 \text{ kWh/a}$, entspricht dem Jahresenergieverbrauch von 7.500 „Normfamilien“ (4.000 kWh/a).

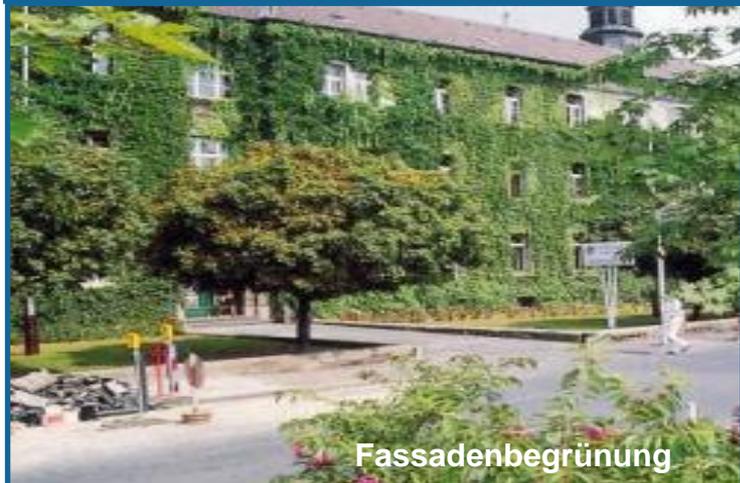
(Quelle der Abb.: Gertis 1980, verändert.; eigene Berechnungen)

Urbane Grün-/Wasserflächen schaffen/vergrößern

Gebäudeoptimierung



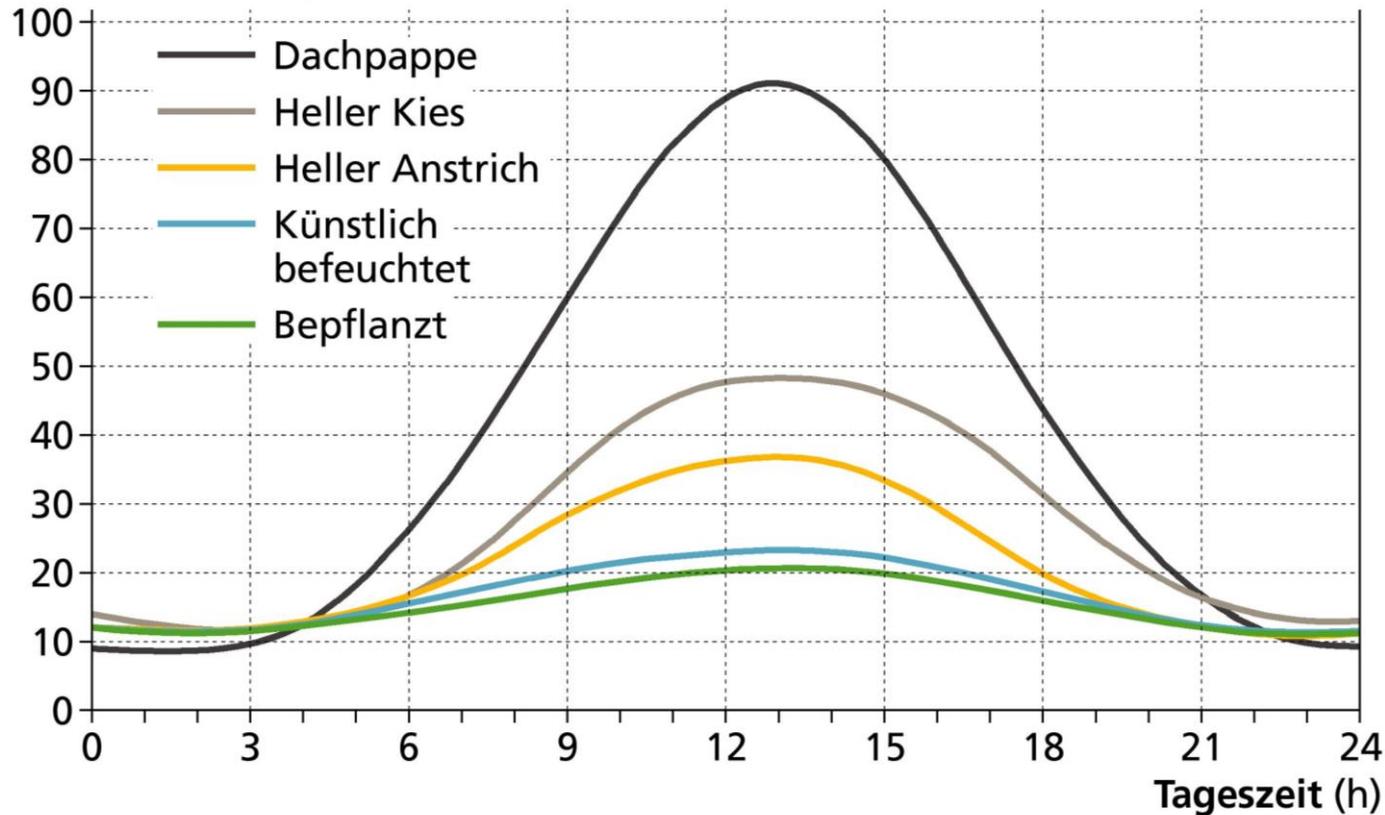
Quartiergestaltung



Dach-/Fassadenbegrünung

Oberflächentemperaturen von Dachabdeckungen während eines sommerlichen Strahlungstages in Berlin

Oberflächentemperatur (°C)



(Quelle: Horbert 2000, veränd.)

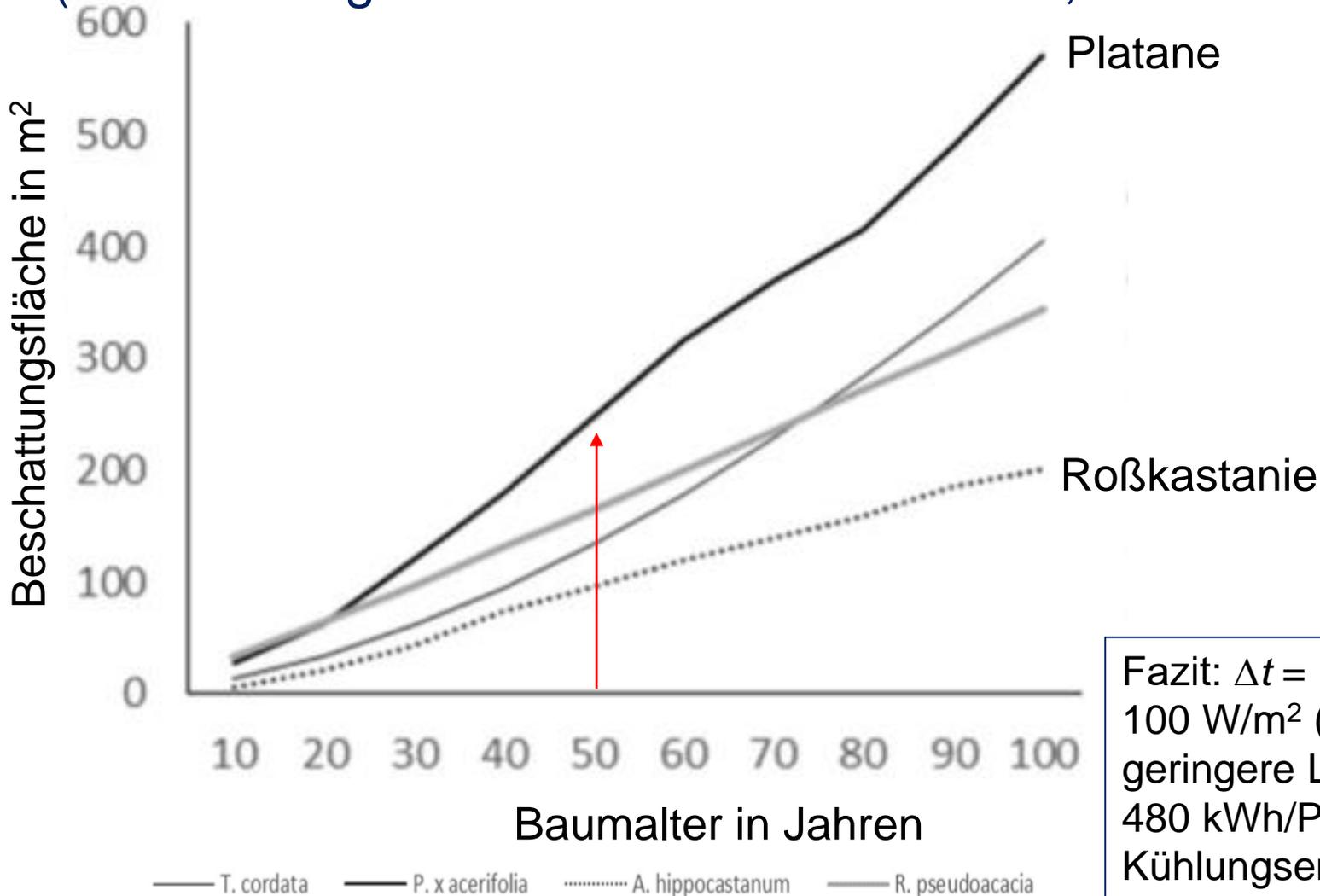
Bäume in der Stadt



Essen, Alte Bottroper Straße

(Foto: U. Kühn)

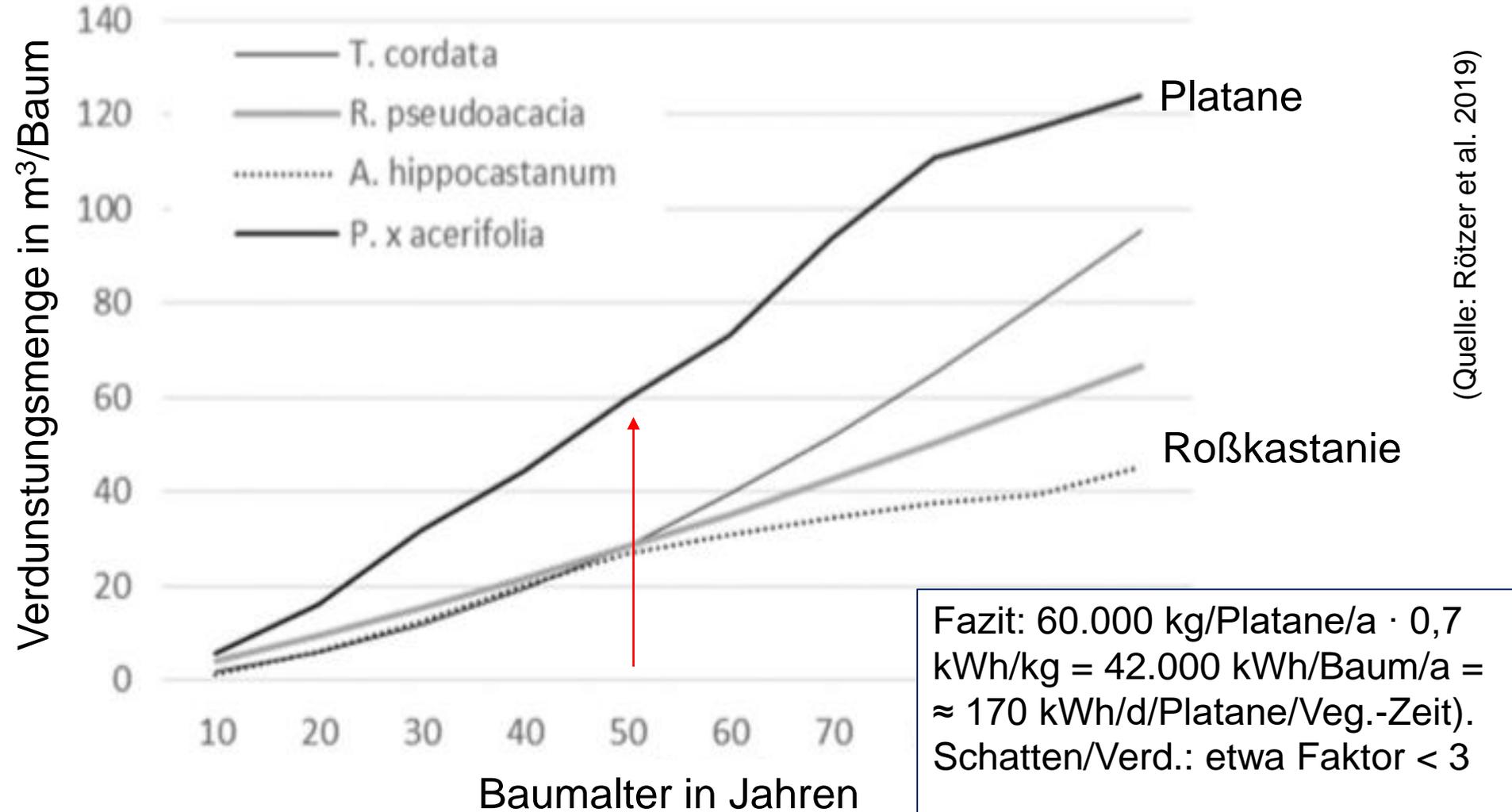
Mittlerer Beschattung (in m²) von Platane, Linde, Robinie und Roßkastanie in Abhängigkeit ihres Alters (Beschattungsfläche für 21. Juni 8-18 Uhr, Süddeutschland)



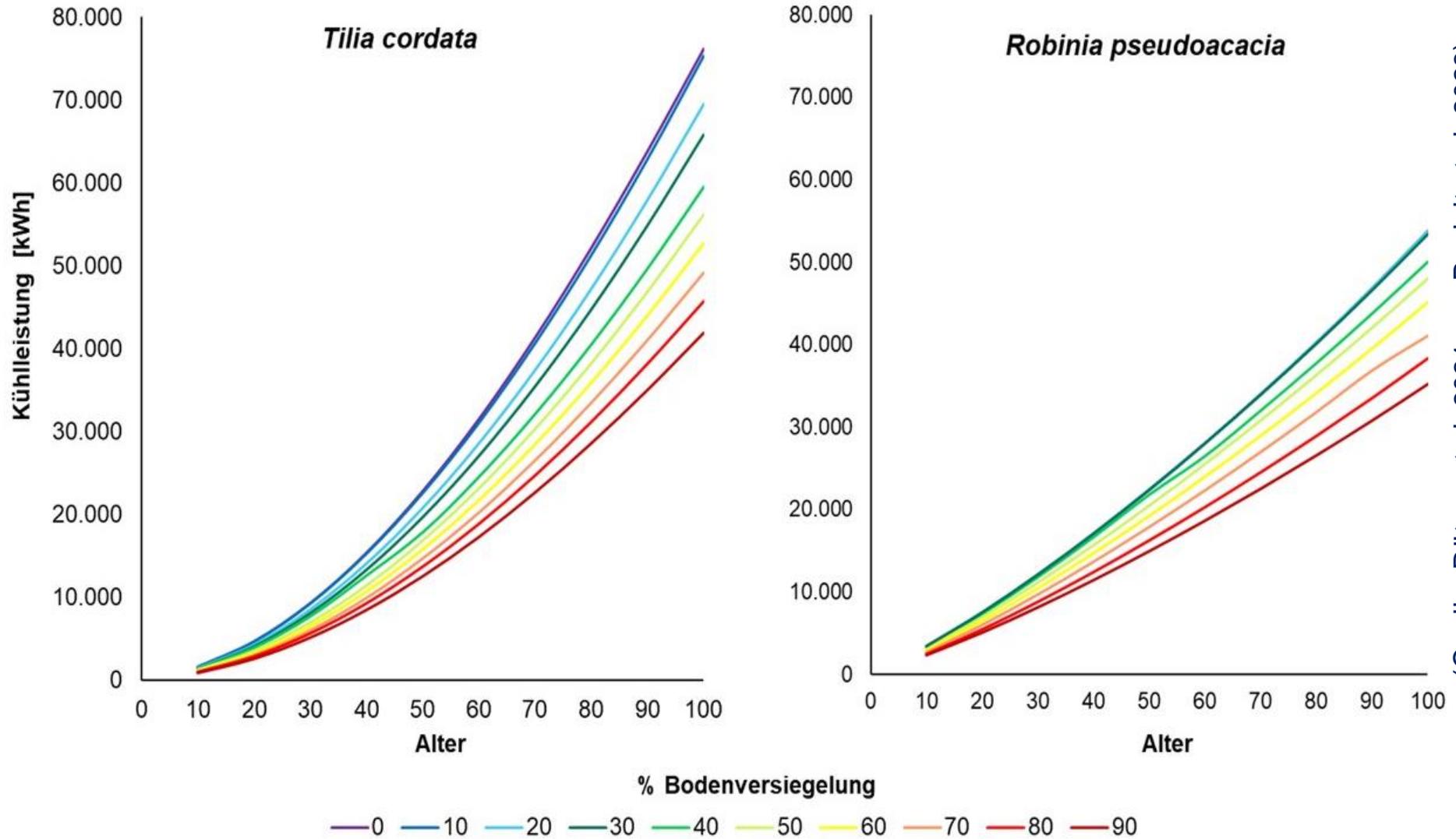
Fazit: $\Delta t = 15 \text{ K}$ ergibt
100 W/m² (S-Platane)
geringere Leistung; d.h.,
480 kWh/Platane/d an
Kühlungsenergie

(Quelle: Rötzer et al. 2019)

Mittlere jährliche Verdunstungsmengen (in m³/Baum) von Platane,²⁹ 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)

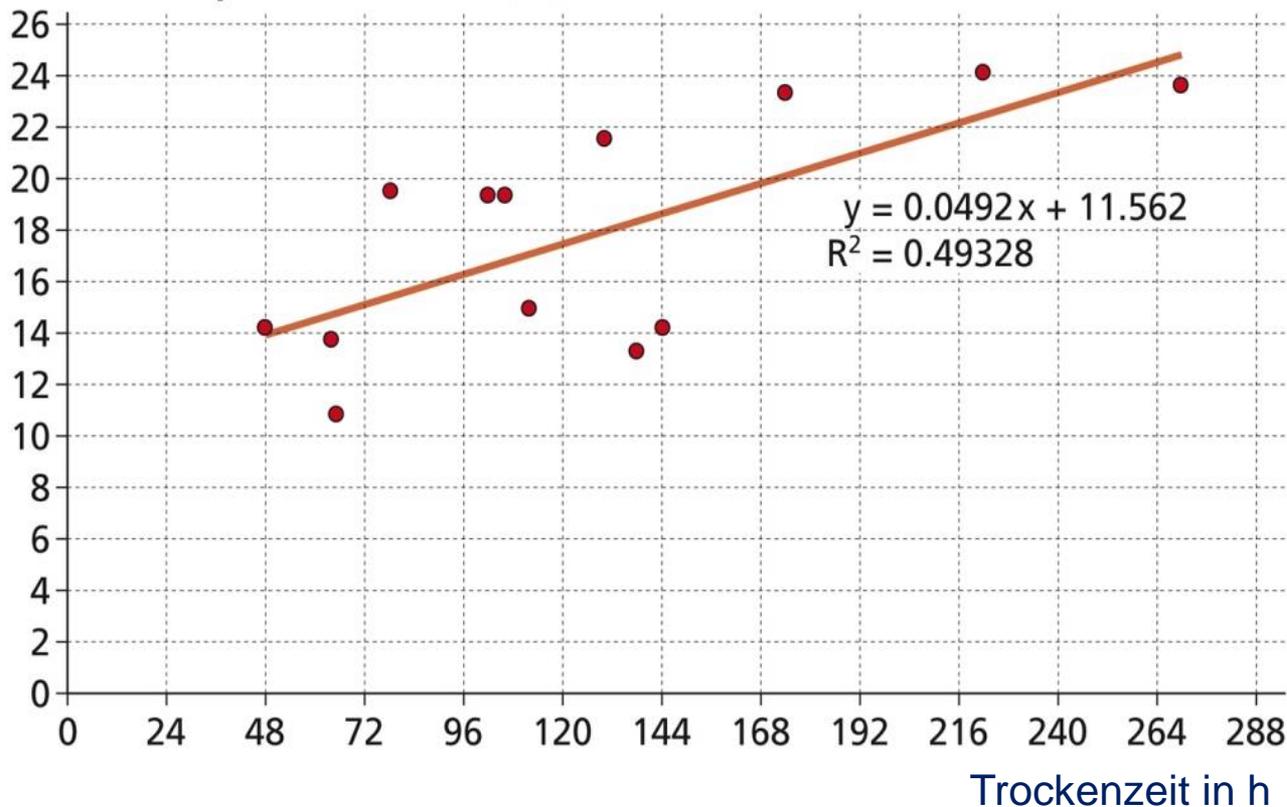


(Quelle: Rötzer et al. 2021 aus Pauleit et al. 2023)

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



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

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

$$t_{s14}: 4,6 \text{ kWh/m}^2$$

$$t_{s24}: 5,3 \text{ kWh/m}^2$$

(Quelle: Kuttler 2013)

Oberflächen und Luft befeuchten



Source: Choo, 2007.

Traditionelles Uchimizu Ereignis (Wassersprengeln) in Tokio gegen Sommerhitze

Wassernebel-Kühlsystem in Hiroshima, Japan



(Foto: J. Baumüller, 2012)

Luftleitbahnen zwischen Stadt und Umland sicherstellen



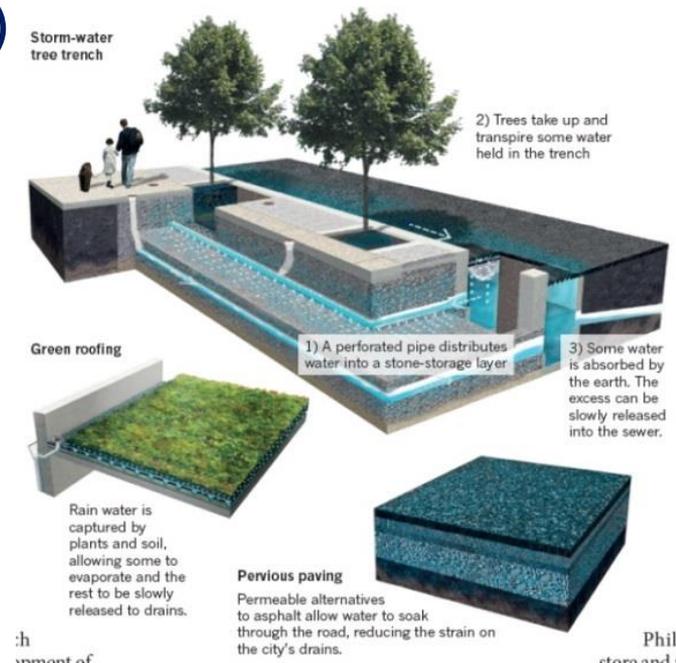
(Foto: W. Kuttler)

(Foto: W. Kuttler)

Starkregenmanagement

Starkregen bewältigen

- Rückbau versiegelter Flächen
- Verbesserung der Regenwasserversickerung (auf Bodenzusammensetzung achten, Rigolen anlegen)
- Anlegen von unterirdischen Regenwasserzweischenspeichern („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 CO₂-Emission*)
- **Stadt der kurzen Wege und optimale Anbindung an Personennahverkehr**
(→ *Reduktion von Kfz- und CO₂-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 CO₂ - Emission*)
- **Energie einsparen**

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

DAS KLIMA VON ESSEN THE CLIMATE OF ESSEN

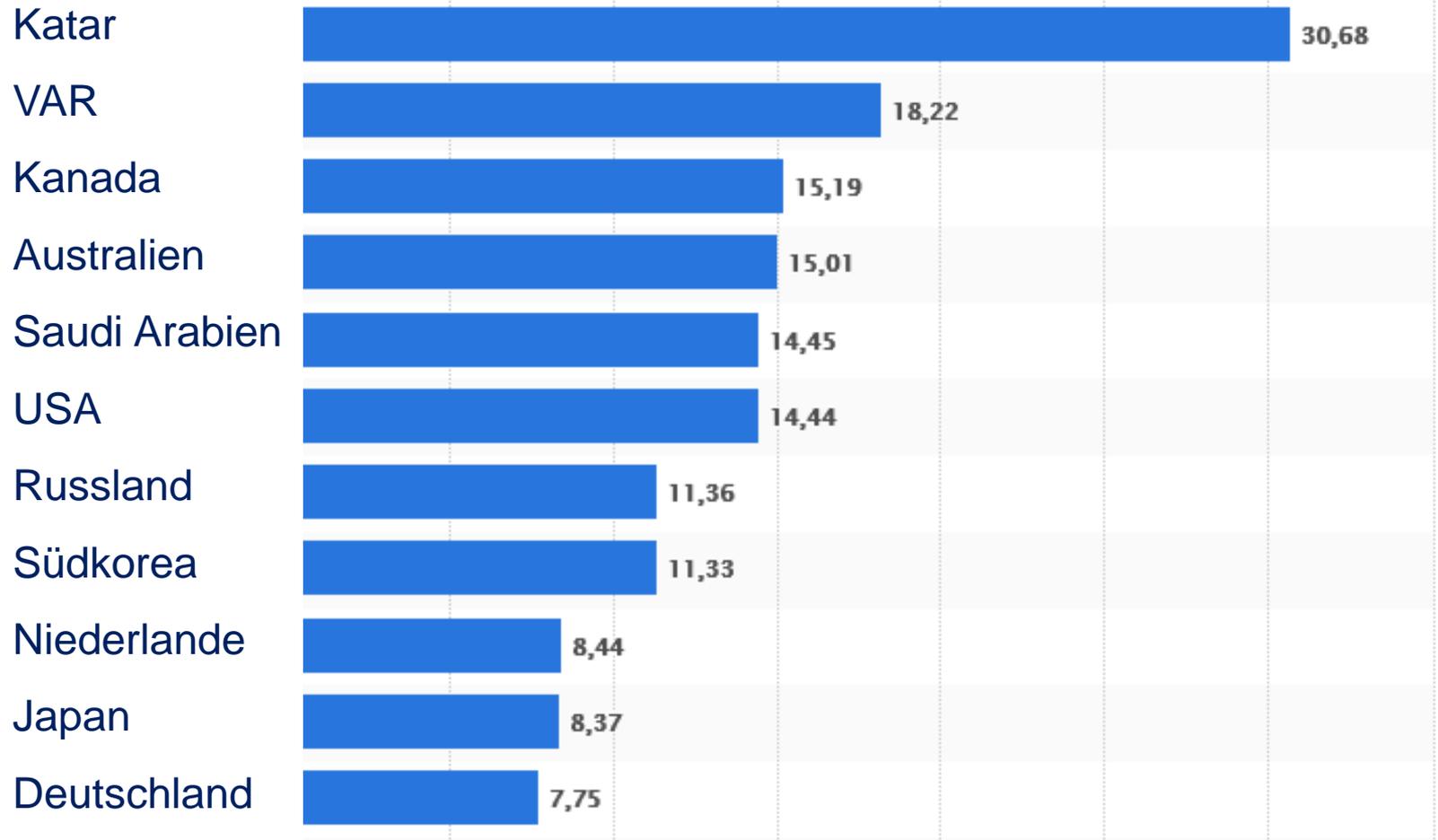
W. Kuttler, A. Miethke,
D. Dütemeyer, A.-B. Barlag



WESTARP
WISSENSCHAFTEN

(wikutt@outlook.de)

Prokopfemission an CO₂ in t/a (2021)



(Quelle: statista)