

Der Wärmeinseleffekt (WI) in Deutschland – viel mehr als nur inselhaft wirksam – Teil 2

geschrieben von Chris Frey | 11. September 2021

WI-Effekte in unterschiedlichster Form betreffen heute weite Flächen des Landes und befeuern die Klimaerwärmung

Teil 2: Der städtische Wärmeinseleffekt (UHI) – wie wachsende Bebauungen und Versiegelungen Deutschland einheizen

Stefan Kämpfe

Wissenschaftliche Erkenntnisse zum UHI

Der UHI hängt vor allem von der Einwohnerdichte ab. Je mehr Einwohner sich eine gleich große Fläche teilen, desto stärker ist tendenziell der Erwärmungseffekt.

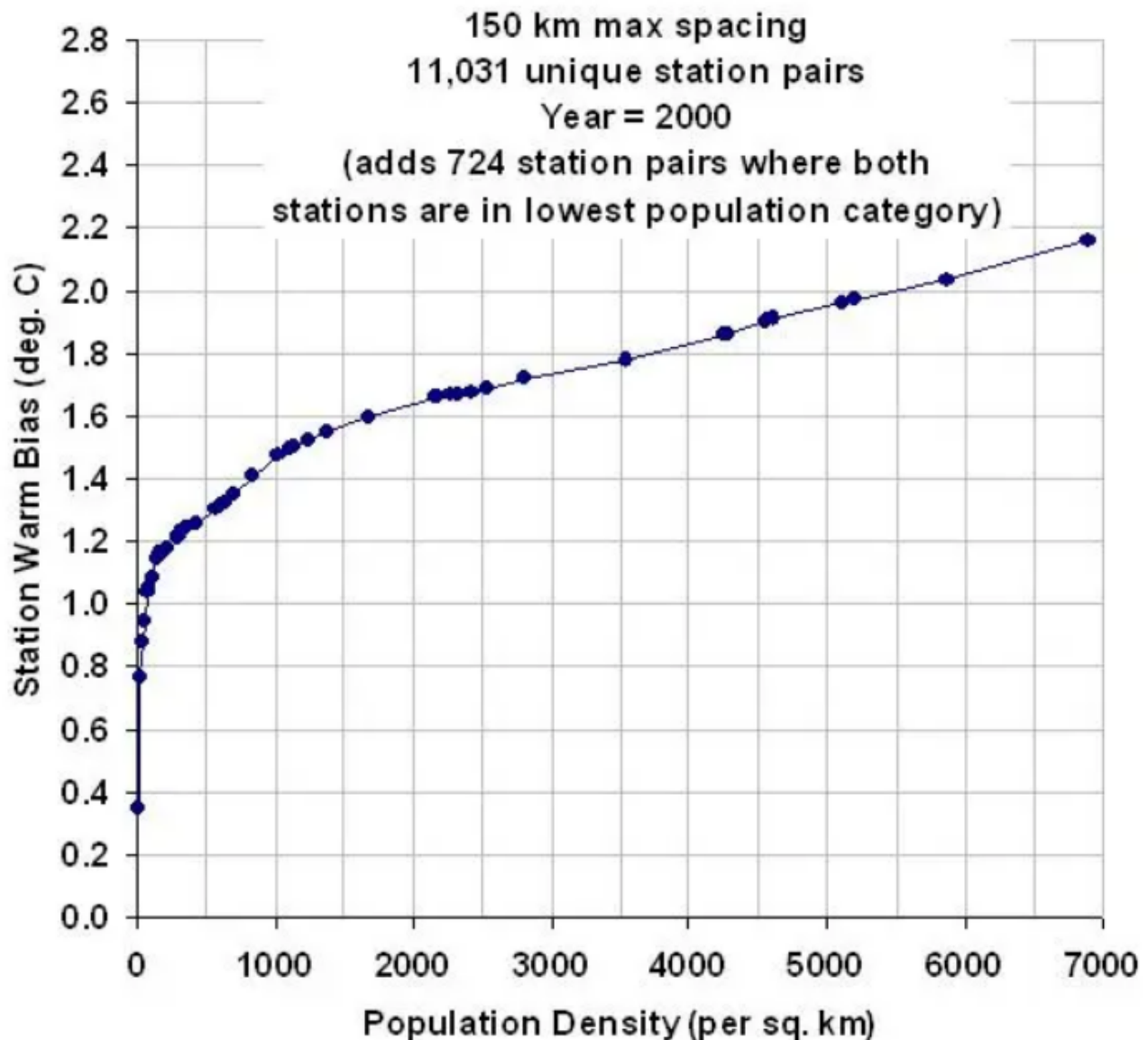


Abbildung 1: Auf der waagerechten x-Achse ist die Anzahl der Einwohner je Km² zu sehen. Die senkrechte y-Achse zeigt die Erwärmung gegenüber einer gleich großen Fläche ohne Einwohner. Schon sehr geringe Einwohnerdichten verursachen merkbare Erwärmungseffekte; mit wachsender Einwohnerdichte bewirkt jeder weitere, zusätzliche Einwohner weniger steigende Erwärmung (degressives Wachstum); trotzdem können bei sehr hohen Einwohnerdichten UHI-Effekte von mehr als 2°C (entspricht 2 Kelvin) im Jahresmittel auftreten. Das englische Wort „Bias“ (Voreingenommenheit) wird in der Wissenschaft stets für den systematischen Fehler verwendet; in diesem Falle erzeugen die Einwohner einen Temperatur-Messfehler, den es im unbeeinflussten, unbewohnten Freiland nicht gäbe. [Bildquelle](#)

Der UHI-Effekt lässt sich sehr gut aus dem All anhand der Satelliten-Daten erkennen; besonders die Oberflächentemperaturen sind in den Großstädten und Ballungsräumen deutlich erhöht.

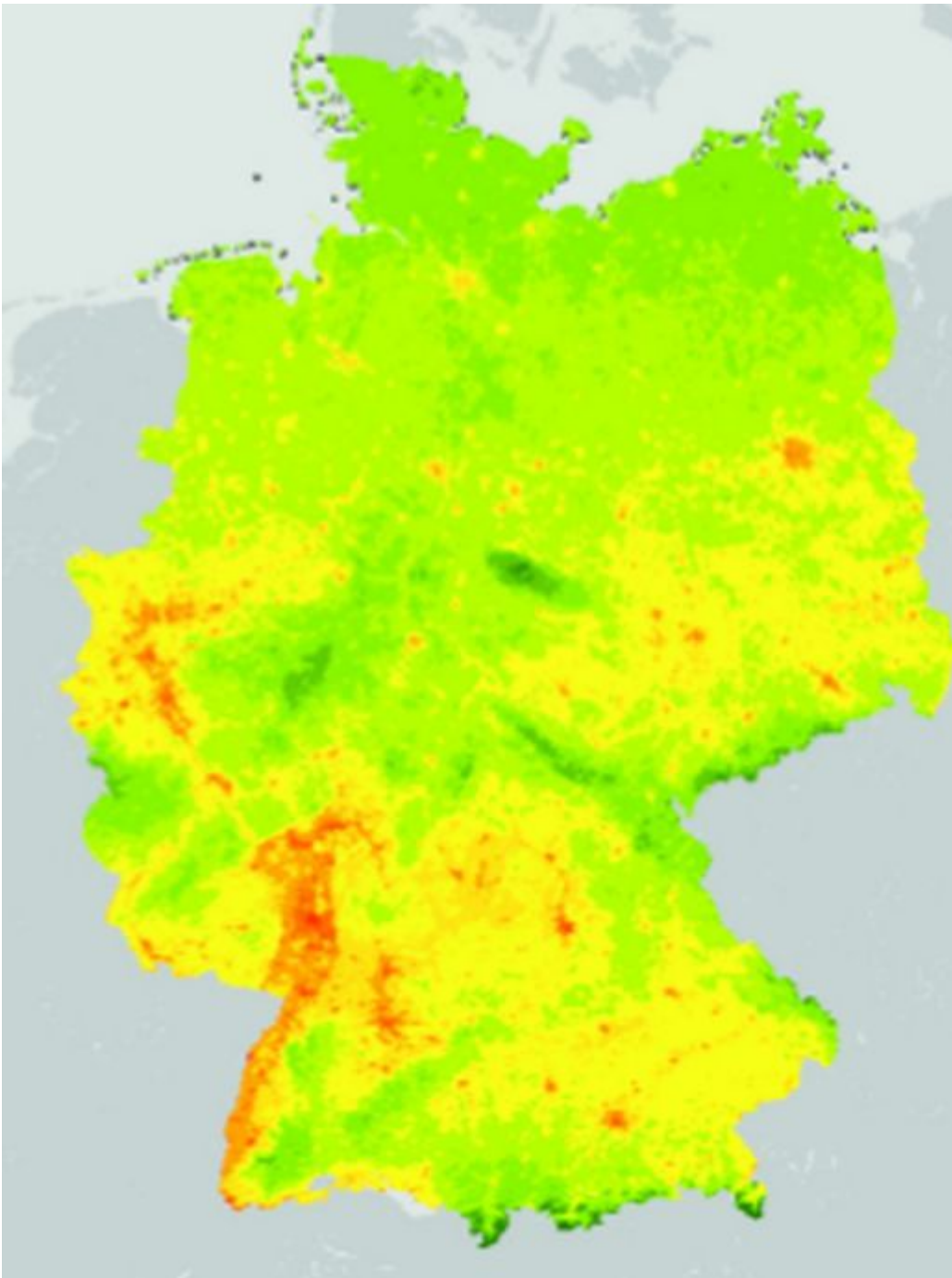


Abbildung 2: Jahresmitteltemperaturen der Oberfläche in Deutschland 2015. Während das dünn besiedelte Freiland, je nach Höhenlage und Beschaffenheit, nur Oberflächentemperaturen von unter 6 bis höchstens 11°C aufweist, sind es in den dicht besiedelten Räumen zwischen 12 und 15°C. Deutlich sind neben den städtischen Wärmeinseln Berlin, Hamburg, Leipzig, Dresden, München und Nürnberg die Ballungsräume entlang von Rhein, Ruhr, Main und Neckar zu erkennen; am kältesten sind die Gebirgslagen. Bildquelle

Außer der Einwohnerdichte beeinflussen Dichte, Art und Weise der Bebauung, Durchgrünung und Wirtschaftsweise die UHI-Intensität wesentlich.

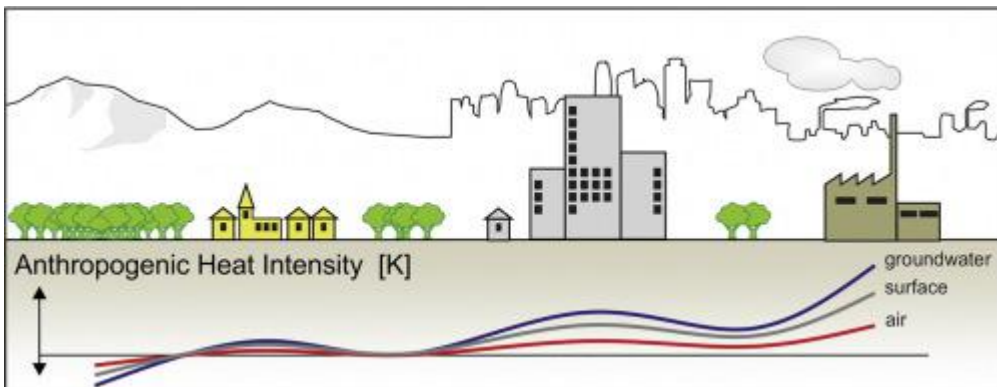


Abbildung 3: Prinzipskizze zum variablen UHI. Überall dort, wo Bebauungs- und Einwohnerdichte besonders hoch sind, erhöht sich auch der UHI-Effekt. Noch stärker als die Lufttemperaturen (rot) werden die Oberflächentemperaturen (grau) und die des Grundwassers (blau) beeinflusst. [Bildquelle](#)

UHI ist also nicht gleich UHI, das zeigen auch Untersuchungen von KÄMPFE zur Großstadt Berlin.

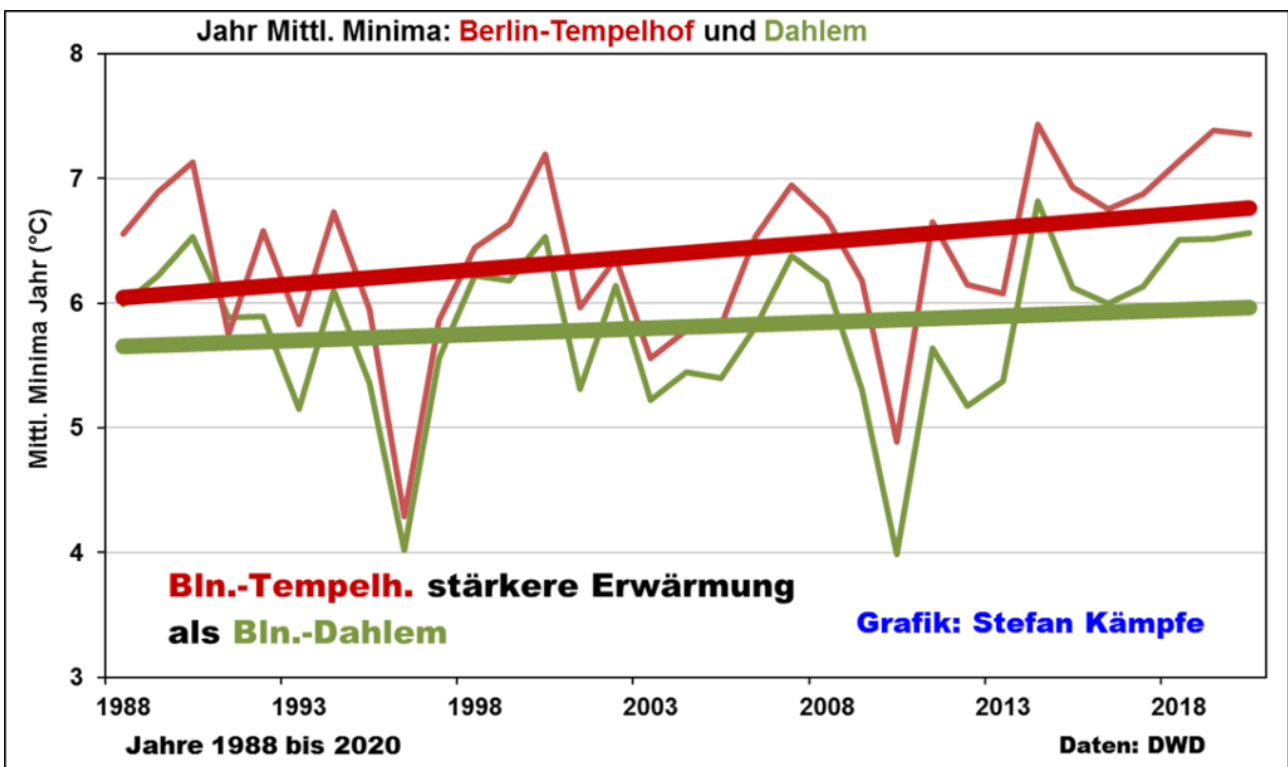
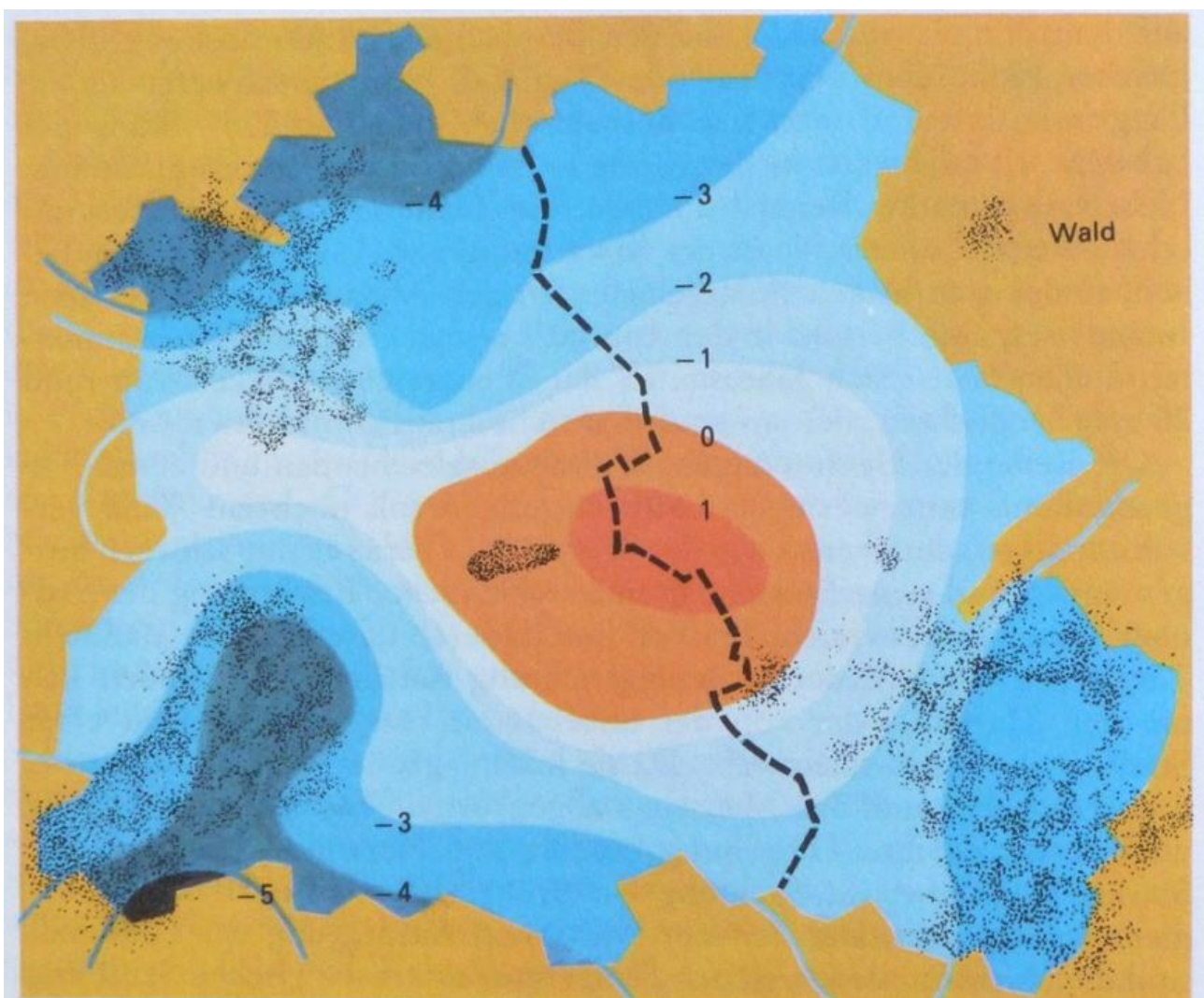


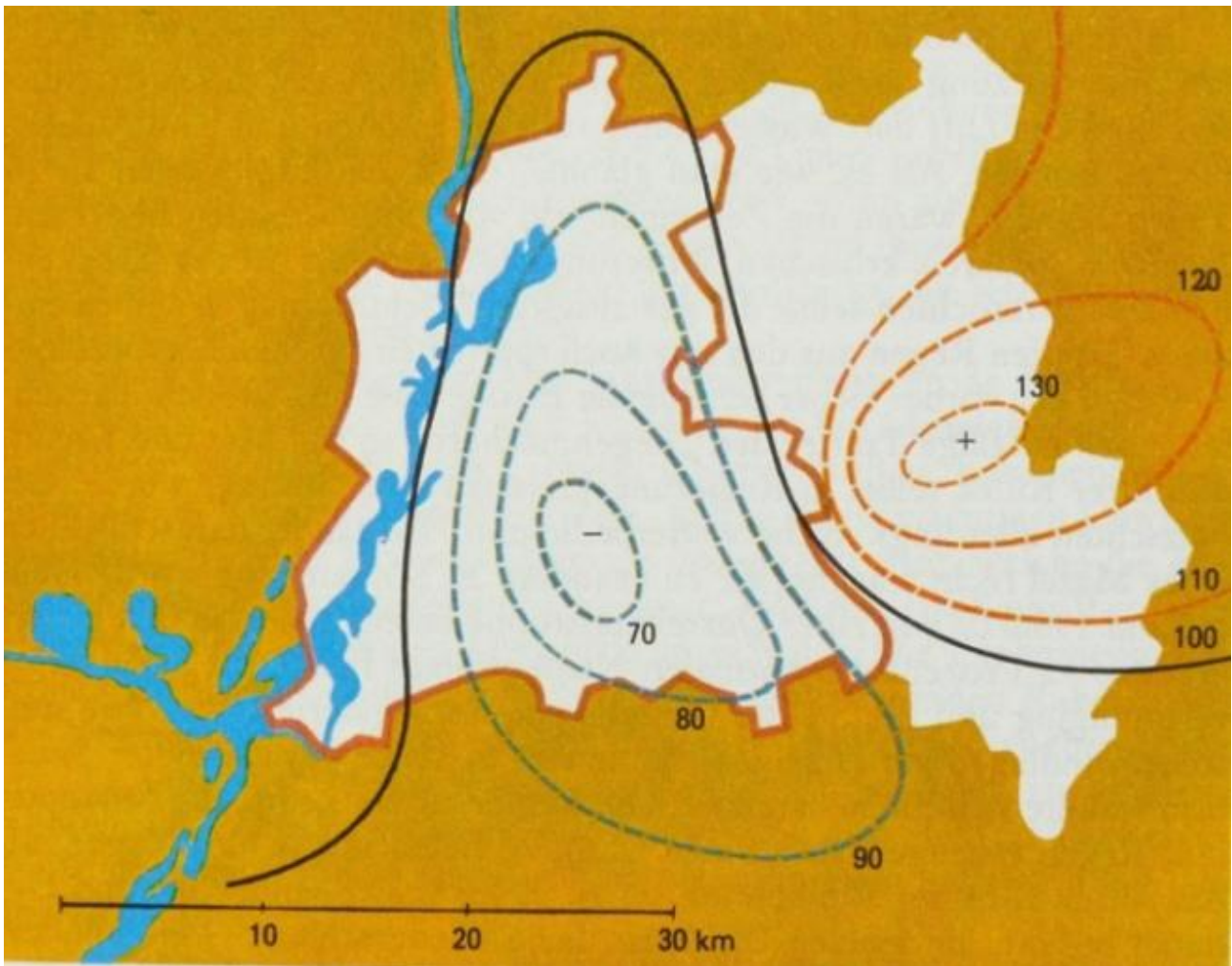
Abbildung 4: Entwicklung der mittleren Minima (Jahresdurchschnitte) in den Berliner Ortsteilen Tempelhof (rot, sehr städtisch) und Dahlem (gut

durchgrünt) seit 1988. Beide Stationen liegen fast gleich hoch. Zwar wurde Dahlem 1997 und Tempelhof 2018 verlagert, aber bei gleicher Höhenlage, und die Auswirkungen auf das Temperaturverhalten dürften sehr gering gewesen sein.

Auf die umfangreichen meteorologischen Auswirkungen des UHI wie Hitze- und Dunstglocke, Luftchemie, Wind- und Niederschlagsbeeinflussung, Änderung des Strahlungshaushaltes und Luftfeuchteminderung, soll hier nicht umfassender eingegangen werden. Zwei Beispiele anhand der Großstadt Berlin zeigen jedoch, wie sich der UHI-Effekt auf die Lufttemperaturverteilung an windschwachen Strahlungstagen sowie auf die Niederschlagsverteilung auswirkt:

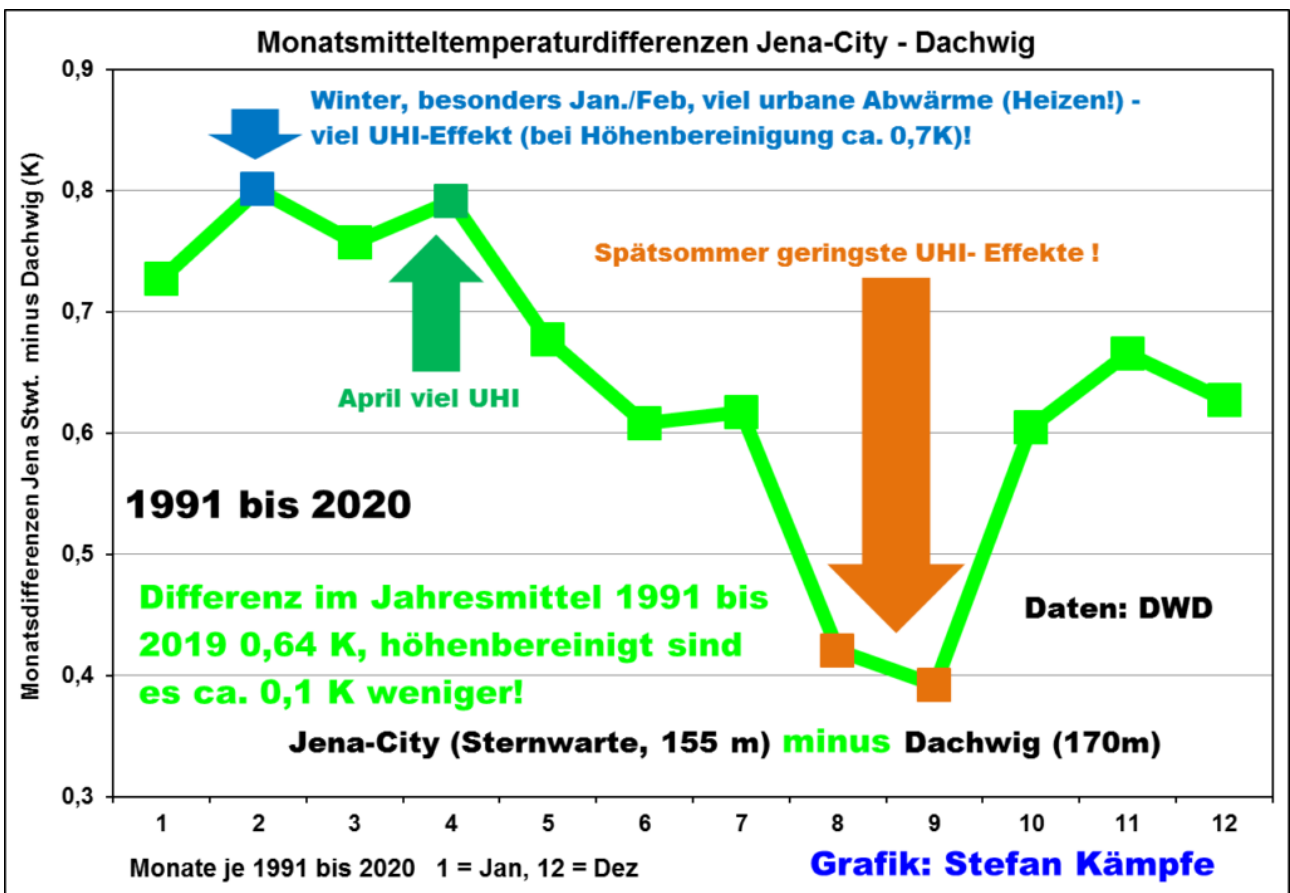
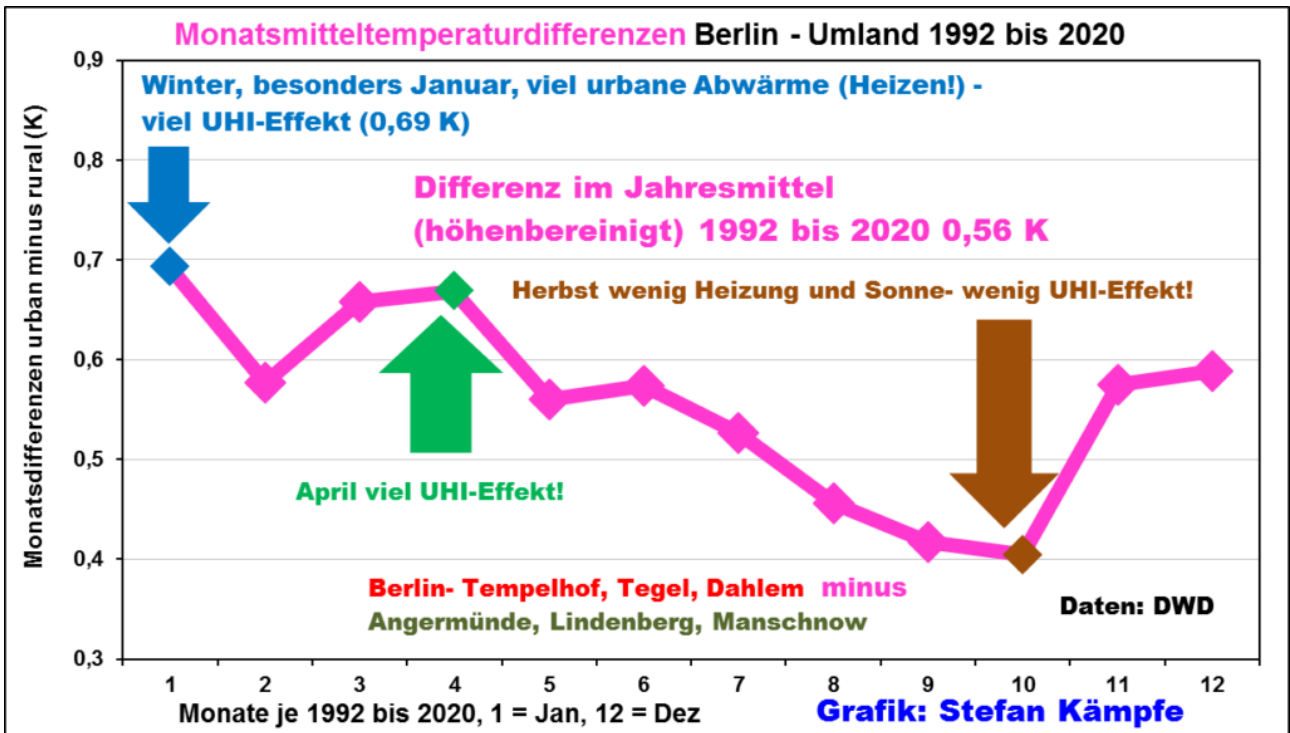


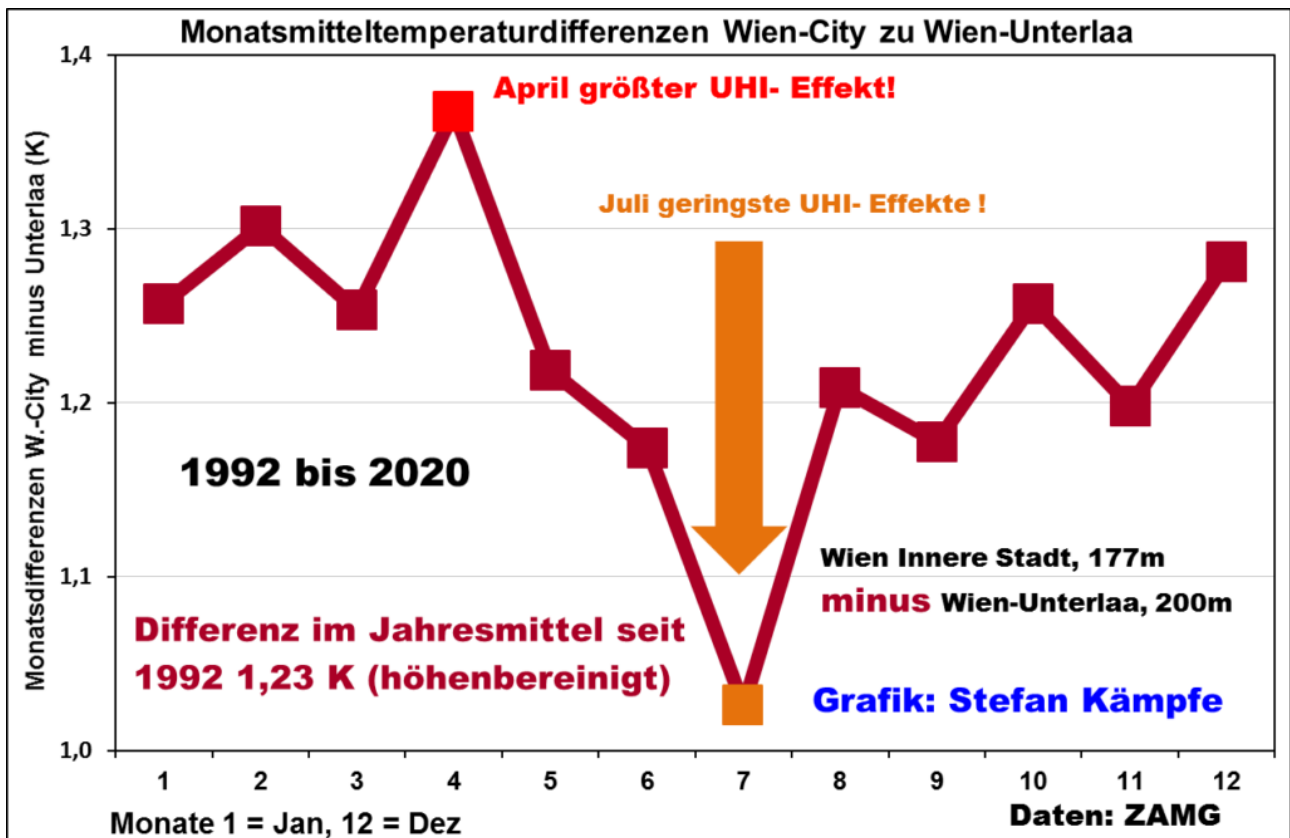
Temperaturverteilung (in °C) über Berlin, Hauptstadt der DDR, und Westberlin in 2 m Höhe nach einer wolkenlosen und schwachwindigen Nacht am 27. Februar 1975, 8 Uhr (nach Reichenbächer)



Abbildungen 5a und 5b: In der damals noch geteilten Großstadt Berlin wurden am 27. Februar 1972 um 8 Uhr in den ländlichen Außenbezirken Fröste zwischen minus 3 und unter minus 5°C gemessen; das dicht bebaute Stadtzentrum blieb mit um 1°C frostfrei – ein Temperaturunterschied von gut 6 K auf engstem Raum (5a, oben). Unten (5b) die niederschlagserhöhende und -vermindernde Wirkung der Wärmeinsel Berlin am Beispiel sommerlicher Konvektionsniederschläge (in % des mittleren Gebietsniederschlags). Bildquellen aus: Balzer, K. Weitere Aussichten: Wechselhaft. Verlag Neues Leben Berlin, 1982.

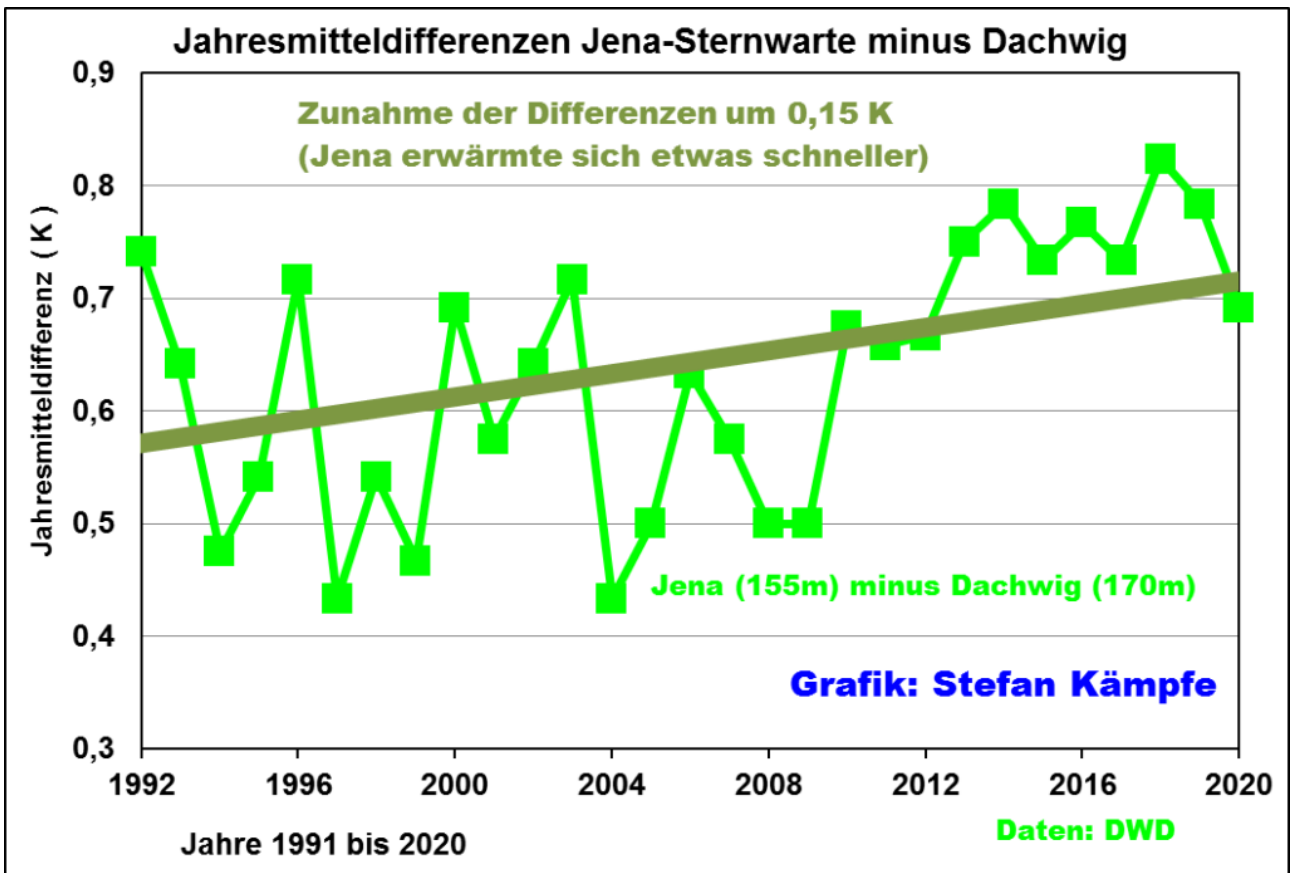
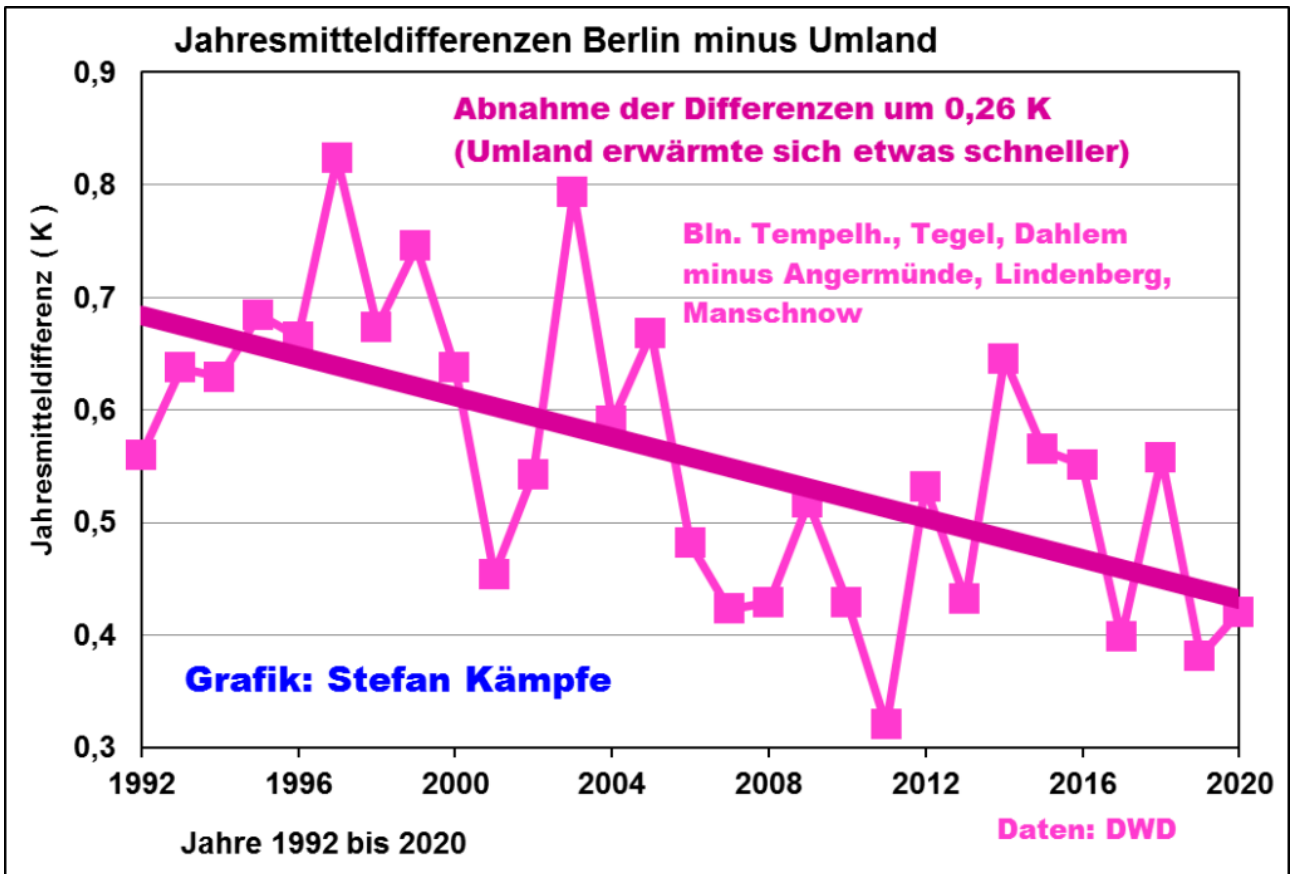
KÄMPFE hat anhand des DWD-Messnetzes zahlreiche Untersuchungen zum WI- und UHI-Effekt durchgeführt. Dabei ging es unter anderem um die jahreszeitliche Größenordnung des UHI-Effektes, wozu großstädtische und eher ländliche Stationen miteinander verglichen wurden.

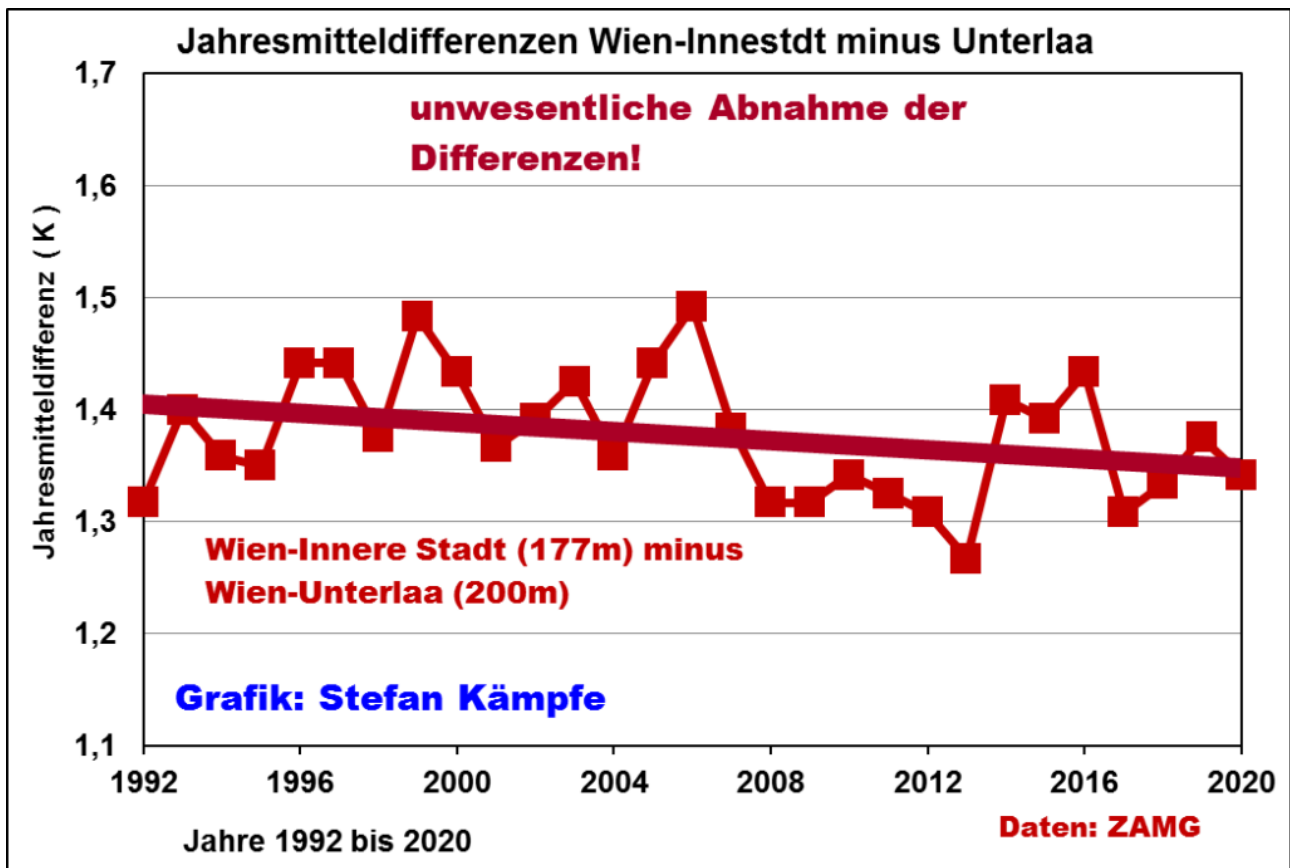




Abbildungen 6a bis 6c: Ganz oben (6a) wurden seit dem kompletten Vorliegen der Daten (1992) jeweils die Lufttemperatur-Mittelwerte aus drei Berliner Innenstadt-Stationen mit denen dreier Stationen im Berliner Umland monatsweise verglichen. Mitte (6b) selbige Vorgehensweise, aber nur ein Stationspaar städtisch-ländlich in Thüringen; Daten ab 1991 verfügbar. Unten (6c) Selbiges für ein Wiener Stationspaar, ab 1992 verfügbar.

Es gibt also keinen jahreszeitlich-intensitätsmäßig einheitlichen UHI, lediglich die erhöhte UHI-Affinität des Aprils fällt bei allen drei Vergleichen ähnlich aus. Nun war zu klären, ob sich die Stadt-/Umland-Differenzen seit den frühen 1990er Jahren verändert haben; doch auch da zeigt sich kein einheitliches Bild.





Abbildungen 7a bis 7c: Analoge Vorgehensweise wie bei den Abb. 6a bis 6c, nur werden hier die zeitlichen Entwicklungen der Differenzen im Jahresmittel gezeigt. Diesmal gleiche Skalierung der y-Achsen, um die Größe der jährlichen Schwankungen und der linearen Trends besser zu veranschaulichen.

Diese drei Vergleiche sind keinesfalls repräsentativ für das UHI-Verhalten in ganz Mitteleuropa; dennoch werfen sie viele Fragen auf. Erstens die nach den großen Differenz-Schwankungen von Jahr zu Jahr in Berlin, obwohl hier jeweils drei Stationen gemittelt wurden, und die sehr geringen bei dem südlichsten Stationspaar (Wien). Zweitens das unterschiedliche Trendverhalten – sollte die Abnahme in Berlin aufgrund des ausufernden Speckgürtels im Umland und/oder der dort stark ausufernden, erwärmend wirkenden Nutzung der Wind- und Solarenergie erfolgt sein? Die leichte Differenz-Zunahme bei Jena minus Dachwig kann der wachsenden Boomtown Jena geschuldet sein – oder sie resultiert aus meteorologischen Effekten (das für Nebellagen sehr anfällige Saaleetal könnte überdurchschnittlich von der in den letzten drei Jahrzehnten im gesamten Flachland Deutschlands erfolgenden Häufigkeitsabnahme des Nebels profitiert haben – aber auch der UHI dürfte den Nebel öfters „wegheizen“). Dagegen spricht aber das jahreszeitliche Verhalten: Im Herbst/Winter nahmen die Differenzen zwischen Jena und Dachwig leicht ab; im Frühling/Sommer jedoch deutlich zu. In

Berlin nahmen die Differenzen in allen Jahreszeiten merklich ab; am stärksten jedoch im Sommer. In Wien gab es nur im Winter und Frühling eine geringe Differenzabnahme; Sommer und Herbst blieben fast unverändert.

Die zunehmende Bebauung und Versiegelung in Deutschland befeuert auch den UHI-Effekt

Trotz all der vollmundigen Phrasen unserer Politiker zur ökologischen Wende und zum Klimaschutz werden in Deutschland jeden Tag noch immer etwa 58 Hektar, das sind stattliche 580.000 Quadratmeter (die Fläche von fast 1.500 Kleingärten) versiegelt; dort kann vom Boden kein Wasser mehr gespeichert und somit auch keine kühlende Verdunstung mehr wirksam werden (Niederschlagswasser wird meist in die Kanalisation abgeleitet). Jede Sekunde wird in der Bundesrepublik Deutschland 5,22 m² Boden neu als Siedlungs- und Verkehrsfläche beansprucht ([Quelle](#)). Allerdings beinhaltet Siedlungs- und Verkehrsfläche auch unversiegelte, teils begrünte Flächen wie Vor- und Hausgärten, Erholungsflächen, Friedhöfe oder begrünte Straßenränder. Von 1992 bis 2019 vergrößerte sich die Siedlungs- und Verkehrsfläche von 40.305 auf 51.489 Km² – eine Zunahme um fast 28% in nur 28 Jahren. Längerfristig liegen leider keine genauen Zahlen vor, doch liefert die Entwicklung der Einwohnerzahlen Deutschlands wichtige Indizien. Diese stieg von etwa 41 Millionen im Jahre 1871 auf etwa 83 Millionen im Jahre 2020 – eine Verdoppelung in 150 Jahren. Die aussagefähigere Einwohnerdichte (Einwohner je Km²) beträgt heuer etwa 233 EW/Km² und dürfte sich seit der Zeit des Kaiserreiches sogar deutlich mehr als verdoppelt haben, weil besonders mit den enormen Gebietsverlusten nach 1945 viele Vertriebene in das verbleibende, kleinere Staatsgebiet umsiedeln mussten. Aber jeder Einwohner benötigt neben Wohnung und Beruf auch Verkehrs-, Einkaufs- und Freizeitflächen; hinzu kommt der erheblich gestiegene Lebensstandard. All das benötigt Energie zum Arbeiten, Heizen, Kochen, für Körperpflege, Heimelektronik, Fortbewegung, Gesundheitswesen und Freizeitaktivitäten, die letztendlich als Abwärme in die Umwelt gelangt. Noch viel bedeutsamer sind aber die geänderten Energieflüsse infolge der Nutzungsänderungen, vor allem der Bebauungen und Versiegelungen. Im Folgenden sollen einige Beispiele veranschaulichen, wie stark die Bebauung ausuferte, und wie die zunehmende Einwohnerdichte die Temperaturen mit beeinflusst haben könnte. Werfen wir zuerst einen Blick auf die mittelgroße, wirtschaftsschwache und nur von Kultur, Kleingewerbe und Tourismus lebende Stadt Weimar. Diese hatte um 1945 in etwa so viele Einwohner, wie gegenwärtig – zwischen 62.000 und 65.000

(wobei der heutige Stand nur durch 1993 eingemeindete Ortsteile gehalten werden konnte und erst seit den späten 2000er Jahren wieder eine leichte Zunahme erfolgte). Aber die bauliche Entwicklung zeigt nahezu eine Verdoppelung der Bauflächen seit 1945 im heutigen Stadtgebiet und in unmittelbar angrenzenden Gemeinden.

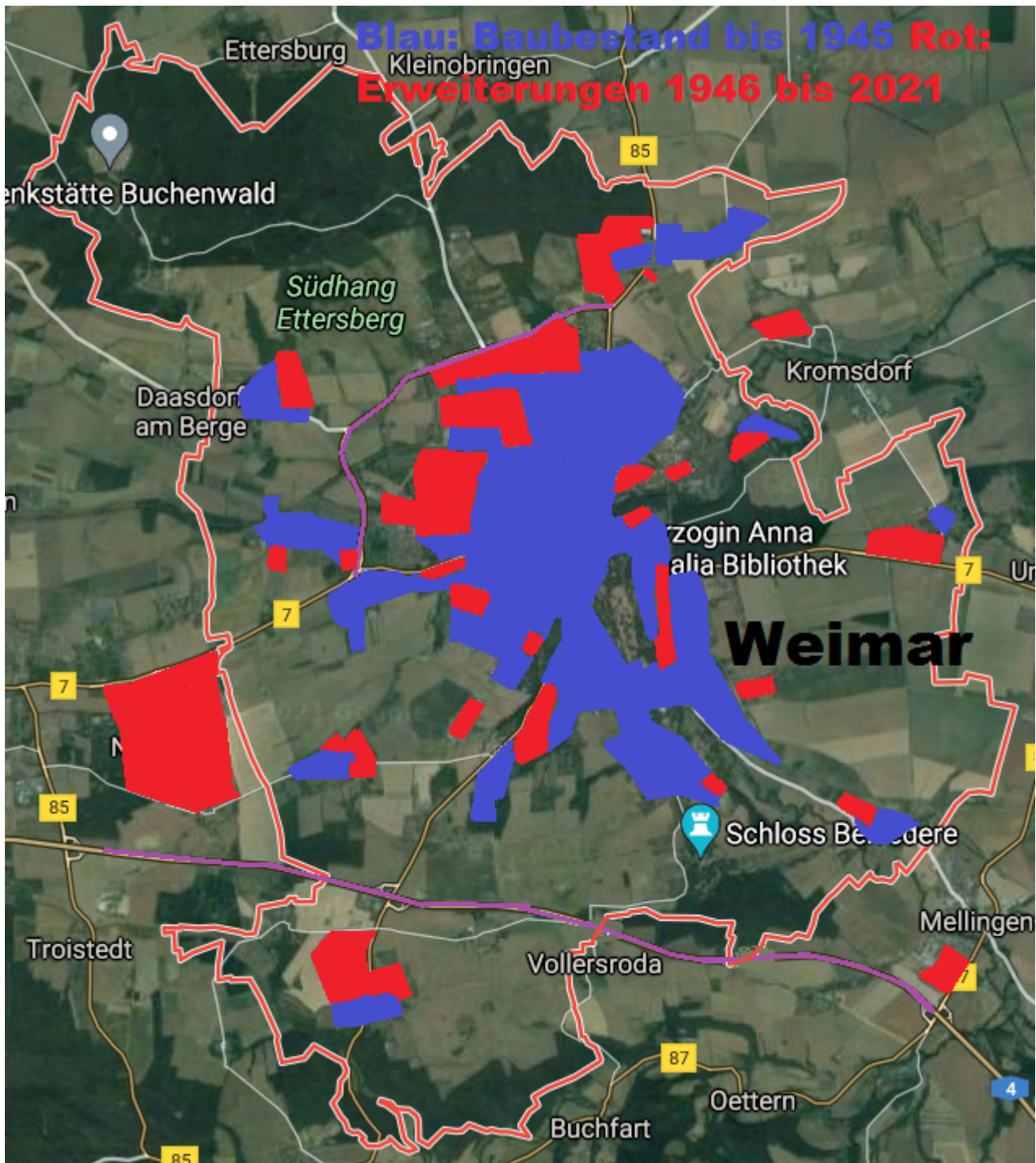


Abbildung 8: Die bebaute Fläche der Stadt Weimar in Thüringen bis 1945 (blau) und Erweiterungen 1946 bis 2020 (rot) sowie neue oder stark verbreiterte Straßen (violett). Der rote, weiß gerandete Umring markiert die heutige administrative Stadtgrenze; mit erfasst sind auch bedeutende

Neubauf Flächen nahe der Stadtgrenzen, weil sie klimatisch für die Stadt relevant sind. Nicht erfasst wurden teils erhebliche bauliche Nachverdichtungen, die GUS-Konversionsflächen oder Neubauf Flächen von deutlich unter einem Hektar Größe wie etwa das 2019 eröffnete neue Bauhaus-Museum. Kartengrundlage: google.com/maps

Die meisten Neubauf Flächen liegen in Hauptwindrichtung südwestlich, westlich und nordwestlich des alten Stadtgebietes, was klimatisch besonders problematisch ist, denn bei den dominierenden Westwinden gelangt dann schon vorgewärmte Luft in die Stadt. Man achte besonders auf die riesige Neubauf Fläche des Gewerbeparks Ulla/Nohra/Obergrunstedt südwestlich der Stadt, wo auch ein riesiger, stark heizender Solarpark entstand.



Abbildung 9: Ein riesiger Solarpark, südwestlich der Stadt bei Nohra gelegen, heizt Weimar nun kräftig ein. Im Hintergrund eine wärmende, den UHI-Effekt befeuernde Bausünde der 1990er Jahre, das große Neubaugebiet in Gaberndorf am Ettersberg. Foto: Stefan Kämpfe

Problematisch war und ist auch die bauliche Nachverdichtung im älteren Stadtgebiet, weil hierdurch viele weitläufige Villengärten oder Grünanlagen ganz oder teilweise verlorengingen.



Abbildung 10: Die Errichtung des neuen Bauhaus-Museums am Nordwestrand der Weimarer Altstadt zerstörte zwei Grünflächen und beeinträchtigte den Nordrand des Weimarhallenparkes; zahlreiche Bäume wurden gefällt, und der neue, sehr klobige Baukörper verringert die Belüftung der angrenzenden Stadtviertel. Zustand im Rohbau, Januar 2018. Foto: Stefan Kämpfe

Starke Erwärmung an der Wetterstation Potsdam – auch wegen baulicher Verdichtungen und stark steigender Einwohnerzahlen?

Seit über einhundert Jahren (1893) wird auf dem Telegrafenberg in Potsdam eine Wetterstation betrieben; bis Ende 2019 galt sie als Säkularstation. Das Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK) schreibt dazu vollmundig: „Die Säkularstation ist weltweit die einzige meteorologische Station, die über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren ein derart umfassendes Messprogramm ohne Lücken aufweisen kann... . Das Datenmaterial ist nachgewiesenermaßen homogen. Bis heute wurden die historischen Beobachtungsbedingungen beibehalten. Dazu gehören: Standorttreue – keine Stationsverlegung, keine Änderungen des Messfeldes. Unveränderte

Umgebung... ." Doch am 31.12.2019 wurde die hochgelobte, angeblich so exakte und weltweit einzigartige Station aufgegeben – zwar führt der Deutsche Wetterdienst (DWD) die Aufzeichnungen fort, aber nicht mehr mit den alten Instrumentarien und Beobachtungszeiten und -methoden. Aber schon ein Blick auf das historische Messfeld zeigt: So ganz entsprach es nicht den strengen, alten Regularien – gepflasterte Wege um die Station und nur teilweise Rasenbewuchs statt weitläufiger Kurzgrasflächen; dazu hohe Bäume, welche einen „Garteneffekt“ erzeugen könnten, in nicht allzu großer Entfernung.



Abbildung 11: Die Säkularstation Potsdam ein Jahr vor der Schließung.

Bildquelle: Märkische Allgemeine vom 31.12.2018

Zunächst war also zu prüfen, wie sich die Potsdamer Reihe im Vergleich zum DWD-Deutschlandmittel entwickelte, dazu wurden die Jahreswerte gewählt:

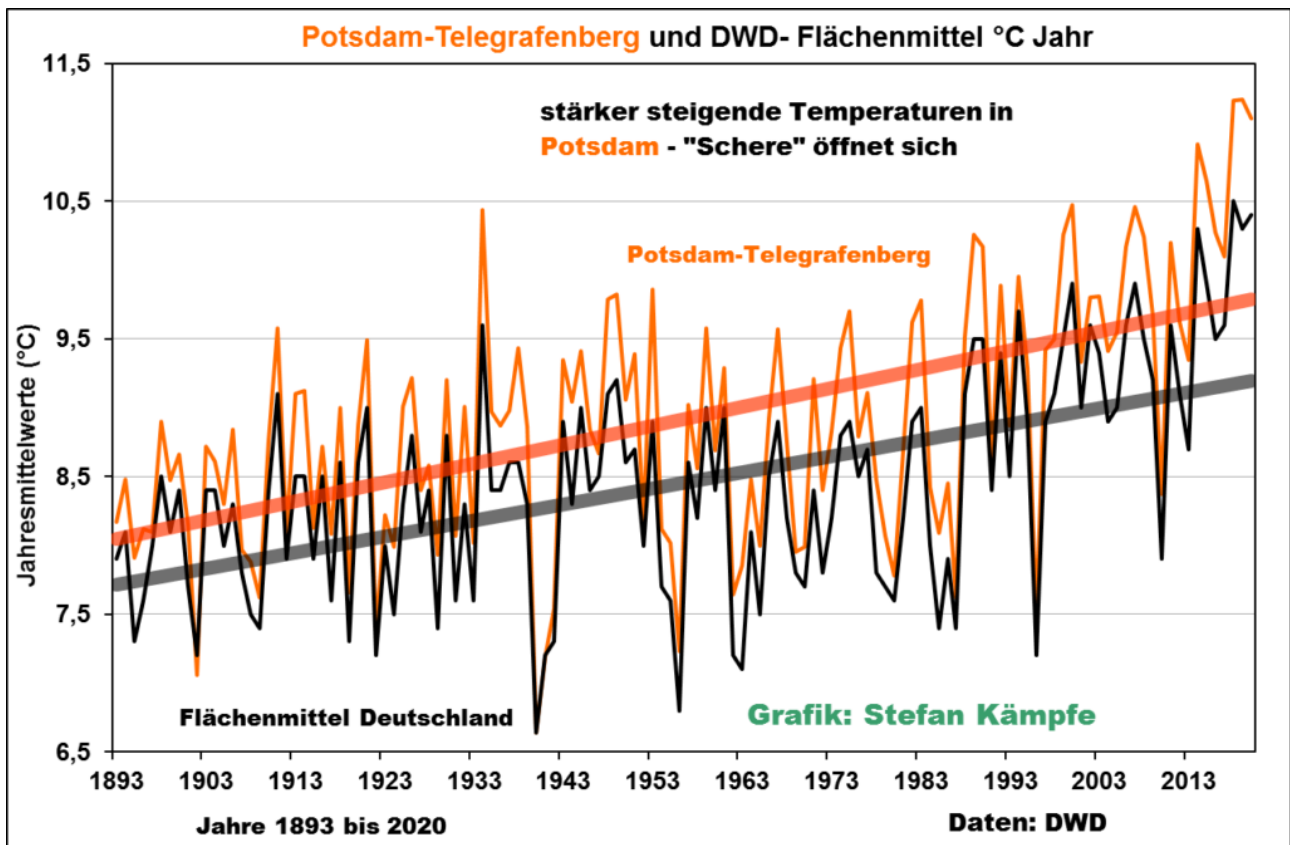


Abbildung 12: Potsdam (orange) erwärmte sich etwas stärker als das Deutsche Flächenmittel; seine lineare Trendlinie hat eine höhere Steigung.

Und wie sieht es mit der angeblich so unveränderten Umgebung aus? Da gibt ein Lageplan zur baulichen Entwicklung des Telegrafenberges Auskunft:

Wissenschaftspark Albert Einstein Telegrafenberg Potsdam

Baugeschichte

Archiv ursprüngliche Bezeichnung
Gedenkstein

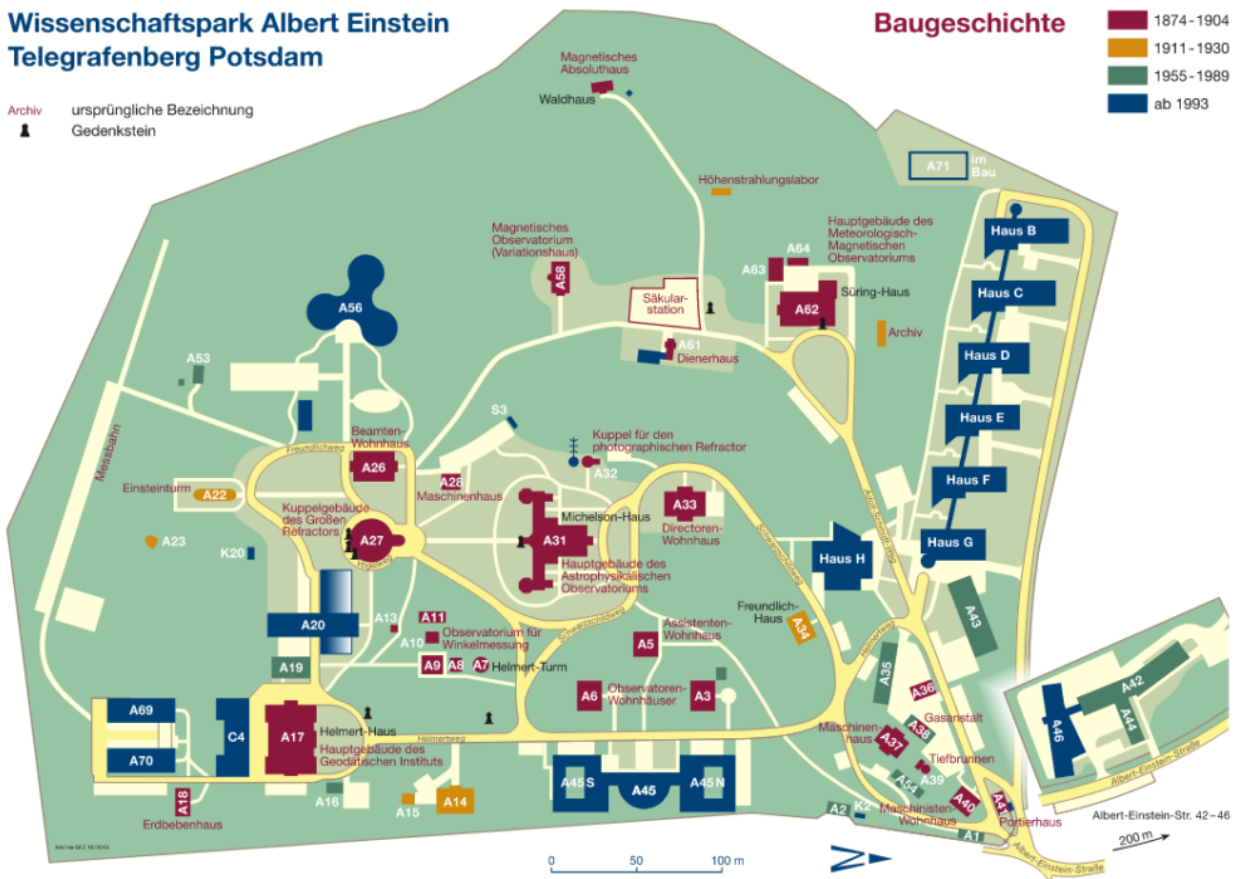
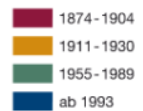


Abbildung 13: Die bauliche Entwicklung des Telegrafenberges seit 1874. Dunkelrot sind bis 1904, ocker bis 1930, dunkelgrün bis 1989 und dunkelblau ab 1993 errichtete Bauten; Letztere machen den Hauptteil der baulichen Erweiterungen aus und liegen nur wenige Meter bis wenige hundert Meter vom Messfeld (Säkularstation) entfernt. [Bildquelle](#)

Da gab es also jede Menge baulicher Veränderungen; und ein Blick auf das Google-Luftbild zeigt die geringe Entfernung zwischen dem Telegrafenberg und der stark wachsenden Stadt Potsdam:



Abbildung 14: Im Westen, Norden und Osten ist der Telegrafenberg von dicht bebauten Stadtvierteln in nur etwa 500 Metern Entfernung umzingelt – das kann hinsichtlich der Lufttemperaturen nicht ganz folgenlos geblieben sein. Bildquelle: [google.com/maps](https://www.google.com/maps)

Die baulichen Erweiterungen sowie die Nähe zur Stadt könnten vor allem das Verhalten der mittleren Minima in Potsdam beeinflusst (erhöht) haben. Ein Vergleich mit der nicht weit entfernten, ebenfalls an einem Hügel gelegenen DWD-Station Lindenberg ergab für die sommerlichen mittleren Minima folgendes Bild:

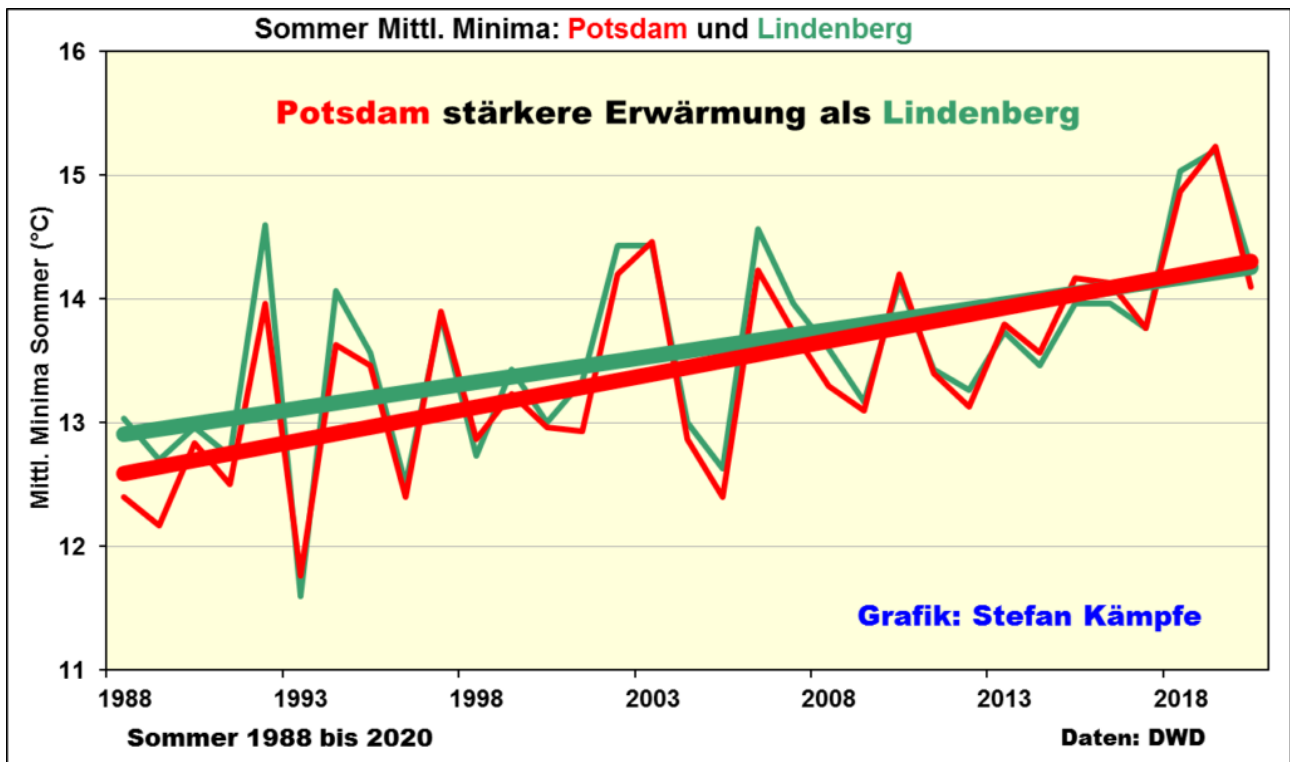


Abbildung 15: Etwas stärkere Erwärmung der sommerlichen mittleren Minima in Potsdam (rot). Auch in den anderen Jahreszeiten und im gesamten Jahr zeigt sich dieses Verhalten.

Und schließlich war noch zu prüfen, ob vielleicht die gestiegenen Einwohnerzahlen Potsdams einen Gleichlauf mit dem Gang der Lufttemperaturen aufweisen (keine eindeutige Kausalität, aber ein wichtiges Indiz):

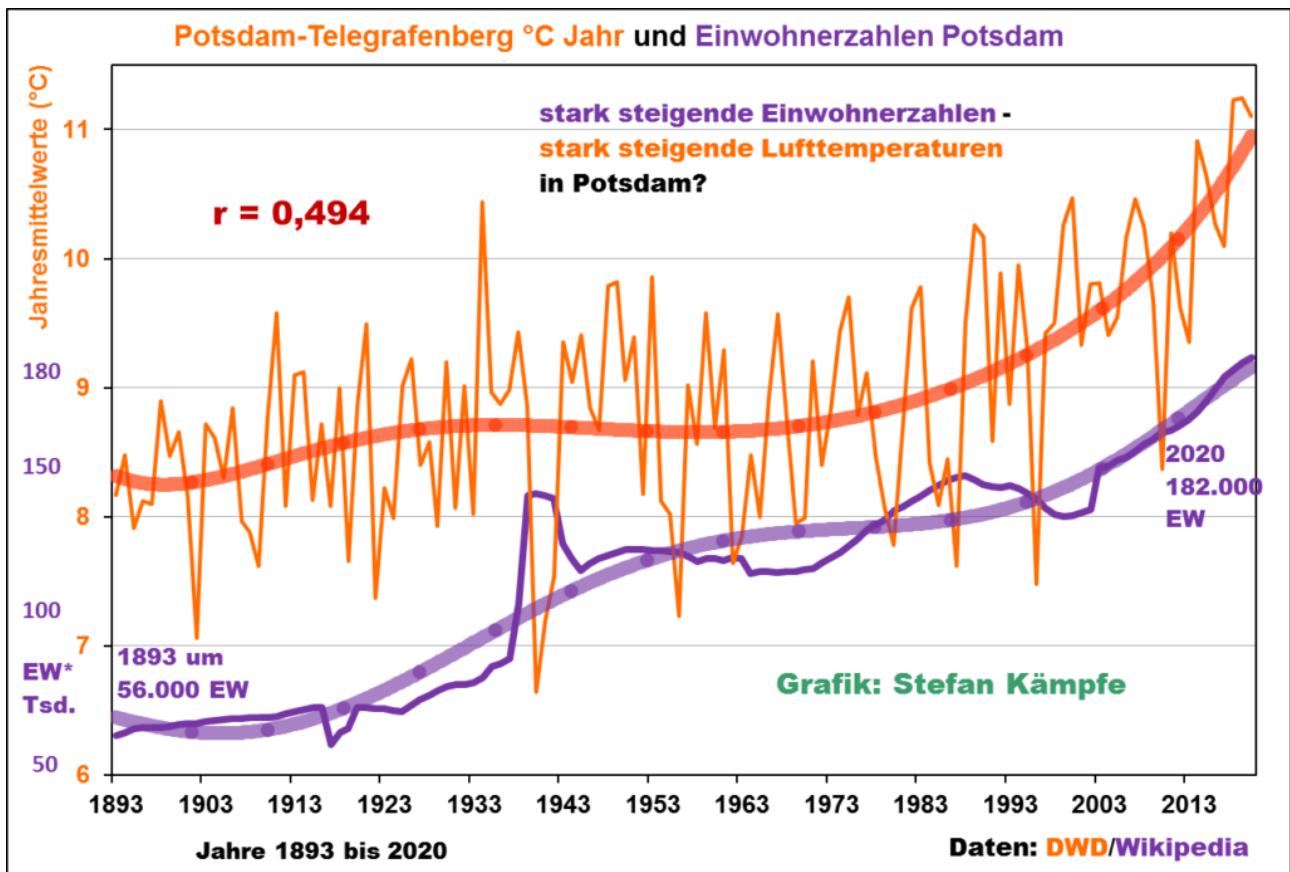


Abbildung 16: Grobe Übereinstimmung (mit Polynomen sechsten Grades) der Entwicklungen der Einwohnerzahlen Potsdams (violett) und der Jahresmitteltemperaturen am Telegrafenberg (orange). Auch wenn die ähnlichen Verläufe keinesfalls eine Kausalität bedeuten (die Temperaturen werden sehr stark von der AMO, der Großwetterlagenhäufigkeit und der Sonnenscheindauer bestimmt), so könnten doch die steigenden Einwohnerzahlen die Erwärmung verstärkt haben.

Betrachtet man nur die Zeit ab 1988, so erwärmte sich Deutschland um knapp über 1 K, Potsdam aber um fast 1,4 K. Die Einwohnerzahlen der brandenburgischen Landeshauptstadt stiegen zuletzt stark; von knapp 130.000 im Jahre 2000 auf über 182.000 im Jahre 2020. Sehr wahrscheinlich steigt bei windschwachen Wetterlagen städtische Warmluft zum Telegrafenberg auf und erhöht die Temperaturen – außerdem könnte es eine gewisse Fernwirkung der wachsenden Millionenstadt Berlin geben.