Beiträge

Auswirkungen der Bau(m)struktur auf das Stadtklima in Würzburg – können wir Klimaanlagen pflanzen?

CHRISTIAN HARTMANN, HEIKO PAETH

Lehrstuhl für Physische Geographie am Institut für Geographie und Geologie der Julius-Maximilians-Universität Würzburg
christian.hartmann@uni-wuerzburg.de, heiko.paeth@uni-wuerzburg.de

1. Einleitung

Städte weisen gegenüber dem Umland höhere Temperaturen auf. Verantwortlich für den sogenannten städtischen Wärmeinseleffekt sind die anthropogenen Einflüsse durch Bodenversiegelung, Bausubstanz und ein reduzierter Vegetationsanteil (KIM AND BROWN, 2021). Aufgrund ihrer Struktur sind Städte in mehreren Quartieren angeordnet. Diese unterscheiden sich, infolge der mannigfaltigen Genese, hinsichtlich des Versiegelungs- und Begrünungsgrades, sowie in der vorherrschenden Baustruktur und Nutzung.

Die Stadt Würzburg ist aufgrund ihrer dichten Bebauung, der hohen Oberflächenversiegelung mit einhergehender geringer Vegetationsbedeckung und wenigen Frischluftschneisen einem erhöhten Überhitzungsrisiko ausgesetzt. Hinzu kommen naturräumliche Besonderheiten, wie beispielsweise die Kessellage durch das Maintal. Dadurch gibt es in Würzburg, im Vergleich zu anderen bayerischen Städten, besonderes hohe Hitzebelastungen, insbesondere in den Sommermonaten (RAUH AND PAETH, 2011; PAETH et al., 2022).

2. Grundlagen zum Stadtklima in Würzburg

Unter dem Begriff „Stadtklima" ist der Temperaturunterschied des Stadtzentrums zum grünen Umland zu verstehen. Dieser Stadtklimaeffekt, auch UHI (urban heat island) – Effekt genannt, ist bereits seit langer Zeit bekannt und durch zahlreiche Studien erforscht z.B. (KIM AND BROWN, 2021). OKE (1973) fand dabei heraus, dass es einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Stadtklimaeffekts und der Einwohnerzahl, respektive der Stadtgröße, gibt. Davon ausgehend kann für eine Stadt wie Würzburg, die etwa 130.000 (CITY OF WUERZBURG, 2021b) Einwohner besitzt, ein Stadtklimaeffekt von 5,1 °C erwartet werden.
Das bedeutet, dass die Temperaturen in der Spitze im Stadtzentrum bis zu 5 C höher liegen können als beispielsweise am Stadtrand bei der Nachbargemeinde Gerbrunn.

Verantwortlich für die überdurchschnittliche Erwärmung des Stadtzentrums sind mehrere Faktoren, die durch anthropogenen Einfluss erzeugt werden. So bedingt die Errichtung von Gebäuden eine Veränderung der Oberflächenstruktur. Durch ihre Ausrichtung und Höhe sorgen die Bauwerke beispielsweise dafür, dass der Wind Luftmassen im Stadtzentrum nicht mehr ausreichend austauschen kann. Des Weiteren verfügen Gebäude über eine größere Oberfläche als beispielsweise eine Wald- oder Wiesenfläche. Verschärfend hinzu kommen Baustoffe, wie Ziegel, Beton und Asphalt, die die aufgenommene Wärme, insbesondere durch Sonneneinstrahlung, sehr lange speichern. Aus der Bausubstanz wird die gespeicherte Energie durch Wärmestrahlung sukzessiv abgegeben und erwärmt die Luft in ihrer Umgebung. Die Gebäude und versiegelten Flächen wirken somit wie eine Heizung und sorgen dafür, dass sich die Stadt gegenüber dem Umland stärker aufheizt. Dies ist insbesondere in den Abendstunden kurz vor und nach Sonnenuntergang der Fall (LOZÁN et al., 2019).

Im Gegensatz zu Straßen und Gebäuden können Grünflächen in der Stadt eine kühlende Wirkung erzeugen. Neben dem Schattenwurf ist es hier vor

allem die Transpirationsleistung der Pflanzen, die einen messbaren Kühleffekt auf die Lufttemperatur erzeugt. Dabei gilt grob, dass die Größe der Pflanze stark mit ihrer Kühlleistung zusammenhängt. Ein Baum kühlt seine Umgebung besser als ein Strauch, der wiederum effektiver ist als eine einfache Rasenfläche. Dennoch leistet jede Pflanze in der Stadt ihren Beitrag, um der Überhitzungstendenz entgegenzuwirken (RAHMAN et al., 2020).

Die Stadt Würzburg zeigt aufgrund ihrer geographischen Lage einige Besonderheiten auf. Schaut man sich die Region Unterfranken auf einer topographischen Karte an so fällt auf, dass Mainfranken von nahezu allen Seiten durch Mittelgebirgszüge umgeben ist. Im Westen ist dies der Spessart, im Norden die Rhön und im Osten der Steigerwald. Anströmende Luftmassen aus diesen Richtungen müssen die Mittelgebirgszüge erst überwinden. Auf der windzugewandten Seite, auch Luv genannt, werden die Luftmassen zum Aufstieg gezwungen, wobei sie sich häufig abregnen. Auf der windabgewandten Seite, dem Lee, sinken sie wieder ab und erwärmen sich. Gleichzeitig enthalten die Luftmassen weniger Feuchtigkeit als vor dem Aufstieg, weshalb die Ergiebigkeit der Niederschläge abnimmt. Dadurch ist die Region Mainfranken bereits jetzt eine der trockensten und wärmsten Regionen in der Bundesrepublik (RAUH AND PAETH, 2011). Im Zuge der weiteren Klimaveränderungen wird für die Region Mainfranken, je nach Fortbestand der Treibhausgasemissionen, ein Temperaturanstieg von etwa 4,5 °C bis zum Jahr 2100 erwartet. Zeitgleich nehmen die Sommerniederschläge um bis zu 30% ab, die Winterniederschläge hingegen leicht zu. Insgesamt ist die Region Mainfranken somit stärker von den prognostizierten Klimaveränderungen betroffen als der Bundesdurchschnitt (SCHÖNBEIN et al., 2020).

Wir können also bereits heute die Region als Reallabor für Klimaveränderungen in Gebieten nutzen, in denen diese klimatologischen Zustände erst noch eintreten.

Die Stadt Würzburg selbst liegt durch das Flusstal des Mains in einem zusätzlichen Kessel. Als Anhöhen zu nennen sind hier vor Allem die Frankenwarte und der Festungsberg im Westen, der hohe Bug und Blaue Berg im östlichen Bereich bei Randersacker und Gerbrunn, sowie der Pfaffenberg und die Anhöhen bei Oberdürrbach im Osten und Norden. Eine Öffnung des „Würzburger Kessels" ist somit nur entlang einer Südost-Nordwest-Achse entlang des Mains gegeben. Durch die Flussnähe kann die kühlende Wirkung einer Wasserfläche auf den Stadtkörper direkt gemessen werden.
Als weitere Besonderheit in Würzburg dient der Ringpark. Der Park entstand gegen Ende des 19. Jahrhunderts und markiert die frühere Lage der Stadtmauern (CITY OF WUERZBURG, 2021a). Durch den ausgiebigen Baumbestand können somit die Kühlwirkung und deren Reichweite auf den angrenzenden Gebäudebestand erfasst werden (HARTMANN et al., 2022).

3. Erfassung des Stadtklimas und des Kühleffekts der Bäume

Um den Stadtklimaeffekt in Würzburg und den Kühleffekt der Bäume zu erfassen, wurden im Stadtgebiet und dem Ortsrand der Gemeinde Gerbrunn insgesamt acht Messstationen errichtet (vgl. Abbildung 1). An sechs der Messstellen findet ein Monitoring der Stadtbäume statt. Nicht möglich ist dies aufgrund fehlender Baumbestände am Marktplatz und in Gerbrunn. Als Versuchsbaumarten dienen zum einen die Winterlinde (*Tilia cordata*), einer hitzeresistenen Baumart, und die Robinie (*Robinia pseudoacatia*), die hingegen gut mit Trockenheit haushalten kann.

Die Datenerfassung an den Bäumen beinhaltet, neben der Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Kronenbereich, den Saftfluss (Flüssigkeitstransport im Stamm), die Veränderung des Stammdurchmessers im Mikrometerbereich und die Bodenfeuchte. Über diese Größen können die weiteren Parameter, wie die Bindung von CO_2, die Sauerstofffreisetzung und ob der Baum Trockenstress erleidet, erhoben werden (RAHMAN et al., 2022).



Abbildung 1: Übersicht der Messstandorte

Parallel dazu findet eine Messung verschiedener Wetterkenngrößen in der Nähe der Bäume statt. Neben der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit sind dies die Parameter Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Globalstrahlung, Niederschlag und an drei Stationen der Luftdruck.

Der Kühleffekt der Bäume auf die Lufttemperatur lässt sich direkt über den Temperaturunterschied zwischen dem Messwert aus dem Baumkronenbereich und dem Messwert der Wetterstation bestimmen.

Der Stadtklimaeffekt hingegen ergibt sich aus der Differenz zwischen Stadtzentrum und Umland, also Marktplatz und Gerbrunn.

Die tatsächlich gefühlte Temperatur für den Menschen errechnet sich mit Hilfe der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET).
Neben den klimatologischen Rahmenbedingungen bestehend aus Temperatur, Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung und Wind, berücksichtigt diese Temperatur auch die Kleidung und die Tätigkeit einer Person. Zur besseren Vergleichbarkeit sind Bekleidungszustand und Tätigkeit nach den Ausführungen von JENDRITZKY (1990) fest definiert.

4. Ergebnisse

a) Ausprägung des Stadtklimaeffekts in Würzburg

Abbildung 2 zeigt beispielhaft den Temperaturverlauf der Standorte Marktplatz, Ludwigkai, Frauenland und Gerbrunn an einem heißen Sommertag ohne Bewölkung von Sonnenaufgang bis Sonnenaufgang am Folgetag. Es ist dabei sehr gut zu erkennen, dass die Temperaturkurven zu Tagesbeginn sehr eng aneinander liegen. Dieser Gleichgewichtszustand hält in etwa bis zur Mittagszeit an, ehe ein leichtes Wegdriften der Marktplatzstation zu verzeichnen ist. Dieses nimmt im Laufe des Nachmittags weiter zu und ist bis zum Erreichen der Tageshöchsttemperatur zum ersten Mal besonders stark ausgeprägt. Danach ist ein langsames Abfallen der Temperaturkurven zu beobachten. Die Abkühlung intensiviert sich zum Zeitpunkt des Sonnenuntergangs und schreitet dabei an der Umlandstation Gerbrunn am stärksten voran, wohingegen die Marktplatzstation auf einem hohen Temperaturniveau verbleibt. Hieraus ergibt sich in der Spitze eine Temperaturdifferenz von 6,7 °C für diesen Tag. Im Verlauf der Nachtstunden bleibt dieser Temperaturunterschied merklich bestehen, ehe sich die Temperaturkurven erst zum Sonnenaufgang wieder angleichen.

Es ist zu beobachten, dass die gemessenen Stadtklimaeffekte an besonders heißen und strahlungsintensiven Tagen hohe Werte in den Abendstunden erreichen. In der Spitze konnten am 29.08.2019 Temperaturunterschiede von 8,2 °C gemessen werden.

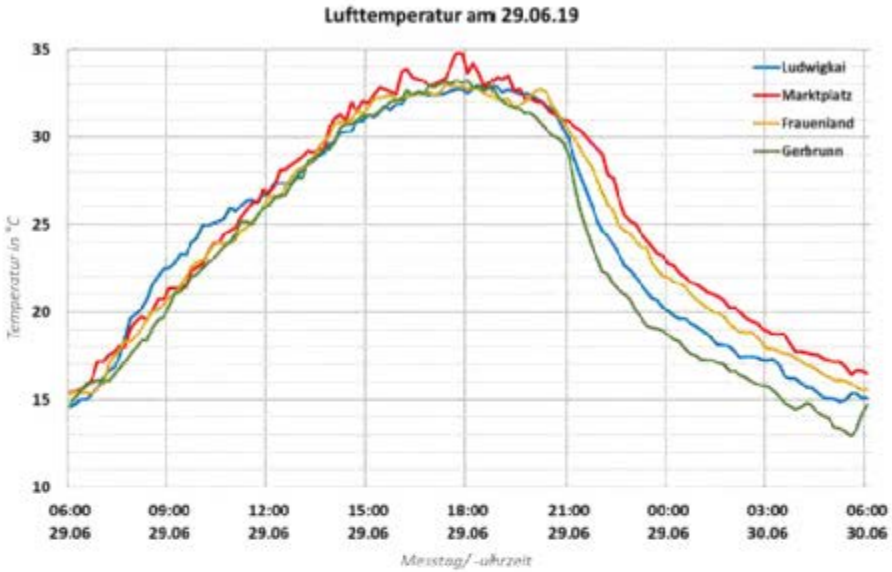


Abbildung 2: Temperaturverlauf bei verschiedenen Stationen an einem heißen Tag

b) Kühleffekt der Bäume

Eine Darstellung des Kühleffekts der Bäume erfolgt beispielhaft am Messstandort Rennweg. Betrachtet wird dabei der Temperaturunterschied zwischen den Winterlinden (*Tilia cordata*) und der in etwa 50m Entfernung errichteten Wetterstation.

Anhand von Abbildung 3 ist festzustellen, dass im Mittel die Stärke des Kühleffektes der Bäume von der Jahreszeit und der Tageszeit abhängig ist. Somit lassen sich die höchsten Temperaturunterschiede in den Sommermonaten vom Nachmittag bis zum frühen Abend hinein messen. Die mittleren Kühleffekte der Bäume betragen dabei, über alle Tage eines Monats zu einer bestimmten Uhrzeit gemittelt, bis zu 1,5 °C.
In der Spitze konnten direkte Kühleffekte von rund 3,5 °C gemessen werden.

In den Nachtstunden gleichen sich die Temperaturen zwischen den Baumbeständen und den umliegenden Bereichen wieder weitestgehend an. Ebenso ist in den Wintermonaten kein Kühleffekt der Bäume festzustellen.

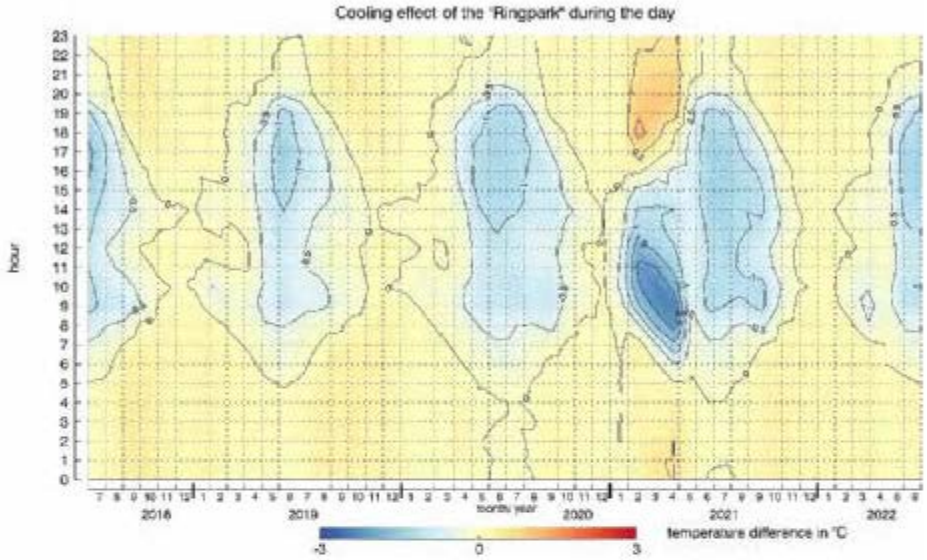


Abbildung 3: Kühleffekt der Bäume im Ringpark

Neben den direkt messbaren Einflüssen auf die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit erfolgte eine Untersuchung der Kühleffekte auf die tatsächlich gefühlte Temperatur der Passanten mit Hilfe der physiologisch äquivalenten Temperatur, PET. Dabei stellte sich heraus, dass die Temperatur für Menschen, die sich an einem heißen Tag unter den Baumbeständen aufhalten, um bis zu 11°C kühler anfühlt (Rahman et al., 2020).

5. Diskussion

Anhand der gemessenen Temperaturunterschiede zwischen dem Würzburger Innenstadtbereich und dem naheliegenden Umland ist festzustellen, dass die Ausprägung des Stadtklimaeffekts an heißen Tagen über dem theoretisch zu erwartenden Wert von 5,1°C liegt. Dabei ist zu beobachten, dass die städtische Wärmeinsel zu zwei Tageszeiten am markantesten ist. Zum einen ist dies der

Zeitraum am Nachmittag, wenn für gewöhnlich die Tageshöchst-temperaturen erreicht werden. Die Temperaturunterschiede sind beim ersten peak relativ moderat und wirken sich hauptsächlich auf die gemessenen Tageshöchsttemperaturen aus. Diese liegen im Innenstadt-bereich durchschnittlich um etwa 2°C höher als im Umland. Für einen heißen Sommertag bedeutet dies beispielsweise eine Tageshöchsttemperatur von 35°C in Gerbrunn und 37°C am Marktplatz in Würzburg. Deutlicher ausgeprägt ist der Stadtklimaeffekt hingegen in den Abendstunden kurz vor beziehungsweise nach Sonnenuntergang. Gerade in den Sommermonaten sind dies die Zeiträume, in denen die Stadtbewohner beispielsweise die Wohnungen vor dem Schlafengehen noch einmal durchlüften möchten. Bei einer Manifestation der städtischen Wärmeinsel von 7°C Temperaturunterschied sind nach Tagen mit einer Höchsttemperatur von über 33°C sehr häufig um diese Uhrzeit am Marktplatz noch Werte um 30°C messen, während es in Gerbrunn mit 23°C bereits deutlich kühler war.

Dieser Sachverhalt bedeutet, dass insbesondere die Menschen im Innen-stadtbereich zum einen länger und zeitgleich auch häufiger unter Hitzestress leiden. Hitzestress kann unter anderem zu einer verminderten Schlafqualität führen, ist aber auch für Kreislaufprobleme, verminderte Leistungsfähigkeit und für einen signifikant messbaren Anstieg der Mortalität verantwortlich. (LOZÁN et al., 2019).
Im Vergleich zu anderen Extremwetterereignissen, wie etwa Gewittern, sind langanhaltende und intensive Hitzewellen daher ein schleichendes, subtil wahrgenommenes und häufig unterschätztes Extremwetterereignis.

Zur Minderung der innerstädtischen Überhitzung können Bäume einen entscheidenden Beitrag leisten. Hier findet eine aktive Kühlung der Lufttemperatur über die Verdunstung von Feuchtigkeit an den Blattflächen statt. Parallel dazu mindert der Schattenwurf der Baumkrone das Aufheizen der Bausubstanz. Dies sorgt insbesondere in den Sommermonaten um die Nachmittagsstunden, wenn die Tageshöchsttemperaturen erreicht werden, für einen signifikanten Kühleffekt. Der Baum fungiert dabei als natürliche Klimaanlage im innerstädtischen Bereich. Es ist dabei allerdings von

essenzieller Bedeutung, dass der Baum mit ausreichend Nährstoffen im Boden versorgt ist und zeitgleich für ihn ausreichend nutzbares Wasser vorhanden ist. Nur dann können die Stadtbäume ihr Kühlpotential vollständig ausschöpfen. Dies lässt sich sehr gut an den unterschiedlich stark ausgeprägten Kühleffekten zwischen den Sommermonaten 2018-2020, die drei sehr heiße und trockene Sommer repräsentieren, sowie 2021, als Sommer mit ausreichend Niederschlag, erkennen.

Es ist daher wichtig, dass die Stadtbäume auf ausreichende Wasserreserven im Boden zurückgreifen können, um ihr Kühlpotential vollständig zu entfalten.

Neben der tatsächlichen Lufttemperatur reduziert sich die thermische Belastung für Stadtbewohner unter Bäumen signifikant. Das ist dadurch bedingt, dass das Wärmeempfinden des Menschen nicht nur von der Lufttemperatur selbst abhängt, sondern auch von weiteren Größen wie der Sonneneinstrahlung oder der Luftfeuchtigkeit. Unter Berücksichtigung dieser Größen reduziert sich die thermische Belastung unter Bäumen um bis zu 11 C (RAHMAN et al., 2020). Dies unterstreicht die Bedeutung von Bäumen im innerstädtischen Bereich für den thermischen Komfort der Bewohner.

Des Weiteren kommt Bäumen bei Starkregenereignissen eine weitere Bedeutung hinzu. Über das Blattwerk kann Niederschlagswasser zurückgehalten werden. Diese sogenannte Interzeption sorgt dafür, dass insbesondere bei Starkregen das Regenwasser langsam dem Boden zugeführt wird und somit effektiver versickern kann. Dies mindert wiederum den Oberflächenabfluss, wodurch sich das Risiko von Sturzfluten und damit einhergehenden Überschwemmungen im urbanen Bereich reduziert. Durch die höhere Versickerung steht den Bäumen wiederum mehr Wasser im Boden für die Verdunstung zur Verfügung.

6. Anpassung der Stadt an die Zukunft

Aufgrund der voranschreitenden Klimaveränderungen, die für Mainfranken bis zum Jahr 2100 im deutschlandweiten Vergleich intensiver ausfallen, ist es von besonderer Bedeutung die Resilienz von Städten gegenüber Hitze- und Trockenperioden zu erhöhen.

Im Zuge des Forschungsprojektes **Klimaerlebnis Würzburg** konnte die Bedeutung von Stadtbäumen erneut hervorgehoben und durch direkte Messungen präzisiert werden. Wichtig ist es jedoch, den Stadtbäumen ausreichende Ressourcen für ihre Funktion als natürliche Klimaanlage zur Verfügung zu stellen.

Hier gilt es den Stadtkörper in den nächsten Jahren, beispielsweise im Zuge von Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen, nach und nach so zu gestalten, dass zum Beispiel Niederschlagswasser zurückgehalten und den Baumbeständen in trockenen Witterungsabschnitten zugänglich gemacht werden kann (RAHMAN et al., 2020). Dieses Konzept wird weitläufig als „Schwammstadt" bezeichnet. In der Praxis kann dies durch eine Reduktion von versiegelten Flächen, oder durch die gezielte Versickerung von Niederschlagswasser, beispielsweise mittels Rigolen (Pufferspeichern) an hydrologisch geeigneten Standorten erfolgen.

Jüngste Untersuchungen im Zuge des Klimaerlebnis Würzburg weiterhin stellten fest, dass ein homogen verteilter Grünflächenanteil im Stadtgebiet von rund 35 % die Hitzebelastung signifikant senken kann. Dabei muss der Grünflächenanteil nicht zwangsläufig über Baumbestände erreicht werden. Möglich ist hier beispielsweise ein Mix aus Baumbeständen, Wiesen- und Sträuchern sowie Dachflächen und Fassadenbegrünung. (RAHMAN et al., 2022) Aber auch der einfache Pflanzkasten auf dem Balkon eines Stadtbewohners leistet in der Gesamtheit seinen Beitrag. Wichtig ist jedoch auch hier, dass die Pflanzen ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgt sind.

Selbst wenn wir heute sofort aufhören würden, Treibhausgase wie CO_2 in die Atmosphäre zu emittieren, ließe sich das international gesteckte 1,5 °C-Ziel bis

zum Jahr 2100 nicht mehr erreichen. Es ist daher wichtig, dass wir so frühzeitig wie möglich unsere Resilienz gegenüber den zu erwartenden Temperatur- und Niederschlagsveränderungen erhöhen. Und gerade hier kann Stadtgrün, insbesondere in Form von Stadtbäumen, einen entscheidenden Beitrag leisten.

Literatur

CITY OF WUERZBURG (2021a): Ringpark. Abrufbar unter https://www.wuerzburg.de/themen/umwelt-klima/stadtnatur/ringpark/417149.Ringpark.html, 8/1/2022.

City of Wuerzburg (2021b): Stadt Würzburg Bevölkerung 2020, 5/2/2021.

HARTMANN, CHRISTIAN; MOSER-REISCHL, A; RAHMAN, MOHAMMAD A; FRANCESCHI, ELEONORA; STRACHWITZ, MIRIAM F. von; PAULEIT, STEPHAN; PRETZSCH, HANS; PAETH, HEIKO (2022): The footprint of heat waves and dry spells in the urban climate of Würzburg, Germany, deduced from a continuous measurement campaign during the anomalously warm years 2018 – 2020. (under review). Meteorologische Zeitschrift.

JENDRITZKY, M. (1990): Methodik zur Räumlichen Bewertung der Thermischen Komponente im Bioklima des Menschen: Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell.

KIM, SE W; BROWN, ROBERT D. (2021): Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. The Science of the total environment 779, S. 146389.

LOZÁN, JOSÉ L., BRECKLE, SIEGMAR-WALTER, GRAßL, HARTMUT, KUTTLER, WILHELM, MATZARAKIS, ANDREAS (HRSG.) (2019): Warnsignal Klima: Die Städte. Wissenschaftliche Fakten. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg.

OKE, T. R. (1973): City size and the urban heat island. Atmospheric Environment (1967) 7, S. 769–779.

PAETH, HEIKO; KEUPP, LUZIA; SCHÖNBEIN, DANIEL; HARTMANN, CHRISTIAN (2022): Climate change information tailored to agriculture and forestry in Central Europe, exemplified on the region of Lower Franconia. Climate Dynamics. (under review).

RAHMAN, MOHAMMAD A; FRANCESCHI, ELEONORA; PATTNAIK, NAYANESH; MOSER-REISCHL, ASTRID; HARTMANN, CHRISTIAN; PAETH, HEIKO; PRETZSCH, HANS; RÖTZER, THOMAS; PAULEIT, STEPHAN (2022): Spatial and temporal changes of outdoor thermal stress: influence of urban land cover types. Scientific reports 12, S. 671.

RAHMAN, MOHAMMAD A; HARTMANN, CHRISTIAN; MOSER-REISCHL, ASTRID; STRACHWITZ, MIRIAM F. von; PAETH, HEIKO; PRETZSCH, HANS; PAULEIT, STEPHAN; RÖTZER, THOMAS (2020): Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. Agricultural and Forest Meteorology 287, S. 107947.

RAUH, JÜRGEN, PAETH, HEIKO (2011): Anthropogener Klimawandel und Weinwirtschaft – Wahr- nehmung und Anpassungsmaßnahmen fränkischer Winzer auf den Wandel klimatischer Bedingungen. Abrufbar unter https://www.deutsche-landeskunde.de/wpfd_file/bgl_bd_85_heft_02_2011_02_rauh_paeth/, 8/1/2022.

SCHÖNBEIN, DANIEL; KEUPP, LUZIA; POLLINGER, FELIX; PAETH, HEIKO (2020): Klimabericht für Unterfranken, Würzburg.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg

Jahr/Year: 2022

Band/Volume: 56

Autor(en)/Author(s): Hartmann Christian, Paeth Heiko

Artikel/Article: Auswirkungen der Bau(m)struktur auf das Stadtklima in Würzburg - können wir Klimaanlagen pflanzen? 7-19