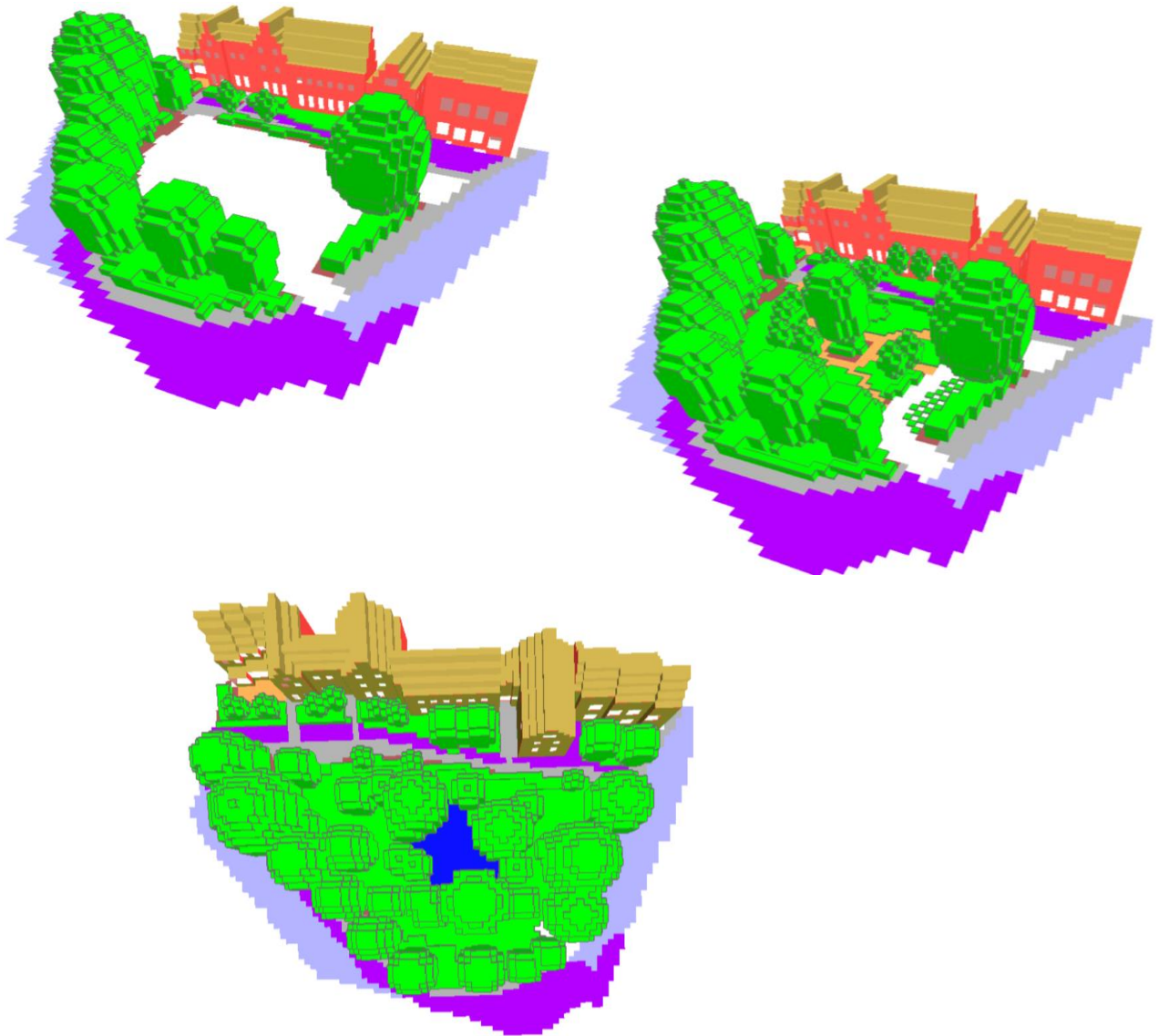


Die Wirkung von Begrünungskonzepten auf das Mikroklima an hitzebelasteten Standorten Lüneburgs

von

Miriam Potyka, Markus Groth, Markus Quante und Steffen Bender



1. Hintergrund

Die globale Erwärmung und die damit verbundenen klimatischen Veränderungen haben deutliche Auswirkungen auf unsere Lebensräume. Unter anderem können Hitzewellen mit großer Wahrscheinlichkeit in Häufigkeit und Heftigkeit zunehmen (IPCC 2021). Durch solche Temperaturextreme sind besonders in Städten viele Menschen und kritische Infrastrukturen betroffen. Die bauphysikalisch bedingten Eigenschaften von Städten verstärken die lokale Erwärmung zusätzlich (Hupfer & Kuttler 2006). Typischerweise haben Städte einen hohen Grad an Oberflächenversiegelung, wenig Bepflanzung und wenig offene Wasserflächen. Dies fördert die Erhöhung der Innenstadtttemperaturen und somit der physiologischen Belastung der Bevölkerung bis hin zu verstärkter Mortalität (Battisti 2020).

In einer Stadtklimaanalyse der GEO-NET Umweltconsulting GmbH ist für Lüneburg eine Wärmeinsel zu erkennen. Die Innenstadtttemperaturen können die des Umlands in der Nacht um bis zu 9 K übersteigen (GEO-NET Umweltconsulting GmbH 2019). Die Energie dafür stammt aus der am Tage aufgeheizten Bausubstanz und wird nachts freigesetzt. Einige Plätze, Straßenzüge und Hinterhöfe der Lüneburger Altstadt sind davon besonders stark betroffen. Typische Anpassungsmaßnahmen sind in diesem Zusammenhang eine Ausweitung der städtischen Begrünung inklusive einer zunehmenden Verschattung sowie die Entsiegelung des Untergrunds. Alle Aspekte tragen zur Abkühlung der Standorte und Steigerung des thermischen Wohlbefindens bei (Saaroni et al. 2018). Um Innenstädte mit wenig freiem Raum grüner zu gestalten, eignen sich z.B. Dach- und Fassadenbegrünungen, aber auch die Umnutzung von Arealen und das Platzschaffen für Grünflächen sind eine Option. Insbesondere gut an den Klimawandel angepasste Stadtbäume spielen eine entscheidende Rolle bei der Abkühlung und Erhöhung der Klimaresilienz von Städten (Dickhaut & Eschenbach 2018).

Mit dem Blick auf Lüneburg stellte sich im Rahmen der Masterarbeit eine zentrale Frage: „Wie stark werden relevante Standorte in der Lüneburger Innenstadt durch Hitze belastet, und wie können Begrünungsszenarien mikroklimatisch zur Entlastung dieser Orte beitragen?“. Dazu wurde in Zusammenarbeit mit *Zukunftsstadt Lüneburg 2030+* ein Projekt zur möglichen Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Lüneburg initiiert. Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen das theoretische Abkühlungspotential von Innenstadtstandorten durch modellierte Begrünungsszenarien auf und liefern politischen Entscheidungsträger:innen Anhaltspunkte für eine nachhaltige und resiliente Stadtplanung. Vier prominente Lüneburger Standorte wurden dafür ausgewählt und deren thermisches Belastungsprofil mit dem ganzheitlichen Mikroklimamodell ENVI-met für einen heißen Sommertag (ca. 30°C) simuliert. Neben dem Ist-Zustand wurden je zwei Begrünungsszenarien betrachtet – eines mit moderater und eines mit maximaler Begrünung. Zur Beschreibung des thermischen Wohlbefindens werden die Parameter „potentielle Lufttemperatur“, „mittlere Strahlungstemperatur“ und „physiologisch äquivalente Temperatur“ ausgewertet sowie darauf aufbauend Handlungsempfehlungen formuliert. Die detaillierten klimatischen Rahmenbedingungen (aktuell und zukünftig), können dem „GERICS Klimaausblick Landkreis Lüneburg“¹ entnommen werden.

¹ Der Landkreisausblick ist online frei verfügbar:

https://www.gerics.de/products_and_publications/fact_sheets/landkreise/index.php.de

2. Methodisches Vorgehen

2.1 Standorte und Szenarien

Die Standortauswahl repräsentiert ein breites Spektrum an Standortgrößen und baulichen Eigenschaften (von umbauten Innenhöfen bis zu teilweise geöffneten Plätzen), betrachtet verschiedene Begrünungspotenziale und ist für die innerstädtische Entwicklung Lüneburgs von direkter Relevanz. Nach Vorschlägen der *Zukunftsstadt Lüneburg 2030+* fiel die Wahl auf 1) Am Sande, 2) den Marienplatz, 3) den Innenhof der Volkshochschule verbunden mit dem Parkplatz Kalandstraße (von nun an VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße) und 4) den Hinteren Klosterhof. Anschließend erfolgte die Modellierung des Mikroklimas dieser Standorte mit ENVI-met.²

Der momentane Zustand der Standorte (Status quo) ist wenig bis nicht begrünt und wird als Referenz-Szenario herangezogen (s-quo). Die Auswirkungen von Begrünung auf das Mikroklima werden durch zwei Szenarien a) mit moderater Begrünung (s-mod) und b) mit sehr starker Begrünung (s-max) untersucht. In s-quo geht wenig Begrünung meist mit einem hohen Versiegelungsgrad und somit künstlichen Oberflächen und einer niedrigen Albedo einher. S-mod strebt einen Kompromiss aus der Nutzbarkeit der Standorte und einer deutlichen Verbesserung des thermischen Komforts an, indem es Oberflächenentsiegelung und Großpflanzen zur Beschattung einsetzt. Gleichzeitig bleibt die Standortinfrastruktur überwiegend erhalten. S-max legt einen stärkeren baulichen Eingriff zu Grunde, der das Erscheinungsbild des Standortes nachhaltig verändert. Er lässt dabei rechtliche und soziale Aspekte außer Acht, um die intensivste Anwendung von Begrünungsmaßnahmen und deren Effekte zu demonstrieren. Die mit s-mod und s-max gewählten Schritte auf einem Begrünungsspektrum dienen als Anhaltspunkte für weitere Begrünungspläne an den untersuchten Standorten und lassen eine Abschätzung der zu erwartenden Abkühlung zu.

2.2 Geeignete Maßnahmen zur Standortbegrünung

2.2.1 Entsiegelung

Bei versiegelten Flächen handelt es sich um alle asphaltierten, betonierten oder verschlossenen Oberflächen. Die Versiegelung verhindert großflächig das Versickern von Niederschlagswasser und den Austausch der Bodenluft (Norton et al. 2015), was den Bodenwassergehalt und die Bodenluftqualität beeinträchtigt sowie die Wachstumsbedingungen für Stadtpflanzen verschlechtert (Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz 2016). Deshalb müssen Stadtpflanzen oft bewässert werden und bei stärkerer Hitzebelastung erhöht sich ihr Risiko für Trockenstress (ebd.). Durch unversiegelte Oberflächen kann Bodenwasser verdunsten und schafft zusätzliche Verdunstungskälte. Bei Bepflanzung entsiegelter Oberflächen wird der Boden vor erhöhtem Wasserverlust geschützt, während die Verdunstungskälte gleichzeitig die Pflanzen kühlt bzw. die Lufttemperatur zusätzlich verringert (Lee et al. 2016).

2.2.2 Bepflanzung

Urbane Bepflanzung trägt im Idealfall durch Beschattung und Evapotranspiration zur Reduktion der thermischen Belastung bei (Battisti 2020). Bäume sind wichtige Elemente, die durch ihre Krone Sonneneinstrahlung abschwächen und Schattenstandorte schaffen. Sie sind deshalb effizienter in ihrer Abkühlungswirkung als Grasflächen oder Beete (Bowler et al. 2010). Baumgruppen sind Einzelbäumen bei der Reduktion der thermischen Belastung überlegen (Altunkasa & Uslu 2020). Für einfache innerstädtische

² ENVI-met ist ein ganzheitliches, dreidimensionales und geo-referenziertes Mikroklimamodell, welches den Austausch lang- und kurzweiliger Strahlung zwischen Oberflächen, Pflanzen und der Atmosphäre in urbanen Lebensräumen detailliert berücksichtigt.

Grasflächen ist das Bild differenziert, doch oft scheint eine Kombination mit Bäumen am sinnvollsten (Ketterer & Matzarakis 2014). Auch ein Zusammenspiel aus grüner und blauer Infrastruktur ist möglich. Auf den kleinen Flächen der hier untersuchten Standorte ist die Umsetzung von Pocket Parks ein interessanter Aspekt, da so nicht nur thermische Entlastung, sondern auch größeres Wohlbefinden durch soziale und ästhetische Faktoren erreicht werden kann. Für eine besonders flächeneffiziente Abkühlung wird mit Begrünungen auf mehreren Pflanzebenen und einer hohen Variabilität von Pflanzentypen gearbeitet (Jaganmohan et al. 2016). Die Kombination aus Baumbeständen mit Büschen und Stauden darunter könnte die mikroklimatische Entlastung somit noch verstärken (Hupfer & Kuttler 2006).

2.2.3 Weitere Maßnahmen

Innerstädtische Gewässer können erheblich zur Abkühlung beitragen, da sie die Entstehung von Verdunstungskälte ermöglichen. Sonnenenergie wird zum Teil durch die Verdunstung von Wasser in latente (nicht fühlbare) Wärme umgewandelt (Antoszewski et al. 2020). Auch Wasserspiele oder Brunnen tragen zum thermischen Komfort der direkten Umgebung bei. Eine solche Abkühlung kann sich in direkter Umgebung auf bis zu 2,5 K belaufen. Daher sind Wasserstrukturen als Maßnahme nicht zu unterschätzen (Bowler et al. 2010). Fassaden- und Dachbegrünung bieten weitere Möglichkeiten, in Städten den Grünanteil zu erhöhen und das Mikroklima zu verbessern. Sie sorgen für eine Reduktion der unmittelbaren Umgebungstemperatur am Gebäude (Oberndorfer et al. 2007; Skelhorn et al. 2014), oft jedoch nur mit begrenzter Reichweite (Antoszewski et al. 2020). Sowohl Dach- als auch Fassadenbegrünung tragen allerdings zur Erhöhung der Stadtalbedo und damit zu einer Reduktion des urbanen Wärmeinseleffekts bei. Außerdem haben sie eine positive Wirkung auf das Innenraumklima von Gebäuden (Jaganmohan et al. 2016; Oberndorfer et al. 2007).

Des Weiteren ist die richtige Artenwahl entscheidend für die Langlebigkeit von Bepflanzung, was vor allem für Stadtbäume gilt (Endlicher 2012). Zwischen den Arten lassen sich große Unterschiede in Bezug auf Hitze- oder Trockenresistenz feststellen. Verschiedene Listen deutscher Expert:innenverbände zur Klimatauglichkeit heimischer Arten und Neophyten machen Aussagen darüber, wie gut diese Arten vermutlich mit den zukünftigen klimatischen Bedingungen umgehen können. Dazu gehört z.B. die GALK Straßenbaumliste (Dickhaut & Eschenbach 2018; Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz 2016). Bei einer gesamtheitlichen Umsetzung von Begrünungskonzepten ist auch auf weitere Facetten der nachhaltigen Stadtentwicklung zu achten, wie etwa Biodiversität, Insektenfreundlichkeit und das Stärken heimischer Arten (Endlicher 2012). Die Artenwahl sollte also einen Kompromiss aus Klimaresilienz, dem Beitrag zur städtischen Biodiversität und der Verbesserung des Mikroklimas schaffen.

2.3 Auswertungsparameter

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwache Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Belastung
23 °C	Leicht	Schwache Wärmebelastung
29 °C	warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Abbildung 1: Übersetzung von PET-Werten in thermisches Empfinden und physiologische Belastungsstufe; Quelle: (VDI).

sind in Abbildung 1 angegeben. In dieser Untersuchung wurden die beiden Zeitpunkte 13:00 (wenn zur mitteleuropäischen Sommerzeit etwa die stärkste Einstrahlung herrscht) und 17:00 (etwa zur heißesten Zeit des Tages) angegeben.

Zur Interpretation der Hitzebelastung für den Menschen wurden die Parameter potentielle Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur und physiologisch äquivalente Temperatur ausgewertet. Die physiologisch äquivalente Temperatur (physiological equivalent temperature, PET) ist besonders geeignet, die thermische Belastung im Außenbereich anzugeben. Sie lässt sich anschaulich in °C ausdrücken (absolute Differenzen sind in Kelvin angegeben). Die PET ist von verschiedenen Faktoren wie Luftfeuchtigkeit, Bekleidung, Windverhältnisse, Aktivität u.v.m. abhängig (VDI 1998). Die Betrachtung der PET macht somit eine umfassende Aussage zu „thermischer Belastung“. Die physiologischen Belastungsstufen der PET

3. Ergebnisse

Die Analyse aller Simulationsergebnisse zeigt ein differenziertes Bild und belegt, dass jeweils standortspezifische Untersuchungen notwendig sind (Abb. 2). Für den großen und mittelgroßen Standort werden durch beide Begrünungsszenarien thermische Entlastungen erreicht. Für den kleinsten Standort ist eine thermische Entlastung durch Begrünung nicht mehr unbedingt gegeben – selbst im Szenario s-max nicht. Insgesamt zeigt sich, dass sich mit steigender Standortgröße die Zunahme der Begrünungsintensität positiv auf die Abkühlung auswirkt, da neben der Verschattung auch die Durchströmbarkeit relevant wird.

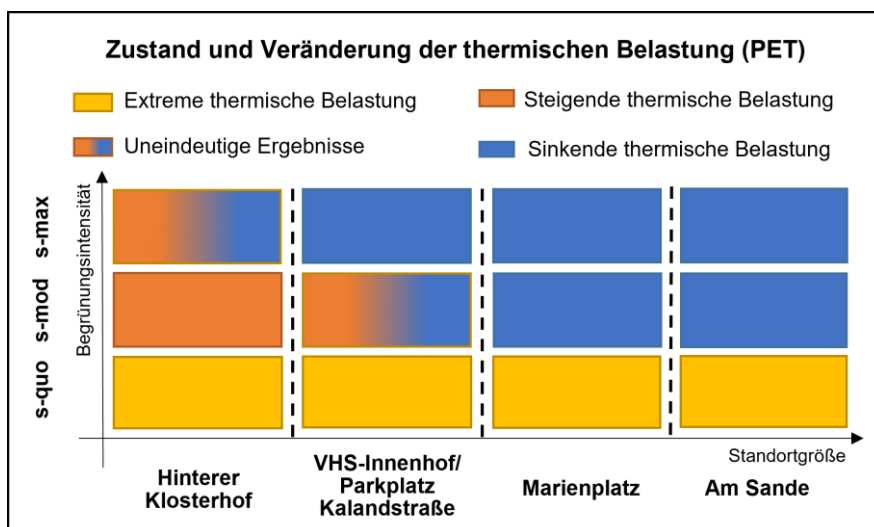


Abbildung 2: Zustand und Veränderung der thermischen Belastung (PET) an allen untersuchten Standorten für s-quo, s-mod und s-max. Quelle: Eigene Darstellung.

3.1 Detailergebnisse für den Marienplatz

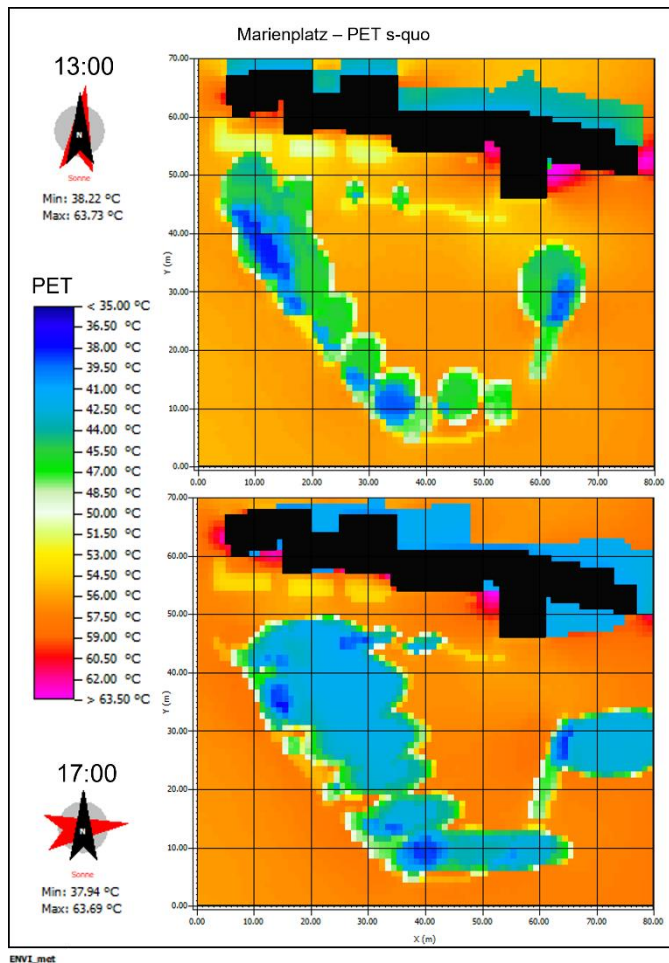


Abbildung 3: PET auf dem Marienplatz für s-quo um 13:00 und 17:00. Gebäude sind schwarz dargestellt. Quelle: ENVI-met Leonardo.

unter den Bäumen statt, nicht aber über der Wasserfläche. Damit wird die physiologische Belastung durch Anwendung von s-max um eine Stufe verringert.

Das Mikroklima des Marienplatzes im Status quo ist von direkter Sonneneinstrahlung geprägt und weist hohe PET-Werte auf. Die vorhandenen Baumgruppen sind vor allem am Nachmittag wichtig für die Beschattung des Platzes. Beim Vergleich mit beiden Szenarien mit höherer Begrünung wird deutlich, dass sich die PET-Werte effektiv reduzieren lassen. Zur Beurteilung der Wirkung der Konzepte müssen diese Werte allerdings in Verbindung mit ihrer Wirkfläche betrachtet werden. S-mod sorgt für wenig Schattenfläche auf dem Platz, s-max für großflächigere Beschattung. In beiden Fällen zeigen die Ergebnisse, dass Schatten und die Kombination aus Begrünung und Wasserkörper die thermische Belastung deutlich reduziert. Mit einem Kompromiss aus s-mod und s-max könnten deren Vorteile vereint werden. Die Qualität des Schattens nimmt vor allem in den eng und mehrstöckig bepflanzten Bereichen zu. Die flächige Beschattung von Wiesen hingegen ist wichtig für deren ganztägige Nutzbarkeit. Es sollte

Die absoluten PET-Werte für den aktuellen Zustand sind in Abbildung 3 für 13:00 und 17:00 dargestellt.³ Im schattenfreien Großteil des Platzes zeigt das Modell eine PET von etwa 56 °C um 13:00 bzw. von über 57 °C um 17:00. Unter den Baumgruppen werden hingegen geringere PET-Werte von 38-48 °C angezeigt. Daraus wird deutlich, wie wichtig der Unterschied zwischen direkter Sonneneinstrahlung und Schatten für das thermische Empfinden ist. In jedem Fall herrscht jedoch die höchste physiologische Belastungsstufe, was somit einer extremen Wärmebelastung entspricht.

In Abbildung 4 sind die PET-Werte für s-mod und in Abbildung 5 für s-max jeweils im Vergleich zu s-quo dargestellt. Durch Anwendung der beiden Begrünungskonzepte zeigt sich eine deutliche Verringerung der PET in vielen Bereichen. Für s-mod ist die Fläche mit verringerter PET noch übersichtlich, trotzdem sinken die Werte um bis zu 17 K. Für s-max zeichnen sich sowohl für 13:00 als auch für 17:00 große Flächen verringerter PET ab. Die maximal mögliche Abkühlung im Vergleich zu s-quo liegt um 13:00 bei ca. 20 K und um 17:00 bei nahezu 25 K. Diese Abkühlung findet jeweils

³ Diese Auswertungsparameter wurden für alle Standorte in Karten aus der Vogelperspektive dargestellt und bereits auf den relevanten Bereich zugeschnitten. Ein schwarzer Pfeil zeigt Norden und ein roter den Einfallswinkel der Sonne an. Nur Werte innerhalb des modellierten Standortbereichs sind interpretierbar.

also ein Konzept geschaffen werden, bei dem Einzelbäume oder strategisch platzierte Baumgruppen für flächige Beschattung und Halbschatten sorgen, während größere Baumgruppen mit intensiv bepflanzten Beeten als Kälteinseln fungieren. Dabei darf die Wirkung von Wasserkörpern nicht unterschätzt werden. Auch die Integration von Wasserspielen und das Schaffen einer innerstädtischen Grünoase wäre möglich.

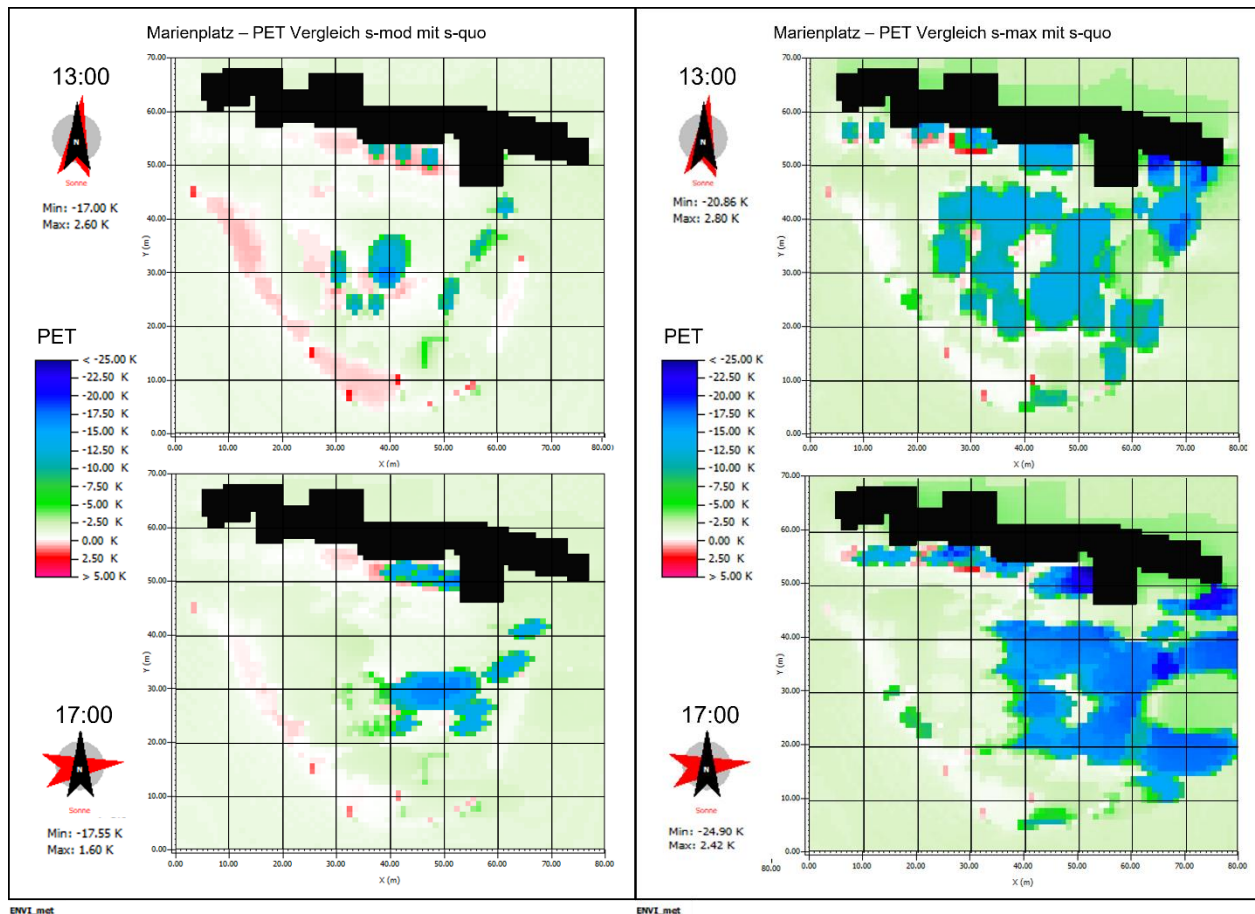


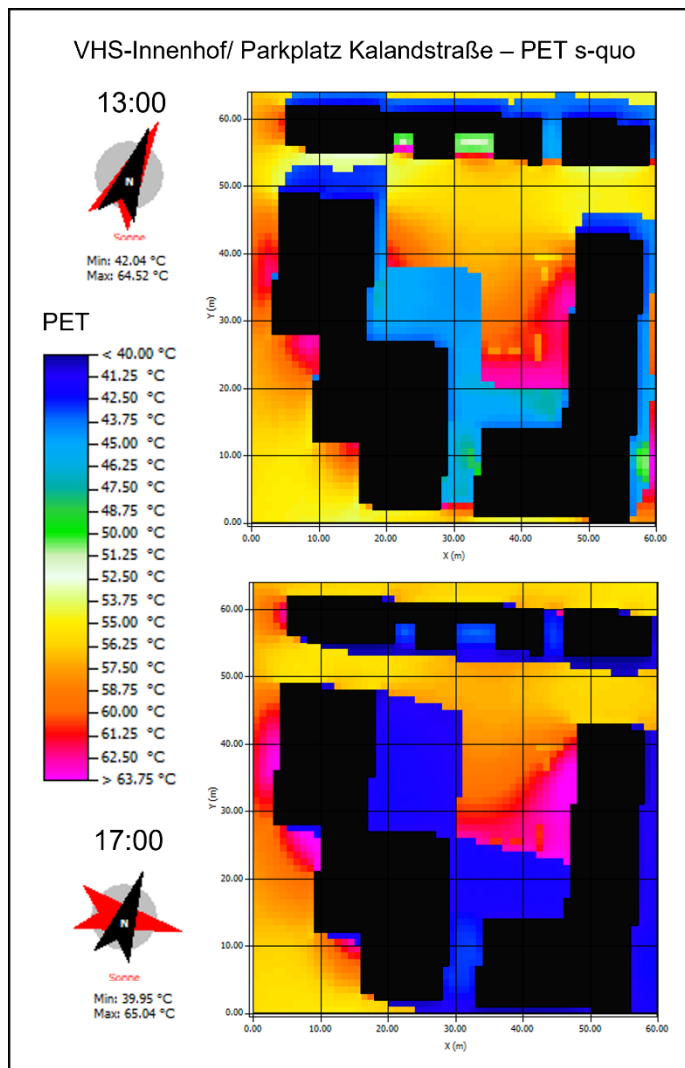
Abbildung 4: PET auf dem Marienplatz - Vergleich von s-mod mit s-quo um 13:00 (oben) und 17:00 (unten). Modellerte Gebäude sind schwarz dargestellt. Quelle: ENVI-met Leonardo. Eigene Darstellung.

Abbildung 5: PET auf dem Marienplatz - Vergleich von s-max mit s-quo um 13:00 (oben) und 17:00 (unten). Modellerte Gebäude sind schwarz dargestellt. Quelle: ENVI-met Leonardo. Eigene Darstellung.

3.2 Detailergebnisse für den VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße

Abbildung 6 zeigt die aktuelle Flächenverteilung der PET-Werte für den VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße. Zu beiden Zeitpunkten treten im Ostteil des Platzes mit über $64\text{ }^{\circ}\text{C}$ die höchsten PET-Werte auf. Dagegen betragen sie im Schatten $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ (13.00) bzw. $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (17.00). Damit herrschen auch hier die geringsten Werte in den beschatteten Bereichen, wobei trotzdem im Status quo überall eine extreme Wärmebelastung zu verzeichnen ist.

Um die mögliche Wirkung der Bepflanzung zu zeigen, werden die PET-Werte des Status quo denen von s-mod (Abbildung 7) und denen von s-max (Abbildung 8) gegenübergestellt. Bei der moderaten Bepflanzung zeigen die Modellergebnisse sowohl Zu- als auch Abnahmen der PET-Werte.



ENVI_met

Abbildung 6: PET im VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße für s-quo um 13:00 und 17:00. Modellierte Gebäude sind schwarz dargestellt. Quelle: ENVI-met Leonardo. Eigene Darstellung.

Belastung. In Anbetracht der zentralen Lage des Platzes und seiner Funktion als Hof der Volkshochschule sollte eines der obersten Ziele die Erhöhung der Aufenthaltsqualität sein, die nicht zuletzt auch von ästhetischen Merkmalen abhängt. Im Zuge dessen könnte die Umnutzung der Flächen und das Schaffen eines städtischen Treffpunktes mehr in den Fokus rücken. Die Rolle des Standortes für den sozialen Austausch vor der VHS, eventuell durch die Einrichtung einer Gastronomie, ließe sich ideal mit der Erholungswirkung an heißen Sommertagen verbinden. Zur gleichzeitigen Verringerung der thermischen Belastung könnten Bepflanzungen und eine Entsiegelung, wie in diesen Konzepten gezeigt, genutzt werden. Ob sie im Fokus einer Umgestaltung dieses Platzes stehen oder nur komplementär angewendet werden, bleibt durch weitere Modellierungen zu klären. Es sollte auch geprüft werden, ob temporäre technische Lösungen, etwa Sonnensegel oder Markisen, für die thermische Entlastung im Sommer sorgen können. Um den Luftmassenaustausch nicht weiter einzuschränken und die erhöhte Feuchtigkeit im Winter zu vermeiden, können diese abgehängt oder eingerollt werden.

Eine leichte Erhöhung tritt vor allem im Nordwesten des Platzes auf. Im Süden ist die Erhöhung der PET deutlicher ausgeprägt (3-4 K). Diese wärmeren Bereiche verlagern sich im Verlauf des Nachmittags. Eine Verringerung der PET-Werte ist über den neuen Grünstrukturen (5-10 K) und im Kernschatten der neuen Bäume (20 K) erkennbar. Viele Bereiche werden durch die veränderte Begrünung jedoch nur wenig bis gar nicht beeinflusst. Eine Verringerung der physiologischen Belastungsstufe wird somit nicht erreicht.

Deutlich mehr Veränderung zeigt sich bei maximaler Begrünung (Abbildung 8). Die leichte Erhöhung der PET-Werte bleibt nur im Nordwesten des Platzes vorhanden. Durch die größeren Verschattungsflächen finden zu beiden Zeitpunkten stärkere PET-Reduktionen auf großer Fläche statt. Die thermische Belastung sinkt dort um bis zu 28 K. Auch zeichnen sich Bereiche von PET-Reduktion im Gebäudeschatten ab. Insgesamt wird die physiologische Belastung um mindestens eine Stufe abgesenkt.

Die Analyse der Begrünungskonzepte für diesen Standort zeigt in beiden Ansätzen, dass die PET-Werte nicht überall einheitlich gesenkt werden können. In vielen Bereichen verringert sich allerdings die thermische

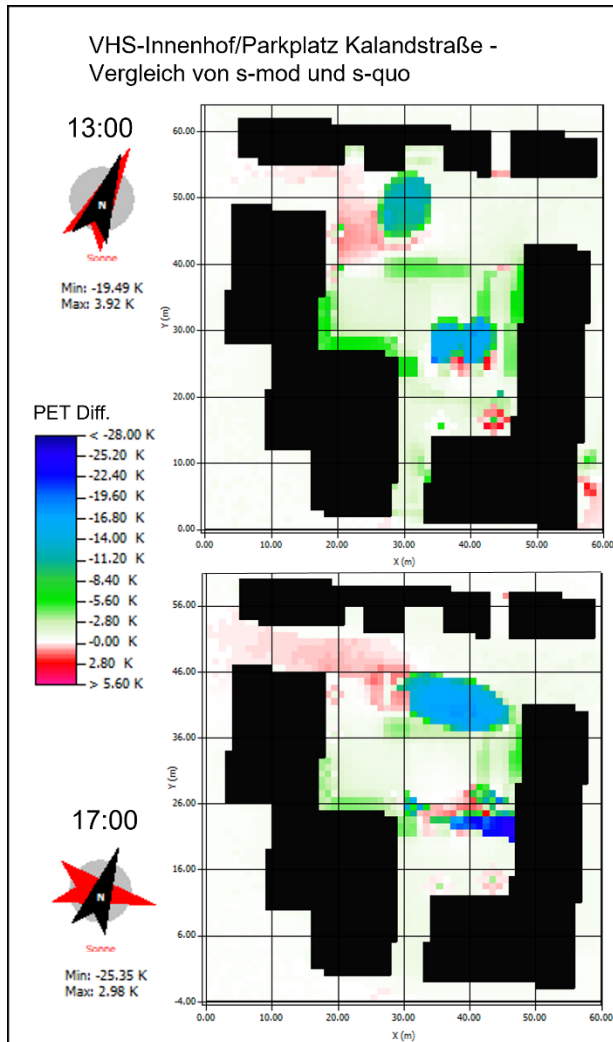


Abbildung 7: PET im VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße - Vergleich von s-mod mit s-quo um 13:00 (oben) und 17:00 (unten). Modellierte Gebäude sind schwarz dargestellt. Quelle: ENVI-met Leonardo. Eigene Darstellung.

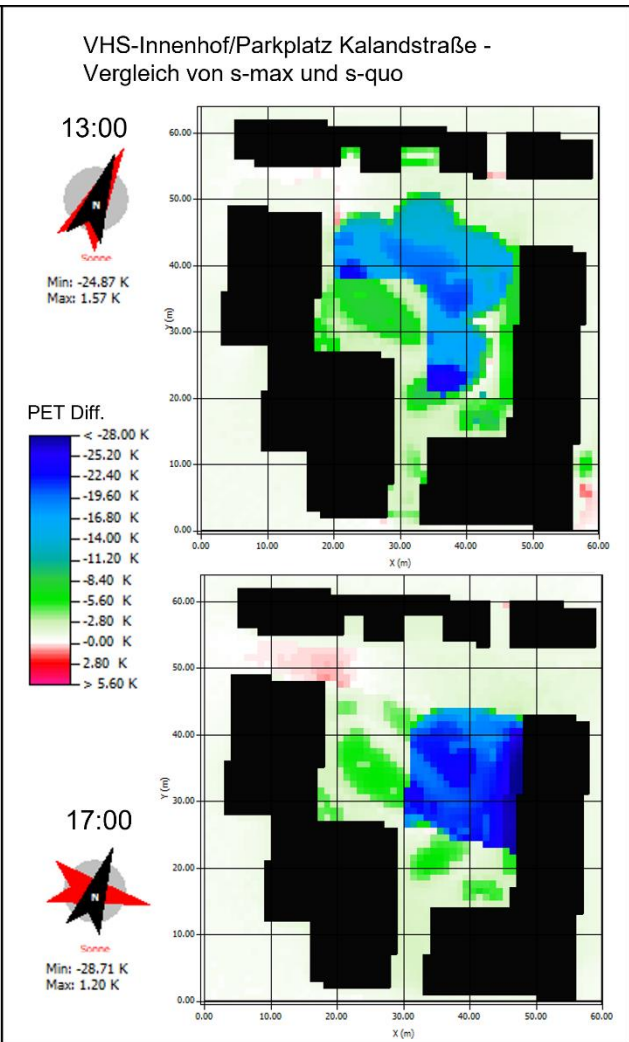


Abbildung 8: PET im VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße - Vergleich von s-max mit s-quo um 13:00 (oben) und 17:00 (unten). Modellierte Gebäude sind schwarz dargestellt. Quelle: ENVI-met Leonardo. Eigene Darstellung.

3.3 Kurzübersicht der Ergebnisse für den Standort „Am Sande“

Der Vergleich von Ist-Zustand und einer maximalen Bepflanzung zeigt, dass eine nennenswerte ganztägige Abkühlung nur durch eine Verschattung erreicht werden kann. Aktuell sind in s-max die Kälteinseln zu klein, um eine flächenhafte Absenkung der Temperatur zu erreichen. Durch eine Optimierung der Bepflanzungsstandorte könnten mit dem gleichen Baumanteil wirksamere und weiterreichende Kälteinseln geschaffen werden. Dies würde aber auch bedeuten, dass sich das Szenario von flächendeckender leichter Beschattung entfernt. Hierbei ist zu unterstreichen, dass eine beidseitige Begrünung der Fahrbahn durch hohe stark belaubte Bäume weiterhin sinnvoll wäre, damit die West-Ost-Überquerung des Platzes von Fußgänger:innen durch Schatten begleitet ist. Für eine leichtere flächendeckende Beschattung würden sich grundsätzlich auch Pergolen mit Rankpflanzen eignen. Beide Aspekte sollten so kombiniert werden, dass die Durchströmbarkeit des Platzes vornehmlich aus westlicher Richtung so wenig wie möglich behindert und gleichzeitig eine möglichst große Fläche durch

schattenspendende Begrünung gekühlt wird. Im Zuge einer klimaangepassten Umgestaltung sollte hier auch die Rolle des Platzes als Verkehrsknotenpunkt neu bewertet werden. Der Platz verdient aufgrund seiner historischen Bedeutung, Schönheit und Rolle als Wahrzeichen Lüneburgs besondere Behandlung, wobei zu erwarten ist, dass die von ihm ausgehende Lebens- und Erlebensqualität weniger durch passgenaue Bepflanzungen gestört würde als durch ein intensives Verkehrsaufkommen.

3.4 Kurzübersicht der Ergebnisse für den Standort „Hinterer Klosterhof“

Beide Begrünungsszenarien führen insgesamt zu einer leichten Erwärmung des Standortes. Dies ist auf die Veränderung des lokalen Strahlungshaushaltes und eine erhöhte Luftfeuchtigkeit durch die Bepflanzung zurückzuführen. Somit stellt sich hier die Frage, ob eine zusätzliche Beschattung besser durch Sonnensegel o.Ä. umzusetzen ist. Durch eine niedrige Bepflanzung wie z.B. Hecken könnte eine leichte Verringerung der PET auf Kopfhöhe erfolgen, dies müsste jedoch im Detail weiter untersucht werden. Es bleibt auch zu diskutieren, ob von Fassadenbegrünungen eine positive Wirkung auf die Gebäudeinnentemperatur ausgehen kann und ob dieser Aspekt für die Innenraumnutzung stärker zu gewichten ist. Die Wirkungen von Fassadenbegrünung und technischer Beschattung könnten ebenfalls in weiteren Ansätzen modelliert werden. Unter Einbezug der Nutzung des Hinteren Klosterhofs als Durchgangsort könnte statt der thermischen Entlastung auch grundsätzlich die Aufenthaltsqualität in den Fokus genommen werden. So wäre eine Umsetzung thermisch sinnvoller und gleichzeitig ästhetischer Begrünung denkbar. Die Erstellung solcher neuen Konzepte sollte allerdings unter sorgfältiger Einbeziehung der Strahlungsdynamik dieses Standortes geschehen und deren Wirkung durch weitere Modellierungen simuliert werden, so dass eine ungewollte Erhöhung der thermischen Belastung durch eine Begrünung verhindert werden kann.

4. Fazit und Handlungsempfehlungen

Die Anwendung ausgewählter „moderater“ und „maximaler“ Begrünungskonzepte zeigt im Modell für die einzelnen Standorte unterschiedliche Ergebnisse. Für größere Standorte wie „Am Sande“ oder „Marienplatz“ scheint ein höherer Begrünungsanteil zu einer thermischen Entlastung zu führen. An beiden Orten findet bereits ein Umdenken im Hinblick auf ihre Nutzung und ihre Rolle für das Mobilitätskonzept Lüneburgs statt. Im Rahmen dieser Entwicklung kann eine Begrünung als zentrale Maßnahme einen Beitrag zur Minderung der innerstädtischen Hitze leisten. Für den Standort „VHS-Innenhof/Parkplatz Kalandstraße“ ist die thermische Entlastung durch Bepflanzungen nicht für die gesamte Fläche umsetzbar. Dennoch besteht ein großes Potential, den Platz in einen Ort der Erholung und des sozialen Austauschs umzuwandeln. Plätze mit ähnlichen baulichen Rahmenbedingungen gibt es vielfach in der Lüneburger Innenstadt. Ihr Beitrag zur Aufenthaltsqualität in physiologischer und psychologischer Hinsicht ist nicht zu unterschätzen. Ähnliches gilt für noch kleinere Standorte, wie etwa den „Hinteren Klosterhof“. Hier sollten Konzepte zur thermischen Entlastung individualisiert werden, um mögliche negative Auswirkungen zu vermeiden.

Grundsätzlich können auf der Grundlage der hier skizzierten Untersuchungen zusammenfassend folgende Hauptaussagen getroffen werden:

- Die Beschattung durch Bäume ist eine wichtige Maßnahme, wobei die Durchlüftung nicht vernachlässigt werden darf und ihre Pflanzung frühzeitig vorgenommen werden muss.
- Die Erstellung von Begrünungskonzepten kann an den untersuchten oder ähnlichen Standorten in Anlehnung an die hier modellierten Vorschläge, bzw. durch Mischkonzepte stattfinden. Für Standortkonzepte, die sich im Hinblick auf Standortgröße und Begrünungsintensität in die Ergebnismatrix (Abbildung 2) einordnen lassen, können die mikroklimatischen Veränderungen abgeschätzt werden.

- Technische Lösungen zur Beschattung können ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten und sollten vor allem für kleinere Standorte in Betracht gezogen werden.
- Verantwortliche in der Stadtentwicklung sollten in Erwägung ziehen, eine Modellierung der mikroklimatischen Situation zum festen Bestandteil der Maßnahmenplanung zu machen. So könnten Fehlinvestitionen in unwirksame oder gar kontraproduktive Maßnahmen minimiert werden.

Für eine effiziente Erarbeitung von innerstädtischen Begrünungskonzepten und eine nachhaltige Entlastung der Kommunen ist die Schaffung eines Leitfadens in Betracht zu ziehen. So könnte kommunalen Mitarbeiter:innen ein Katalog zur Planung von Begrünungsmaßnahmen an die Hand gegeben werden, der von der Standorteignung, über die Maßnahmenwahl bis zu einem Werkzeug zur Abschätzung der Abkühlungswirkung alles enthält. Dazu kann diese Untersuchung als erweiterbare Vorlage dienen. Die Übertragbarkeit des hier angewandten Vorgehens sowie Möglichkeiten zu dessen Weiterentwicklung sind gegeben. Theoretisch kann dieser Ansatz für ähnliche Problemstellungen in anderen Städten genutzt werden, unabhängig von deren geografischer Lage oder Größe, sowie für andere Standorte in Lüneburg.

Literaturverzeichnis

- Altunkasa; Uslu (2020): Use of outdoor microclimate simulation maps for a planting design to improve thermal comfort. *Sustainable Cities and Society* 57, S. 102137.
- Battisti (2020): Bioclimatic Architecture and Urban Morphology. Studies on Intermediate Urban Open Spaces. *Energies* 13 (21), S. 5819.
- Bowler; Buyung-Ali; Knight; Pullin (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* 97 (3), S. 147–155.
- Dickhaut, W.; Eschenbach, A. (Hg.) (2018): Entwicklungskonzept Stadtbäume. Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen. *Stadtbäume im Klimawandel*: Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg. HafenCity Universität, Hamburg. Universität Hamburg.
- Endlicher, Wilfried (2012): Einführung in die Stadtökologie. Grundzüge des urbanen Mensch-Umwelt-Systems. Stuttgart: Ulmer; utb GmbH.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (Hg.) (2019): Stadtklimaanalyse Lüneburg GEO-NET Umweltconsulting GmbH.
- Hupfer, P.; Kuttler, W. (Hg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12. Auflage. Wiesbaden: Teubner.
- IPCC (Hg.) (2021): Climate Change 2021. The Physical Science Basis IPCC.
- Jaganmohan; Knapp; Buchmann; Schwarz (2016): The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas. *Journal of environmental quality* 45 (1), S. 134–145.
- Ketterer; Matzarakis (2014): Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning* 122, S. 78–88.
- Lee; Mayer; Chen (2016): Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning* 148, S. 37–50.
- Norton; Coutts; Livesley; Harris; Hunter; Williams (2015): Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134, S. 127–138.
- Oberndorfer; Lundholm; Bass; Coffman; Doshi; Dunnett; Gaffin; Köhler; Liu; Rowe (2007): Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* 57 (10), S. 823–833.
- Saaroni; Amorim; Hiemstra; Pearlmutter (2018): Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban Climate* 24, S. 94–110.
- Skelhorn; Lindley; Levermore (2014): The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning* 121, S. 129–140.
- Stadt Jena (Hg.) (2016): Bäume in Jena. Stadt und Straßenbäume im Klimawandel Stadtbaumkonzept. *Schriften zur Stadtentwicklung* 7 Thüringer Institut für Nachhaltigkeit und Klimaschutz.
- VDI: VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. *Berücksichtigung von Klima und Lüfthygiene*: VDI.
- VDI (1998): VDI 3787, Part I: Environmental Meteorology, Methods for the Human Biometeorological Evaluation of Climate and Air Quality for the Urban and Regional Planning at Regional Level. Part I: climate. Düsseldorf.

Autor:innen

Miriam Potyka: Climate Service Center Germany (GERICS) - Helmholtz-Zentrum hereon GmbH; Leuphana Universität Lüneburg. Email: Miriam.potyka@posteo.de.

Dr. Markus Groth: Climate Service Center Germany (GERICS) - Helmholtz-Zentrum hereon GmbH. Email: Markus.Groth@hereon.de.

Prof. Dr. Markus Quante: Helmholtz-Zentrum hereon GmbH; Leuphana Universität Lüneburg. Email: Markus.Quante@hereon.de.

Apl. Prof. Dr. Steffen Bender: Climate Service Center Germany (GERICS) - Helmholtz-Zentrum hereon GmbH. Email: Steffen.Bender@hereon.de.

