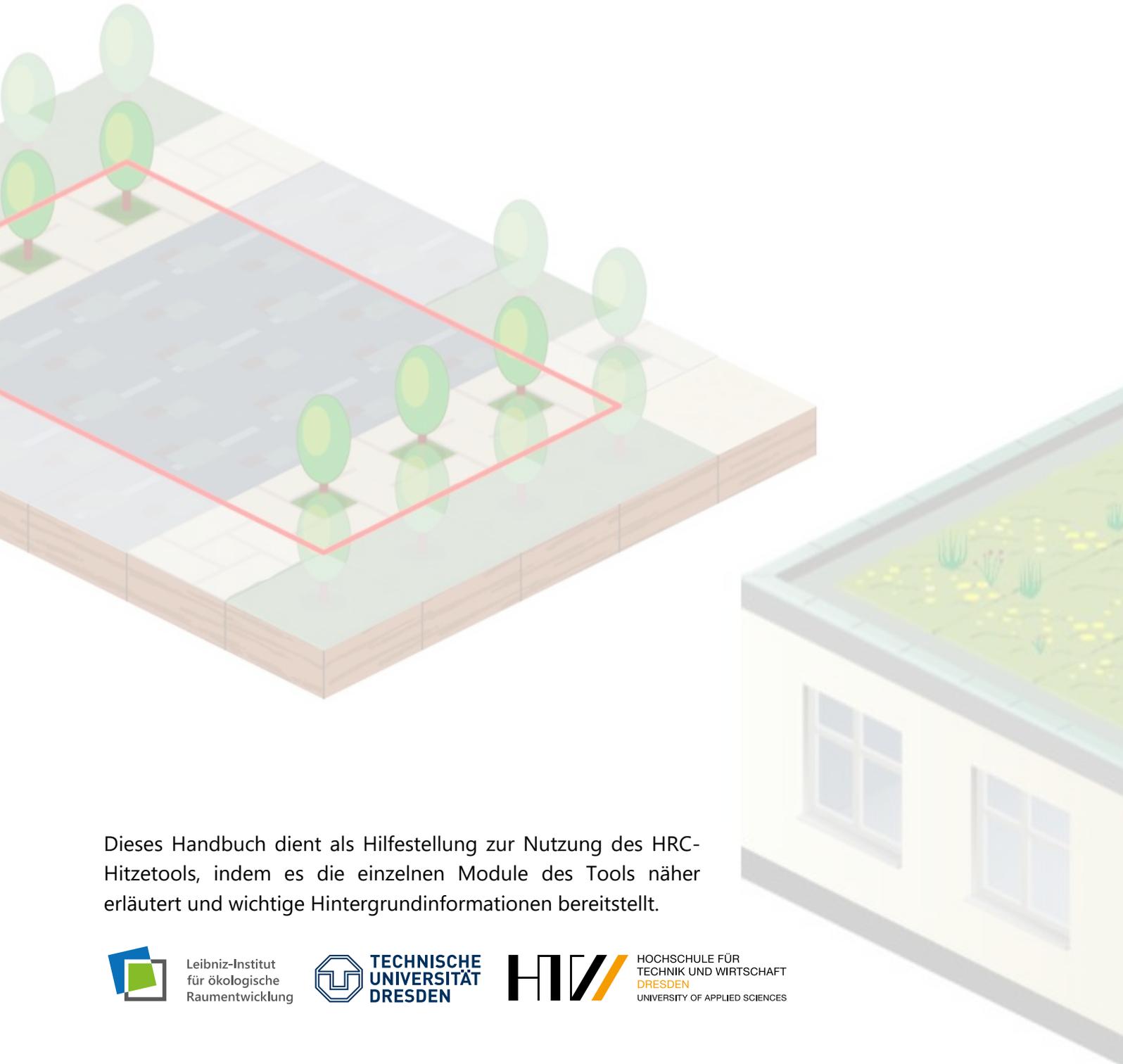




# HRC-Hitzetool HANDBUCH



Dieses Handbuch dient als Hilfestellung zur Nutzung des HRC-Hitzetools, indem es die einzelnen Module des Tools näher erläutert und wichtige Hintergrundinformationen bereitstellt.



Leibniz-Institut  
für ökologische  
Raumentwicklung



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN



HOCHSCHULE FÜR  
TECHNIK UND WIRTSCHAFT  
DRESDEN  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

# Impressum

Herausgeber: **Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.**  
Weberplatz 1, 01217 Dresden  
Tel. +49 (0)351 46 79 0  
Fax +49 (0)351 46 79 212  
Email: [info@ioer.de](mailto:info@ioer.de)  
Internet: [www.ioer.de](http://www.ioer.de)

Autoren: **Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.:**  
Till Fügner ([t.fuegener@ioer.de](mailto:t.fuegener@ioer.de))  
Karsten Grunewald ([k.grunewald@ioer.de](mailto:k.grunewald@ioer.de))  
Christoph Schünemann ([c.schuenemann@ioer.de](mailto:c.schuenemann@ioer.de))  
Tim Kriesten ([t.kriesten@ioer.de](mailto:t.kriesten@ioer.de))  
**Technische Universität Dresden:**  
Uta Moderow ([uta.moderow@tu-dresden.de](mailto:uta.moderow@tu-dresden.de))  
Astrid Ziemann ([astrid.ziemann@tu-dresden.de](mailto:astrid.ziemann@tu-dresden.de))  
Valeri Goldberg ([valeri.goldberg@tu-dresden.de](mailto:valeri.goldberg@tu-dresden.de))

Unter Mitarbeit von: **Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.**  
Birgit Kochan  
David Schiela  
Nicolaas Bongaerts  
Patrycia Brzoska  
Regine Ortlepp  
**Hochschule für Wirtschaft und Technik Dresden:**  
Stefanie Kunze

Tool-Programmierung: Nils Kochan  
Software im grünen Bereich  
Tempel 15, 09623 Frauenstein  
Telefon: 037326 86774  
E-Mail: [post@kochan.net](mailto:post@kochan.net)

Förderer:



BMBF-Förderkennzeichen 01LR2011A



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU

Dresden, Februar 2023

DOI: 10.5281/zenodo.7681258

# Inhalt

1	<b>Einführung</b> .....	3
2	<b>Grundlagen</b> .....	3
3	<b>Gebäudetool – Bewertung von Anpassungsmaßnahmen im Innenraum</b> .....	4
3.1	Kurzanleitung.....	4
3.2	Hintergrund der Wirksamkeitsbewertung im Tool .....	5
4	<b>Freiraumtool – Bewertung von Anpassungsmaßnahmen im Freiraum</b> .....	6
4.1	Freiraumindikator.....	6
4.1.1	Kurzanleitung.....	6
4.1.2	Indikator zur Bewertung von Hitzeanpassungsmaßnahmen im Freiraum.....	7
4.1.3	Wichtige Hinweise zur Nutzung des Freiraumindikators .....	15
4.1.4	Grenzen in der Anwendbarkeit des Freiraumindikators .....	20
4.2	Bewertung von Ökosystemleistungen.....	21
4.2.1	Kurzanleitung.....	21
4.2.2	Hintergrund zur Bewertung der Ökosystemleistungen .....	21
5	<b>Haftungsausschluss</b> .....	23
6	<b>Literatur</b> .....	24

# 1 Einführung

*Till Fügener, Karsten Grunewald*

Die Anzahl heißer Tage, d. h. Tage an denen das Maximum der Lufttemperatur mindestens 30 °C beträgt, hat in Deutschland in den letzten beiden Dekaden im Vergleich zu den 1950er und 1960er Jahren deutlich zugenommen (Umweltbundesamt 2022) und beeinträchtigt zunehmend das Wohlbefinden der Bevölkerung. Insbesondere kleinere Kommunen, aber auch größere Städte stehen mit der Planung und Umsetzung geeigneter Hitzeanpassungsmaßnahmen vor einer komplexen Aufgabe. Online Tools können an dieser Stelle eine hilfreiche und einfache Unterstützung bieten.

Im Rahmen des Projekts 'HeatResilientCity' (<http://heatresilientcity.de/>) entwickelte das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden gemeinsam mit der Technischen Universität Dresden und der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden das HRC-Hitzetool. Dieses soll die Planung von Hitzeanpassungsmaßnahmen im städtischen Raum erleichtern, indem es verschiedene Hitzeanpassungsmaßnahmen in Städten in ihrer Wirksamkeit bewertet. Dabei soll es sowohl für die private als auch behördliche Nutzung geeignet sein.

Die Besonderheit des HRC-Hitzetools besteht darin, dass mögliche Hitzeanpassungsmaßnahmen im Freiraum und im Innenraum von Gebäuden in einem gemeinsamen Tool anhand dessen bewertet werden, wie sich diese auf die menschliche Hitzebelastung auswirken. Im Freiraumindikator wird hierzu ein human-bioklimatischer Index genutzt (siehe Abschnitt 4.1.1). Darüber hinaus ist sowohl eine Reihung möglicher Hitzeanpassungsmaßnahmen entsprechend ihrer Wirksamkeit analysierbar als auch die Bewertung ihrer Wirkung zu unterschiedlichen Tageszeiten. Das entwickelte Konzept und die zugrundeliegenden Daten erlauben eine Adressierung der Wirksamkeit von Hitze-Anpassungsmaßnahmen im mitteleuropäischen Raum.

Das HRC-Hitzetool kann unter der Adresse <http://hrc-hitzetool.ioer.info/> kostenfrei aufgerufen und genutzt werden. Das Toolhandbuch bietet dem Nutzerkreis Hilfestellung bei der Nutzung (ergänzend zum Glossar im HRC-Hitzetool selbst), enthält Informationen zur angewandten Methodik und zeigt Möglichkeiten und Grenzen des Tools auf.

## 2 Grundlagen

*Till Fügener, Karsten Grunewald*

Das Konzept des Tools basiert auf einer umfangreichen Recherche zu bereits existierenden Tools, welche Hitzebelastung und Anpassungsmaßnahmen in Städten fokussieren. Bei dieser Bestandsaufnahme wurden diverse verfügbare Tools nach einem Kriterienkatalog verglichen und bewertet (Brzoska et al. 2021). Die Ergebnisse dienen dazu, einen allgemeinen Rahmen für ein solches Bewertungstool abzustecken sowie Lücken aufzuzeigen, um mögliche

Anforderungen an ein neues Tool dieser Art zu definieren. Zusätzlich zur vorbereitenden Tool-Recherche wurde eine Ämterbefragung in den Stadtverwaltungen der Städte Dresden und Erfurt durchgeführt. Beschäftigte aus den Fachbereichen Umwelt, Hochbau, Stadtplanung sowie dem Gesundheitsamt konnten dabei ihre Wünsche und Ansprüche an ein solches Bewertungstool äußern.

Im Folgenden werden die Bestandteile des HRC-Hitzetools, das Gebäudetool (Kap. 3), sowie das Freiraumtool (Kap. 4), welches den Freiraumindikator sowie die Bewertung ausgewählter Ökosystemleistungen beinhaltet, näher erläutert.

## 3 Gebäudetool – Bewertung von Anpassungsmaßnahmen im Innenraum

*Christoph Schünemann, Tim Kriesten, David Schiela, Stefanie Kunze*

### 3.1 Kurzanleitung

Die **Hitzebelastung des Raumes im aktuellen Zustand** kann geprüft werden, indem fünf Informationen zum Raum abgefragt werden, welche die Hitzebelastung im Innenraum stark beeinflussen. Dabei handelt es sich um die folgenden Aspekte:

- Welche Bauweise weist der betrachtete Raum auf, massive oder leichte Bauweise?
- Liegt der betrachtete Raum im Dachgeschoss bzw. im obersten Wohngeschoss des Gebäudes?
- Zu welcher Himmelsrichtung sind die Fenster im betrachteten Raum ausgerichtet?
- Sind relativ große, unverschattete Fensterflächen im betrachteten Raum vorhanden?
- Ist eine adäquate Fensterlüftung während der Nacht im betrachteten Raum gut möglich?

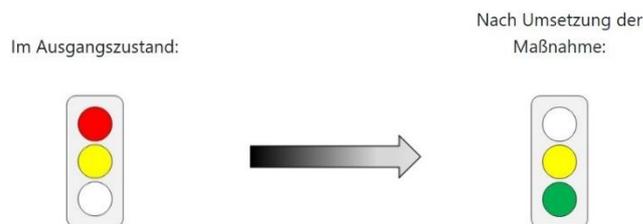
Im Gebäudetool sind diese Informationen zum Raum über einen Klick auf die jeweiligen Buttons auswählbar. Erläuterungen zu den Fragen und Begriffen können einem Glossar entnommen werden. Die ausgewählten Informationen über den Raum bzw. die Wohnung sind in einer räumlichen und dynamischen Darstellung visualisiert.

Nach der Festlegung des Ist-Zustandes können rechts neben der Darstellung der Wohnung in einer Dropdown-Liste verschiedene Anpassungsmaßnahme zur Reduzierung der Hitzebelastung des Raumes ausgewählt werden. Weitere Informationen zu den einzelnen Anpassungsmaßnahmen werden in einem Informationsfeld unterhalb der Dropdown-Liste angezeigt. Zur Verfügung stehen **acht Anpassungsmaßnahmen**:

- Außenliegender Sonnenschutz
- Innenliegender Sonnenschutz
- Verbesserung der Dämmung (Dach bzw. oberste Geschossdecke)
- Erhöhung der Wärmespeicherfähigkeit

- Einbau einer Abluftanlage
- Extensive Dachbegrünung
- Aufdach-Photovoltaikanlage
- Fassadenbegrünung

Die einschätzende Bewertung der Hitzebelastung im Ist-Zustand (Ausgangssituation) und mit Anpassungsmaßnahme wird in Form **zweier Ampeln** angezeigt:



Auf der linken Seite steht die Bewertung der Hitzebelastung im Raum in der Ausgangssituation, auf der rechten Seite wird die Bewertung der Hitzebelastung unter Berücksichtigung der gewählten Anpassungsmaßnahme angegeben. Dabei sind die Farben der Hitzebelastung folgender **fünfteiligen Bewertungsskala** zuzuordnen: Rot entspricht einer sehr hohen Hitzebelastung des Raumes, Rot-Gelb einer hohen, Gelb einer mittleren, Gelb-Grün einer geringen und grün einer sehr geringen Hitzebelastung.

**Wie wirksam eine Anpassungsmaßnahme** ist, lässt sich dementsprechend durch Veränderung der Ampelfarben zur visuellen Darstellung der Hitzebelastung von Ausgangszustand zu angepasstem Zustand verfolgen, z. B. von Rot im Ausgangszustand zu Gelb unter Nutzung der Anpassungsmaßnahme außenliegender Sonnenschutz. Dabei ist eine Reduktion um zwei Stufen (also z. B. ein Übergang von roter zu gelber Ampel) die maximal mögliche Wirksamkeit einer einzelnen Anpassungsmaßnahme. Manche Anpassungsmaßnahmen haben für bestimmte Raumeigenschaften keinen Effekt und somit keine Wirksamkeit (z. B. Dachbegrünung im unteren Wohngeschoss).

## 3.2 Hintergrund der Wirksamkeitsbewertung im Tool

Die Bewertung der Wirksamkeit der Hitzeanpassungsmaßnahmen hängt von einer Vielzahl an Raumeigenschaften v. a. Geometrie, Orientierung und Lage im Gebäude, Baumaterialien, Verschattungen, Fenstergrößen, Durchlüftungsmöglichkeiten ab. Das entwickelte Tool zur Bewertung der Wirksamkeit von Hitzeanpassungsmaßnahmen versteht sich nur als eine erste Einschätzung der Wirksamkeit und ersetzt nicht die ausführlichen Bewertungen über detaillierte Verfahren wie Gebäudesimulationen oder Sonneneintragskennwertverfahren nach DIN 4108-2:2013-02. Die abgeschätzten Wirksamkeiten im Tool sind Ergebnis zahlreicher Messungen und thermisch-dynamischer Gebäudesimulationen von Mehrfamilienhäusern, die innerhalb des 'HeatResilientCity'-Projektes von den Autoren durchgeführt wurden.

## 4 Freiraumtool – Bewertung von Anpassungsmaßnahmen im Freiraum

### 4.1 Freiraumindikator

*Uta Moderow, Astrid Ziemann, Valeri Goldberg*

#### 4.1.1 Kurzanleitung

Im Tool ist zunächst die Ebene ‚Freiraumtool - Freiraumindikator‘ auszuwählen. Hier kann dann zwischen der Ebene der ‚Einzelmaßnahmen‘ (Maßnahmen begrenzter Ausdehnung) und der Ebene der ‚Straßen‘ (Beurteilung Straßenbegleitgrün) gewählt werden.

Anschließend ist die Fläche zu wählen, die am besten den Ausgangszustand repräsentiert. Hier kann zwischen Flächen mit und ohne Vegetation gewählt werden.

Im nächsten Schritt ist die Fläche zu wählen, die am besten die gewünschte Maßnahme repräsentiert. Hier kann ebenfalls zwischen Flächen mit und ohne Vegetation gewählt werden. Die entsprechend der Auswahl wählbaren Flächen werden jeweils mit Bild und kurzer verbaler Beschreibung (als *Mouseover*-Text) angezeigt. Die aktuell gewählten Flächen werden als 3D-Bilder mit Nordpfeil angezeigt.

Nach der Flächenauswahl erfolgt die Bewertung der gewählten Maßnahme. Zur Bewertung der Wirksamkeit einer Maßnahme wird der Index UTCI genutzt. Der UTCI (UTCI – universeller thermischer Klimaindex, Jendritzky et al. 2009) ist ein human-bioklimatischer Index, mit dem die thermische Belastung des Menschen beschrieben wird. Bei der Berechnung finden folgende Größen Eingang:

- die Sonnenstrahlung
- die Wärmestrahlung
- die Lufttemperatur
- die Luftfeuchte
- der Wind

Der UTCI kann als die Lufttemperatur interpretiert werden, bei der unter standardisierten Innenraumbedingungen die gleiche thermische Wärmebelastung vorherrscht wie in der tatsächlichen thermischen Umgebung im Freiraum (Błażejczyk et al. 2010).

Der UTCI wird in °C angegeben und in folgende Belastungsstufen eingeteilt:

9 °C - 26 °C	kein thermischer Stress
26 °C - 32 °C	moderater Hitzestress
32 °C - 38 °C	starker Hitzestress
38 °C - 46 °C	sehr starker Hitzestress
>46 °C	extremer Hitzestress.

Bei der Bewertung einer Maßnahme wird der Unterschied zwischen den zwei gewählten Flächen bewertet. Für die Darstellung der Ergebnisse kann zwischen einer detaillierteren und einer einfachen Bewertung gewählt werden. Entsprechend dieser Auswahl werden die Ergebnisse angezeigt.

#### Detaillierte Bewertung

- Angabe der Belastungsstufe hinsichtlich der Hitzebelastung für die gewählten Modellflächen
- Angabe der Differenz im UTCI zwischen beiden Flächen  
(Differenz =  $UTCI_{\text{Maßnahmenfläche}} - UTCI_{\text{Ausgangszustand}}$ )
- kurze verbale Einschätzung
- gegebenenfalls weitere textliche Hinweise
- komprimierte Darstellung der Bewertung in Ampelform

#### Einfache Bewertung

- komprimierte Darstellung der Bewertung in Ampelform
- kurze verbale Einschätzung

Zur umfassenderen Beurteilung wird die detailliertere Bewertung empfohlen. Die angegebenen Werte sind als Abschätzung einer maximalen Wirkung zu interpretieren.

Es wird dringend empfohlen, die weiteren zur Verfügung gestellten Informationen in diesem Dokument zu nutzen, die die Möglichkeiten und Grenzen des Indikators zur Bewertung von Hitzeanpassungsmaßnahmen im Freiraum beschreiben.

### 4.1.2 Indikator zur Bewertung von Hitzeanpassungsmaßnahmen im Freiraum

#### **Was ist das Ziel des Freiraumindikators?**

Welche Anpassungsmaßnahmen (AM) es an Hitze im Freiraum gibt, ist grundsätzlich bekannt. Eine prominente und häufig eingesetzte Möglichkeit ist urbanes Grün. Urbanes Grün reduziert tagsüber primär über den Schattenwurf die Hitzebelastung und sekundär über die Transpiration. Nachts führt vor allem niedrige Vegetation auf ausgedehnten Flächen zu einer verringerten Lufttemperatur im Stadtquartier. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit einhergehenden zunehmenden thermischen Belastung ist es erforderlich, die Wirksamkeit von AM zu quantifizieren, um passgenaue Maßnahmen in den Stadtquartieren priorisieren zu können. Dies soll ebenfalls helfen, die Stellung von Grün in der Stadt zu stärken. Die allgemeine Aussage, dass Grün grundsätzlich positiv zu bewerten ist, kann mit nachgefragten, quantitativen Angaben hinterlegt werden.

Das Besondere des Freiraumindikators besteht darin, dass nicht allein die Lufttemperatur und darauf basierende klimatologische Kennwerte genutzt werden, um die Wirksamkeit von Hitzeanpassungsmaßnahmen zu quantifizieren und zu bewerten. Vielmehr kommt ein bioklimatischer Index zum Einsatz, der es erlaubt, die mögliche Änderung der thermischen Belastung des Menschen selbst zu adressieren. Dieser Ansatz trägt dem Umstand Rechnung, dass das thermische Wohlbefinden des Menschen nicht allein von der Lufttemperatur abhängig ist, sondern von mehreren meteorologischen Variablen, insbesondere der Strahlung, aber auch der Feuchte und der Windgeschwindigkeit. Durch die Nutzung von Ergebnissen eines etablierten, physikalischen, mikroskaligen Stadtklimamodells (ENVI-Met, Bruse und Fler 1998, Bruse 1999), wird eine erste, objektive und quantifizierbare Bewertung der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen an Hitze ermöglicht.

### **Was wird bewertet?**

Der Indikator erlaubt eine erste quantitative Beurteilung der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen an Hitze, die auf bodengebundenem urbanen Grün basieren. Dabei werden die thermische Belastung des Menschen und deren Änderung in Abhängigkeit von der Umgebung unter Verwendung eines human-bioklimatischen Indexes adressiert. Solche Indices gehen über die alleinige Betrachtung einer einzelnen meteorologischen Größe, die für das thermische Wohlbefinden des Menschen relevant ist, hinaus. So finden neben der Lufttemperatur auch die Luftfeuchte, der Wind und verschiedene Strahlungsgrößen Eingang, da die empfundene Belastung nicht allein von der Lufttemperatur abhängig ist (Stichwort Schwüle; Aufenthalt in der Sonne vs. Aufenthalt im Schatten). Bei dem Indikator wird der UTCI verwandt, der in Grad Celsius (°C) angegeben wird. Es ist möglich, sich den UTCI direkt als eine gefühlte Temperatur vorzustellen, die ein Fußgänger unter den gegebenen Umständen empfinden würde. Es ist zu beachten, dass mit dem UTCI keine spezifischen Aussagen möglich sind, z. B. in Bezug auf Kleinkinder oder ältere Menschen.

Tabelle 1 enthält einen Überblick zu dem Wertebereich des UTCI und zu den Belastungsstufen. Ergänzend werden Angaben zum empfohlenen Verhalten bereitgestellt.

Tab. 1: Überblick zu dem Wertebereich des UTCI und dessen Einteilung in Belastungsstufen sowie Angaben zum empfohlenen Verhalten basierend auf Bröde et al. 2012, Jendritzky et al. 2012, Di Napoli et al. 2019, ergänzt um Informationen aus dem Projekt AlpEnDAC (<https://www.alpendac.eu/spa#!/air-utci>). Es sind die sommerlich relevanten Bereiche des UTCI dargestellt.

UTCI in °C	Belastungsstufe	Gesundheitshinweise und Schutzmaßnahmen*
9 – 26	Kein thermischer Stress	
26 – 32	Moderater Hitzestress	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mehr als 250 ml pro Stunde trinken*</li> </ul>
32 – 38	Starker Hitzestress	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direkte Sonne meiden!</li> <li>▪ Schattige Plätze aufsuchen!</li> <li>▪ Körperliche Aktivität vorübergehend verringern und auf die Morgenstunden verschieben</li> <li>▪ Mehr als 250 ml pro Stunde trinken*</li> <li>▪ Alkoholenuss einschränken und leicht bekömmliche Kost wählen</li> <li>▪ Kinder, allein lebende ältere Menschen und pflegebedürftige Menschen schützen</li> </ul>
38 - 46	Sehr starker Hitzestress	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hitzewellenwarnung!</li> <li>▪ Direkte Sonne meiden, beschattete Plätze sind unbedingt notwendig</li> <li>▪ Körperliche Aktivität auf das Minimum reduzieren</li> <li>▪ Zeitweise Körperkühlung empfohlen</li> <li>▪ Mehr als 0,5 l pro Stunde trinken*</li> <li>▪ Alkohol meiden, leichte Kost!</li> <li>▪ Leichte Kleidung tragen!</li> <li>▪ Kinder, allein lebende ältere Menschen und pflegebedürftige Menschen schützen</li> </ul>
> 46	Extremer Hitzestress	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Extreme Hitzewellenwarnung!</li> <li>▪ Direkte Sonnenstrahlung strikt meiden, Aufenthalt nur in beschatteten Bereichen</li> <li>▪ Zeitweise Körperkühlung notwendig</li> <li>▪ Mehr als 0,65 l pro Stunde trinken*</li> <li>▪ Kein Alkohol, nur leichte Kost</li> <li>▪ Leichte und komfortable Kleidung</li> <li>▪ Kinder, allein lebende ältere Menschen und pflegebedürftige Menschen schützen</li> </ul>

\* Die Trinkmengen stellen eine allgemeine Empfehlung dar. Grundsätzlich ist zu beachten, dass diese IMMER dem jeweiligen Gesundheitszustand und Alter angepasst werden müssen. Trinkmengen sollten insbesondere bei Menschen mit Herz-Kreislauferkrankungen und Nierenerkrankungen immer mit dem behandelnden Arzt abgestimmt werden.

### **Worauf basiert der Freiraumindikator und welches Prinzip liegt ihm zugrunde?**

Der Freiraumindikator basiert auf Stadtklimasimulationen mit dem Modell ENVI – Met (Version 3.1; Bruse und Fleer 1998, Bruse 1999), die für zwei Stadtquartiere mit unterschiedlicher Struktur (industrieller Wohnungsbau der DDR der 80er Jahre in Dresden, Gründerzeitgebiet in Erfurt) durchgeführt wurden. Dabei wurden beide Quartiere mit einer horizontalen Auflösung von 4 m x 4 m im Modell abgebildet. In den ausgewerteten Modellsimulationen werden Bäume mit einer Höhe von 15 m mit ausgeprägter Krone und Stammraum und Wiese mit einer Wuchshöhe von 50 cm umgesetzt, um hohe und niedrige Vegetation abzubilden. Die Gebäudehöhe ist realitätsnah variierend und Wege werden als versiegelt oder nicht bewachsen dargestellt (siehe auch Abb. 1, Abb. 3). Im Modell unterliegt die Vegetation keinem Wasserstress. Die Simulationen wurden für 3 verschiedene, sehr warme, windarme und wolkenfreie (sehr strahlungsreiche) Sommertage (15. Juni, 15. Juli und 15. August) vorgenommen, um den Einfluss des sich ändernden Sonnenstands im Laufe des Sommers abbilden zu können (Änderung des Schattenwurfs mit Änderung des Sonnenstandes).

Den Simulationsergebnissen wurden Flächen entnommen, die stellvertretend für verschiedene Zustände und Flächencharakteristiken bzw. Anpassungsmaßnahmen stehen können. Für diese Flächen werden Werte des UTCI bereitgestellt, sodass diese miteinander verglichen, der mögliche Unterschied zwischen zwei oder auch mehr Varianten quantifiziert und Anpassungsmaßnahmen in ihrer Wirksamkeit gereiht und entsprechend priorisiert werden können.

Für ein Stadtquartier (industrieller Wohnungsbau der DDR der 80er Jahre des 20. Jahrhunderts) standen zusätzlich Simulationsergebnisse zur Verfügung, bei denen im Modell die gesamte Vegetation im gesamten Stadtquartier entfernt wurde. Diese Simulationen ohne Vegetation liegen ebenfalls für die genannten Sommertage (15. Juni, 15. Juli, 15. August) vor. Mit diesen Simulationsergebnissen ist eine Abschätzung der maximalen Wirkung von urbanem Grün möglich (Vergleich mit Vegetation versus ohne Vegetation).

### **Räumliche Ebenen und Bewertung von Maßnahmen**

Der vorliegende Indikator adressiert die Wirkungen von Maßnahmen im Freiraum mit sehr begrenzter räumlicher Ausdehnung (Einzelmaßnahmen) sowie die Wirkungen von straßenbegleitendem Grün (Straßen).

#### ***Ebene der Einzelmaßnahmen – Maßnahmen mit begrenzter räumlicher Ausdehnung:***

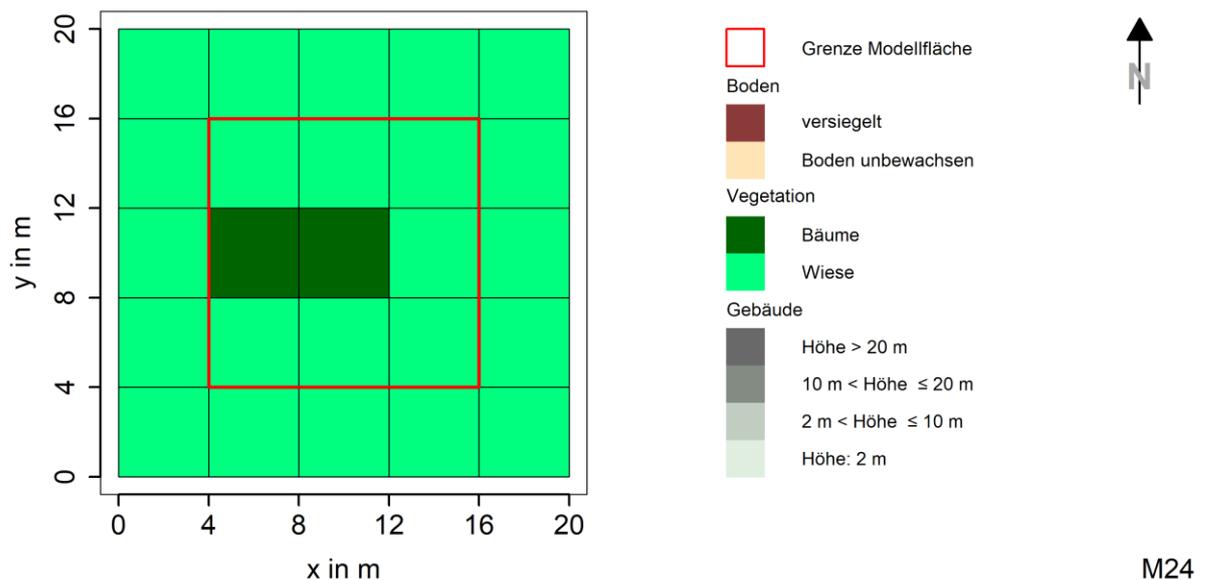
Für die Beurteilung möglicher Maßnahmen wurden 39 Flächen mit einer Ausdehnung im Modell von 12 m x 12 m in der Horizontalen ausgewählt. Jede dieser Flächen setzt sich aus 9 Teilflächen (Pixel) der Größe 4 m x 4 m zusammen, wobei jede für sich eine ganz bestimmte Oberflächeneigenschaft repräsentieren kann (z. B. Wiese oder Baum). Für jede dieser Flächen liegt eine Kurzbeschreibung im Tool mittels Bild (2D und 3D) und Text (*Mouseover*-Text) vor (siehe Abb. 1 bzw. Abb. 2).

Die Werte des UTCI werden als Mittelwert über die hitzeintensiven Stunden (10:00 – 16:00 Uhr), für 20:00 Uhr und für 04:00 Uhr bereitgestellt, jeweils gemittelt über die 9 Teilflächen (gesamte Modellfläche, rot umrandeter Bereich, siehe Abb. 1 sowie Abb. 2). Die Bewertung der

Wirksamkeit von Maßnahmen hinsichtlich deren Wirkung auf das thermische Wohlbefinden des Menschen wird anhand der jeweiligen Flächenmittelwerte vorgenommen.

Die Werte des UTCI werden für jede Fläche für den 15. Juni, 15. Juli und den 15. August bereitgestellt, sodass der veränderliche Schattenwurf im Laufe des Sommers Beachtung findet und die sich damit ändernde thermische Belastung in ein und derselben städtischen Struktur abgebildet werden kann.

Für einige Modellflächen liegen ebenfalls Informationen dazu vor, wie die Wirkung der Modellfläche ohne jegliches urbanes Grün wäre. Dies erlaubt eine Abschätzung der maximalen Wirkung von urbanem Grün (Zustand mit Vegetation vs. Zustand ohne Vegetation).



Fläche M24 - Wiese: 77,8 %, Bäume: 22,2 %, „Baumpaar“ ist solitär in Wiese; keine angrenzenden weiteren Bäume; Gebäude in näherer Umgebung im Süden, Osten und Nordwesten (Gebäudehöhe zw. 2 m und 10 m) (M24)

Abb. 1: Beispielhafte Darstellung einer Modellfläche in 2D (hier Modellfläche M24). Die Abbildung zeigt die Modellfläche selbst (rot umrandet) und den umgebenden Pixelring (hier Wiese). Der Text im Kasten gibt die zugehörige, verbale Beschreibung wieder.

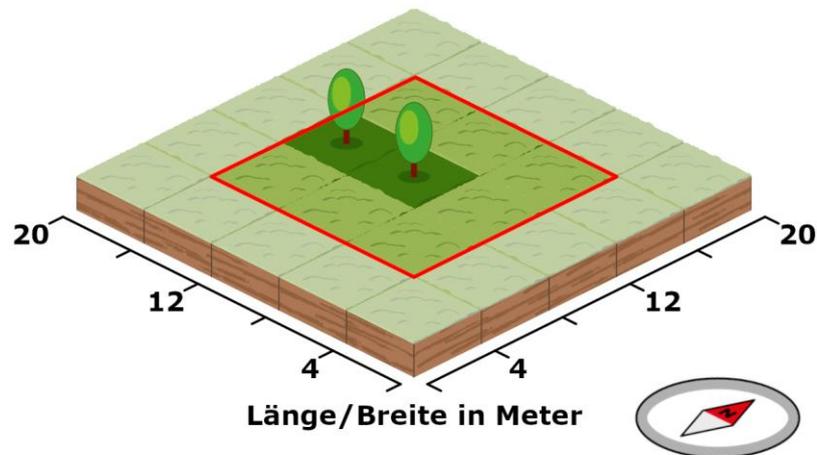


Abb. 2: Darstellung der Fläche M24 aus Abb. 1 in 3D (siehe Tool). Rot umrandet ist die Modellfläche (hier Wiese mit Bäumen), mit deren zugehörigen UTCI-Werten der Flächenmittelwert des UTCI berechnet wird, der Grundlage für die Bewertung auf der Ebene der Einzelmaßnahmen ist. Nordpfeil: rote Spitze zeigt nach Norden (Graphik: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden).

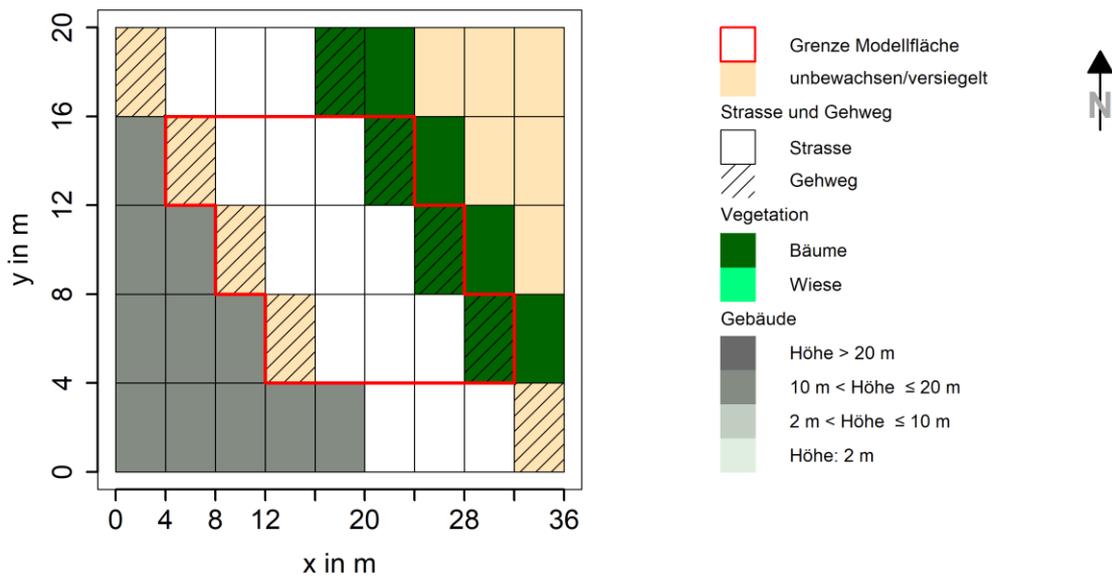
### **Ebene der Straßen** – Straßenbegleitendes Grün:

Für die Beurteilung der Wirksamkeit von straßenbegleitendem Grün in Bezug auf den thermischen Stress des Menschen wurden 30 Flächen ausgewählt, die verschiedene Straßen mit unterschiedlichen Charakteristika hinsichtlich Straßenausrichtung und begleitendem Grün repräsentieren. Jede Modellfläche, die beurteilt wird, setzt sich aus 9 Teilflächen der Größe 4 m x 4 m (Pixel) zusammen, wobei jede für sich eine ganz bestimmte Oberflächeneigenschaft repräsentieren kann (z. B. Wiese oder Baum).

Jede Modellfläche wird im Tool mittels Bild (2D und 3D) und Text (*Mouseover*-Text) kurz charakterisiert (Abb. 3 bzw. Abb. 4).

Die Werte des UTCI werden als Mittelwert über die hitzeintensiven Stunden (10:00 – 16:00 Uhr), für 20:00 Uhr und für 04:00 Uhr bereitgestellt, und zwar jeweils als Mittelwert über die gesamte Modellfläche und als Mittelwert für den jeweiligen Gehweg (je Gehweg ein Mittelwert). Die Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen hinsichtlich deren Wirkung auf das thermische Wohlbefinden des Menschen wird anhand der jeweiligen Flächenmittelwerte vorgenommen. Die Werte des UTCI werden für jede Fläche für den 15. Juni, 15. Juli und den 15. August bereitgestellt, sodass der sich verändernde Schattenwurf im Laufe des Sommers Beachtung findet und die sich damit ändernde thermische Belastung in ein und derselben städtischen Struktur beurteilt werden kann.

Für einige Modellflächen liegen ebenfalls Informationen dazu vor, wie die Wirkung der Modellfläche ohne jegliches urbanes Grün wäre. Dies erlaubt eine Abschätzung der maximalen Wirkung von urbanem Grün (Zustand mit Vegetation versus Zustand ohne Vegetation).



Straße S16 - Straße von Südsüdost nach Nordnordwest; straßenbegleitende zusammenhängende Baumreihe östlich; Gebäude angrenzend im Südwesten (Höhe zw. 10 m und 20 m)

Abb. 3: Beispielhafte Darstellung einer Modellfläche in 2D (hier Modellfläche S16). Rot umrandet ist die Modellfläche, welche selbst bzw. von welcher ausgewählte Teilflächen bewertet werden. Die umgebenden Pixel geben Auskunft über die generelle Oberflächencharakteristik der unmittelbaren Umgebung. Der Text im Kasten gibt die zugehörige, verbale Beschreibung wieder.

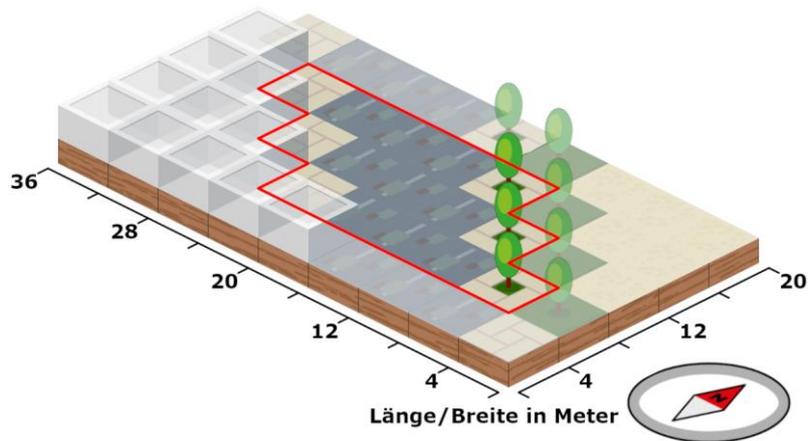


Abb. 4: Darstellung der Straßenfläche S16 aus Abb. 3 in 3D (siehe Tool). Rot umrandet ist die Modellfläche, welche selbst bzw. von welcher ausgewählte Teilflächen bewertet werden. Nordpfeil: rote Spitze zeigt nach Norden (Graphik: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden).

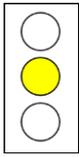
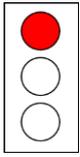
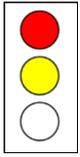
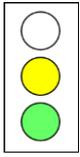
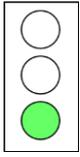
### **System zur Bewertung der Wirksamkeit der Hitzeanpassungsmaßnahmen**

Ausgangspunkt für das Bewertungssystem sind jeweils die Flächenmittelwerte der betrachteten Modellflächen. Das System zur Bewertung der Wirksamkeit von Hitzeanpassungsmaßnahmen (Tab. 2) fußt derzeit auf einem Schwellwertansatz. Änderungen im UTCI, die im Betrag kleiner als 0,5 °C sind, werden als vernachlässigbar eingestuft. Werte, die nur geringfügig darüber liegen, werden bereits anders bewertet. Der gewählte Schwellwert stellt einen Kompromiss dar zwischen der Annahme, dass die thermische Belastung eine gewisse Zunahme/Abnahme aufweisen muss, um als Änderung wahrgenommen zu werden, und dem Umstand, dass jede Modellrechnung als auch jede Messung stets mit Unsicherheiten behaftet ist. Bei einer Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen sollte diesem Ansatz Rechnung getragen werden.

Fällt die nächtliche thermische Belastung im Freiraum in die Belastungsstufe „kein thermischer Stress“ (UTCI zwischen 9 °C und 26 °C), bewegt sich aber in deren oberem Wertebereich, so kann eine kritische Betrachtung angebracht sein, da dann zwar das Freiraumklima thermisch angenehm ist, die Schlafqualität jedoch vermindert sein kann.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Maßnahmen, die am Tage den Hitzestress reduzieren, nachts einen gegenteiligen Effekt haben können. Dies kann z. B. bei Flächen der Fall sein, die am Tage vom Schattenwurf der Bäume profitieren. Nachts strahlt die Fläche Wärme ab, jedoch wird ein Teil dieser Strahlung von den umgebenden Bäumen absorbiert und teilweise wieder in Richtung Boden emittiert, sodass die betrachtete Fläche einen zusätzlichen Energieinput erfährt und weniger auskühlt als eine freie Fläche. Bei der Wahl der Maßnahme ist zu bedenken, welche Bedingungen primär optimiert werden sollen, die Tages- oder die Nachtbedingungen. Die resultierenden Unterschiede zwischen den Flächen sind als maximale, mögliche Unterschiede zu interpretieren, die erreicht werden können, aber nicht müssen. Die Verlässlichkeit der Aussagen zur Änderung der Belastungsstufen ist gegenüber den Aussagen zu Änderungen des UTCI in °C als robuster einzustufen.

Tab. 2: Schema zur verbalen Einschätzung der Wirkung der gewählten Maßnahme und der Ampelschaltung. Die Differenz wird berechnet als Maßnahmensituation minus Ausgangssituation. Ist die Differenz negativ, dann ist die thermische Belastung für die Ausgangssituation größer. Ist die Differenz positiv, dann ist die thermische Belastung für die Maßnahmensituation größer.

Differenz im UTCI: $\Delta\text{UTCI}$	Weitere Bedingung	Verbale Einschätzung	Ampel
$-0,5\text{ °C} \leq \Delta\text{UTCI} \leq 0,5\text{ °C}$	keine	Die Maßnahme hat kaum bzw. keine Auswirkung auf die Hitzebelastung	
$\Delta\text{UTCI} > 0,5\text{ °C}$	Höhere Belastungsstufe erreicht	Die Maßnahme bewirkt eine Erhöhung der Hitzebelastung. Es wird eine höhere Belastungsstufe erreicht.	
$\Delta\text{UTCI} > 0,5\text{ °C}$	Keine höhere Belastungsstufe erreicht	Die Maßnahme bewirkt eine Erhöhung der Hitzebelastung, es wird jedoch keine höhere Belastungsstufe erreicht.	
$\Delta\text{UTCI} < -0,5\text{ °C}$	Keine geringere Belastungsstufe erreicht	Die Maßnahme bewirkt eine Verminderung der Hitzebelastung, es wird jedoch keine geringere Belastungsstufe erreicht.	
$\Delta\text{UTCI} < -0,5\text{ °C}$	Geringere Belastungsstufe erreicht	Die Maßnahme bewirkt eine Verminderung der Hitzebelastung. Es wird eine geringere Belastungsstufe erreicht.	

### 4.1.3 Wichtige Hinweise zur Nutzung des Freiraumindikators

#### Stadtklima

Die komplexen Wirkungsbeziehungen, durch die sich ein bestimmtes Stadtklima ergibt, sind im Rahmen dieses kurz gefassten Manuals nicht abbildbar. Um einen weiteren Überblick zu diesem Fachgebiet zu erhalten, werden die Übersichtsarbeiten von Kuttler (2004a, 2004b) sowie die umfassenden Abhandlungen in Henniger und Weber (2019) empfohlen.

### **Bewertung – genereller Hinweis zur Interpretation der Ergebnisse**

Die erhaltenen Unterschiede zwischen den Flächen sind als maximale, mögliche Unterschiede zu interpretieren, die erreicht werden können, aber nicht müssen. Sie stellen grundsätzlich eine erste orientierende, quantitative Bewertung dar. Die tatsächliche Wirkung hängt von den lokalen Gegebenheiten der zu bewertenden Fläche vor Ort ab. Die Verlässlichkeit der Aussagen zur Änderung der Belastungsstufen ist gegenüber den Aussagen zu Änderungen des UTCI in °C als robuster einzustufen.

### **Bewertung – Wirksamkeit von Maßnahmen auf Grundlage von Flächenmittelwerten**

Es ist zu beachten, dass die angegebenen Mittelwerte grundsätzlich nur über eine relativ kleine Anzahl von Einzelwerten gebildet werden. Einzelne sehr hohe bzw. sehr niedrige Werte des UTCI beeinflussen daher den Flächenmittelwert sehr stark. Hier ist es nützlich, die Standardabweichung sowie den Minimalwert zusätzlich zu betrachten. Eine hohe Standardabweichung weist auf eine hohe Variabilität der thermischen Verhältnisse innerhalb der Fläche hin, dies kann günstiger sein als eine gleichmäßige hohe thermische Belastung, die mit einer niedrigeren Standardabweichung verbunden ist. Verringert sich der Minimalwert durch die Maßnahme, können diese Bereiche Orte für Aufenthalte mit geringerer thermischer Belastung sein. Diese Werte werden jedoch nicht explizit im Tool angezeigt, sondern es wird, wenn es relevant sein sollte, ein entsprechender Infotext angezeigt.

### **Bewertung – Große Änderung im UTCI ohne Änderung der thermischen Belastungsstufe**

Es ist möglich, dass sich zwei Modellflächen im UTCI um eine große Differenz in °C unterscheiden, die Belastungsstufe jedoch unverändert bleibt. Ursache ist hier, dass eine Belastungsstufe immer einen gewissen Wertebereich umfasst. Dieser Wertebereich trägt dem unterschiedlichen Wärmempfinden verschiedener Menschen Rechnung. Auch wenn sich die Belastungsstufe bei großer Differenz im UTCI nicht ändert, ist die damit einhergehende hohe Reduzierung (Erhöhung) der thermischen Belastung als positiv (negativ) zu bewerten. Für eine umfassende Beurteilung wird daher empfohlen, nicht nur zu schauen, ob und wie sich die Belastungsstufe ändert, sondern auch die Änderung im UTCI selbst zu beachten.

### **Bewertung – Wirkungen von Einzelbäumen bzw. einzelnen Baumreihen und Flächenmittelwert**

Etablierte Bäume zeichnen sich durch einen entsprechenden Schattenwurf aus, der sich thermisch günstig auf das Wohlbefinden des Menschen an heißen Tagen auswirkt.

Für die Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass der Schattenwurf des Baumes in den genutzten Modellflächen nicht auf die Teilfläche selbst von 4 m x 4 m fällt, die einen Baum repräsentiert, sondern auf die angrenzenden Teilflächen.

Die Bäume werden im Modell als 15 m hohe Bäume mit ausgeprägter Krone und Stammraum umgesetzt. Dies bringt es mit sich, dass ein einzelner Baum (d. h. eine Teilfläche, die als Baum kodiert ist) eine Besonnung des Stammraums erfährt (Untersonnung). Ein hoher Strahlungsinput an diesem Ort ist die Folge, der durch die Strahlungsreflexion, -streuung und -emissionen von der Baumkrone Richtung Boden noch erhöht wird. Darüber hinaus wird modellintern der

Boden unterhalb des Baumes als nackt umgesetzt, was sich am Tage erhöhend auf die thermische Belastung auswirkt. Die Windgeschwindigkeit unter der Baumkrone kann – in Abhängigkeit von der Umgebung – geringfügig erniedrigt sein. Diese Aspekte führen zu einer deutlichen Erhöhung der thermischen Belastung an diesem Punkt, die sich auf den Flächenmittelwert als erhöhend auswirken kann. Jedoch ist festzuhalten, dass die angeführten Strahlungseffekte, die Besonnung des Stammraums und des Bodens unterhalb der Baumkrone auch in der Realität so stattfinden. Es wird empfohlen, zur abschließenden Beurteilung solcher Flächen zusätzlich die Informationen zum Minimalwert und zur Standardabweichung zu nutzen, die gegebenenfalls in textlicher Form bereitgestellt werden. Eine höhere Standardabweichung deutet auf eine höhere Variabilität der thermischen Verhältnisse hin, was ein günstiger Aspekt sein kann. Ebenso kann der Schattenwurf eines Einzelbaumes z. B. zum Aufstellen von Sitzgelegenheiten genutzt werden.

### **Bewertung – Beeinflussung des thermischen Wohlbefindens durch umgebende Gebäude**

Der Freiraumindikator bewertet die Wirkungen von Anpassungsmaßnahmen an Hitze in den Freiräumen der Stadt, insbesondere die, die urbanes Grün nutzen. Jedoch gibt es insbesondere auf kleineren Freiflächen immer einen kombinierten Effekt von urbanem Grün und von umgebenden Gebäuden (z. B. Schattenwurf, Beeinflussung des Windes, Strahlungsreflexionen und -emissionen an bzw. von den Hauswänden). Gegebenenfalls kann das Freiraumklima einer bestimmten Fläche durch den Schattenwurf eines Gebäudes bereits sehr günstig sein, sodass die festgestellte Wirkung des urbanen Grüns eher von untergeordneter Bedeutung ist. Eine Anlage von urbanem Grün ist dennoch häufig vorteilhaft im Hinblick z. B. auf die Biodiversität, den lokalen Regenwasserrückhalt, die Staubfilterung, die Bereitstellung von Erholungsräumen sowie im Hinblick auf ästhetische Aspekte.

Für die Nacht ist zu bedenken, dass Gebäude die über den Tag gespeicherte Wärme während der Nacht langsam wieder an den Freiraum abgeben. Dieser Effekt führt in dicht bebauten Stadtquartieren zu einer verringerten Abkühlung im Vergleich zu Wiesenflächen und damit besonders in langen Hitzeperioden zu einer erhöhten Wärmebelastung.

### **Bewertung – Vergleich der Simulationsvarianten mit und ohne Vegetation**

Für die Simulationsvarianten ohne Vegetation wurde im betreffenden Modellgebiet die gesamte Vegetation entfernt und nicht nur für eine betrachtete Teilfläche des Modellgebiets. In den Simulationsvarianten ohne Vegetation sind daher Schattenwürfe grundsätzlich gebäudebedingt. Vergleicht man nun Flächen, die sowohl in der Simulationsvariante ohne Vegetation als auch mit Vegetation nicht bewachsen sind (z. B. eine Asphaltfläche), so zeigt sich, dass diese in der Simulationsvariante mit Vegetation eine geringfügig verminderte thermische Belastung am Tag aufweist, d. h. ein Gebiet, welches selbst nicht begrünt ist, kann zu einem gewissen Grade von der umgebenden Vegetation im Gesamtgebiet profitieren im Sinne einer „Fernwirkung“. Dieser Effekt ist jedoch gegenüber anderen Effekten klein.

## Flächen – Darstellung von Flächen ohne Vegetation

Viele Modellflächen ohne Vegetation erscheinen in der bildlichen Darstellung oft gleich. Sie unterscheiden sich jedoch in ihrer Umgebung. Flächen ohne Vegetation erlauben die Bewertung der Wirkung von begrünenden Maßnahmen auf zuvor vegetationsfreien Flächen (siehe Abschnitt 4.1.2 - „Worauf basiert der Freiraumindikator und welches Prinzip liegt ihm zugrunde?“ sowie „Räumliche Ebenen und Bewertung von Maßnahmen“).

## Flächen – Zu beurteilende Fläche ist größer als die Größe der Modellflächen

Die Flächengröße der zur Verfügung gestellten Modellflächen ist relativ klein. Es kann Anwendungen geben, bei denen die Fläche, die beurteilt werden soll, größer ist als die Fläche einer Modellfläche. Prinzipiell sollte hier nach der grundlegenden Charakteristik der zu beurteilenden Fläche geschaut werden. Wenn die Variabilität innerhalb der zu beurteilenden Fläche gering ist, kann eine Beurteilung möglich sein.

### BEISPIEL 1 – STRAßENBEGRÜNUNG ENTLANG EINES CA. 50 M LANGEN STRAßENABSCHNITTS



Abb. 5: Straße von Ost nach West verlaufend mit spärlicher/fehlender Vegetation auf dem südlichen Fußgängerweg (weiß schraffiert). Der zu beurteilende Straßenabschnitt ist mit einem orangenen Rechteck gekennzeichnet und ist ca. 50 m lang. Luftbild: Orthophoto, frei verfügbare Daten GeoSN dl-de/by-2-0.

Die zu beurteilende Straße weist in dem betreffenden Abschnitt eine relativ invariante Charakteristik auf (nördlicher Fußgängerweg mit Bäumen, südlicher Fußgängerweg mit nur spärlichem Bewuchs bzw. fehlenden Straßenbäumen). Es interessiert, wie sich die thermische Belastung für den Menschen auf dem südlichen Fußgängerweg (weiß schraffiert in Abb. 5) bei Pflanzung von Straßenbäumen, die den Gehweg beschatten, potentiell verbessern kann. Zunächst wählt man die Fläche, die am besten den Ausgangszustand repräsentiert, in diesem Fall die Straße S01, und anschließend die Fläche, die am besten den Zielzustand repräsentiert (Straße S02). Die abweichende Straßenbreite der Modellflächen (Breite 12 m) von der Straßenbreite der zu beurteilenden Straße (Breite ca. 8 m) ist hier weniger relevant, da der südliche Gehweg beurteilt werden soll.

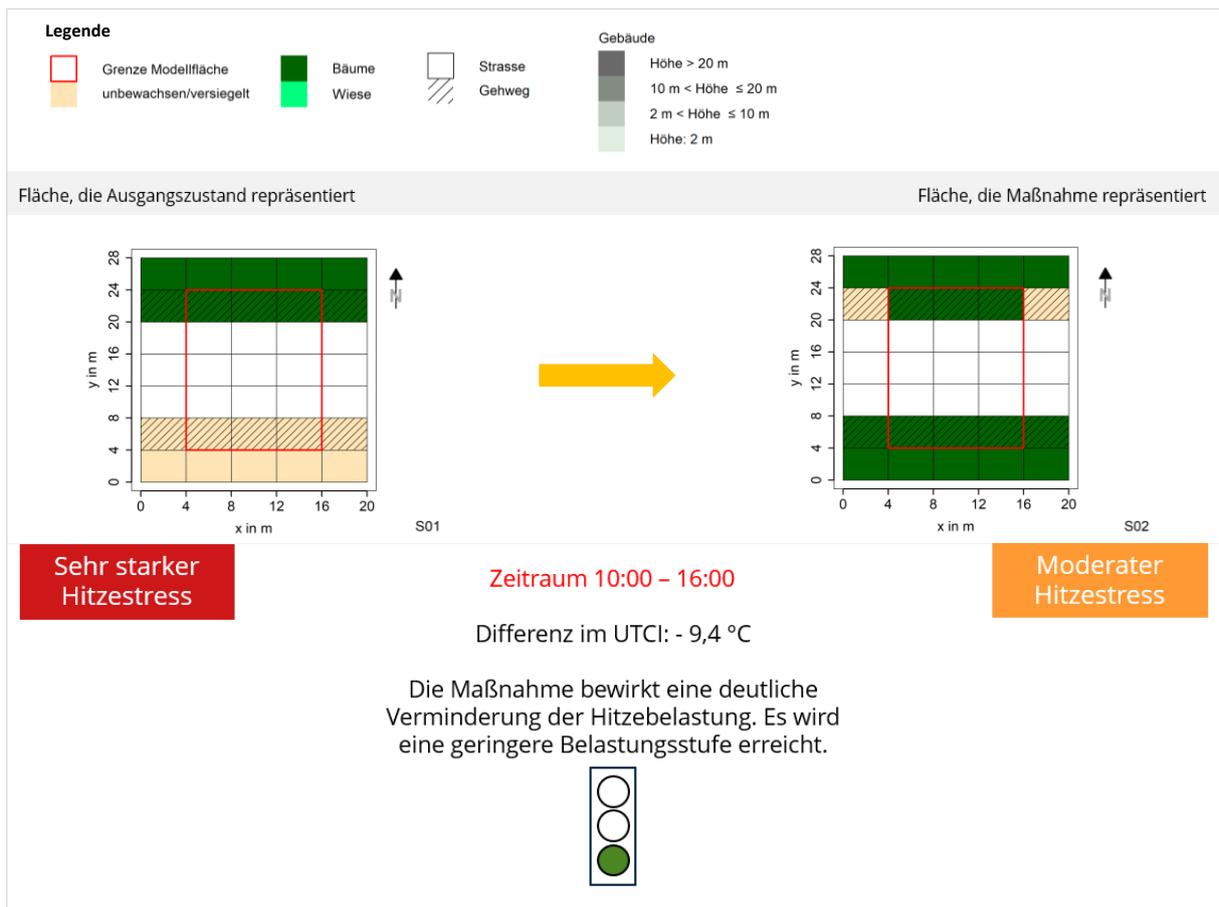


Abb. 6: Vergleich von zwei Straßen ohne straßenbegleitende Begrünung (Straße S01) und mit straßenbegleitender Begrünung auf dem südlichen Gehweg (Straße S02). Die Beurteilung bezieht sich auf den südlichen Gehweg.

Der Vergleich beider Modellflächen zeigt eine deutliche Reduzierung der thermischen Belastung des Menschen auf dem südlichen Gehweg an (Abnahme des UTCI um 9,4 °C bzw. um zwei Belastungsstufen). Dieser sehr große Effekt ist durch die Bäume im Süden bedingt, die durchgehend doppelreihig sind. Ist diese südliche Baumreihe nicht doppelreihig und/oder nicht durchgehend, kann man davon ausgehen, dass die Wirkung reduziert ist, d. h. die Abnahme der thermischen Belastung wird weniger stark sein. Dies zeigt ein Vergleich der hier gewählten Ausgangsfläche S01 mit der Fläche S03 als Maßnahmenfläche. Die Differenz beträgt dann für den Zeitraum 10:00 – 16:00 Uhr -3,3 °C, die thermische Belastung wird „nur“ um eine Belastungsstufe reduziert.

#### BEISPIEL 2 – EINE GROßE WIESE SOLL IN EINEN SANDPLATZ (SPORTPLATZ) UMGEWANDELT WERDEN

Für einen solchen Anwendungsfall sind als Ausgangssituation die Wiesenfläche M01 (Ebene der Einzelmaßnahmen, Fläche mit Vegetation) sowie die Fläche M01 ohne Vegetation (Ebene der Einzelmaßnahmen, Fläche ohne Vegetation) als Maßnahmenfläche geeignet. Für den Zeitraum 10:00 – 16:00 Uhr ergibt ein Vergleich dieser Flächen eine Erhöhung der thermischen Belastung um 2,9 °C sowie eine Erhöhung der thermischen Belastung um eine Stufe (Änderung

von der Stufe ‚Starker Hitzestress‘ auf die Stufe ‚Sehr starker Hitzestress‘). Dieser Unterschied kann für die zentralen Bereiche einer solchen Fläche angenommen werden. Die Randbereiche sind gegebenenfalls durch umgebende Bebauung/Begrünung beeinflusst.

#### **Flächen – Eingeschränkte Auswahl von Straßen bestimmter Ausrichtungen**

Aufgrund der begrenzten Datenverfügbarkeit bei der Entwicklung des Indikators ist die Anzahl unterschiedlicher Straßenausrichtungen begrenzt. Eine verlässliche Beurteilung von Straßen, die in ihrer Ausrichtung stark von gewählten Modellflächen abweichen, ist nicht möglich.

#### 4.1.4 Grenzen in der Anwendbarkeit des Freiraumindikators

Der Freiraumindikator basiert auf Stadtklimasimulationen für zwei nachgebildete Stadtgebiete unterschiedlicher Struktur (Quartiere mit industriellem Plattenbau der DDR bzw. aus der Gründerzeit). Diese Quartiere sind im Modell mit einer horizontalen **Auflösung von 4 m x 4 m** umgesetzt worden, d. h. **Strukturen, die kleiner ausfallen**, können **nicht aufgelöst** werden. Es ist grundsätzlich zu beachten, dass Modelle und die mit ihnen erstellten Simulationen immer nur ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit darstellen.

Die Simulationen, die dem Freiraumindikator zugrunde liegen, wurden für autochthone Hochdruckwetterlagen durchgeführt, d. h. es erfolgt eine **Bewertung** der Maßnahmen **für hochsommerliche Tage ohne Wolken** und **mit nur geringem Wind**.

Für die Bewertung ist zu beachten, dass die **Pflanzen im Modell keinem Wasserstress** ausgesetzt sind, d. h. Effekte, die eventuell durch Laubverlust aufgrund von Trockenheit einhergehen und damit den Schattenwurf verringern können, werden nicht abgebildet.

Eine **Bewertung großer heterogener Flächen** über eine Zusammenschau vieler einzelner Modellflächen ist **nicht möglich**, da der Interaktion der Teilflächen nicht Rechnung getragen wird. Eine derartige Vorgehensweise führt zu falschen Ergebnissen.

Eine **Bewertung der Fernwirkung** von urbanem Grün ist mit den derzeit zur Verfügung stehenden Simulationen und den daraus entnommenen Teilflächen **nicht möglich**. Wie weit die Fernwirkung ein und derselben Fläche sein kann, hängt von deren Umgebung ab, d. h. eine Fläche, deren Umgebung günstige Austauschbedingungen bietet, kann eine hohe Fernwirkung entfalten. Jedoch kann eine Fläche mit genau den gleichen Charakteristika in ihrer Fernwirkung erheblich reduziert sein oder gar keine Fernwirkung entfalten, wenn deren Umgebung ungünstige Austauschbedingungen bietet (Hindernisse).

## 4.2 Bewertung von Ökosystemleistungen

Till Fügener, Karsten Grunewald

### 4.2.1 Kurzanleitung

Zusätzlich bzw. optional ist neben der Bewertung von Hitzeanpassungsmaßnahmen im Freiraum die Einschätzung der Veränderung ausgewählter Ökosystemleistungen (ÖSL) im Zusammenhang mit der gewählten Maßnahme möglich. Die im Tool vereinfacht verwendeten methodischen Ansätze der ÖSL-Erfassung und -Bewertung auf Quartiersebene sind in Brzoska et al. (2021) ausführlich erläutert. Bezugsräume für die ÖSL-Bewertung sind die Modellflächen im Tool (siehe Abschnitt 4.1.2).

Unterhalb der Auswertung zur Wirksamkeit einer gewählten Hitzeanpassungsmaßnahme im Freiraumindikator werden unter der Überschrift „Bewertung weiterer Nebeneffekte (ÖSL)“ die Ökosystemleistungen Erholungswert, Naturerfahrung, Biodiversität sowie langfristige Kohlenstoffspeicherung für jede der zwei ausgewählten Flächen beurteilt (Abb. 7). Für die Ebene der Straßen werden lediglich die Ökosystemleistungen Biodiversität und langfristige Kohlenstoffspeicherung bewertet.

Das Versorgungspotential der jeweiligen Ökosystemleistung wird mit Hilfe eines Skalensystems visualisiert. Eine voll grün ausgefüllte Skala stellt hier ein ausgeschöpftes Potential der Bereitstellung der entsprechenden Ökosystemleistung auf der jeweiligen Fläche dar, eine leere graue Skala ein nicht vorhandenes Potential an Ökosystemleistungen. Im Beispiel (Abb. 7) sieht man, dass sich durch die Maßnahme (in diesem Fall Baumpflanzungen) die Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung deutlich erhöhen, während die kulturellen ÖSL kaum verändert sind.



Abb. 7: Darstellung der Bewertung von Ökosystemleistungen beispielhaft an Fläche M17 (links) und Fläche M37 (rechts)

### 4.2.2 Hintergrund zur Bewertung der Ökosystemleistungen

Unter der Ökosystemleistung „**Naturerfahrung**“ wird an dieser Stelle die Möglichkeit eines direkten Kontakts und damit Erlebens von Natur verstanden. Darunter zählen z. B. das Beobachten unterschiedlicher Tierarten, das Wahrnehmen naturtypischer Geräusche (z. B. Vogelstimmen, Insektenlaute) und diverser Pflanzenarten.

Der Fokus bei der Ökosystemleistung „**Erholung**“ liegt hier auf der psychischen Erholung im Sinne der Steigerung des Wohlbefindens durch den Aufenthalt im Freiraum ohne Berücksichtigung spezifischer Aktivitäten.

Im HRC-Hitzetool wurden lediglich die Einzelmaßnahmen, nicht jedoch die Ebene der Straßen bezüglich ihres Erholungswertes und der Naturerfahrung bewertet. Dies erschien aus Sicht der primären Nutzungsart sowie des Mangels an zu bewertender Vegetationsfläche von Straßenräumen nicht sinnvoll. Die zur Verfügung stehenden Modellflächen, welche die Grundlage für den Freiraumindikator darstellen, wurden gemäß einer Bewertungsmethodik von Brzoska et al. (2021) bezüglich der Ökosystemleistungen Naturerfahrung und Erholung beurteilt. Bei allen Flächen wurde von frei zugänglichen, wenig verschmutzten sowie intensiv gepflegten Flächen ausgegangen. Da der Bewertungsalgorithmus von Brzoska et al. (2021) nicht für die Bewertung von Kohlenstoffspeicherung und Biodiversität vorgesehen ist, wurde für diese beiden Ökosystemleistungen eine neue und einfache Bewertungsmethodik angewandt, welche sich auf das Vorhandensein von Vegetation auf einer Modellfläche stützt.

Bei der Bewertung der **langfristigen Kohlenstoffspeicherung** wurde der relative Anteil der Bäume innerhalb einer Modellfläche (im Tool rot umrandet) herangezogen. Grasflächen zählen hier nicht zu den langfristigen Kohlenstoffspeichern. Bei der Bewertung der langfristigen Kohlenstoffspeicherung auf der Ebene der Straßen wurde der relative Anteil der Bäume im Gehwegraum berücksichtigt. Somit wird eine maximale Kohlenstoffspeicherung einer Straßenfläche nur dann erreicht, wenn alle dafür vorgesehenen Bereiche mit Bäumen bepflanzt wären.

Die Bewertung der **Biodiversität** erfolgt ähnlich zur Abschätzung der langfristigen Kohlenstoffspeicherung. Hier wird der relative Anteil der Baumflächen und Grasflächen an der gesamten Modellfläche (im Tool rot umrandet) berücksichtigt. Dabei werden Bäume höher gewichtet als Grasflächen, da sie bezüglich der Biodiversität ein größeres Potential vorweisen können. Die Gewichtung der Ökosystemleistung orientiert sich an dieser Stelle an einem Bewertungsalgorithmus von Burkhard et al. (2012).

## 5 Haftungsausschluss

Das HRC-Hitzetool und die zugehörigen Daten und Bewertungen wurden mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden.

Die Autoren und Entwickler des HRC-Hitzetools übernehmen keinerlei Gewähr für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen. Haftungsansprüche gegen diese, welche sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Autoren keine Verantwortung für den Inhalt von fremden Webseiten übernehmen, die mittels Hyperlink erreichbar sind. Sollten Sie auf den Seiten, die mittels Link erreichbar sind, bedenkliche oder rechtswidrige Inhalte feststellen, sind die Autoren für einen entsprechenden Hinweis dankbar und werden das Angebot oder den Verweis auf dieses Angebot aufheben.

Deshalb distanzieren sich die Autoren hiermit ausdrücklich von allen Inhalten aller gelinkten /verknüpften Seiten. Für illegale, fehlerhafte oder unvollständige Inhalte und insbesondere für Schäden, die aus der Nutzung oder Nichtnutzung solcherart dargebotener Informationen entstehen, haftet allein der Anbieter der Seite, auf welche verwiesen wurde, nicht derjenige, der über Links auf die jeweilige Veröffentlichung lediglich verweist.

## 6 Literatur

- Błażejczyk, K.; Broede, P.; Fiala, D.; Havenith, G.; Holmér, I.; Jendritzky, G.; Kampmann, B.; Kunert, A.: Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, *Miscellanea Geogr*, 14, 91–102, <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2010-0009>, 2010
- Bröde, P.; Fiala, D.; Błażejczyk, K.; Holmér, I.; Jendritzky, G.; Kampmann, B.; Tinz, B.; Havenith, G.: Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Int J Biometeorol*, 56, 481–494, <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0454-1>, 2012
- Bruse, M.: Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-Met zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen., Universität Bochum, Bochum, <https://doi.org/10.23689/figeo-440>, 1999
- Bruse, M.; Fleer, H.: Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, *Environ Modell Softw*, 13, 373–384, [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(98\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(98)00042-5), 1998
- Brzoska, P.; Grunewald, K.; Bastian, O.: A multi-criteria analytical method to assess ecosystem services at urban site level, exemplified by two German city districts, *Ecosystem Services Volume 49*, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101268>, 2021
- Brzoska, P.; Fügener, T.; Moderow, U.; Ziemann, A.; Schünemann, C.; Westermann, J.; Grunewald, K.; Maul, L.: Towards a web tool for assessing the impact of climate change adaptation measures on heat stress at urban site level: *One Ecosystem* 7; e85559; <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e85559>, 2022
- Burkhard, B.; Kroll, F.; Nedkov, S.; Müller, F.: Mapping ecosystem service supply, demand and budgets; *Ecological Indicators* 21, 17–29, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>, 2012
- Di Napoli, C.; Pappenberger, F.; Cloke, H. L.: Verification of heat stress thresholds for a health-based heat-wave definition, *J Appl Meteorol Clim*, 58, 1177–1194, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0246.1>, 2019
- Henniger, S.; Weber, S.: *Stadtklima*, 1st ed., UTB, Stuttgart, 260 pp., [doi: 10.36198/9783838548494](https://doi.org/10.36198/9783838548494), 2019
- Kuttler, W.: *Stadtklima Teil 1: Grundzüge und Ursachen*, UWSF - Z Umweltchem Ökotox, 16, 187–199, <https://doi.org/10.1065/uwsf2004.03.078>, 2004a
- Kuttler, W.: *Stadtklima Teil 2: Phänomene und Wirkungen*, UWSF - Z Umweltchem Ökotox, 16, 263–274, <https://doi.org/10.1065/uwsf2004.08.083>, 2004b
- Jendritzky, G., Fiala, D., Havenith, G., Koppe, C., Laschweski, Staiger, H., and Tinz, B.: *Der thermische Klimaindex UTCI*, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, 2009
- Jendritzky, G., Dear, R. de, and Havenith, G.: UTCI—Why another thermal index?, *Int J Biometeorol*, 56, 421–428, <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0513-7>, 2012
- Umweltbundesamt, 2022: Indikator: heiße Tage, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-heisse-tage#welche-bedeutung-hat-der-indikator> (letzter Zugriff 26.01.2023)