

Methode 3D-TCS

Kurzbeschreibung 3D Thermal Comfort Sampling

Bei der 3D-Thermal Comfort Methode handelt es sich um eine *räumlich hochaufgelöste, mikroklimatische Untersuchungsmethode zur objektiven Bestimmung der physiologischen Hitzebelastung* im urbanen Raum. Der Physiker Daniel Rüdiger entwickelte die Methode im Rahmen eines internationalen Forschungsprojekts bei AEE – Institut für Nachhaltige Technologien. Der wissenschaftliche Hintergrund der Methode wurde im Rahmen von zwei peer-review Veröffentlichungen belegt. Die Veröffentlichungen sind frei verfügbar.

Das Verfahren ermöglicht es, die thermische Belastung auf den Körper mittels einer etablierten Methode zur Bestimmung der *gefühlten Temperatur (UTCI – universal thermal climate index)* zu ermitteln. Die bestimmte, physiologisch wahrgenommene Temperatur erlaubt eine objektive Beurteilung des auf den Körper einwirkenden Hitzestress. Üblicherweise wird der UTCI mittels einer vor-Ort Messung bestimmt, wobei ein Messbaum, der mit einer Reihe von Messvorrichtungen ausgestattet ist, zur Anwendung gelangt.

Diese Messung ist aufwändig und kann nur an wenigen, bestimmten Orten durchgeführt werden. Im Gegensatz dazu, beruht die Innovation der 3D-TCS Methode darauf, dass eine Auswertung mit hoher Auflösung für einen ausgedehnten innerstädtischen Bereich möglich ist. Somit ist es möglich eine sehr *aussagekräftige Kartierung* der Hitzebelastung für das untersuchte Gebiet anzufertigen. Neben der Karte für die gefühlte Temperatur, werden noch eine Reihe von weiteren Karten erstellt, in welchen die wichtigsten Einflussfaktoren dargestellt sind. Dies gestattet eine umfassende Beurteilung von Problemgebieten und die effektive Identifizierung von Optimierungsmaßnahmen.

Für das Verständnis des Verfahrens ist es wichtig, die für den *Hitzestress relevanten Faktoren* zu kennen. Dies ist einerseits die Lufttemperatur, die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit, welche uns naturgemäß direkt beeinflussen. Über direkten Hautkontakt, Schwitzen und Atmung stehen wir in unmittelbarem Wärmeaustausch mit dem Luftkörper. Darüber hinaus ist jedoch auch die Wirkung von solarer Einstrahlung und Wärmestrahlung auf den Körper von entscheidender Bedeutung.

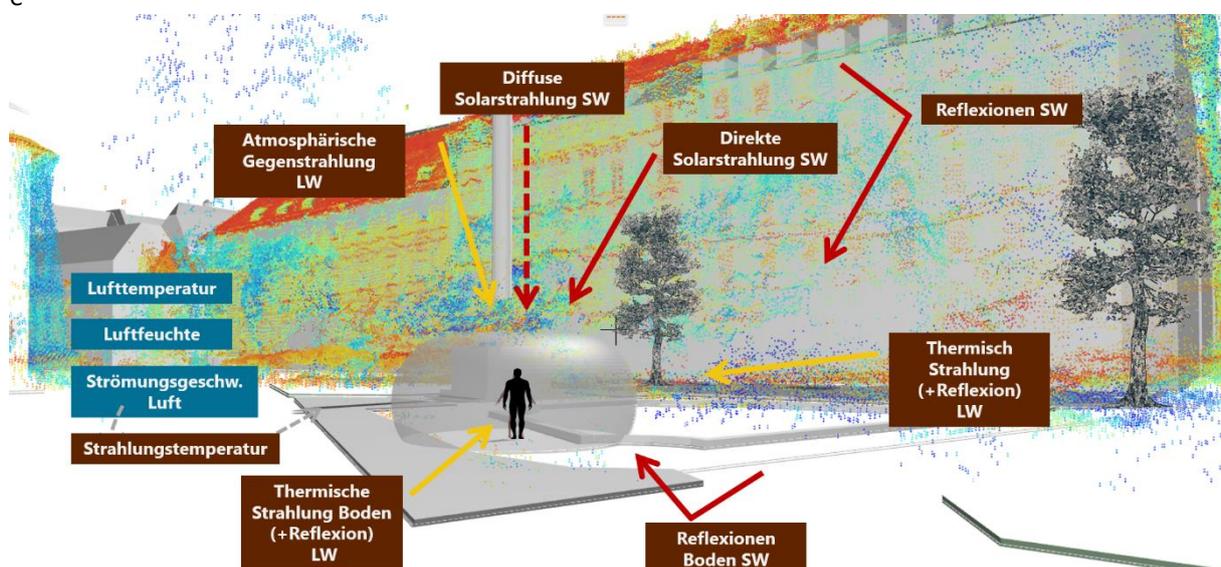
Die *solare Einstrahlung* (oder „kurzwellige Strahlung“) kann hierbei direkt oder indirekt auf uns einwirken. Die indirekte Einwirkung umfasst einerseits gestreutes Sonnenlicht, welches uns aus dem blauen Himmel oder Wolken erreicht, und andererseits reflektierte Sonneneinstrahlung, welche von Gebäuden, Vegetation oder Bodenflächen auf uns einwirkt. Die indirekte Einwirkung ist somit auch in von direkter Sonneneinstrahlung beschatteten Gebieten zu berücksichtigen.

Die *Wärmestrahlung* (oder „langwellige Strahlung“) berücksichtigt, dass jeder Körper, entsprechend seiner Temperatur, im Wärmeaustausch mit allen sichtbaren Objekten in seiner Umgebung steht. Sind die Oberflächen der umgebenden Objekte wärmer, so gewinnt man Energie (Bsp. Kachelofen), sind sie kühler, so verliert man Energie (Bsp. Fensterscheibe). Obwohl diese Effekte jedem intuitiv bekannt sind, wird die Bedeutung dieses Wärmeaustausches oft unterschätzt, bzw. ist die genaue Wirkungsweise meist wenig bekannt.

Es ist nun entscheidend zu verstehen, dass in einer überwärmten städtischen Umgebung *die solare Einstrahlung und die Wärmestrahlung die maßgeblichen Faktoren* sind. Die Luftbedingungen spielen eine untergeordnete Rolle, da diese nur sehr schwach variieren. Die an heißen Tagen immer auftretende Konvektion, also die Bewegung der Luft aufgrund von leichten Temperaturunterschieden, führt dazu, dass die Lufttemperatur und (absolute) Luftfeuchte in der Regel großräumig sehr konstant sind. So werden die Feuchte und Temperaturwerte der Luft an heißen Tagen im beschatteten Park ähnliche Werte aufweisen wie auf einem nahegelegenen, sonnenbeschienen versiegelten Platz. Ebenso spielt die Windgeschwindigkeit eine untergeordnete Rolle, da bei hohen Temperaturen kaum noch ein kühlender Effekt eintritt (anders im Winter. Entscheidend für die räumliche Änderung des Hitzestress ist deshalb vor allem die Strahlungseinwirkung. Genau diesen Zusammenhang berücksichtigt die 3D-TCS Methode. Hierbei werden die Luftparameter mit der klassischen Messmethode nur an einigen Punkten am Boden bestimmt. Die Strahlungsparameter mit Hilfe zweier hochauflösenden Spezialkameras sehr umfangreich untersucht. Um diese Aufnahmen sehr rasch und effizient durchführen zu können, werden die Kameras an einer professionellen Drohne befestigt. Die Drohnenbefliegungen dauern in der Regel nur ca. 10 bis 20 Minuten. Die kurze Messdauer gestattet es für ein ausgedehntes Gebiet quasi eine Momentaufnahme anzufertigen, was für die Interpretation wesentlich ist.

Schließlich werden in aufwändigen Prozessierungsschritten *alle Messungen in ein digitales, dreidimensionales Stadtmodell übertragen*. In diesem digitalen Modell ist es dann möglich, die Bestimmungen der gefühlten Temperatur an jedem beliebigen Ort durchzuführen. Die herkömmlichen, aufwändigen vor-Ort Messungen können also durch effiziente, *virtuelle Messungen* ersetzt werden. Diese virtuellen Messungen erlauben einerseits eine höherwertige Auswertung, da zum Beispiel die Anatomie des Menschen berücksichtigt wird. Andererseits können auf diese Weise auch quasi gleichzeitig und mit hoher räumlicher Auflösung Messungen im gesamten Bereich durchgeführt werden. Damit können sehr aussagekräftige Karten für die gefühlte Temperatur und alle wesentlichen Einflussfaktoren angefertigt werden. Dies gestattet eine effektive Bewertung und Optimierung der Hitzebelastung im urbanen Raum.

e



Weiterführende Links zu wissenschaftlichen Publikationen:

https://www.researchgate.net/publication/353287423_Spatially_Resolved_Analysis_of_Urban_Thermal_Environments_Based_on_a_Three-Dimensional_Sampling_Algorithm_and_UAV-Based_Radiometric_Measurements

<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/14/4847>

https://www.researchgate.net/publication/344709603_Dreidimensionale_Ermittlung_des_thermischen_Komforts_mit_detaillierter_Berechnung_der_Strahlungstemperaturen_auf_Basis_von_Messdaten_aus_Drohnenbefliegungen_Urban_thermal_comfort_maps_based_on_a_three

Beschreibung der wichtigsten Ausgabeparameter

UTCI [UTCI]

Universal Thermal Climate Index

Berücksichtigt die Physiologie und alle relevanten physikalischen Einflussfaktoren: Sonneneinstrahlung, diffuse Sonnenstrahlung, reflektierte Sonnenstrahlung, Wärmeabstrahlung aller Oberflächen, Wärmestrahlung des Himmels, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind

Lufttemperatur [TAirCels]

Dry bulb temperature

Gemessene Lufttemperatur in Grad Celsius.

Luftfeuchte [RH]

Relative Luftfeuchte

Gemessene relative Luftfeuchte (%). Ermittelt aus lokalen Bodenmessungen und Interpolation.

Windgeschwindigkeit [vwind]

Lokale Strömungsgeschwindigkeit der Luft

Mit einem omnidirektionalen Windmesser (Anemometer) gemessene Strömungsgeschwindigkeit der Luft in Meter pro Sekunde. Ermittelt aus lokalen Bodenmessungen und Interpolation.

Mittlere Strahlungstemperatur [TmrtC]

Mittlere Strahlungstemperatur unter Berücksichtigung aller relevanten Einstrahlungskomponenten

Auf eine Person einwirkende, lokale, mittlere Strahlungstemperatur. Berücksichtigt solare direkte, diffuse und solare Einstrahlung, sowie die Wärmeabstrahlung aller Oberflächen (Fassaden, Vegetation, Boden) und des Himmels.

Mittlere Strahlungstemperatur Wärmestrahlung [TmrtC_Lw]

Mittlere Strahlungstemperatur, nur Wärmestrahlung (langwellige Strahlung)

Auf eine Person einwirkende, lokale, mittlere Strahlungstemperatur. Berücksichtigt ausschließlich die Wärmeabstrahlung aller Oberflächen (Fassaden, Vegetation, Boden) und des Himmels und KEINE Solarstrahlung.

Mittlere Strahlungstemperatur Wärmestrahlung für Teilflächen

Bodenflächen, Fassadenflächen, Vegetationsflächen, Himmel
[TLWsurfH, TLWsurfV, TLWsurfVEG, TLWsky]

Mittlere Strahlungstemperatur, nur Wärmestrahlung (langwellige Strahlung) für die Komponenten Boden, Fassaden, Vegetation, Himmel

Temperatur der abgestrahlten Wärmestrahlung (auch Schwarzkörpertemperatur oder Brightness-Temperatur). Berücksichtigt ausschließlich die Wärmeabstrahlung kategorisiert nach dem entsprechenden Typ (Boden, Fassaden, Vegetation, Himmel).

Einstrahlzahlen für Teilflächen

Bodenflächen, Fassadenflächen, Vegetationsflächen, Himmel
[SWweightSurfH, SWweightSurfV, SWweightSurfVEG, SWweightSky]

Einstrahlzahlen für die Komponenten Boden, Fassaden, Vegetation, Himmel

Relativer Anteil der sichtbaren Teilfläche aller Flächen, physiologisch gewichtet. Gibt an wie dominant eine Fläche in der gesamten Umgebung vertreten ist, kategorisiert nach dem entsprechenden Typ (Boden, Fassaden, Vegetation, Himmel). Anteile summieren sich immer auf 1.0 (=100%). Beispiel flache Wüste: 0.5 Boden und 0.5 Himmel.