

Hintergrundkarte – ausführliche Methodenbeschreibung

Räumliche Auflösung:	5 m x 5 m
Projektion:	UTM32 (EPSG 25832)
Karteninhalt:	Relativer Unterschied in der gefühlten Temperatur (UTCI), während der Tagstunden an einem sonnigen Sommertag

Methodenbeschreibung:

Auf Basis einer Referenzsituation, welche einen sonnigen Sommertag in Thüringen beschreibt, wird die gefühlte Temperatur berechnet. Ausgehend von diesen Referenzwerten wird unter Berücksichtigung der Geodaten (Höhenlage; Exposition (Hangausrichtung); Waldfläche; Versiegelungsgrad; durchschnittliche, topografieabhängige Windgeschwindigkeit) ein modifizierter UTCI ($UTCI_{mod}$) berechnet. In der Karte dargestellt wird als Endprodukt die Differenz zur Referenz ($UTCI_{mod} - UTCI_{Ref}$).

Vorgabe der Referenzsituation:

Lufttemperatur ($T_{Luft,Ref}$):	25 °C
Mittlere Strahlungstemperatur ($T_{mrt,Ref}$):	40 °C
Relative Luftfeuchtigkeit (RF_{Ref}):	50 %
Windgeschwindigkeit (v_{Ref}):	1 m·s ⁻¹
Daraus ergibt sich	
$UTCI_{Ref}$:	28.9 °C

Die Referenzhöhe (h_{Ref}) wurde mit 300 m ü. NN (~ mittlere Höhenlage Thüringen) vorgegeben.

Alle Berechnungen erfolgten mit der Software R. Für die UTCI-Berechnung wurde das Paket „comf“ genutzt.

Modifizierte Lufttemperatur ($T_{Luft,mod}$):

Die Lufttemperatur ist von den genannten Einflussfaktoren maßgeblich durch die Höhenlage und den Versiegelungsgrad geprägt. Bezüglich der Abkühlung mit zunehmender Höhe wurde der vertikale Temperaturgradient von $-0.65 \text{ K} \cdot (100 \text{ m})^{-1}$ der Standardatmosphäre verwendet. Der Versiegelungsgrad wurde nach seiner potentiellen Klimawirkung zur „umgebenden versiegelten Fläche“ ($umgvF$, Einheit: m^2) umgewandelt. Diese berechnet sich aus dem Flächeninhalt des Kreises mit dem Radius bis zum nahegelegensten unversiegelten Pixel (0 % Versiegelungsgrad) multipliziert mit dem durchschnittlichen Versiegelungsgrad innerhalb dieser Kreisfläche. Dies ermöglicht eine Unterscheidung zwischen der Klimawirkung von z. B. Dorf und Stadt. Anhand der Luftmessstationen des TLUBNs wurde eine Korrelation zwischen der höhenkorrigierten Tagesmitteltemperatur an heißen Tagen ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) und der $umgvF$ hergestellt. Die Korrelation ist aufgrund der vielen weiteren Einflussfaktoren verhältnismäßig schwach, ergibt aber eine realistische, maximale, versiegelungsgradbedingte Überwärmung von ca. 5 K in den Thüringer Städten.

Unter Berücksichtigung von Höhenlage und Versiegelungsgrad ergibt sich die modifizierte Lufttemperatur ($T_{\text{Luft,mod}}$) wie folgt:

$$T_{\text{Luft,mod}} = T_{\text{Luft,Ref}} + [-0.0065 \cdot (\text{Höhenlage (m ü. NN)} - h_{\text{Ref}})] + [8.3341 \cdot 10^{-6} \cdot \text{umvF (m}^2\text{)}]$$

Modifizierte, mittlere Strahlungstemperatur ($T_{\text{mrt,mod}}$):

Beeinflusst wird die mittlere Strahlungstemperatur von Schattenwurf (Wald) und Sonneneinfallswinkel (Exposition). Meist besteht eine Kombination aus beiden Einflussgrößen. Die Referenz $T_{\text{mrt,Ref}}$ von 40 °C wird als nicht beschatteter Standort in der vollen Sonne interpretiert. Bei voller Beschattung, z. B. im Wald, gilt $T_{\text{Luft,Ref}} = T_{\text{mrt,mod}} = 25$ °C. Für einen beschatteten Südhang und einen unbeschatteten Nordhang wird der Wert dazwischen angesetzt ($T_{\text{mrt,mod}} = 32.5$ °C). Alle anderen möglichen Kombinationen zwischen diesen vier Eckpunkten ($T_{\text{mrt,Sonne}} = 40$ °C, $T_{\text{mrt,Schatten}} = 25$ °C, $T_{\text{mrt,Südhang,Schatten}} = T_{\text{mrt,Nordhang,Sonne}} = 32.5$ °C) werden Cosinus gewichtet skaliert. Treffen mehrere Kriterien für ein und denselben Standort zu, wird das Minimum der sich ergebenden T_{mrt} gewählt. Die modifizierte, mittlere Strahlungstemperatur ($T_{\text{mrt,mod}}$) ergibt sich daraus wie folgt:

$$T_{\text{mrt,mod}} = \text{MINIMUM} \{ \begin{array}{l} T_{\text{mrt,Ref}} \\ (0.5 - 0.5 \cdot \text{COS}(\text{Exposition (}^\circ\text{)} \cdot 2\pi \cdot 360^{-1})) \cdot (40 - 32.5) + 32.5, \\ (0.5 - 0.5 \cdot \text{COS}(\text{Exposition nur Waldfläche (}^\circ\text{)} \cdot 2\pi \cdot 360^{-1})) \cdot (32.5 - 25) + 25 \end{array} \}$$

Modifizierte Windgeschwindigkeit (v_{mod}):

Für die Windgeschwindigkeit wurden die interpolierten Rasterdaten vom Deutschen Wetterdienst (DWD) verwendet: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/wind_parameters/resol_200x200/ (Heruntergeladen im Jan. 2026)

Modifizierte, relative Luftfeuchtigkeit (RF_{mod}):

Die relative Luftfeuchtigkeit ist von vielen kleinräumigen Faktoren abhängig, die mit einer Geodatenanalyse nicht abgebildet werden können. Der Einfluss der Lufttemperatur auf die relative Luftfeuchtigkeit ist jedoch besser greifbar, sodass für die RF_{mod} die $T_{\text{Luft,mod}}$ herangezogen werden kann, weil bei Parameter nicht unabhängig voneinander sind. Die Voraussetzung dafür ist die Annahme einer konstanten spezifischen Luftfeuchtigkeit q (Massenanteil des gasförmigen Wassers innerhalb einer bestimmten Masse feuchter Luft). Aus den Formeln für die spezifische Luftfeuchtigkeit

$$q \approx 0.622 \cdot e \cdot p^{-1},$$

der barometrischen Höhenformel für den Luftdruck p (hPa) nach Standardatmosphäre

$$p = 1013.25 \text{ hPa} \cdot (1 - 0.0065 \text{ K m}^{-1} \cdot \text{Höhenlage} \cdot (288.15 \text{ K})^{-1})^{5.255}$$

(https://de.wikipedia.org/wiki/Barometrische_H%C3%B6henformel)

und der Magnus-Formel für den Sättigungsdampfdruck über Wasser (E_w)

$$E_w = 6.112 \text{ hPa} \cdot \exp\{ (17.62 \cdot T(^{\circ}\text{C})) \cdot (243.12 + T(^{\circ}\text{C}))^{-1} \}$$

(<https://de.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4ttigungsdampfdruck#Magnus-Formel>)

ergibt sich unter der Annahme konstanter spezifischer Luftfeuchtigkeit $q_{\text{Ref}} = q_{\text{mod}} = \text{konstant}$, folgende Gleichung für die modifizierte, relative Luftfeuchtigkeit:

$$\begin{aligned} RL_{\text{mod}} &= RL_{\text{Ref}} \cdot p_{\text{mod}} \cdot p_{\text{Ref}}^{-1} \cdot E_{w,\text{Ref}} \cdot E_{w,\text{mod}}^{-1} = \\ &= RL_{\text{Ref}} \cdot [(288.15 \text{ K} - 0.0065 \text{ K m}^{-1} \cdot h_{\text{mod}}) \cdot (288.15 \text{ K} - 0.0065 \text{ K m}^{-1} \cdot h_{\text{Ref}})^{-1}]^{5.255} \cdot \\ &\quad \cdot \exp\{ (17.62 \cdot T_{\text{Luft,Ref}}) \cdot (243.12 + T_{\text{Luft,Ref}})^{-1} \} \cdot \exp\{ (17.62 \cdot T_{\text{Luft,mod}}) \cdot (243.12 + T_{\text{Luft,mod}})^{-1} \}^{-1} \end{aligned}$$