



## Symposium

Vom Orbit zur Entscheidung: Satellitenfernerkundung in der Landesverwaltung

## CoolTown -

Erste Ergebnisse zur Wärmebelastung aus Satellitendatenzeitreihen in Hessens Gemeinden

Prof. Dr. Christopher Conrad, **M.Sc. Dennis Sakretz**

Fachbereich Geoökologie, Institut für Geowissenschaften und Geographie,  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg



02. Oktober 2025, EUMETSAT Darmstadt

MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT  
HALLE-WITTENBERG





# Folgen von UHI

- Hitzestress
- verkürzte Regenerationsphasen
- hitzebedingte Exzess-Mortalität (Sterberate) und -Morbidity (Krankheitshäufigkeit) (Heaviside et al., 2017)
- Betroffene: Hochaltrige, Schwangere, Kleinkinder
- Hitzewellen können diese Folgen intensivieren (Simpson et al., 2025)

REKORDSOMMER 2024 [faz.net](https://www.faz.net)

Mehr als 62.700 Hitzetote in

Et KLIMA UND GESUNDHEIT [spektrum.de](https://www.spektrum.de)  
 22.09.21 **2024 gab es mehr als 62000**

**Hitzetote in Europa**  
 Folgen der Erderwärmung

Im R **Rekordsommer 2024 forderte mehr als** [spiegel.de](https://www.spiegel.de)

nature medicine

Article

<https://doi.org/10.1038/s41591-025-03954-7>

**Heat-related mortality in Europe during 2024 and health emergency forecasting to reduce preventable deaths**

Received: 10 February 2025

Accepted: 12 August 2025

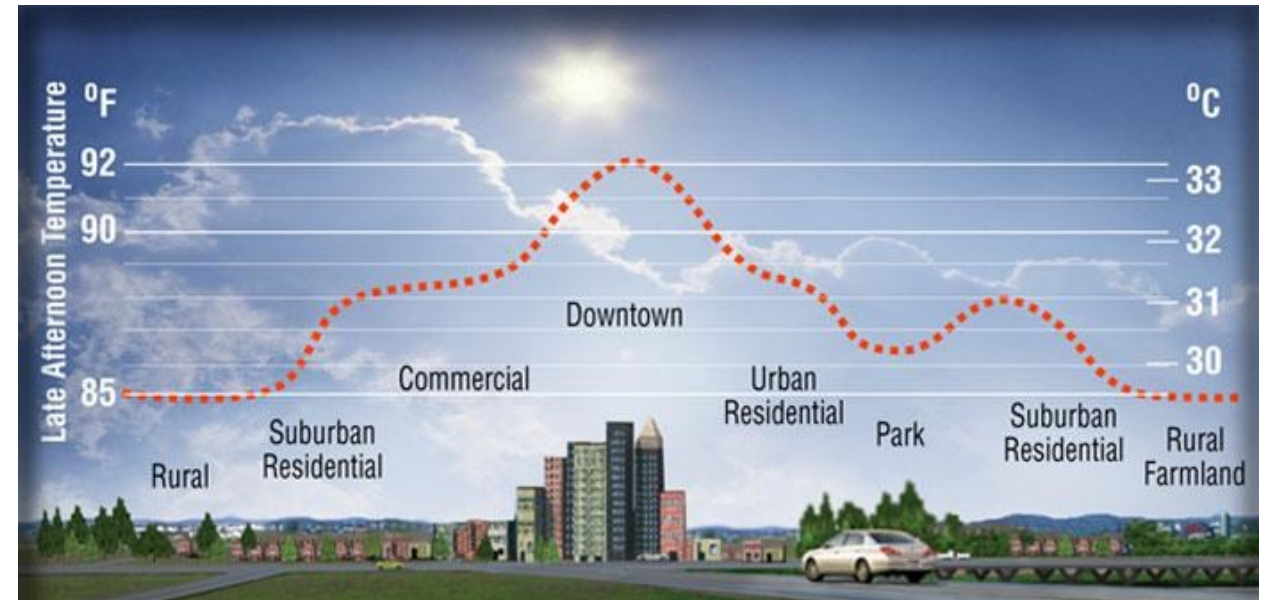
Tomáš Janoš<sup>1,2</sup>✉, Marcos Quijal-Zamorano<sup>1</sup>, Natalia Shartova<sup>1</sup>,  
 Elisa Gallo<sup>1</sup>, Raúl Fernando Méndez Turrubiates<sup>1</sup>,  
 Nadia Denisse Beltrán Barrón<sup>1</sup>, Fabien Peyrusse<sup>1</sup> & Joan Ballester<sup>1</sup>

# Mitigation & Adaption, Urbane Grünflächen

Planer und Entscheidungsträger stehen vor der **Herausforderung**, die **Wärme** in ihren Städten zu **reduzieren** und somit die **Resilienz** der Bevölkerung zu **erhöhen**.

## Urbane Grünflächen

- Reduzieren Lufttemperaturen durch Evapotranspiration (Kühlungspotenzial)
- Entstehung von Urban Cool Islands
- **Aber:** Grünflächen sind anfällig für Dürreereignisse
  - Schädigung der Flächen führt zu Reduzierung ihrer Kühlungeffekte



[heatisland.lbl.gov](http://heatisland.lbl.gov)

## ➤ Informationsbedarf:

- Wo genau sind die Städte wie stark überwärmt?
- Wie stark sind urbane Grünflächen von Dürre- und Hitze betroffen?

# Fernerkundungsservice

## Identifizierung von Cold und Hot Spots

- Lufttemperaturmessungen mit herkömmlichen Thermometern ineffizient



## Satellitendaten

### Vorteil:

- Erfassung verschiedener Parameter über große Untersuchungsgebiete
- Vergleichbarkeit unterschiedlicher Flächen
- kostenlos

### Nachteile:

- Durch raum-zeitliche Auflösung begrenzt
- Datenverlust durch Wolkenbelastung
- Interpretation?

# Projektübersicht

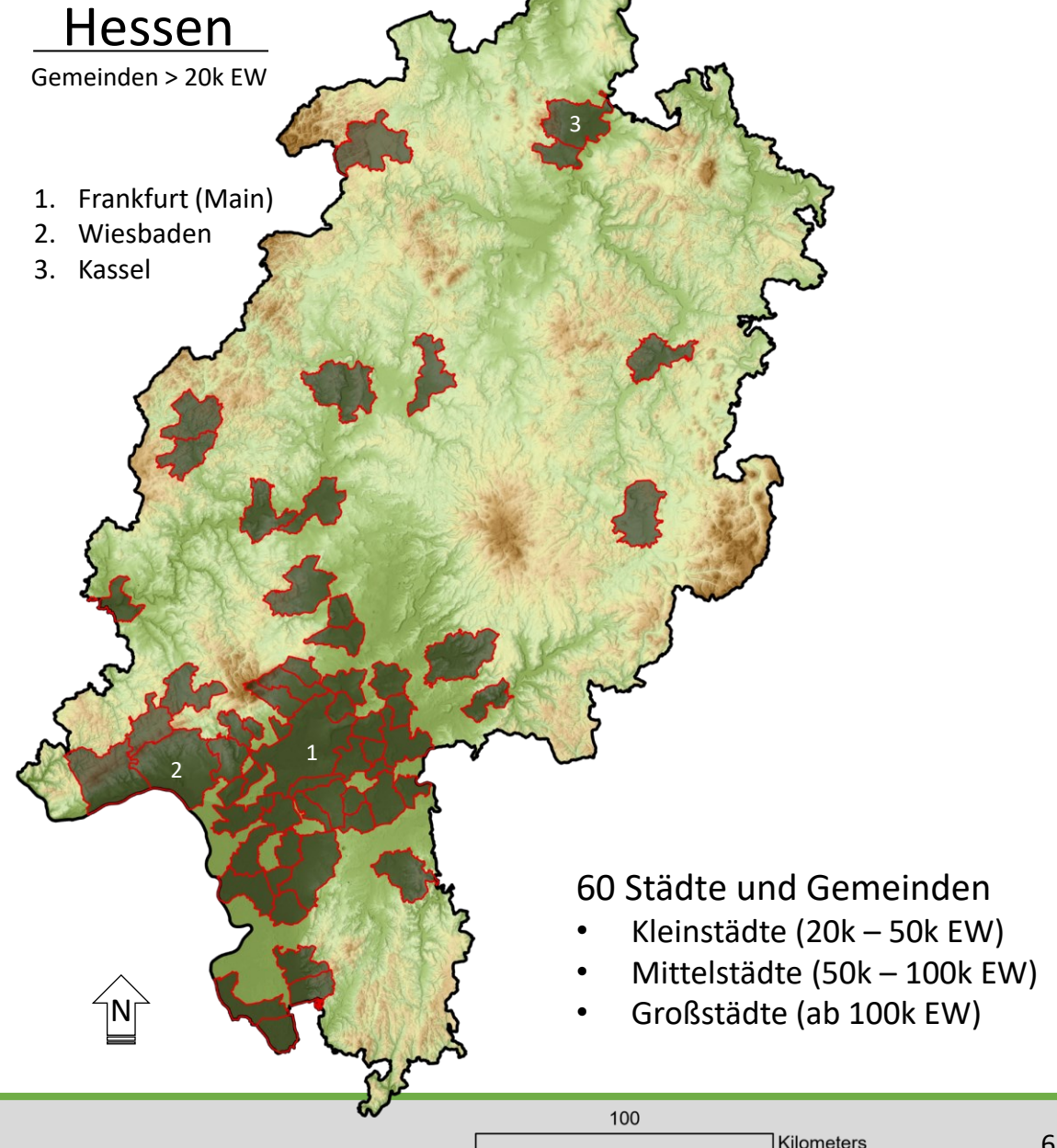
Entwicklung eines Fernerkundungsservices als Beitrag zur Mitigation von Wärmeinseleffekten und Adaption von urbanen Grünflächen an Dürre- und Hitzestress in den Gemeinden Hessens

## Projektträger

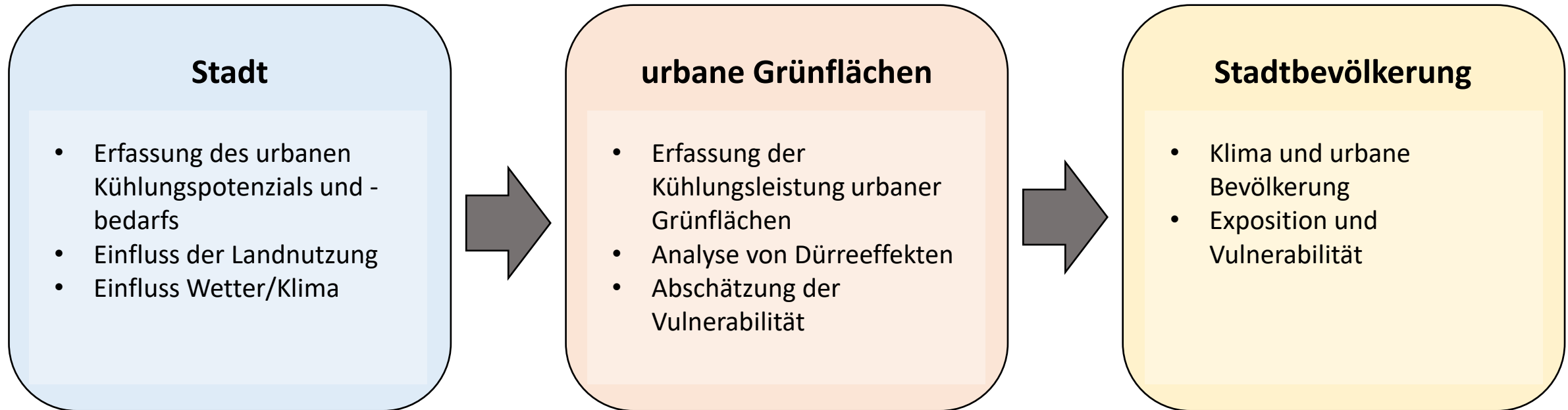
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Fachzentrum Klimawandel und Anpassung
- Zeitraum: Dezember 2023 – Oktober 2026

## Ziel

- Schaffung **kartographischer Informationsgrundlagen** für Entscheidungsträger zur **Erhöhung der Resilienz** von Grünflächen und sensiblen Bevölkerungsgruppen gegenüber Trocken- und Hitzeextrema



# Projektstruktur



## Daten

- Landsat, Sentinel, ECOSTRESS
- meteorologische & Klimaprojektionsdaten
- urban-morphologische & sozio-ökonomische Daten

## Methoden

- Satellitenfernerkundung & Geodatenintegration
- KI- & Machine Learning-Methoden

# Praxisbezug

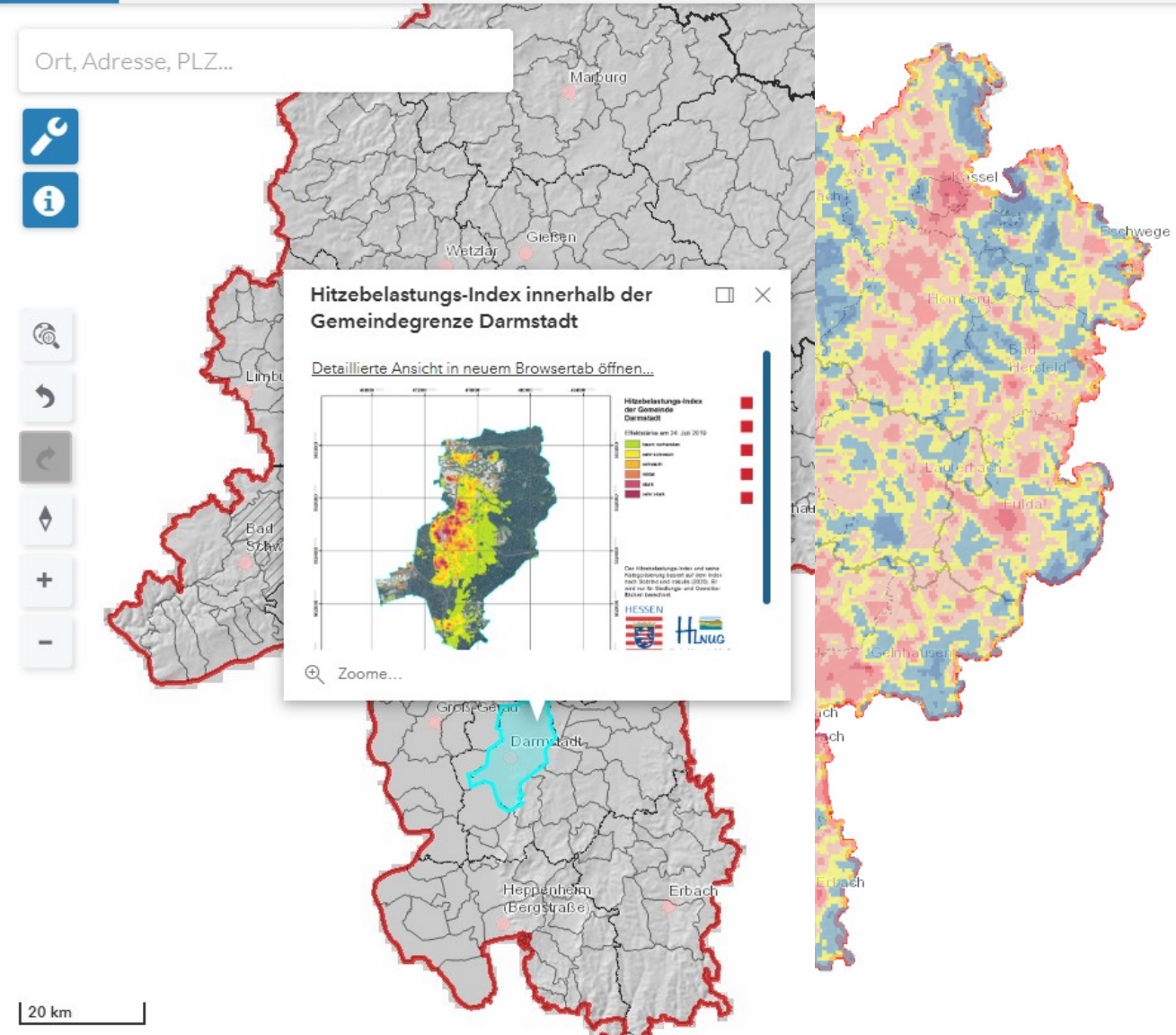
## Hitzeviewer Hessen

- <https://umweltdaten.hessen.de>
- Informationen zur Wärmeverteilung und Wärmebelastung
- Hitzebelastungs-Index
  - mittlere Hitzebelastung (Sommer 2001 – 2020)
  - einzelner Zeitschritt (24.07.2019)

## ➤ Urban Thermal Field Variance Index

(Sobrino & Irakulis, 2020)

HLNUG Hitzeviewer Hessen



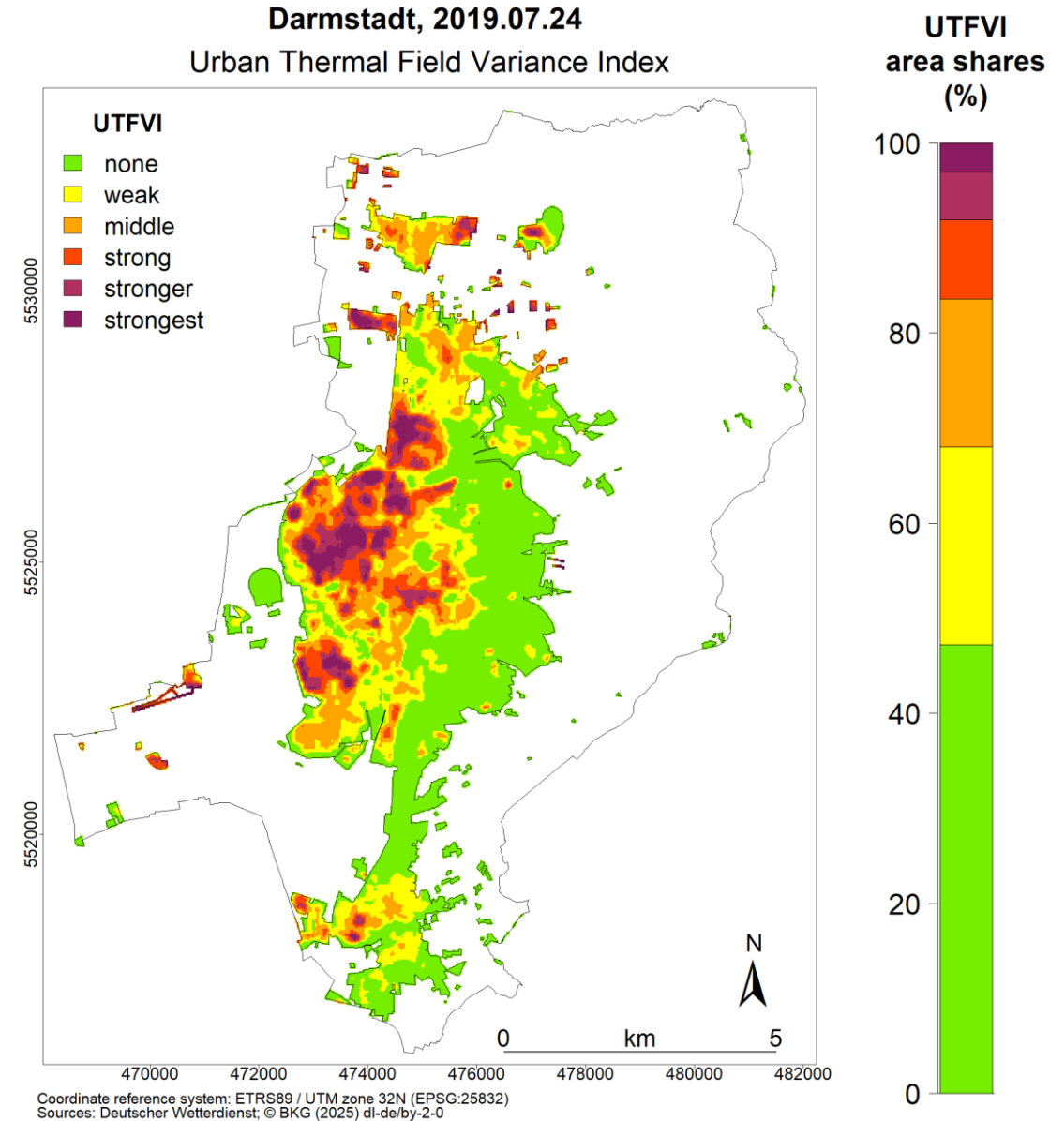
# Urban Thermal Field Variance Index

- erstmals verwendet von Zhang et al. (2006)
- Indikator für bzw. Methode zur Quantifizierung der thermischen Belastung
- Normalisierung der LST

$$UTFVI = \frac{LST_i - LST_{mean}}{LST_{mean}}$$

| Schwellenwert | UTFVI-Kategorie |
|---------------|-----------------|
| < 0.000       | None            |
| 0.000 – 0.005 | Weak            |
| 0.005 – 0.010 | Middle          |
| 0.010 – 0.015 | Strong          |
| 0.015 – 0.020 | Stronger        |
| > 0.020       | Strongest       |

- häufig angewendet, um die Auswirkungen von städtischem **Wachstum und Verdichtung** auf die **zeitliche Entwicklung von städtischem Hitzestress** aufzuzeigen



# Weather patterns modulate Urban Thermal Field Variance Index variability: evidence from long-term Landsat time series for temperate municipalities in Germany

Dennis Sakretz<sup>1</sup>, Moritz Koza<sup>1</sup>, Carina Kübert-Flock<sup>2</sup>, Harald Hoeckner<sup>2</sup>, Christopher Conrad<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geoecology, Institute of Geosciences and Geography, Martin Luther University Halle-Wittenberg, 06120 Halle (Saale), Germany

<sup>2</sup> Hessian Agency for Nature Conservation, Environment and Geology, 65203 Wiesbaden, Germany

eingereicht

## Hintergrund

### Bisherige UTFVI-Studien:

- verwendeten nur wenige Szenen über große Zeiträume (z.B. 4 Szenen in 30 Jahren)
- konzentrierten sich auf Großstädte (> 500 k Einwohner)
- berücksichtigten keine Wettereffekte



### Forschungslücken

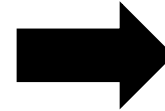
- Langfristige UTFVI-Zeitreihen
- kleine bis mittelgroße Gemeinden
- Einfluss von Witterung auf den UTFVI

## Fragen

- Reicht ein einzelner Zeitpunkt aus, um die Hitzebelastung einer Stadt zuverlässig zu beurteilen?
- Beeinflusst die Witterung die Verteilung der einzelnen UTFVI-Kategorien?

# Ziele & Methoden

1) Statistische Beschreibung der **langfristigen Variabilität** der **UTFVI-Verteilungen**



## UTFVI-Zeitserie

- Berechnung von Flächenanteile
- deskriptiven Statistiken (Variationskoeffizient)

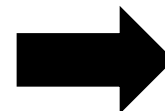
2) Analyse der **innersaisonalen Vergleichbarkeit von UTFVI-Verteilungen** bei unterschiedlichen LST-Niveaus



## UTFVI-Variabilität

- Visueller und statistische Vergleiche (Friedman & Wilcoxon Tests) einer kühlen, mittleren und heißen Sommerszene  
(Friedman, 1939, 1937; Wilcoxon, 1945)

3) Analyse des **Einflusses der vorherrschenden Wettermuster** auf die spezifischen **UTFVI-Verteilungen**

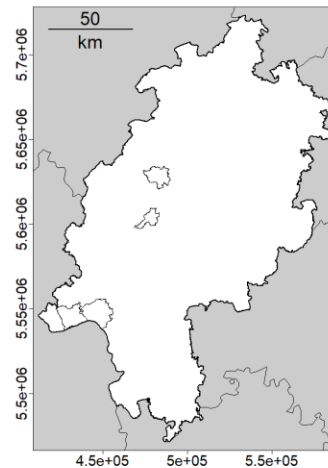
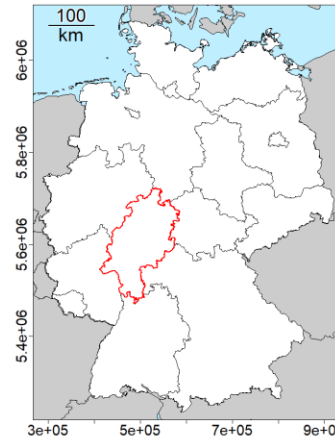


## Zusammenhang zwischen UTFVI-Verteilungen und Witterung

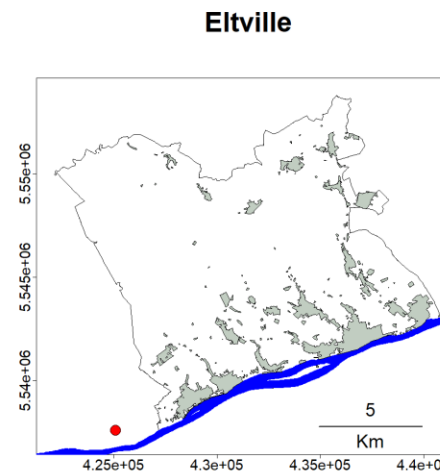
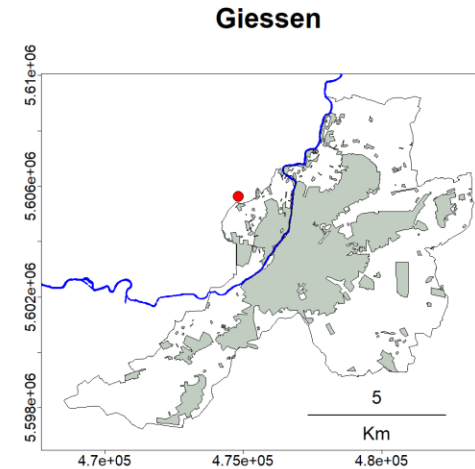
- Berechnung von Witterungszeiträumen
  - 1, 2, 3, 7, 14, 21 Tage vor Landsat-Aufnahme
- Korrelationsmatrix  
(Spearman's Rangkorrelationskoeffizient)

# Daten & Studiengebiet

- 4 Hessische Städte und Gemeinden
  - 40 ~ 300 k Einwohner
- ATKIS Basis-DLM
  - Urbane Flächen
- Satellitendaten (Landsat)
  - Level 2, Auflösung: 30 m
  - LST-Zeitserie, 1984 – 2024
  - wolkenbereinigt
- Meteorologische Daten (DWD)
  - Lufttemperatur, Niederschlag, Relative Luftfeuchte
  - Witterung (Aggregationszeiträume)

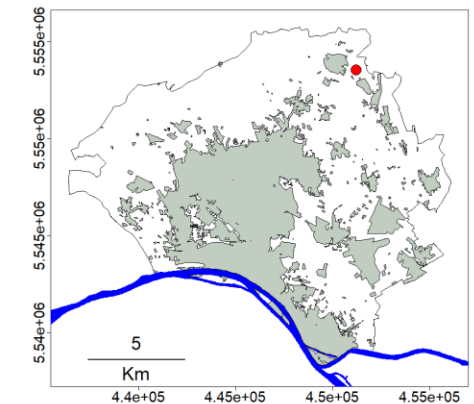
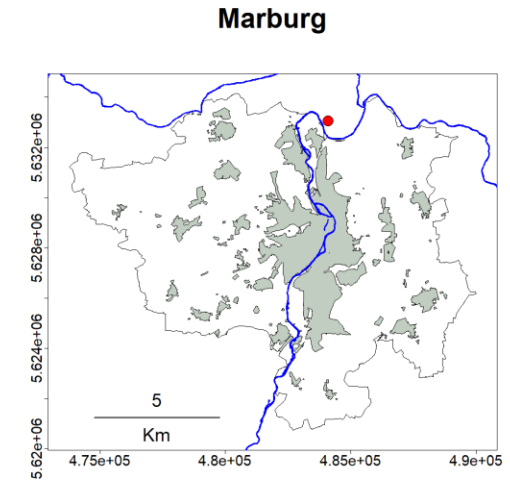


□ Hesse



□ Municipality  
■ Urban area

— River  
• Weather station



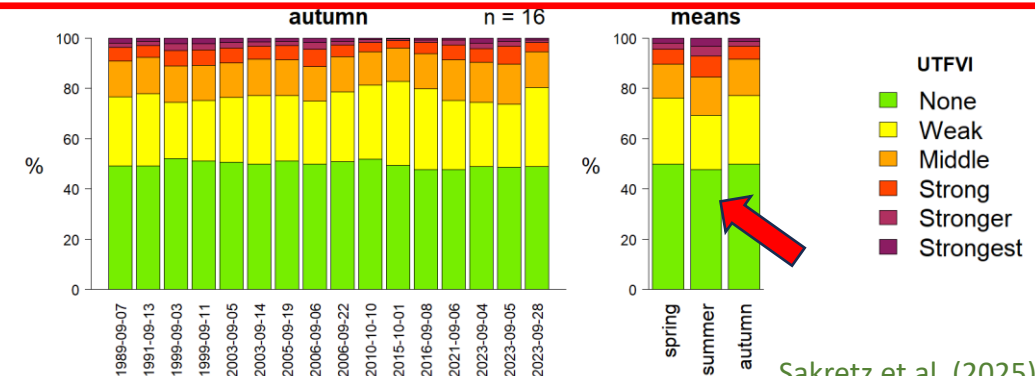
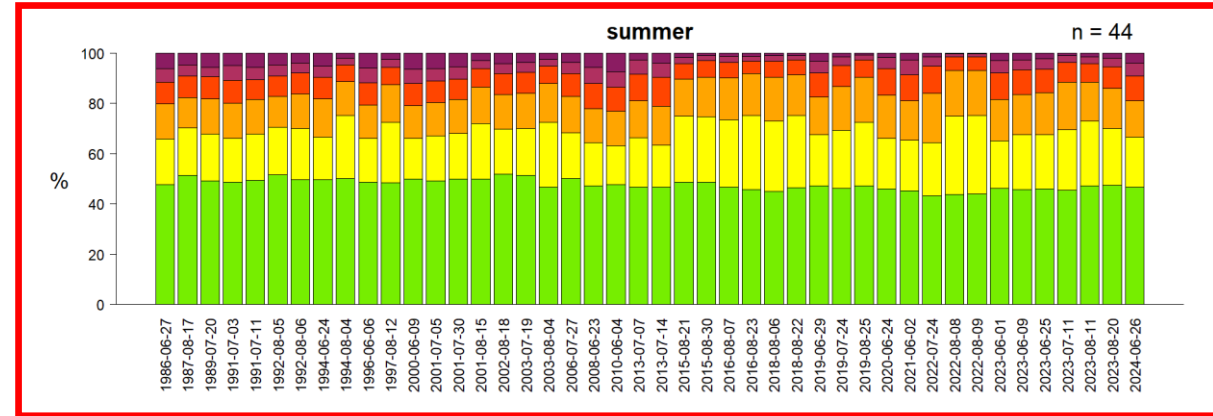
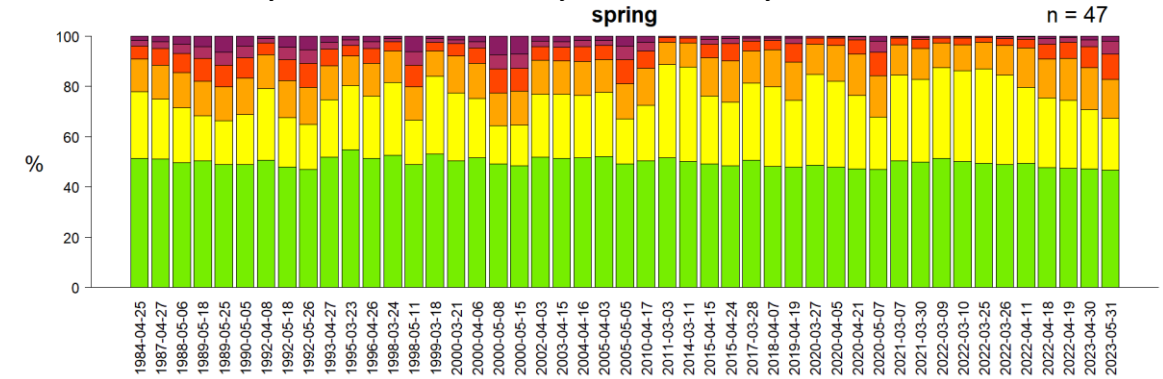
Coordinate reference system:  
ETRS89 / UTM zone 32N (EPSG:25832)  
Sources:  
Deutscher Wetterdienst; © BKG (2025) dl-de/by-2-0

# 1) Langfristige Variabilität

## Ergebnis

- Starke Streuungen in Weak und Strong bis Strongest
- Frühling und Sommer weisen eine größere Streuung auf als der Herbst
- Im Vergleich zu Frühling und Herbst zeigt der Sommerdurchschnitt höhere Anteile von Strong bis Strongest und geringere Anteile von Weak

Gießen, UTFVI-Zeitreihe, 1984-2024, nach Jahreszeiten



Tab 2: Variationskoeffizient der UTFVI Kategorien.

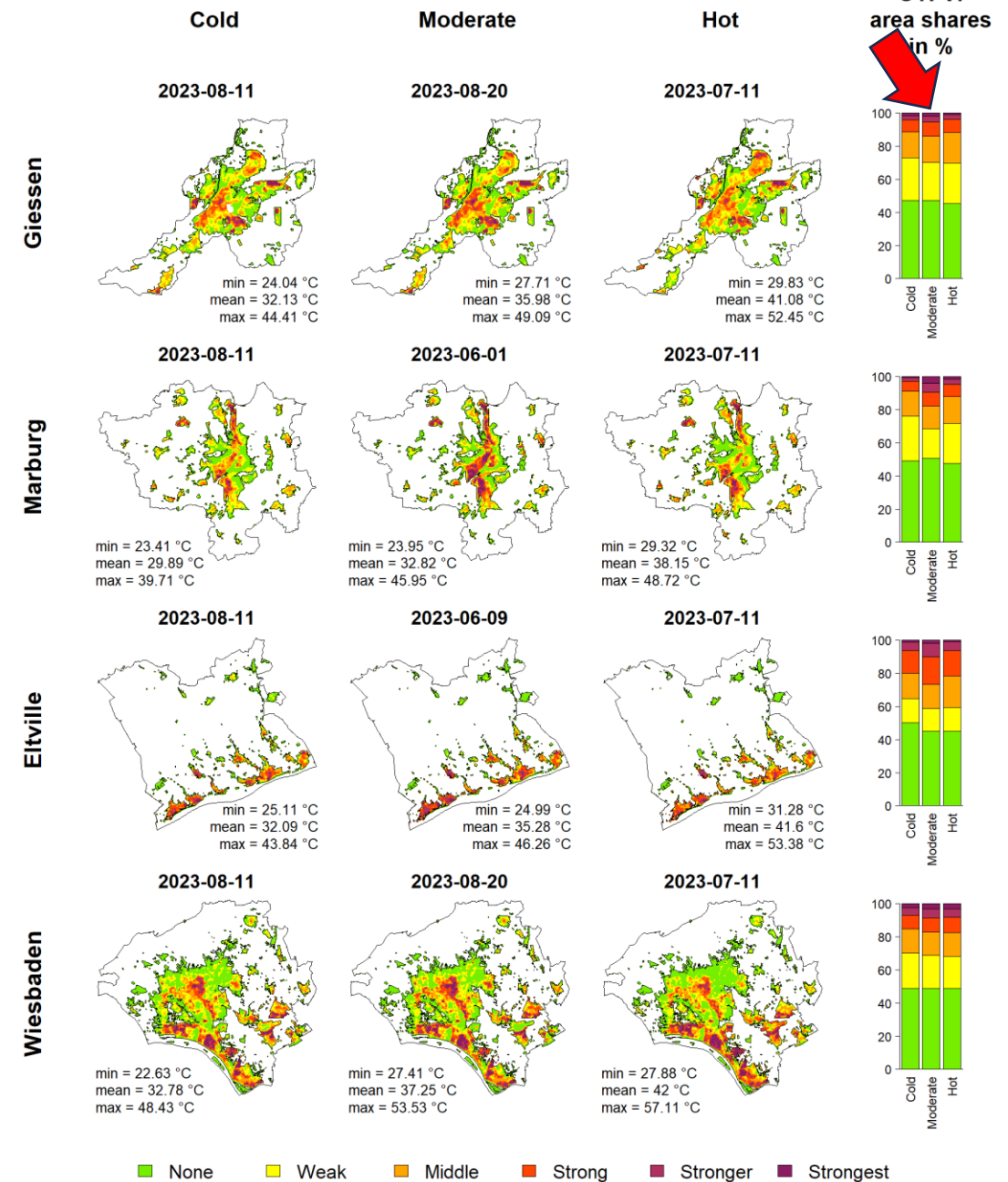
| Season | None | Weak  | Middle | Strong | Stronger | Strongest |
|--------|------|-------|--------|--------|----------|-----------|
| spring | 3.68 | 23.85 | 14.32  | 42.78  | 67.47    | 95.12     |
| summer | 4.53 | 19.69 | 11.75  | 19.52  | 36.29    | 58.23     |
| autumn | 2.73 | 11.03 | 6.13   | 22.14  | 32.04    | 43.57     |

Sakretz et al. (2025) (eingereicht)

# 2) Innersaisonale Vergleichbarkeit

## Ergebnis

- Optisch nur schwache Unterschiede erkennbar
- Flächenanteile zeigen aber z.T. stärkere Veränderungen
  - Moderate Szene zeigt höhere Anteile der hohen Kategorien
- Statistische Tests: signifikante Unterschiede ( $p < 0.01$ ; Ausnahme: Wiesbaden Moderate-Hot)
- Unterschiede sind in den verschiedenen Gemeinden unterschiedlich stark ausgeprägt

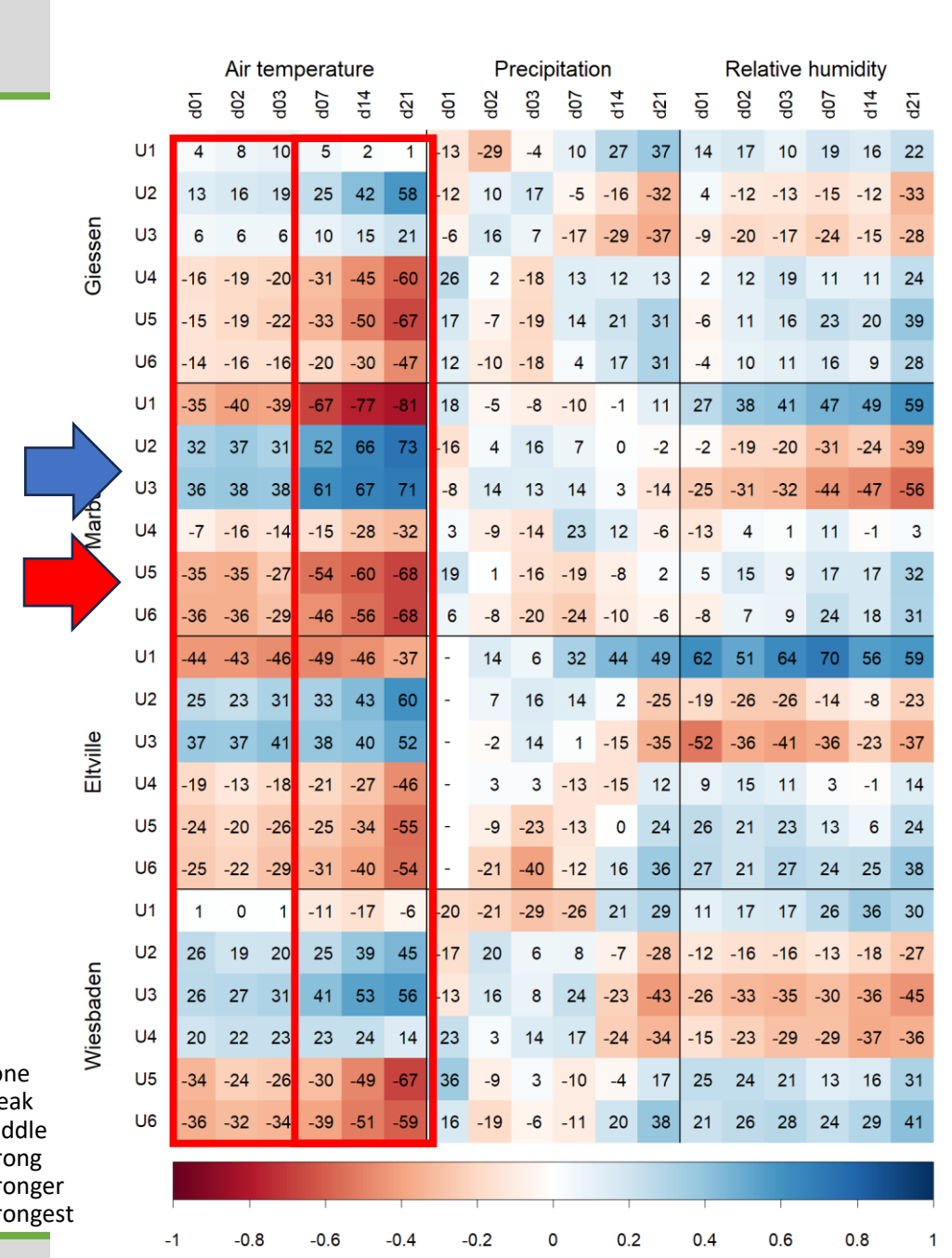


# 3) Witterungseinflüsse

## Ergebnis

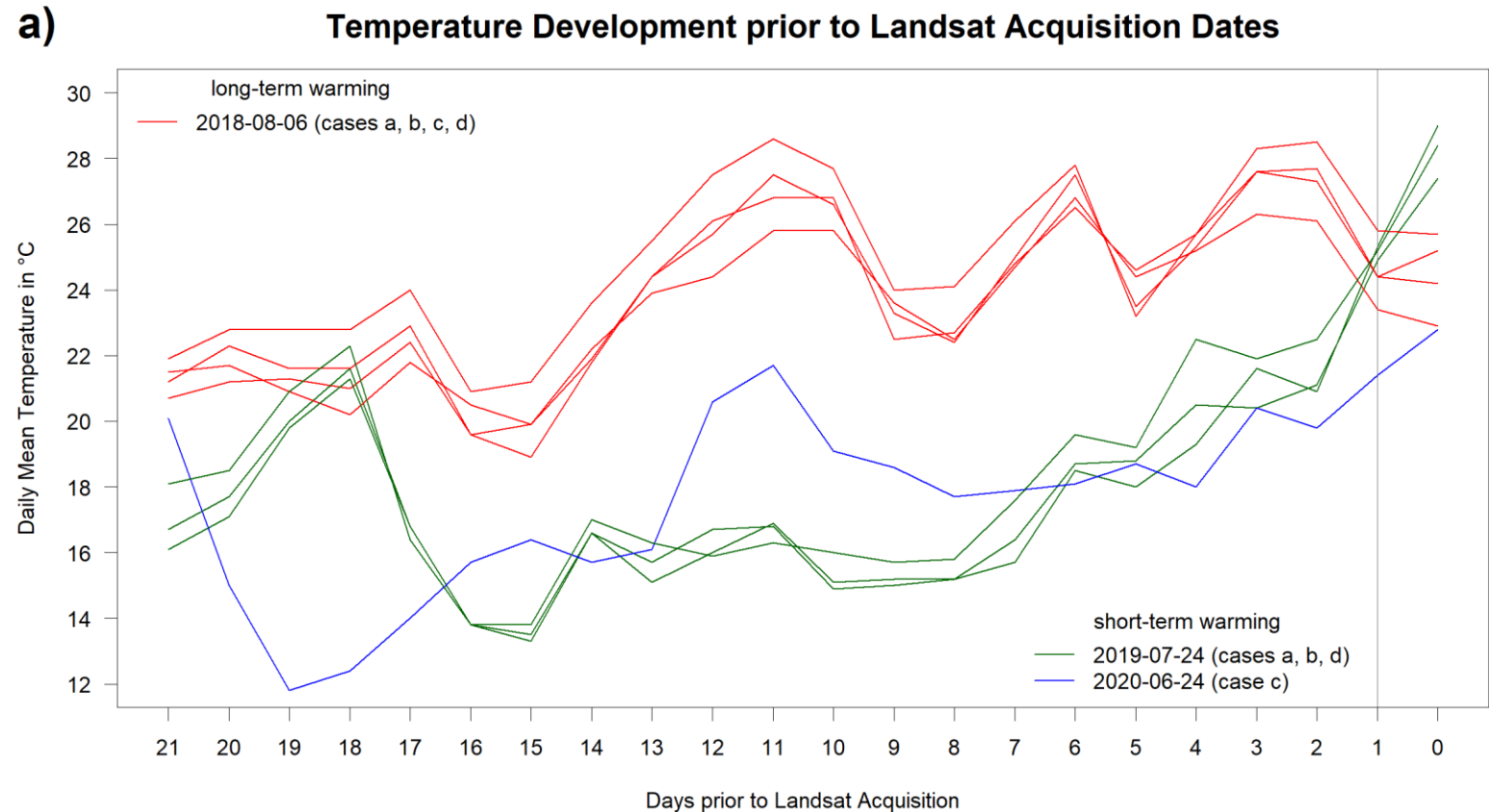
- Temperatur mit größtem Einfluss, deutliche langfristige Effekte
- Kategorien None und Stronger bis Strongest entgegengesetzt zu Weak und Middle
- Negative Abhängigkeit hoher UTFVI-Kategorien (und None) von Lufttemperatur nimmt mit längerem Witterungszeitraum zu
  - d.h. je länger eine hohe Lufttemperatur vorherrscht, desto geringer ist die Ausprägung von höheren UTFVI-Kategorien

**UTFVI**  
 U1 = None  
 U2 = Weak  
 U3 = Middle  
 U4 = Strong  
 U5 = Stronger  
 U6 = Strongest



### 3) Witterungseinflüsse

- **Lange Wärmephase**
  - Hohe mittlere Lufttemperatur über längeren Witterungszeitraum
- **Kurze Wärmephase**
  - Schnelle Erwärmung über kürzeren Witterungszeitraum



### 3) Witterungseinflüsse

- **Lange Wärmephase**

- Hohe mittlere Lufttemperatur über längeren Witterungszeitraum
- Häufung von Pixeln in Kategorie Weak und Middle

- **Kurze Wärmephase**

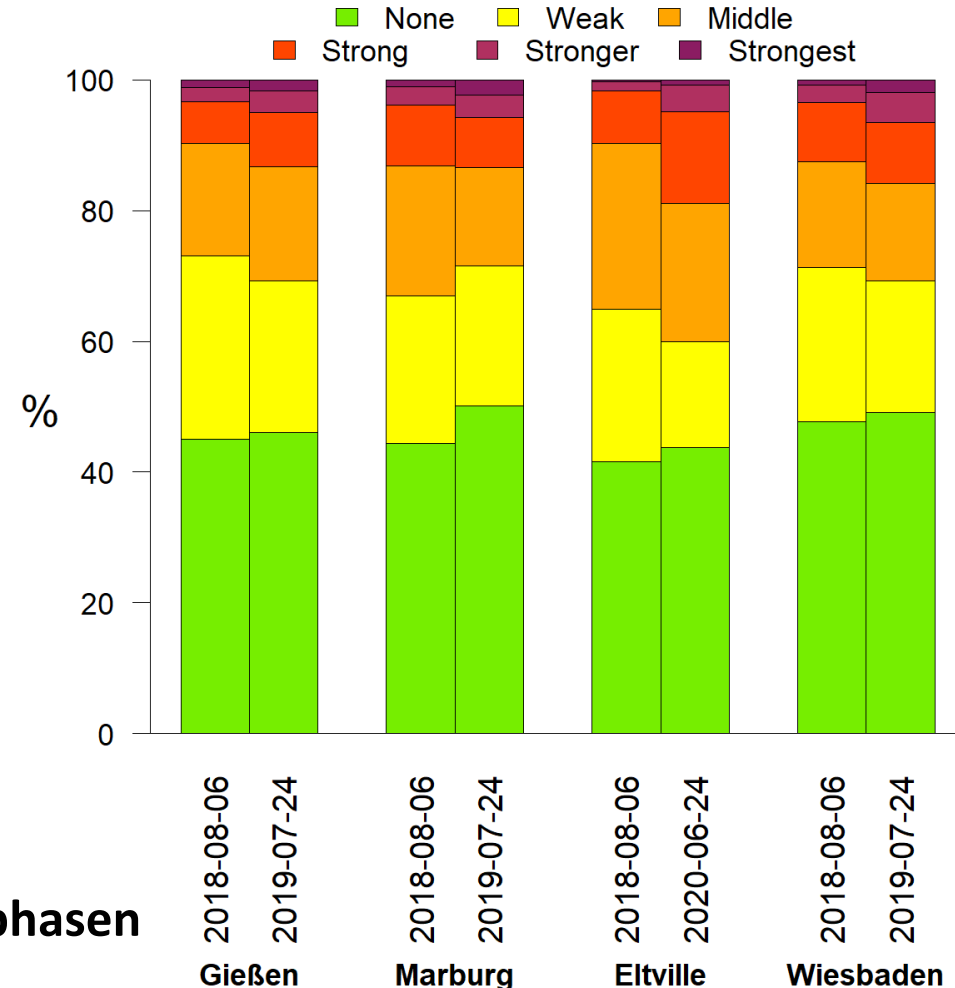
- Schnelle Erwärmung über kürzeren Witterungszeitraum
- Häufung von Pixeln in Kategorie None und Stronger bis Strongest

- **Homogenisierungseffekt der LST bei längeren Wärmephasen**  
(Pixel verteilen sich enger um den Mittelwert)

b)

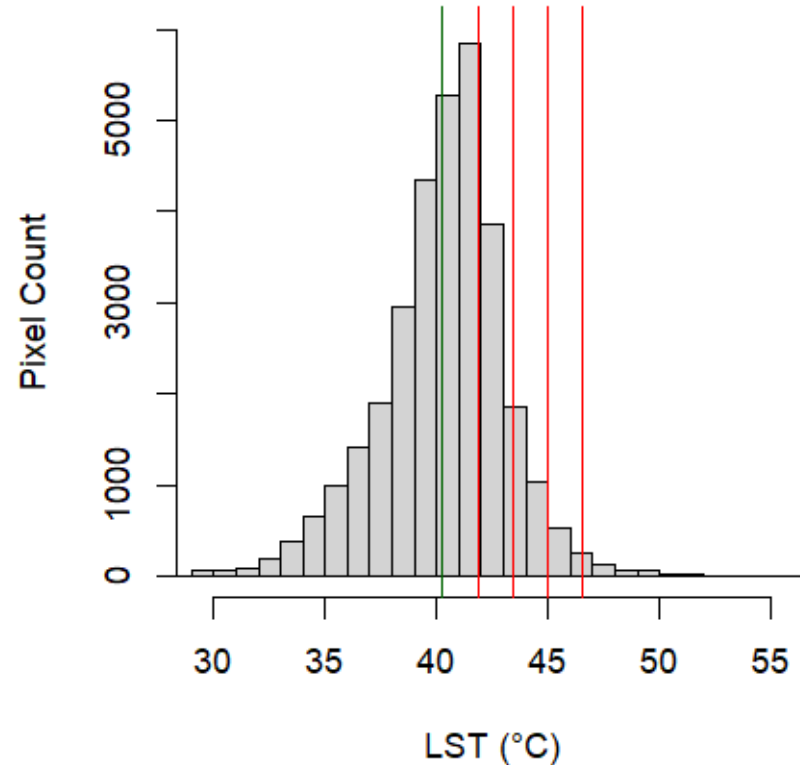
#### UTFVI area shares

during long-term (left) and short-term warming (right)

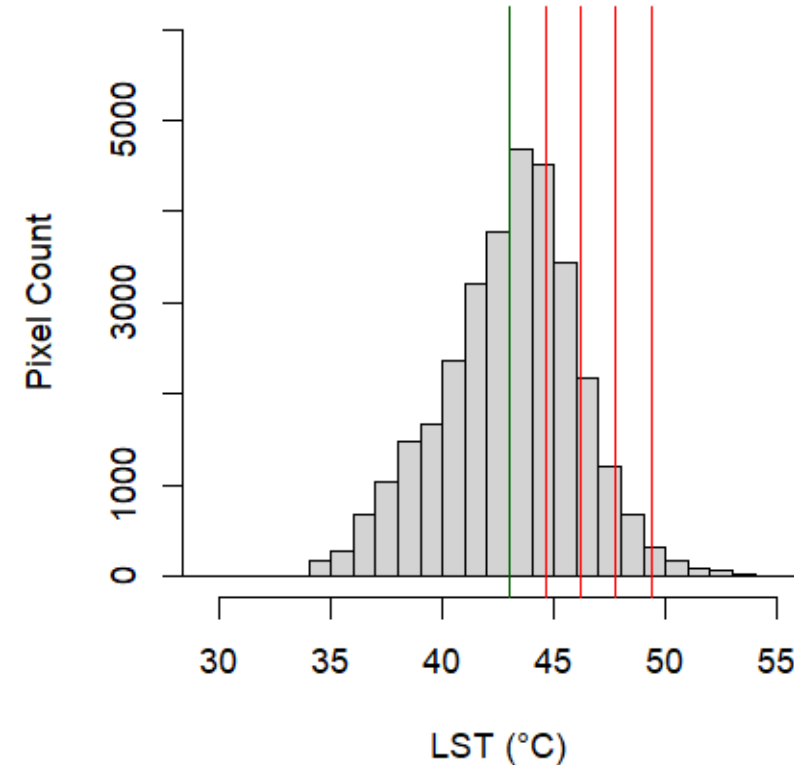


### 3) Witterungseinflüsse

Lange Wärmephase  
2018-06-08



Kurze Wärmephase  
2019-07-24



- **Homogenisierungseffekt der LST bei längeren Wärmephasen**  
(Pixel verteilen sich enger um den Mittelwert)

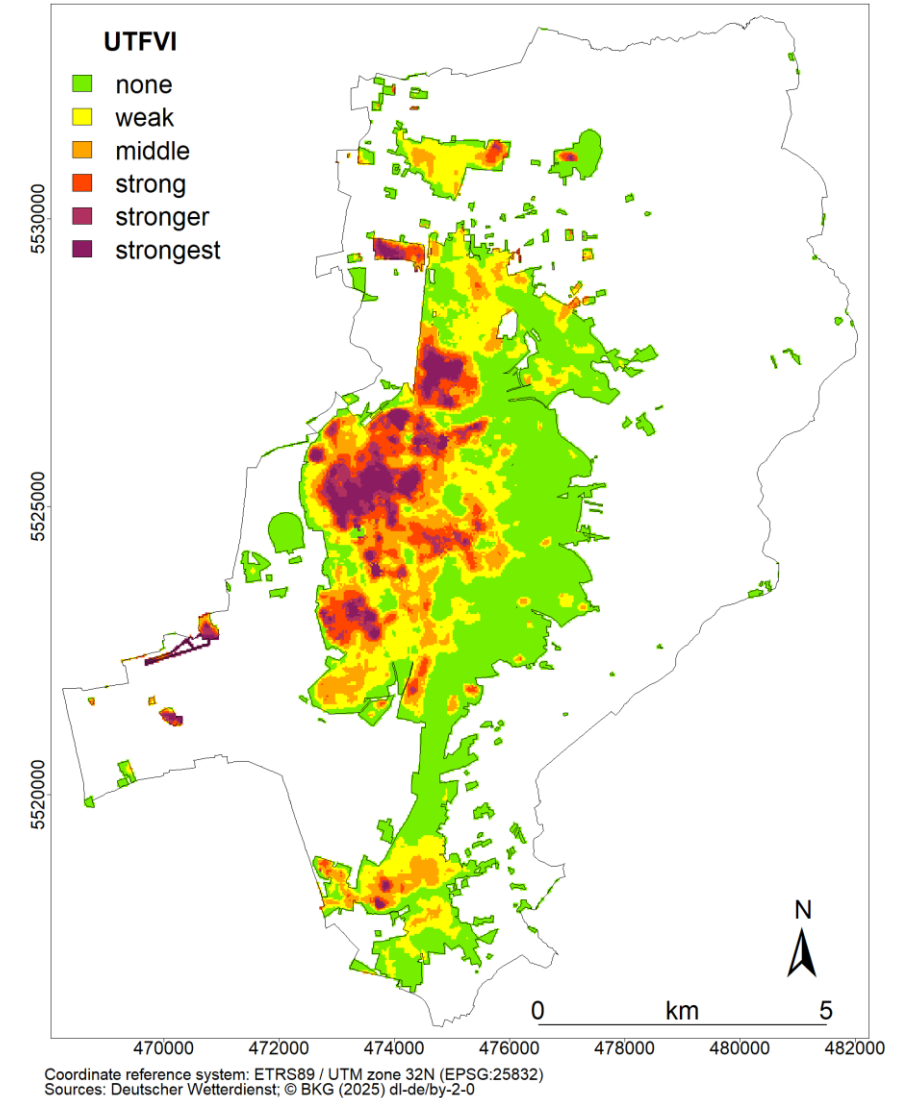
# Take-away-messages

- Signifikante Unterschiede zwischen Szenen
  - einzelne UTFVI-Szene nicht repräsentativ für allgemeine Wärmebelastung einer Stadt
- Temperatur hat größten Einfluss auf UTFVI-Verteilung
- Lange Wärmephasen führen zur Homogenisierung der LST
- Deutliche Unterschiede im Gemeindevergleich

## Empfehlung für Praxis

- Verwendung des langzeitlichen **Modus**  
Modus = am häufigsten vorkommende Kategorie (hier pro Pixel)
- Niederschwellige Ersteinschätzung der städtischen Wärmeverteilung
- **WICHTIG:** LST nur Indiz für potenziellen Wärmestress

Darmstadt, UTFVI-Modus  
1986 - 2024, Sommermonate



# Urbane Grünflächen

## Charakterisierung

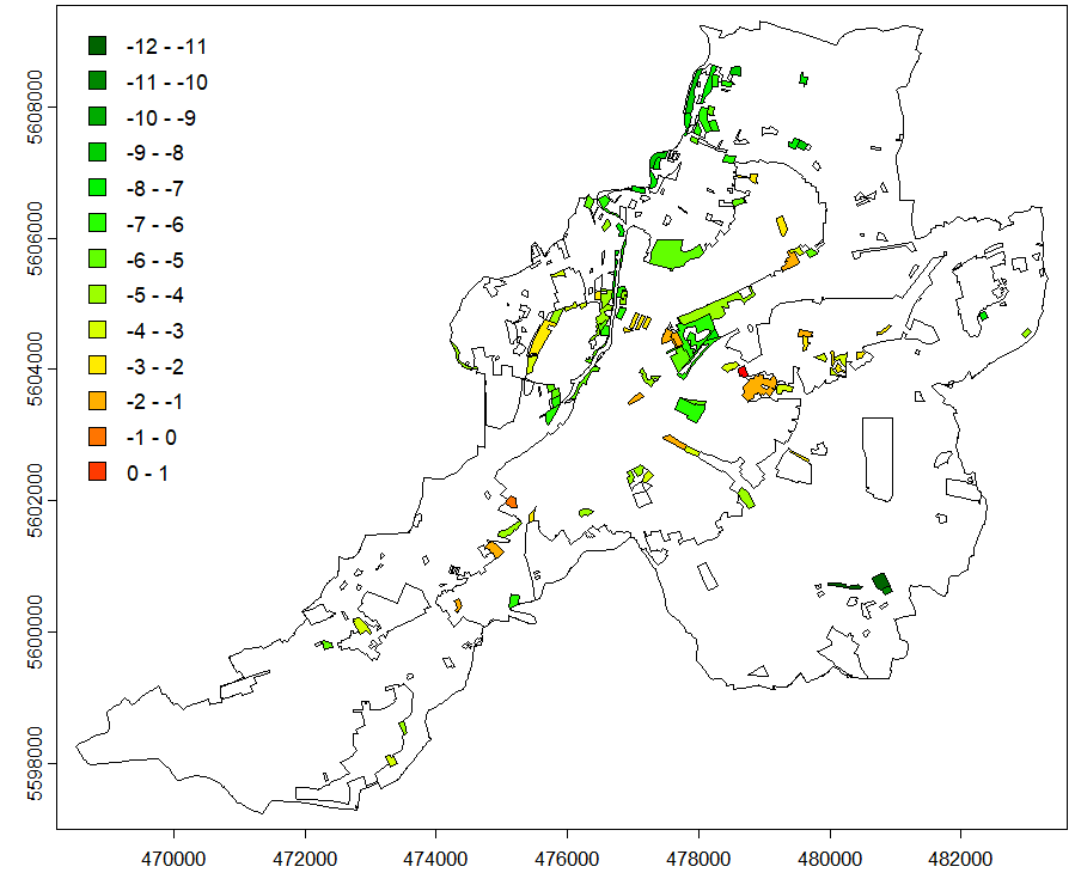
- nach unterschiedlichen Eigenschaften
  - Größe, Form
  - Vegetationsindizes (z.B. NDVI)
  - Baumbestand

## Cooling Effect Intensity

- Differenz zwischen der LST einer urbanen Grünfläche und ihrer Umgebung
  - Stadtfläche
  - 500 m Buffer oder Bufferringe (alle 30 m)
  - ländliche Umgebung
- Analyse von Witterungseinflüssen

## Cooling Effect Intensity der Grünflächen Gießens Sommer 1984 - 2024

Bezug: Urbane Referenzfläche nach ATKIS Basis-DLM (LST\_UGS - LST\_Stadt)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

---



CoolTown

## Literatur

- Janoš, T., Quijal-Zamorano, M., Shartova, N. *et al.* Heat-related mortality in Europe during 2024 and health emergency forecasting to reduce preventable deaths. *Nat Med* (2025).  
<https://doi.org/10.1038/s41591-025-03954-7>
- Sakretz et al. (2025): Weather patterns modulate Urban Thermal Field Variance Index variability: evidence from long-term Landsat time series for temperate municipalities in Germany (submitted)
- Simpson C.H., Brousse, O., Heaviside, C., 2024. Estimated mortality attributable to the urban heat island during the record-breaking 2022 heatwave in London *Environ. Res. Lett.* 19 094047 (2024).  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad6c65>
- Sobrino, J.A., Irakulis, I., 2020. A Methodology for Comparing the Surface Urban Heat Island in Selected Urban Agglomerations Around the World from Sentinel-3 SLSTR Data. *Remote Sens.* 12, 2052.  
<https://doi.org/10.3390/rs12122052>
- Zhang, Y., Yu, T., Gu, X., 2006. Land Surface Temperature Retrieval from CBERS-02 IRMSS Thermal Infrared Data and Its Applications in Quantitative Analysis of Urban Heat Island Effect.