



# **HERAUSFORDERUNGEN DER HOCHAUFLÖSENDE MODELLIERUNG VON HITZESTRESS UND POTENTIELLER ADAPTIONSMASSNAHMEN IN AFRIKA**

*Fellowbericht*

**Alexander Zipf**

DOI: 10.11588/fmk.2022.2.92724

**MARSILIUS-  
KOLLEG**

2021 / 2022



# HERAUSFORDERUNGEN DER HOCHAUFLÖSENDEN MODELLIERUNG VON HITZE- STRESS UND POTENTIELLER ADAPTIONSMASSNAHMEN IN AFRIKA

Die aufgrund des Klimawandels steigenden Temperaturen bedrohen das Leben auf der ganzen Welt und beeinträchtigen Gesundheit, Wohlbefinden und Produktivität. Dies gilt insbesondere für Afrika südlich der Sahara, wo Klimamodelle eine erhebliche Belastung durch gefährliche Hitze für das gesamte Gebiet vorhersagen. Afrika verstädert rasch, wird in den nächsten Jahrzehnten voraussichtlich erheblich wachsen, und seine städtischen Gebiete sind durch Klimawandel und Hitze stark gefährdet.<sup>1/2</sup> Die Anfälligkeit für Hitze wird durch hohe Armutsraten noch verstärkt.

Bei der Messung der Hitzeexposition und der physiologischen Hitzebelastung ist die Temperatur ein gemeinsamer Faktor, aber auch andere Faktoren wie der physiologische Zustand und die relative Luftfeuchtigkeit spielen eine wichtige Rolle. Die Kernfrage meines Teilprojektes lautete deshalb, welche Datenquellen zur besseren Modellierung der Hitzebelastung und potenzieller Adaptionsmaßnahmen der betroffenen Bevölkerung (z. B. schattenspendende Infrastruktur) für unterschiedliche räumliche Maßstabsebenen bereits zur Verfügung stehen (bzw. denkbar oder wünschenswert sind), und welche Daten durch Modellierung und Vorhersagen potenziell generiert werden können. Hierzu wurden im Marsilius-Projekt der Stand der Forschung analysiert und potenzielle Schritte hin zu einem größeren Projektantrag in diese Richtung erarbeitet.

## RATIONALE, EMPIRISCHE UND DIREKTE INDIZES VON HITZESTRESS

Um die von Individuen wahrgenommene physiologische Hitzebelastung mit dem Hitzestress, dem diese Individuen ausgesetzt sind, in Beziehung zu setzen, haben sich viele Studien auf die Schätzung von Hitzestressindizes konzentriert. Diese können grob in drei Gruppen unterteilt werden: rationale Indizes, empirische Indizes und direkte Indizes.<sup>3</sup>

Direkte Indizes beruhen auf der Messung grundlegender Umweltvariablen und umfassen beispielsweise die effektive Temperatur (ET), die Feuchtkugeltemperatur (WBGT) und den Unbehaglichkeitsindex (DI).<sup>4</sup> Entsprechende Arbeiten beinhalten oft die Interaktion des globalen Klimawandels mit lokalen Mikroklimata, heterogenen Landschaften und Urbanisierung.<sup>5</sup> Zu interessanten Anwendungen direkter Indizes gehört die Abschätzung der Herausforderungen für Kleinbauern durch Hitze.<sup>6</sup> In urbanen Gebieten liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Modellierung städtischer Wärmeinseln (*Urban Heat Island [UHI]*).

Eine Herausforderung für all diese Forschungsbemühungen ist die Verfügbarkeit von Klimadaten auf verschiedenen Ebenen. Klimadaten liegen oft nur auf lokaler (gebunden an einzelne Messstandorte) und grob skaliert globaler Ebene vor, mit deutlichen Defiziten bzgl. der Auflösung für globale Daten. Daher werden verschiedene Methoden angewandt, um Klimadaten zu interpolieren oder herunterzurechnen. Die Berücksichtigung von Mikroklimata, die durch unterschiedliche Höhenlagen, Belaubung, Windmuster, Merkmale der bebauten Umwelt usw. verursacht werden, bleibt aber eine erhebliche Schwierigkeit, deren Lösung i. d. R. die Kombination mehrerer Methoden erfordert.<sup>7/8</sup> Als ein erster Schritt wurden u. a. sogenannte generische lokale Klimazonen (*local climate zones [LCZ]*) vorgeschlagen, die aus Fernerkundungs- und nutzergenerierten Daten (*Crowdsourcing*) abgeleitet werden und theoretisch weltweit anwendbar sind.<sup>9</sup> Die Identifizierung und Validierung von LCZ erfolgt zunehmend mit Techniken des maschinellen Lernens.<sup>10</sup>

Satellitenbilder sind eine gängige Datenquelle, insbesondere für Landnutzung, Lufttemperatur und Landoberflächentemperatur, sowie für andere Umweltmerkmale. In einigen Fallstudien wurden auch kostengünstige Sensoren für *In-situ*-Temperatur- und Feuchtigkeitsmessungen eingesetzt.<sup>11</sup> Zunehmend, wenn auch meist noch im europäischen Kontext, werden auch bürgerwissenschaftliche Ansätze ge-



Abbildung: Zwei Modelle der Sonnenstrahlung am 1. Juli in Heidelberg zur Mittagszeit im Vergleich. Das erste berücksichtigt ausschließlich die Bebauung des betrachteten Gebiets, das zweite auch die Bepflanzung.

nutzt, um den Mangel an Sensoren zu überwinden.<sup>12/13</sup> In Afrika wurden lokale Klimazonen zusammen mit Fernerkundungsdaten zur Prognose der Auswirkungen von städtischen Wärmeinseln genutzt.<sup>14</sup>

*OpenStreetMap (OSM)*, eine von freiwilligen Nutzern erstellte offene Geodatenbasis, ist eine Datenquelle von zunehmendem Interesse, die insbesondere für die Modellierung lokaler Umgebungen verwendet wird – aufgrund der Datenqualität allerdings bisher hauptsächlich in Europa und Nordamerika. So nutzte Denis Maragno (2020)<sup>15</sup> OSM schon für die Bewertung der Exposition gegenüber Hitzestress. Daneben wurde OSM auch zur Klassifizierung der Landnutzung, lokaler Klimazonen und städtischer Wärmeinseln eingesetzt. Atefeh Esfehankalateh (2021)<sup>16</sup> schätzte in Kombination mit Satellitendaten und OSM sogar den potenziellen Wärmeschutz durch Überdachung und die Blattflächendichte in der Stadt Seoul ab. Diese Vorarbeiten deuten darauf hin, dass ähnliche Ansätze auch für Afrika denkbar sind, wenngleich die Qualität der Daten hier weiter besonderer Beachtung und Anstrengungen bedarf.

Rationale und empirische Indizes hingegen umfassen deutlich mehr als nur die bisher diskutierten Umweltvariablen. Sie können sowohl objektive und subjektive Kriterien (empirische Indizes) als auch Verhaltensvariablen (rationale Indizes) beinhalten. Das Argument für solche Indizes ist trotz der Schwierigkeit ihrer Berechnung

oder ihrer Alltagstauglichkeit, dass Hitzestress letztlich eine physiologische Reaktion ist, weshalb sowohl exogene Faktoren wie die Umwelt als auch endogene Faktoren wie die soziale Verwundbarkeit berücksichtigt werden. Das heißt, es wird untersucht, ob und wie unterschiedliche Bevölkerungsgruppen physiologisch auf Hitze reagieren. Zu diesem Zweck werden soziodemographische und gesundheitliche Erhebungen herangezogen. In Afrika ist jedoch auch die Verfügbarkeit der benötigten soziodemographischen Daten mangelhaft. Entsprechende Daten für die Abschätzung der Hitzeanfälligkeit und Anpassungsfähigkeit sind in Ländern mit mittlerem und niedrigem Einkommen nur begrenzt oder gar nicht vorhanden.<sup>17</sup> Daher werden sie in Afrika südlich der Sahara weniger häufig in Hitzestressanalysen einbezogen, was den Bedarf an weitergehenden Forschungsarbeiten hierzu nochmal unterstreicht.

## **DIE BEDEUTUNG DES MASCHINELLEN LERNENS FÜR DIE MODELL-ENTWICKLUNG**

In Bezug auf die eingesetzten Methoden wird in aktuellen Studien zunehmend Maschinelles Lernen verwendet, um die Datenverfügbarkeit zu verbessern. Ausgewählte Beispiele hierfür beinhalten u. a. die Kartierung der Kronengröße jedes Baumes von mehr als 3 m<sup>2</sup> mittels *Deep Learning* in der westafrikanischen Sahara und Sahelzone auf Basis hoch aufgelöster Satellitendaten.<sup>18</sup> Diese können dann zur Modellierung der lokalen Klimazonen bzw. Schatten herangezogen werden. Ein weiteres Beispiel ist die Erfassung von gefährdungsrelevanten Gebäudemerkmalen mittels *Deep Learning* und *Street View-Daten*<sup>19</sup> oder die Vorhersage relevanter Infrastrukturqualität in Afrika<sup>20</sup>. Vereinfacht gesagt, konzentriert sich die Forschung zu Hitzestress in Afrika südlich der Sahara i. d. R. auf Klimamodelle und *Ex-situ*-Methoden.<sup>21</sup> Es besteht somit weiterhin ein besonders großer Bedarf an Bewertungen der Anfälligkeit gegenüber Hitze, insbesondere innerhalb demographischer Gruppen wie älteren Menschen oder Kindern.<sup>22</sup> Ebenso besteht Forschungsbedarf an Methoden zur Verhinderung von Hitzestress und an skalenübergreifenden Klimamodellen, die Mikro- bis Mesoskalen umfassen.<sup>23</sup> Bemühungen wie die Entwicklung des *Trans-African Hydro-Meteorological Observatory (TAHMO)* sowie von Afrobarometern in Kombination mit traditionellen Datensätzen von Anbietern wie dem *Global Historical Climatology Network*, dem *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)* und dem *Demographic and Health Surveys Program (DHS)* versprechen eine wachsende Datenbasis, mit der künftige Forschung zum Thema unterstützt werden kann.

Die Arbeiten im Projekt und bisher gewonnenen Einsichten gerade durch die interdisziplinäre Diskussion mit Kolleg:innen aus *Global Health* und Medizin, aber auch Expert:innen aus den Bereichen Informatik und Wissenschaftliches Rechnen sowie den Sozialwissenschaften bestärken in der Hypothese, dass durch die Kombination nutzergenerierter Geodaten mit Sensormessungen per *Machine Learning*-Verfahren bessere Modelle zur Abschätzung des Hitzestresses und seiner Auswirkungen insbesondere im Globalen Süden entwickelt werden können. Dies beinhaltet zudem Potenziale zur Analyse von Mitigations- und Adaptionsmaßnahmen als geeignete Interventionen. Somit ist weitere interdisziplinäre Forschung hierzu sehr sinnvoll. Durch das Marsilius-Kolleg konnten die interdisziplinäre Diskussion hierzu vorangetrieben und konkrete Teilschritte getriggert werden. Die Vielfalt der dabei zu beachtenden Aspekte sowohl auf natur- und insbesondere umweltwissenschaftlicher Seite, als auch in Bezug auf die sozialen und medizinischen Faktoren unterstreicht die Bedeutung derartiger interdisziplinärer Austausch- und Forschungsformate, und verdeutlicht das Potenzial gerade der Universität Heidelberg als einer „*Comprehensive University*“, die den Bau der Brücken zwischen den Disziplinen in besonderer Weise ermöglichen und unterstützen kann.



- 1 Buyana Kareem et al.: *Pathways for resilience to climate change in African cities*, in: *Environ. Res. Lett.* 15 (2020), doi: 10.1088/1748-9326/ab7951.
- 2 Peter J. Marcotullio et al.: *The future urban heat-wave challenge in Africa. Exploratory analysis*, in: *Global Environmental Change* 66 (2021), doi: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102190.
- 3 Yoram Epstein & Daniel S. Moran: *Thermal comfort and the heat stress indices*, in: *Ind. Health* 44/3 (2006), S. 388-98, doi: 10.2486/indhealth.44.388.
- 4 Emma E. Ramsay et al.: *Chronic heat stress in tropical urban informal settlements*, in: *iScience* 24/11 (2021), doi: 10.1016/j.isci.2021.103248.
- 5 Vgl. Ioannis Kousis, Ilaria Pigliautile & Anna L. Pisello: *Intra-urban microclimate investigation in urban heat island through a novel mobile monitoring system*, in: *Sci. Rep.* 11/1 (2021), doi: 10.1038/s41598-021-88344-y.
- 6 Genesis T. Yengoh & Jonas Ardö: *Climate Change and the Future Heat Stress Challenges among Small-holder Farmers in East Africa*, in: *Atmosphere* 11/7 (2020), S. 753, doi: 10.3390/atmos11070753.
- 7 Mathias Schaefer et al.: *Assessing local heat stress and air quality with the use of remote sensing and pedestrian perception in urban microclimate simulations*, in: *STOTEN* 794 (2021), doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148709.
- 8 Wieke Heldens et al.: *Geospatial input data for the PALM model system 6.0. Model requirements, data sources and processing*, in: *Geosci. Model Dev.* 13/11 (2020), S. 5833-5873, doi: 10.5194/gmd-13-5833-2020.
- 9 Matthias Demuzere et al.: *A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science*, in: *Earth Syst. Sci. Data* 14/8 (2022), S. 3835-3873, doi: 10.5194/essd-14-3835-2022.
- 10 Tautvydas Fyleris et al.: *Urban Change Detection from Aerial Images Using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning*, in: *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 11/4 (2022), S. 246, doi: 10.3390/ijgi11040246.
- 11 Jonas Van de Walle et al.: *Lack of vegetation exacerbates exposure to dangerous heat in dense settlements in a tropical African city*, in: *Environ. Res. Lett.* 17/2 (2022), doi: 10.1088/1748-9326/ac47c3.
- 12 M. I. Varentsov et al.: *Urban heat island of the Moscow megacity. The long-term trends and new approaches for monitoring and research based on crowdsourcing data*, in: *IOP Conf. Ser./Earth Environ. Sci.* (2020), doi: 10.1088/1755-1315/606/1/012063.
- 13 Zander S. Venter, Tirthankar Chakraborty & Xuhui Lee: *Crowdsourced air temperatures contrast satellite measures of the urban heat island and its mechanisms*, in: *Science Advances* 7/22 (2021), doi: 10.1126/sciadv.abb9569.
- 14 Oscar Brousse et al.: *The local climate impact of an African city during clear-sky conditions. Implications of the recent urbanization in Kampala (Uganda)*, in: *Int. J. Climatol.* 40/10 (2020), S.4586-4608, doi: 10.1002/joc.6477.

- <sup>15</sup> Denis Maragno, Michele D. Fontana & Francesco Musco: *Mapping Heat Stress Vulnerability and Risk Assessment at the Neighborhood Scale to Drive Urban Adaptation Planning*, in: *Sustainability* 12/3 (2020), doi: 10.3390/su12031056.
- <sup>16</sup> Atefeh T. Esfehankalateh, Jack Ngarambe & Geung Y. Yun: *Influence of Tree Canopy Coverage and Leaf Area Density on Urban Heat Island Mitigation*, in: *Sustainability* 13/13 (2021), doi: 10.3390/su13137496.
- <sup>17</sup> Kevin Laranjeira et al.: *Heat vulnerability and adaptive capacities. Findings of a household survey in Ludwigsburg, BW, Germany*, in: *Climatic Change* 166/14 (2021), doi: 10.1007/s10584-021-03103-2.
- <sup>18</sup> Martin Brandt et al.: *An unexpectedly large count of trees in the West African Sahara and Sahel*, in: *Nature* 587 (2020), S.78-82, doi: 10.1038/s41586-020-2824-5.
- <sup>19</sup> Aravena Pelizari et al.: *Automated building characterization for seismic risk assessment using street-level imagery and deep learning*, in: *ISPRS J. Photogrammetry & Remote Sensing* 180 (2021), S. 370-386, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2021.07.004.
- <sup>20</sup> Barak Oshri et al.: *Infrastructure Quality Assessment in Africa using Satellite Imagery and Deep Learning*, in: *KDD* 18 (2018), S. 616-625, doi: 10.1145/3219819.3219924.
- <sup>21</sup> Katlego P. Ncongwane et al.: *A Literature Review of the Impacts of Heat Stress on Human Health across Africa*, in: *Sustainability* 13/9 (2021), doi: 10.3390/su13095312.
- <sup>22</sup> Ebd.
- <sup>23</sup> Ebd.