

DISS. ETH NO. 23928

CLIMATE-SENSITIVE URBAN ADAPTATION:
Analysis of Qualitative and Quantitative Data of Outdoor
Thermal Comfort in Barranquilla, Colombia

THIS IS A TEMPORARY TITLE PAGE

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCE of ETH ZURICH
(Dr.Sc. ETH ZURICH)

presented by

ESTEFANIA TAPIAS PEDRAZA
M.Sc. Politecnico di Torino

born on 19.05.1988
citizen of Colombia

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerhard Schmitt, main supervisor
Prof. Dr. Andreas Matzarakis, co-supervisor

2016

Abstract

Since 2014 more than half of the world population live in cities. As urban population grows, urbanization rates increase. In addition, the world is facing unprecedented speeds in climate change leading to an increase in global average temperatures, commonly referred to as global warming. The simultaneous effects of rapid urbanization and climate change are only beginning to surface, and due to projected trends, they are coming to the forefront on many research agendas. The continuing densification of urban areas contributes to an increase in heat absorption and retention compared with rural areas, leading to the formation of the Urban Heat Islands (UHIs). It is known that this development will have a significant impact on future energy demands as well as the expectation for thermal comfort in outdoor environments. The UHI effect in tropical climates is even more challenging due to the increased baseline of heat levels. As suggested by the United Nations Environment Programme (UNEP), cities need to adapt to the future urban climate as it can directly affect human comfort and ultimately human health. To this end, the understanding and the capability to predict and alter urban microclimates may help to adapt and improve aspects of Outdoor Thermal Comfort (OTC), especially in tropical climates.

Climate-sensitive planning is the connection between urban climate and urban planning. Urban climate refers to the climatic conditions in an urban area, whereas urban planning is the spatial organization of urban functions. Hence, urban climate-sensitive planning addresses the challenges associated with UHIs by considering conditions of microclimates for city planning and design. This thesis proposes to improve climate-sensitive planning by the use of data-driven analysis and simulation models based on the collection of empirical and measurable evidence of OTC. Such data collection methods and prediction tools can provide architects and urban planners with faster and data-driven techniques towards the development of sustainable environments.

The research outlined in this thesis proposes to use the OTC as an indicator to understand how the current urban climate is affecting the thermal comfort of citizens in Barranquilla, Colombia. Initially, the OTC levels are identified in a local-scale area by using two different methods: (i) the evaluation of empirical survey data of the inquired individuals' thermal sensation (qualitative data), and (ii) the computer model-based calculations of the Physiologically Equivalent Temperature (PET), a thermal index which allows the evaluation of the thermal perception of humans (quantitative data). PET is calculated from measurable data of microclimate conditions, such as temperature, humidity, wind and solar radiation. The weather data was collected from a weather station's measurement network installed for a

one-year period. Additionally, the PET is calculated from comfort-related factors, such as clothing, and geographical information based on coordinates. After correlation analyses between the outcomes of both methodologies, the matching results validated the data-driven and simulation approach.

The successful scalability of the technique is demonstrated by extending the previously validated survey campaign to a city-scale scenario by the development of a crowdsourcing smartphone application distributed among citizens. The data collection process took place in form of a citizen's marathon during the months of April and May 2016. The marathon collected 1121 responses, from which a sample containing 883 records was selected for data processing.

The city-scale crowdsourcing project, called 'Projecto Confort', resulted in the first evidence-based series of heat maps expressing the OTC of citizens for the city of Barranquilla. As expected, OTC was significantly reduced in densified urban areas. Results showed that the OTC data could indicate the well functioning of an urban area according to human thermal comfort and, ultimately, to microclimate condition. In addition, results outlined the importance of climate-sensitive urban planning to protect human health and comfort. Thus, the crowdsourcing project and the first results illustrated in heat maps can now be used by city planning institutions to understand the OTC of citizens, and for the planning of future climate-sensitive urban strategies around the city of Barranquilla.

Key words: Urban climate, urban planning, climate-sensitive urban planning, data-driven planning, outdoor thermal comfort, tropical climates

Zusammenfassung

Seit dem Jahr 2014 lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Mit dem stetigen Bevölkerungswachstum wächst auch die Urbanisierung. Zudem sieht sich die Welt einem rasanten Klimawechsel gegenüber, welcher bekannt als Klimawandel zu einem Anstieg der Temperaturen weltweit führt. Die simultanen Effekte von zunehmender Urbanisierung und Klimawandel sind noch wenig sichtbar, doch aufgrund ihrer vorhergesagten Entwicklung fangen diese Themen an, in diversen Bereichen Forschungsschwerpunkte zu werden. Die anhaltende Verdichtung urbaner Regionen trägt zu einer erhöhten Wärmeabsorption in Städten verglichen mit ländlichen Gegenden bei, was zu einer Bildung von so genannten "Urban Heat Islands" (UHIs) führt. Es ist bekannt, dass diese Entwicklung einen starken Einfluss auf den zukünftigen Energiebedarf sowie die generellen Erwartungen an thermischen Komfort im Außenbereich haben werden. In tropischen Klimazonen ist der UHI-Effekt noch problematischer aufgrund der erhöhten Grundtemperatur. Wie vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) vorgeschlagen, müssen sich Städte an das zukünftige urbane Klima anpassen, da es die menschliche Behaglichkeit und letztlich die menschliche Gesundheit direkt beeinflussen kann. Dahingehend können das Verständnis und die Fähigkeit zur Vorhersage und Veränderung von städtischem Mikroklima helfen, Aspekte des thermischen Komforts (OTC) anzupassen und zu verbessern, vor allem in tropischen Klimazonen.

Klimasensible Planung bedeutet die Verbindung zwischen Stadtklima und Stadtplanung. Das städtische Klima bezieht sich auf die klimatischen Bedingungen im Stadtgebiet, während Stadtplanung die räumliche Organisation der städtischen Funktionen beschreibt. Die städtebauliche und klimafreundliche Planung befasst sich daher mit den Herausforderungen im Zusammenhang mit UHIs, indem sie die Bedingungen der Mikroklimata für Stadtplanung und -design berücksichtigt. Der Kern dieser Arbeit befasst sich damit, die Klimasensitivplanung durch die Verwendung von datengetriebenen Analysen und Simulationsmodellen zu verbessern, die auf der Sammlung empirischer und messbarer OTC-Daten basieren. Solche Datenerfassungsverfahren und Vorhersagewerkzeuge können Architekten und Stadtplanern schnellere und datengesteuerte Techniken für die Entwicklung von nachhaltigen Umgebungen bereitstellen.

Die Forschung in dieser Arbeit schlägt vor, den OTC als Indikator zu verwenden, um zu verstehen, wie das aktuelle Stadtklima den thermischen Komfort der Bürger in Barranquilla, Kolumbien beeinflusst. Anfänglich werden die OTC-Werte in einem lokalen Gebiet durch zwei verschiedene Methoden identifiziert: erstens über die Auswertung empirischer Erhebungsdaten der thermischen Empfindung von befragten Personen (qualitative Daten), und zweitens

durch computermodellbasierten Berechnungen der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET), einem thermischen Index, der die Bewertung der thermischen Wahrnehmung von Menschen erlaubt (quantitative Daten). PET wird aus messbaren Daten von Mikroklima-Bedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Wind und Sonneneinstrahlung berechnet. Die Wetterdaten wurden von dem Messnetz einer Wetterstation gesammelt, das für einen Zeitraum von einem Jahr installiert wurde. Darüber hinaus wird die PET aus Komfort-Faktoren, wie Kleidung, und geografischen Informationen auf der Grundlage von Koordinaten berechnet. Die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methodiken bestätigte den Erhebungsansatz.

Die erfolgreiche Skalierbarkeit der Methodik wird durch die Erweiterung der zuvor validierten Erhebungsmethode auf ein Großstadt-Szenario durch die Entwicklung einer Crowdsourcing-Smartphone-Anwendung für die Befragung von Bürgern verdeutlicht. Die Datenerfassung fand in Form eines Bürger-Marathons in den Monaten April und Mai 2016 statt. Der Marathon sammelte 1121 Antworten, aus denen eine Auswahl mit 883 Datensätzen für die Datenverarbeitung verwendet wurde.

Das stadtweite Crowdsourcing-Projekt Projecto Confort führte zur ersten evidenzbasierten Reihe von Wärmekarten, die den OTC der Bürger für die Stadt Barranquilla ausdrücken. Wie erwartet, war der thermische Komfort in verdichteten Stadtgebieten deutlich reduziert. Die Ergebnisse zeigen, dass die OTC-Daten das Funktionieren eines städtischen Gebietes nach menschlichem thermischem Komfort und letztlich dem Zustand des Mikroklimas anzeigen konnten. Darüber hinaus skizzierten die Ergebnisse die Bedeutung der klimafreundlichen Stadtplanung zum Schutz der menschlichen Gesundheit und Komfort. So können das Crowdsourcing-Projekt und die ersten Ergebnisse in den Wärmekarten nun von städtebaulichen Institutionen genutzt werden, um den thermischen Komfort der Bürger zu verstehen und die Planung künftiger klimafreundlicher Stadtstrategien rund um Barranquilla zu optimieren.

Stichwörter: Stadtklima, Stadtplanung, Klimafreundliche Stadtplanung, Datengetriebene Planung, Thermischer Komfort, Tropische Klimazonen