Bauhaus-Universität Weimar
06. / 07. März 2024
BAUPHYSIKTAGE IN WEIMAR 2024
WBA

UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS DES MIKROKLIMAS AUF DEN HEIZ- UND KÜHLENERGIEBEDARF IM GEBÄUDE

Steffen Landrock[1], Rebekka Regel[1], Gita Regel[2]
[1] *Graner Ingenieure GmbH, Deutschland, E-Mail: buero@graner-leipzig.de*
[2] *TU Dresden-IHI Zittau, Deutschland, E-Mail: gita.regel@mailbox.tu-dresden.de*

Kurzfassung

Das Mikroklima in städtischen Außenräumen wird zum einen von den örtlichen Gegebenheiten wie der Vegetation, der Art und Beschaffenheit der Oberflächen und zum anderen von der vorhandenen Umgebungsbebauung beeinflusst. Durch die Wahl der Baumaterialien und Planung von Fassaden- und Dachbegrünungen können Gebäude einen Einfluss auf das Mikroklima nehmen. Im Rahmen dieser Untersuchung soll aufgezeigt werden, inwiefern sich das Mikroklima in den Sommer- und Wintermonaten auf das Raumklima in den Innenräumen auswirkt. Hierbei wird anhand eines Beispielprojektes der Einfluss des Außenraums (Umgebungsvegetation, Dachbegrünung, Oberflächenbeschaffenheit der Umgebung) auf das Innenklima im Gebäude analysiert. Es wird dargelegt, welche Auswirkungen die verschiedenen Parameter des Außenraums im Winter und im Sommer auf das Innenklima haben und wie sich infolgedessen der Heiz- und Kühlenergiebedarf im Gebäude selbst verändert.

Abstract

On one hand, outdoor microclimate in urban areas is influenced by the existence of urban vegetation such as urban trees, grass, and green roof plants. On the other hand, the type and nature of outdoor surfaces such as pavement and building materials can also have impacts on the microclimate. This analysis demonstrates how the microclimate in summer and winter months affects the indoor climate. Using a sample project, the influence of the outdoor environment (surrounding vegetation, roof greening, surface characteristics of the surroundings) on the indoor climate in the building is analyzed. It is explained how various parameters of the outdoor environment in winter and summer impact the indoor climate and influence the heating and cooling energy demand of the building.

Einleitung

Die fortschreitende Klimaerwärmung stellt eine der drängendsten Herausforderungen unserer Zeit dar und erfordert konkrete Maßnahmen im Bereich des Klimaschutzes. Deutschland hat sich ehrgeizige Klimaschutzziele gesetzt, darunter die Reduktion aller Treibhausgasemissionen um 65 % im Vergleich zu 1990. In diesem Kontext gewinnt der Beitrag des Gebäudesektors sowohl zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen als auch zur Klimaanpassung von Gebäuden zunehmend an Bedeutung.

In der vorliegenden Untersuchung wird der Einfluss des Mikroklimas auf ein Gebäude untersucht. Anhand eines exemplarischen Projekts, dem Neubau einer Schule in Dresden, sollen zwei verschiedene Szenarien betrachtet werden:

- Ausgangsvariante: keine Begrünung (weder im Außenraum, noch auf Dach oder Fassade)
- Variante 1: Begrünung im Außenraum und Dachbegrünung

Es wird eine mikroklimatische Simulation mittels ENVI-met durchgeführt. Die hier berechneten Ergebnisse werden im zweiten Schritt auf IDA ICE übertragen. Mithilfe von IDA ICE wird der Heiz- und Kühlenergiebedarf zweier exemplarischer Räume mit und ohne Einfuss des Mikroklimas untersucht.

Berechnungsgrundlagen

Untersuchungsobjekt

Die Untersuchungen wurden anhand eines Schulneubaus in Dresden durchgeführt. Es handelt sich bei dem Bauvorhaben um zwei Gebäude in Holzständerbauweise. Die thermische Hülle ist in Passivhaus-Bauweise geplant.

Im Gebäude sind leichte Trennwände in Holzständerbauweise sowie Geschossdecken in Holzbauweise mit schwimmenden Estrichen geplant. Die Fenster erhalten einen außenliegenden Sonnenschutz.

Klimadatensatz

Für die Berechnungen wurde der Klimadatensatz bezogen auf den Standort Dresden vom DWD für extreme Zukunfts-TRJ verwendet (extremer Sommer 2045 und extremer Winter 2045).

Simulationszeitraum

Aufgrund der sehr langen Simulationsrechenzeiten mit ENVI-met wurde rechnerisch ein Zeitraum von jeweils 48 Stunden im Sommer und Winter ausgewertet.

Gewählt wurde für den Sommerfall der gemäß Zukunfts-Klimadatensatz heißteste Tag (13. August) und der nachfolgende 14. August.

Für den Winterfall wurde mit dem gemäß Zukunfts-Klimadatensatz kältesten Tag (5. Januar) und dem nachfolgenden 6. Januar gerechnet.

Variantenbeschreibung

Für die vorliegende Untersuchung wurden folgende zwei Varianten betrachtet:

- Ausgangsvariante: keine Begrünung (weder im Außenraum, noch auf Dach oder Fassade)
- Variante 1: Begrünung im Außenraum und Dachbegrünung

Mit Berechnung der Ausgangsvariante wird also eine Variante ohne Einfluss des Mikroklimas berücksichtigt.

Mikroklimasimulationen

Simulationsumgebung

Auf dem Baufeld ist bereits ein hoher Begrünungsanteil vorhanden (s. Abb. 1).

Abbildung 1: Foto Untersuchungsgebiet Südwest-Ecke des Baufeldes

Auf der Fläche des Modellgebiets befinden sich insgesamt 223 Bäume (im Bestand und neu), bestehend aus 18 Baumarten. Die Informationen zum Baumbestand wurden dem Baumplan der LH Dresden, Amt für Stadtgrün und Abfallwirtschaft entnommen.

Das Modellgelände umfasst insgesamt 226 m x 192 m. Das Simulationsmodell umfasst nicht nur das Schulgelände (zwei Geäude sowie eine Sporthalle), sondern auch eine Kindergaten und ein städtisches Gebäude (s. Abb. 2, Abb. 3). Für die vorliegende Untersuchung wurden zwei Räume näher untersucht:

- EG Nordfassade: Büroraum
- 3. OG Südfassade: Klassenraum

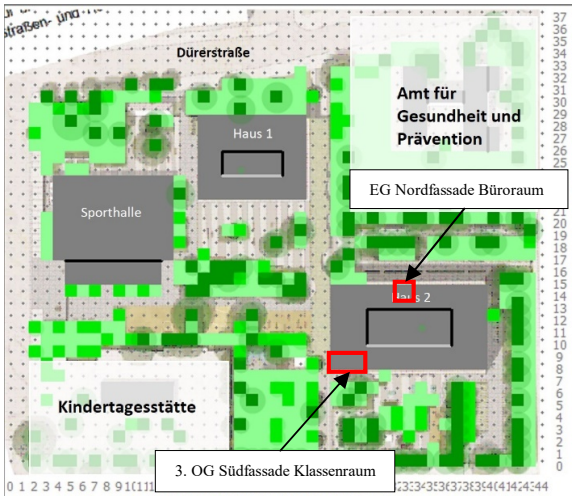

Abbildung 2: 2D-Lageplan Simulationsumgebung (ENVI-met) mit Position der zwei näher betrachteten Räume

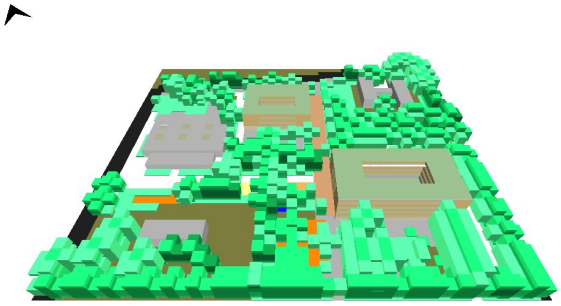

Abbildung 3: 3D-Modell Simulationsumgebung (ENVI-met)

Simulationsergebnisse und Analyse

Die Variante 1 wurde mit ENVI-met simuliert.

In Abbildung 4 ist die Lufttemperatur am 13. August um 12:00 Uhr in 1,50 m Höhe dargestellt. In Abbildung 5 ist die Lufttemperatur am 5. Januar um 12:00 Uhr in 1,50 m Höhe dargestellt.

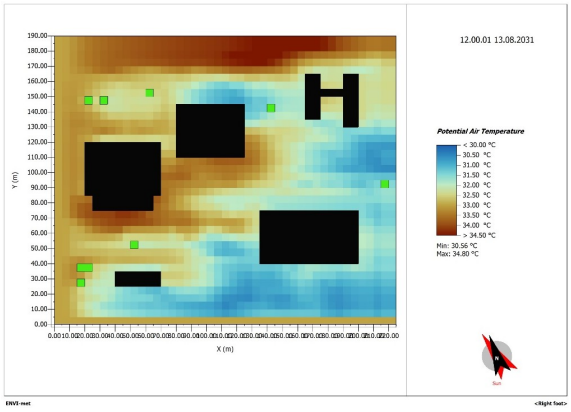

Abbildung 4: Lufttemperatur13.08., 12:00 Uhr

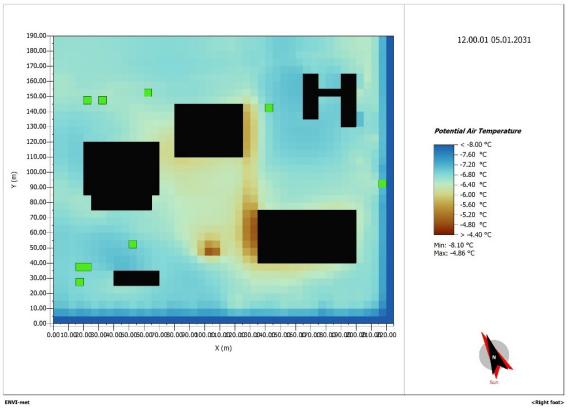

Abbildung 5: Lufttemperatur 05.01., 12:00 Uhr

Pflanzen können das Mikroklima durch verschiedene Mechanismen beeinflussen: Verschattung, langwellige Abstrahlung, Verdunstung und Windschutz.

Baumkronen können verhindern, dass direktes Sonnenlicht den Boden und andere Oberflächen erreicht, was zu niedrigeren Luft- und Oberflächentemperaturen im verschatteten Bereich führt. Gräser und kleinere Pflanzen können im Sommer den Boden vor Hitze schützen.

Pflanzen durchlaufen einen Verdunstungsprozess, bei dem Wasserdampf durch die Spaltöffnungen freigesetzt wird. Der Wasserdampf in der Luft trägt dazu bei, die Lufttemperatur abzukühlen und wirkt sich auch auf das lokale Luftfeuchtigkeitsniveau aus. Feuchtigkeit kann die Geschwindigkeit, mit der alle Oberflächen Wärme abgeben, verlangsamen, was zu einer Reduzierung der mittleren Strahlungstemperatur führt.

Nachts geben Bäume und andere Pflanzen die tagsüber aufgenommene Wärme an den kühlen Nachthimmel ab (nächtliche langwellige Abstrahlung), sodass infolgedessen die Lufttemperatur sinkt.

Wind kann Wärme von Oberflächen abtransportieren. Als Windschutz können Bäume und andere Pflanzen die Windgeschwindigkeit verlangsamen, wodurch weniger Wärme von Oberflächen abgeleitet werden kann und somit der Wärmeverlust von den Wänden verringert wird. Im Sommer kann der Windschutzeffekt von Bäumen heiße Winde blockieren.

Diese von Pflanzen bereitgestellten natürlichen Mechanismen können also das Mikroklima beeinflussen.

Ohne Einfluss des Mikroklimas wurde in der Ausgangsvariante mit einer Außenlufttemperatur von 33,1 °C am 13.08. um 12:00 Uhr und -6,6 °C am 05.01. um 12:00 Uhr gerechnet.

Übertragung der Ergebnisse von ENVI-met auf IDA ICE

Um den Einfluss des Mikroklimas auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf zu ermitteln, erfolgte eine Übertragung der Ergebnisse von ENVI-met auf IDA ICE.

Als Ausgangsvariante wurde eine Berechnung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs ohne Einfluss des Mikroklimas durchgeführt.

Für die Ermittlung des Einflusses des Mikroklimas (Variante 1) wurden die in ENVI-met simulierten außenseitigen Oberflächentemperaturen (Fassaden und Dach) an das Berechnungsmodell angebunden. Diese berücksichtigen die mikroklimatischen Einflüsse der lokalen Windgeschwindigkeiten, des Gründachs, der Verschattungen durch Bäume und lokalen Lufttemperaturen. Bei den begrünten Flächen wurden die Oberflächentemperaturen unterhalb der Begrünung verwendet.

Um den Einfluss der Verschattung der umliegenden Bäume auf die solaren Strahlungseinträge über die Fenster in IDA ICE abbilden zu können, wurden diese in SketchUp modelliert und als Umgebungsverschattung in IDA ICE berücksichtigt (s. Abb. 6).

Hierbei wurde im Winter eine Transparenz von 60 % für die Verschattungsberechnung berücksichtigt (Laubbäume ohne Blätter). Im Sommer wurde die Verschattung der Bäume mit einer Transparenz von 20 % berücksichtigt (Belaubung der Bäume im Sommer).

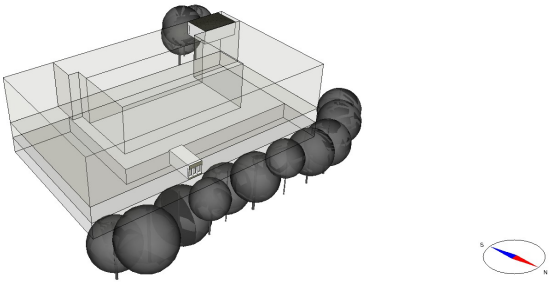

Abbildung 6: 3D-Gebäudemodell IDA ICE mit Verschattung (Variante 1)

Ergebnisse der angepassten thermischen Simulation mit IDA ICE

Ergebnisse Sommer

Nachfolgend werden die Ergebnisse für das Klassenzimmer im 3. OG an der Südfassade dargestellt.

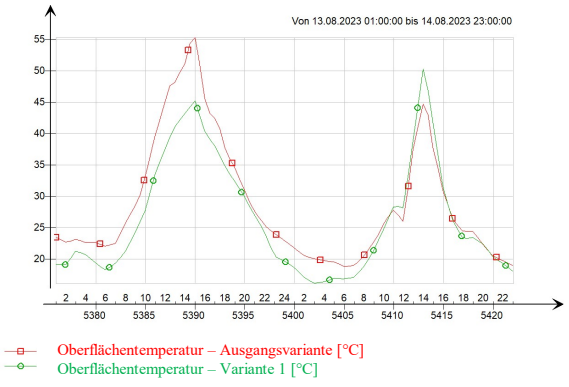

Abbildung 7: Temperaturverläufe Oberflächentemperatur Südfassade (13.08. – 14.08.)

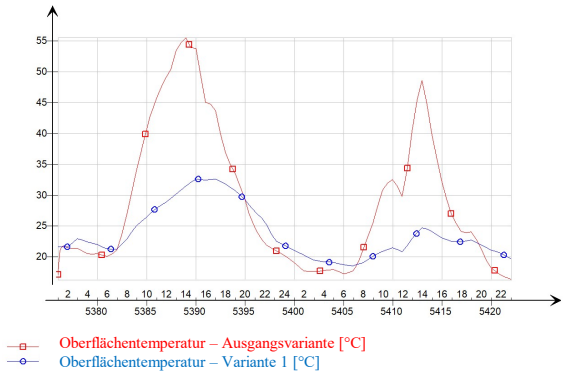

Abbildung 8: Temperaturverläufe Oberflächentemperatur Dach (13.08. – 14.08.)

Nachfolgend werden die Ergebnisse für den Büroraum an der Nordfassade im EG dargestellt.

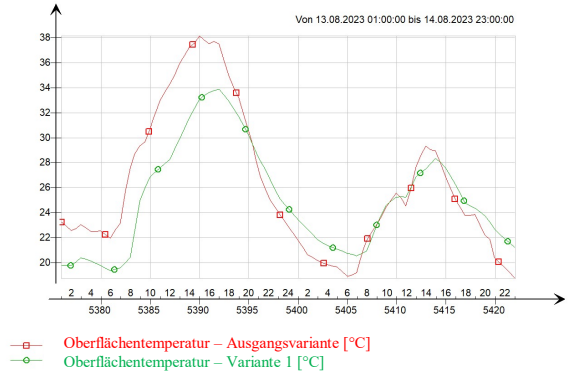

Abbildung 9: Temperaturverläufe Oberflächentemperatur Nordfassade (13.08. – 14.08.)

Die Oberflächentemperaturen mit Berücksichtigung des Mikroklimas (Variante 1) sind im Sommer überwiegend deutlich geringer als in der Ausgangsvariante.

Der Einfluss der Dachbegrünung ist deutlich erkennbar: Die Oberflächentemperatur unterhalb der Dachbegrünung ist tagsüber ca. 20 K geringer als in der Ausgangsvariante und schwankt im Verlauf weniger stark. Nachts stellen sich sogar geringfügig höhere Oberflächentemperaturen ein.

Im Ergebnis ergibt sich für den Klassenraum an der Südfassade ein ca. 20 % geringerer Kühlenergiebedarf, für den Büroraum an der Nordfassade ein ca. 35 % geringerer Kühlenergiebedarf (Raum-Solltemperatur 25 °C).

Ergebnisse Winter

Nachfolgend werden die Ergebnisse für das Klassenzimmer im 3. OG an der Südfassade dargestellt.

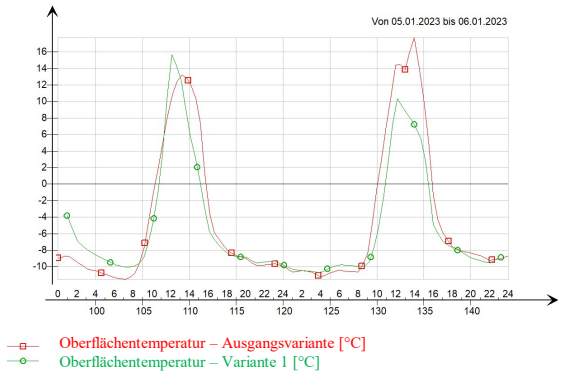

Abbildung 10: Temperaturverläufe Oberflächentemperatur Südfassade (05.01. – 06.01.)

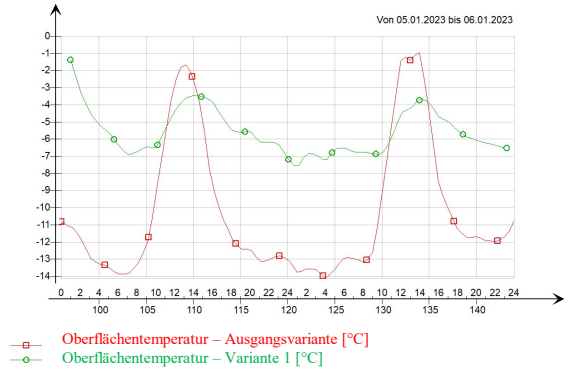

Abbildung 11: Temperaturverläufe Oberflächentemperatur Dach (05.01. – 06.01.)

Nachfolgend werden die Ergebnisse für den Büroraum an der Nordfassade im EG dargestellt.

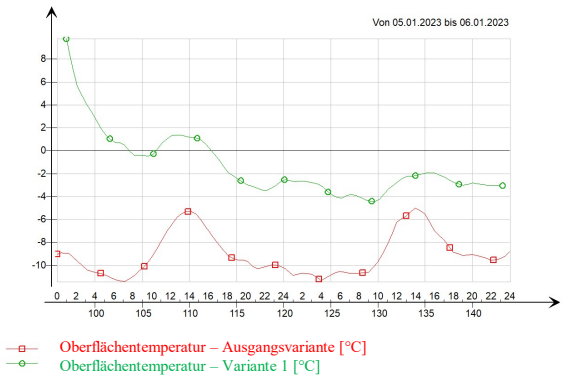

Abbildung 12: Temperaturverläufe Oberflächentemperatur Nordfassade (05.01. – 06.01.)

Die Oberflächentemperaturen mit Berücksichtigung des Mikroklimas (Variante 1) sind im Winter überwiegend höher als in der Ausgangsvariante.

Der Einfluss der Dachbegrünung ist deutlich sichtbar: Die Oberflächentemperaturen unterhalb der Dachbegrünung schwanken nicht so stark und sind größtenteils ca. 5 – 7 K höher als in der Ausgangsvariante. Tagesüber stellen sich mittags geringfügig niedrigere Oberflächentemperaturen ein.

Im Ergebnis ergibt sich für den Klassenraum an der Südfassade ein etwa gleich großer Heizenergiebedarf (im Ergebnis für die Ausgangsvariante ca. 1 % höher als in Variante 1). Für den Büroraum an der Nordfassade ergibt sich ein ca. 5 % geringerer Heizenergiebedarf (Raum-Solltemperatur 21 °C).

Zusammenfassung

Für den Sommerfall zeigen die Untersuchungen, dass die bereits beschriebenen Mechanismen der Pflanzen einen kühlenden Effekt auf das Mikroklima des betrachteten Gebäudes und somit auf die Oberflächentemperaturen der Wand- und Dachoberflächen haben. Die geringeren Oberflächentemperaturen in Variante 1 und die vorhandene Verschattung durch die Umgebungsvegetation führen zu einem reduzierten Kühlenergiebedarf.

Auch für den Winterfall hat sich gezeigt, dass sowohl Dachbegrünung als auch Umgebungsvegetation einen positiven Einfluss auf den Heizenergiebedarf haben. Mit Berücksichtigung des Einflusses des Mikroklimas ergeben sich überwiegend höhere Oberflächentemperaturen, obwohl die Fassaden teilweise verschattet werden.

Auf Gründächern können die Pflanzen die Dachoberfläche verschatten, die direkte Sonneneinstrahlung reduzieren und dazu beitragen, die Temperatur des Daches und des Gebäudes zu senken. Auch die Pflanzen auf den Gründächern durchlaufen einen Verdunstungsprozess, der die Luft über dem Dach abkühlen kann. An Wintertagen können Gründächer den Wärmeverlust durch das Dach reduzieren, da sie eine wärmedämmende Wirkung haben und die Wärmeübertragung zwischen dem Gebäude und der Außenumgebung reduzieren. Dadurch kann die im Gebäudeinneren entstehende Wärme besser gespeichert werden.

Literatur

Fahrion, M.; Nicki, C.; Bangalore, D.; Lakatos, M.; Brombacher, M. 2021. Sommerlicher Wärmeschutz durch die Begrünung von Außenanlagen und Gebäuden, Bauphysik 43, Berlin.

Deutscher Wetterdienst (DWD). 2017. Handbuch Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Offenbach.

Kuhns, M. 2019. Windbreaks for Energy Conservation, https://trees-energy-conservation.extension.org/windbreaks-for-energy-conservation/

Konarska, J.; Uddling, J.; Holmer, B. et al. 2016. Transpiration of urban trees and its cooling effect in a high latitude city. Int J Biometeorol 60, 159–172.

Okada, Mak.; Okada, Mas.; Kusaka, H. 2016. Dependence of Atmospheric Cooling by Vegetation on Canopy Surface Area During Radiative Cooling at Night: Physical Model Evaluation Using a Polyethylene Chamber. Journal of Agricultural Meteorology. 72. 20-28. 10.2480/agrmet.D-15-00015.

Li, Z.; Feng, X.; Fang, Z. 2022. A modified method to measure outdoor mean radiant temperature: Comparison between two-hemisphere method and six-direction integral method. Building and Environment, Vol. 221.