



Flächennutzungsmonitoring XI
Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün

IÖR Schriften Band 77 · 2019

ISBN: 978-3-944101-77-4

Zur thermischen Wirkung von Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus

*Uta Moderow, Susan Thiel, Valeri Goldberg,
Astrid Ziemann, Christian Bernhofer*

Moderow, U.; Thiel, S.; Goldberg, V.; Ziemann, A.; Bernhofer, C. (2019): Zur thermischen Wirkung von Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XI. Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 77, S. 255-263.

Zur thermischen Wirkung von Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus

Uta Moderow, Susan Thiel, Valeri Goldberg, Astrid Ziemann, Christian Bernhofer

Zusammenfassung

Dachbegrünung und Fassadenbegrünung sind mitunter die einzige Möglichkeit, Grün in bestehende oder neu-entstehende Bebauung einzubringen. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, inwieweit Dachbegrünung zur Mitigation (Milderung) des thermischen Stresses von Passanten in Höhe des Straßenniveaus beitragen kann. Anhand numerischer Simulationen für ein Quartier in Dresden wird gezeigt, dass Dachbegrünung hier nur einen sehr geringen Einfluss hat. Dachbegrünung kann in dieser Hinsicht bodengebundenes Grün sinnvoll ergänzen, aber nicht ersetzen.

1 Einführung

Dachbegrünung kann auf vielfältige Art und Weise positiv auf unsere Umwelt einwirken. Hierzu zählen u. a.: Reduzierung und zeitliche Verzögerung des Abflusses vor und nach Niederschlägen, Mitigation von Luftverschmutzung und Lärmbelastung, Bereitstellung von Habitaten und somit Erhöhung der Biodiversität als auch die Mitigation thermischen Stresses vor allem in Höhe des Dachniveaus (Getter, Rowe 2006; Beradi et al. 2014). Die positive Wirkung von Dachbegrünung auf das Innenraumklima ist vielfach belegt (u. a. Getter, Rowe 2006; Synnefa, Santamouris 2012; GhaffarianHoseini et al. 2013).

Gegenstand dieser Arbeit ist die klimatische Wirkung von Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus. Insgesamt widmet sich dieser Fragestellung nur eine vergleichsweise geringe Anzahl von Studien (Ng et al. 2012; Peng, Jim 2013; Ouldboukhitine et al. 2014; Beradi 2016). Häufig wird dabei die Lufttemperatur betrachtet, seltener die thermische Behaglichkeit des Menschen, die jedoch nicht allein von der Lufttemperatur bestimmt wird, sondern maßgeblich von der mittleren Strahlungstemperatur sowie auch von der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit (Jendritzky et al. 2006; Jendritzky et al. 2009). In Bezug auf die Wirkung von Dachbegrünung auf die thermische Behaglichkeit des Menschen in Höhe des Straßenniveaus konnten Ng et al. (2012) als auch Peng & Jim (2013) keinen wesentlichen Einfluss nachweisen. Peng & Jim (2013) zeigten weiterhin, dass die Wirkung der Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus mit zunehmender Gebäudehöhe abnahm.

Ziel dieses Beitrages ist es, mittels Modellsimulationen die klimatische Wirkung von Dachbegrünung für eine relativ junge Stadtstruktur, wie sie sich in verdichtenden Bereichen von Städten in Europa finden lässt, in Höhe des Straßenniveaus darzustellen und

deren Wirkung auf die thermische Behaglichkeit mittels des bioklimatischen Indexes UTCI (Universal Thermal Climate Index; Jendritzky et al. 2006; Jendritzky et al. 2009) einzuschätzen. Dabei soll auch auf mögliche Unterschiede in der klimatischen Wirkung zwischen extensiver und intensiver Dachbegrünung eingegangen werden. Die Arbeit basiert auf Ergebnissen des Projekts „Urbane Wälder“ (Förderträger Bundesamt für Naturschutz; <http://www.urbane-waelder.de>, Zugriff: 26.06.2019).

2 Material und Methoden

Die mikroklimatischen Simulationen wurden mit dem dreidimensionalen Klimamodell ENVI-met 3.1 (Bruse 1999; Bruse, Fleer 1998) durchgeführt. Als Modellgebiet wurde der Wiener Platz in der Dresdner Innenstadt ausgewählt und die Simulationen für einen Tag im Hochsommer durchgeführt. Einen kurzen Überblick zur grundlegenden Konfiguration im Modell gibt Tabelle 1.

Tab. 1: Konfiguration für die Modellierung der Projektgebiete (Quelle: Thiel 2015)

| Projektgebiet | Rechengitter (x x y x z) | Domain | Initialwind in 10 m Höhe über Grund und Windrichtung |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------|---|
| Wiener Platz Dresden | 117 x 88 x 25 | 585 m x 440 m x 147 m | 3,8 m s ⁻¹ /247.5°/ |

Das Modellgebiet wurde mit einer horizontalen Auflösung von 5 m x 5 m umgesetzt (Abb. 1). Die Höhe jeder vertikalen Gitterzelle steigt ab $z = 1.10$ m um 12 % an. Aus numerischen Gründen wurde ein größeres Gebiet simuliert als letztlich ausgewertet wurde. Im Auswerteggebiet (Abb. 1, roter Rahmen) variieren die Gebäudehöhen zwischen 10 m und knapp 50 m. Eine detaillierte Darstellung der gesamten Modelleinstellungen gibt Thiel (2015).

Im Modell wurden verschiedene Varianten der Dachbegrünung simuliert, wovon hier die Variante 3 (Bebauung mit bodengebundenem urbanen Grün ohne Dachbegrünung), die Variante 4 (extensive Dachbegrünung) und die Variante 5 (intensive Dachbegrünung) vorgestellt wird. Die Variante 3 stellt die Bezugsvariante dar. Einen Überblick zu den Varianten 3, 4 und 5 gibt Tabelle 2. In den Varianten 4 und 5 wurden im Modell alle Dächer mit Dachbegrünung versehen, die dafür aufgrund ihrer horizontalen Ausrichtung geeignet sind, unabhängig davon, ob diese auch im bautechnischen Sinne dafür konditioniert sind. Dies bedeutet, dass die im Modell umgesetzten Dachbegrünungen Maximalvarianten darstellen.



Abb. 1: Modellgebiet Wiener Platz in Dresden. In den Ergebnissen ausgewertet wurde das Gebiet in dem roten Rechteck (Auswertebereich). Die Nummern beziehen sich auf Rezeptorpunkte, die in der Auswertung genauer betrachtet werden. Die horizontale Auflösung beträgt 5 m. Hellgrau schraffiert/dunkelgrau: Gebäude; hellgrau schraffiert: begrünte Dachflächen; hellgrün: Gras (50 cm Höhe); dunkelgrün: Bäume (10 m Höhe), Darstellung für Variante 4 und 5 (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Thiel 2015)

Tab. 2: Überblick über die mit ENVI-met 3.1. simulierten Varianten. Bei den Bäumen handelt es sich jeweils um Laubbäume (Quelle: Thiel 2015)

| Nr | Bezeichnung | Albedo Gebäudewände Gebäudedächer | Modellierung urbanes Grün | |
|----|---|---|---------------------------------------|--|
| | | | Straßenniveau | Dach |
| 3 | Bebauung mit urbanem Grün | 0.3 | Gras (50 cm Höhe) Baum (10 m Höhe) | keine Dachbegrünung |
| 4 | Bebauung mit urbanem Grün, Extensivbegrünung aller begrünbaren Dächer | 0.3 | Gras (50 cm Höhe) Baum (10 m Höhe) | Extensivbegrünung Gras (50 cm Höhe) |
| 5 | Bebauung mit urbanem Grün und Intensivbegrünung aller begrünbarer Dachflächen | 0.3 | Gras (50 cm Höhe) Baum (10 m Höhe) | Intensivbegrünung Gras (50 cm Höhe) Hecke (2 m Höhe) Baum (10 m Höhe) |

Die Beurteilung der thermischen Belastung erfolgt mithilfe des bioklimatischen Indexes UTCI (Jendritzky et al. 2006; Jendritzky et al. 2009). Dieser drückt die thermische Belastung in °C aus und unterscheidet zwischen verschiedenen Belastungsstufen (Tab. 3). Zur Berechnung des UTCI wurden die benötigten Daten aus den Ergebnisdateien von ENVI-met 3.1 selektiert und der UTCI mit einem separaten Programm berechnet.

Tab. 3: Beurteilung der menschlichen Hitzebelastung mithilfe des UTCI (Quelle: Jendritzky et al. 2006; Jendritzky et al. 2009)

| UTCI in °C | Thermisches Empfinden |
|------------|--------------------------|
| > 46 | extremer Hitzestress |
| 38 – 46 | sehr starker Hitzestress |
| 32 – 38 | starker Hitzestress |
| 26 – 32 | moderater Hitzestress |
| 9 – 26 | kein thermischer Stress |

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse werden im Folgendem für den Zeitpunkt der maximalen Hitzebelastung (14 Uhr) in Höhe des Straßenniveaus dargestellt (x-y-Schnitt bei $k = 2$, Modellhöhe z_2 mit unterem Rand bei $z = 1,10$ m und oberem Rand bei $z = 2,75$ m). Rasterzellen mit Gebäudebebauung werden bei der Betrachtung ausgeschlossen. Abbildung 2a gibt einen Überblick über den UTCI für die Referenzvariante (Variante 3, bodengebundenes Grün, keine Dachbegrünung) und die beiden Varianten mit Dachbegrünung (Variante 4, Variante 5).

Es zeigt sich, dass die UTCI-Werte im Auswertebereich für alle Varianten einen ähnlichen Bereich überstreichen (Abb. 2a). Um die Unterschiede zwischen den Varianten klarer

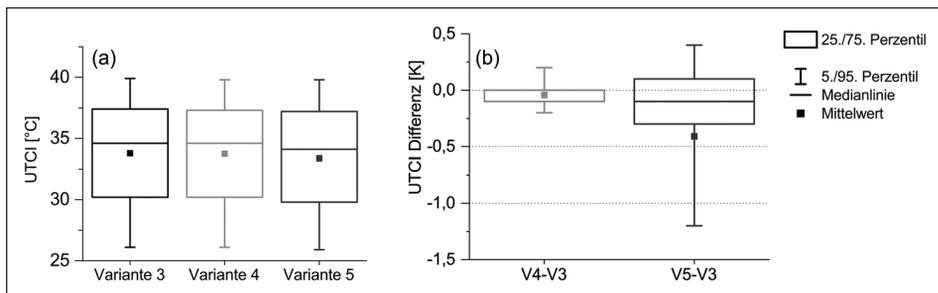


Abb. 2: (a): Verteilung des UTCI in Höhe des Straßenniveaus (in ca. 2 m Höhe) für die Varianten (siehe Tab. 2) mit und ohne Dachbegrünung für alle Rasterzellen ohne Gebäude. (b): Verteilung der Differenzen im UTCI in Bezug auf die Variante 3 (Variante ohne Dachbegrünung und mit bodengebundener Grün) (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Thiel 2015)

darstellen zu können, wurden Differenzen berechnet. Hierzu wurden von den UTCI-Werten der Variante 4 bzw. der Variante 5 jeweils die zugehörigen UTCI-Werte der Variante 3 (Bezugsvariante) abgezogen. Die Änderungen, die sich im UTCI aufgrund der Dachbegrünung ergeben, betragen im Mittel ca. -0.04 K ($-0,4\text{ K}$) für die extensive (intensive) Dachbegrünung (Abb. 2b). Im Mittel ist somit für dieses Modellgebiet aufgrund der numerischen Simulationen keine signifikante Beeinflussung der thermischen Behaglichkeit in Höhe des Straßenniveaus darstellbar. Abbildung 2b zeigt aber auch an, dass sich eine gewisse Spannbreite der klimatischen Wirkung der Dachbegrünung im betrachteten Gebiet ergibt. Dies spiegelt auch die flächenhafte Darstellung der Differenzen zwischen den Varianten 5 und 3 wider (Abb. 3). Hier zeigt sich, dass in vielen Bereichen die thermische Wirkung der Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus sehr klein ausfällt (grüne Bereiche). Es zeichnen sich aber auch Bereiche ab, wo die Dachbegrünung eine etwas größere Reduzierung des UTCI bewirkt (blaue Bereiche). Dem gegenüber stehen Bereiche, in denen sich der UTCI geringfügig aufgrund der Dachbegrünung erhöht (gelb, orange, rote Bereiche).

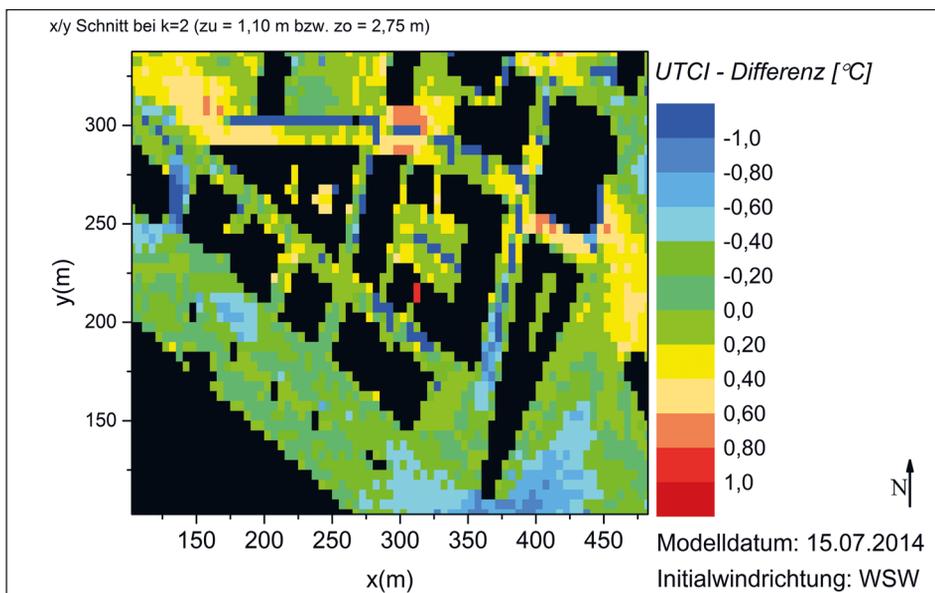


Abb. 3: Änderung des UTCI in Höhe des Straßenniveaus (in ca. 2 m Höhe), wenn intensive Dachbegrünung im Modell umgesetzt wird. Dargestellt ist die Differenz Variante 5 (Bebauung mit urbanem Grün und intensiver Dachbegrünung) – Variante 3 (Bebauung mit urbanem Grün ohne Dachbegrünung) (Quelle: Thiel 2015)

Die Gebiete mit erhöhtem UTCI sind im Allgemeinen durch eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit aufgrund der Dachbegrünung charakterisiert. Mit der Implementierung von Dachbegrünung kann man eine Veränderung der Luftfeuchte erwarten.

Die Luftfeuchte wird im Modell durch die Dachbegrünung kaum geändert. Im Mittel erhöht sich die spezifische Luftfeuchte für die Variante 5 sehr geringfügig um $0,05 \text{ g kg}^{-1}$. Für die Variante 4 (extensive Dachbegrünung) fällt dieser Wert noch geringer aus. Es ist somit von keiner maßgeblichen Beeinflussung des UTCI aufgrund von Feuchteänderungen auszugehen.

Die Frage ist nun, unter welchen Bedingungen eine etwas größere klimatische Wirkung der Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus zu erwarten ist. Hierzu werden die Rezeptorpunkte 1 und 4 näher betrachtet.

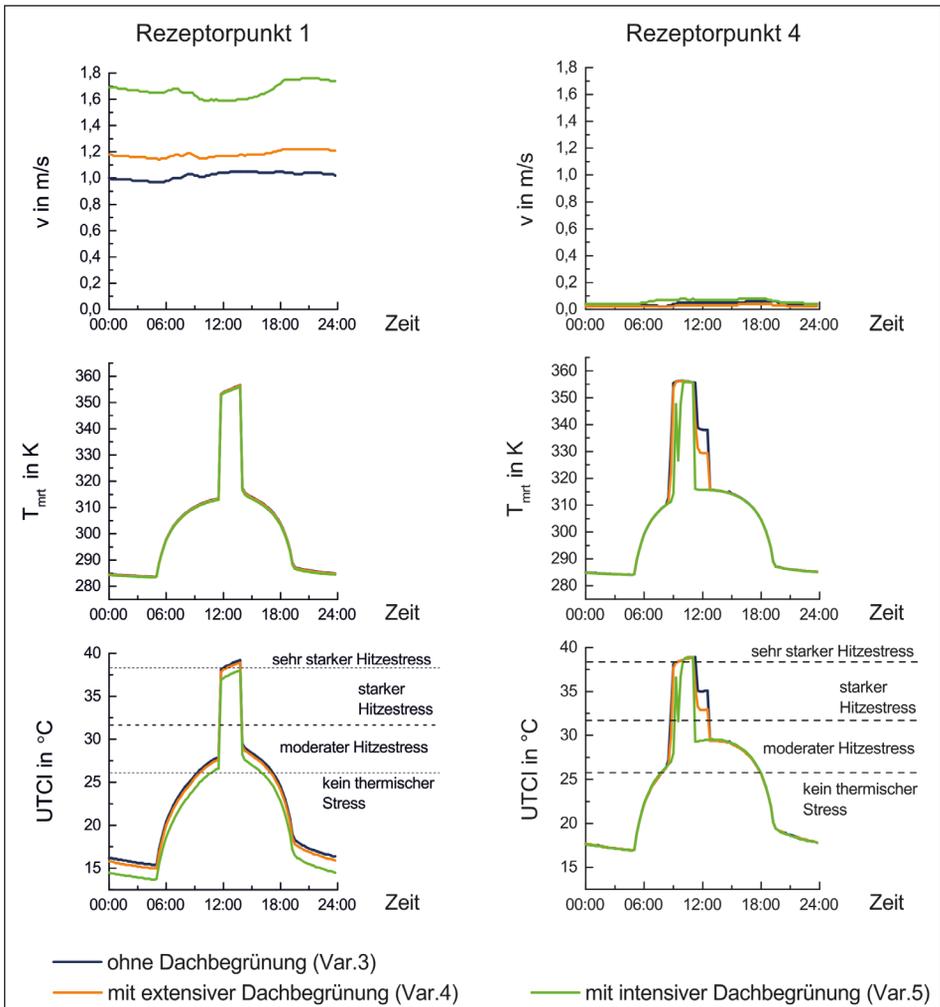


Abb. 4: Links: Detailbetrachtungen für Rezeptorpunkt 1. Rechts: Detailbetrachtung für Rezeptorpunkt 4. T_{mrt} Strahlungstemperatur, v Windgeschwindigkeit, UTCI bioklimatischer Index, jeweils in Höhe des Straßenniveaus (in ca. 2 m Höhe über Grund) (Quelle: eigene Darstellung basierend auf Thiel 2015)

Der Rezeptorpunkt 1 befindet sich in einer Straßenschlucht mit Nord-Südausrichtung (Abb. 1). Hier nimmt die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Intensität der Dachbegrünung zu (Abb. 4). Die mittlere Strahlungstemperatur als auch die Feuchte (ohne Abbildung) hingegen ändern sich kaum. Die Reduktion des UTCI ist vornehmlich auf die Änderung der Windgeschwindigkeit an diesem Punkt zurückzuführen. Für den Rezeptorpunkt 4 (Innenhof) hingegen ändert sich die Windgeschwindigkeit kaum ebenso wie die Feuchte (ohne Abb.). An diesem Punkt ist jedoch eine Reduzierung der Strahlungstemperatur aufgrund des vergrößerten Schattenwurfs durch die Dachbegrünung zu verzeichnen und führt entsprechend zu einer Reduzierung des UTCI zu diesen Zeitpunkten. Für beide Rezeptorpunkte gilt, dass der UTCI leicht verringert wird. Diese Verringerung führt aber nicht immer zu einer geringeren thermischen Belastungsstufe.

Eine Verringerung der bioklimatischen Belastungsstufe wird primär durch eine Reduzierung der mittleren Strahlungstemperatur erreicht, insbesondere durch vergrößerte Schattenwürfe. Allgemein gilt dies vor allem für windarme Situationen und/oder windberuhigte Bereiche, wie bereits in anderen Studien zum Stadtklima beschrieben (z. B. Ali-Toudert, Mayer 2006; Matzarakis et al. 2009; Goldberg et al. 2013).

4 Fazit

Die Analyse der mit ENVI-met simulierten Daten für ein Gebiet in Dresden (Wiener Platz) zeigt, dass es nur geringe thermische Fernwirkungen von Dachbegrünungen in Höhe des Straßenniveaus gibt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit anderen Studien, die nur geringe bis gar keine Wirkungen von Dachbegrünungen in Höhe des Straßenniveaus feststellen (Ng et al. 2012; Peng, Jim 2013). Günstigste Variante ist dabei eine intensive Dachbegrünung. Im Flächenmittel wird der UTCI-Wert auf Fußgängerniveau bei dieser Variante um $-0,4$ K reduziert in Bezug auf die Referenz (Bebauung mit urbanem bodengebundenem Grün, aber ohne Dachbegrünung), wobei es lokal zu größeren Abkühlungseffekten kommen kann. Eine Verringerung der thermischen Belastung wird vor allem durch veränderte Strahlungsbedingungen (Vergrößerung Schattenwurf) sowie aufgrund erhöhter Windgeschwindigkeiten erreicht. Bei extensiver Dachbegrünung ändert sich der UTCI auf Fußgängerniveau im Flächenmittel nur marginal ($-0,04$ K).

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass durch Dachbegrünung in stark verbauten urbanen Gebieten vorherrschende Kanal- und Düseneffekte verstärkt werden und die dadurch veränderte Durchlüftungssituation dazu beitragen kann, die thermische Behaglichkeit in Höhe des Straßenniveaus zu verbessern. Belüftungssituationen lassen sich nicht pauschal auf andere urbane Gebiete übertragen (Oke 1988). Dies legt entsprechende Simulationen beziehungsweise Messungen in einem bestimmten Planungsgebiet nahe.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Dachbegrünung bodengebundenen Grün im Hinblick auf die Mitigation von Hitzestress in Höhe des Straßenniveaus sinnvoll ergänzen jedoch nicht ersetzen kann.

Unabhängig davon ist die positive Wirkung von Dachbegrünung auf das Innenraumklima sowohl in Hitze- als auch Kälteperioden hervorzuheben (u. a. Getter, Rowe 2006; Synnefa, Santamouris 2012; Ghaffarian-Hoseini et al. 2013). Sie sollte daher bei baulichen Maßnahmen allgemein Beachtung finden.

5 Literatur

- Ali-Toudert, F.; Mayer, H. (2006): Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41: 94-108.
- Berardi, U. (2016): The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings* 121: 217-229.
- Berardi, U.; GhaffarianHoseini, A.; GhaffarianHoseini, A. (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* 115: 411-428.
- Bruse M. (1999): Die Auswirkungen kleinskaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind, Temperatur und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Dissertation, Universität von Bochum, 217 Seiten.
- Bruse, M.; Fleer, H. (1998): Simulating surface-plant air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Software and Modelling* 13: 373-384.
- Getter, K. L.; Rowe, D. B. (2006): The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience* 41: 1276-1285.
- GhaffarianHoseini, A.; Dahlan, N. D.; Berardi, U.; GhaffarianHoseini, A.; Makaremi, N.; GhaffarianHoseini, M. (2013): Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25: 1-17.
- Goldberg, V.; Kurbjuhn, C.; Bernhofer, C. (2013): How relevant is urban planning for the thermal comfort of pedestrians? Numerical case studies in two districts of the City of Dresden (Saxony/Germany). *Meteorologische Zeitschrift* 22: 739-751.
- Jendritzky, G.; Bröde, P.; Fiala, D.; Havenith, G.; Weihs, P.; Batcharova, E.; De Dear, R. (2009): Der Thermische Klimaindex UTCI. DWD, Klimastatusbericht 2009: 96-101.
- Jendritzky, G.; Havenith, G.; De Dear, R. (2006): Stand der Entwicklung beim Universellen Thermischen Klimaindex UTCI. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg* 16: 16-18.
- Matzarakis, A.; De Rocco, M.; Najjar, G. (2009): Thermal bioclimate in Strasbourg – the 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology* 98: 209-220.

- Ng, E.; Chen, L.; Wang, Y.; Yuan, C. (2012): A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment, International Workshop on Ventilation, Comfort, and Health in Transport Vehicles* 47: 256-271.
- Oke, T. R. (1988): *Boundary Layer Climates*. 2. Auflage, Routledge, London und New York, 435 Seiten.
- Ouldboukhitine, S.-E.; Belarbi, R.; Sailor, D. J. (2014): Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside buildings. *Applied Energy* 114: 273-282.
- Peng, L. L. H.; Jim, C. Y. (2013): Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies* 6: 598-618.
- Synnefa, A.; Santamouris, M. (2012): Advances on technical, policy and market aspects of cool roof technology in Europe: The Cool Roofs project. *Energy and Buildings, Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World* 55: 35-41.
- Thiel, S. (2015): Dachbegrünung – Thermische Wirkung an einem heißen Sommertag. Werkvertragsbericht an die Professur für Meteorologie der TU Dresden, unveröffentlicht.