

# Sommerlicher Wärmeschutz durch die Begrünung von Außenanlagen und Gebäuden

Infolge des Klimawandels werden die Sommer in Deutschland im Durchschnitt immer heißer. Die Begrünung von Außenanlagen und Gebäuden reduziert den städtischen Wärmeinsellekt und verbessert das Mikroklima. Ob sich dies auch bei stark gedämmten Gebäuden wesentlich auf den sommerlichen Wärmeschutz und die Behaglichkeit in Innenräumen auswirkt, ist bislang allerdings unklar. Um diese Fragestellung zu untersuchen, wurden thermisch-dynamische Gebäudesimulationen mit IDA ICE und Mikroklimasimulationen mit ENVI-MET gekoppelt. Die Untersuchung erfolgte an einer für Deutschland typischen Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung. Im Vergleich zu unbegrünten Gebäuden und Gartenflächen mit Rasen kann durch das Pflanzen von Sträuchern und Bäumen in Kombination mit einer extensiven Dachbegrünung und Moosfassaden der sommerliche Wärmeschutz an einem heißen Tag um bis zu 20 % verbessert werden. Die Begrünung hat gegenüber konventionellen Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz den Vorteil, dass bei gezielter Pflanzenauswahl zusätzlich die Biodiversität und die Luftqualität am Standort verbessert werden.

**Stichworte** sommerlicher Wärmeschutz; Gebäudebegrünung; Mikroklima; IDA ICE; ENVI-MET; thermische Behaglichkeit; Klimaanpassung

## Protection against summer overheating due to greening in the built environment

Due to climate change, the average summer climate in Germany gets hotter. The greening of outdoor facilities and buildings reduces the urban heat island effect and improves the micro-climate. If this has a significant effect on the protection against summer overheating and the indoor thermal comfort of highly insulated buildings, is so far unknown. This question is investigated by coupling the thermal-dynamic building simulation software IDA ICE with the micro-climate simulation software ENVI-MET. The investigation was carried out using a typical residential area in Germany. In comparison to conventional buildings and gardens with only lawn, the planting of shrubs and trees in combination with extensive roof greening and moss façades enhances the protection against summer overheating on a hot day by up to 20 %. Through an appropriate plant selection the greening leads to an enhanced biodiversity and a better air quality, which is not possible, using conventional measures for the protection against summer overheating.

**Keywords** protection against summer overheating; greening; microclimate; IDA ICE; ENVI-MET; thermal comfort; climate adaptation

## 1 Einleitung

Die mittlere Erdoberflächentemperatur lag in der Zeitspanne 2015 bis 2019 um mehr als 1°C über dem vorindustriellen Niveau [1]. Die steigende mittlere Erdoberflächentemperatur macht sich unter anderem im Sommerklima von Deutschland bemerkbar. Es wird ein Anstieg der Anzahl an heißen Tagen und Tropennächten sowie eine Zunahme der Anzahl und Dauer von Hitzewellen beobachtet. Mit dem Pariser Klimaabkommen wurde zwar beschlossen, die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Wert bis in das Jahr 2100 auf deutlich unter 2°C und möglichst auf 1,5°C zu begrenzen. Das bedeutet aber auch: Selbst bei Erreichen der in Paris festgeschriebenen ambitionierten Klimaschutzziele wird sich die mittlere Erdoberflächentemperatur im Verlauf des 21. Jahrhunderts weiter erhöhen. Somit wird sich auch das Klima weiter wandeln [2]. Bislang gilt es als sehr wahrscheinlich, dass sich die mittlere Erdoberflächentemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um circa 3°C im Vergleich zum vorindustriellen Wert erhöhen wird [3, 4]. Unter Ansatz der Worst-Case-Szenarien (A2 bzw. RCP8.5) würden in Deutschland Extremsommer, wie beispielsweise der Sommer 2003, am Ende des 21. Jahrhunderts zum Durchschnitt werden [2].

Die bereits eingetretenen und zukünftig zu erwartenden Veränderungen des Sommerklimas in Deutschland machen die Klimaanpassung von Gebäuden zwingend notwendig. Nur so können thermisch behagliche Innenraumbedingungen ohne aktive technische Kühlmaßnahmen dauerhaft sichergestellt werden. Durch Sonnenschutzmaßnahmen, thermische Speichermassen, Nachtlüftung oder andere natürliche Wärmesenken können erhebliche Effekte bei der Klimaanpassung erreicht werden [5]. Die vorliegende Studie befasst sich deshalb mit folgenden Fragestellungen:

- I. Kann die Begrünung von Außenanlagen und Gebäuden auch bei guten Wärmedämmeigenschaften der Gebäudehülle den sommerlichen Wärmeschutz wesentlich verbessern?
- II. Wirken sich reduzierte Lufttemperaturen im Außenraum und die Verschattung von Bauteiloberflächen merklich auf die thermische Behaglichkeit im Innenraum aus?
- III. Wie sollten Pflanzen ausgewählt werden, um die Biodiversität und Luftqualität positiv zu beeinflussen?

Ein ausführlicher Literaturüberblick zu den Auswirkungen von Begrünungen auf den Energiebedarf von Gebäuden

den findet sich in Raji et al. [6]. Jaffal et al. [7] untersuchten für ein Einfamilienhaus mit Flachdach die Auswirkungen einer zusätzlichen Dachbegrünung auf die Lufttemperatur im Innenraum sowie den Heizwärme- und Kühlbedarf. Die Untersuchungen fanden für das gemäßigte, ozeanische Klima von La Rochelle in Frankreich statt. Dabei wurde der Dämmstandard des Flachdachs variiert. Prinzipiell kann durch die Dachbegrünung eine Reduktion der sommerlichen Lufttemperatur im Innenraum, des Kühlbedarfs und des jährlichen Gesamtenergiebedarfs erreicht werden. Bei hohen Dämmstandards des Flachdachaufbaus kann die Lufttemperatur im Innenraum an einem heißen Sommertag durch eine zusätzliche Dachbegrünung immer noch um 1,0 K reduziert werden. Der Kühlbedarf kann um über 60% reduziert werden. In einem weiteren Schritt wurden die Klimarandbedingungen variiert und zusätzlich die Klimata von Athen und Stockholm betrachtet. Je wärmer das Klima, umso ausgeprägter ist der Einfluss einer Dachbegrünung auf die Lufttemperaturen im Innenraum. In der Untersuchung von Jaffal et al. [7] konnte gezeigt werden, dass sich das Gründach im gemäßigten Klima kaum auf den Heizwärmebedarf auswirkt, während im kälteren Stockholmer Klima eine Reduktion und im mediterranen Klima eine Erhöhung festgestellt wird. In allen Klimata kann der jährliche Energiebedarf durch das Gründach reduziert werden. Ascione et al. [8] untersuchten für ein gedämmtes eingeschossiges Bürogebäude (Wärmedurchgangskoeffizient des unbegrünten Dachs:  $0,377 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) die Entwicklung des jährlichen Primärenergiebedarfs für Heizung und Kühlung, wenn eine Dachbegrünung hinzugefügt wird. Sowohl für mediterrane Klimabedingungen als auch für gemäßigte und kältere Klimata konnte eine Reduktion des jährlichen Energiebedarfs festgestellt werden. Inwiefern sich die Begrünung von

- Außenanlagen,
- Außenanlagen und Dachflächen sowie
- Außenanlagen, Dachflächen und Fassaden

auf den sommerlichen Wärmeschutz und die thermische Behaglichkeit in Innenräumen auswirkt und inwiefern eine gezielte Pflanzenauswahl zusätzlich die Biodiversität und die Luftqualität beeinflusst, ist Gegenstand dieser Analyse. Um hochwertige Aussagen zum Innenraum-

klima zu erhalten, wurde eine Kopplung der thermisch-dynamischen Gebäudesimulationssoftware IDA ICE Version 4.8 mit der Mikroklimasimulationssoftware ENVI-MET Version 4.4 durchgeführt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Mustergebäude

Die Untersuchungen fanden an dem für das Forschungsprojekt „KLIBAU – Weiterentwicklung und Konkretisierung des Klimaangepassten Bauens“ [9] definierten Mustergebäude statt (Bild 1). Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit L-förmigem Grundriss, Staffelgeschoss und Flachdach. Die Außenwände mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bestehen aus Kalksandstein mit einem Wärmedämmverbundsystem aus expandiertem Polystyrol (EPS). Die Innenwände sind ebenfalls aus Kalksandsteinmauerwerk. Die Bodenplatte sowie die Geschossdecken sind aus Stahlbeton. Das Flachdach ist als Warmdach mit einer Dämmung aus 20 cm extrudiertem Polystyrol-Hartschaum, mehrlagiger Abdichtungsbahn und 10 cm Bekiesung ausgeführt. Es erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizienten von  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

### 2.2 Nachweis sommerlicher Wärmeschutz

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wurde mithilfe thermisch-dynamischer Gebäudesimulationen durchgeführt. Die Simulationsrandbedingungen entsprechen den Vorgaben der DIN 4108-2:2013-02, Abschnitt 8.4 [10]. Die Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgt durch die Anzahl der Übertemperaturgradstunden pro Jahr, die zugehörige Einheit ist  $\text{K} \cdot \text{h}/\text{a}$ . Übertemperaturgradstunden berücksichtigen nicht nur die Dauer, sondern auch die Höhe einer Temperaturüberschreitung des Grenzwertes. Für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird Deutschland nach DIN 4108-2:2013-02 [10] in drei Sommerklimaregionen unterteilt – sommerkühl, gemäßigt und sommerheiß. Der Grenzwert der operativen Innentemperatur ist für die gemäßigten Sommerklimaregionen Deutschlands zu  $26^\circ\text{C}$



**Bild 1** Perspektivische Darstellung des Mustergebäudes  
 Perspective of the example building

definiert. Das bedeutet, wenn in einem Innenraum an einem Tag an acht Stunden eine operative Innentemperatur von  $26,5^{\circ}\text{C}$  auftritt, dann werden an diesem Tag  $8\text{ h} \cdot 0,5\text{ K} = 4\text{ K} \cdot \text{h}$  erreicht. In Wohnräumen dürfen bei einer Nutzungszeit von 24 Stunden am Tag und 365 Tagen im Jahr nicht mehr als  $1.200\text{ K} \cdot \text{h/a}$  auftreten.

### 2.3 Auswahl Klimadatenatz

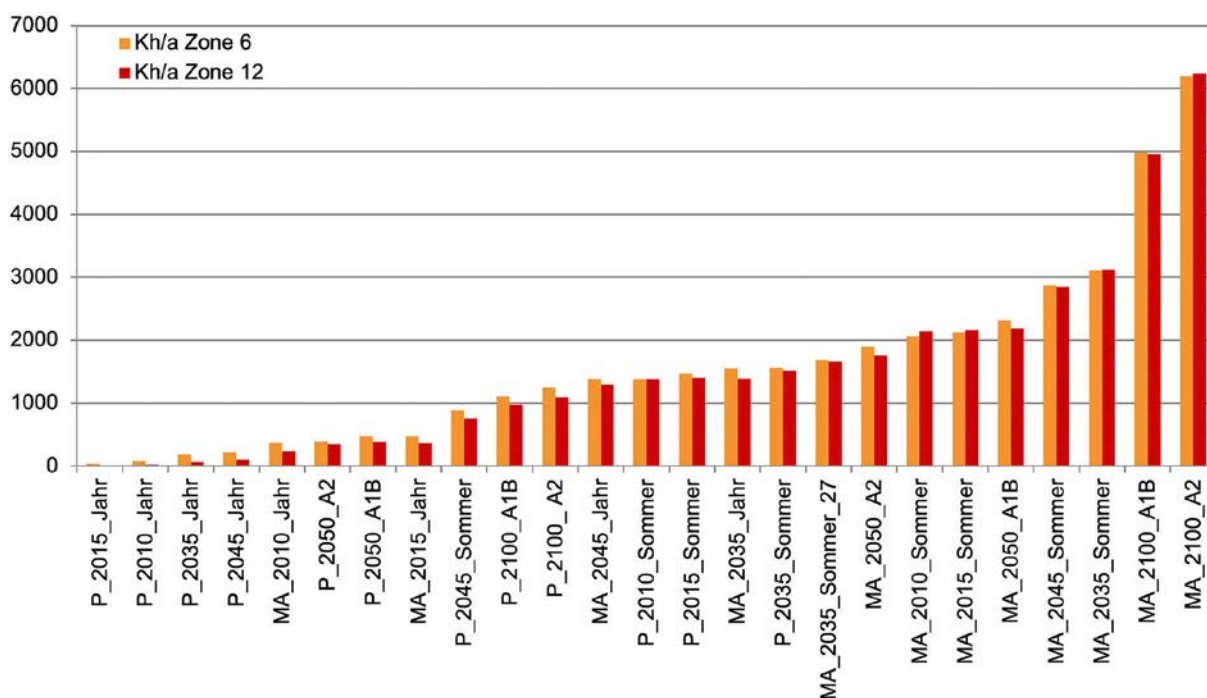
Da die Mikroklimasimulationen mit ENVI-MET sehr zeitintensiv sind, wurden die Untersuchungen zunächst nur mit einem Klimadatenatz durchgeführt. Dieser sollte den zu erwartenden Klimawandel berücksichtigen, ohne ein Worst-Case-Szenario darzustellen. Zu diesem Zweck wurde das Mustergebäude in IDA ICE abgebildet und der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes entsprechend Abschnitt 2.2 mit verschiedenen Klimadatenätzen geführt. Verwendet wurden Datensätze der Klimastationen Potsdam und Mannheim. Die Klimadaten von Potsdam gelten gemäß DIN V 18599-10 [11] als repräsentativer Durchschnitt für Deutschland. Beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist für die durchschnittliche, gemäßigte Sommerklimaregion das Testreferenzjahr (TRY) 2010 der Region 4 mit der Repräsentanzstation Potsdam als Normaljahr anzusetzen. Für die sommerheißen Gebiete Deutschlands kommt das entsprechende Testreferenzjahr der Region 12 mit der Repräsentanzstation Mannheim zur Anwendung.

Es wurden die frei zugänglichen TRY 2010, 2015, 2035 und 2045 des Deutschen Wetterdienstes als Normaljahre und sommerfokussierte Jahre verwendet [12, 13]. Dabei sind die TRY 2035 repräsentativ für die Zeitspanne 2021

bis 2050 und die TRY 2045 für die Zeitspanne 2031 bis 2060 [12, 13]. Zudem wurden mit der Software Meteororm unter Ansatz des gemäßigten und des extremen Emissionsszenarios A1B und A2 [14] typische Klimadatenätze für die Bezugsjahre 2050 und 2100 erzeugt. Um die Klimadatenätze miteinander vergleichen zu können, wurden die Übertemperaturgradstunden auch für Mannheim bei einem Bezugswert der operativen Innentemperatur von  $26^{\circ}\text{C}$  ausgewertet und nicht (wie in DIN 4108-2:2013-02 [10] vorgesehen) bei  $27^{\circ}\text{C}$ . Die Auswertung erfolgte für die beiden kritischen Räume des Mustergebäudes (Bild 2).

Für Potsdam ist das sommerfokussierte TRY 2045 wesentlich unkritischer als die sommerfokussierten TRY 2010, 2015 und 2035. Zudem führen die sommerfokussierten TRY 2010, 2015 und 2035 zu mehr Übertemperaturgradstunden als der Klimadatenatz für ein typisches Jahr zum Ende des 21. Jahrhunderts unter Ansatz des Emissionsszenarios A2. Auch für die Station Mannheim ist das sommerfokussierte TRY 2045 weniger kritisch als das sommerfokussierte TRY 2035. Allerdings sind die mit Meteororm erstellten Klimadatenätze für das Ende des 21. Jahrhunderts deutlich kritischer als die sommerfokussierten Testreferenzjahre. Wie sich die Wahl des Bezugswertes der operativen Innentemperatur auf die Übertemperaturgradstunden auswirkt, wurde anhand des Klimadatenatzes sommerfokussiertes TRY 2035 für Mannheim aufgezeigt (Bild 2, MA\_2035\_Sommer und MA\_2035\_Sommer\_27).

Bei der Auswahl des Klimadatenatzes wurde auf die freie Zugänglichkeit geachtet. Dementsprechend kamen die mit Meteororm erzeugten Klimadatenätze nicht in Be-



**Bild 2** Übertemperaturgradstunden in den kritischen Räumen des Mustergebäudes bei Verwendung der für Potsdam (P) und Mannheim (MA) gültigen Klimadatenätze

Overheating hours (number of excess temperature degree hours) in the critical rooms of the example building, when using the climate data for Potsdam (P) and Mannheim (MA)

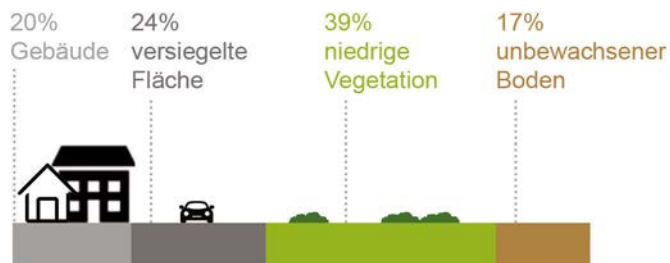
tracht. Des Weiteren sollte ein für Deutschland durchschnittliches Klima abgebildet werden, womit die Klimastation Potsdam im Fokus blieb. Um auch den zukünftig zu erwartenden Klimawandel zu berücksichtigen und nicht den kritischsten Klimadatenatz für Potsdam zu verwenden, wurde das sommerfokussierte, extrem warme Testreferenzjahr 2010 für die Testreferenzjahr-Region 4 mit der Repräsentanzstation Potsdam ausgewählt. Dabei handelt es sich um ein reales, bereits aufgetretenes Ereignis, welches nicht hypothetisch ist. Für die sommerfokussierten TRY 2010 werden real gemessene extreme Sommerhalbjahre an der jeweiligen Repräsentanzstation ausgewählt und um die angrenzenden Jahreszeiträume ergänzt. In diesem Fall handelt es sich um die Messwerte an der DWD-Station Potsdam aus dem Jahr 2006 (vgl. [12]). Vergleicht man die sich aus dem sommerfokussierten TRY 2010 für Potsdam ergebenden Übertemperaturgradstunden mit denen der Meteororm-Datensätze unter den Emissionsszenarien A1B und A2, wird deutlich, dass das sommerfokussierte Testreferenzjahr 2010 erst zum Ende des 21. Jahrhunderts ein durchschnittliches Ereignis in den gemäßigten Sommerklimaregionen Deutschlands darstellen kann. Demgegenüber sind in den sommerheißen Regionen Deutschlands bereits zur Mitte des 21. Jahrhunderts höhere Übertemperaturgradstunden bei einem Bezugswert von 26°C wahrscheinlich.

## 2.4 Auswahl Betrachtungszeitraum

Um den Rechenaufwand mit ENVI-MET zu reduzieren, wurde nur ein einzelner Tag des Jahres simuliert. Die Auswahl des Tages erfolgte wiederum anhand der Übertemperaturgradstunden. Wird der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2013-02 [10], Abschnitt 8.4 für das Mustergebäude mit dem sommerfokussierten, extrem warmen TRY 2010 der TRY-Region 4 (Repräsentanzstation Potsdam) geführt, ergeben sich die meisten Übertemperaturgradstunden für den 27. Juli. Dementsprechend wurde dieser Tag als heißer Tag definiert und in den ENVI-MET-Simulationen betrachtet.

## 2.5 Siedlungsstruktur und Bebauungsdichte

Als Grundlage für die Mikroklimasimulationen wurde zunächst eine typische Siedlungsstruktur definiert. Dabei wurde Wert darauf gelegt, eine für Deutschland repräsentative Quartiersstruktur abzubilden. Roth et al. [15] haben ein Siedlungsstrukturmodell für die Bundesrepublik Deutschland entwickelt. Auf Grundlage städtebauteoretischer Überlegungen konnten sie für Deutschland neun übliche Siedlungstypen identifizieren. Für mikroklimatische Simulationen ist eine klare Aufteilung in bebaute Flächen, anderweitig versiegelte Flächen (Verkehrsflächen, Fußwege) und Freiflächen notwendig. Früh et al. [16] sowie Buchholz und Kossmann [17] beschreiben, wie aus den Siedlungstypen von [15] prozentuale Flächenanteile für Gebäude, versiegelte Flächen, unbewachsenen Boden und niedrige Vegetation bestimmt werden. Diese



(Quelle: Buchholz/Kossmann)

**Bild 3** Prozentuale Aufteilung versiegelter und unversiegelter Flächen in der Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung niedriger Dichte, aus [18]  
Percentage of sealed and unsealed surfaces in the residential area of low density, see [18]

Flächenaufteilung wird auch im Informationsportal Klimaanpassung in Städten (INKAS) des Deutschen Wetterdienstes verwendet [18]. Das untersuchte Einfamilienhaus kann typischer Weise nur in zwei der neun Siedlungstypen vorkommen. Beim Siedlungstyp „Dorfkern und Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte“ sind nur 7% der Siedlungsfläche als Vegetationsfläche definiert. Dementsprechend kann bei diesem Siedlungstyp durch die Gestaltung von Außenanlagen nur ein geringer Effekt auf das Mikroklima erzielt werden. Aus diesem Grund wurde für die weiteren Untersuchungen der Siedlungstyp „Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung niedriger Dichte“ gewählt. Bei diesem ergibt sich entsprechend Buchholz und Kossmann [17] die in Bild 3 dargestellte Flächenaufteilung.

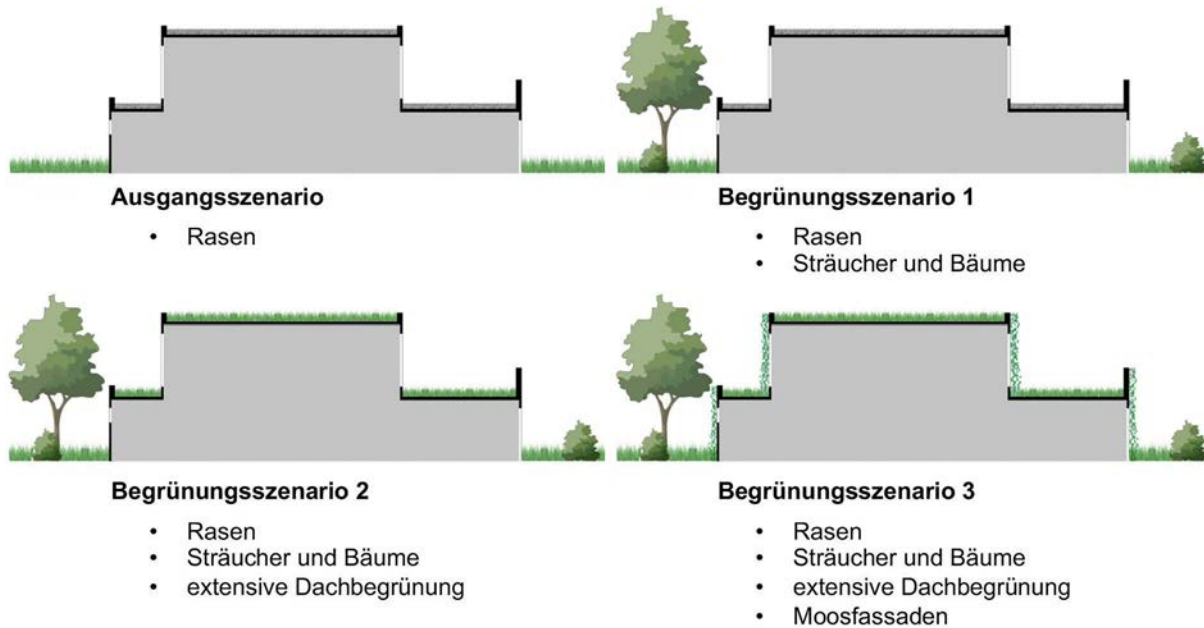
## 2.6 Begrünungsszenario

Im Ausgangsszenario wurden die vorgegebenen Standardaufbauten des Mustergebäudes für die Außenwände und Dachflächen zugrunde gelegt (vgl. Abschnitt 2.1). Die Außenanlagen sind nur mit 10 cm hohem Rasen als einziger Vegetation ausgeführt. Darauf aufbauend wurden drei Begrünungsszenarien entwickelt. Beginnend mit konventionellen Begrünungsformen, wie dem Pflanzen von Sträuchern und Bäumen in den Außenanlagen, über die Ausführung von extensiv begrünten Dächern bis hin zur Fassadenbegrünung mit Moos wurde das Maß der Begrünung dann von Szenario zu Szenario schrittweise gesteigert (vgl. Bild 4).

## 3 Mikroklimasimulationen

### 3.1 Pflanzenauswahl und Bestimmung der Pflanzenparameter

Bei der Auswahl der Pflanzen für die Begrünungsszenarien wurde darauf geachtet, dass diese einen Beitrag zur Steigerung der Biodiversität oder zur Verbesserung der Luftqualität leisten. Deshalb wurde auf Zuchtarten, gebietsfremde, potenziell invasive und invasive Arten verzichtet. Stattdessen wurden bevorzugt regionale, gebietsheimische (sogenannte autochthone) Wildarten verwendet. Weisen eingebürgerte Neophyten sehr vorteilhafte Eigenschaften hinsichtlich des Nahrungsangebots für Insekten oder der Feinstaubabscheidung auf, dann wurden



**Bild 4** Schematische Definition des Ausgangsszenarios und der drei Begrünungsszenarien  
Schematic Definition of the base case and the three greening scenarios

auch diese berücksichtigt. Zum detaillierten Prozess der Pflanzenauswahl vergleiche [9, S. 224–228].

Für die Begrünung der Außenanlagen wurden als Sträucher die Gemeine Hasel (*Corylus avellana*) und die Hainbuche (*Carpinus betulus*) eingesetzt. Als Bäume wurden der Apfelbaum (*Malus domestica*) und die Winterlinde (*Tilia cordata*) gewählt. Die Artenkombinationen repräsentieren sowohl Früh- als auch als Spätblüher und sind bedeutend für die Biodiversität von Insekten, Vögeln und Kleinsäugetern. Die Blüten werden von verschiedenen Arten von Schmetterlingen, Bienen und Hummeln besucht. Die reifen Früchte von Apfelbaum und Hasel bieten zudem ein Nahrungsangebot für kleinere Säugetiere, während die Winterlinde mit ihrer hohen Zuckerkonzentration im Nektar einen wichtigen Beitrag zur Biodiversität leistet. Alle gewählten Arten zeichnen sich durch ein gutes Feinstaubabschleimverhalten und durch Widerstandsfähigkeit gegenüber Trockenheit aus. Die für die Mikroklimasimulation mit ENVI-MET benötigten Pflanzenparameter wurden recherchiert und angesetzt.

In den Szenarien mit Dachbegrünung wurde die 10 cm dicke Kiesschicht durch eine 15 cm dicke Substratschicht mit einer extensiven Begrünung aus Stauden, Gräsern und Sukkulenten ersetzt. Für Dachsubstrate konnten die notwendigen Parameter zur Eingabe in ENVI-MET nicht recherchiert werden. Aus diesem Grund wurden in guter Näherung die Parameter für sandigen Lehm verwendet. Stauden, Gräser und Sukkulenten erreichen als Kombination nicht nur hohe mikroklimatische Leistungen bezüglich Wasserspeicherung, Evaporationskälte und Beschattung [19], sondern stellen auch vielfältige Wuchsformen mit zahlreichen Gattungen dar, sodass viele verschiedene Pflanzenarten gewählt werden können. Zur Ermittlung der Pflanzenparameter für die Simulation in ENVI-MET wurden für hohe Stauden die Luzerne (*Medi-*

*cago sativa*), der Rote Fingerhut (*Digitalis purpurea*) und die Gemeine Nachtkerze (*Oenothera biennis*) verwendet. Für Gras wurde auf allgemeine Daten der Pflanzenfamilie der Süßgräser (*Poaceae*) zurückgegriffen. Die erforderlichen Daten von Sukkulenten entstammen den Arten Weiße Fetthenne (*Sedum album*), Scharfer Mauerpfeffer (*Sedum acre*) und Echte Rosenwurz (*Rhodiola rosea*).

Die Fassadenbegrünung besteht aus Moosen auf einer Trägerplatte und wird vor dem Standard-Wandaufbau des Mustergebäudes platziert. Die erforderlichen Pflanzenparameter für Moose entstammen den an Trockenstress angepassten Arten Graues Zackenmützenmoos (*Racomitrium canescens*), Haarblättriges Vielzahnbirnmoos (*Bryum capillare*) und Purpurstieliges Hornzahnmoos (*Ceratodon purpureus*).

### 3.2 Simulationsrandbedingungen

Die in Abschnitt 2.5 beschriebene „Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung niedriger Dichte“ wurde mit den dort genannten Flächenaufteilungen in ENVI-MET modelliert. Die Siedlungsfläche hat eine Größe von 118 m × 112 m. Die Gebäude haben Abmessungen von 14 m × 12 m bei einer Höhe von 6 m. In diese Siedlungsfläche wurde das Mustergebäude integriert. In Bild 5 ist die Definition der Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung inkl. Mustergebäude in ENVI-MET dargestellt.

Die in IDA ICE für den 27. Juli um 0.00 Uhr simulierte Innenraumtemperaturen wurden als Ausgangszustand für die Innenraumtemperaturen der Gebäude in der Mikroklimasimulation mit ENVI-MET angesetzt. Anschließend wurden die Mikroklimasimulationen für den 27. Juli unter Verwendung des sommerfokussierten, extrem warmen TRY 2010 für die TRY-Region 4 mit der Repräsen-

tanzstation Potsdam durchgeführt. Für die Begrünung der Außenanlagen wurden entlang der Außenkanten der Gartenflächen die Gemeine Hasel und die Hainbuche als Sträucher platziert. In der zentralen Achse zwischen den Gebäuden wurden jeweils vier Winterlinden positioniert. Bei den restlichen Bäumen handelt es sich um Apfelbäume. Im Begrünungsszenario 2 wurden sämtliche Dachflächen mit Substrat und einer extensiven Dachbegrünung

aus Stauden, Gräsern und Sukkulenten versehen. Im Begrünungsszenario 3 kamen schließlich die Moosfassaden hinzu.

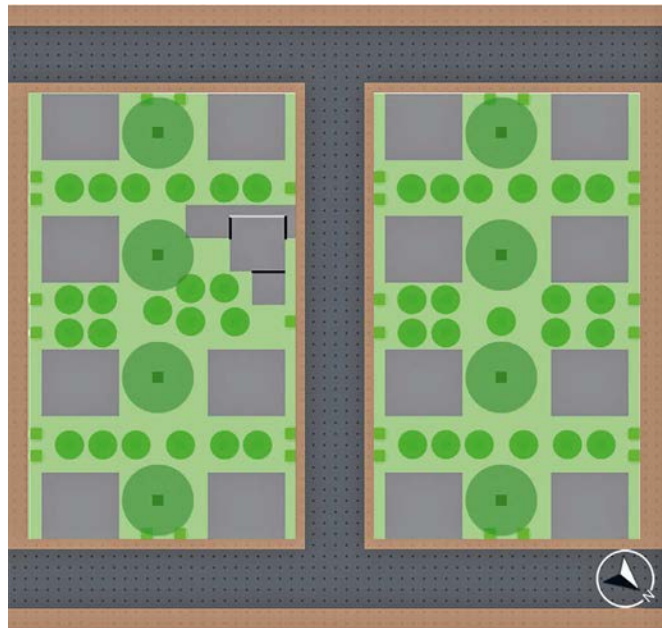
### 3.3 Simulationsergebnisse

Simuliert wurden das Ausgangsszenario und die drei Begrünungsszenarien, wie in Abschnitt 2.6 beschrieben. Folgende Phänomene, die mit ENVI-MET abgebildet werden, haben Einfluss auf das Innenraumklima:

- Reduktion der Außenlufttemperatur durch Begrünung,
- Veränderung der Luftfeuchtigkeit durch Begrünung,
- Veränderung lokaler Windgeschwindigkeiten,
- Verschattung und dadurch Temperaturreduktion der Bauteiloberflächen durch die Begrünung der Außenanlagen und der Bauteile,
- Dämmwirkung des Substrats und der Pflanzen zwischen Außenluft und Bauteiloberflächen.

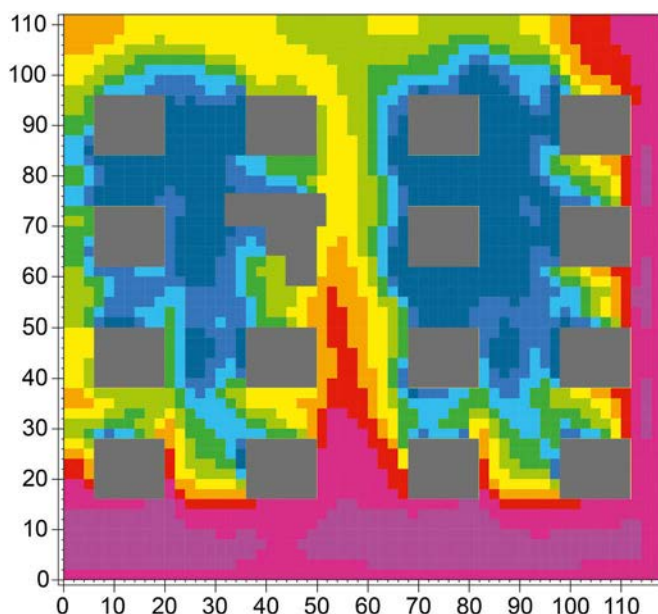
Die Lufttemperaturen und Luftfechtigkeiten wurden 1,5 m über der Geländeoberkante aufgezeichnet und ausgewertet. Bild 6 zeigt die Lufttemperaturdifferenzen zwischen dem Begrünungsszenario 3 und dem Ausgangsszenario. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die maximalen Reduktionen der Lufttemperatur um mehr als 1,6 K in den Grünflächen zwischen den Gebäuden ergeben.

Für jede Stunde des 27. Juli und jedes Szenario wurden flächengewichtete Mittelwerte der Außenlufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit gebildet. Im Vergleich zum Ausgangsszenario wird die flächengewichtete Außenlufttemperatur am 27. Juli durch das Begrünungsszenario 1 um maximal 0,78 K reduziert. In den Begrünungsszenarien 2 und 3 ergibt sich eine maximale Abkühlung der Außenluft von 0,87 K bzw. 1,22 K (Tab. 1).



- Gebäude   ■ Straße   ■ Unbewachsener Boden
- Rasen   ■ Gemeine Hasel bzw. Hainbuche
- Apfelbaum   ● Winterlinde

**Bild 5** Definition der Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung einschließlich Mustergebäude in ENVI-MET  
Definition of the residential area for detached and apartment houses including the example building in ENVI-MET



Lufttemperaturdifferenz im Vergleich zum Ausgangsszenario

- unter -1.60 K
- -1.60 bis -1.40 K
- -1.40 bis -1.20 K
- -1.20 bis -1.00 K
- -1.00 bis -0.80 K
- -0.80 bis -0.60 K
- -0.60 bis -0.40 K
- -0.40 bis -0.20 K
- -0.20 bis 0.00 K
- über 0.00 K

Min: -2.39 K  
Max: 0.15 K



**Bild 6** Begrünungsszenario 3, Lufttemperaturdifferenzen im Vergleich zum Ausgangsszenario  
Greening scenario 3, airtemperature differences in comparison to the base case

**Tab. 1** Maximale flächengewichtete Lufttemperaturdifferenzen im Vergleich zum Ausgangsszenario  
Maximum area-weighted air temperature differences compared to the base case

Szenario	Maximale Lufttemperaturdifferenz im Verlauf des 27. Juli
Begrünungsszenario 1 (Sträucher und Bäume)	-0,78 K
Begrünungsszenario 2 (Sträucher und Bäume, extensive Dachbegrünung)	-0,87 K
Begrünungsszenario 3 (Sträucher und Bäume, extensive Dachbegrünung, Moosfassade)	-1,22 K

#### 4 Übertragung der ENVI-MET-Ergebnisse auf IDA ICE

Um die Veränderungen der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit infolge der Begrünung in IDA ICE abbilden zu können, wurden für den 27. Juli manuell neue Klimadatensätze auf Grundlage der ENVI-MET-Ergebnisse erstellt und als Eingangsdatensätze für die thermisch-dynamischen Simulationen in IDA ICE verwendet. Bereits im Ausgangsszenario ergaben sich Unterschiede zu den Originalwerten des Testreferenzjahr-Datensatzes. Dementsprechend wurde für das Ausgangsszenario ein mit IDA ICE kompatibler Klimadatensatz erstellt, der auf den in ENVI-MET simulierten, stündlichen relativen Luftfeuchtigkeiten und Lufttemperaturen des 27. Juli basiert. Die relative Luftfeuchtigkeit in ENVI-MET verändert sich zwischen den Begrünungsszenarien nur unwesentlich, weshalb für die Erstellung der Klimadatensätze für die drei Begrünungsszenarien die stündlichen Luftfeuchtigkeitswerte des Ausgangsszenarios verwendet und nur die flächengemittelten Lufttemperaturen angepasst wurden. Die weiteren Größen Strahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden im Klimadatensatz nicht verändert. In IDA ICE wurde anschließend nur der angepasste 27. Juli simuliert. Daher wurde für das Einschwingen des Gebäudes ein periodischer Start gewählt. Dem untersuchten Tag geht dementsprechend eine sehr warme Periode voraus.

Die in ENVI-MET simulierten Oberflächentemperaturen aller Fassaden- und Dachflächen berücksichtigen die Verschattung durch Sträucher und Bäume, die Verschattung und Dämmwirkung von Bauteilbegrünungen, die Veränderung lokaler Windgeschwindigkeiten durch die Bepflanzung sowie das Zusammenspiel mit der Außenlufttemperatur. Durch die in ENVI-MET integrierte Strömungssimulation werden die Veränderungen der lokalen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen infolge der Begrünung berücksichtigt. Diese wirken sich auf die Wärmeübergangswiderstände an den außenseitigen Bauteiloberflächen und damit auf die Bauteiloberflächentemperaturen aus. In ENVI-MET wurden die Oberflächentemperaturen sämtlicher Fassaden- und Dachoberflächen für jede Stunde des 27. Juli aufgezeichnet und extrahiert. Bei begrünten Bauteilflächen wurden die Oberflächentemperaturen unterhalb der Begrünung verwendet. Die so gewonnenen stündlichen Oberflächentemperaturen wurden bauteilgenau an die entsprechenden Bauteilober-

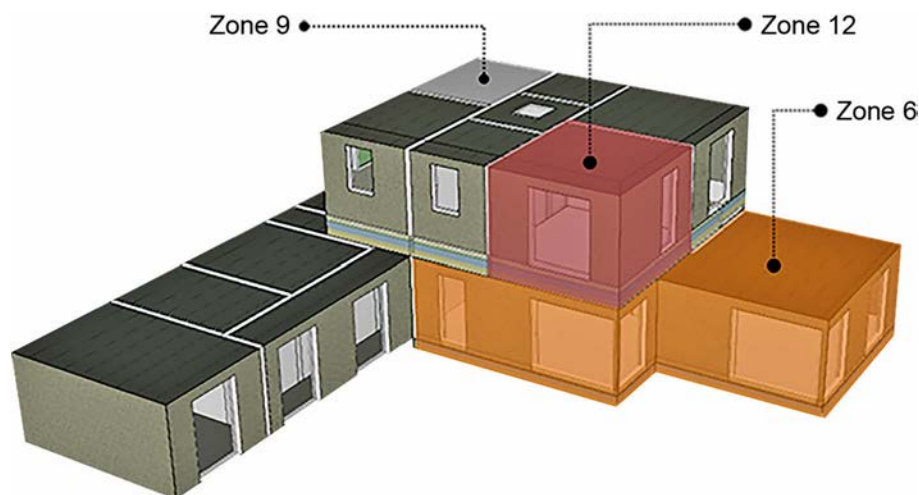
flächen des Gebäudemodells in IDA ICE angebunden und ersetzen die standardmäßig hinterlegte Oberflächen-temperaturberechnung. Die ENVI-MET-Simulation übernimmt damit die Aufgabe der IDA ICE-Komponenten „climate processor“ und „TQFace“, die normalerweise den Wärmeaustausch der Wandkomponenten mit der Umwelt berechnen. Für die Anbindung der Oberflächentemperaturwerte aus ENVI-MET wurde die Komponente „Toffset“ verwendet. Herkömmlicherweise wird diese genutzt, um die äußeren Oberflächentemperaturen von Bauteilen festzulegen, die nicht mit anderen Zonen oder der Umwelt verknüpft sind.

Die Verschattung der Fensterflächen wurde in IDA ICE durch SketchUp-Modelle der Sträucher und Bäume berücksichtigt. Sie wurden als externe Verschattungselemente eingefügt. IDA ICE berechnet den Effekt externer Verschattungselemente nur bei transparenten Bauteilen. Andernfalls würde der Effekt der Verschattung doppelt berücksichtigt werden, nämlich zum einen durch die Anbindung der Oberflächentemperaturen aus ENVI-MET an die Bauteiloberflächen und zum anderen durch den Schattenwurf der externen Verschattungselemente.

#### 5 Ergebnisse der angepassten thermisch-dynamischen Simulationen mit IDA ICE

In die Auswertung wurden die Zonen 6, 9 und 12 einbezogen (vergleiche Bild 7). Die Zonen 6 und 12 sind die kritischen, nach Südosten ausgerichteten Räume des Gebäudes, in denen die höchsten Übertemperaturgradstunden auftreten. Zone 9 wurde einbezogen, um eine weitere Zone mit vollständiger Exposition an die Dachfläche zu untersuchen. Zone 6 befindet sich zu mehr als der Hälfte unter dem 1. Obergeschoss.

Die mit dem oben beschriebenen und in Bild 8 dargestellten Prozess simulierten Übertemperaturgradstunden für den 27. Juli sind in Tab. 2 dargestellt. Zudem sind die prozentualen Veränderungen der Übertemperaturgradstunden im Vergleich zum Ausgangsszenario ausgewiesen. Die maximale absolute und prozentuale Veränderung ergibt sich für Zone 12. Im Vergleich zum Ausgangszustand können unter dem Begrünungsszenario 3 die Übertemperaturgradstunden um circa 20% reduziert werden. Ein ähnlicher Wert ergibt sich für Zone 9. Zone 6



**Bild 7** Ausgewertete Zonen des Mustergebäudes  
Analyzed zones of the example building

verfügt nur teilweise über eine Dachfläche, welche auch noch zeitweise durch das darüber liegende Obergeschoss verschattet wird. Deshalb sind die Auswirkungen einer Dachbegrünung im Vergleich zu den Zonen 9 und 12 deutlich geringer. Insgesamt sind die Verbesserungen hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes in Zone 6 im Erdgeschoss weniger stark ausgeprägt, da weniger Bau- teilflächen direkt dem Außenklima ausgesetzt sind.

Die simulierten operativen Temperaturen in den Innen- räumen werden zur Auswertung der thermischen Behag- lichkeit gemäß DIN EN 15251:2012-12 [20] herange- zogen. Das adaptive Behaglichkeitsmodell nach Anhang A.2 der Norm ist für Büro- und Wohngebäude ohne ma- schinelle Kühlanlagen gültig. Die DIN EN 15251 klassifi- ziert das Innenraumklima in vier Kategorien. Kategorie I sollte für Räume mit sehr empfindlichen und anfälligen Personen angewendet werden. Kategorie II gilt für Neu- bauten und renovierte Gebäude, Kategorie III für Be- standsgebäude. Kategorie IV beschreibt alle Zustände außerhalb von Kategorie III. Die Grenzwerte der operati- ven Temperatur je Kategorie und Tag variieren in Abhän- gigkeit vom gleitenden Mittelwert der Außenlufttemper- atur.

Für den betrachteten Tag, den 27. Juli des sommerfokus- sierten TRY 2010 für Potsdam ergeben sich die folgenden Temperaturgrenzen:

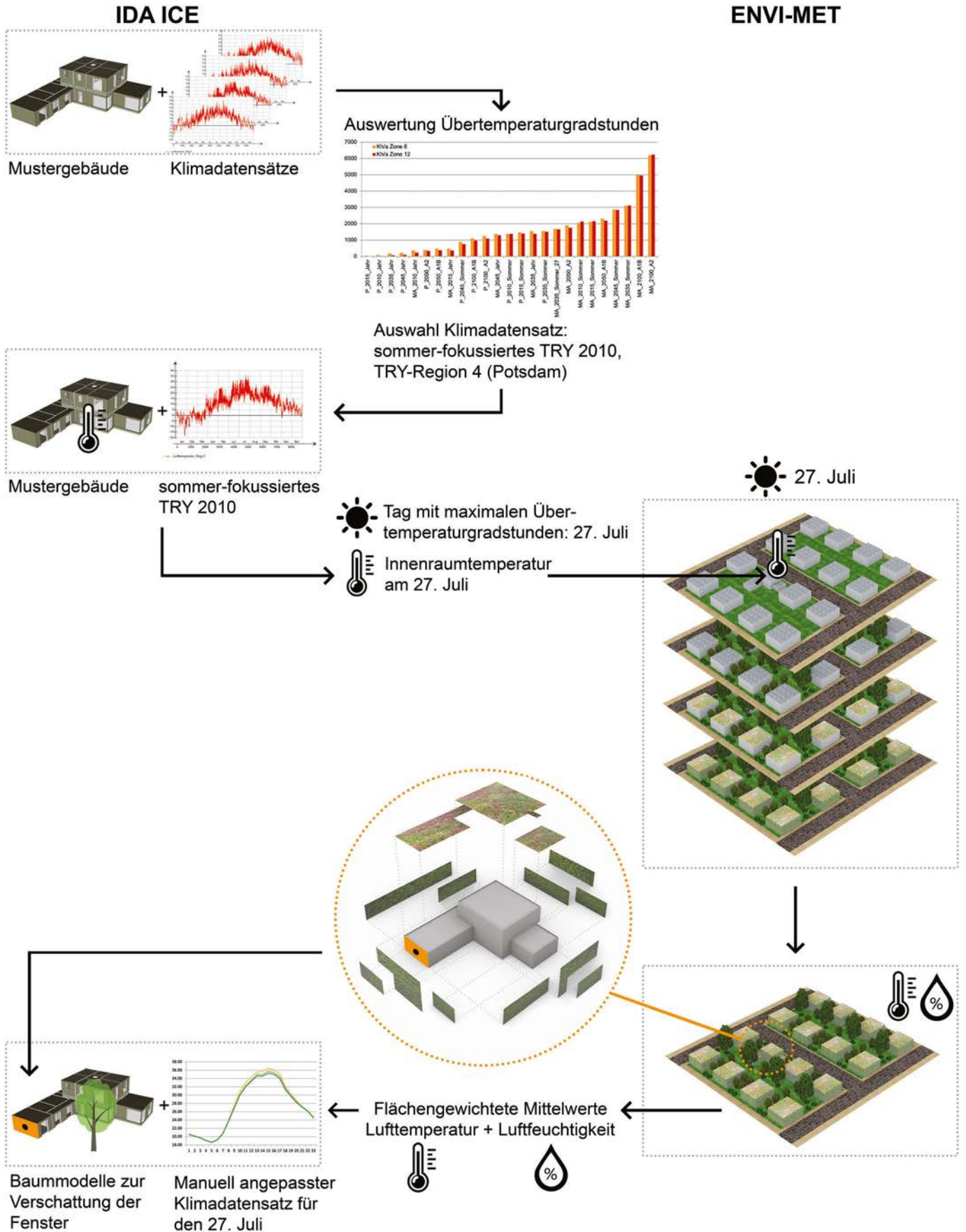
- Kategorie I: obere Grenze 27,6°C, untere Grenze 23,6°C
- Kategorie II: obere Grenze 28,6°C, untere Grenze 22,6°C
- Kategorie III: obere Grenze 29,6°C, untere Grenze 21,6°C

Die Verläufe der operativen Temperaturen für den 27. Juli in der Zone 12 sind in Bild 9 und in Tab. 3 dargestellt. Im Ausgangsszenario wird an 23 Stunden der obere Grenz- wert der Kategorie III überschritten. Lediglich zwischen 6.00 Uhr und 7.00 Uhr wird eine operative Temperatur von 29,6°C und somit die Grenze der Kategorie III er- reicht. Bereits durch die Begrünung der Außenanlagen mit Sträuchern und Bäumen verbessert sich die thermi- sche Behaglichkeit im Innenraum. An fünf Stunden des Tages kann die Kategorie III eingehalten werden. Im Be- grünungsszenario 2 wird sogar an vier Stunden die Kate- gorie II erreicht. Die Verbesserung der thermischen Be- haglichkeit ist dabei in den Abend- und Nachtstunden sowie den frühen Morgenstunden besonders stark ausge-

**Tab. 2** Übertemperaturgradstunden gemäß DIN 4108-2:2013-02 [10] und prozentuale Veränderung in Bezug zum Ausgangsszenario  
Overheating hours (number of excess temperature degree hours) according to DIN 4108-2:2013-02 [10] and relative changes in comparison to the base case

	Zone 6	Zone 9	Zone 12
Ausgangsszenario (nur Gras)	106,5	105,1	111,6
Begrünungsszenario 1 (Sträucher und Bäume)	101,4 / -4,8%	97,8 / -6,9%	101,8 / -8,8%
Begrünungsszenario 2 (Sträucher und Bäume, extensive Dachbegrünung)	98,5 / -7,5%	88,9 / -15,4%	92,3 / -17,3%
Begrünungsszenario 3 (Sträucher und Bäume, extensive Dachbegrünung, Moosfassade)	94,9 / -10,9%	85,3 / -18,8%	88,7 / -20,5%





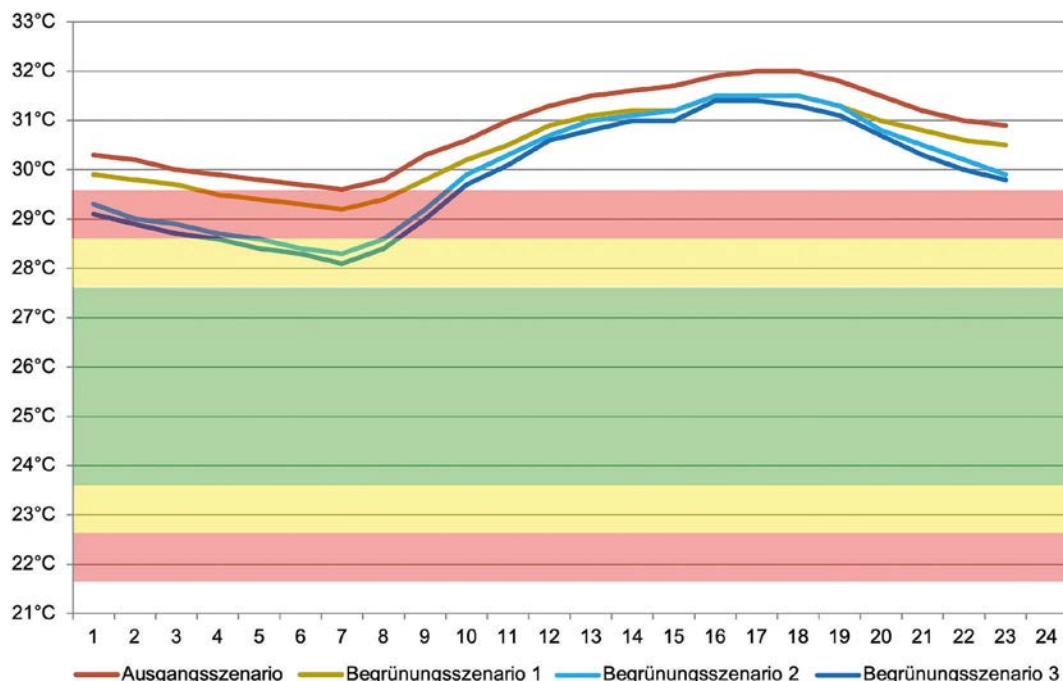
**Bild 8** Zusammenfassende Darstellung der Untersuchungsmethodik  
Workflow-diagramm

prägt. Infolge der Verschattungs- und Verdunstungswirkung der Dachbegrünung wird die Stahlbetondachdecke weniger stark erwärmt. Zudem kühlt die Dachoberfläche

wegen der geringeren oberflächennahen Speichermasse schneller wieder aus. Am Tag dominieren dann die solaren Energieeinträge, welche infolge der nach Nordosten

**Tab. 3** Anzahl der Stunden in den Behaglichkeitskategorien nach DIN EN 15251 [20]  
Number of hours reaching the comfort categories according to DIN EN 15251 [20]

Kategorie	Ausgangsszenario	Begrünungsszenario 1	Begrünungsszenario 2	Begrünungsszenario 3
Kategorie IV	23	19	15	15
Kategorie III moderates Maß an Erwartungen	1	5	5	4
Kategorie II normales Maß an Erwartungen	0	0	4	5
Kategorie I hohes Maß an Erwartungen	0	0	0	0



**Bild 9** Operative Temperaturen am 27. Juli in Zone 12 unter den verschiedenen Begrünungsszenarien und Einordnung in die Behaglichkeitskategorien (grün: Kategorie I, gelb: Kategorie II, rot: Kategorie III) nach DIN EN 15251 [20]  
Operative temperatures during the 27th July in zone 12 for the different greening scenarios and classification (green: category I, yellow: category II, red: category III) according to DIN EN 15251 [20]

und Südosten orientierten Fenster bereits am frühen Morgen zu einem ausgeprägten Temperaturanstieg führen. Die zusätzliche Fassadenbegrünung im Begrünungsszenario 3 führt zu einer weiteren Reduzierung der operativen Innentemperatur, verbessert die thermische Behaglichkeit nach DIN EN 15251 aber kaum.

## 6 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die aufgezeigte Untersuchungsmethodik ist für Standardanwendungen im Planungsalltag zu aufwendig. Insbesondere der Rechenaufwand bei größeren Modellen in ENVI-MET erfordert leistungsstarke Rechner, die über die herkömmliche Ausstattung in Planungsbüros hinausgehen. Eine Lösungsmöglichkeit stellt das Cloud Computing dar, das allerdings in den wenigsten Büros zum Standard gehört. Um eine breite Anwendung der Methodik zu erreichen, wäre zudem eine Automatisierung erforderlich. Bisher müssen die Lufttemperaturen und Oberflä-

chentemperaturen in ENVI-MET ausgelesen werden. Anschließend wird der Klimadatensatz manuell angepasst und die Oberflächentemperaturen aus ENVI-MET werden manuell an die Bauteiloberflächen des Gebäude-modells in IDA ICE angebunden. Dies schränkt auch die Betrachtung längerer Zeiträume ein, was wiederum die Aussagekraft reduziert. Dennoch kann mit der aufgezeigten Methodik nachgewiesen werden, dass sich bei hochwärmegedämmten Gebäuden die Begrünung von Außenanlagen und Bauteilen auch im Innenraum deutlich bemerkbar macht. Die Übertemperaturgradstunden können am definierten heißen Tag um bis zu 20% reduziert werden. Zudem wird die thermische Behaglichkeit in den Innenräumen verbessert.

Gegenüber herkömmlichen Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz kann die Begrünung von Außenanlagen und Gebäuden dem Verlust der Artenvielfalt entgegenwirken, die Luftqualität verbessern und infolge der Entsiegelung die Gefahr von lokalen Überflutungen redu-

zieren. Hierbei spielt die Pflanzenauswahl eine entscheidende Rolle. Zur Erhöhung der biologischen Vielfalt empfiehlt es sich, regionale, gebietsheimische (sogenannte autochthone) Wildarten zu verwenden, die einheimischen Insekten als Nahrungsquelle dienen. Die Form, Oberflächenrauheit und Behaarung von Pflanzenteilen beeinflussen das Abscheidepotenzial für Feinstaub. Das bedeutet, mit einer sorgfältig geplanten Gebäude- und Außenanlagengestaltung lassen sich zahlreiche drängende Probleme der Gegenwart positiv beeinflussen.

Die Begrünung von Gebäuden führt im Regelfall zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch und gesteigerten grauen Emissionen aus der Baukonstruktion. Die zusätzlichen Lasten verlangen stärker dimensionierte Tragwerke. Dem Anstieg des Ressourcenverbrauchs und der grauen Emissionen kann durch integrale Planungsansätze effektiv entgegengewirkt werden. Extensive Begrünungsformen führen bereits zu erheblichen Verbesserungen beim sommerlichen Wärmeschutz, der Biodiversität und Luftqualität. Dabei fallen die zusätzlichen Lasten im

Vergleich zu intensiven Begrünungsformen deutlich geringer aus und der Wartungs-, Instandhaltungs- und Pflegeaufwand ist reduziert. Bei gleichzeitiger Optimierung der Bemessung und der Materialauswahl für das Tragwerk, beispielsweise durch Gradientenbeton, den Einsatz klinkereffizienter Zemente oder einen Wechsel von reinen Stahlbeton- zu Holzhybridkonstruktionen, kann ein Pareto-Optimum erreicht werden. Somit können sich die Vorteile aus der Gebäudebegrünung vollständig entfalten, ohne die üblicherweise damit einhergehenden Nachteile hinnehmen zu müssen.

## Danksagung

Die in diesem Beitrag dargestellte Forschung erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts „KLIBAU – Weiterentwicklung und Konkretisierung des Klimaangepassten Bauens“, Forschungsprogramm „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Aktenzeichen: SWD – 10.08.17.7-18.33.

## Literatur

- [1] World Meteorological Organization (WMO) [Hrsg.] (2020) *The Global Climate in 2015–2019*. WMO-No. 1249. Genf: WMO.
- [2] Deutscher Wetterdienst (DWD) [Hrsg.] (2020) *Aus extrem wurde normal: Sommer in Deutschland, der Schweiz und Österreich immer heißer*. Pressemitteilung vom 2. Juli 2020. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- [3] United Nations Environment Programme (UNEP) [Hrsg.] (2020) *Emissions Gap Report 2020*. Nairobi: Selbstverlag.
- [4] Hausfather, Z.; Peters, G. P. (2020) *Emissions – the ‘business as usual’ story is misleading*. *Nature* 577, pp. 618–620. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00177-3>
- [5] Fahrion, M.-S. (2015) *Sommerlicher Wärmeschutz im Zeichen des Klimawandels – Anpassungsplanung für Bürogebäude*. [Dissertation]. Technische Universität Dresden.
- [6] Raji, B.; Tenpierik, M. J.; van den Dobbelaars, Andy (2015) *The impact of greening systems on building energy performance: A literature review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45, pp. 610–623.
- [7] Jaffal, I.; Ouldboukhite, S.-E.; Belarbi, R. (2012) *A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance*. *Renewable Energy* 43, pp. 157–164.
- [8] Ascione, F.; Bianco, N.; de’ Rossi, F.; Turni, G.; Vanoli, G. P. (2013) *Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?* *Applied Energy* 104, pp. 845–859.
- [9] Fahrion, M.-S.; Draeger, S.; Lakatos, M.; Schmidt, T.; Nickl, C.; Brombacher, M.; Bangalore, D.; Sundermann, W. (2019) *KLIBAU – Weiterentwicklung und Konkretisierung des Klimaangepassten Bauens* [Forschungsbericht]. Forschungsprogramm Zukunft Bau des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Aktenzeichen: SWD – 10.08.17.7-18.33.
- [10] DIN 4108-2:2013-02 (2013) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*. Berlin: Beuth.
- [11] DIN V 18599-10 *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten*. Berlin: Beuth.
- [12] Deutscher Wetterdienst (DWD) [Hrsg.] (2014) *Handbuch Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- [13] Deutscher Wetterdienst (DWD) [Hrsg.] (2017) *Handbuch Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.
- [14] Nakićenović, N.; Alcamo, J.; Davis, G.; de Vries, B.; Fenhann, J.; Gaffin, S.; Gregory, K.; Grübler, A.; Jung, T. Y.; Kram, T.; La Rovere, E. L.; Michaelis, L.; Mori, S.; Morita, T.; Pepper, W.; Pitcher, H.; Price, L.; Riahi, K.; Roehrl, A.; Rogner, H.-H.; Sankovski, A.; Schlesinger, M.; Shukla, P.; Smith, S.; Swart, R.; van Rooijen, S.; Victor, N.; Dadi, Z. (2000) *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [15] Roth, U.; Häubi, F.; Albrecht, J.; Bischoff, M.; Deucher, A.; Harder, L.; Langraf, B.; Pape, G. (1980) *Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen* in: Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau [Hrsg.] *Schriftenreihe 06 „Raumordnung“*. Heft Nr. 06.044. Bonn: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- [16] Früh, B.; Becker, P.; Deutschländer, T.; Hessel, J.-D.; Kossmann, M.; Mieskes, I.; Namyslo, J.; Roos, M.; Sievers, U.; Steigerwald, T.s.; Turau, H.; Wienert, U. (2011) *Estimation of Climate-Change Impacts on the Urban Heat Load Using an Urban Climate Model and Regional Climate Projections*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50, Nr. 1, pp. 167–184.
- [17] Buchholz, S.; Kossmann, M. (2015) *Research Note. Visualization of summer heat intensity for different settlement types and varying surface fraction partitioning*. *Landscape and Urban Planning* 144, pp. 59–64
- [18] Buchholz, S.; Kossmann, M.; Roos, M. (2016) *INKAS – a guidance tool to assess the impact of adaptation measures*

- against urban heat*. Meteorologische Zeitschrift 25, H. 3, S. 281–289. <https://doi.org/10.1127/metz/2016/0731>
- [19] Lundholm, J.; MacIvor, J. S.; MacDougall, Z.; Ranalli, M. (2010) *Plant Species and Functional Group Combinations Affect Green Roof Ecosystem Functions*. PLoS one 5, Nr. 3. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009677>
- [20] DIN EN 15251:2012-12 (2012) *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*. Berlin: Beuth.

#### Autoren

Dr.-Ing. Marc-Steffen Fahrion (Korrespondenzautor)  
marc-steffen.fahrion@wernersobek.com  
Werner Sobek Frankfurt GmbH & Co. KG  
Darmstädter Landstraße 125  
60598 Frankfurt am Main.

und weiterhin  
Universität Stuttgart  
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK)  
Pfaffenwaldring 14  
70569 Stuttgart

Christoph Nickl  
nickl@tftgmbh.de  
Team für Technik GmbH  
Zielstattstraße 11  
81379 München

Deekshitha Bangalore  
d.bangalore@urbanistic.de  
Urbanistic GmbH  
Münchener Technologie Zentrum  
Agnes-Pockels-Bogen 1  
80992 München

Dr. Michael Lakatos  
michael.lakatos@hs-kl.de  
Hochschule Kaiserslautern  
Campus Pirmasens  
Carl-Schurz-Straße 10–16  
66593 Pirmasens

Moritz Brombacher  
moritz.brombacher@wernersobek.com  
Werner Sobek Green Technologies GmbH  
Albstraße 14  
70597 Stuttgart

#### Zitieren Sie diesen Beitrag

Fahrion, M.-S.; Nickl, C.; Bangalore, D.; Lakatos, M.; Brombacher, M. (2021) *Sommerlicher Wärmeschutz durch die Begrünung von Außenanlagen und Gebäuden*. Bauphysik 43, H. 5, S. 291–302. <https://doi.org/10.1002/bapi.202100023>