Grüne Fassaden – Auswirkung auf U-Wert, Oberflächentemperaturen und Wärmebrücken

Florian Teichmann
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien
Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, TU Wien
Wien, Österreich

Azra Korjenic
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien
Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, TU Wien
Wien, Österreich

Grüne Fassaden – Auswirkung auf U-Wert, Oberflächentemperaturen und Wärmebrücken

1. Ausgangssituation

Weltweit nehmen die Bevölkerungszahlen von Städten kontinuierlich zu – bis zum Jahr 2050 werden rund zwei Drittel der Menschen in Städten leben [1]. Um ausreichend Platz für Wohnraum, Arbeitsplätze sowie notwendige Infrastruktur zur Verfügung zu stellen, ist eine immer dichtere Bebauung des urbanen Raums erforderlich. Dies führt dazu, dass weniger Platz für Grün- und Freiflächen vorhanden ist. Doch gerade diese bestimmen die Lebensqualität in Städten maßgeblich und haben neben dem Erholungseffekt für die sich dort aufhaltenden Menschen auch weitere positive Auswirkungen auf das Stadtklima und die Luftqualität. Als Ausgleich für diese weichenden Grünflächen bedarf es daher innovativer Lösungen. Die vertikale Begrünung von Gebäuden wurde diesbezüglich als wirkungsvolle Maßnahme identifiziert. Bauwerksbegrünungen können dabei nicht nur die Luftqualität erhöhen, Staub binden, sowie die CO_2-Konzentration und Lärm reduzieren, sondern sie wirken auch auf das Mikroklima in der Umgebung der Begrünung und können zu einer Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfs beitragen [2]–[7]. Die Begrünung von Gebäuden, insbesondere in Städten, stellt demnach eine wirkungsvolle Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel dar.

Auch wenn die Begrünung von Fassaden keine neue Erfindung ist, rückt sie aufgrund dieser positiven Auswirkungen in den letzten Jahren vermehrt in den Fokus. Mit dem Entstehen neuer technischer Lösungen für die Integration des «lebenden Baustoffs» Pflanze an der Fassade geht auch der Forschungsbedarf von unterschiedlichen Kombinationen von Bauweisen der Außenwand und Fassade und der Begrünungsart einher. Gegenstand bisheriger Umsetzungen und Untersuchungen sind meist Begrünungen an Gebäuden aus Ziegel und Stahlbeton. An Holzbauten wurden Fassadenbegrünungen bisher nur vereinzelt umgesetzt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen zur Auswirkung von Fassadenbegrünung auf die thermische Qualität von Außenwandkonstruktionen unterschiedlicher Bauweisen dargestellt und in weiterer Folge das Potential sowie die Möglichkeiten und Grenzen von Fassadenbegrünung im Holzbau dargestellt.

2. Fassadenbegrünung im Allgemeinen

Die erste österreichische Norm zu Fassadenbegrünung (ÖNORM L 1136, Ausgabe: 2021-04-01, Vertikalbegrünung im Außenraum – Anforderungen an Planung, Ausführung, Pflege und Kontrolle [8]) unterscheidet verschiedene Arten der vertikalen Begrünung, welche auf ähnliche Weise auch in anderen Regelwerken, Leitfäden und Richtlinien (z.B. Leitfaden für Fassadenbegrünung der Stadt Wien [9], Fassadenbegrünungsrichtlinien der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V.[10]) beschrieben werden:

- Bei der bodengebundenen Begrünung befindet sich der Wurzelraum der Pflanze im an das Gebäude direkt angrenzenden Erdreich. Bodengebundene Begrünung kann, den Voraussetzungen der zu begrünenden Außenwand sowie den eingesetzten Pflanzen (Selbstklimmer oder Kletterpflanzen) entsprechend, mit oder ohne Rankhilfe ausgeführt werden.

- Sollte kein bzw. nicht ausreichend Platz am Boden vorhanden sein (z.B. bei geringen Gehsteigbreiten) oder wenn es gestalterisch erwünscht ist, ist eine Begrünung in dafür vorgesehenen Trögen möglich («troggebundene Vertikalbegrünung»). Eingesetzt wird diese Art der Begrünung auch bei größerer Gebäudehöhe, sodass das Begrünungsziel schneller erreicht werden kann, da die troggebundene Begrünung auch eine Begrünung mit Kletterpflanzen in höheren Geschoßen beginnend ermöglicht.

- Bei der wandgebundenen vertikalen Begrünung befindet sich der gesamte Lebensraum der Pflanze direkt an der Fassade und in dafür vorgesehenen Trögen, Taschen, Behältern oder Ähnlichem. Die Ausführung dieser Begrünungsart kann teilflächig (z.B. in übereinander angeordneten Trogreihen) oder vollflächig (z.B. durch Module, wie in Abbildung1 dargestellt) erfolgen.[8]

Abbildung 1 zeigt ein modulares Begrünungssystem, welches im Rahmen eines Forschungsprojekts an einer Schule in Wien umgesetzt wurde. Dargestellt ist das Erscheinungsbild im

Vergleich zwischen dem Zustand direkt nach der Bepflanzung (Sommer 2017) und zwei Jahre danach (Sommer 2019). Diese Veränderungen durch den «lebenden Baustoff Pflanze» müssen bei allen Planungen und Ausführungen von Begrünungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Abbildung 1: Beispiel - wandgebundene Vertikalbegrünung mit vollflächigem Vegetationsträger – links: kurz nach der Bepflanzung (Sommer 2017); rechts: zwei Jahre nach der Bepflanzung (Sommer 2019).

Wandgebundene Begrünungssysteme sind an der Fassade befestigt und funktionieren bauphysikalisch als vorgehängte Konstruktionen mit Hinterlüftungsspalt. Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau einer Außenwandkonstruktion mit Fassadenbegrünung und Hinterlüftungsebene.

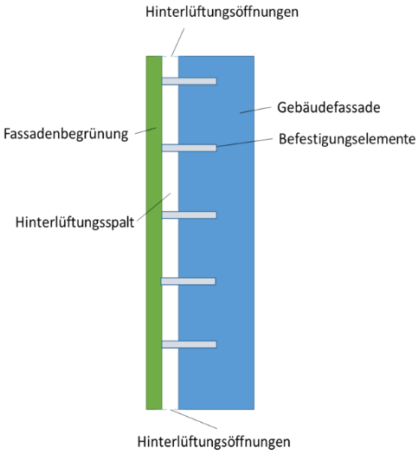


Abbildung 2: Schematische Darstellung der bauphysikalischen Funktionsweise wandgebundener Begrünung.

3. Auswirkung von Fassadenbegrünungen auf den U-Wert

Bei der Auswirkung von Fassadenbegrünung auf den Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) einer Fassade sind zwei gegenteilige Effekte zu beachten: Einerseits wirkt die Fassadenbegrünung mitsamt dem dahinter befindlichen Hinterlüftungsspalt in gewisser Weise als Dämmschicht, andererseits verursachen die Befestigungselemente bei gedämmten Fassaden zusätzliche Wärmebrücken, die wiederum zu einer Verringerung der Dämmwirkung führen. Um in Summe eine Verbesserung des Wärmeschutzes einer Außenwandkonstruktion zu erzielen, ist daher besonderes Augenmerk auf die Minimierung der Wärmebrücken zufolge der Befestigungselemente der Fassadenbegrünung zu legen.

3.1. Troggebundene Begrünung nach Sanierung

Die ersten Untersuchungen des Einflusses von Fassadenbegrünung auf den U-Wert von gedämmten Fassaden wurden im Jahr 2018 am Amtsgebäude der Magistratsabteilung 31 in Wien durchgeführt, das im Zuge einer thermischen Sanierung auch mit einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit Gerüstkletterpflanzen ausgestattet wurde. Bereits an den durchgeführten Wärmebild-Aufnahmen aus dem Dezember 2018 (siehe Abbildung 3) erkennt man leichte Wärmebrücken im Bereich der Befestigungs-Konsolen, die für eine Verankerung der lasttragenden Unterkonstruktion der Fassadenbegrünung an der gedämmten Vollziegelaußenwand sorgen. [11]

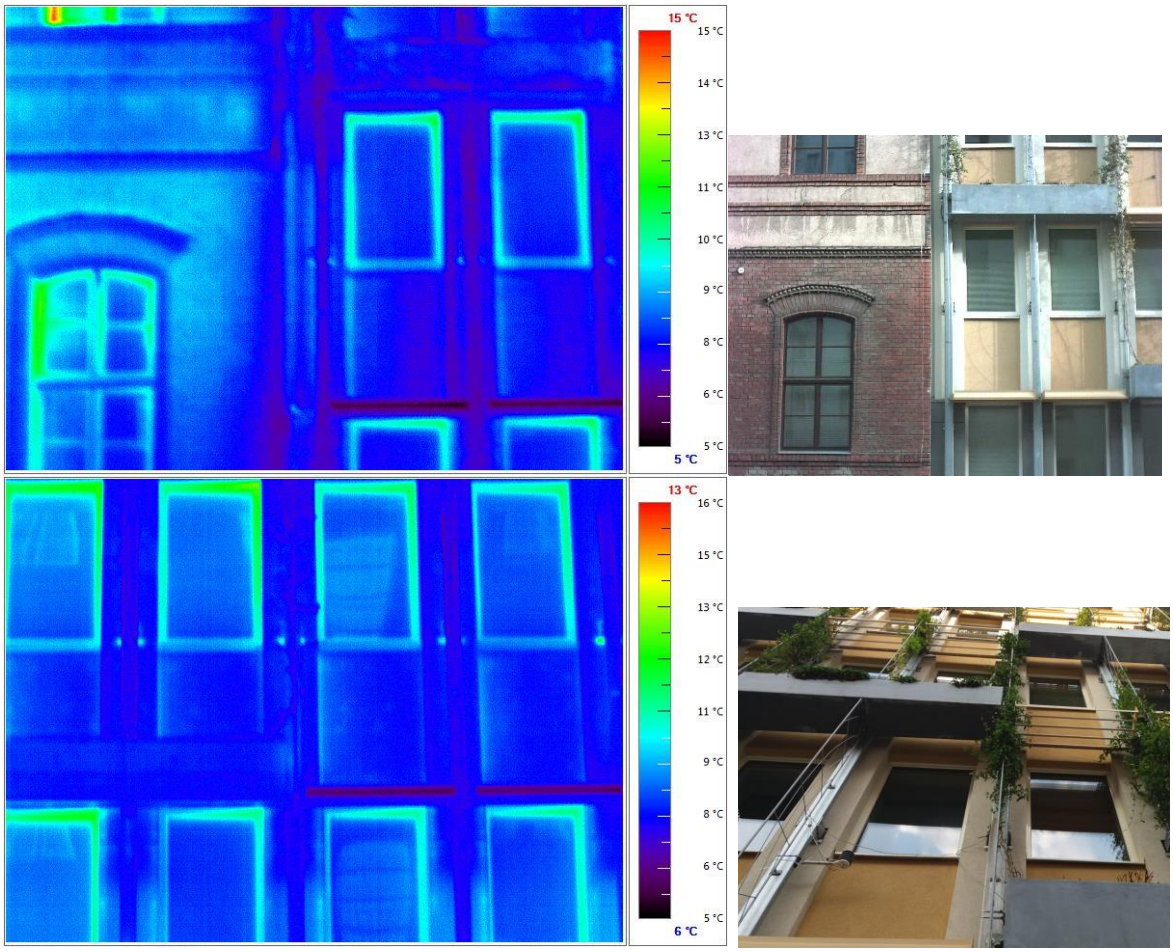


Abbildung 3: IR-Aufnahmen der Fassadenbegrünung der MA 31 in Wien, 2018.

Anhand der Messdaten aus den Jahren 2016 bis 2018 kann der stationäre U-Wert unter der Annahme eines weitestgehend eindimensionalen Wärmetransports aus dem Wärmestrom durch die Konstruktion und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen oder unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände innen und außen und des Wärmedurchgangswiderstands der Konstruktion mit der Formel 1 berechnet werden. Der gesamte Wärmedurchgangswiderstand (R_T) ist die Summe der Übergangswiderstände (R_{se} und R_{si}) und der Wärmedurchlasswiderstände (R_i).

$$U = \frac{q}{T_i - T_e} = \frac{1}{R_T} \quad \text{mit} \quad R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^{n} R_i + R_{se} \tag{1}$$

U	stationärer U-Wert in W/m²K
q	Wärmestrom in W/m²
T_i	Innentemperatur in °C
T_e	Außentemperatur in °C
R_T	Wärmedurchgangswiderstand in m²K/W
R_i	Wärmedurchlasswiderstand der Wand in m²K/W
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand innen in m²K/W
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand außen in m²K/W

Die durch Mittelwertbildung der gesammelten Messdaten, bei ausreichend großer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, berechneten U-Werte in den ersten drei Jahren nach der Begrünung der Fassade zeigen eine geringfügige Verringerung von Jahr zu Jahr (siehe Tabelle 1). Das ist auf die Erhöhung der Grünmasse und die daraus folgende Erhö-

hung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes zurückzuführen. Da die Fassade inhomogen begrünt ist, können diese Werte jedoch nicht für die gesamte Fassade herangezogen bzw. auf weitere Objekte übertragen werden.

Tabelle 1: Gemessene U-Werte der Fassadenbegrünung der MA 31 in den Jahren 2016, 2017 und 2018 nach der Errichtung der troggebundenen Fassadenbegrünung.

Gemessene U- Werte	
Jahr	U -Wert in W/(m²*K)
2016	0,16
2017	0,15
2018	0,13

Um die Verbesserung des Wärmeschutzes zufolge der Begrünung den negativen Auswirkungen zufolge der zusätzlichen Wärmebrücken gegenüberstellen zu können, wurde eine dreidimensionale Wärmebrückenberechnung der ausgeführten Stahl-Konsolen mit der Software AnTherm durchgeführt (siehe Abbildung 4) [12]. Da die gesamten vertikalen Lasten aus der Fassadenbegrünung über die vorgestellte Stahl-Konstruktion direkt in den Boden eingeleitet werden, ergibt sich für die Konsolen eine reine Normalkraft-Beanspruchung und somit eine vergleichsweise geringe statisch erforderliche Anzahl an Konsolen pro Quadratmeter.

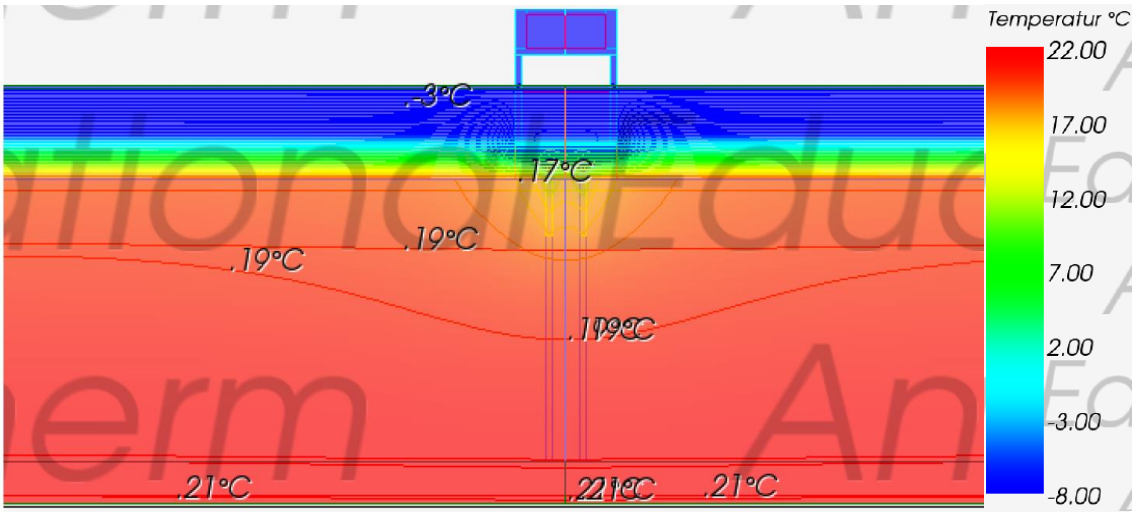


Abbildung 4: Verlauf der Isothermen im Bereich der Konsole bei der Fassadenbegrünung der MA 31.

Der durch die Simulation bestimmte punktuelle Wärmebrücken-Verlustkoeffizient χ einer einzelnen Konsole beträgt:

$$\chi = 0{,}071\ \mathrm{W/K} \tag{2}$$

Unter Berücksichtigung einer Anzahl von acht Konsolen auf der Referenzfläche von 13,5 m² (= 0,59 Konsolen je Quadratmeter) ergibt sich eine Veränderung des U-Wertes von:

$$\Delta U = c \cdot \chi = 0{,}042\ \mathrm{W/(m^2 \cdot K)} \tag{3}$$

ΔU Veränderung des Wärmedurchgangskoeffizienten in W/(m²K)

c Anzahl der Befestigungselemente pro Quadratmeter

χ punktueller Wärmebrücken-Verlustkoeffizient in W/K

Aus dem Vergleich der berechneten Vergrößerung des U-Wertes zufolge zusätzlicher Wärmebrücken durch die Befestigungselemente mit der Verringerung zufolge der Dämmwirkung der

Begrünung wird ersichtlich, dass sich die positiven und die negativen Effekte in etwa die Waage halten.

3.2. Fassadengebundene Begrünung im Bestand

Im Rahmen eines anderen Forschungsprojektes, das sich mit der Umsetzung zahlreicher Begrünungsmaßnahmen an einem Gymnasium in der Kandlgasse im 7. Wiener Gemeindebezirk beschäftigte, wurden von 2016 bis 2018 Temperatur- und Wärmestrom-Messungen an zwei verschiedenen Begrünungssystemen an der Innenhoffassade des Schulgebäudes durchgeführt [13]. Die Auswertung der Messdaten hat ergeben, dass bei Begrünungssystemen mit kleineren Hinterlüftungsöffnungen die thermische Dämmungwirkung der Außenwandkonstruktion stärker zunimmt, als bei Begrünungssystemen mit größeren Hinterlüftungsöffnungen (siehe Abbildung 5). Verblendungen an den Seiten und andere Maßnahmen, die das Durchströmen von Außenluft reduzieren, erhöhen die Dämmwirkung. Außerdem ist es von Vorteil, wenn das Begrünungssystem großflächig ist und möglichst wenige Unterbrechungen (Grenzflächen zur Außenluft) aufweist. Die Dicke und Bauweise des Begrünungssystems hat dabei eine kleinere Bedeutung.

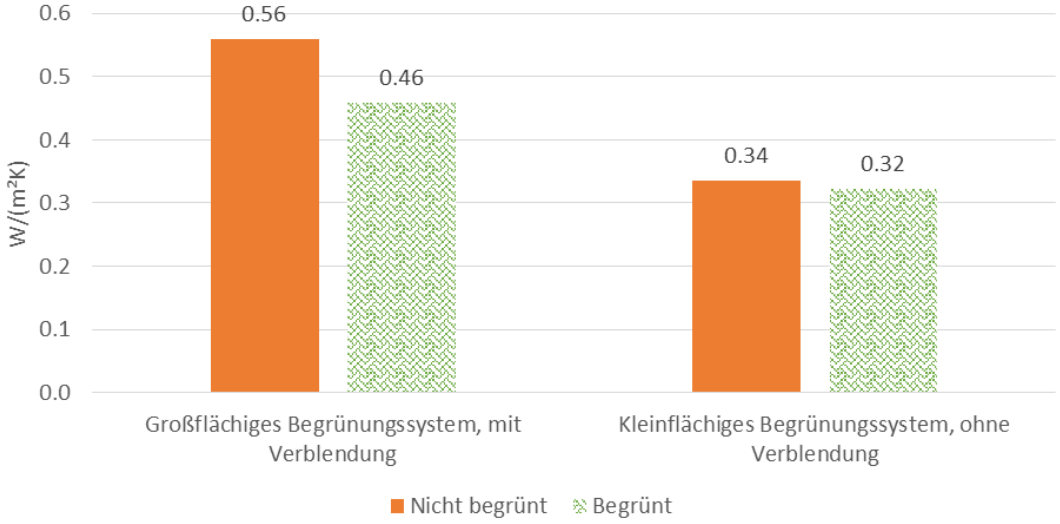


Abbildung 5: U-Werte der begrünten und der nicht begrünten Fassaden beim GRG7; links für das großflächige Begrünungssystem mit Verblendung und rechts für das kleinflächige Begrünungssystem ohne Verblendung.

Die Fassaden, an denen die untersuchten Begrünungssysteme montiert sind, weisen unterschiedliche Dämmqualitäten auf: Das großflächige Begrünungssystem mit Verblendung ist an einem Teil der Fassade montiert, der aus Vollziegeln besteht, während das kleinflächige Begrünungssystem ohne Verblendung an einer Außenwand aus Hochlochziegeln montiert ist. Dementsprechend unterscheiden sich die U-Werte der nicht begrünten Fassaden. Entscheidend, um die Auswirkungen der Fassadenbegrünung zu erkennen, ist der jeweilige Vergleich zwischen der begrünten und der nicht begrünten Fläche. Der zusätzliche Wärmedurchgangswiderstand aufgrund der Begrünung liegt beim kleinflächigen Begrünungssystem ohne Verblendung bei 0,12 m²K/W und beim großflächigen Begrünungssystem mit Verblendung bei 0,39 m²K/W. Das großflächige Begrünungssystem mit Verblendung bewirkt somit eine Verbesserung der Altbaumauer von etwa 20 %, das kleinflächige System ohne Verblendung lediglich eine Verbesserung von 6 %.

3.3. Fassadengebundene Begrünung an gedämmten Fassaden

Beim Folgeprojekt des in Abschnitt 3.2 angeführten Forschungsprojektes wurden an zwei weiteren Schulen in Wien zahlreiche Begrünungsmaßnahmen im Gebäude und an der Außenfassade umgesetzt [14]. In diesem Projekt wurden die Fassadenbegrünungen jedoch an wärmegedämmten Fassaden montiert, um auch für diesen Anwendungsfall Aussagen über die Beeinflussung der Dämmwirkung treffen zu können. In beiden Fällen handelt es sich hierbei um eher großflächige fassadengebundene Begrünungen, bei denen die Seitenflächen verblendet sind (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Kassettensystem am BRG15 Diefenbachgasse (li) und Trogsystem am BRG16 Schuhmeierplatz (re).

Die Auswertung der Messdaten zeigt eine geringfügige Erhöhung der Dämmwirkung im Bereich der fassadengebundenen Begrünung, was bei einem Vergleich der blauen Balken (unbegrünte Referenzmessung) mit den grünen, schräg strichlierten Balken (Messung im Bereich der Begrünung, ohne Einfluss von Wärmebrücken) zu erkennen ist (siehe Abbildung 7).

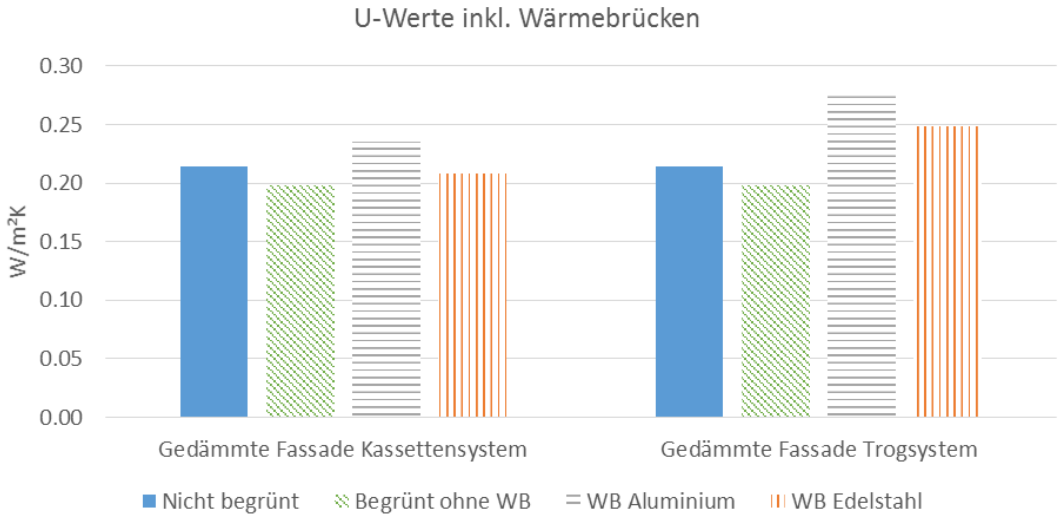


Abbildung 7: U-Werte für die untersuchten Schulgebäude mit gedämmten Fassaden für den begrünten und den nicht begrünten Abschnitt der Fassade, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken.

Der U-Wert im Bereich der nicht begrünten Fassade (U_{NG}) wurde dabei mittels Formel 4 und jener im Bereich der begrünten Fassade ohne Berücksichtigung von Wärmebrücken (U_G) mittels Formel 5 berechnet (siehe auch Abbildung 8), wobei der zusätzliche Wärmeübergangswiderstand $R_{se,}$ aufgrund der fassadengebundenen Begrünung (in der Formel als R_A bezeichnet) entsprechend den Ergebnissen aus dem Vorprojekt (siehe Abschnitt 3.2) mit 0.39 m²K/W angesetzt wurde.

$$U_{NG} = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

$$U_G = \frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_T + R_A} \quad (5)$$

U_{NG} U-Wert der unbegrünten Referenzfassaden, ohne Berücksichtigung von Wärmebrücken (blaue einfarbig gefüllte Säulen in Abbildung 7)

U_G U-Wert im Bereich der Fassadenbegrünungen, ohne Berücksichtigung von Wärmebrücken (grüne, diagonal strichlierte Säulen in Abbildung 7)

R_T Gesamt-Wärmedurchgangswiderstand der unbegrünten Referenzfassaden

R_G Wärmedurchgangswiderstand im Bereich der Fassadenbegrünungen, ohne Berücksichtigung von Wärmebrücken (durch Befestigungselemente)

R_A Zusätzlicher Wärmeübergangswiderstand zufolge fassadengebundener Begrünung

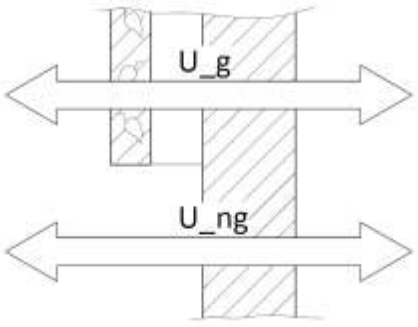


Abbildung 8: Darstellung der U-Werte U_G im Bereich der Begrünung (ohne Wärmebrücken) und U_{NG} in Bereichen ohne Begrünung.

Die grauen horizontal gestreiften und die orangen vertikal gestreiften Säulen in Abbildung 7 zeigen die U-Werte der begrünten Fassade, wenn die Wärmebrücken zufolge der Befestigungselemente (aus Aluminium bzw. Edelstahl) berücksichtigt werden (in Formel 6 als U_L-Wert bezeichnet). Die U-Wert-Veränderungen (ΔU-Werte), die sich aufgrund der entstanden Wärmebrücken ergeben, werden auf Basis der χ-Werte gemäß dynamischer Simulation in AnTherm wie in Formel 3 angegeben berechnet. Die ΔU-Werte beschreiben dabei jene Werte, die den U-Werten aufgrund der Wärmebrücken dazu addiert werden müssen (siehe Formel 6).

$$U_L = U_G + \Delta U \quad (6)$$

U_L U-Wert des begrünten Fassadenabschnittes unter Berücksichtigung der Wärmebrücken (grau horizontal gestreifte und orange vertikal gestreifte Säulen in Abbildung 7).

An gedämmten Fassaden wirken sich Wärmebrücken stärker aus als an nicht gedämmten Fassaden. Die untersuchten Fassaden an den beiden Schulen in der Diefenbachgasse und am Schuhmeierplatz in Wien sind gedämmte Fassaden. Die ΔU-Werte sind hier größer als 0,01 m²K/W, wodurch diese Ausführungen nicht mehr als «wärmebrückenfrei» bezeichnet werden können. Die Wärmebrücken des Kassettensystems fallen geringer aus, weil das System weniger Verankerungen benötigt als das Trogsystem. Das liegt zum einen am geringeren Gewicht pro m² und zum anderen daran, dass in diesem Fall ein Teil der Last direkt nach unten auf die Dachterrasse abgeleitet werden kann.

Auch das Verankerungsmaterial ist ein einflussreicher Parameter für die Erhöhung des U-Wertes: Edelstahl leitet Wärme weitaus weniger gut als Aluminium, weshalb die Wärmebrücken deutlich geringer ausfallen, wenn die Verankerungen aus Edelstahl ausgeführt werden.

3.4. Fassadengebundene Begrünung mit Holz-Unterkonstruktion

International wurden bereits einige wenige Projekte mit einer Kombination von Fassadenbegrünung und Holzbau umgesetzt. Bei diesen Vorzeigeprojekten handelt es sich jedoch um individuelle, prototypische Lösungen für Neubauten: das gesamte Gebäudekonzept ist komplett auf diese Kombination ausgelegt und wird aus Imagegründen in den Vordergrund gestellt. Zu diesen Vorzeigeprojekten gehören bspw. das «25 Verde» [15] in Turin, Italien, mit einer Fassade aus Lärchenholz und Begrünung in Trögen oder das Headquarter von ASI Reisen in Natters, Österreich [16], welches vor der Pfosten-Riegel-Fassade aus Holz einen «grünen» Vorhang an einem Metallrahmen aufweist. Damit es nun also nicht bei diesen einzelnen Vorzeigeprojekten bleibt und eine vermehrte Umsetzung von Fassadenbegrünung auch im Holzbau unterstützt wird, bedarf es demnach weiterer Untersuchungen, um zu zeigen, was notwendig ist, damit eine Fassadenbegrünung «risikolos» im Holzbau sowie auch an Bestandsgebäuden umgesetzt werden kann.

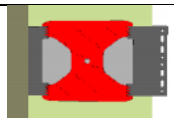
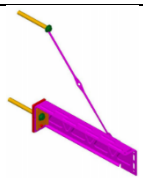
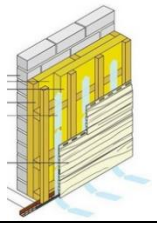
Aus diesem Grund werden am Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien der TU Wien bereits jetzt in einigen laufenden Forschungsprojekten Aspekte zur Begrünung von Holzbauten integriert. So werden im Projekt MehrGrüneSchulen [17] nicht nur Do-it-yourself Low-Cost-Begrünungslösungen aus Holz für die Anwendung in und an Schulgebäuden entwickelt, sondern es wurde auch eine Forschungsfassade am Camillo Sitte Bautechnikum in Wien errichtet,

bei der unterschiedliche Begrünungssysteme mit einer Gesamtfläche von 76 m² auf einer vor die Dämmebene gestellten Holz-Unterkonstruktion montiert wurden. Diese Forschungsfassade, dargestellt in Abbildung 9, wird nun im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts messtechnisch untersucht.

Abbildung 9: Forschungsfassade mit unterschiedlichen Begrünungssystemen an einer Holz-Unterkonstruktion, umgesetzt am Camillo Sitte Bautechnikum in Wien im Rahmen des Forschungsprojekts MehrGrüneSchulen [17]

Die Musterumsetzung der Forschungsfassade, die finanziell von der Bundesimmobiliengesellschaft (BIG) unterstützt wurde, ist im November 2020 entstanden. Im Zuge der Planung wurde versucht, die Begrünungssysteme und die gesamte Fassadensanierung ökologisch und ökonomisch zu optimieren. Hierzu wurde unter anderem die Unterkonstruktion der Fassadenbegrünung unter die Lupe genommen, da diese bei üblichen Anwendungen eine maßgebliche Wärmebrücke darstellen kann. Tabelle 2 zeigt die Optimierungsvarianten zur Reduktion der Wärmebrücken der Unterkonstruktion, die innerhalb des Planungsteams diskutiert wurden.

Tabelle 2: Vergleich der U-Werte für verschiedene Varianten der Unterkonstruktion für die Fassadenbegrünungs-Systeme der Forschungsfassade am Camillo Sitte Bautechnikum in Wien.

	Vergleich der U-Werte in W/(m²K)				
Sanierte Wand	Schöck Isolink	Hilti Fox VT	EJOT-Winkel-stütze	StoP-Fassa-denanker	Holz-UK
0,171	0,176	0,182	0,191	0,197	0,206
100%	+ 3%	+ 6%	+ 12%	+ 15%	+ 20%
	6 Stk/m²	4 Stk/m²	2 Stk/m²	4 Stk/m²	B=12cm, alle 1,2m
					
	Gewindestangen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK)	Konsole aus GFK	Schwerlastanker aus Edelstahl mit Zugseil	Konsole aus Edelstahl	Unterkonstruktion aus kreuzweisen Holzlatten

Auf Grundlage der durchgeführten Wämebrückenberechnungen wurde entschieden, die Holz-Unterkonstruktion für die Fassadenbegrünungssysteme nicht innerhalb der Dämmebene anzuordnen, sondern direkt davor zu stellen, und die Verankerungen an der Bestandswand mit Edelstahl-Gewindestangen auszuführen. Da gemäß statischer Bemessung über die gesamte Fläche der Fassadenbegrünung (insgesamt 76 m²) nur 45 Gewindestangen (Durchmesser M16) zur Verankerung der Holz-Unterkonstruktion erforderliche sind, ergibt sich eine Erhöhung des U-Wertes von lediglich:

$$\Delta U = c \cdot \chi = \frac{45}{76} \cdot 0{,}018 = 0{,}011\ \mathrm{W/(m^2 \cdot K)}, \quad (7)$$

wobei der punktuelle Wärmebrücken-Verlustkoeffizient χ auch hier mit der Software AnTherm unter Annahme einer Wärmeleitfähigkeit der Edelstahl-Gewindestangen von 15 W/mK berechnet wurde. Die errechnete Erhöhung des U-Wertes ist vergleichbar mit jener der Passivhaus-tauglichen Hilti Fox VT-Konsolen gemäß Tabelle 2.

4. Thematisch relevante bauphysikalische Forschungsergebnisse mit Bezug auf den Holzbau

Bisherige Umsetzungen von Fassadenbegrünungen sowie durchgeführte Forschungsprojekte und damit verbundene wissenschaftliche Untersuchungen erfolgten fast ausschließlich an Fassaden, bei denen die Grundkonstruktion der Außenwand aus Materialien wie Ziegel oder Stahlbeton besteht. Fassadenbegrünung im Holzbau fand bisher wenig bzw. keine Beachtung. Eine zentrale Frage, die sich daher stellt, lautet: «Welche bisherigen Untersuchungen und bauphysikalischen Forschungsergebnisse aus durchgeführten Projekten sind für Fassadenbegrünungen im Holzbau relevant und welche übertragbar?»

Aufgrund der bauphysikalischen Funktionsweise von wandgebundenen Fassadenbegrünungen als hinterlüftete Konstruktionen wird besondere Aufmerksamkeit der Untersuchung der Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Hinterlüftungsspalt sowie brandschutztechnischen Aspekten, die in Verbindung mit dem Holzbau zunehmend an Bedeutung gewinnen, gewidmet:

- Hygrische Messungen im Hinterlüftungsspalt zwischen der ursprünglichen Fassade und dem Begrünungssystem am Gebäude der Magistratsabteilung 48 der Stadt Wien, welches mit einer teilflächigen wandgebundenen vertikalen Begrünung ausgestattet ist, haben gezeigt, dass die Feuchte-Problematik durch die Begrünung sogar entschärft wird: Die Luftfeuchtigkeit ist in Bereichen mit Begrünung geringer als in Bereichen ohne Begrünung, da das Begrünungssystem die Fassade vor der Witterung schützt, durch die Hinterlüftung aber von der Bestandswand entkoppelt ist. [18]

- Des Weiteren konnten Messungen der Luft- und Oberflächentemperatur an einer begrünten Südfassade und einer entsprechenden Referenzfassade (nicht begrünt) an einer Schule in Wien deutlich die Reduktion der Temperaturschwankungen durch die Fassadenbegrünung zeigen. Darüber hinaus wurde herausgestellt, dass Fassadenbegrünung die Temperatur direkt an der Fassade an kalten Tagen erhöht und an heißen Tagen im Sommer reduziert. [13]

Die Grundlage für die Einordnung von Fassadenbegrünungen bezogen auf den Brandschutz bieten die Ergebnisse von Brandversuchen der Magistratsabteilung 39 – Bauphysiklabor, welche in Anlehnung an die ÖNORM B 3800-5 durchgeführt wurden. Mit dem Ziel, entsprechend der OIB-Richtlinie 2 die mögliche horizontale und vertikale Brandweiterleitung über die Fassade zu verhindern, und das Brandverhalten der eingesetzten Systemkomponenten berücksichtigend, wurden auf Basis dieser Untersuchungen Vorgaben in Abhängigkeit der Gebäudeklasse formuliert. Für die Gebäudeklassen 1 bis 3 sind bezogen auf die Fassadenbegrünung keine besonderen Nachweise erforderlich. Für Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m ist die Begrünung abgesehen von einzelnen Ausnahmefällen nicht zulässig. Brandschutztechnische Vorgaben für die Gebäudeklassen 4 und 5 sehen neben dem Einsatz nicht brennbarer Materialien (bspw. für Rankhilfen) einen vertikalen Schutzabstand von 100 cm zur Dachkonstruktion vor. Darüber hinaus werden nachweisfreie Ausführungen formuliert, in denen u.a. geschoßweise Brandabschottungen oder auch Fensteröffnungen berücksichtigt werden. [19]

Diese genannten Forschungsergebnisse können gleichfalls auf Fassadenbegrünungen im Holzbau übertragen werden. Zu beachten ist jedoch die Erhaltung der Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Als Beispiel zu nennen ist die Ermöglichung der Erneuerung von brandschutztechnischen Anstrichen bei einer durch das Begrünungssystem verdeckten Außenwandkonstruktion. Bezüglich der erforderlichen Anstriche für den Holzschutz ist darüber hinaus auf eine Verträglichkeit der Pflanzen mit dem verwendeten Holzschutzmittel sowie auf dessen Biozidfreiheit zu achten.

5. Normative und Richtlinien

Seit April 2021 gibt es in Österreich eine Norm, die sich der Vertikalbegrünung im Außenraum widmet. Diese ordnet Holzwände als begrünbare Bauweise ein [8]. Ebenso sieht der Leitfaden

Fassadenbegrünung der Stadt Wien Holzuntergründe als geeignete Fassadenoberflächen für eine Begrünung an [9]. Der Bundesverband GebäudeGrün e.V. [20], [21] empfiehlt lediglich eine Begrünung mit Gerüstkletterpflanzen und fassadengebundenen Systemen und rät von einer Begrünung mit Selbstklimmern ab. Dies ist in erster Linie damit begründet, dass einerseits bei Holzfassaden, insbesondere bei hinterlüfteten Holzverkleidungen, oft Fugen vorhanden sind, in welche die Pflanzen hineinwachsen können. Andererseits ist bei Eintritt von Feuchtigkeit in Holzfassaden ein höheres Schadensrisiko vorhanden, weshalb eine Begrünung mit Selbstklimmern eher als «nicht geeignet» einzustufen ist.

Die deutsche Fassadenbegrünungsrichtlinie der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) [10] enthält unter anderem allgemeine baukonstruktive und technische Anforderungen bzw. Voraussetzungen, die als Entscheidungshilfe zur Auswahl der Begrünung dienen. Bodengebundene Begrünung, also Begrünung mit Selbstklimmern und Gerüstkletterpflanzen, wird dabei nur empfohlen, wenn «keine offenen Fugen» vorhanden sind. Wandgebundene Begrünungen sind bei ausreichenden statischen Reserven der Außenwandkonstruktion auch im Holzbau möglich, sofern ein Hinterlüftungsspalt vorgesehen wird. Im Folgenden werden einzelne Wandaufbauten in Holzbauweise betrachtet und deren Begrünungsmöglichkeiten aufgezeigt (siehe auch Abbildung 10):

- Bei ungedämmten Außenwänden in Ständer- und Fachwerkbauweise sind Kletterhilfen für eine Begrünung mit Gerüstkletterpflanzen im Fachwerk als statisch wirksamer Bereich zu verankern.
- Bei gedämmten Außenwänden in Ständer- und Fachwerkbauweise ist darüber hinaus zu beachten, dass bei wandgebundener Begrünung oder Begrünung mit Gerüstkletterpflanzen notwendige Verankerungen im Fachwerk bereits bei der Gebäudeplanung vorzusehen sind sowie ausreichender Abstand zwischen der Sekundärkonstruktion für die Begrünung bzw. Kletterhilfen und der Fassade vorhanden ist. Es sollten wärmebrückenreduzierte Halterungen eingesetzt werden.
- Als dritte Variante werden gedämmte Außenwände als mehrschalige, hinterlüftete Wandaufbauten betrachtet. Wie bei allen anderen Varianten ist hier insbesondere darauf zu achten, dass spätere Instandhaltungstätigkeiten an der Holzfassade auch nach Erreichen des Begrünungsziels durchgeführt werden können und bspw. Holzschutzanstriche auch auf die Fassade hinter der Begrünung aufgebracht werden können, ohne diese zu beschädigen.

Abbildung 10: Unterschiedliche Bauweisen und deren Begrünungsmöglichkeiten nach der deutschen Fassadenbegrünungsrichtlinie der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) [10]

Die Befestigung von Rankhilfen für Kletterpflanzen kann an Holzfassaden auf unterschiedliche Weise ausgeführt werden (siehe Abbildung 11). Die wesentlichen Einflussfaktoren sind dabei einerseits die vorhandene Außenwandkonstruktion und deren Anforderungen hinsichtlich Brandschutz, Luftdichtheit, Optik etc. sowie andererseits das Gewicht und die Blattflächendichte der Pflanzen und die daraus entstehenden zusätzlichen Lasten (Eigengewicht, Wind, Schnee etc.). Gemäß [22] kann in folgende Ausführungsvarianten unterschieden werden:

- Die einfachste und günstigste, jedoch auch nur für kleine Seilsysteme und geringe zusätzliche Lasten geeignete Variante stellt die Befestigung in der Wandverkleidung durch Einschlagen oder Eindrehen kleiner Halterungen (z.B. Ösen-Schrauben) in die Außenschale als Direktbefestigung dar. Der maximal mögliche Abstand zwischen Begrünung und Fassade beträgt dabei jedoch 2 cm.
- Bei Außenschalen mit einem Hohlraum und der Möglichkeit zur Einführung von z.B. einem Hohlraumdübel stellt eine Hohlraumbefestigung eine weitere Möglichkeit zur Befestigung dar.
- Bei beidseitiger Zugänglichkeit der zu begrünenden Vertikalen (z.B. bei Geländern) ist die Durchsteckmontage der Rankhilfe in Form eines Gewindeschafts mit Gegenmutter möglich.
- Bei dünner Außenschale und hohen zu erwartenden Lasten ist eine Befestigung der Rankhilfen im Tragwerk notwendig. Hierbei ist insbesondere auf etwaige Folien oder Abdichtungen Rücksicht zu nehmen.
- Am häufigsten erfolgt die Befestigung von Rankhilfen in der Außenschale und der dahinterliegenden Holzlattung der Unterkonstruktion, wodurch ein größerer Materialquerschnitt zur Verfügung steht. Diese Art der Befestigung gilt zwar als stabil, jedoch auch als recht unflexibel, da der Verlauf der Rankseile von der Unterkonstruktion vorgegeben wird.

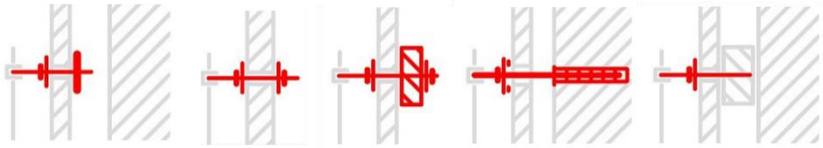


Abbildung 11: Befestigungsmöglichkeiten von Rankhilfen nach [22] von links nach rechts: Hohlraumbefestigung, Ranktechnik mit Durchsteckmontage (ohne und mit zusätzlicher Aussteifung), Befestigung im Tragwerk, Befestigung in Außenschale und Holzlattung.

6. Fazit und Ausblick

Generell ist festzuhalten, dass Fassadenbegrünung den U-Wert und somit den Wärmeverlust von Außenwandkonstruktionen reduziert. Erfolgt eine Befestigung der Fassadenbegrünung an der Außenwandkonstruktion, entstehen jedoch zusätzlich Wärmebrücken, die bei einer gesamtheitlichen Betrachtung der Auswirkungen der Fassadenbegrünung auf die thermische Qualität der Gesamtkonstruktion mitberücksichtigt werden müssen. An ungedämmten Fassaden sind diese Wärmebrücken normalerweise vernachlässigbar; an gedämmten Fassaden kann die Fassadenbegrünung aufgrund der Wärmebrücken deren thermische Qualität jedoch auch verschlechtern. Dabei ist zu beachten, dass eine Verblendung der Seitenflächen das Durchströmen des Hinterlüftungsspalts mit kalter Außenluft reduziert und somit die Dämmwirkung der Fassadenbegrünung erhöht. Außerdem ist es in Hinblick auf den Wärmeschutz von Vorteil, wenn das Begrünungssystem großflächig ist und möglichst wenige Unterbrechungen (Grenzflächen zur Außenluft) aufweist. Die Wirkung einer zusätzlichen, im Begrünungselement integrierten Dämmschicht ist hingegen sehr gering und kann lediglich bei ungedämmten Altbauten zu einer weiteren Reduktion der Wärmeverluste führen.

In Bezug auf die Ausführung der Unterkonstruktion für begrünte Fassaden können folgende Empfehlungen festgehalten werden:

- Systeme mit Stahl-Unterkonstruktion sind gegenüber Systemen mit Aluminium-Unterkonstruktion jedenfalls zu bevorzugen. Eine weitere Verringerung der Wärmebrückenwirkung kann durch Edelstahl- bzw. Kunststoff-Konsolen erzielt werden.
- Wenn möglich, sind die vertikalen Lasten direkt über die Begrünungs-Unterkonstruktion in den Boden abzuleiten, da somit die erforderliche Anzahl an Befestigungselementen stark reduziert werden kann.
- Die Dämmebene sollte nach Möglichkeit nur von stabförmigen Befestigungselementen (z.B. Gewindestangen) durchdrungen werden. Massive Konsolen sollten, wenn erforderlich, erst außerhalb der Dämmebene angeordnet werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass bei sorgfältiger Planung der Unterkonstruktion von begrünten, hinterlüfteten Fassaden deren Wärmebrücken auf ein Minimum reduziert werden können und sogar wärmebrückenfreie Konstruktionen (ΔU-Werte < 0,01 m²K/W) möglich sind. In jedem Fall sind jedoch die projektspezifischen Rahmenbedingungen gesondert zu berücksichtigen und durch einen fachlich spezialisierten (Grün-) Fassadenplaner entsprechende Lösungsvorschläge zu erarbeiten, die sowohl den statischen als auch den bauphysikalischen Belangen Genüge tun.

7. Literatur

[1] United Nations - Department of Economic and Social Affairs/Population Division, „World Urbanization Prospects - 2014 Revision", New York, 2015.

[2] M. T. Hoelscher, T. Nehls, B. Jänicke, und G. Wessolek, „Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation", Energy Build., Bd. 114, S. 283–290, 2016.

[3] B. Raji, M. J. Tenpierik, und A. Van Den Dobbelsteen, „The impact of greening systems on building energy performance: A literature review", Renew. Sustain. Energy Rev., Bd. 45, S. 610–623, 2015.

[4] M. R. Ismail, „Quiet environment: Acoustics of vertical green wall systems of the Islamic urban form", Front. Archit. Res., Bd. 2, Nr. 2, 2013.

[5] D. Tudiwer und A. Korjenic, „The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade", Energy Build., Bd. 135, S. 10–19, 2017.

[6] T. Van Renterghem, M. Hornikx, J. Forssen, und D. Botteldooren, „The potential of building envelope greening to achieve quietness", Build. Environ., Bd. 61, 2013.

[7] R. W. F. Cameron, J. E. Taylor, und M. R. Emmett, „What's ‚cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls", Build. Environ., Bd. 73, S. 198–207, 2014.

[8] ÖNORM L 1136:2021 04 01 -Vertikalbegrünung im Außenraum - Anforderungen an Planung, Ausführung, Pflege und Kontrolle. 2021.

[9] F. Kraus u. a., LEITFADEN FASSADENBEGRÜNUNG. MA 22 - Wiener Umweltschutzabteilung - Bereich Räumliche Entwicklung, 2019.

[10] FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., „Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen". S. 167, 2018.

[11] TU Wien und BOKU Wien, „Forschungsbericht Vegetationstechnisches und bauphysikalisches Monitoring des „Vertikalen Gartens" der MA31 in der Grabnergasse 4--6, 1060 Wien", Wien, 2018.

[12] F. Teichmann, „Beurteilung und Optimierung der Wärmebrücken bei begrünten hinterlüfteten Fassaden sowie Entwicklung eines Modells mit zusätzlich vorgelagerten PV-Modulen", Diplomarbeit an der TU Wien, Wien, 2018.

[13] A. Korjenic u. a., „GrünPlusSchule@Ballungszentrum", Wien, 2018.

[14] A. Korjenic u. a., „GRÜNEzukunftSCHULEN. Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus Planungsprozess und Bestandsgebäude", Wien, 2020.

[15] Architektur Fachmagazin, „Ein Baumhaus als urbaner Wohnraum – 25 Verde". [Online]. Verfügbar unter: https://www.architektur-online.com/projekte/ein-baumhaus-als-urbaner-wohnraum-25-verde. [Zugegriffen: 17-Sep-2021].

[16] ArchDaily, „ASI Reisen Headquarters / Snøhetta". [Online]. Verfügbar unter: https://www.archdaily.com/946508/asi-reisen-headquarters-snohetta. [Zugegriffen: 17-Sep-2021].

[17] TU Wien Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien, „MehrGrüneSchulen". [Online]. Verfügbar unter: https://www.obt.tuwien.ac.at/mehrgrueneschulen/projekt/. [Zugegriffen: 25-Mar-2022].

[18] D. Tudiwer, „Einflüsse vertikaler Gebäudebegrünung auf Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung und hygrothermische Behaglichkeit", Technische Universität Wien, 2019.

[19] D. Werner, G. Pommer, K. Danzinger, und S. Pomper, „Studie zum Thema ‚Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen'", Wien, 2018.

[20] FBB Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB), „Grüne Innovation Fassadenbegrünung", Saarbrücken, 2011.

[21] Bundesverband GebäudeGrün e.V., „Planungshinweise". [Online]. Verfügbar unter: https://www.gebaeudegruen.info/gruen/fassadenbegruenung/planungshinweise. [Zugegriffen: 17-Sep-2021].

[22] FassadenGrün, „Sonder- und Holzfassaden". [Online]. Verfügbar unter: https://www.fassaden-gruen.de/uw/rankhilfen/uw/ranktechnik/holzfassaden.html. [Zugegriffen: 18-Okt-2021].