

Grüne Wände und Dachbegrünung: Natürliche Lösungen für urbane Umgebungen

Azra Korjenic

Zusammenfassung

In dem Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien der TU Wien werden umfassende Arbeiten in den Schwerpunkten »Ökologische Materialien und Konstruktionen«, »Green and Innovative Constructions and Buildings« und »Green and Smart Cities« geleistet. Der Beitrag ermöglicht einen Einblick in den Berufsalltag im Bauwesen durch die Vorstellung verschiedener Projekte im ökologischen Bereich. Fassadenbegrünungen an Gebäuden können die Temperaturen an der Fassade im Sommer reduzieren und im Winter mild halten. Auch der U-Wert kann bei nicht gedämmten Fassaden und dichter Fassadenbegrünung um bis zu 30 % reduziert werden – je schlechter die thermische Qualität der Fassade, desto höher der Effekt. Im Innenraum führt der Einsatz von Begrünungssystemen zu einer Reduzierung der Staubkonzentration und der Nachhallzeit bei allen Frequenzen. Die Behaglichkeits-Diagramme (nach Frank 1975) zeigen, dass sich durch die Begrünung und die damit einhergehende Anhebung der Luftfeuchtigkeit sowie die geringfügige Absenkung der Temperatur das Innenklima in den optimalen Bereich verschiebt. Auch der Synergieeffekt von Dachbegrünungen und Photovoltaikanlagen wurde untersucht. Durch die Dachbegrünung können die Lufttemperaturen unter den PV-Modulen und die Moduloberflächentemperaturen reduziert werden, was sich wiederum positiv auf die Leistung der PV-Anlage auswirken kann. Alle Begrünungssysteme erfordern jedoch eine regelmäßige Pflege. Im Allgemeinen ist eine Wartung von Fassaden- und Dachbegrünungen mindestens ein- bis zweimal im Jahr notwendig.

Summary

Green walls and green roofs: natural solutions for urban regions

The Research Unit for Ecological Building Technologies at TU Wien conducts comprehensive research in the main areas of 'Ecological Materials and Constructions', 'Green and Innovative Constructions and Buildings', and 'Green and Smart Cities'. The article provides insights into the professional daily life in construction activities by presenting various projects in the ecological field. Green facades on buildings can reduce facade temperatures in summer and keep them mild in winter. Additionally, the U-value can be reduced by up to 30% in uninsulated facades with dense green coverings – the poorer the thermal quality of the facade, the greater the effect. Indoors, the use of green systems leads to a reduction in dust concentration and reverberation time at all frequencies. Comfort diagrams (according to Frank 1975) show that greenery and the associated increase in humidity, as well as the slight lowering of temperature, shift the indoor climate into the optimal range. The synergy effect of green roofs and photovoltaic systems was also investigated. Green roofs can reduce air temperatures beneath the PV modules and the module surface temperatures, which can positively affect the performance of the PV system. However, regular maintenance of these green systems is essential. Generally, facade and roof greenery require maintenance at least once or twice a year.

Der Beitrag basiert auf einem von der Autorin überarbeiteten Transkript ihres Vortrags vom 9. April 2024 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

✉ Prof. Dr. Azra Korjenic, TU Wien, Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich; azra.korjenic@tuwien.ac.at

Einführung

Das Bauwesen ist für eine attraktiv und gesund gebaute Wohn- und Arbeitsumgebung zuständig. Wir als Bauingenieure und Bauingenieurinnen stehen vor vielen Herausforderungen, die wir mit dem Bauen lösen müssen: Bis 2050 werden weltweit zwei Drittel der Menschen in Städten leben. Eine dichtere Bebauung führt zu mehr Speichermasse, wodurch die Entstehung von Wärmeinseln begünstigt wird, und es bleibt weniger Platz für Grünflächen. Zudem werden die Sommer immer heißer, was dazu führt, dass insbesondere in Städten mehr Klimageräte installiert werden. Diese benötigen zusätzlich Energie und heizen durch die von ihnen erzeugte Abwärme die Außenluft weiter auf. Im Mittelpunkt unseres Handelns stehen dabei immer die Menschen, für die wir bauen.

Wir haben in den letzten Jahren und Jahrzehnten vieles ausprobiert und können problemlos Plusenergiehäuser bauen, bei denen sich die Fassade für eine maximale Stromerzeugung nach dem Sonnenstand dreht. Betrachtet man jedoch den Lebenszyklus der verbauten Materialien, von der Entnahme aus der Natur bis zu ihrer Rückführung, ist in Bezug auf Herstellung, Erneuerung und Rezyklierbarkeit ein eindeutiger Verbesserungsbedarf notwendig. Mit meinem Team beschäftige ich mich daher seit vielen Jahren im Rahmen verschiedener Projekte mit Gebäudebegrünungen und nachhaltigem Bauen. Mittlerweile wurde in vielen Studien belegt, dass Bauwerksbegrünungen den Heiz- und Kühlenergiebedarf reduzieren (bei nichtgedämmten Objekten), vor sommerlicher Überwärmung schützen, positive Auswirkungen auf das Mikroklima haben, CO₂ und Lärm reduzieren, Staub binden und die Luftqualität erhöhen sowie sogar kleinräumige Überflutungen reduzieren können (Medl et al. 2017, Al-Kayiem et al. 2020).

Mikroklima in Innenhöfen

Im Rahmen der Normenüberarbeitung zur sommerlichen Überwärmung haben wir in dem Projekt Urban Summer Comfort (USC)¹ gemeinsam

mit dem Zentrum für Innovation und Technologie (ZIT) der Stadt Wien in einem dicht bebauten Stadtteil 14 Innenhöfe untersucht. In ca. 40 cm Abstand zu den Fassaden wurden Messungen in verschiedenen Höhen durchgeführt. In einem paarweisen Vergleich, jeweils mit und ohne Begrünung bei ansonsten gleicher Größe, Bauweise, Höhe und Orientierung der Gebäude (Abb. 1a,b), sind die Außentemperaturen in begrünten Innenhöfen im Tagesverlauf niedriger und auch die Tagesspitzen sind im Vergleich zu den nicht begrünten Innenhöfen deutlich gedämpft. Im unteren Bereich beträgt der Unterschied bei Hitzewellen bis zu 5°C zugunsten der begrünten Innenhöfe. Morgens ist es im oberen Bereich, ab ca. 9 m Höhe, kurzfristig umgekehrt, da begrünte Fassaden über die Nacht hindurch weniger stark abkühlen als nicht begrünte Fassaden (Abb. 1c; USC, unveröff. Daten.).

Die Intensität der Begrünung ist dabei maßgeblich. Auch die Art des Hofes – offen oder geschlossen – sowie die Größe des Innenhofs spielen eine wichtige Rolle. Höhere Windschwwindigkeit reduziert den Einfluss. Beispielfhaft sieht man das beim Innenhof des Boutiquehotels Stadthalle, der auf drei Fassadenseiten sowie am Boden intensiv begrünt und auf der vierten Seite offen ist (Abb. 2). Dieser Innenhof kann gut auskühlen, wodurch die Temperaturen bis zu 4°C niedriger als in einem vergleichbaren nicht begrünten Innenhof sind (USC, unveröff. Daten.).

Einfluss von Bauweise und grüner Infrastruktur auf die Innen- und Außentemperaturen

In dem Projekt Greening Aspang² wurde ein Straßenzug untersucht, an dem die Bewohnerinnen und Bewohner große Probleme bezüglich der sommerlichen Überwärmung hatten und den die Stadt Wien sanieren wollte (Hollands et al. 2018, Tudiwer et al. 2018). An der nördlichen Straßenseite – mit ungeraden Hausnummern – stehen verschiedenste Bauten, von Gründer-

1 Urban Summer Comfort (USC) - Planungssoftware für ressourcenschonende Bauweise. TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Teil: Mikroklimatische Messungen (Stadt Wien, nur intern veröffentlicht).

2 <https://smartcities.at/projects/gesamtenergetische-optimierung-von-stadtgebieten-greening-aspang-wien/> [abgerufen 20.05.2024], Endbericht: Greening Aspang (UrbanTransForm Res. Cons. 2018).

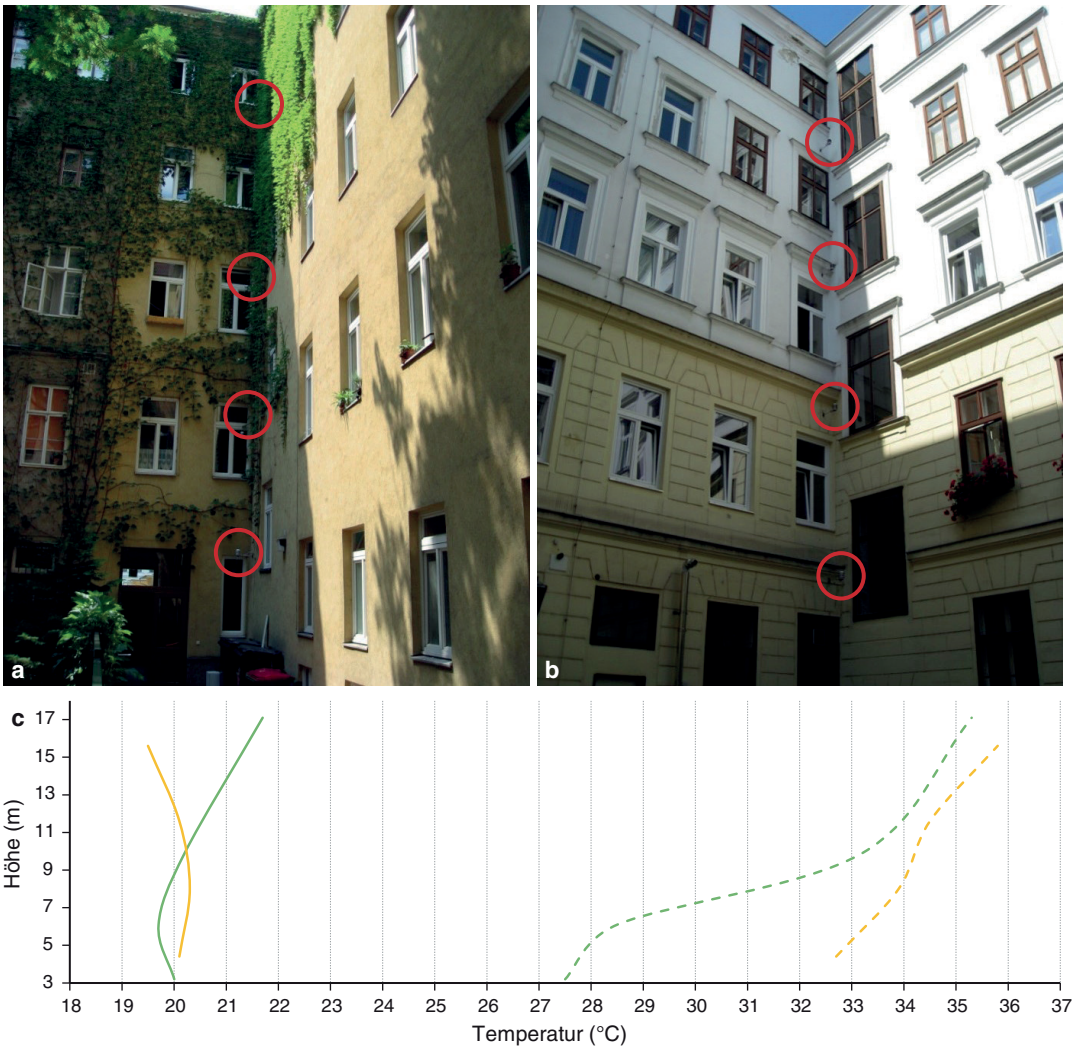


Abb. 1. Außentemperatur in Innenhöfen mit und ohne Begrünung in Wien; **a:** begrünter Innenhof (Volkertplatz) und **b:** nicht begrünter Innenhof (Taborstraße), rote Kreise: Lage der Messstellen; **c:** gemessene Temperatur ca. 40 cm vor der Fassade in Abhängigkeit von der Messstellenhöhe um 6:15 Uhr (durchgezogene Linie) und um 15:30 Uhr (gestrichelte Linie) am 20. August 2012 in den Innenhöfen Volkertplatz (—) und Taborstraße (—), Wien. – Fotos: TU Wien; c: TU Wien, 2012.

zeithäusern bis hin zu Neubauten, direkt an der Aspangstraße. Auf der südlichen Straßenseite – gerade Hausnummern – befindet sich die Passivhaus-Wohnanlage Eurogate. Wir haben in dem Straßenzug sehr viele Messungen im oberen und unteren Bereich der Fassaden sowie in den Innenräumen und im Straßenraum durchgeführt (Hollands et al. 2018). Im Folgenden werden insbesondere die Häuser Nr. 6 und 29, denen nach

Süden hin jeweils eine Grünanlage gegenüberliegt, mit den Häusern Nr. 39 und 45 verglichen, denen im Süden die Straße und eine andere Hausfassade (Nr. 2 bzw. Nr. 6) gegenüberliegt.

In Abständen von jeweils 40 cm zu den Fassaden liegt bei den unteren Geschossen die Außentemperatur bei Haus 45 (keine Durchlüftung / gegenüber Haus) deutlich höher als bei den Häusern 6 und 29, die gegenüber einer



Abb. 2. Boutiquehotel Stadthalle, Wien: intensiv begrünter Innenhof mit einer offenen Seite, – Foto: © Franz Schädel Fotografie / Boutiquehotel Stadthalle.

Grünfläche liegen (Abb. 3). Die Situation in den Innenräumen ist dagegen durch Faktoren wie ein falsches Lüftungsverhältnis, die Möglichkeit der Querlüftung, der Glasflächenanteil und die Art der Verschattung geprägt. Die höchsten Innenraumtemperaturen auf der Südseite haben wir in

einer Wohnung gemessen, in der der Bewohner im Sommer auch bei der größten Hitze untertags alle Fenster offenhält (Abb. 4, Haus 31). Ebenfalls sehr hohe Raumtemperaturen herrschen in den Wohnungen im Haus 29, das in Relation zur Wohnfläche einen hohen Fensterflächenanteil

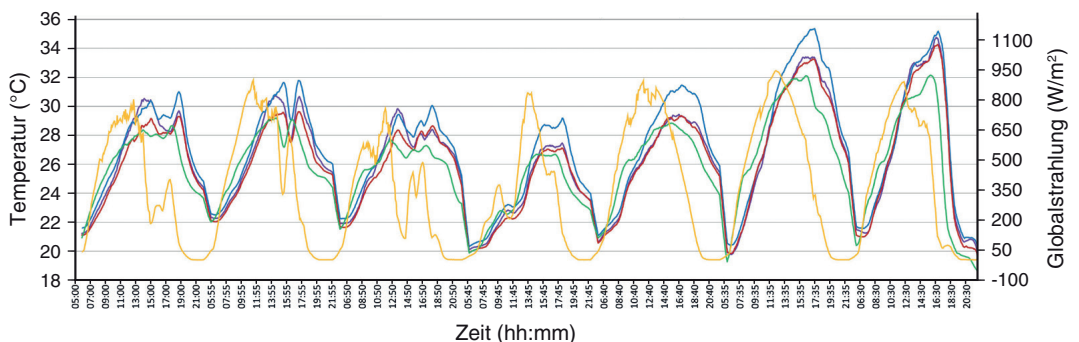


Abb. 3. Außentemperaturen in 40 cm Entfernung vor der Fassade, in unteren Geschossen der Häuser Nr. 6 (—), 29 (—) und 45 (—) in der Aspangstraße, Wien, sowie Globalstrahlung (—) im Zeitraum 26.–30.07.2016; Daten: gleitende Mittelwerte. Erläuterungen zu den Häusern s. Text und Endbericht Greening Aspang (UrbanTransForm Res. Cons. 2018). – TU Wien, 2018.

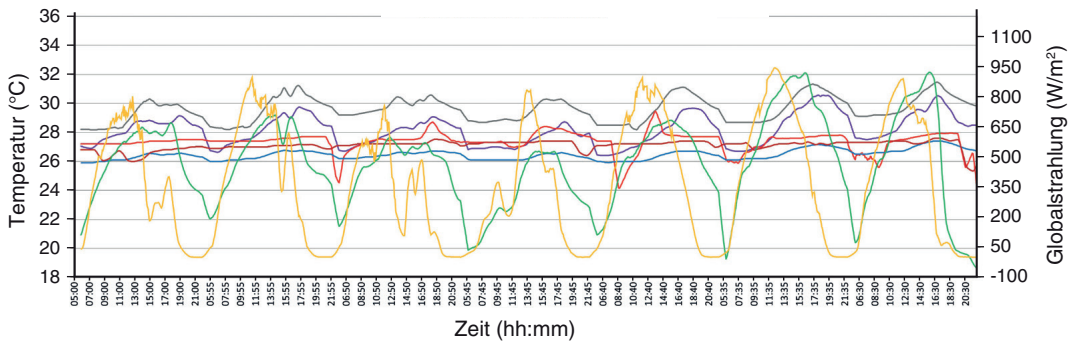


Abb. 4. Innenraumtemperaturen in ausgewählten Wohnungen in den unteren Geschoßen (< 11 m Höhe) der Häuser Nr. 6 (—), 29 (—), 31 (—), 39 (—) und 45 (—) in der Aspangstraße, Wien, sowie Globalstrahlung (—) und Temperatur an einer nahe gelegenen Wetterstation (—) von 5 bis 22 Uhr im Zeitraum 25.–30.07.2016; Daten: gleitende Mittelwerte. Erläuterungen zu den Häusern s. Text und Endbericht Greening Aspang (UrbanTransForm Res. Cons. 2018). – TU Wien, 2018.

ohne Außenverschattung aufweist und das aufgrund der gegenüberliegenden Grünfläche keine Umgebungs-Verschattung hat. Zudem ist in Haus 29 keine Querlüftung möglich. Auch die Innenräume in dem Passivhaus Nr. 6 (keine Außenverschattung), die der direkten Einstrahlung ausgesetzt sind, sind wärmer als die Räume im Haus Nr. 45, bei welchem die Loggien und am Nachmittag das gegenüberliegende Haus Nr. 6 zu einer Verschattung beitragen (Abb. 4).

Loggien nehmen bei direkter Sonneneinstrahlung in einer Hitzewelle sehr viel Wärme auf und kühlen in der Nacht nicht so stark aus wie der Rest der Fassade. Durch die fehlende Sicht zum Nachthimmel bleibt die Wärme bis in die frühen Morgenstunden in ihnen »gefangen« (Abb. 5a). Trotz besserer Belüftung und Sicht zum Nachthimmel geben Betonabsperren im Straßenraum, die tagsüber sehr viel Wärme aufnehmen,

diese in der Nacht ebenfalls nur sehr langsam ab, da ihre Speichermasse sehr hoch ist (Abb. 5b). Auch die hervorstehenden nicht gedämmten Betonkonstruktionen an dem Passivhaus Nr. 6 haben eine hohe Wärmespeichermöglichkeit. Sie heizen sich sehr stark in der Sonne auf und strahlen nachts bis in die Morgenstunden die Wärme wie ein Heizkörper ab. Die restliche Fassade ist mit einem ca. 40 cm dicken Wärmedämmverbundsystem ausgestattet, wodurch während des Tages nur wenig Wärme aufgenommen und im Außenputz gespeichert werden kann. Nachts kühlt diese dünne Putzschicht schnell wieder aus (Abb. 5c). Werden die Türen zu den Loggien und den Betonkonstruktionen in der Nacht zum Lüften geöffnet, dringt die Wärme in die Innenräume. Eine Außenverschattung sollte in der Zukunft unbedingt beim Bau eingeplant werden (UrbanTransForm Res. Cons. 2018).

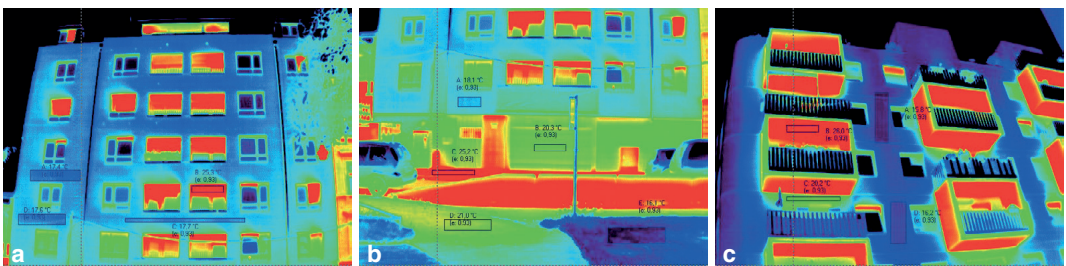


Abb. 5. Thermografische Aufnahmen verschiedener Bauteile in der Aspangstraße, Wien, kurz vor Sonnenaufgang (rot: hohe, blau: niedrige Oberflächentemperaturen); a: Loggien im Fassadenbereich von Haus 29, b: Betonabsperren vor Haus 29, c: hervorstehende Betonkonstruktionen am Passivhaus 6 (oberer Fassadenbereich). – Fotos: TU Wien, 2018.



Abb. 6. Fassadengebundene Begrünungssysteme mit horizontal angebrachten Aluminiumträgern; **a:** MA-48-Haus, Wien, begrünte Fassadenfläche: 850 m², **b:** Schule GRG 7 Kandlgasse, Wien, begrünte Fläche: 58 m². – Fotos: TU Wien, 2019.

Auf Basis der Messungen wurde ein Simulationsmodell entwickelt, mit dessen Hilfe die Auswirkungen unterschiedlicher baulicher Maßnahmen wie Außenverschattung, Fassadenstruktur und -anstrich, Loggien- und Fassadenbegrünung auf das hygrothermische Innenraumklima während einer Hitzewelle untersucht wurden. Als effektivste Einzelmaßnahme, um sommerliche Überwärmung im Innenraum zu reduzieren, hat sich die Außenverschattung erwiesen. Die besten Ergebnisse wurden durch eine Kombination aus mehreren unterschiedlichen Maßnahmen erzielt (Tudiwer et al. 2018). Für die Sanierung der Aspangstraße haben wir zusammen mit allen Projektpartner und -partnerinnen eine entsprechende Empfehlung zur Straßen- und Fassadengestaltung und zur Fassadenbegrünung entwickelt. Dabei wurden unter anderem unterirdisch verlaufende Leitungen, Feuerwehruzufahrten und das Luftströmungsverhalten in dem Straßenzug berücksichtigt. Wien hat eine sehr gute Luftqualität, die v. a. an der guten Durchlüftung der Stadt liegt. Werden zur besseren Beschattung Bäume an falscher Stelle gepflanzt, kann dies zu einer Störung der Durchlüftung führen.

Fassadenbegrünungen

Fassadengebundene Begrünungssysteme wurden von uns über viele Jahre erforscht, z.B. an dem MA-48-Haus in Wien, dem Sitz der

Magistratsabteilung Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark, einem Ziegelbau aus den 1960er Jahren. Seine Fassade wurde im Zuge der Sanierung im Jahr 2010 mit einem System aus horizontal angebrachten Aluminiumträgern begrünt (Abb. 6a; Tudiwer & Korjenic 2017). Die Oberflächentemperatur direkt an der Fassade in dem Belüftungsspalt hinter der Begrünung liegt im Sommer bei direkter Sonneneinstrahlung um die Mittagszeit bis zu 10°C unter derjenigen einer nicht begrünenden Stelle. Im Winter ist die begrünte Fassade dagegen um etwa 5°C wärmer, da die Begrünung vor der Witterung schützt (Tudiwer & Korjenic 2017).

An einem anderen Objekt (Kandlgasse, Schule) mit einem Trogssystem (Abb. 6b) haben wir die Wassermasse ermittelt, die im System verdunstet. Dazu haben wir die Menge an Wasser gemessen, die dem System zugeführt wird und die über den Regen hinzukommt, und davon jene Menge an Wasser abgezogen, die abgeführt wird (z.B. in den Abfluss fließt). Aus diesen Werten ergab sich während einer Hitzeperiode im August 2017 eine durchschnittliche tägliche Verdampfungsenthalpie von ca. 1,8 kWh/m² (Salonen et al. 2022). Zum Vergleich: Die Verdunstung von 1 Liter Wasser erzeugt eine Verdunstungskälte von 0,680 kWh. Die größte Kühlleistung hat die Außenbegrünung an einem heißen, sonnigen Tag bei ausreichend zugeführtem Wasser. Die Außenluft wird gekühlt und die Außenbauteile



Abb. 7. Bodengebundene Fassadenbegrünung mit Efeu, Kopalngasse, Wien; **a:** Anbringung der Sensoren zur Messung der U-Werte, **b:** Zusammenbruch der Efeubegrünung nach einem starken Gewitter. – Fotos: TU Wien, a: 2021, b: 2023.

werden beschattet; für den Innenraum sind die Auswirkungen jedoch gering.

Weiters haben wir an zwei Wiener Gebäuden (Kopalngasse und Muthgasse) den Einfluss einer bodengebundenen Begrünung mit Efeu auf die Transmissionswärmeverluste durch die Außenwände untersucht. Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) gibt die Wärmemenge in Watt an, die durch eine Bauteilfläche von einem m^2 bei einer Temperaturdifferenz von einem Kelvin, hindurchfließt. Durch eine fassadengebundene Begrünung lassen sich bei nicht gedämmten Konstruktionen die U-Werte um ca. 20–25 % reduzieren (Tudiwer & Korjenic 2017). Als kostengünstigere Variante zu fassadengebundenen Begrünungssystemen bietet sich eine bodengebundene Fassadenbegrünung zur Senkung des U-Wertes an. Zur Messung der U-Werte haben wir jeweils eine mit Efeu bewachsene und eine daneben liegende, nicht bewachsene Fassade im Winter mit Sensoren ausgestattet und die Daten erhoben (Pichlhöfer et al. 2023).

Der Vergleich ergab, dass sich der U-Wert im Winter mit einer sehr dichten und gleichmäßigen Efeubegrünung (Kopalngasse, Abb. 7a) um knapp 30 %, von 0,39 auf 0,27 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ reduzieren lässt, bei einer weniger dichten Begrünung (Muthgasse) um ca. 13 %, von 0,47 auf 0,41 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dieser Effekt tritt jedoch nur bei nicht wärmegeprägten Außenfassaden auf. Bei einem bereits thermisch optimierten Passivhaus entfällt er.

Dass eine bodengebundene Fassadenbegrünung ohne adäquate Befestigung, z.B. in Form von fassadenverankerten Kletterhilfen, jedoch auch Gefahren birgt, zeigt die Abb. 7b. Wir haben den Eigentümern des sehr dicht bewachsenen Objekts dringend empfohlen, den Efeu zu befestigen, da er bereits ein hohes Gewicht erreicht hatte. Zwei Monate nach Projektende, als die Triebe als Pflegemaßnahme zurückgeschnitten wurden, brach bei einem darauffolgenden starken Gewitter die gesamte Efeubegrünung herab.

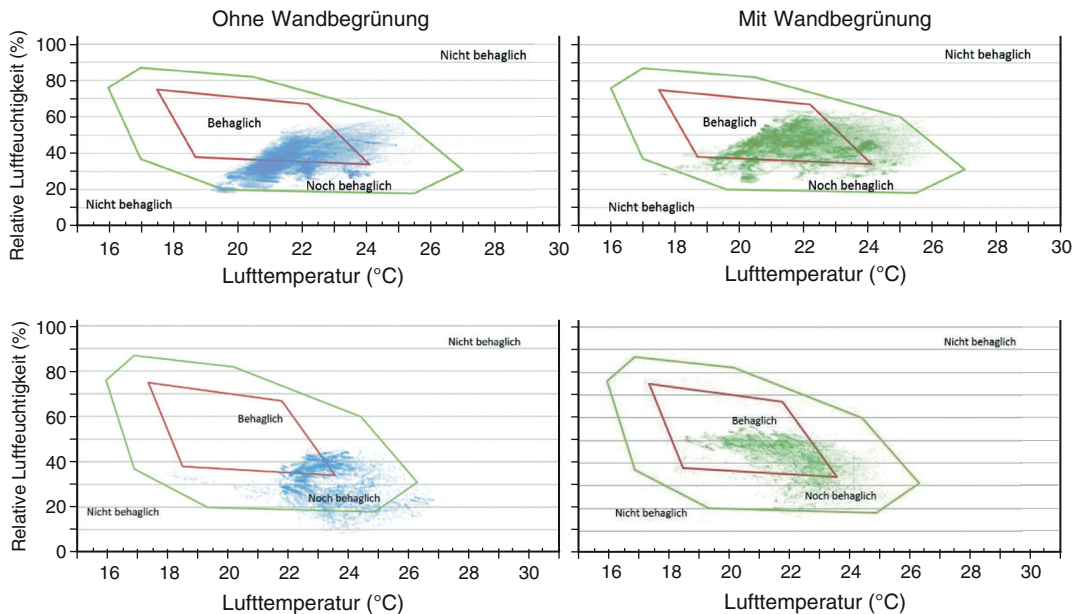


Abb. 8. Diagramm zur hygrothermischen Bewertung von Innenbegrünung: Lufttemperatur und relative Luftfeuchte in Klassenräumen ohne (links) und mit (rechts) Wandbegrünung in Wiener Schulen; oben: GRG 7 Kandlgasse, Altbau; unten: BRG 15 Diefenbachgasse, Neubau mit Lüftungsanlage. Definition behaglicher Bereiche nach Frank (1975). – a: Korjenic et al. (2019); b: Korjenic (2020).

Grüne Klassenzimmer

Um auch die zukünftige Generation für Begrünung zu interessieren, haben wir die Demo-Projekte GrünPlusSchule³ (Schule GRG 7 Kandlgasse) und GRÜNEzukunftSCHULEN⁴ (Schulen BRG 16 Schuhmeierplatz, BG/BRG 15 Diefenbachgasse) durchgeführt, denen sich weitere Projekte mit Wiener Schulen anschlossen. Die Begrünung umfasst u. a. verschiedene Innenraumbegrünungen, verschiedene Fassadenbegrünungen (z. B. Abb. 6b), eine Dachbegrünung und Kombinationen mit Photovoltaik sowohl an der Fassade als auch am Dach (Korjenic et al. 2019, Korjenic 2020). In den Innenräumen wurden grüne Wände zum einen mit einem horizontal, in Reihen ange-

brachten und über Tropfschläuche bewässerten Trogsystem gestaltet, das die Schülerinnen und Schüler zum Mitbepflanzen einlädt, zum anderen mit einem Vliestaschensystem, bei dem die Pflanzen wurzelnackt in hineingeschnittene Taschen gesetzt werden. Hier wird das Wasser von oben eingebracht und das Überschusswasser wird unterhalb des Systems aufgefangen.

Die Behaglichkeits-Diagramme (nach Frank 1975), wie sie in der Bauphysik verwendet werden, zeigen, dass sich bei einer Begrünung die Wolke der Messwerte durch die Anhebung der Luftfeuchtigkeit und die geringfügige Absenkung der Temperatur mehr in den Bereich »behaglich«, d. h. in einen Bereich mit optimalem Innenklima verschiebt (Abb. 8; Korjenic et al. 2019, Korjenic 2020). Die Innenraumbegrünung reduziert während des Tages die CO₂-Konzentration in den Zimmern (Korjenic et al. 2019). Da die Situation während der Unterrichtszeit zu dynamisch ist, wurde die Messung während der Ferien durchgeführt. Die Klassenzimmer wurden dazu abgedichtet und eine hohe CO₂-Konzentration eingebracht. Die Reduktion ist jedoch gering, sodass sie während einer Raumnutzung durch eine Schulklasse kei-

3 https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe_2019-27-gruenplusschule.pdf [abgerufen 24.06.2024], Abschlussbericht: Korjenic et al. (2019).

4 https://smartcities.at/wp-content/uploads/sites/3/BGR3_2020_GRA%C2%9CNEzukunftSCHULEN-1.pdf [abgerufen 24.06.2024], Abschlussbericht: Korjenic (2020).

ne bedeutende Wirkung zeigt und eine Lüftung nicht ersetzen kann. Die Staubkonzentration (Abb. 9) schwankt je nach Raumnutzung und Wetterlage, wird aber in allen Partikelgrößen ($PM_{1,}$ $PM_{2,5,}$ PM_4 und PM_{10}) durch eine Begrünung deutlich reduziert (Korjenic et al. 2019).

Besonders wichtig ist in den Klassenräumen die Akustik. Bei einer Raumnutzung durch Personen mit eingeschränktem Hörvermögen bzw. Hörschäden und/oder wenn die Sprache der Kommunikation nicht die Muttersprache ist, sollte die Nachhallzeit bei der Planung eines Raums um 20 % niedriger angesetzt werden als von der Norm gefordert. Eine Begrünung reduziert die Nachhallzeit bei allen Frequenzen, das Trogsystem (Abb. 10) etwas besser als das Vliestaschensystem (Korjenic 2020). Des Weiteren war die Frage, ob mit einer Grünwand die Konzentration an Schimmelpilzsporen steigt. Dies hat sich nicht bestätigt, eine Analyse hat keine signifikanten Unterschiede in der Sporenkonzentration und der Pilzartenverteilung zwischen einem begrünten und einem nicht begrünten Raum ergeben (Korjenic et al. 2019). Es ist allerdings nötig, von Zeit zu Zeit evtl. Lebensmittelreste, die von Schülerinnen und Schülern in die Wände gedrückt wurden, und sonstigen Unrat zu entfernen.

Ein Schwerpunktthema bei den Schulprojekten war, das Bewusstsein der Schülerinnen und Schüler über Energie- und Ressourceneffizienz, Umweltschutz und Erzeugung von erneuerbarer Energie zu steigern. Die Kinder durften bei der Bepflanzung der Trogsysteme mitmachen und ältere Schüler/-innen wurden z. B. in die Planung und den Bau einer Pergola auf der Dachterrasse einbezogen. Auch die weitere Pflege erfolgt durch die Schulen.

Wand- und Dachbegrünung in Wohn- und Pflegeheimen

In dem Projekt GREEN: Cool & Care⁵ wurden innovative Begrünungslösungen in Wohn- und Pflegeheimen entwickelt. Wir haben zum einen für die Bewohnerinnen und Bewohner im Innen- und Außenbereich verschiedene Grünwände installiert, die an die Bedürfnisse und Möglich-

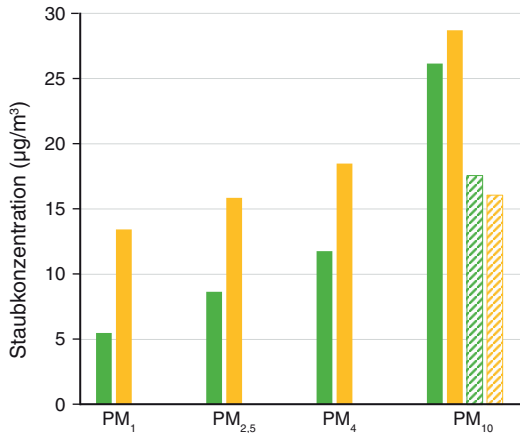


Abb. 9. Staubkonzentration der Partikelgrößen $PM_{1,}$ $PM_{2,5,}$ PM_4 und PM_{10} in einem begrünten Klassenzimmer (■) und einem nicht begrünten Referenzzimmer (■) sowie im Außenbereich während der Messung in den begrünten (▨) und nicht begrünten (▨) Zimmern. – Korjenic, 2020.

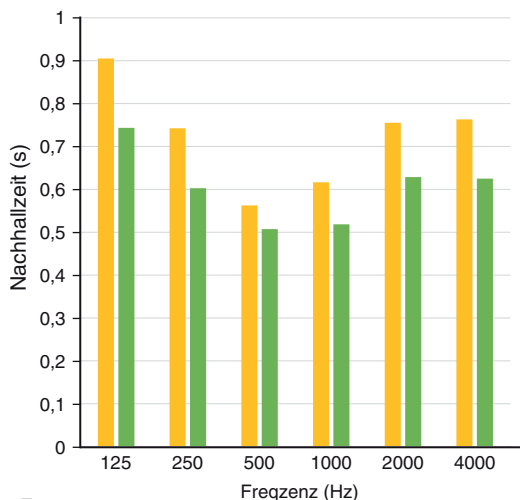


Abb. 10. Nachhallzeit bei verschiedenen Frequenzen vor (■) und nach (■) der Installierung der Begrünung (Trogsystem); Biologiesaal BRG 15 Diefenbachgasse. – Korjenic, 2020.

keiten der dort lebenden Personen sowie an die Wünsche der Pflegekräfte angepasst wurden. Zum anderen wurde das Dach begrünt. In Räumen, die an ein mit weißem Kies gefülltes Dach angrenzten, hatte es im Sommer große Probleme mit Überhitzung und Rückstrahlung gegeben, wodurch die Zimmer permanent verschattet werden

5 <https://smartcities.at/projects/green-cool-care/> [abgerufen 24.05.2024].

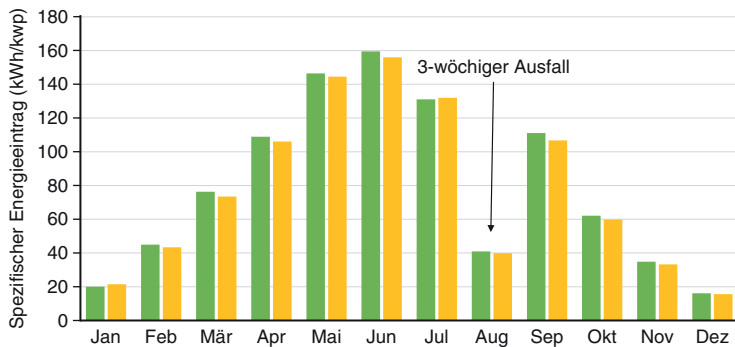


Abb. 11. Spezifischer Energieertrag einer Photovoltaikanlage auf einem begrünten (■, aufgeständert) und einem nicht begrünten (■) Teil eines Daches 2023, ein Jahr nach Begrünung (Juni 2022). – A. Korjenic, 2024.

mussten. Da die Statik eine intensive Begrünung nicht zuließ, haben wir nach Entfernen des Kieles eine einfache Begrünung aus krautigen Pflanzen gewählt, die mit ihren Trieben, Blüten und Blattfarben die Jahreszeiten abbilden. Dies wird besonders von älteren Personen geschätzt, die ihre Zimmer selten verlassen können bzw. kaum noch ins Freie kommen.

Synergieeffekte von Dachbegrünungen und Photovoltaikanlagen

In Zusammenarbeit mit der Firma ASFINAG hatten wir die Möglichkeit, eine von zwei Photovoltaikflächen auf dem Kiesdach eines Firmengebäudes zu begrünen (noch unveröff.). Dazu wurden die Photovoltaikplatten etwas aufgeständert. Untersucht wurden das Mikroklima und eine potenzielle Ertragssteigerung der PV-Anlage sowie die Biodiversitätsentwicklung der Dachbegrünung hinsichtlich ihrer floristischen und faunistischen Vielfalt.

Nach der Begrünung wurden etliche Insekten- und Spinnenarten auf dem Dach gefunden, die nur auf dem begrünten Teil des Dachs vorkamen. Auch wurden Haubenlerchen (Rote Liste Deutschland und Österreich) und brütende Bachstelzen nachgewiesen (Projektzwischenpräsentation Prof. Michael Stocker, Wien). Durch die Dachbegrünung wurde die Lufttemperatur unter den PV-Modulen bis zu 8°C reduziert, bei der Oberflächentemperatur ergab sich im Vergleich zur Referenzfläche ein Unterschied von bis zu

6,5°C. Der spezifische Energieertrag stieg im ersten Jahr nach der Begrünung durch diesen Kühleffekt um ca. 0,4% (Abb. 11; TU Wien, noch unveröff.).

Danksagung

Ein herzlicher Dank gilt den Fördergebern, deren Mittel maßgeblich zu einer erfolgreichen Projektdurchführung beigetragen haben. Die Projekte »Gesamtenergetische Optimierung von Stadtgebieten – Greening Aspang Wien« (FFG Projektnummer 855537), »GRÜNEZukunftSCHULEN« (FFG Projektnummer 858856), welche im Rahmen des Programms »Smart Cities« veröffentlicht wurden, und »GREEN: Cool & Care« (FFG Projektnummer 878155) wurden aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert. »GREEN: Cool & Care« wurde zusätzlich von der niederösterreichischen Landesregierung unterstützt. Das Projekt »Synergieeffekte von Dachbegrünungen und Photovoltaikanlagen« wird von der ASFINAG finanziert. Das Projekt »GrünPlusSchule« (FFG Projektnummer 850124) wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert und im Rahmen des Programms »Stadt der Zukunft« veröffentlicht und zusätzlich von der Bundesimmobiliengesellschaft m.b.H. gefördert. Das Projekt »Urban Summer Comfort« (USC) wurde aus Mitteln der ZIT – Die Technologieagentur der Stadt Wien GmbH gefördert.

Literatur

- Al-Kayiem, H. H., K. Koh, T. W. B. Riyadi & M. Etfendy. 2020. A comparative review on greenery ecosystems and their impacts on sustainability of building environment. – Sustainability, 12: 8529. DOI: [10.3390/su12208529](https://doi.org/10.3390/su12208529)
- Frank, W. 1975. Raumklima und Thermische Behaglichkeit. Literatúrauswertung. – Berichte aus der Bauforschung, Bd. 104. Ernst & Sohn, Berlin, München, 36 S.
- Hollands, J., D. Tudiwer, A. Korjenic & B. Bretschneider. 2018. Greening Aspang – Messtechnische Untersuchungen zur ganzheitlichen Betrachtung mikroklimatischer Wechselwirkungen in einem Straßenzug einer urbanen Hitzeinsel. – Bauphysik, 40: 105–119. DOI: [10.1002/bapi.201810014](https://doi.org/10.1002/bapi.201810014)
- Korjenic, A. 2020. GRÜNEzukunftSCHULEN. Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus Planungsprozess und Bestandsgebäude. – Klima- und Energiefonds, Wien (Hrsg.): Blue Globe Report, SmartCities, 3/2020, 143 S. <https://projektdatenbank.net/final-report/5480/> [abgerufen 24.05.2024]
- Korjenic, A., D. Tudiwer, M. S. Penaranda Moren, J. Hollands, T. Salonen, M. Mitterböck, U. Pitha, I. Zluwa, R. Stangl, J. Kräffner, K. Gump & G. Becker. 2019. Hocheffiziente Fassaden- und Dachbegrünung mit Photovoltaik-Kombination. Optimale Lösung für die Energieeffizienz in gesamtökologischer Betrachtung. – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien (Hrsg.), Berichte aus der Umweltforschung, 27/2019, 135 S. https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe_2019-27-gruenplusschule.pdf [abgerufen 24.05.2024]
- Medl, A., R. Stang & F. Florineth. 2017. Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement. – Building and Environment, 125: 227–239. DOI: [10.1016/j.buildenv.2017.08.054](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.054)
- Pichlhöfer, A., A. Korjenic, A. Sulejmanovski & E. Streit. 2023. Influence of facade greening with ivy on thermal performance of masonry walls. – Sustainability, 15: 9546. DOI: [10.3390/su15129546](https://doi.org/10.3390/su15129546)
- Salonen, T., J. Hollands, E. Sesto & A. Korjenic. 2022. Thermal effects of vertical greening in summer: An investigation on evapotranspiration and shading of facade greening in Vienna. – Buildings, 12: 1705. DOI: [10.3390/buildings12101705](https://doi.org/10.3390/buildings12101705)
- Tudiwer, D. & A. Korjenic. 2017. The effect of living wall systems on the thermal resistance of the facade. – Energy and Buildings, 135: 10–19. DOI: [10.1016/j.enbuild.2016.11.023](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.023)
- Tudiwer, D., V. Höckner & A. Korjenic. 2018. Greening Aspang – Hygrothermische Gebäudesimulation zur Bestandsanalyse und Bewertung unterschiedlicher Szenarien bezogen auf das Innenraumklima. – Bauphysik, 40: 120–130. DOI: [10.1002/bapi.201810015](https://doi.org/10.1002/bapi.201810015)
- UrbanTransForm Research Consulting e.U. 2018. Greening Aspang. Entwicklung eines Verfahrens zur gesamtenergetischen Optimierung von Stadtgebieten am Beispiel der Aspangstraße. – Klima- und Energiefonds, Wien (Hrsg.), Blue Globe Report, SmartCities, 8/2018, 150 S. https://smart-cities.at/wp-content/uploads/sites/3/BGR8_2018_KR15SC7F13040_Greening-Aspang-1.pdf [abgerufen 24.05.2024]

Diskussion

N.N.: Gibt es in Wien eine Freiflächengestaltungssatzung, die Vorgaben zur Begrünung von Gebäuden macht? Welche rechtliche Grundlage haben Sie für die Begrünung der Außenfassaden?

A. Korjenic: Bei der letzten Überarbeitung der Bauordnung in Wien wurde festgelegt, dass alle Neubauten mindestens 20 Prozent der Fassade begrünen müssen, wahlweise z.B. als Seitenflächen-, Balkon-, Fassadenbegrünung usw. Für Sanierungen gilt dies nicht, da es sich viele Eigentümer nicht leisten könnten. Aber auch da wird vor der Erteilung einer Genehmigung geprüft, ob eine Begrünung möglich ist.⁶

N.N.: Gilt diese Satzung für alle Neubauten, unabhängig ob es sich um einen Bebauungsplan handelt oder um ein Einzelbauvorhaben?

A. Korjenic: Ja, das hat die Stadt Wien so beschlossen. Die Begrünung ist sowohl im Wohngebiet als auch im Industriegebiet vorgeschrieben bei Gebäuden ab 7,1 bis 21 Meter Höhe.

C. Bräm: Für die bodengebundene Fassadenbegrünung haben Sie am Beispiel Efeu auch die Problematik gezeigt, dass sich die Selbstklimmer an der Fassade festkrallen. Empfehlen Sie auch Pflanzen, die Kletterhilfen brauchen und die die Fassaden nicht beschädigen?

A. Korjenic: In Wien wird sogar vorwiegend mit anderen Pflanzen gearbeitet. Efeu sollte man nur verwenden, wenn der Putz intakt ist, keine Risse hat usw. In dem Beispiel, das ich vorgestellt hatte, wollten wir gezielt wissen, wie sich ein sehr dichter Bewuchs als Dämmschicht auf die Wärmeverluste durch die Wand auswirkt. Inzwischen wächst der heruntergebrochene Efeu wieder nach.

A. Zehm: Wenn wir Efeu als Begrünung vorschlagen, bekommen wir auch oft zu hören, dass er die Fassaden beschädigt. Das ist schade, da Efeu zum Herbst hin eine perfekte Nahrungsquelle z.B. für Insekten darstellt. Gibt es heimische Pflanzen als Alternativen, die man stattdessen zur Fassadenbegrünung verwenden kann? Das meiste, was man sonst verwendet, ist nicht heimisch. Wilder Wein zum Beispiel ist eine invasive Kletterpflanze, die im Naturschutz Probleme bereiten kann.

A. Korjenic: In unseren Projekten sind immer Kolleginnen und Kollegen aus der BOKU als Vegetationstechniker eingebunden. Wir verwenden in unseren Projekten eine Mischung aus verschiedenen Pflanzen, u.a. Kletterrosen und Pfeifenwinde, aber welche davon heimisch sind und welche nicht, kann ich Ihnen als Bauingenieurin nicht sagen. In den Berichten und Publikationen zu unseren Projekten sind die Pflanzen aber gelistet. Wilder Wein wird in Wien wegen seiner schönen Herbstfärbung tatsächlich noch mehr als Efeu verwendet.

S. Pauleit: In welchem Abstand von der Fassade haben Sie in den Innenhöfen die Temperaturmessungen durchgeführt?

A. Korjenic: In ca. 40 cm Abstand. Das entspricht der Luft, die beim Lüften in die Zimmer eindringt.

G. Churkina: Wie aufwändig ist es, so schöne Wandbegrünungen, wie Sie sie in Schulen und Pflegeheimen gezeigt haben, am Leben zu halten? Vermutlich braucht man neben Wasser auch Dünger und Pestizide und man muss kontrollieren, dass die Wand bzw. die Fassade nicht beschädigt wird.

A. Korjenic: Innenraumsysteme kann man direkt an der Wand montieren, sie sind aber nach hinten mit einer Aluminiumplatte abgeschlossen, so dass die Wand nicht feucht wird. Es handelt sich um Tröge oder um Mattensysteme. In den Innenräumen wird die Wasserzufuhr über Zeitschaltuhren an die Wasserleitung angeschlossen und läuft automatisch, meist wird dreimal in der Woche

6 Stadt Wien, Verkehr & Stadtentwicklung, Strategien: Planungsgrundlagen zur Bebauungsbestimmung »Begrünung der Fassaden«, <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/strategien/pdf/planungsgrundlagen-bebauungsbestimmung-fassadenbegrueung.pdf> [abgerufen 14.06.2024].

für jeweils eine Minute bewässert. Einmal im Jahr muss Dünger zugegeben werden und die Wand muss gepflegt werden. Pflanzen, die absterben, müssen zum Beispiel durch neue ersetzt werden. In den Schulen übernehmen die Schülerinnen und Schüler und auch die Lehrkräfte die Pflege. An der Außenfassade ist die Pflege aufwändiger und muss etwa ein- bis zweimal im Jahr über externe Firmen geleistet werden. Bei einer großen Fassadenfläche wie bei dem MA-48-Haus dauert dies zwei Tage. Dabei werden abgestorbene Pflanzen durch neue ersetzt, es wird gedüngt, die Bewässerung wird überprüft usw. Ohne diese Pflegekosten ist eine solche grüne Fassade nicht möglich. Daher geht die Begrünung oft in Richtung bodengebundener Kletterpflanzen, die nur anfangs am Boden etwas Pflege brauchen, bis die Wurzeln ausreichend entwickelt sind. Im oberen Bereich müssen sie zwar auch ab und zu gepflegt werden, aber längst nicht so aufwändig wie bei einem fassadengebundenen System.

M. Zelger: Ich sehe einen hohen zusätzlichen Wasserverbrauch bei vielen der heute vorgeschlagenen Maßnahmen. Die Fassadenbegrünung zum Beispiel verbraucht Wasser auch an Stellen, wo es nicht unmittelbar hinregnet. Städte benötigen jetzt schon große Einzugsgebiete für ihren Wasserhaushalt. Eigentlich bräuchten wir daher in den Städten auch eine Planung dahingehend, dass einigermaßen sauberes Flusswasser direkt für die Pflanzenbewässerung verwendet werden kann. Welche zusätzlichen Wassermengen sind für die Begrünung, wie sie heute in den Vorträgen vorgestellt worden ist, notwendig? Gibt es dazu Konzepte?

A. Korjenic: Derzeit laufen einige Projekte in Wien, in denen man Grauwasser für die Pflanzen verwendet. Auch in allen Bereichen, wo neue Stadtteile geplant sind, setzt man die Konzepte der Schwammstadt um, um Wasser nicht über die Kanalisation abzuführen, sondern unter anderem für die Begrünung in der Stadt zu verwenden. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es wurde auch versucht, Regenwasser in Zisternen zu sammeln, was sich aber vor allem aufgrund der nötigen Filtrierung und zusätzlichen technischen Einrichtungen (Tank, Pumpe, zusätzliche Leitungsführungen, Filteranlagen etc.) als sehr kostspielig und für einzelne Gebäude nicht wirtschaftlich herausgestellt hat.

M. Zelger: Bei Tiefbauprojekten, bei denen ohnehin ein Bagger und genug Flächen vorhanden sind, kann man durchaus an Zisternen denken, auch in Altbaubereichen. Das betrifft auch den U-Bahn-Bau, wo man durchaus noch einiges in der Richtung machen könnte und müsste. Derzeit landet eine sehr große Menge an Regenwasser in der Kanalisation. Ich denke, es ist dringend nötig, dass das Wasser, das zum Beispiel von Dachflächen abfließt, unmittelbar für die Vegetation genutzt wird.

A. Korjenic: Bei unseren Dachbegrünungen verwenden wir Materialien, die sehr viel Wasser speichern, so dass fast nichts mehr abfließt. Zusätzlich zu den wie Eierkartons geformten Drainagen, die Wasser zurückhalten, mischt man zum Beispiel Perlite in Substrate, um das Wasser auf dem Dach zu halten, damit es den Pflanzen weiter zur Verfügung steht. Wasser ist tatsächlich ein wichtiges Schwerpunktthema unserer Arbeiten.

M. Zelger: Wie verhält es sich mit dem Wasser aus den Regenrinnen von nicht begrünten Dächern? Auch das sollte mehr gesammelt werden.

S. Pauleit: Wichtig ist auch, dass man speicherfähigen Boden zur Verfügung stellt. Hier gibt es gute Konzepte für blau-grüne Straßen, um das von befestigten Flächen abfließende Wasser zurückzuhalten, damit es der Vegetation zur Verfügung steht. Meine Empfehlung wäre, so wenig an aufwändigen technischen Lösungen wie möglich zu verwenden. Der Bau von Zisternen benötigt viel Beton, der für die CO₂-Bilanz sehr ungünstig ist.

S. Böse-O'Reilly: Als Kinder- und Jugendarzt haben mich Ihre Schulprojekte sehr gefreut. Wie schaffen Sie es, dass aus einem Projekt eine Verstetigung wird? Meine zweite Frage ist: Wir haben in München auch im Pädiatriebereich einige Klinikneubauten, die in Planung oder schon gebaut sind. Die Klinik wird aus Steuergeldern und entsprechend des heutigen Baustandards gebaut, also auch nur für derzeit bestehende Temperaturen ausgelegt. Aber dann wird die Klinik aus Krankenkassenmitteln betrieben und in 30 bis 40 Jahren wird es so warm sein, dass die Räume eben nicht suffizient gekühlt werden können. Das Problem ist, dass die geltende

Bauordnung es nicht hergibt, dass bei einem öffentlichen Bauträger anders gebaut wird. Wie können Ihre Vorschläge Eingang in das Bundesrecht, die Bauordnungen der Länder bzw. die kommunale Planung finden? Das betrifft auch den Vortrag von Herrn Pauleit.⁷

S. Pauleit: Ich bin kein Umwelt- oder Planungsrechtler, würde aber sagen, es ist ein ständiger Diskurs. Es gibt immer wieder Reformen des Baugesetzbuchs, das bei uns zunächst ausschlaggebend ist. Da wurden bereits Fortschritte erzielt, zum Beispiel sind Klimawandelanpassung und Klimaschutz heute Belange im Planungsrecht, die zwingend mit anderen Belangen abzuwägen sind. Es gibt weitere Diskussionen, ob man zum Beispiel einen Grünflächenfaktor einführen soll und Ähnliches mehr. Daneben gibt es Ausschüsse, die zu Regelwerken wie VDI-Richtlinien, DIN-Normen usw. arbeiten und die technischen Standards setzen. Die Stellplatzverordnung, die ich in meinem Vortrag angesprochen habe, ist dagegen Ländersache. Es gibt sehr viele Stellschrauben, an denen permanent gearbeitet werden muss. Da müssen wir unsere Stimme heben und auf Dinge hinweisen, die nicht mehr zeitgemäß und daher zu ändern sind. Dann beginnt ein mühseliger Prozess, und so ist es bei

Ihren Belangen sicher auch. Aber es geht nicht anders in unserer Demokratie. Frau Bräm kann sicher bestätigen, dass es auf kommunaler Ebene auch nur Schritt für Schritt geht.

A. Korjenic: Wir versuchen, von Seiten der Wissenschaft auf dringend nötige Änderungen hinzuweisen. Aber oft wehren sich die Beteiligten selbst. In dem Projekt zum Beispiel, in dem wir den Straßenzug messtechnisch untersucht haben, um ihn zu verändern, gab es zunächst eine große Zustimmung unter den Bewohnerinnen und Bewohnern: Alle wollten eine höhere Lebensqualität und mehr Grün. Aber als wir gesagt haben, der Straßenraum wird verkleinert und Parkplätze fallen weg, war es mit der Zustimmung vorbei. In den damals neu gebauten Passivhäusern waren aber Garagen gebaut worden, die zur Hälfte leer standen, weil sie ziemlich teuer waren. Die Stadtverwaltung hat daraufhin angeboten, dass alle Bewohner der Straße in diesen Garagen günstige Parkplätze erhalten und den restlichen Betrag die Stadt Wien übernimmt. Das war die Lösung, der am Ende alle zustimmen konnten: Die Autos hatten weiterhin Platz und wir durften die Straße nach unseren Plänen umgestalten.

⁷ Stadt Wien, Verkehr & Stadtentwicklung, Strategien: Planungsgrundlagen zur Bebauungsbestimmung »Begrünung der Fassaden«, <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/strategien/pdf/planungsgrundlagen-bebauungsbestimmung-fassadenbegrueunung.pdf> [abgerufen 14.06.2024].