

GLASGrün: Regulierung von Klima, Energiebedarf und Wohlbefinden in Glasverbauten durch bautechnisch integriertes, vertikales Grün

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 60a/2025

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Rosemarie Stangl, Anna Briefer, Maximilian Poiss, Thomas Wultsch, Bernhard Scharf,
Ulrike Pitha, Barbara Smetschka, Juliane Wang, Willi Haas, André Sebastian Baumgart,
Rudolf Bintinger, Bernhard Lipp, Gerhard Huber, Susanna Wagner, Katharina Mauss,
Susanne Formanek, Martin Auer, Leo Obkircher, Jerome Posch (BOKU WIEN, Institut für
Ingenieurbiologie und Landschaftsbau)

Wien, 2025. Stand: August 2025

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Zitierweise

Stangl R., Briefer A., Poiss M., Wultsch T., Scharf B., Pitha U., Smetschka B., Wang J., Haas W., Bintinger R., Baumgart A.S., Bintinger, R., Lipp B., Huber G., Wagner S., Mauss K, Formanek S., Auer M., Obkircher L., Posch J. (2025): GLASGrün Regulierung von Klima, Energiebedarf und Wohlbefinden in GLASverbauten durch bautechnisch integriertes, vertikales GRÜN. GLASGrün Projektbericht im Rahmen von Stadt der Zukunft. Berichte aus Energie und Umweltforschung 60a/2025.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung.....	13
2 Abstract	16
3 Ausgangslage	18
3.1 Problemstellung und Bedarf für das Vorhaben.....	18
3.2 Glasgebäude im Gewerbebau	19
3.3 Grüne Stadtquartiere.....	20
3.4 Grüne Vorverschattung an Glasfassaden und ungelöste Fragen	21
3.5 Projektziele	22
3.6 Innovationsgehalt	24
4 Der GLASGrün-Ansatz und die Projekthalte	26
5 Identifikation der Standorte und räumlich-strukturelle Analyse	28
5.1 Auswahl Demo-Objekt Standort SÖLL TIROL.....	28
5.2 Auswahl Demo-Objekt Standort KREUZGASSE WIEN	30
6 Prüfung der Rahmenbedingungen.....	31
6.1 Prüfung der Rahmenbedingungen Demo-Objekt SÖLL TIROL.....	31
6.1.1 Rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen	31
6.1.2 Topographische und bauliche Gegebenheiten	31
6.1.3 Sonnenstandsanalyse.....	31
6.2 Prüfung der Rahmenbedingungen Demo-Objekt KREUZGASSE WIEN	32
6.2.1 Rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen	32
6.2.2 Topographische und bauliche Gegebenheiten	33
6.2.3 Sonnenstandsanalyse.....	33
6.2.4 Berücksichtigung von Stadtgestaltung und Denkmalschutz.....	34
6.2.5 Berücksichtigung der Eigentumsverhältnisse	34
6.2.6 Berücksichtigung der Verkehrsverhältnisse und Oberleitungen	34
6.2.7 Baurechtliche Umsetzung	35
6.2.8 Bauordnungsnovelle	35
6.2.9 Brandschutz.....	35
7 GLASGrün-Variantenentwicklung.....	37
7.1 Variantenentwurf Demo-Standort SÖLL TIROL.....	37
7.2 Variantenentwurf Demo-Standort KREUZGASSE WIEN.....	38
8 Umsetzung der Demo-Objekte.....	41

8.1 Demo-Objekt SÖLL TIROL.....	41
8.2 Demo-Objekt KREUZGASSE WIEN.....	43
9 Methodisches Vorgehen und Monitoringkonzept zur mikroklimatischen Performanz	45
9.1 Monitoringkonzept Innenraum	45
9.1.1 Datenerfassung	45
9.1.2 Raumlufttemperatur /-feuchtigkeit.....	46
9.1.3 Stromverbrauch	47
9.2 Simulation thermische Behaglichkeit und solare Einträge.....	47
9.3 Monitoringkonzept Außenraum	50
9.3.1 Monitoring der mikroklimatischen Performanz (stationär)	51
9.3.2 Datenerhebung	53
9.3.3 Mess- und Monitoringkampagnen zur pflanzenphysiologischen Performanz.	56
9.3.4 Deckungsgrad Zielfläche und projektiver Deckungsgrad.....	58
9.3.5 Kubisches Pflanzenvolumen (V_{kub})	60
9.3.6 Wand-Blattflächenindex (WLAI)	60
9.3.7 Stomatäre Leitfähigkeit (g_s)	62
9.3.8 Grünverschattungsfaktor (F_{bs})	64
9.3.9 Statistische Auswertungen (Spearman-Rho-Korrelation).....	66
10 Methodisches Vorgehen zur Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie	67
10.1 Literaturrecherche	67
10.2 Befragungen bei den Demo-Objekten.....	68
10.2.1 Befragung in 2 Phasen.....	68
10.2.2 Befragungen beim Demo-Objekt SÖLL TIROL	70
10.2.3 Befragungen beim Demo-Objekt KREUZGASSE WIEN	70
11 Methodisches Vorgehen zur Kosten-Nutzen-Einschätzung.....	71
11.1 Literaturrecherche	71
11.2 Festlegung des Betrachtungszeitraums.....	73
11.3 Diskontierung.....	73
12 Ergebnisse	75
12.1 Umsetzung der GLASGrün-Systeme	75
12.1.1 Demo-Objekt SÖLL TIROL	75
12.1.2 Demo-Objekt KREUZGASSE WIEN	78
12.2 Ergebnisse aus dem Monitoring im Innenraum	81
12.2.1 Ergebnisse SÖLL TIROL	81
12.2.2 Ergebnisse KREUZGASSE WIEN	93

12.3 Ergebnisse aus dem Monitoring im Außenraum Vegetationsperioden 2023 und 2024	101
12.3.1 Ergebnisse SÖLL TIROL	101
12.3.2 Ergebnisse KREUZGASSE WIEN	132
12.4 Ergebnisse aus der Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie zur Bevölkerungssensibilisierung.....	145
12.4.1 Vor- und Nachteile von Fassadenbegrünung.....	145
12.4.2 Umfrage vor Start der Begrünungsmaßnahme	146
12.4.3 Umfrage nach Installation der Begrünungsmaßnahme.....	146
12.4.4 Klima- und Umweltschutz	148
12.4.5 Zustimmung / Ablehnung zu Aussagen aus Literatur	151
12.4.6 Wahrnehmung zu Belastungen: Insekten und Vögel	152
12.4.7 Wahrnehmung zu Nutzen, Ästhetik und Wohlbefinden	153
12.4.8 Zusammenfassende Analyse der Umfrageergebnisse.....	155
12.5 Ergebnisse zur Kosten-Nutzen-Einschätzung	157
12.5.1 Kosten.....	157
12.5.2 Nutzen	161
13 Schlussfolgerungen – Synthese	166
13.1 Umsetzung der Demo-Objekte	166
13.2 Wirkungen auf den Innenraum	167
13.2.1 Innenraum und thermische Behaglichkeit.....	167
13.2.2 Reduktion solarer Einträge	168
13.3 Wirkungen auf den Außenraum	169
13.3.1 Transmission, Strahlungsreduktion und Beschattungswirkung	169
13.3.2 Temperaturentwicklung Außenraum	173
13.3.3 Vegetationsentwicklung und Eignung der getesteten GLASGrün-Kletterhilfen	174
13.3.1 Stomatäre Leitfähigkeiten.....	176
13.3.2 Generierung eines Grünverschattungsfaktors F_{bs}	178
13.4 Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie	179
13.4.1 Kernaussagen	179
13.4.2 Arbeitsumfeld, Kommunikation und Prozessbegleitung	180
13.4.3 Bedeutung für den öffentlichen Raum, Lebensqualität und Wohlbefinden.	180
13.5 Kosten-Nutzen-Einschätzung.....	181
13.6 Zielgruppen und Relevanz	182

13.7 Rechtlichen Hürden in Zusammenhang mit den ausgearbeiteten Konzepten bzw. Technologien	183
13.8 Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten.....	183
13.9 Erreichung der Projektziele und Beantwortung der Forschungsfragen.....	184
14 Ausblick und Empfehlungen.....	191
14.1 Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	191
14.1.1 Vegetationstechnik und Mikroklimawirkungen.....	191
14.1.2 Forschung Bauphysik und Innenraumwirkungen	193
14.1.3 Wahrnehmungs- und Akzeptanzforschung	193
14.1.1 Umsetzungs- und Lebenszyklusforschung	193
14.2 Potenzial für Demonstrationsvorhaben	194
14.2.1 Chancen.....	194
14.2.2 Herausforderungen.....	196
14.2.3 Risiken	198
14.2.4 Fazit und Ausblick.....	199
15 Verzeichnisse	203
15.1 Abbildungsverzeichnis	203
15.2 Tabellenverzeichnis	211
15.3 Literaturverzeichnis	214
16 Anhang.....	220
16.1 Data Management Plan (DMP).....	220
16.1.1 Datenerstellung und Dokumentation	220
16.1.2 Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte	222
16.1.3 Datenspeicherung und -erhalt	222
16.1.4 Wiederverwendbarkeit der Daten	222
16.2 Wissenschaftliche Baubegleitung.....	223
16.2.1 Bauprotokoll Demostandort SÖLL TIROL (Briefer 2022).....	223
16.2.1 Bauprotokoll Demostandort KREUZGASSE WIEN (Briefer 2022).....	226
16.3 Ergebnistabellen aus dem Monitoring im Außenraum Vegetationsperioden 2023 und 2024	229
16.3.1 Deckungsgrade SÖLL TIROL.....	229
16.3.1 Deckungsgrade KREUZGASSE WIEN	229
16.3.1 Wand-Blattflächenindex SÖLL TIROL	229
16.3.1 Wand-Blattflächenindex KREUZGASSE WIEN.....	230
16.3.2 Kubisches Pflanzenvolumen SÖLL TIROL.....	230
16.3.3 Kubisches Pflanzenvolumen KREUZGASSE WIEN.....	230

16.3.4 Stomatäre Leitfähigkeit SÖLL TIROL.....	231
16.3.1 Stomatäre Leitfähigkeit KREUZGASSE WIEN	237
16.3.2 Verlauf der Umgebungstemperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit SÖLL TIROL	239
16.3.1 Temperaturverlauf der Umgebungstemperatur KREUZGASSE WIEN.....	240

1 Kurzfassung

Ausgangssituation, Problematik und Motivation

Die moderne Architektur setzt Glas im Gebäudesektor vielfältig ein, insbesondere im Gewerbebau. Großflächige Glasgebäude gelten verbreitet als architektonische Highlights, stellen urbane Räume jedoch vor problematische Herausforderungen. Glas beeinflusst das Mikroklima im Rauminnen als auch in der unmittelbaren Außenumgebung maßgeblich: Eine Konzentration der Strahlungsenergie und hohe Raumtemperaturen belasten den Energiehaushalt und das Wohlbefinden der Nutzer*innen.

Die nachträgliche Begrünung von Glasfassaden und Gebäudeglasflächen stellte aufgrund vielfacher Herausforderungen bisher eine Lücke in der Bauwerksbegrünung dar: Einfache Systeme scheitern an der mangelnden Haftung der pflanzlichen Kletterorgane an Glasflächen. Kletterhilfen für Trogbepflanzungen genauso wie Hängevorrichtungen stellen meist aus statischen Gründen keine Option dar und können, wie fassadengebundene Systeme, nicht nachträglich integriert werden. Abstände zwischen Begrünung und Glasfassaden sind aus Wartungsgründen einzuhalten. Standardanwendungen für die nachträgliche Beschattung von Glasgebäuden zur Reduktion solarer Einträge und den damit verbundenen mikroklimatischen Benefit fehlen.

Ziele und Innovationsgehalt

GLASGrün zielte darauf ab, an Gewerbegebäuden und innerstädtischen Gewerbeflächen mit großflächig verglasten Fassaden Vertikalbegrünungsvarianten zur nachträglichen Außenverschattung durch sommergrüne Pflanzen zu entwickeln, umzusetzen, zu testen und zu monitoren. Dabei sollten die vegetationstechnischen als auch statischen Herausforderungen gelöst und übertragbare Standardvarianten entwickelt werden. Neben der Erfassung von Wirkungen und Leistungsdaten sollten Erkenntnisse zu Akzeptanz und Wahrnehmung zu Lösungsvorschlägen gewonnen werden.

Methodische Vorgehensweise

Zur Vorbereitung der Umsetzung wurden umfangreiche Standortprüfungen und räumlich-strukturelle Analysen inkl. baurechtlicher und statischer Rahmenbedingungen durchgeführt und Variantenkonzepte erarbeitet. Die Umsetzungen erfolgten an 2 Demo-Standorten, für die umfassende Monitoring-Programme im Innen- und im Außenraum vorbereitet wurden: Neben stationären Messungen zur Dauererfassung mikroklimatischer Parameter wurden manuelle Messkampagnen durchgeführt und die Pflanzenentwicklung sowie vegetations-technisch relevante Parameter bis zum 3. Standjahr erhoben. Im Innenraum wurden Sensoraufzeichnungen zur thermischen Aufenthaltsqualität und zum Stromverbrauch durchgeführt, welche durch Simulation solarer Einträge (IDA ICE 5.1) und des thermischen Komforts nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 ergänzt wurden. In Anlehnung an den b-Faktor (mittlerer Durchlassgrad) wurde ein Grünverschattungsfaktor F_{bs} für 4 getestete Kletterpflanzenarten im Jahresverlauf abgeleitet.

Auf Grundlage einer Literaturrecherche und Umfragen unter Mitarbeiter*innen und Passant*innen wurde eine Studie zur Wahrnehmung und Akzeptanz durchgeführt. Die Umfragen erfolgten in 2 Phasen: vor Errichtung zur Erhebung der Wahrnehmung der Problematik und nach Errichtung zu Akzeptanz und Wirkungen.

Eine Kosten-Nutzen-Einschätzung erfolgte auf Basis einer Evaluierung von Bewertungsmodellen aus der Literatur, einer quantitativen Erfassung der Kosten und qualitativen Beschreibung der Nutzen.

Ergebnisse

Es wurden 2 Demo-Objekte bestandsergänzend umgesetzt: An einer MPREIS-Baguette-Filiale in SÖLL | TIROL wurden 176 m² bodengebundene Begrünungen auf Erdgeschoßhöhe mit 2 unterschiedlichen Systemen errichtet und mit 4 Kletterpflanzenarten bepflanzt. In der KREUZGASSE | WIEN wurde an einem als Bürostandort genutzten Gewerbeobjekt geschossübergreifend eine troggebundene Variante (77,5 m²) nach Öffnung des Gehsteigbelags errichtet.

Im 3. Standjahr wurden in SÖLL | TIROL Deckungsgrade der Zielflächen bis > 90% erhoben, wodurch die Transmission eintreffender Solarstrahlung auf 10 % reduziert werden konnte. Für 4 getestete Kletterpflanzenarten konnten Grünverschattungsfaktoren F_{bs} im Jahresverlauf generiert werden. Die solaren Einträge in den Innenraum reduzierten sich um 50 bis 67 % (auf Basis von IDA ICE Simulationen). Dadurch ergab sich eine deutliche Steigerung des thermischen Komforts und eine Reduktion der Anzahl an unzufriedenen Personen (PPD, nach Ole Fanger).

In der KREUZGASSE | WIEN, wo die Umsetzung erst im 2. Projektjahr erfolgte, wurde ein Deckungsgrad der Zielfläche (bis zur Oberkante des 1. Stockes) von 20 % im 2. Standjahr erreicht. Daten zur Transmission und Grünverschattungsfaktoren konnten im Projektzeitraum nicht ausreichend erhoben werden, da die Wuchshöhen die Sensorposition noch nicht erreicht hatten.

Die Akzeptanz von Begrünungsmaßnahmen ist vorhanden. In der Wahrnehmung der Befragten tragen die vertikalen Grünverschattungen zu einem höheren Wohlbefinden u.a. aufgrund der Ästhetik, besserer Luftqualität und angenehmere gefühlte Temperaturen und Raumklima bei. Vorurteile bestehen vorwiegend bezüglich Wartung, Arbeitsaufwand, Insekten und Verschmutzung.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Begrünungs- und Beschattungserfolg auf Erdgeschoßhöhe der GLASGrün-Systeme übertraf die Erwartungshaltung bereits im 2. Standjahr. Die entwickelten und getesteten Varianten sind brauchbare Lösungen zur nachträglichen Grünverschattung von Glasflächen an Bestandsgebäude, welche auch übertragbar sind für Neubauprojekte und andere Standorte. Es liegen neue bauphysikalische und vegetationstechnische Kennwerte zur Begrünung und Beschattungsleistung vor, und die Reduktion solarer Einträge durch Grünstrukturen konnte belegt werden. Sie können als brauchbare Indikatorwerte in Berechnungen und Modelle Berücksichtigung sowie Eingang in den Energieausweis finden

und sind für Planungen relevant. Limitationen ergaben sich an beiden Standorten zur Einschätzung der Einsparung von Kühlkosten, da durch standortspezifische Einflussfaktoren (innere Lasten, Nutzer*innenverhalten, fehlende Referenzräume/-jahre) keine validen Daten erhoben werden konnten.

Aus den GLASGrün-Erkenntnissen wurden neben dem hier vorliegenden wissenschaftlichen Bericht ein **GLASGrün-Leitfaden mit Variantenkatalog** sowie ein **GLASGrün-Pflegeleitfaden** erarbeitet und stehen als eigenständige Dokumente zur Verfügung. Sie bieten Varianten zu konstruktiven Lösungen, Checklisten zu Einreichprozessen und Umsetzung der Begrünungen sowie zum Pflege- und Erhaltungsmanagement zur Optimierung der Begrünungserfolge.

2 Abstract

Initial Situation, Problem, and Motivation

Modern architecture extensively uses glass in the building sector, particularly in commercial construction. Large-scale glass buildings are widely regarded as architectural highlights but pose significant challenges for urban spaces. Glass has a considerable impact on both the indoor and the outdoor microclimate: The concentration of radiant energy and high indoor temperatures strain energy efficiency and affect user comfort.

Retrofitting glass façades and building glass surfaces with greenery has so far remained a gap in green building solutions due to various challenges: Simple systems fail due to the inability of self-clinging plants to attach to glass surfaces. Climbing aids for container-based systems, as well as hanging structures, are often not viable for structural reasons and, like façade-bound systems, are not apt for retrofit. For maintenance purposes appropriate distances between vegetation and glass façades must be provided. Standard greenery solutions for retrofit shading of glass buildings to reduce solar gains and to provide microclimatic benefits are lacking.

Objectives and Innovative Aspects

GLASGrün aimed to develop, implement, test, and monitor vertical greening options for the external shading of large, glazed façades in commercial buildings and inner-city commercial areas, using deciduous plants. The project sought to address both vegetation-related and structural challenges, and to develop transferable standard solutions. Insights into acceptance and perception of these solutions were also to be gathered.

Methodological Approach

To prepare for implementation, extensive site assessments and spatial-structural analyses were conducted, including legal and structural framework conditions. Conceptual variants were developed. The implementations took place at two demonstration sites, where comprehensive indoor and outdoor monitoring programmes were set up: In addition to stationary measurements for continuous monitoring of microclimatic parameters, manual measurement campaigns were carried out, and plant growth as well as relevant parameters were recorded up to the third year. Indoor monitoring included sensor recordings of thermal comfort and electricity consumption, complemented by simulations of solar gains (IDA ICE 5.1) and thermal comfort assessments according to ÖNORM EN ISO 7730:2023. Based on the b-factor (mean transmission coefficient), a bioshading coefficient (F_{bs}) was derived for 4 tested climbing plant species over the course of the year.

A perception and acceptance study was conducted, building on a literature review and surveys of employees and passers-by. The study was carried out at both demonstration sites in 2 phases: prior to implementation, to assess the perception of the problem, and after implementation, to evaluate acceptance and impact.

A cost-benefit assessment was conducted based on an evaluation of literature-based assessment models, a quantitative cost analysis and a qualitative description of the benefits.

Results

Two retrofit demonstration projects were implemented: 176 m² of ground-based greenery were installed at ground floor level using two different systems, with four climbing plant species at an MPREIS Baguette store in SÖLL | TIROL. In KREUZGASSE | VIENNA, a planter-based system (77,5 m²) was installed up to the second storey top edge at a commercial office building, requiring the pavement to be opened for integration.

By the third year in SÖLL | TIROL, coverage rates of the target areas exceeded 90 %, reducing the transmission of incoming solar radiation to just 10 %. Bioshading coefficients (F_{bs}) were determined for four tested climbing plant species over the course of the year. Simulations using IDA ICE indicated a 50–67 % reduction in indoor solar gains. As a result, there was a significant increase in comfortable indoor conditions and a reduction in discomfort levels respectively in number of dissatisfied persons (PPD, according to Ole Fanger).

In KREUZGASSE | VIENNA, where the implementation took place later, in the second project year, a coverage rate of 20 % up to the first floor was achieved by the second growth year. However, sufficient data on transmission and the bioshading coefficient could not be collected within the project period, as plant growth had not yet reached sensor height.

The acceptance of greening measures was confirmed in the survey conducted. Respondents perceived vertical green shading as contributing to greater well-being, due to improved aesthetics, better air quality, and more comfortable perceived temperatures and indoor climate. However, concerns mainly related to maintenance, workload, insects, and dirt.

Conclusions and Outlook

The success of the GLASGrün-systems as vertical greenery-based shading measures exceeded expectations as early as the second year at ground-floor level. New data on greening and shading performance are now available, demonstrating the reduction of solar gains through vertical greenery. These findings can serve as useful indicator values in calculations and models and are relevant for planning. However, limitations arose at both sites regarding cooling cost savings, as valid data could not be collected due to site-specific influencing factors (internal loads, user behaviour, lack of reference spaces/years).

Based on the GLASGrün-findings presented in this scientific report, a **GLASGrün-Guide including a Catalogue of Variants** (Berichte aus Energie- und Umweltforschung 60b/2025) and a **GLASGrün-Maintenance and Care Guide** (Berichte aus Energie- und Umweltforschung 60c/2025) were elaborated as stand-alone open access publications. They provide solutions for structural integration, checklists for approval processes and implementation, as well as recommendations for maintenance and upkeep management to optimise the success of green façades.

3 Ausgangslage

3.1 Problemstellung und Bedarf für das Vorhaben

Die aktuellen Stadtbilder sind geprägt von Glasbauten, prominente Beispiele sind die Bahnhof City beim Wiener Hauptbahnhof, das Viertel Zwei, der Erste Campus Wien, der Science Tower Graz, das Regierungsviertel St. Pölten u.v.a. Aber nicht nur im strikt urbanen Kontext ist Glasdesign weiterhin im Vormarsch, auch in vielen mittelgroßen Städten und ländlichen Gemeinden nehmen Glasobjekte und -fronten im öffentlichen, privaten und gewerblichen Gebäudesektor zu.

Die moderne Architektur des 20. und 21. Jahrhunderts nützt Glasflächen und Glasfassaden aufgrund der vielen Vorteile wie Transparenz, Licht und Offenheit als integralen Bestandteil im Design. Trotz umfangreicher Entwicklungserfolge in der Materialtechnik ist die Problematik in stark verglasten Gebäuden seit vielen Jahrzehnten jedoch dieselbe geblieben: ohne intensive Klimatisierung übersteigt die Temperaturentwicklung in den Räumlichkeiten hinter den Glasflächen die Behaglichkeitsgrenzen um ein Vielfaches. Technische Beschattungssysteme (innen oder außen) oder Sonnenschutzfolien sind anzubringen, diese sind wartungsintensiv oder kurzlebig, und die Schutzwirkung bzw.

Behaglichkeitsverbesserung sind endend wollend. Dies stellt insbesondere Arbeitnehmer*innen und Arbeitgeber*innen zunehmend vor große leistungsbezogene, gesundheitliche und letztere vor ökonomische Herausforderungen. Technische Nachrüstungen (Folierung, Beschattungselemente, Kühlgeräte etc.) bringen meist nicht den gewünschten Erfolg, erfordern jedoch Investitionen und erhöhen den Energiebedarf.

Des Weiteren wirken sich Glasfassaden negativ bei Wind- und Lärmverhältnissen aus: Im Fall DC Tower in WIEN entwickeln sich Fallwinde durch die sich stark erwärmenden Luftmengen an der Oberfläche, und die Lärmbelastung ist erheblich. Tageslicht wird reflektiert und kann zu Blendwirkung führen. Zudem spiegeln Glasfassaden die Umgebung und werden von Vögeln nicht als Hindernis wahrgenommen. In Europa sterben ca. 250.000 Vögel täglich durch den Aufprall gegen Glasfassaden (Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln, 2015).

Während in der Bauwerksbegrünungstechnologie in den letzten 5 – 10 Jahren große Erfolge erzielt werden konnten und eine Reihe von neuen Systemen entwickelt werden und wurden, die die flächige Begrünung von Fassaden ermöglichen, stoßen diese in der Umsetzung an Glasflächen an bauliche und statische Grenzen. Lastabtragungen stehen für Rank- und Kletterhilfen meist nicht zur Verfügung, und flächige Vegetationsausbreitung oder opake Living Walls sind aufgrund der Verdunkelung unerwünscht und an Glaspanelen nicht direkt anbringbar. Derzeit gibt es keine marktreifen Systeme oder Technologien zur Begrünung von Glasfassaden und großflächigen Glasfronten, die eine Balance zwischen Lichtdurchlässigkeit und ausreichender Beschattung ermöglichen. Eine standardmäßige Begrünung von Glasflächen wurde bisher nicht angewandt.

**** Hinweis:**

Entgegen der ÖNORM L 1136:2021 04 01, die als Generalbegriff "Rankhilfe" verwendet, werden für die GLASGrün-Varianten Kletter- und Rankhilfen differenziert. Erstere sind stabile und statisch ausreichend geprüfte Kletterkonstruktionen, die insbesondere durch Starkschlinger (z.B. Wisterien, Baumwürger) erschlossen werden sollen. Starkschlinger winden sich um eine robuste Kletterhilfe, die dem zunehmenden Stammdruck durch das starke Dickenwachstum standhalten können muss.

Die GLASGrün-Systeme bestehen aus einer massiver ausgeführten primären Kletterkonstruktion, die vorwiegend der Führung der Hauptstämme der Schlingpflanzen dient. Zur Steuerung der seitlichen Verzweigung wird die Sekundärkonstruktion genutzt: Durch Trieblenkung und An-/Aufbinden soll diese die flächige Ausbreitung und Laubkörperausbildung ermöglichen/erlauben. Bei Verwendung von Spross- und Blattrankern kann die Sekundärkonstruktion als filigranere Rankhilfe - abgestimmt auf die artspezifische Kletterstrategie - ausgeführt sein.

3.2 Glasgebäude im Gewerbebau

Bei Glasgebäuden im Gewerbebau wird im Regelfall klimatisiert, um eine Raumkühlung zu erreichen, im Lebensmittelgewerbe ist die Gewährleistung der Haltbarkeit und die Warenfrische schwierig. Keine direkte Sonne ist bei der Lagerung Voraussetzung, ausreichende Beschattung kann aber nicht immer im erforderlichen Maße umgesetzt werden. Der GLASGrün-Partner MPREIS, ein Familienbetrieb des Lebensmittelhandels, betreibt ca. 250 Märkte in TIROL, SüdTIROL, Salzburg, Kärnten, Vorarlberg und Oberösterreich. Zusätzlich gibt es ca. 170 Baguette Cafe-Bistros, 27 T&G Filialen, 13 Tankstellenshops und 36miniM Geschäfte sowie einen Online-Shop, die ebenfalls von MPREIS betrieben werden. Dabei werden rund 6.100 Mitarbeiter aus rund 60 Nationen beschäftigt. Für MPREIS ist eine hochwertige, ortsbild-angepasste Architektur mit ressourcenschonender und energieeffizienter Bauweise (Passivhausstandard, Photovoltaik etc.) sehr wichtig. Zusätzlich stellt sich MPREIS der Herausforderung, keine große Flächenversiegelung, sondern echte Nahversorgung und gute Flächennutzung durch angepasste Märkte zu forcieren.

Mit der einzigartigen und an den jeweiligen Standort individuell angepassten Architektur seiner Märkte schuf MPREIS nicht nur eine neue Ästhetik im Alltagsleben, sondern setzt auch hohe Standards in punkto Nachhaltigkeit um. Trotz des hohen Stellenwertes einer energieeffizienten Bauweise möchte MPREIS die Einzigartigkeit der einzelnen Filialen und die Einbindung in das Orts- bzw. Situationsbild auf jeden Fall beibehalten. Die Märkte werden bestmöglich an den jeweiligen Standort angepasst und mit der Natur in Einklang gebracht. Filialbauten und erdgeschossige Gewerberäume werden häufig großflächig verglast, um Tageslichteinfall zu erhöhen und die Raumlichtsituation zu verbessern. Sie verfügen in der Regel über keine Außenbeschattungen, um den Blick auf die Verkaufsfläche zu

gewährleisten. Dies führt häufig zur sommerlichen Überhitzung in den Innenräumen, welche einerseits für die Frischhaltung der Gemüse- und Obstware und andererseits für die Arbeitsplatz- als auch Aufenthaltsqualität der Kund*innen problematische Situationen hervorruft. Die Beschattung ist in der Regel direkt hinter den Glasfassaden angeordnet, hier spielt die Behaglichkeitsverbesserung, sowohl die thermische als auch die psychologische durch den Grünanblick, die Hauptrolle.

Die Einsparung von Energie- und Kühlkosten ist ein bedeutendes wirtschaftliches Thema im Gewerbebetrieb. Zur Senkung des Energieverbrauchs werden Anstrengungen zur Optimierung unternommen, die häufig nur zu einer Betriebskostenverschiebung führen. In den MPREIS-Filialen wurde bis vor wenigen Jahren hauptsächlich mit Strom geheizt.

Gerade im Gewerbebau stoßen Abweichungen von bekannten Standardausführungen nach wie vor auf Vorbehalte bzw. eingeschränkte Akzeptanz und Bereitschaft, etwaige Mehrkosten für Umsetzung und Nachsorge bzw. Pflegemanagement in Kauf zu nehmen. Die GLASGrün-Erkenntnisse stellen eine wichtige Grundlage für zukünftige Projekte und Standortausstattungen dar und dienen als Überzeugungsinstrument im Gewerbe- und Immobiliensektor.

3.3 Grüne Stadtquartiere

GLASGrün-Partnerin GRÜNSTATTGRAU, als Kompetenzstelle und Innovationslabor für Bauwerksbegrünung und operative Einheit des Verbands für Bauwerksbegrünung beschäftigt sich zielgerichtet mit Umsetzungen von grünen Stadtquartieren in Österreich. Die enge Zusammenarbeit mit Städten und Gemeinden gewährleistet eine rasche Umsetzung von Begrünung zur Klimawandelanpassung und Impulssetzung für innovative Vorhaben. Mit der Entwicklung des Green Market Reports Austria für die grüne Branche Österreichs wird das stetig wachsende Marktsegment der „Gebäudebegrünung“ in Österreich erfasst. Im Rahmen der Marktforschungsinitiative hat GRÜNSTATTGRAU und der Verband für Bauwerksbegrünung unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Klimaschutz und des Klima- und Energiefonds bereits die zweite umfassende Erhebung innerhalb der österreichischen Begrünungsbranche durchgeführt. Die zweite Ausgabe des Green Market Report Austria (Formanek et al. 2024) beschreibt umfassend die Marktentwicklungen 2019-2022 in der Gebäudebegrünung und gibt einen detaillierten Ein- und Ausblick in dieses wichtige Themenfeld. Die Erfassung von Handlungsbedarf durch GRÜNSTATTGRAU mündet in Empfehlungen, Merkblättern aus den Fachausschüssen, Fachinformationen zu Qualitätssicherungsmaßnahmen und Förderungen wie sie u.a.

in Villach, Wieselburg, Baden oder WIEN erstellt wurden;

- die WIENER Bauordnung novelliert wurde und nun Begrünung von Gebäudefronten im Bebauungsplan vorgesehen sind;

- Ergebnisse von Klein- und Großbrandversuchen an Fassadenbegrünungen, die seitens der Universität für Bodenkultur WIEN und der Stadt WIEN (MA 39) durchgeführt wurden, die Basis der allgemeinen Richtschnur für die brandschutztechnische Einschätzung einer Fassadenbegrünung bilden;
- an Lösungen für die vorherrschenden Herausforderungen der Umsetzungen von Bauwerkbegrünungen an Bestandsgebäuden gearbeitet wird, u.a. durch eine Beschleunigung bei Abwicklungs- und Genehmigungsprozessen, woraus z.B. die BeRTA Grünfassade als All-in-One Lösung entstanden ist.

3.4 Grüne Vorverschattung an Glasfassaden und ungelöste Fragen

Das Thema Begrünung von Glasfassaden war bisher und in all diesen Aktivitäten noch kein Thema. Grundsätzlich ist im Einsatz von Grünstrukturen zur Beschattung und Verbesserung des Mikroklimas und des Raumklimas am Bestand an Gebäuden mit großflächigen Glasfronten ein großes Potenzial zu erwarten, das auch bedeutende Beiträge in der Bekämpfung von urbanen Hitzeinseln annehmen lässt.

Zur sinnvollen und erfolgreichen Außenverschattung von Glasfassaden und Gebäudeglasflächen standen zu Projektbeginn allerdings eine Reihe von ungelösten Fragen im Raum:

1. Welche Systeme und Varianten der aktuell verfügbaren Begrünungstechnologien für Fassaden eignen sich zur Anwendung und Umsetzung an Glasverbauten?
2. Welche bautechnischen Adaptierungen und Lösungen sind anzuwenden, um die Verbindung Glasfassade mit Kletterhilfen, Rankgerüsten, und Pflanzen herzustellen oder zu vermeiden?
3. Welche statischen Möglichkeiten und Beschränkungen bestehen im Hinblick auf die Verankerung von Kletterhilfen und Trögen?
4. Welche Wirkungen können mit begrünten Beschattungsvarianten hinsichtlich der Temperaturregulierung und des Energieverbrauchs im Gebäude erzielt werden?
5. Können messbare Ergebnisse auf die Gebäudedämmung erzielt werden?
6. Kann mit vertikalen Begrünungen die Problematik der sommerlichen Überhitzung von Glasbaukörpern verhindert oder zumindest vermindert werden?
7. Können durch nachträgliche Fassadenbegrünungen Verbesserungen des thermischen Komforts nachgewiesen werden?
8. Welchen Einfluss auf die solaren Gewinne haben die Vertikalbegrünungen im Sommer und im Winter (Reflexion, Absorption, Transmission)?
9. Kann die Verminderung wissenschaftlich soweit erfasst werden, dass sie berechenbar und quantifiziert werden können?
10. Können die als erfolgreich ermittelten Begrünungsvarianten standardmäßig für Umsetzungsprojekte eingesetzt werden?

11. Können die Planungsprozesse reproduzierbar abgebildet werden und auf andere Bauvorhaben übertragen werden?
12. Welche Folgen und Wirkungen hat die Glasfläche auf die Pflanzen?
13. Welches Bewässerungs-, Pflege- und Wartungsmanagement erfordern die Grünelemente vor Glas?
14. Welches Pflege- und Wartungsmanagement ist an den Glasfassaden hinter den Begrünungen erforderlich?
15. Können durch nachträgliche Fassadenbegrünungen Verbesserungen des Wohlbefindens und der Lebens- bzw. Arbeitsqualität erzielt und Mitarbeiter*innen für das Thema motiviert werden?
16. Wie nehmen Arbeitnehmer*innen und Kund*innen den thermischen Komfort und der Lebens- und Arbeitsqualität mit und ohne Begrünung wahr?
17. Welche Kosten-Nutzen-Effektivität ist im Lebensmittelhandel durch nachträgliche Begrünung von Handelsgebäuden erwartbar?
18. Verringern sich der Energieverbrauch und die Ausgaben für Kühlung in Handelsgebäude nach der Installation von begrünten Verschattungen und Ausgaben für Kühlung?

Genau an dieser Problematik setzt das GLASGrün-Konzept an. Die Motivation für das Projekt lag darin, Antworten auf die offenen Fragen zu finden.

3.5 Projektziele

GLASGrün zielte darauf ab, die negativen Auswirkungen von Gebäudeglasflächen auf die Umgebung, das Raum- und Mikroklima, den Energieeintrag und die damit zusammenhängenden Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Nutzer*innen und Arbeitnehmer*innen durch natürliche sommergrüne Beschattung zu minimieren. An Demonstrationsgebäuden des Lebensmittelhandels mit Gastrobereichen und innerstädtischen Gewerbestandorten mit erdgeschossigen großflächigen Glasfassadensituationen von MPREIS und TB Obkircher wurden Varianten zur Vertikalbegrünung erarbeitet, die eine effiziente Außenverschattung von Glasfassaden ermöglichen.

Die Ergebnisse aus GLASGrün sollen in den Passivhaus-Standard und den Nachhaltigkeitsstrategien von MPREIS einfließen. Partner *lichtblauwagner* architekten, *rataplan* und TB Obkircher sehen für Immobilienprojekte im innerstädtischen Neubau u.a. einen weiteren wichtigen Aspekt in der Integration der Begrünungssysteme in die Planung ab der Konzeptphase, sowie die Kreislaufführung im Bewässerungsmanagement (Regenwasser, Grauwasser) und der Entlastung der Energieaufwände für Pumpleistungen für die Bewässerung. Ein weiteres Projektziel bestand u.a. darin, die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf künftige Immobilien- und Bauprojekte sicherzustellen und für

Gewerbesituationen verträgliche und umsetzbare Konzepte sowohl für den Neubau als auch den Retrofit zu generieren.

Das Projekt GLASGrün entwickelte daher Lösungen für den Gebäude- und Fassadenbestand aus Glas zur Ergänzung (Retrofit) und zur Sanierung sowie für den Neubau und erstellte Grundlagen aus den Ergebnissen aus dem mikroklimatischen, bauphysikalischen, energietechnischen und sozialwissenschaftlichen Monitoring zur Integration in Planung und behördenrelevante Prozesse (Abbildung 1).

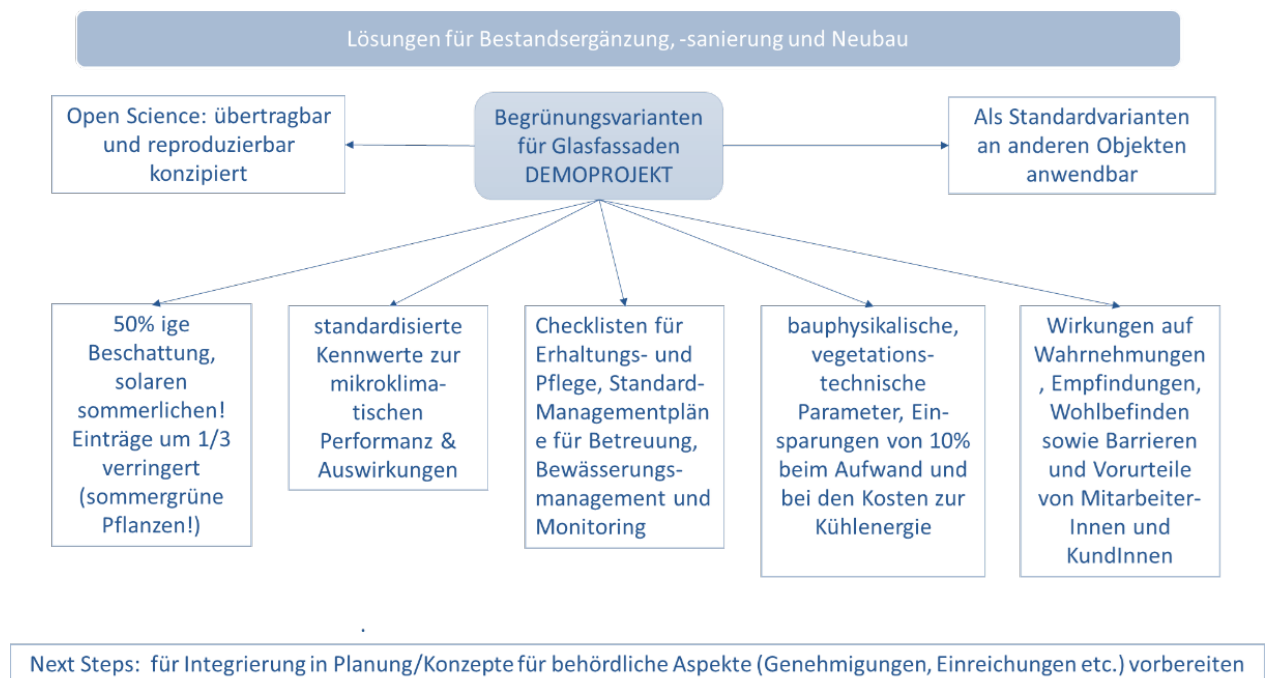


Abbildung 1: GLASGrün-Vision und intendierte Lösungen für Bestandsergänzung, -sanierung und Neubau. ©BOKU-IBLB, 2025.

GLASGrün definierte und verfolgte 11 Projektteilziele:

- Ziel 1: GLASGrün entwickelt für 3 Gebäudetypen mit Glasfassaden vertikale Begrünungsvarianten zur Bestandsergänzung, zur Bestandssanierung und für den Neubau.
- Ziel 2: Die GLASGrün-Varianten sind modular und übertragbar konzipiert und als Standardvarianten an anderen Objekten anwendbar.
- Ziel 3: GLASGrün führt einen Variantentest durch: an 2 Demogebäuden werden auf Basis von Vorentwürfen, einer Kriterienbewertung und eines Variantenchecks bis zu drei Begrünungsvarianten zur sommergrünen Beschattung implementiert.
- Ziel 4: Durch die Umsetzung der Vertikalbegrünungen werden im Projektzeitraum eine 50 %ige Beschattung im Sommer erreicht und dadurch die sommerlichen solaren Einträge im Bereich der Versuchsteilflächen um ein Drittel verringert. Dabei kommt

es zu keinen signifikanten Verlusten an solaren Einträgen im Winter (bzw. Heizperiode).

- Ziel 5: GLASGrün liefert standardisierte Kennwerte zur mikroklimatischen Performanz und energietechnischen Auswirkungen von den vertikalen Grünvarianten (gemäß Vertragsbeilage des Fördergebers (bmvit s.a.) und den Kennwerten von Scientific Board des Innovationslabors GRÜNSTATTGRAU (Stangl et al. 2019) und stellt diese als open data zur Verfügung.
- Ziel 6: Die GLASGrün-Vertikalbegrünungen führen im Projektzeitraum zu Einsparungen von 10 % beim Aufwand und bei den Kosten zur Kühlenergie (bei Hochrechnung der Effekte auf die gesamte geeignete Glasfläche).
- Ziel 7: GLASGrün erarbeitet Kennwerte zum Kühl- und Energiebedarf vor und nach der Intervention und zur relativen Energieeinsparung. Die bauphysikalischen und vegetationstechnischen Parameter und Wechselwirkungen werden so konsolidiert und aufbereitet, dass sie künftig in die Berechnungen der Gebäudetechnik einfließen.
- Ziel 8: GLASGrün identifiziert Wirkungen von vertikalen Begrünungen auf die Wahrnehmungen, Empfindungen, das Wohlbefinden sowie Barrieren und Vorurteile von Mitarbeiter*innen und Kund*innen.
- Ziel 9: GLASGrün formuliert Checklisten für den Erhaltungs- und Pflegeaufwand der getesteten Grünvarianten und entwickelt Standard-Managementpläne für die Betreuung, das Bewässerungsmanagement und das Monitoring von vertikalem Grün vor Glasflächen.
- Ziel 10: GLASGrün stellt sicher, dass die Erkenntnisse und Ergebnisse national und international breit disseminiert werden, der Wissenstransfer branchen- und zielgruppenübergreifend erfolgt, um das Technologie Know-how von Österreich zu demonstrieren (GRÜNSTATTGRAU)
- Ziel 11: GLASGrün zeigt notwendige weitere Schritte für die Integration in Planung und Konzepte für behördliche Aspekte (Genehmigungen, Einreichungen etc.) auf.

3.6 Innovationsgehalt

National und international gab es vor Projektbeginn keine Ansätze, den mikro- und raumklimatischen Problematiken, die durch Glasfassaden und -gebäuden insbesondere im Gewerbe bestehen, durch Begrünungsmaßnahmen und vertikalem Grün zu begegnen. GLASGrün griff erstmalig die bis dahin einzige theoretische Näherung an dieses Thema in der Masterarbeit von Conrads (2018) auf und führte die theoretischen Erkenntnisse daraus sowie die Erfahrungen aus den erfolgreichen Anwendungen in der allgemeinen Bauwerksbegrünung in die Umsetzung an gewerblichen Demogebäuden

(Lebensmittelhandel, Gastrobereich, innerstädtische erdgeschossige Gewerbeflächen). Die Innovationen von GLASGrün umfassen folgende Aspekte:

- + Die Entwicklung von vertikalen Grünsystemlösungen zur nachträglichen Begrünung von Glasfassaden;
- + die Außenverschattung von Gebäudeglasflächen durch vertikale Grünsysteme mit vorwiegend sommergrünen Pflanzen;
- + die Verbesserung von Mikroklima und vom Raumklima hinter Glas durch vertikales Grün;
- + die erstmalige Umsetzung von vertikalem Grün an Gewerbeglasflächen und Gebäuden des Lebensmittelhandels zur Regulierung von Raumklima und Energieverbrauch und zur Lösung von klimawandelinduzierten Herausforderungen;
- + neue quantitative Daten zu Raum- und Mikroklima, solaren Gewinnen und Verlusten (Reflexion, Absorption, Transmission), thermischem Komfort, jahreszeitliche Änderungen, pflanzenspezifische Unterschiede, Eingangsparameter für die Berücksichtigung in Gebäudeenergieberechnungen durch Begrünungslösungen;
- + Wechselwirkungen zwischen Begrünung und Glasflächen;
- + die Übertrag- und Skalierbarkeit auf andere Objekte und Gebäudetypologien durch modulare Konzepte und Standardvarianten;
- + die Reproduzierbarkeit der Planungs- und Umsetzungsprozesse;
- + Bewässerungs- und Pflegemanagementkonzepte und -anleitungen zur Erhaltung der Grünsysteme an Glasfassaden;
- + neue Erkenntnisse zu Folgen und Wirkungen von Glasflächen auf die Pflanzen und ihre Einsetzbarkeit in diesem Zusammenhang;
- + die Ableitung von Kennwerten zur mikroklimatischen und energietechnischen Performanz und von Eingangsgrößen für Bauphysik und Gebäudetechniker;
- + qualitative Daten zur Perzeption- und Akzeptanz zur Umsetzung von Bauwerksbegrünungen zur Grünbeschattung von Mitarbeiter*innen und Kund*innen.

4 Der GLASGrün-Ansatz und die Projektinhalte

Abbildung 2 illustriert den methodischen Ansatz von GLASGrün. Zur Erreichung der Projektziele setzte GLASGrün 2 Demonstrationsvorhaben mit den Partner*innen des Konsortiums um, das zur Auswahl der Demo-Gebäude eine Standort- und räumlich-strukturelle Analyse potenzieller Filialstandorte von MPREIS und potenzieller Objekte von lichtblauwagner architekten zugrunde legte (AP2).

An Demogebäuden zur Bestandsergänzung mit verglasten erdgeschossigen Gewerbebezonen wurden Begrünungskonzepte und -varianten vorbereitet, die boden- und troggebundene Optionen mit vorgelagerten Konstruktionen und auskragenden Verschattungselementen sowie Gerüst- und Hängemodule mit Lastabtragung prüften, welche auch für den Neubau eingesetzt werden können. Die Umsetzung einer Begrünung an einem innerstädtischen Neubau scheiterte bedauerlicherweise an wesentlich verzögerten Behördengenehmigungen des Neubaus, die im Projektzeitrahmen nicht erfolgt sind. Jedoch konnte alternativ durch die Aufnahme des neuen Partners TB Obkircher OG mit einem verglasten Gewerbeobjekt eine weitere Grünverschattung im innerstädtischen Bereich mit stark urbanem Charakter implementiert werden.

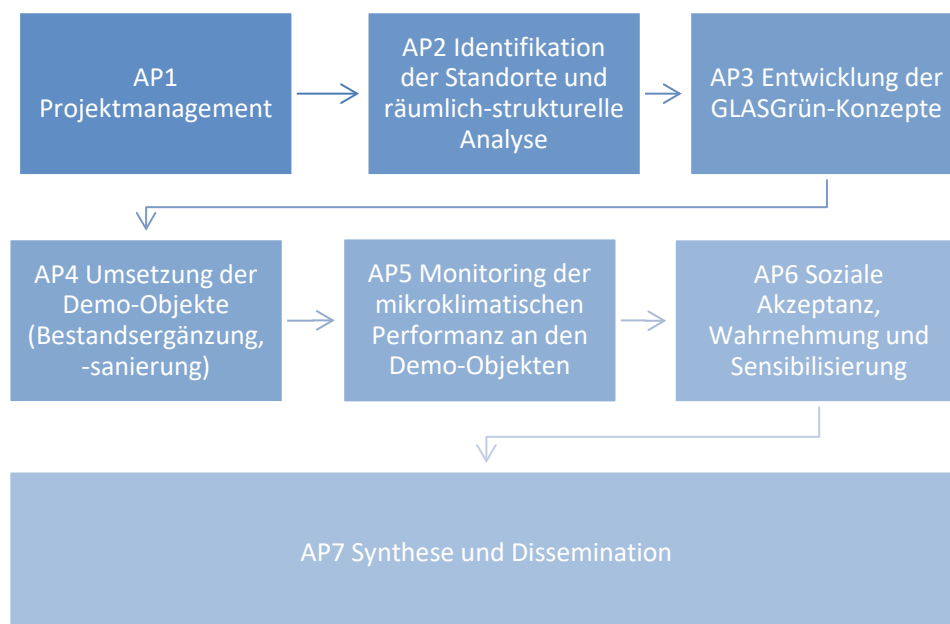


Abbildung 2: GLASGrün-Ansatz und Workflow zur Erreichung der Projektziele. ©BOKU-IBLB, 2025.

Auf Basis einer Kriterien-Bewertung wurden für beide Demo-Standorte Variantenchecks durchgeführt und die Systeme für die Implementierung und das Monitoring ausgewählt

(AP3). Rendering, Einreichplanung und Ausschreibungsvorbereitung ebenso wie die Ausführung und Errichtung wurden im AP4 erfolgreich umgesetzt. An den Demo-Objekten wurde ein Monitoring zur Erfassung von Kennwerten zur mikroklimatischen und energietechnischen Performanz im Innen- und im Außenraum durchgeführt (AP5). Neben der quantitativen Datenerhebung wurden zusätzlich qualitative Daten zu Wahrnehmung und Akzeptanz der Begrünungsmaßnahmen bei Mitarbeiter*innen und Kund*innen vor und nach der Umsetzung gesammelt und für die Bevölkerungssensibilisierung aufbereitet (AP6).

Die Teilarbeiten und Ergebnisse wurden schließlich synthetisiert und mündeten in der Ableitung von übertrag- und multiplizierbaren Begrünungsvarianten, einem Leitfaden zum wirksamen Einsatz von Vertikalbegrünungen bei Gebäuden mit Glasflächen mit Variantenkatalog und einem Pflegeleitfaden. Diese sind in eigenständigen Publikationen in derselben Schriftenreihe *Berichte aus Energie- und Umweltforschung 60b und 60c/2025* des BMK veröffentlicht (Briefer et al. 2025, Poiss et al. 2025a) und unter Nutzung verschiedener interner und externer Kanäle (Website, open-data-Access, Social Media, interne Fachtermine, wissenschaftliche Veranstaltungen und Fachjournale etc.) breit disseminiert. Weiters konnte bereits eine wissenschaftliche Publikation im einschlägigen Fachjournal *Building and Environment* zum Thema Begrünung und Verschattung von Glasfassaden veröffentlicht werden (Poiss et al. 2025b).

5 Identifikation der Standorte und räumlich-strukturelle Analyse

Die Auswahl geeigneter Demo-Standorte für Umsetzungen von vertikalem Grün als Vorverschattung von Glasflächen bzw. -fassaden erforderte die Identifikation von potenziell geeigneten Objekten. Das Projektziel definierte die Umsetzung von 2 Standorten, einerseits an einem Filialstandort des Partners MPREIS in TIROL, andererseits an einem Neubau des Partner lichtblauwagner (nachfolgend *liwa*) mit Gewerbeflächen im Erdgeschoß in WIEN. Nachfolgend werden die Standorte getrennt voneinander behandelt und die jeweilige Vorgehensweise separat dokumentiert.

5.1 Auswahl Demo-Objekt Standort SÖLL | TIROL

Die Vorselektion berücksichtigte MPREIS-Filialen mit Bistro-Standorten, deren Architektur nachweislich Glasfassaden, meist im Eingangsbereich, aufwiesen. Von Partner MPREIS wurde dazu eine Liste mit potenziellen Filialen zur Verfügung gestellt, die sonnenexponierte Fassadenflächen und dem Partner MPREIS bekannte Problematiken durch Überhitzung der Innenräume aufwiesen.

Der Entscheidungsfindungsprozess zur Auswahl für die Umsetzung des Demo-Standortes beinhaltete die Definition von Standortkriterien mit Muss- und Sollkriterien, die im Zuge eines dynamischen Prozesses weiterentwickelt und von den GLASGrün-Partner*innen ergänzt wurden. Die Auswahlkriterien, welche in die Bewertungsmatrix (Tabelle 1) eingeflossen sind, beinhalteten 21 unterschiedliche Themen, welche von der Zugänglichkeit der zu begrünenden Fläche bis hin zur Frequentierung je Filiale reichten. Die Bewertung der potenziellen Standorte erfolgte gemeinsam im Projektteam und basierte auf einem umgelegten Schulnotensystem, wobei 5 hohe Relevanz hat und 1 einer niedrigen Relevanz entspricht. Die Filiale mit der höchsten Punktezahl wurde für die Umsetzung ausgewählt.

Tabelle 1: Bewertungsmatrix für die Standortwahl der GLASGrün Systeme für den Partner MPREIS.

Bewertungsmatrix zur Identifikation der Standorte				
Nr.	Gewichtung	Kriterium	Standort	
			Bewertung	gewichtete Bewertung
1	5	Räumliche Orientierung/ Ausrichtung der verglasten Flächen		
2	5	Verhältnis: besonnte Glasfläche Grundfläche dahinterliegender Raum		

3	5	Verhältnis: zu begrünende / verglaste Fläche
4	5	Länge der Glasfläche
5	5	Zugang Messfläche
6	4	Möglichkeit für bodengebundene Begrünung, technische Details der Begrünung
7	4	Bepflanzung (Pflanzenauswahl)
8	4	Statische Voraussetzungen seitens des Bestandsgebäudes
9	5	Dringlichkeit von Maßnahmen (Begrünung) je nach Höhe der Kühlenergie-Verbrauchswerte, Klimatische Dringlichkeit abhängig von Seehöhe / Exponiertheit
10	5	Klimatische Dringlichkeit
11	2	Verkehrssicherheit, Fluchtwege (Rettung, Feuerwehr), Anlieferung; Einkaufswagerlrückgabe;
12	2	Machbarkeit der Zuleitungen für Strom und Wasser, räumliche Unterbringung der Steuerung und Anschlussmöglichkeit am Potenzialausgleich, Entwässerung der Anlage
13	4	Pflege und Erhaltung der Funktionsfähigkeit (3er-Gewichtung)
14	2	regionaler Einzugsbereich / Kundenanzahl / mediale Wirksamkeit
15	5	Einschätzung Gebäude- und Innenraumausstattungen (z.B. Dachauskragungen, Beschattungsvorrichtungen, innere Lasten, Klimaanlage, Lage Arbeitsplätze)
16	5	Erreichbarkeit für Lokalausgang/ Monitoring/ Messkampagne
17	3	Möglichkeiten zur Befragung von Mitarbeiter*innen und Kundinnen bzw. zur Partizipation
18	3	Nutzbarkeit der Dachentwässerung für die Bewässerung
19	5	Außenreinigung bepflanzter Glasfassaden
20	5	Eingriff in die bestehende Architektur → copyright/ Urheberrecht
21	2	Filiale mit Kühlung (Split/Fußboden)

5.2 Auswahl Demo-Objekt Standort KREUZGASSE | WIEN

Das ursprünglich vorgesehene Neubauobjekt, ein mehrgeschossiger Wohnbau mit Gewerbeflächen im Erdgeschoß mit Glasfassaden in W-Exposition von Partner lichtblauwagner architekten am Standort Diehlgasse, 1050 WIEN konnte nicht weiterverfolgt werden. Nachdem sich die baubehördlichen Genehmigungen für den zu Projektbeginn geplanten Neubau unabhängig von den COVID-Umständen in den Jahren 2020-2022 unabsehbar hinauszögerten und nicht erteilt wurden, zeichnete sich im Herbst 2022 bereits ab, dass sich selbst im Falle einer Genehmigung ein Baubeginn über die Projektlaufzeit hinaus erstrecken würde und damit eine Umsetzung des GLASGrün-Demo-Objekts am Neubau nicht realisierbar war.

Daher wurden mehrere Ersatzstandorte vorgeschlagen, die analog der Kriterienprüfung in Kap. 5.1 und Tabelle 1 besichtigt, begutachtet und bewertet wurden. Alternativstandorte im Eigentum des Partners lichtblauwagner architekten mussten aufgrund unpassender Eignung (z.B. keine großflächigen Verglasungen, keine passende Exposition) ausgeschlossen werden. Ein weiterer alternativer Ersatzstandort in der KREUZGASSE 76, 1180 WIEN wurde geprüft und mit der Nutzerin des Gewerbeobjekts eine Kooperation und Beteiligung im GLASGrün-Projekt vorbereitet. Parallel wurde in Abstimmung mit der Baubehörde die Bebaubarkeit des Gehsteigs geklärt.

Die Vorprüfung der Umsetzbarkeit einer vertikalen Grünstruktur beinhaltete folgende Aspekte:

- Bestimmungen des Flächenwidmungs- und Bebauungsplanes
- Gehsteigbreite
- Straßeneinbauten
- Oberleitungen
- Zustimmung der Eigentümerin

Aus der Vorprüfung ging ein positives Ergebnis hervor, dies war Anlass zur Beantragung der Aufnahme der Nutzerin TB Obkircher OG mit dem Standort KREUZGASSE | WIEN in das Konsortium. Damit war das 2. Demo-Objekt in WIEN an einem innerstädtischen Gewerbebestandort und die Umsetzbarkeit einer weiteren Bestandsergänzung gesichert.

6 Prüfung der Rahmenbedingungen

6.1 Prüfung der Rahmenbedingungen Demo-Objekt SÖLL | TIROL

Das Demo-Objekt ist ein Bestandsgebäude der Tiroler Supermarktkette MPREIS und befindet sich in der Gemeinde SÖLL im Seitental des Inntals, nahe Wörgl. Der Standort liegt auf einer Höhe von 703 Metern über Adria. Das Objekt umfasst ein Bistro und einen Supermarkt und zeichnet sich durch modernes Architekturdesign aus. Es ist eingeschossig und verfügt über separate Räumlichkeiten für Bistro- und Supermarktbereiche. Der Grundriss verjüngt sich nach Süden hin und weist großflächige Glasfronten nach Südosten und Nordwesten auf, mit einer Länge von jeweils etwa 22 m auf der SO-Seite und insgesamt 11 m auf der NW-Seite.

6.1.1 Rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen

Das betroffene Grundstück befindet sich nicht im Eigentum der MPREIS Handels GmbH. Die Zustimmung des Grundstückseigentümers zur Umsetzung der geplanten Maßnahmen lag jedoch vor. Neben den Abstimmungen mit dem Bauamt der Gemeinde waren keine weiteren Genehmigungen erforderlich. Das Vorhaben unterlag einer baurechtlichen Anzeige- und Genehmigungspflicht.

6.1.2 Topographische und bauliche Gegebenheiten

Die MPREIS-Filiale SÖLL liegt am südlichen Ortsrand der Trioler Gemeinde. Im direkten Umfeld existiert lediglich an der Nordseite eine Bebauung, die zum Zeitpunkt der Voruntersuchungen durch eine Neubebauung ersetzt wurde. Die für sommerliche Überhitzung durch Sonneneinstrahlung relevanten Fassadenseiten (Ost-, Süd- und Westseite) sind frei von beeinträchtigender Nachbarbebauung, sodass diese für die geplanten Beschattungslösungen optimal geeignet waren.

Für die geplanten Begrünungsmaßnahmen standen Flächen ohne Bodenversiegelung zur Verfügung, die ausreichend Platz für bodengebundene Begrünungen boten. Die nahezu unverdichteten Bodenverhältnisse ermöglichen die Bildung eines ausreichenden Wurzelraums. Die Wasserversorgung wird über Leitungen aus der zentral gebündelten technischen Infrastruktur gewährleistet, die über das Dach geführt werden. Die Versorgung der Messinstrumente erfolgte dezentral über Akkus.

6.1.3 Sonnenstandsanalyse

Eine Sonnenstandsuntersuchung für den 21. Juni (Sonnenaufgang 5:12 Uhr, Sonnenuntergang 21:13 Uhr) zeigte, dass die SO-Seite ab ca. 10:50 Uhr vollständig beschattet wird, während die Nordwestseite ab ca. 14:15 Uhr nahezu vollständig der

direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist (Abbildung 3). Aufgrund dieser Analyse wurden beide Fassadenseiten für die Implementierung von Beschattungslösungen vorgeschlagen.

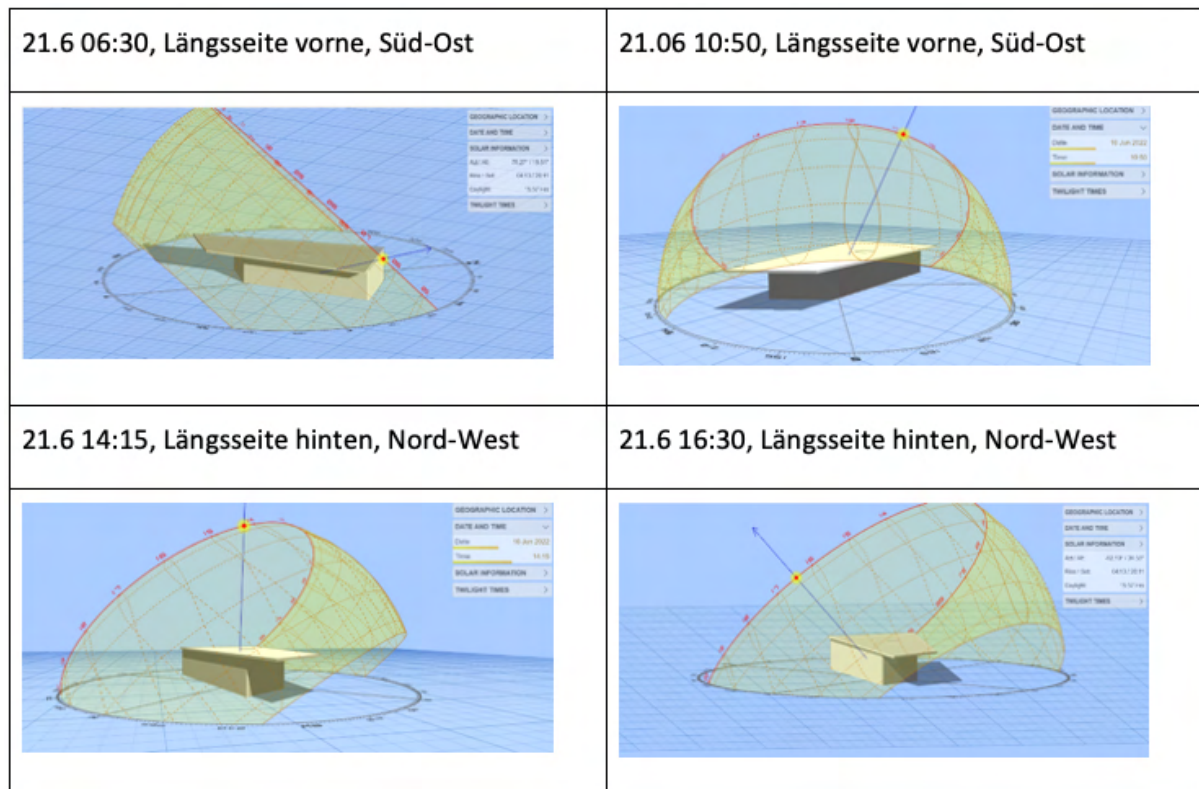


Abbildung 3: Sonnenstandsanalyse Standort SÖLL | TIROL (IBO GmbH, erstellt mit 3D Sun-Path). ©IBO, 2025.

6.2 Prüfung der Rahmenbedingungen Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN

Der zweite Projektstandort befindet sich in der KREUZGASSE 74-76, 1170 WIEN. Das gewerblich genutzte Gebäude ist ein Bürostandort und liegt in einem südwestlich exponierten Bereich, was zu einer hohen Sonneneinstrahlung insbesondere entlang der Kreuzgasse führt. Die für GLASGrün relevante Verglasung erstreckt sich über das Erdgeschoss und den ersten Stock der Büroräumlichkeiten und umfasst eine Fläche von 77,5 m² (9,5 x 8,15m).

6.2.1 Rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen

Eine der Geschäftsflächen am Standort KREUZGASSE | WIEN wird von der der TB Obkircher OG genutzt, einem Unternehmen mit Schwerpunkt auf Beratung und Entwicklung in den Bereichen Gebäudetechnik, erneuerbare Energiesysteme und Bauphysik. Das Gebäude vereint moderne Architektur mit einer funktionalen Nutzungsmischung. Antragstellerin des Bauvorhabens ist die KREUZGASSE | WIEN. Für die Umsetzung der geplanten Maßnahmen war die Zustimmung der Grundeigentümerin, der Zürich Versicherung AG, erforderlich.

6.2.2 Topographische und bauliche Gegebenheiten

Das gesamte Objekt ist ein sechsgeschossiger Bau mit einer Mischnutzung aus Geschäftsflächen und Wohneinheiten. Die unteren drei Geschosse werden vollständig als Geschäftsflächen genutzt und sind vollständig von Glas umgeben, während die oberen drei Geschosse als Wohnflächen ohne Vollverglasung geführt werden. Die klar strukturierten Glaselemente in den unteren Etagen prägen das Erscheinungsbild und erzeugen gleichzeitig eine starke solare Exposition. Die oberen, für den Wohnbau genutzten Geschosse sind dagegen konventioneller ausgeführt und verfügen nicht über großflächige Verglasungen.

6.2.3 Sonnenstandsanalyse

Die südwestliche Ausrichtung des Gebäudes führt zu einer starken Sonneneinstrahlung, insbesondere in den verglasten Geschäftsbereichen auf den unteren drei Etagen. Der Hauptsolareintrag erfolgt dabei über die KREUZGASSE | WIEN, die am stärksten von der direkten Sonneneinstrahlung betroffen ist. Diese Gegebenheiten stellen eine Herausforderung dar, da die Glaselemente eine potenzielle Überhitzung der Innenräume begünstigen bzw. zu einer tatsächlichen Überhitzung führen (Sonnenstandanalyse vom 15.06., Abbildung 4).

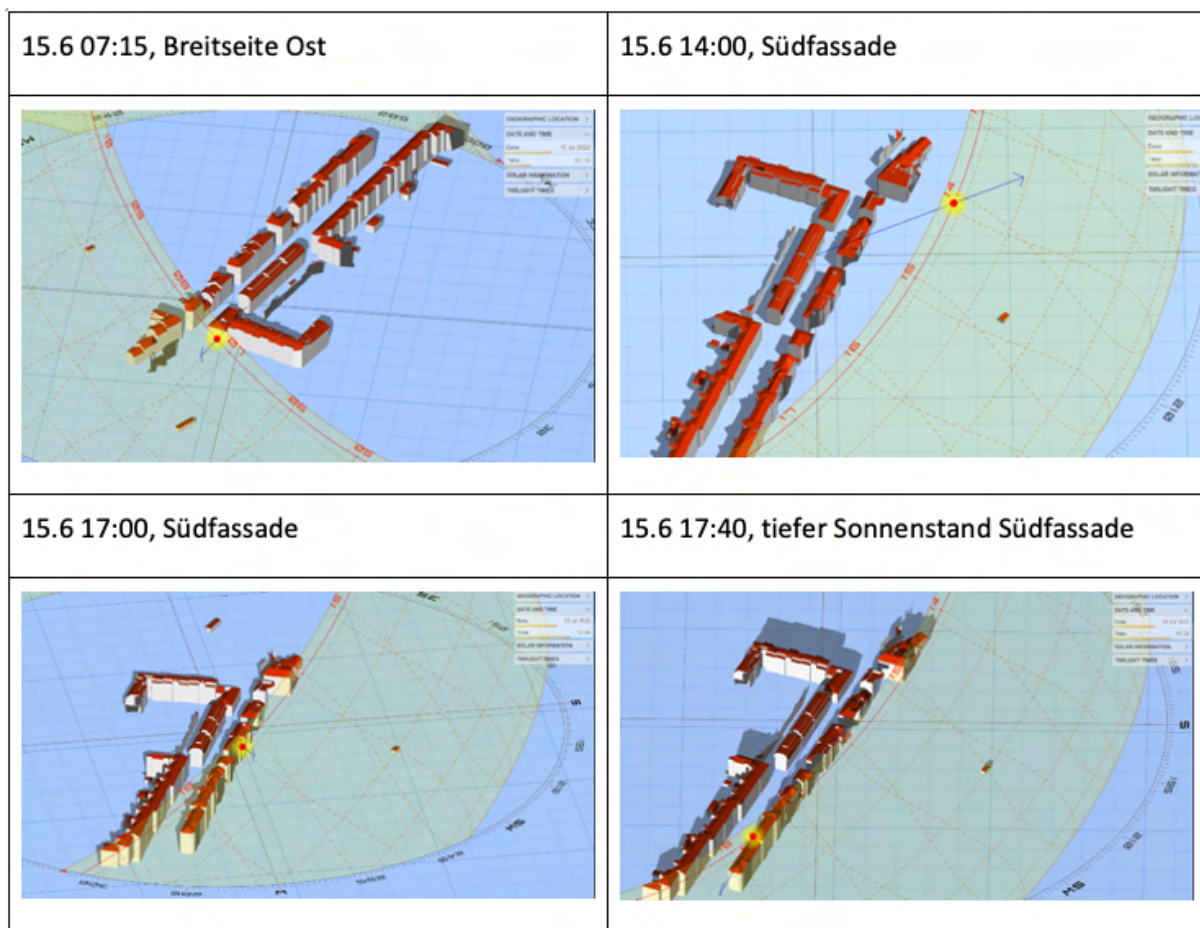


Abbildung 4: Sonnenstandsanalyse Standort KREUZGASSE | WIEN (IBO GmbH, erstellt mit 3D Sun-Path). ©IBO, 2025.

6.2.4 Berücksichtigung von Stadtgestaltung und Denkmalschutz

Die Glasfassade, die verschattet werden sollte, ist Teil eines aus mehreren Baukörpern bestehenden Gebäudekomplexes: Einer unter Denkmalschutz stehenden Remise mit markanten Schauseiten aus Backsteinmauerwerk, die das Zentrum der Anlage bildet, sowie weiteren Baukörpern einer in den späten 1990er Jahren errichteten Wohnhausanlage, welche den historischen Backsteinbau stellenweise umschließt und in den Sockelzonen auch Geschäftslokale beinhaltet. Um den Anblick und die Zugänglichkeit der Remise zu erhalten, ist vom Flächenwidmungs- und Bebauungsplan entlang der KREUZGASSE | WIEN eine Front mit Arkaden und großzügigen öffentlichen Durchgängen vorgesehen. Diesen Anforderungen entsprechend ist die aus den 1990er Jahren stammende Wohnbebauung entlang der KREUZGASSE stellenweise aufgeständert. Die Wohngeschosse befinden sich erst ab einer Höhe von ca. 8,5 m. Getragen werden sie von zweigeschossigen, verglasten Gebäudesockeln, in denen sich die Stiegen und Aufzüge sowie Geschäftslokale (wie jenes des TB Obkircher) befinden sowie von etlichen Stützen, die den Blick auf die Remise freigeben und sie über große Freiflächen fußläufig erreichbar machen.

Hinsichtlich der Gehwegbreiten (zwischen der Glasfassade und den Trögen sowie im Bereich des Gehsteigs) musste weiters den Anforderungen der örtlichen Bezirksvertretung Rechnung getragen werden (Erhalt von mind. 2,5 m Gehsteigbreite vor den Trögen). Die Einsehbarkeit des denkmalgeschützten Bestands und die Durchlässigkeit der Erdgeschosszone für Passant*innen waren schließlich zwei zentrale Aspekte der Stadtgestaltung, die es bei der Konzeption der GLASGrün-Konzepte zu berücksichtigen galt.

6.2.5 Berücksichtigung der Eigentumsverhältnisse

In ihrer Rolle als Mieter hatten die Inhaber des TB Obkircher als Bauwerber die Zustimmung der Grundstückseigentümerin zu erwirken. Diese ermöglichten die Umsetzung. In diesem Zusammenhang sind auch Abstimmungen in Bezug auf Haftungen, Pflegemaßnahmen und Erhalt der Begrünung zu treffen und ggf. vertraglich festzuhalten.

6.2.6 Berücksichtigung der Verkehrsverhältnisse und Oberleitungen

Da die Kletterhilfe auf Eigengrund errichtet wurde, war eine Zustimmung der Stadt Wien als Eigentümerin der öffentlichen Verkehrsfläche nicht erforderlich. Dennoch wurde Rücksprache mit der für Straßenverwaltung und Straßenbau zuständigen MA 28 gehalten, um die Situation allfälliger Leitungseinbauten im Nahebereich der Fundamente und Substratkörper abzuklären.

Im Hinblick auf ein die Kletterhilfe querendes Zugseil zur Abspannung von Straßenbahnoberleitungen konnte eine positive Stellungnahme von den Wiener Linien eingeholt werden.

6.2.7 Baurechtliche Umsetzung

Den baurechtlichen Rahmen des Projekts bildet die Bauordnung (BO) für Wien in der zum Zeitpunkt der Errichtung (Februar 2023) geltenden Fassung. Da die Kletterkonstruktion eine Änderung der äußeren Gestalt des Bestandsgebäudes darstellt und Anforderungen an ihre Festigkeit und Tragsicherheit gestellt werden, galt die Herstellung zum Planungszeitpunkt gem. § 60 BO für WIEN als bewilligungspflichtig. Somit war bei der MA37 - *Baupolizei* eine Baubewilligung gem. § 70 BO zu erwirken.

Unabhängig davon ist die Abstimmung mit der MA19 - *Abteilung für Architektur und Stadtgestaltung*, mit dem Bezirk sowie in diesem Fall mit der MA21 - *Abteilung für Stadtteilplanung und Flächennutzung* für das Vorhaben einzuholen. Eine Stellungnahme der MA37 KSB - *Kompetenzstelle Brandschutz* wurde im Behördenweg eingeholt.

Auf eine Bauverhandlung und auf die Bestellung eines Prüfeningenieurs wurde vonseiten der Behörde verzichtet. Der Verfahrensablauf (von Abgabe der Einreichplanung bis Erhalt des Baubescheides) war hier äußerst kurz, da vorab sämtliche Abstimmungen und Vorgespräche umfassend getroffen wurden. Üblicherweise können Verfahren gem. §70 BO bis zu 6 Monate in Anspruch nehmen.

6.2.8 Bauordnungsnovelle

Mit der jüngsten Bauordnungsnovelle im Dezember 2023 (LGBl. Nr. 37/2023) wurden die für Fassadenbegrünung maßgebliche Rahmenbedingungen geändert und Vereinfachungen geschaffen. Die Herstellung von Kletterhilfen oder -gerüsten für Kletterpflanzen ist außerhalb von Schutzzonen und Gebieten mit Bausperre im Bereich der ersten drei oberirdischen Geschoße in einem Ausmaß von max. 20 cm über Baulinien oder Straßenfluchtlinien nunmehr gem. § 62a Abs. 1 Z 14 BO bewilligungsfrei.

Sollte das hier genannte Ausmaß überschritten werden, gilt nach neuer Rechtslage dennoch keine Bewilligungspflicht, wie sie für das ausgeführte Projekt noch bestanden hatte, sondern lediglich Anzeigepflicht gem. § 62 Abs. 1 Z 5 BO. Die Bauordnungsnovelle 2023 bringt möglicherweise für vergleichbare Projekte Vorteile im Hinblick auf die Verständigung von Eigentümer*innen benachbarter Liegenschaften und damit vor allem die abzuwartenden Fristen (max. 6 Wochen), ehe mit einer Bauführung begonnen werden kann.

6.2.9 Brandschutz

Weiterhin zu beachten und zu erfüllen sind die geltenden brandschutztechnischen Anforderungen an Fassadenbegrünungen. (siehe insbes. Leitfäden und Publikationen der Kompetenzstelle Brandschutz (KSB) der MA 37 sowie die OIB-Richtlinien.)

Bei der am Standort KREUZGASSE | WIEN realisierten Kletterhilfe stellte die Erfüllung brandschutztechnischer Anforderungen aufgrund des großen Abstands zwischen Glasfassade und Kletterkonstruktion (ca. 2,0 m), und zumal diese nicht höher als die ersten drei

oberirdischen Geschoße des Bestandsgebäudes ausfiel, kein brandschutztechnisches Problem dar.

7 GLASGrün-Variantenentwicklung

7.1 Variantenentwurf Demo-Standort SÖLL | TIROL

Die jeweiligen bepflanzbaren Abschnitte mit den zugehörigen Klettergerüsten sind ca. 2,0 bis 2,2 m lang und ca. 4,60 bis 5,50 m hoch. Es wurden 4 Varianten mit in Rahmen gefassten Kletterhilfen entworfen und weitere ohne Rahmen geprüft, von denen 2 ausgewählt wurden. Das Entwurfsziel war eine ansprechende Gestaltung insbesondere für den Eingangsbereich, auch ohne Bepflanzung, da erst in der dritten Vegetationsperiode mit einem flächendeckenden Bewuchs gerechnet wurde. Dafür wurde ein räumliches Netz aus Flachstahlbändern entwickelt (Abbildung 5).

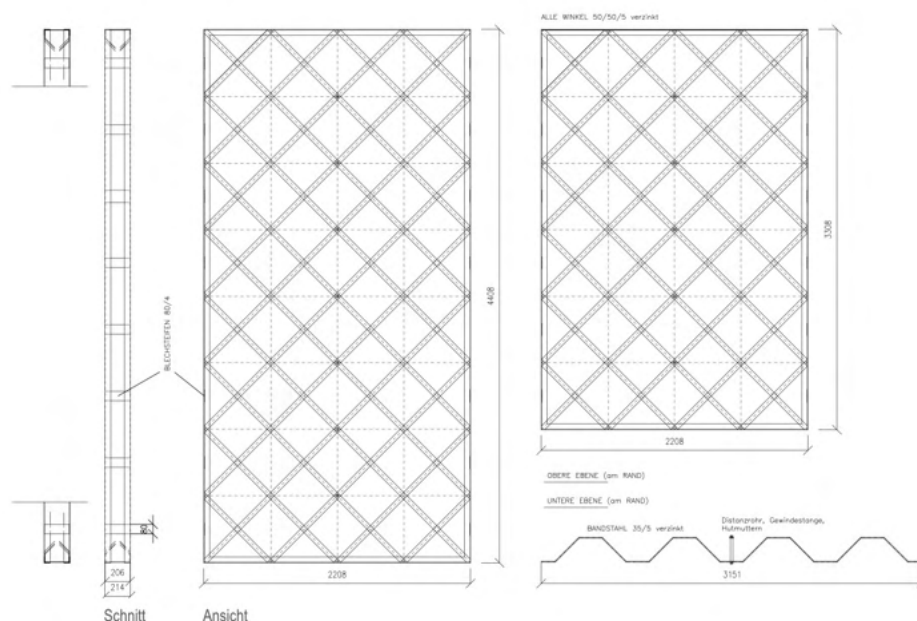


Abbildung 5: Entwurf Klettergerüst mit 3D-Gitter SÖLL | TIROL (Variante RATA-Raster in 2D-Projektion), technische Zeichnung. © RATAPLAN, 2022.

Die Entwicklung der räumlichen Kletterhilfen erfolgte mittels parametrischen Designs. Dabei können die lokalen Rahmenbedingungen (erforderliche Höhe, Breite, Tiefe, Dimension, Stabilität) eingegeben werden. Das Resultat wurde schließlich auch im Hinblick auf die ästhetischen Anforderungen bewertet und modifiziert. Die verglasten Flächen werden bei keiner der Varianten an keiner Stelle konstruktiv berührt. Die Kletterhilfen wurden seitens der Tragwerksplaner Raunicher und Partner Bauingenieure ZT GmbH (Dritteleister) berechnet und dimensioniert.

Aus den Sonnenstandsuntersuchungen (Kap. 6.2.3) ergaben sich neue Prioritäten der zu beschattenden Flächen. Die solare Belastung erwies sich auf der Nord-Westseite als erheblich größer als angenommen. Daher wurde für diese Seite eine zusätzliche Variante einer Kletterhilfe entwickelt, die als zweidimensionales Stahlgitter zwischen Stahlstützen vorgesehen war.

Die selbständig aufgelagerten Kletterhilfen wurden zur Aufnahme der Windlasten am Rand des Flachdaches befestigt. Die Verkleidung des Dachrands wurde zur Untersuchung der Befestigungspunkte geöffnet. Die Klärung der möglichen Lasteinbringung der Windlasten erfolgte durch den Tragwerksplaner.

Die Maschenweite wurde bei beiden Varianten auf die zur Anwendung kommenden Kletterpflanzen abgestimmt und betrug 35 cm in 2-D-Projektion. Die Auswahl der Pflanzenart wird im Allgemeinen maßgeblich durch deren Verfügbarkeit bestimmt. Angebote zur vegetationstechnischen Ausstattung wurden von Anbieter*innen im räumlichen Umfeld des Demostandortes eingeholt. Folgende Arten wurden für die Verwendung berücksichtigt:

- ✓ *Aristolochia macrophylla* (Pfeifenwinde)
- ✓ *Humulus lupulus* (Gemeiner Hopfen)
- ✓ *Vitis coignetiaea* (Scharlachrebe)
- ✓ *Wisteria sinensis* (Blauregen)

7.2 Variantenentwurf Demo-Standort KREUZGASSE | WIEN

Der erste Entwurf, ersichtlich in Abbildung 6, beinhaltete schlanke Primärkonstruktionen aus T-Profilen mit Diagonalaussteifungen und dazwischen eingehängten Baustahlgittern (ÖMAT CS100 verzinkt). Die Schlankheit und Feingliedrigkeit der Konstruktion erwies sich für die Umsetzung als zu kostenintensiv. Ausserdem wäre die Stahldimension (T-70/7) für den Bewuchs mit Starkschlingern wie Wisterien zu fragil und nicht ausreichend dimensioniert.



Abbildung 6: Entwurf I mit Primärkonstruktion aus T-Profilen für Standort KREUZGASSE | WIEN. © RATAPLAN, 2024.

Die nächste Überlegung (Abbildung 7) beinhaltete eine L-förmige Primärkonstruktion aus Rundrohren DM 114,3/8 mm querverbunden durch ein Netz aus Doppelstabmatten mit einer Maschenweite von 25/200mm. Diese Variante wurde aufgrund der Engmaschigkeit für die Umsetzung mit Wisterien und deren zu erwartenden Dickenwachstums ausgeschlossen.

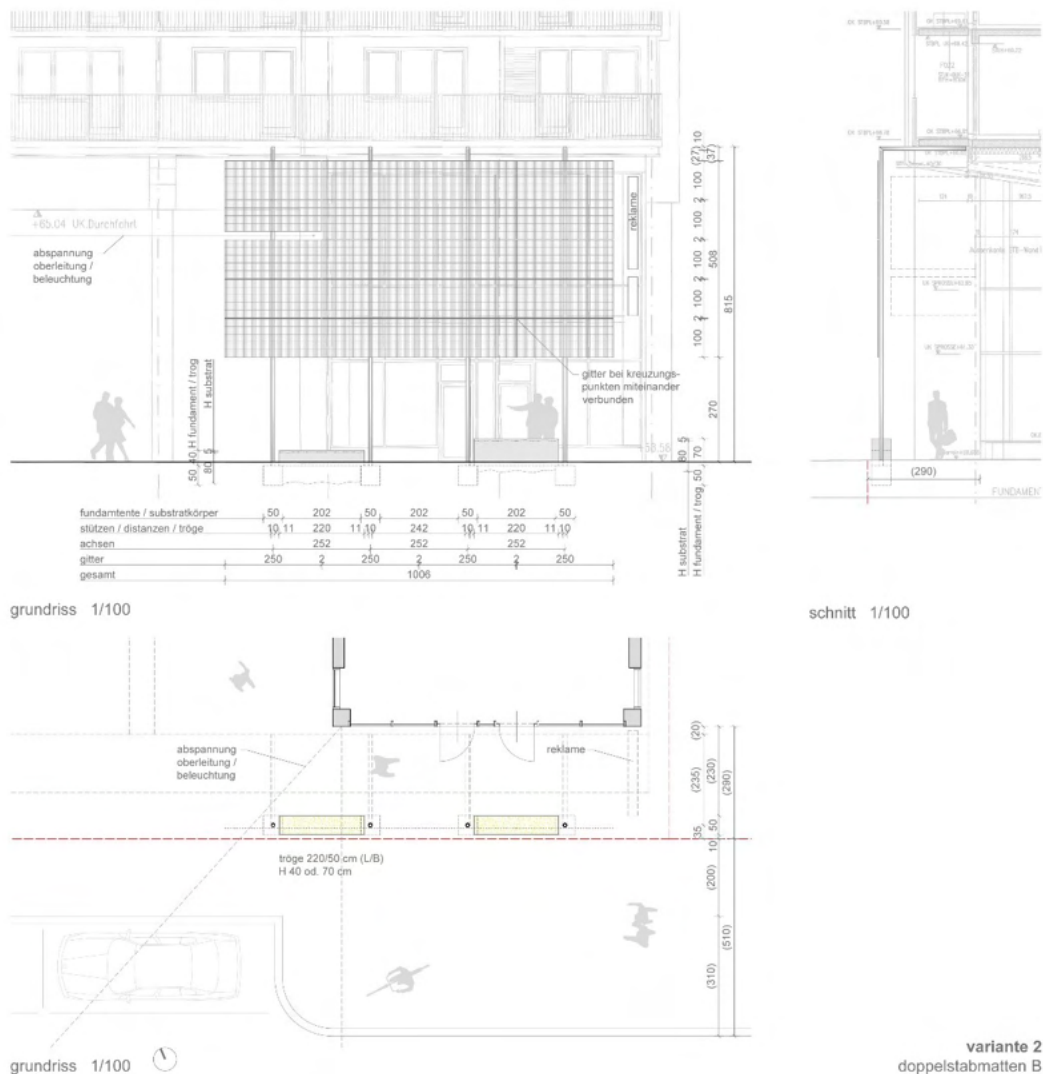


Abbildung 7: Entwurf II mit L-förmiger Primärkonstruktion aus Rundrohren mit Doppelstabmatten für Standort KREUZGASSE | WIEN. © lichtblauwagner architekten, 2024.

Die Weiterentwicklung (Abbildung 8) erfolgte auf Basis der obigen Primärkonstruktion, mit querverbindenden Rundrohren DM 42/2 mm in einem Achsrater von 2,22 m x 1,0 m als Sekundärkonstruktion. Zur besseren Verzweigung und Erreichung der Zieldeckung wurden zusätzliche Vertikalstützen mittig zur Primärkonstruktion eingesetzt.

Die Sekundärkonstruktion beginnt auf eine Höhe von 2,70 m über Niveau, um ein Erklettern zu verunmöglichen und die Durchwegung zu gewährleisten. Durch Querlenkung der Triebe in der Entwicklungsphase soll ein flächiger Bewuchs erzielt werden.



40 von 241

8 Umsetzung der Demo-Objekte

Die Bauphasen der Demo-Objekte in SÖLL | TIROL sowie in der KREUZGASSE | WIEN wurden in detaillierten Bauprotokollen dokumentiert (Anhang, Kap. 0), welche die genauen Arbeitsschritte und Herausforderungen der Umsetzung beschreiben. Wissenschaftliche Expert*innen von BOKU-IBLB überwachten die Errichtungsphase und sicherten eine lückenlose Dokumentation. Zusätzlich wurden Rückstellproben der Materialien und Pflanzen genommen, um Sensorenkalibrierung sowie geotechnische und hydraulische Tests durchzuführen. In diesem Kapitel werden für die jeweiligen Umsetzungsstandorte die Ablaufprozesse der Bauvorhaben inklusiver Kurzfassungen der wissenschaftlichen Baubegleitung beschrieben.

8.1 Demo-Objekt SÖLL | TIROL

In der Prozessgrafik Abbildung 9 wird der Ablauf eines Bauvorhabens beschrieben, bei dem die notwendigen Schritte bis zur Erwirkung einer Baugenehmigung durch Bauanzeige dargestellt werden. Dieser Ablauf zeigt demnach die Abwicklung eines Bauvorhabens wie am Beispiel SÖLL | TIROL, bei der die Bauanzeige als vereinfachtes Genehmigungsverfahren erfolgreich abgeschlossen wurde.

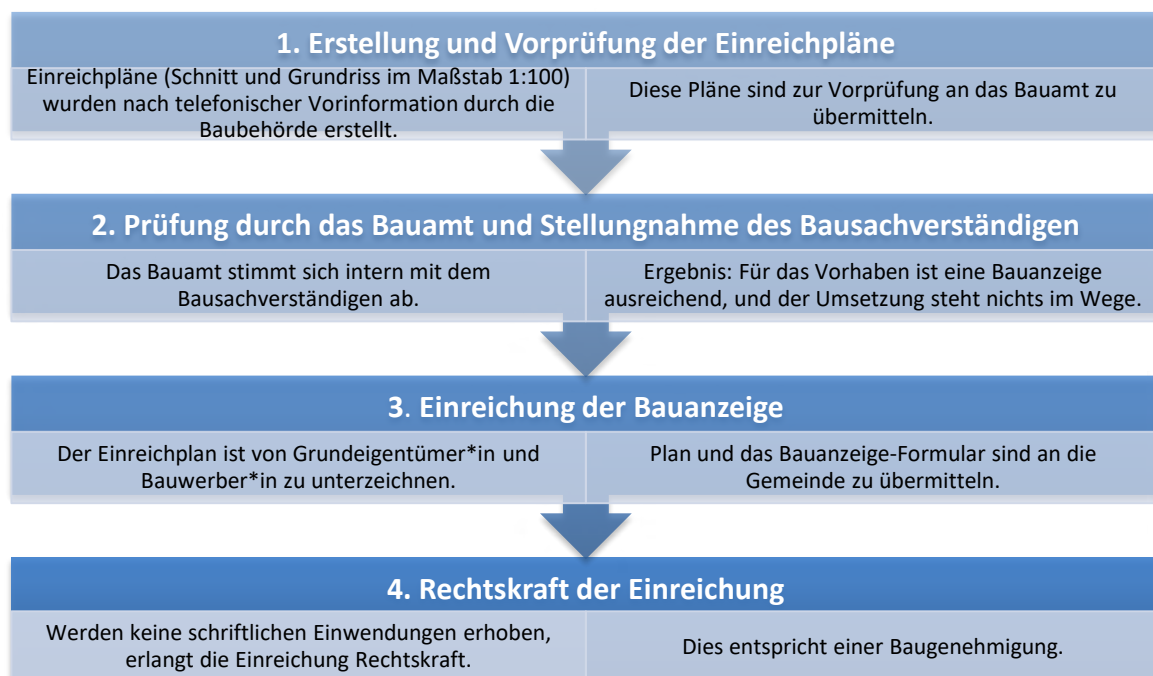


Abbildung 9: Prozess und Ablauf der Vorprüfungen zur Einreichung der Bauanzeige bei vereinfachtem Genehmigungsverfahren am Beispiel SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

Die Errichtung der Vertikalbegrünung des Demo-Objekts SÖLL | TIROL erfolgte in 3 Bauphasen:

Bauphase 01: Erdarbeiten und Metallbau (KW 21 – KW 23 2022)

In dieser Phase wurden Aushubarbeiten für Pflanzgruben und die Fundamentierung der Klettergerüste durchgeführt. Metallbauarbeiten wie die Montage der Klettergerüste wurden ebenfalls abgeschlossen. Herausforderungen ergaben sich durch unerwartete Leitungen in den Pflanzgruben, die zu Anpassungen der Fundamente führten. Diese Arbeiten wurden teils ohne Bauaufsicht durchgeführt, was eine lückenlose Dokumentation erschwerte.

Bauphase 02: Gartenbau (KW 23 – KW 24 2022)

Diese Phase umfasste die Pflanzarbeiten und die Installation der Bewässerungsanlage. Die Arbeiten wurden vor Ort von Expert*innen von BOKU-IBLB begleitet und protokolliert. Im Fokus standen die fachgerechte Verlegung der Bewässerungsleitungen, die Befüllung der Pflanzgruben und die Pflanzarbeiten der implementierten Begrünung (Abbildung 10). Herausforderungen traten durch eine nicht ordnungsgemäße Ausführung der Fundamente (zu große Ausführung, „Zubetonieren“ der Pflanzgruben) und wiederholte Versetzungen des Baustellenzauns durch Nachbarbauarbeiten auf.

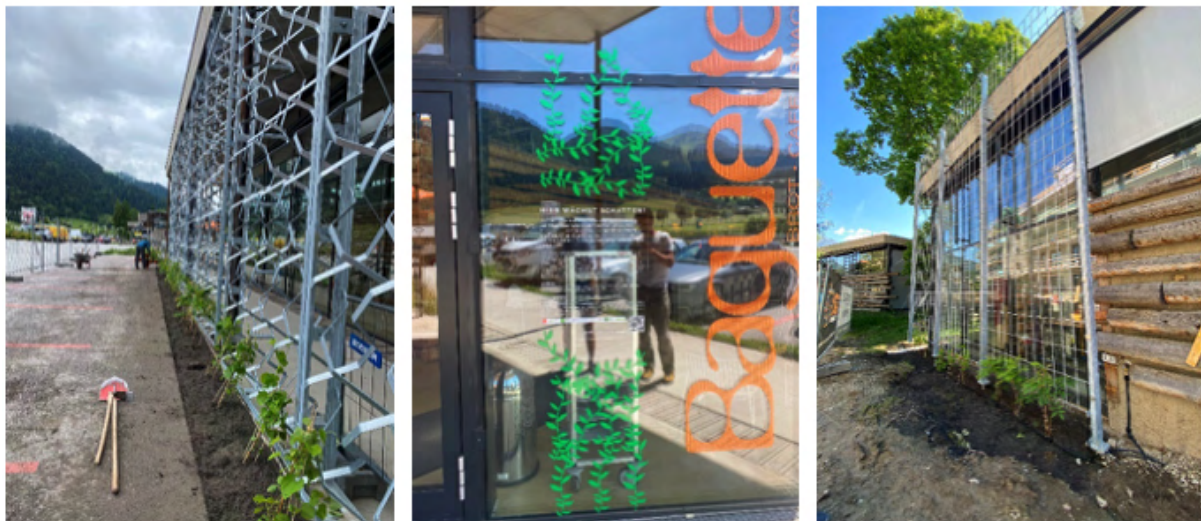


Abbildung 10: Detailaufnahmen direkt nach der Umsetzung des Demo-Objekt in SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

Bauphase 03: Abschlussarbeiten (KW 24 – KW28 2022)

Zu den Abschlussarbeiten zählten die Herstellung eines sauberen Rollierbereichs, das Nivellieren der Geländeoberfläche, das Aufbringen von Mulchmaterial und das Einfassen der Pflanzflächen mit Metallbändern. Ein zusätzlicher Anfahrtschutz sowie ein Streusalzschutz wurden an der Gebäudevorderseite installiert. Nach Abschluss der Pflanzarbeiten wurden lose Triebe in die Kletterhilfen eingeflochten.

Herausforderungen und Empfehlungen

Die Nachbarbaustelle sowie das vorzeitige Entfernen des Baustellenzauns führten zu gefährlichen Situationen durch parkplatzsuchende Kund*innen. Es wird dringend empfohlen, den Baustellenbereich bis zur Fertigstellung durch einen Zaun zu sichern, um Personen zu schützen.

Weiters gestaltete sich die Kommunikation mit den beauftragten Firmen und die Einhaltung der vereinbarten Zeitpläne als schwierig. Arbeiten wurden teils ohne Bauaufsicht durchgeführt, was in Mängel und fehlerhafter Ausführung resultierte.

8.2 Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN

Die Bauarbeiten für die Umsetzung des Demo-Objekts in der KREUZGASSE | WIEN wurde in drei Hauptphasen unterteilt, die jeweils spezifische Aufgaben und Herausforderungen umfassten:

Bauphase 01: Baustellenvorbereitung und Fundamentarbeiten (KW 22 – KW24 2023)

Die erste Phase begann mit der Einrichtung und Absicherung der Baustelle sowie dem präzisen Einmessen der Tröge und Fundamente. Während der Aushubarbeiten traten unerwartete Bodenverhältnisse auf, die eine Anpassung des Bauablaufs erforderten. Eine zusätzliche Betonplatte unter dem verdichteten Asphaltunterbau erschwerte die Arbeiten erheblich. Des Weiteren wurde eine Telekommunikationsleitung im Bereich eines Fundaments entdeckt, was eine statische Nachbearbeitung und Verstärkung der Bewehrung erforderlich machte. Ein alter, nicht mehr genutzter Steinzeugkanal wurde diagonal im Bereich eines weiteren Fundaments freigelegt. Nach sorgfältiger Prüfung konnte dieser entfernt werden, wodurch eine Drehung des Fundaments vermieden wurde. Die Arbeiten schlossen mit der Erstellung der Schalung, dem Einsetzen der Bewehrungskörbe und dem Betonieren der Fundamente ab.

Bauphase 02: Stahlkonstruktion (KW25 2023)

Nach der Aushärtung der Fundamente wurde die Stahlkonstruktion errichtet. Die Primärkonstruktion wurde auf den vorbereiteten Fundamenten positioniert, wofür ein Mobilkran eingesetzt wurde. Eine besondere Herausforderung stellte die enge Leitungsführung der Straßenbahn dar, die während der Montage sorgsam berücksichtigt werden musste. Anschließend wurde die Sekundärkonstruktion in einem schrittweisen Verfahren aufgebaut. Parallel dazu erfolgte die Verlegung von Bewässerungs- und Stromleitungen, die für den Betrieb der Vertikalbegrünung essenziell sind.

Bauphase 03: Pflanz- und Abschlussarbeiten (KW25 – KW26 2023)

Die abschließende Phase beinhaltete die Vorbereitung der Tröge aus Metall für die Bepflanzung. Zunächst wurden diese gedämmt und mit Substrat hinterfüllt und nachverdichtet, bevor die Pflanzen eingepflanzt und die Bewässerungsanlage installiert wurde. Zusätzlich wurden Leitungen für das Messsystem und die Wasserzufuhr eingerichtet. Zum Abschluss wurde der Asphaltbelag im Bereich der Fundamente wiederhergestellt, wodurch die baulichen Arbeiten termingerecht abgeschlossen werden konnten (Abbildung 11).



Abbildung 11: Detailaufnahmen direkt nach der Umsetzung des Demo-Objekt in DER KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

9 Methodisches Vorgehen und Monitoringkonzept zur mikroklimatischen Performanz

Zur Bewertung des potenziellen Kühleffekts von Fassadenbegrünungen an Gebäuden mit vorgelagerten Glasfassaden, wurde ein umfassendes Messkonzept entwickelt, das relevante Kennwerte zur Bewertung der Beschattungsleistung sowie des damit verbundenen Energieeinsparpotenzials im Bereich der Raumklimatisierung beinhaltet.

Ein wesentliches Kriterium des Messkonzepts stellt dabei die Übertragbarkeit auf andere Standorte mit vorgelagerter Begrünung, sowohl in der Bestandsergänzung als auch für Neubauten, dar. Es sollen nicht nur lokale Erkenntnisse gewonnen, sondern auch eine breitere Perspektive durch die Anwendung der Methode auf unterschiedliche Standorte ermöglicht werden. Dies soll dazu beitragen, eine standardisierte Basis für die Erfassung und Analyse relevanter Kennwerte zur Beurteilung von Fassadenbegrünungen zu schaffen und somit den Vergleich verschiedener Standorte zu ermöglichen. Das Messkonzept kombiniert dabei Dauermessungen bzw. stationäre Messungen, mit einzelnen Messkampagnen, die ergänzend durchgeführt wurden. Dabei werden die Dauermessungen dazu genutzt, einen kontinuierlichen Datensatz über meteorologische Bedingungen und das Mikroklima zu generieren, während durch die gezielten Messkampagnen spezifische pflanzenphysiologische Kennwerte zur Charakterisierung der Vegetationskörper und Biomasseentwicklung erfasst werden.

9.1 Monitoringkonzept Innenraum

9.1.1 Datenerfassung

Begleitend zu den Begrünungsmaßnahmen erfolgte die langfristige Erfassung der Temperaturverhältnisse und die Luftfeuchtigkeit im Innenraum in beiden Demonstrations-Objekten. Diese wurden Messungen nach der ÖNORM EN ISO 7730:2023 vorgezogen, da sie einen minimalen Platzbedarf aufweisen und Messungen über lange Zeiträume ermöglichen. Es wurden an mehreren Positionen Sensoren angebracht, um Unterschiede innerhalb des Raumes erfassen zu können, die vor allem durch Sonneneinstrahlung oder lokale Wärmequellen entstehen. Ziel war es, neben der Aufzeichnung der thermischen Aufenthaltsqualität auch den Stromverbrauch der in beiden Objekten vorgesehenen Klimaanlage zu erfassen, um daraus Veränderungen auf den Kühlbedarf rückschließen zu können.

Zum Einsatz kam funkbasierte Sensorik, die die Messdaten an einen im Objekt befindlichen Datensammler übermittelt und dies verschlüsselt in eine Cloud überträgt. Die Messdatenerfassung erfolgte im 10-min Intervall. Die Datenaggregation erfolgte in der Cloud.

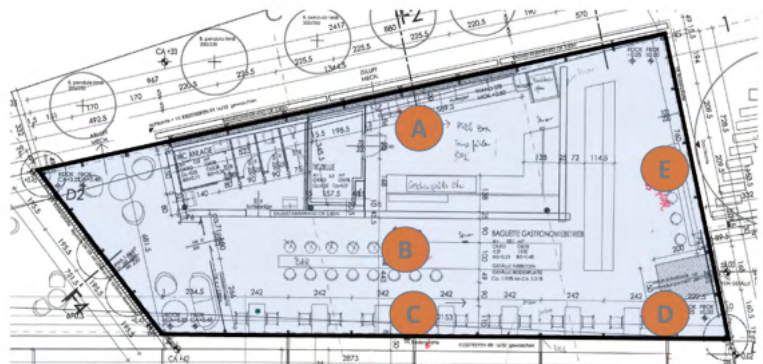
9.1.2 Raumlufthemperatur /-feuchtigkeit

Zur Erhebung der Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchtigkeit im Innenraum wurden kombinierte Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren installiert. Die Sensoren wurden möglichst dezent und vor Fremdeinwirkung geschützt in 1,1 m Höhe angebracht. Die Messdatenauswertung zur Bestimmung behaglicher, noch behaglicher und unbehaglicher Komfortzustände erfolgte nach Leusden et Freymark (1951), bei dem jeweils ein Messwertpaar der Lufttemperatur und der Luftfeuchte gegenübergestellt werden.

Demo-Objekt SÖLL | TIROL:

Die Platzierung erfolgte in SÖLL an mehreren Konsumationsplätzen, nahe an den Fassaden, in der Raummitte und am Arbeits- und Bürobereich (Abbildung 12).

– 5 Stk. STM 550 MULTISENSOR, EnOcean GmbH



- A** MS008 NO, Arbeits-, Bürobereich
- B** MS003 Raummitte, Bar
- C** MS005 Fassade SO, Sitzbereich Mitte
- D** MS006 Fassade SO, Sitzbereich Eingang
- E** MS007 Fassade NO, Stehpult

Abbildung 12: Messpunkte Standort SÖLL | TIROL. ©IBO, 2025.

KREUZGASSE | WIEN:

Im Büro-Objekt wurden im Erdgeschoss (EG) ein Mehrfachsensor und im Obergeschoss (OG) zwei Stück abgebracht. EG und OG sind durch einen offenen Treppenaufgang verbunden (Abbildung 13).

– 3 Stk. STM 550 MULTISENSOR, EnOcean GmbH

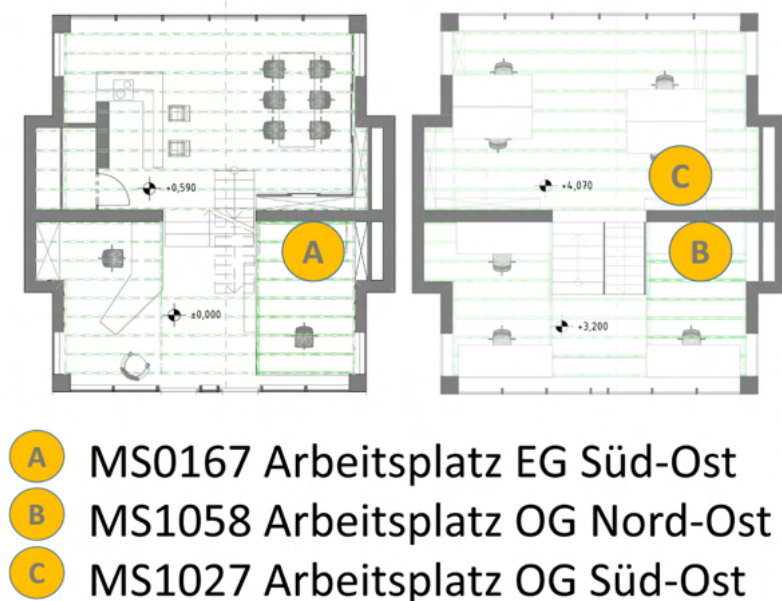


Abbildung 13: Messpunkte Standort WIEN, KREUZGASSE | WIEN. ©IBO, 2025.

9.1.3 Stromverbrauch

Beim Objekt SÖLL | TIROL wurden Daten aus der Leitechnik zum Gesamtstrombedarf bereitgestellt. Zur gesonderten Ermittlung des Stromverbrauches der Klimaanlage wurde ein Stromzähler (1 Stk. 3-Phasen Strommessklemme, Pressac Communications Ltd) verbaut, der ebenfalls die Messdaten per Funk in den Datensammler überträgt.

Beim Objekt KREUZGASSE | WIEN war durch den Objektmietler eine Erfassung der wichtigsten Stromverbräuche vorgesehen, diese konnte jedoch bis zum Projektende nicht umgesetzt werden.

9.2 Simulation thermische Behaglichkeit und solare Einträge

Die Ermittlung der Effekte der Begrünung auf die beiden in diesem Projekt behandelten Objekte auf Basis des vorgesehenen Konzepts war mit den zur Verfügung stehenden Daten und Rahmenbedingungen nicht möglich. In SÖLL | TIROL zeigten neben den Nutzer*innenbeschwerden (Personal) die Auswertungen des Stromverbrauches, dass hohe innere Wärmelasten anfallen, die hauptsächlich durch Geräte wie Aufbacköfen,

Industriegeschirrspüler, Warmhaltevittrinen und andere elektrische Verbraucher verursacht werden. Der durchschnittliche Stromverbrauch pro Tag lag bei 140 kWh. Zusätzlich wurde die Klimaanlage 2024 aufgrund eines Personalwechsels und deren individuellen Nutzer*innenverhalten verstärkt genutzt, was sich in den Messdaten deutlich widerspiegelt.

In der KREUZGASSE | WIEN konnte aufgrund der durch Standortausfall und -wechsel, damit verspäteten Umsetzung und verbundenen verkürzten Standzeit während der Projektlaufzeit kein ausreichender Deckungsgrad der Begrünung in der erforderlichen Höhe hergestellt werden, der durch die Messsensorik erfasst werden konnte.

Daher wurde zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit und der solaren Einträge die Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1 herangezogen. Die Reduktion der solaren Einträge (Transmission und sekundäre Wärmeabgabe) und die Verbesserung der thermischen Behaglichkeit konnten damit abgebildet werden. Die Begrünung wurde als Vertikalverschattung umgesetzt. Der Transmissionsgrad für die Monate Juni bis September wurde auf Basis der im Projekt erhaltenen Messdaten in SÖLL | TIROL mit 0,11 angesetzt.

Die Beurteilung des thermischen Komforts erfolgte mittels PMV (*Predicted Mean Vote*) und PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 (Fanger-Komforttheorie). Diese Theorie beschreibt das thermische Wohlbefinden von Menschen in Innenräumen. Ein PMV von +0,5 bedeutet, dass die Mehrheit der Personen im Raum eine leichte Wärmeempfindung hat, die jedoch im akzeptablen Bereich liegt. Der PMV-Wert reicht von -3 (sehr kalt) bis +3 (sehr heiß), wobei 0 als thermisch neutral gilt. Ein Wert von +0,5 ist fast neutral, was als angenehm empfunden wird.

PPD von 10 bedeutet, dass voraussichtlich nur 10 % der Menschen im Raum mit dem Klima unzufrieden sind, was als guter Wert gilt, da unter 20 % als akzeptabler Komfortbereich angesehen werden. Das entspricht in etwa einem PMV von +/-1 und wird als leicht warm/leicht kühl empfunden.

Für die zugrundeliegende Simulation wurde für die sich im Raum befindlichen Personen eine metabolische Rate von 1 (entspricht entspanntem Sitzen) und ein Bekleidungsfaktor von 0,85, der um +/- 0,25 schwanken darf, angenommen. Ein Bekleidungsfaktor von 0,5 entspricht einer langen, leichten Hose und einem T-Shirt. Abbildung 14 bis Abbildung 17 zeigen die Modelle und deren Messpunkte.

Demo-Objekt SÖLL | TIROL:

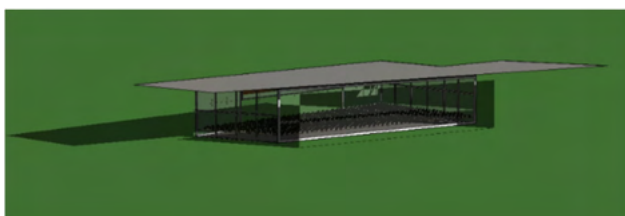


Abbildung 14: Simulationsmodelle SÖLL | TIROL. ©IBO, 2025.

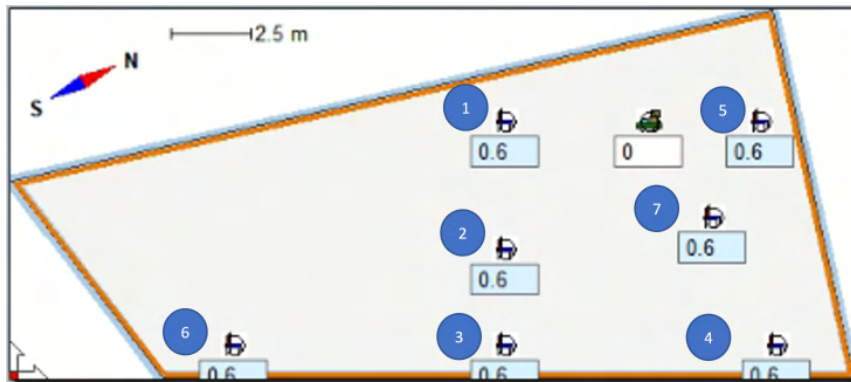


Abbildung 15: Messpunkte Simulationsmodell SÖLL | TIROL. ©IBO, 2025.

Verwendeter Wetterdatensatz: ASHRAE IWECC2, KUFSTEIN

Detailliertes 1-Zonenmodell

Sonnenschutzverglasung $U=1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,34$

Solltemperatur Innenraum 22 – 25 °C

Transmissionsgrad Begrünung 0,11; Reflexionsgrad 30 %

Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN:

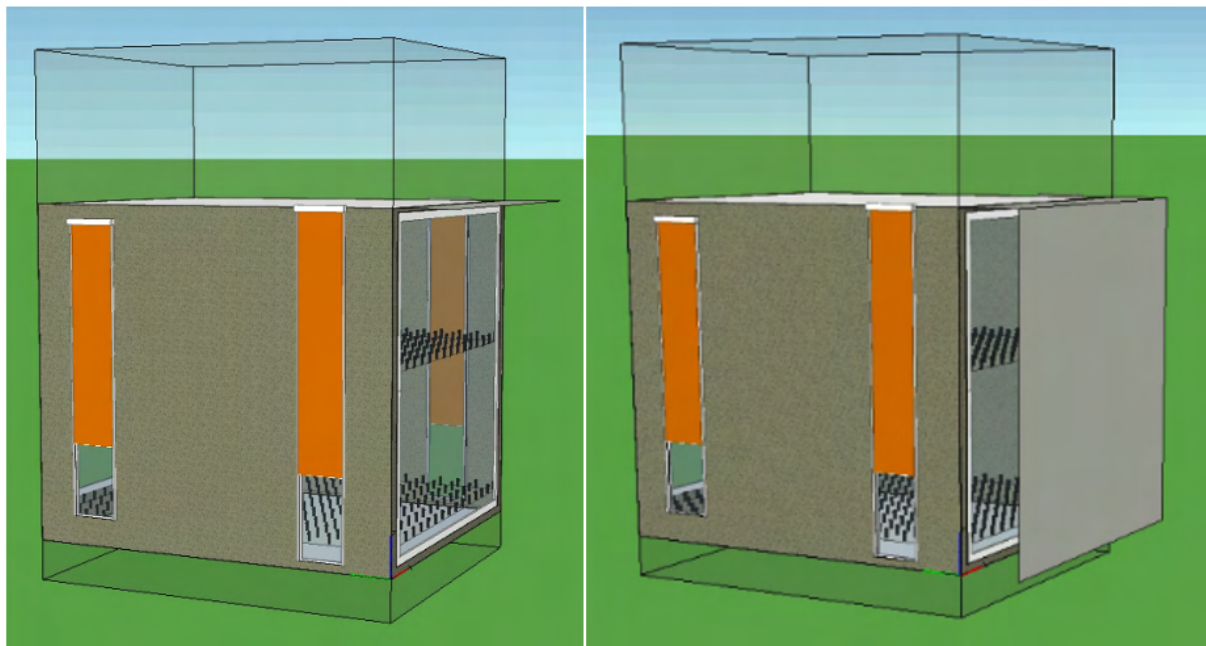


Abbildung 16: Simulationsmodelle WIEN, KREUZGASSE | WIEN. ©IBO, 2025.

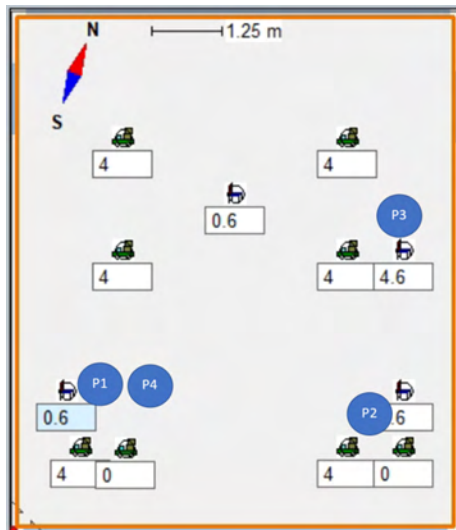


Abbildung 17: Messpunkte Simulationsmodelle WIEN, KREUZGASSE | WIEN. ©IBO, 2025.

Verwendeter Wetterdatensatz: ASHRAE IWE2, WIEN-SCHWECHAT-FLUGHAFEN

Detailliertes geschichtetes 1-Zonenmodell

Sonnenschutzverglasung $U=1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,34$

Solltemperatur Innenraum $22 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Transmissionsgrad Begrünung $0,11$, Reflexionsgrad 30%

9.3 Monitoringkonzept Außenraum

Bei der Umsetzung der GLASGrün-Systeme wurde ein integriertes Messsystem eingerichtet, das Referenzmessungen ermöglicht. Das Mess-Setup sollte über den Projektzeitraum hinaus bestehen bleiben und mittelfristig Daten zur Entwicklung der Vegetation und Veränderungen der Wirkungen liefern. Die Sensortechnik zur Erhebung mikroklimatischer Kennwerte (stationäre Messungen) umfasste folgende Komponenten: Je Pflanzenart wurden je 1 Pyranometer (APOGEE SP-110-SS) sowie LF/LT Sensoren (MeterGroup ATMOS 14) vor und hinter der Begrünung sowohl an der SO- als auch der NW-Exposition angebracht. An der NW-Fassade wurde 1x Anemometer (MeterGroup ATMOS 22) zur Erfassung der Windgeschwindigkeit in 2,5 m Höhe angebracht. Die Sensortechnik wurde am Klettergerüst befestigt. Zur Erfassung der örtlichen klimatischen Rahmenbedingungen als Referenz wurde eine Klimastation 1 Stk. VAISLA Weather Transmitter WXT530 Series, Vaisala Group, FINNLAND am Gebäudedach installiert. Sie inkludierte Sensorik zur Lufttemperatur /-feuchtigkeit, Solarstrahlung (Pyranometer CS 320 Campbell Scientific), Windgeschwindigkeit und Niederschlag (Lefevre et al. 2024). Zur Erhebung der Bodenfeuchte wurden Sensoren (MeterGroup TEROS 12) im Wurzelbereich der Pflanzen (-25 cm, -45 cm, -60 cm) unter der

Bepflanzung in den Boden eingebettet. Die Daten wurden lokal gesammelt und über eine Schnittstelle in eine Cloud hochgeladen.

Zusätzlich zu den stationären Messungen wurden vom Partner BOKU-IBLB Mess- und Monitoringkampagnen durchgeführt, um pflanzenphysiologische Parameter wie stomatäre Leitfähigkeit, Transmission, Blattoberflächentemperatur, Blattflächenindex, kubisches Volumen der Pflanzen sowie weitere vegetationstechnische Parameter (Vitalität, Deckungsgrad, Triebängenwachstum etc.) zu erheben. Die Monitoringkampagnen wurden monatlich innerhalb einer Vegetationsperiode durchgeführt.

9.3.1 Monitoring der mikroklimatischen Performanz (stationär)

Über stationären Messungen wurden alle mikroklimarelevanten Parameter (Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und direkt eintreffende Solarstrahlung) hinter der Begrünung ermittelt. Die Messungen dazu wurden in einem definierten Abstand (40 – 50 cm) an der Rückseite der Begrünung vorgenommen. Zusätzlich wurde vor der Begrünung ein 2. Pyranometer ebenfalls mit Abstand 40 – 50 cm platziert, um die Strahlungsdifferenz vor und hinter der Begrünung zu erfassen. Der Abstand der Messtechnik zum Vegetationskörper wurde so gewählt, dass der Einfluss der Begrünung weiterhin erfassbar ist, jedoch gleichzeitig vermieden wird, dass die Sensortechnik durch das Wachstum der Begrünung beeinträchtigt oder verfälscht wird. Dies ermöglicht eine präzise Datenerfassung über einen längeren Zeitraum, ohne die Funktionalität der Sensoren zu beeinträchtigen. Am

Stationäre Messungen erfordern ein Messsystem, das am Baukörper oder am Klettersystem der Kletterpflanzen befestigt werden kann und dem Dauereinsatz unter freier Bewitterung standhält. Für die beiden Projektstandorte SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN wurde eine Messkonsole in Leichtbauweise aus Aluminium konstruiert, die mit Sensortechnik zur dauerhaften Messung der oben genannten Parameter bestückt ist (Abbildung 18).



Abbildung 18: Stationäre Messeinheit SÖLL | TIROL, links: Messeinheit hinter der Begrünung (Strahlungssensor, Tair/rhum Sensor), mitte: Klimastation am Dach für Referenzwerte (Vaisala Wetterstation und Strahlungssensor), WIEN | KREUZGASSE rechts: NetRadiometer und Tair/rhum Sensor. ©BOKU-IBLB, 2025.

Um einen meteorologischen Standard zu gewährleisten, werden die Bezeichnungen der Variablen an international gebräuchliche Begriffe z.B. *air temperature* (tair) angepasst. In Texten und Berichten werden Abkürzungen für gemessene Variablen durch Kürzel in Form von zwei Großbuchstaben dargestellt z.B. Tair (*air temperature*) verwendet. Um die Übersichtlichkeit von Grafiken und Diagrammen in Datenverarbeitungsprogrammen zu gewährleisten, werden kompakte Kürzel für Variablen verwendet, wie z.B. tair (*air temperature*). Die Kürzel der Variablen können beliebig mit der jeweiligen Standortbezeichnung kombiniert werden. Für eine verbesserte Vergleichbarkeit der gemessenen Werte werden standardisierte SI-Einheiten verwendet (Tabelle 2). Diese gewährleisten eine einheitliche und international anerkannte Darstellung der Messgrößen.

Tabelle 2: Relevante Messparameter in deutscher und englischer Bezeichnung sowie deren Abkürzungen und zugehörige SI-Einheiten.

Parameter dt.	Parameter eng.	Kürzel	Sensorkodierung	SI-Einheit
Lufttemperatur	<i>air temperature</i>	T _{air}	tair	°C
Rel. Luftfeuchtigkeit	<i>relative humidity</i>	H _{rel}	rhum	%
Windgeschwindigkeit	<i>wind speed</i>	ws	wis	m/s
Windrichtung	<i>wind direction</i>	wdir	wid	(0° N, 90° E, 180° S, 270° W)
Solarstrahlung	<i>solar irradiance</i>	I _{sol}	solir	W/m ²

Bar. Luftdruck	<i>atmospheric pressure</i>	atmop	atp	hPa
Bodentemperatur	<i>soil temperature</i>	T _{soil}	tsoil	°C
Bodenfeuchtigkeit	<i>soil moisture</i>	smoist	msoil	%

Meteorologische Standards für die Datenerfassung definieren allgemein anerkannte Vorgehensweisen und Methoden, um die Qualität, Vergleichbarkeit und Zuverlässigkeit von meteorologischen Daten zu gewährleisten. Hier werden einige der gängigen Standards angeführt, die die Grundlage für die GLASGrün-Messungen bildeten.

- **Messparameter:** Bestimmung erfassbarer meteorologischer Parameter, einschließlich Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag, Luftdruck, Sonneneinstrahlung und andere relevante Größen.
- **Messinstrumente:** Verwendung geeigneter und kalibrierter Instrumente, die den internationalen Standards entsprechen. Dies kann die Verwendung von meteorologischen Sensoren, Pyranometern, Thermometern, Hygrometern, Anemometern und anderen spezifischen Instrumenten umfassen.
- **Messhöhe:** Festlegung der korrekten Höhe, auf der die verschiedenen Messungen durchgeführt werden sollen, um Vergleichbarkeit sicherzustellen. Zum Beispiel wird die Lufttemperatur nach meteorologischem Standard in 2 m Höhe über dem Boden mit Hilfe eines strahlengeschützten Messfühlers ermittelt.
- **Zeitintervalle:** Definition der Zeitabschnitte, in denen die Messungen vorgenommen werden sollen. Die Standardintervalle können stündliche, 10-minütige oder sogar sekundengenaue Messungen umfassen. Weiters wird definiert, welche Mittelwerte gebildet werden (z.B. stündliche Mittelwerte 10-minütiger Intervalle).
- **Datenformat:** Festlegung eines standardisierten Datenformats und von Messeinheiten, um die Einheitlichkeit der Datenerfassung zu gewährleisten. Dazu gehört auch die Verwendung des Internationalen Einheitensystems (SI).
- **Kalibrierung und Qualitätssicherung:** Implementierung von regelmäßigen Kalibrierungs- und Qualitätskontrollverfahren, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen sicherzustellen.

9.3.2 Datenerhebung

Mikroklimatische Daten können mit einer Vielzahl unterschiedlicher Datenlogger aufgezeichnet werden. Die Datenaufzeichnung erfolgte gemäß meteorologischen Standards, die eine einheitliche und vergleichbare Erfassung meteorologischer Parameter ermöglichen. Die gemessenen Rohdaten werden in vordefinierten Zeitintervallen aufgezeichnet und analysiert. Für eine bessere Übersicht und Auswertung wurden die Rohdaten zu

regelmäßigen Zeitintervallen gemittelt, üblicherweise in Form von stündlichen oder 10-minütigen Durchschnittswerten. Die genauen Messintervalle können dabei je nach Sensor variieren, wurden in der Regel aber in einminütigen Abständen durchgeführt. Um die Datengenauigkeit zu verbessern, wurden die Rohdaten zu 10-Minuten-Mittelwerten aggregiert.

SÖLL | TIROL:

- 2 Stk. Datalogger CRX 1000, 1 Stk. AM16 Multiplexer, Campbell Scientific Inc. 815 W 1800 N, Logan, UT 84321-1784, USA (Abbildung 19)

KREUZGASSE | WIEN:

- 2 Stk. Datalogger Typ ZL6, Meter Group, Inc. USA 2365 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163 – USA.



Abbildung 19: Datenzentrale SÖLL | TIROL, die Datenlogger wurden in witterungsbeständigen Schaltschränken verbaut, Solarstrahlung (I_{sol}). ©BOKU-IBLB, 2025.

Zur Ermittlung der Strahlungsleistung [W/m^2] vor und hinter der Begrünung wurde die einfallende Solarstrahlung (*solar irradiance* I_{sol}) mithilfe von Pyranometern aufgezeichnet. Es wurde jeweils ein Sensor vor und ein Sensor hinter der Begrünung in einem Abstand von ca. 45 cm zum Vegetationskörper angebracht. Die Sensorköpfe wurden in Richtung (hinten) oder weg vom Vegetationskörper (vorne) montiert. Durch das Sichtfeld des Sensors (180°) in Kombination mit dem gewählten Sensorabstand (45 cm) entsteht auf der Rückseite der Begrünung eine Abbildung der gesamten Begrünungsfläche. Die Ausrichtung der Sensoren muss so erfolgen, dass so wenig Beschattung durch umliegende Gebäudeteile oder andere Messtechnik wie möglich vorliegt.

SÖLL | TIROL:

- 16 Stk. Pyranometer SP-110-SS: Self-Powered Pyranometer, Apogee Instruments, Inc. USA
- 1 Stk. CS320 Digital Thermopile Pyranometer, Campbell Scientific Inc. USA

KREUZGASSE | WIEN:

- 2 Stk. Pyranometer SP-110-SS: Self-Powered Pyranometer, Apogee Instruments, Inc. USA
- 2 Stk. Net-Radiometer SN-55-SS four-component net radiometer, Apogee Instruments, Inc. USA

9.3.2.1 Lufttemperatur /-feuchtigkeit

Zur Erhebung der Lufttemperaturen T_{air} [°C] und relativen Luftfeuchtigkeit H_{rel} [%] wurden vor und hinter der Begrünung Temperatur-/ und Luftfeuchtigkeitssensoren installiert. Wie bei den Strahlungssensoren wurde bei KREUZGASSE | WIEN ein Sensor vor und ein Sensor hinter der Begrünung im Abstand von 45 cm zum Vegetationskörper angebracht. Bei MPREIS TIROL wurde hinter jedem Messpunkt ein Sensor angebracht, die Referenzmessung erfolgt über die Wetterstation am Dach. Es ist darauf zu achten, dass keiner der installierten Sensoren das Sichtfeld der Strahlungssensoren beeinträchtigt.

SÖLL | TIROL:

- 8 Stk. ATMOS 14 Temperature and Humidity Sensor, Meter Group, Inc. USA

KREUZGASSE | WIEN:

- 2 Stk. ATMOS 14 Temperature and Humidity Sensor, Meter Group, Inc. USA

9.3.2.2 Windgeschwindigkeit

Um Windbewegungen und Windgeschwindigkeiten w_s [m/s] vor und hinter der Begrünung bzw. den potenziellen Windbarriereeffekt, d.h. der Veränderung des Einflusses des Winds auf die Gebäudeoberflächen durch die Vegetation und die Kletterstrukturen zu ermitteln, wurden Anemometer in einem Abstand von 45 cm an den Messkonsolen verschraubt. Es ist darauf zu achten, dass keiner der installierten Sensoren das Sichtfeld der Strahlungssensoren beeinträchtigt.

SÖLL | TIROL:

- 2 Stk. ATMOS 22 Ultrasonic Anemometer, Meter Group, Inc. USA

KREUZGASSE | WIEN:

- 2 Stk. ATMOS 22 Ultrasonic Anemometer, Meter Group, Inc. USA

9.3.2.3 Mikroklimatische Daten

Zur Aufzeichnung der mikroklimatischen Bedingungen im direkten Umfeld des Projektstandortes wurde am Gebäudedach des Demo-Standorts MPREIS SÖLL | TIROL eine Klimastation installiert, die die mikroklimatischen Bedingungen wie eintreffende Solarstrahlung, Luftfeuchtigkeit und /-temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit, im direkten Umfeld des Projektstandortes erfasst. Die gesammelten Daten lieferten ein detailliertes Verständnis der mikroklimatischen Bedingungen vor Ort. Durch die kontinuierlichen Aufzeichnungen wurde eine präzise Analyse der mikroklimatischen Veränderungen im Jahresverlauf unmittelbar vor Ort ermöglicht. Wenn die Installation einer Klimastation vor Ort nicht möglich ist, können auch Daten von meteorologischen Diensten (z.B. GeoSphere Austria) herangezogen werden.

SÖLL | TIROL:

- 1 Stk. VAISLA Weather Transmitter WXT530 Series, Vaisala Group, FINNLAND

KREUZGASSE | WIEN:

- Referenzdaten werden aus der SEnsorik vor der Begrünung bezogen

9.3.3 Mess- und Monitoringkampagnen zur pflanzenphysiologischen Performanz

Im Zuge der Messkampagnen wurden verschiedene messbare Parameter und Charakteristika erfasst (Tabelle 3), die das physiologische Verhalten der Pflanzen am Standort dokumentieren. Durch gezielte Messungen zu bestimmten Jahreszeiten wurde damit eine genaue Beobachtung und Dokumentation der Veränderungen in der Vegetationsentwicklung ermöglicht.

Tabelle 3: Relevante vegetationstechnische und pflanzenphysiologische Parameter in deutscher und englischer Bezeichnung sowie deren Abkürzungen und zugehörige Einheiten.

Parameter dt.	Parameter eng.	Kürzel	Signatur	SI-Einheit
Deckungsgrad der Zielfläche: Anteil der Deckung durch Pflanzenmasse an der Zielfläche; definiert durch das Klettergerüst mit Rankhilfen bzw. der potenziell erschließbaren Fläche	<i>vegetation (plant) cover: percentage coverage ratio to the target area</i>	DG _{Ziel}	Pcov-targ	%

Projektiver Deckungsgrad: Bedeckung durch Blätter im Verhältnis zur dahinterliegenden Grundfläche	<i>vegetation (plant) cover: percentage coverage ratio to projected area</i>	DG _p	Pcov-proj	%
Kubisches Pflanzenvolumen	<i>cubic volume</i>	V _{cub}	cv	m ³
Stomatäre Leitfähigkeit	<i>stomatal conductance</i>	g _s	stcon	mmol m ⁻² s ⁻¹
Blatttemperatur	<i>leaf temperature</i>	T _{leaf}	ltemp	°C
Blattflächenindex; Pflanzenflächenindex, Wand-Blattflächenindex	<i>leaf area index; plant area index, wall leaf area index</i>	LAI (PAI) / WLAI	LAI (PAI) / WLAI	

Es wurden Handmessgeräte bzw. manuelle Sensortechnik eingesetzt, um relevante pflanzenphysiologische Kennwerte zu erheben. Um eine gezielte Analyse der Vegetation unter optimalen Bedingungen zu ermöglichen und die Auswirkungen von Licht und Wärme auf die Pflanzenphysiologie sichtbar zu machen, wurde an sonnigen Tagen bei möglichst windstillen Verhältnissen gemessen.

Um eine zeiteffiziente Arbeitsweise sicherzustellen, wurden die Messkampagnen in Teamarbeit aus mind. zwei Personen durchgeführt. Dies ermöglichte nicht nur eine schnellere Datenerfassung, sondern erleichterte auch die Bedienung der Messgeräte, da bestimmte Messungen eine koordinierte und präzise Handhabung erfordern. Gleichzeitig kann dadurch die Genauigkeit der aufgezeichneten Daten erhöht und der Zeitaufwand für die Messkampagnen optimiert werden.

Tabelle 4 zeigt die Daten der jeweiligen Messkampagnen. An beiden Standorten wurden die Kampagnen im 2. Standjahr nach der Installation begonnen, am Standort SÖLL | TIROL war dies bereits 2023 sowie 2024. Die Messungen am Demostandort KREUZGASSE | WIEN konnten erst im letzten Projektjahr 2024 durchgeführt werden, da die Begrünung erst verspätet umgesetzt wurde. Die Entwicklung der Vegetation in der Anwuchsphase im 1. Standjahr war nach der Installation im Juni 2023 zu gering, um valide Daten zu erfassen.

Tabelle 4: Übersicht über die Mess- und Monitoringkampagnen an den Demo-Standorten SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN nach Datum.

Monitoring	Datum	SÖLL TIROL	KREUZGASSE WIEN
1	12/06/2023	X	
2	09/09/2023	X	
3	19/05/2024	X	
4	05/06/2024		X
5	12/07/2024	X	
6	15/07/2024		X
7	22/08/2024		X
8	25/08/2024	X	
9	25/09/2024		X
10	29/09/2024	X	

9.3.4 Deckungsgrad Zielfläche und projektiver Deckungsgrad

Die Berechnung des prozentualen Deckungsgrads (Deckungsgrad Zielfläche DG_{Ziel} bzw. projektiver Deckungsgrad DG_p in %) durch die Vegetation erfolgte mittels digitaler Bildanalyse. Mittels Digitalkamera wurden hochauflösende Bilder der Fassadenbegrünung aufgenommen. Die Bilder wurden in einem Bildbearbeitungsprogramm (z.B. Affinity Photo) in Binärbilder umgewandelt, wobei schwarze Pixel die von Vegetation bedeckte Fläche repräsentieren (Abbildung 20). Danach konnte die Fläche der Vegetation quantitativ in einer Bildanalyse-Software (Image J) ausgewertet werden. Die Methode bietet eine schnelle und präzise Möglichkeit, den flächenmäßigen Anteil der Vegetation in einer Flächeneinheit, z.B. $[m^2]$ oder Prozent [%] zu quantifizieren. Für die Bildauswertung ist es von entscheidender Bedeutung, eine Referenzgröße auf dem Bild festzulegen. Dies kann durch die genauen Abmessungen der Begrünung erfolgen oder, falls nur repräsentative Bereiche fotografiert werden können, durch die Verwendung eines Aufnahmegeräts mit bekannten Abmessungen, z.B. $0,5 m^2$ oder $1 m^2$. Um sicherzustellen, dass die Vegetation auf den Bildern klar und kontrastreich dargestellt ist, wurden die Fotos an Tagen mit diffusen Lichtverhältnissen aufgenommen. Dadurch kann eine präzise Fotoauswertung und eine genaue Bestimmung des Deckungsgrades gesichert werden.

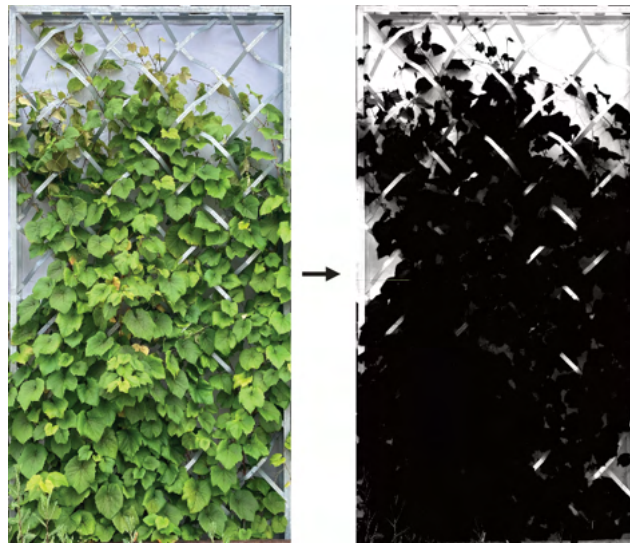


Abbildung 20: Mittels der digitalen Bildbearbeitungssoftware Affinity Photo (Serif, 2015) wurde ein kontrastreiches schwarzweiß Bild erstellt, um die bedeckten Pixel durch Vegetation hervorzuheben (aus Poiss et al. 2025b).

Zur Verbesserung des Kontrasts auf den Abbildungen wurde ein weißes Textil (Vlies 500 g/m²) an der Rückseite der Kletterhilfen befestigt (Abbildung 21). Eine Vereinheitlichung der Aufnahmedistanz (5 m) und Aufnahmehöhe (2 m) wurde mittels Stativs sichergestellt. Am Standort SÖLL | TIROL wurde der DG im Rahmen der Messkampagnen im 2. und 3. Standjahr erhoben.

Am Standort SÖLL | TIROL entspricht der DG_{Ziel} dem DG_p aufgrund der baulichen Gegebenheiten. Am Standort WIEN | KREUZGASSE unterscheidet sich der DG_{Ziel} vom DG_p insofern, als der Zieldeckungsgrad wesentlich höher reicht und aus messmethodischen Gründen der DG_p bis in eine Höhe von ca. 4m erhoben wurde.



Abbildung 21: Zur Verbesserung des Kontrasts der Begrünung auf den Fotos wurde ein weißes Vlies an der Rückseite der Kletterhilfen befestigt, hier veranschaulicht an MP4 (*V. coignetiae*). ©BOKU-IBLB, 2025.

9.3.5 Kubisches Pflanzenvolumen (V_{kub})

Das kubische Pflanzenvolumen [m^3] errechnet sich aus dem flächenmäßigen Deckungsgrad [m^2] und der Tiefe (cm) des Vegetationskörpers. Um einen repräsentativen Mittelwert zu erheben, ist es notwendig, mehrere Referenzpunkte für die Messungen festzulegen. Die Messungen wurden mit einem Zollstock an 5 repräsentativen Punkten pro Kletterhilfen-Modul der Begrünung durchgeführt. Dadurch konnte die Heterogenität der Vegetationsschicht berücksichtigt werden. Das ist deshalb von Bedeutung, weil die Vegetation in den meisten Fällen nicht homogen wächst und Unterschiede in der Artenzusammensetzung bestehen. Am Standort SÖLL wurden für jeden Segmentkörper (zwei Rahmen je Pflanzenart) neun Rastermesspunkte definiert. Einzelne auskragende Triebe wurden bei den Messungen nicht berücksichtigt.

9.3.6 Wand-Blattflächenindex (WLAI)

Der Blattflächenindex (Leaf Area Index - LAI) ist eine dimensionslose Größe, die das Verhältnis der Blattfläche einer Pflanze zur Bodenfläche angibt ($\text{LAI} = \text{Blattfläche} / \text{Boden- oder Grundfläche}$, m^2 / m^2 ; im Falle von Vertikalbegrünungen ist das z.B. die vertikale Wandfläche (daraus ergibt sich der Wand-Blattflächenindex WLAI), wobei der Wert zwischen 0 und 10 liegt und im Wesentlichen von der Typologie und der Wachstumsphase der Pflanze beeinflusst wird (WATSON, 1947). Ein höherer LAI als 1 bedeutet, dass mehr Blattfläche als Grundfläche vorhanden ist, was einerseits ein wichtiger Indikator für die Blattmasse und damit verbunden Photosyntheseleistung ist und gleichzeitig Einfluss auf den Grad der Transmission bzw. Lichtabsorption hat (de Bock et al. 2023). Ist es aus konstruktionsbedingten Umständen nicht möglich, die gesamte Fassadenbegrünung zu erfassen, müssen Messungen an mehreren repräsentativen Bereichen der Fassadenbegrünung durchgeführt werden. Die Messungen an den Demo-Standorten erfolgten im Rahmen der Messkampagnen. In Abbildung 22 und Abbildung 23 sind die Messvorgänge an den beiden Demostandorten grafisch dargestellt.

Bei der Applikation des LAI in der Vertikalen wird von einem Wall Leaf Area Index (WLAI) gesprochen (Koch et al. 2023). In weiterer Folge wird im Zuge dieses Dokuments der Blattflächenindex als WLAI – Wall Leaf Area Index bezeichnet.

Manuelles Messinstrument: AccuPAR LP-80 Ceptometer, Meter Group, Inc. USA 2365 NE Hopkins Court, Pullman, WA 99163 – USA.

Messvorgang SÖLL | TIROL:

- ✓ AccuPAR-Messungen, d.h. drei Messpunkte auf drei Höhen (100 cm, 200 cm, 300 cm) je Kletterhilfenelement (2,4 x 4,5 m); das Messinstrument AccuPAR LP80 zeichnet 8 Messungen entlang der Messlanze auf, das ergibt 72 Messwerte pro Pflanze bzw. Kletterhilfenelement [$n=72$] (Abbildung 8);
- ✓ Abstand Instrument Begrünung: ca. 50 cm;

- ✓ Sensorkopfausrichtung zur Vegetation hin – Referenzsensor in Fassadenexposition;
- ✓ Messgerät so positionieren, dass Interferenzen durch Lichtquellen außerhalb des Pflanzenbestands weitgehend vermieden werden.



Abbildung 22: Schema der Messungen mit dem AccuPAR LP-80 je Messpunkt am Standort SÖLL | TIROL. Die Messung mit dem Ceptometer erfolgte an 9 Punkten hinter der Vegetation, der Referenzsensor wurde vor seitlich vor der Vegetation in 2m Höhe für alle Messungen gehalten (aus Poiss et al. 2025).

Messvorgang KREUZGASSE | WIEN:

- ✓ 6 Einzelmessungen pro Trog auf 3 Höhen (100cm, 200cm, 300cm), das Messinstrument AccuPAR LP80 zeichnet 8 Messungen entlang der Messlanze auf, das ergibt 24 Messwerte pro Trog [$n=24$];
- ✓ Abstand Instrument zur Begrünung ca. 50cm
- ✓ Sensorkopfausrichtung zur Vegetation hin – Referenzsensor in Fassadenexposition
- ✓ Messgerät so positionieren, dass Interferenzen durch Lichtquellen außerhalb des Pflanzenbestands weitgehend vermieden werden.

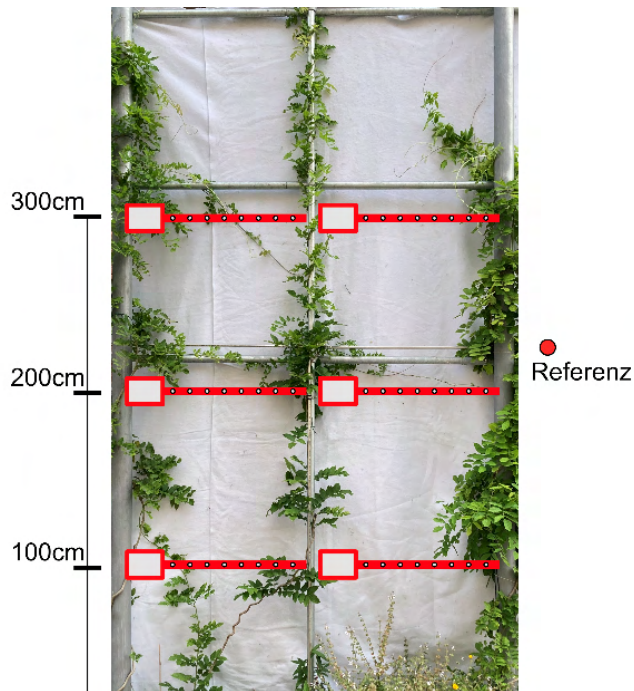


Abbildung 23: Schema der Messungen mit dem AccuPAR LP-80 je Messpunkt am Standort KREUZGASSE | WIEN WIEN. Die Messung mit dem Ceptometer erfolgte an 6 Punkten hinter der Vegetation, der Referenzsensor wurde vor seitlich vor der Vegetation in 2m Höhe für alle Messungen gehalten. ©BOKU-IBLB, 2025.

Die Methode zielt darauf ab, den Einfluss der Vegetation der Vertikalbegrünung auf die Transmission der photosynthetisch aktiven Sonnenstrahlung (PAR) zu bestimmen. Die Ziele und Vorteile der Methode umfassen:

- Quantitative Bewertung der Blattfläche pro Grund- bzw. Wandeneinheit und somit Einblicke in die Vegetationsdichte und -entwicklung;
- Erhebung saisonaler Variation durch Messungen in verschiedenen Jahreszeiten (Frühling, Sommer, Herbst, Winter);
- Erhebung des LAI unbelaubten Zustand ermöglicht eine umfassende Beurteilung des Lichteinfalls z.B. auch in den Wintermonaten;
- Erfassung der Auswirkungen von Gehölz- und Kletterhilfenstrukturen auf die Transmission. Besonders dichte Pflanzenabstände und enge Kletterstrukturen können den Lichteinfall erheblich beeinträchtigen – Einfluss auf die Transmission.

Aus diesem Grund ist auch von einem "Pflanzenflächenindex" (PAI) zu sprechen, da dieser im Vergleich zum LAI die Gesamtoberfläche der Pflanze, einschließlich der verholzten Strukturen, berücksichtigt und ein umfassenderes Maß für die Ermittlung der Beschattung durch Kletterpflanzen vor allem im saisonalen Verlauf bietet (Pérez et al. 2022). Wie schon erwähnt wird im Zuge dieses Dokuments vom WLAI gesprochen.

9.3.7 Stomatäre Leitfähigkeit (g_s)

Die stomatäre Leitfähigkeit g_s [$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] ist eine Größe für den Grad der Öffnung der Spaltöffnungen (Stomata) an den Blättern zur Schätzung des Gasaustauschs und der

Transpiration bzw. Wasserverlust in Form von Wasserdampf. Damit können Rückschlüsse auf potenziellen Stress der Pflanzen gezogen werden. Eine Reduktion der g_s ist eine typische Stressreaktion von Pflanzen, da ihre Stomata schließen, um den Wasserverlust durch Transpiration zu minimieren. Dieser Vorgang verringert jedoch auch den Gasaustausch und kann die Photosynthese beeinträchtigen (Farquhar et Sharkey 1982; Damour et al. 2010). Eine systematische Überwachung der stomatären Leitfähigkeit kann daher als Indikator für die Photosynthese- und Transpirationsleistung genauso wie Stress der Pflanze dienen und bei der Anpassung der Bewässerungs- oder Pflegemaßnahmen helfen. Die Messungen müssen an sonnigen, wolkenfreien Tagen während direkter Sonneneinstrahlung auf das Blattwerk durchgeführt werden, wobei der zeitliche Abstand zwischen den Einzelmessungen so kurz wie möglich gehalten werden soll.

Bei allen g_s -Messungen wurden folgende diese grundlegenden Punkte beachtet:

- kein Blatt doppelt/ mehrfach gemessen;
- Messhöhe: in vergleichbaren Bereichen (Hüfthöhe, Brusthöhe und Kopfhöhe);
- Pflanzen mit Fiederblättern: nicht am Endfieder (vorderstes Blatt am Blattstiel) sondern am zweiten oder dritten Blatt messen;
- Messungen direkt an Blattnerven vermeiden.

Manuelles Messinstrument: AP4 Leaf-Porometer, Delta-T Devices Ltd, 130 Low Road, Burwell, Cambridge, CB25 0EJ, UK

Messvorgang SÖLL | TIROL:

- Messzeitpunkt: Süd-Ost Fassade 09:00, Nord-West Fassade 15:00;
- 3 Blätter pro Pflanze (vital, voll entwickelt, sauber, trocken), 6 Pflanzen pro Art [$n=18$];

Messvorgang KREUZGASSE | WIEN:

- Messzeitpunkte: 09:30 und 11:30
- 3 Blätter pro Pflanze (vital, voll entwickelt, sauber, trocken), 8 Pflanzen [$n=24$];

Die Messungen (Abbildung 24) werden an sonnigen, wolkenfreien Tagen während direkter Sonneneinstrahlung auf das Blattwerk durchgeführt, wobei der zeitliche Abstand zwischen den Einzelmessungen so kurz wie möglich gehalten wurde. Die genaue Durchführung des Messvorgangs muss dem verwendeten Gerät entsprechen und der Bedienungsanleitung entnommen werden (Delta-T Devices 2020).



Abbildung 24: Messung der stomatären Leitfähigkeit (*stomatal conductance* g_s) an *W. sinensis* mit AP4 Porometer, Standort SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

9.3.8 Grünverschattungsfaktor (F_{bs})

Die Transmission gibt den Anteil der solaren Strahlung an, der das Begrünungssystem durchdringt und somit die Gebäudefassade erreichen kann. Zur Quantifizierung der Beschattungsleistung wurde ein Grünverschattungsfaktor (F_{bs} ; *Bioshading coefficient*) für pflanzenbasierte Beschattungselemente ermittelt in Anlehnung an den mittleren Durchlassfaktor (b-Faktor) für Verglasungen. Der b-Faktor steht für die Effektivität von Verglasungen bezüglich ihres Schutzes von Innenräumen. Der b-Faktor wird zur Klassifizierung von Isolierglas eingesetzt als Maß für deren Sonnenschutzwirkung und errechnet sich aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) im Verhältnis zum g-Wert einer 3 mm-Isolierglasscheibe ohne Beschichtung, der mit 87 % angenommen wird (Austrian Standards 2011 EN410, VDI 2015). In Tabelle 5 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind relevante Begriffe zur Verschattung im Gebäudekontext gesammelt dargestellt und differenzierbar (Tabelle 5)

Tabelle 5: Begriffsabgrenzung relevanter Begriffe für die Verschattung: Abminderungsfaktor, Gesamtenergiedurchlassgrad, Wärmedurchgangskoeffizient, Shading Coefficient, Grünverschattungsfaktor.

Bezeichnung und Quelle	Abkürzung	Beschreibung	Einheit
Abminderungsfaktor (nicht mehr in Verwendung!) ÖNORM B 8110-3:2020	Fc	Wird als das Verhältnis des Gesamtenergiedurchlassgrads der Kombination aus Sonnenschutz und Verglasung zum Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung berechnet	Dimensionslos [0 – 1]

Gesamtenergiedurchlassgrad ÖNORM EN 14501:2021	g-Wert	Gibt an, wieviel der solaren Wärmeenergie durch eine Verglasung in den Innenraum gelangt und bezieht dabei die direkte und sekundäre Wärmeübertragung mit ein.	dimensionslos [0 – 1]
Wärmedurchgangskoeffizient ÖNORM EN 674:2011	U-Wert	Der U-Wert beschreibt die Menge an Wärme, die pro Quadratmeter und Kelvin Temperaturdifferenz durch eine Verglasung hindurchgehen.	[W/(m²·K)]
<i>Shading Coefficient</i> mittlerer Durchlassgrad ÖNORM EN 410:2011 Pacheco et al. 2012	b-Faktor	Verhältnis des Durchgangs der solaren Strahlung durch ein Verglasungssystem relativ zu dem von 3 mm dickem Float-Glas	dimensionslos [0 – 1]
<i>Bioshading coefficient</i> Grünverschattungsfaktor ÖNORM EN 14500:2021 (Ip et al. 2010; Zheng et al. 2020)	F _{bs} /BSC	Verhältnis der solaren Strahlung hinter dem vegetativen Verschattungselement zur solaren Strahlung davor; entspricht der Gesamttransmission solarer Strahlung	dimensionslos [0 – 1]

Für Begrünungen wurde der allgemein anerkannte Beschattungskoeffizient adaptiert und ergibt sich aus dem Verhältnis der eintreffenden Strahlung hinter der Pflanzenstruktur und vor der Pflanzenstruktur wie in der Formel 1 angegeben (Convertino et al. 2021, Zheng et al. 2020, David et al. 2011, Ip et al. 2010, Wong et al. 2009).

$$F_{bs} = \frac{\text{solarer Strahlungseintrag hinter dem Begrünungssystem}}{\text{solarer Strahlungseintrag vor dem Begrünungssystem}} \quad \text{Formel 1}$$

Der F_{bs} ist ein geeigneter Indikator für die Wirkung der Vertikalstruktur als Sonnenschutz gegenüber einer Situation ohne Pflanzenschutz. Je kleiner der Grünverschattungsfaktor ist, desto geringer die Transmission und desto mehr Solarstrahlung kann durch die Begrünung abgefangen werden (Pérez et al. 2017). Bei David et al. (2011) wird die Formel für die Quantifizierung der Verschattungsleistung durch bautechnische Elemente, wie Vorsprünge oder Lamellen angewandt.

Dieser Vergleich ermöglicht eine Bewertung der relativen Wirksamkeit der Fassadenbegrünung im Vergleich zu den herkömmlichen technischen Schattierungs-lösungen

hinsichtlich ihrer Fähigkeit, solare Wärmegewinne zu reduzieren und den thermischen Komfort im Gebäude zu verbessern.

9.3.9 Statistische Auswertungen (Spearman-Rho-Korrelation)

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Wall Leaf Area Index (WLAI), dem Deckungsgrad (DG_{Ziel}) und dem Grünverschattungsfaktor (F_{bs}) wurde die bivariate Spearman-Rho-Korrelation berechnet. Diese Methode wurde gewählt, da die Daten des Deckungsgrades und Grünverschattungsfaktors auf einer Ordinalskala interpretiert werden können. Die Berechnung erfolgte mithilfe der Statistiksoftware SPSS (IBM Corp., 2021), wobei für alle Analysen ein zweiseitiges Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ zugrunde gelegt wurde. Anschließend wurde ein Streudiagramm mit linearen Trendlinien aus denselben Datensätzen erstellt, um die Zusammenhänge grafisch darzustellen.

10 Methodisches Vorgehen zur Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie

In AP 6 wurden die Wahrnehmung und Akzeptanz von Fassadenbegrünung an Glasfassaden an den beiden Demo-Objekten, eine Supermarktfiliale am Dorfrand von SÖLL | TIROL und einem gewerblich genutzten Gebäude im dicht verbauten, urbanen Bereich der KREUZGASSE | WIEN erkundet. Forschungsleitend waren bei den Befragungen von Kund*innen und Passant*innen neben dem Unterschied zwischen rurem und urbanem Umfeld auch sozio-ökonomische Differenzen, um zu prüfen, inwieweit Geschlecht, Alter, Bildung und Haushaltsgröße bei Wahrnehmung und Akzeptanz eine Rolle spielen.

10.1 Literaturrecherche

Eine erste Literaturrecherche startete beim Antragsschreiben und wurde mit Projektstart fortgeführt. Es wurden aktuelle Beiträge zu den Themen Fassadenbegrünung, Wahrnehmung und Akzeptanz von grüner Infrastruktur recherchiert.

Verschiedene Studien belegen die positive Wirkung von begrüntem Umfeld auf die Menschen (Başdoğan et Çiğ 2016, Bringslimark et al. 2009, Lohr 2007, Fjeld 2000, Ulrich et al. 1991). Grüne Freiräume und Gärten haben demnach nachweislich therapeutische Wirkungen bzw. die Pflanzen-Menschen-Interaktion übt regulierende Funktionen zur Reduktion von Stress, Ängsten, Wut, Blutdruck, Muskelspannung u.a.m. aus. Vertikale Gärten werden zunehmend als wichtige, natürliche Strukturen aufgefasst, die meditativen Charakter haben und die Gemütslage von Menschen positiv beeinflussen können. Auch gibt es Hinweise auf den Benefit von Gärten und Pflanzen am Arbeitsplatz und in Schulen, wodurch die Abwesenheiten und Stresslevel reduziert bzw. Produktivität erhöht wurden (Fjeld 2000).

Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünungen sind wenig empirische Arbeiten verfügbar. Wir bauen vor allem auf zwei Arbeiten mit Befragungen in Köln und Genua auf (Schlößer 2003, Magliocco 2015). Am BOKU-IBLB wurde auch eine Masterarbeit über Wahrnehmungen zum Einfluss von Vertikalbegrünungen im Städtischen Raum betreut (Pichl 2021), welche aufschlussreiche Erkenntnisse aufzeigte. Neben den positiven Empfindungen bezüglich der Optikverbesserung herrschte weitläufig Konsens über die vorteilhaften Wirkungen bei urbaner Hitze, Luftqualität und gegen Verkehrslärm in unmittelbarer Nähe im Außenraum als auch im Gebäudeinneren. Dies führt offenbar auch zur Erhöhung der Wohnzufriedenheit. Radić et al. (2019) heben die ambivalente Auffassung der Bürger*innen hervor, die einerseits von positiven Auswirkungen auf Umwelt und das Wohlbefinden und gleichzeitig von Unsicherheiten wie „teuer und problematisch“ geprägt ist (Magliocco 2015, p. 906).

Bisherige Untersuchungen zeigen Unterschiede in der Wahrnehmung der Bevölkerung eher nach Alter als nach Geschlecht. Bei der Kölner Bevölkerung „[...] konnte in der Tendenz bestätigt werden, dass die negative Einschätzung begrünter Fassaden mit zunehmendem Alter zunimmt, zwischen Männern und Frauen aber keine signifikanten Bewertungsunterschiede bestehen.“ (Schlößer 2003: 155).

Arbeiten zur Wahrnehmung von Fassadenbegrünung in der Bevölkerung verweisen auf die Notwendigkeit der frühzeitigen Einbindung von Personen, die positive oder negative Wirkungen der Fassadenbegrünung spüren und bewerten könnten. Die Akzeptanz von Begrünungsmaßnahmen muss vorrangig bei Bauherr*innen, Finanziers, Planer*innen und Architekt*innen erfragt werden. Schmauck (2019) weist weiters darauf hin, dass parallel zur Begrünungsumsetzung durchgeführte Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit einen Beitrag zur Sensibilisierung der Bevölkerung leisten. Im vorliegenden Projekt werden daher Kommunikationsmittel gesucht, die für Kund*innen und Mitarbeiter*innen geeignet und interessant sind.

10.2 Befragungen bei den Demo-Objekten

10.2.1 Befragung in 2 Phasen

Die Problemwahrnehmung von Glasfassaden und die Wahrnehmung und Akzeptanz von begrünten Glasfassaden wurden bei Mitarbeiter*innen und Kund*innen der beiden Demo-Objekte in SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN in zwei Phasen erhoben.

Der Anteil von weiblichen Beschäftigten im Einzelhandel beträgt über 71 %. Diese Frauen verrichten tendenziell mehr gering oder mittel qualifizierte Arbeiten, etwa im Verkauf oder an der Kassa (WKO 2025). Von den Auswirkungen der Glasfassaden bzw. deren Begrünung sind daher in einem großen Ausmaß weibliche Beschäftigte in Supermärkten betroffen.

Frauen waren nach traditioneller geschlechtlicher Arbeitsteilung lange für den Familieneinkauf von Lebensmitteln zuständig. Auch wenn sich Rollenänderungen abzeichnen, rechnen wir mit einer Mehrheit an weiblichen Konsumentinnen in den ausgewählten Supermärkten. Diese beiden Faktoren führen also in der Erwartung zu einem stark erhöhten Frauenanteil bei den zu Befragenden. Dadurch wurden in GLASGrün auf inhaltlicher Ebene auch geschlechtsspezifische Fragenstellungen konkret adressiert.

Für die erhobenen Ergebnisse wurden die Daten der zwei Befragungsphasen herangezogen. Die Aufteilung in zwei Befragungsphasen ermöglicht einen Vergleich zwischen der Wahrnehmung einer imaginären Begrünung und der einer tatsächlichen Fassadenbegrünung. 2022 wurden 66 gültige Fragebögen für SÖLL | TIROL und 88 für die KREUZGASSE | WIEN gezählt. In der zweiten Phase 2024 konnten für beide Standorte jeweils 80 gültige Antworten erhoben werden.

Die erste Phase diente zur Erhebung von Problemwahrnehmung und Akzeptanz möglicher Begrünungsmaßnahmen und fand in der KREUZGASSE | WIEN im Zeitraum vom 18.05.2022

bis 21.05.2022, und in SÖLL | TIROL am 16.05.2022 statt. Die Ergebnisse der ersten Befragungsphase wurden in die Planungen der Begrünungsvarianten im Projekt integriert. Die Phase nach erfolgreicher Umsetzung der Begrünungsmaßnahmen wurde 2 Jahre später am 09.07.2024 und 11.07.2024 in der KREUZGASSE | WIEN und am 20.06.2024 in SÖLL | TIROL durchgeführt, nachdem die Begrünungsanlage installiert war, die Pflanzen bereits an Wachstum zugelegt hatten und bis zu einem gewissen Grad von innerhalb und außerhalb des Gebäudes sichtbar waren. Bei den Durchführungen der zwei Befragungsphasen wurde darauf geachtet, sowohl vormittags als auch nachmittags Personen zu befragen.

Der bei den Umfragen genutzte Fragebogen wurde im Rahmen der Lehrveranstaltung „Interdisziplinäre Projekte“ von Studierenden aus dem Bachelorstudienlehrgang „Umwelt- und Bioressourcenmanagement“ unter Anleitung der Lehrenden entwickelt. Er umfasst 2 Seiten und beinhaltet 2 Bilder, 16 Fragen zu Fassadenbegrünung, nachhaltiger Entwicklung und persönlichen Vorlieben sowie 8 Fragen zu demografischen Merkmalen der befragten Personen. Nach einer offenen Einstiegsfrage setzt sich der Fragebogen aus einer Mischung von offenen Fragen, Multiple-Choice-Fragen und einer Likert-Skala zur Bewertung von Aussagen aus früheren Studien (Schlößler 2003) zusammen. Der Fragebogen wurde sowohl für Mitarbeiter*innen und Passant*innen in der KREUZGASSE | WIEN als auch für die Kund*innen und Mitarbeiter*innen des Supermarkts SÖLL | TIROL genutzt. Dabei unterscheiden sich diese nur anhand der unterschiedlichen Bilder der Standorte ohne und mit potenzieller Begrünung. Der Fragebogen für die Mitarbeiter*innen hatte die gleiche Struktur, wobei die Fragen an die spezifische Rolle der an den Standorten arbeitenden Personen angepasst wurden, was zu Daten aus 5 Fragebögen in WIEN und 10 Fragebögen in SÖLL führte. Für die zweite Befragungsphase wurde der Fragebogen nochmals sprachlich an die neue Situation mit einer bereits bepflanzte Glasfassade adaptiert.

Die Befragungen wurden in beiden Phasen von Studierenden vor Ort durchgeführt und vorab mit den verantwortlichen Personen der beiden Standorte abgesprochen. Die Studierenden platzierten sich mit einem Tisch vor den jeweiligen zu begrünenden bzw. bereits begrünten Glasfassaden und führten die Befragung analog mit ausgedruckten Fragebögen oder online via QR-Code mit den Passant*innen in WIEN und TIROL und Kund*innen des Supermarkts in TIROL durch. Für die Online-Befragungen via QR-Code wurde LimeSurvey Version 6.5.3+240415 verwendet, während die Daten der analogen Fragebögen nachträglich in das Tool eingetragen wurden.

Aufgrund der unterschiedlichen Befragungsuhrzeiten kommt es zu Verzerrungen in der demografischen Verteilung der befragten Menge. So sind Befragungen am Vormittag meist dominiert von Personen in einer höheren Altersgruppe (50 – 59; >60), während nachmittags und frühabends die Anzahl der Personen mit Anstellung und auch aus den niedrigeren Altersgruppen höher ist. Aufgrund von zeitlich begrenzten Kapazitäten und Budgetkürzungen der Fördergeberin für die Wahrnehmungsstudie konnte die Umfrage nicht an allen Wochentagen durchgeführt werden, wodurch Passant*innen und Kund*innen am Wochenende nur bei einer Umfrage in WIEN abgedeckt wurden. Weiters hat auch die Wettersituation Einfluss auf die Ergebnisse. Vor allem bei der zweiten Befragungsphase

fanden aufgrund der hohen Temperaturen die Befragungen teils im Schatten und nicht direkt vor der bereits installierten Fassadenbegrünung statt, welches die Wahrnehmung der begrünten Glasfassaden und ihre Auswirkungen beeinträchtigen kann.

Die mit analog ausgefüllten Fragebögen erhobenen Daten wurden nach Abschluss der Befragungsphasen nachträglich in LimeSurvey eingetragen und anschließend in Excel importiert, um eine strukturierte und übersichtliche Auswertung zu ermöglichen. Für die deskriptive Analyse wurde die Häufigkeit von sowohl vorgegebenen Antwortmöglichkeiten als auch geclusterte offene Antworten in Pivot-Tabellen strukturiert, um eine detaillierte Untersuchung der Häufigkeiten und prozentualen Verteilungen zu ermöglichen. Weiters wurden Kreuztabelle eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Fragen zu analysieren. Dadurch konnten spezifische Muster und Korrelationen identifiziert werden, die für die Interpretation der Ergebnisse von besonderer Bedeutung sind. Die Ergebnisse wurden anschließend visualisiert, um Unterschiede zwischen den beiden Befragungsphasen hervorzuheben.

10.2.2 Befragungen beim Demo-Objekt SÖLL | TIROL

Die Wahrnehmung und Akzeptanz von Begrünungselementen an Glasfassaden wurde bei Kund*innen jeweils vor und nach der Begrünungsmaßnahme erfragt. Mit MPREIS als Projektpartner wurde das Vorgehen bei der Befragung und das Erhebungsinteresse geklärt. Mithilfe der Gebietsbetreuerin und der Filialleitung wurden die Erhebungen vor Ort durch Teams von BOKU-Studierenden durchgeführt. Die Mitarbeiter*innen wurden zu Beginn der Maßnahmen befragt.

Eine erste Umfrage wurde vor Start der Umbauten zur Fassadenbegrünung durchgeführt. Dafür wurde ein Fragebogen mit 16 inhaltlichen und 8 demografischen Fragen erstellt, der vor Ort und online beantwortet werden konnte. Gemeinsam mit einem Team von Studierenden der BOKU WIEN wurden Passant*innen vor der Filiale und Mitarbeiter*innen im Mai 2022 befragt. Die Daten von 66 Passant*innenfragebögen und 10 Mitarbeiter*innenfragebögen standen daher zum Vergleich mit einem urbanen Demo-Objekt und zum späteren Vergleich mit einer Umfrage nach erfolgreicher Installation der Begrünungselement zur Verfügung.

10.2.3 Befragungen beim Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN

Beim gewerblichen, als Büro genutztem Objekt von Projektpartner TB Obkircher OG in der KREUZGASSE | WIEN wurde ebenso jeweils eine Straßenbefragung von Passant*innen vor und nach Beginn der Begrünungsmaßnahmen durchgeführt und die Mitarbeiter*innen des Objektes zu Beginn befragt. Damit ist die Möglichkeit gegeben, Daten von ruralen und urbanen Standorten zu vergleichen.

11 Methodisches Vorgehen zur Kosten-Nutzen-Einschätzung

11.1 Literaturrecherche

Für die Evaluierung einer Methode zur Erstellung der Kosten-Nutzen-Einschätzung der umgesetzten GLASGrün Systeme wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurden diverse Ansätze, die zur Auswertung von Aufwendungen und der Gegenüberstellung mit messbarem und monetär bewertbarem Nutzen betrachtet. Die Bestrebung war es, eine Einschätzung darzulegen, die eine Gegenüberstellung von Kosten und den direkten und indirekten Nutzen erlaubt. Die klassische Kosten-Nutzen-Analyse zur ökonomischen Bewertung erweist sich als unzureichendes Modell, um den gesamten Wert einer Vertikalbegrünung über ihren Lebenszyklus hinweg angemessen abzubilden (Perini et Rosasco 2013). Dies liegt insbesondere daran, dass die in einer rein monetären Betrachtung enthaltenen Parameter nicht ausreichen, um die vielfältigen, teils nicht messbaren und mit Kenngrößen hinterlegbaren Wirkungen zu erfassen.

Eine Kosten-Nutzen-Bilanz berücksichtigt in erster Linie direkt messbare Werte wie Errichtungs-, Pflege- und Betriebskosten und ökonomische Vorteile wie die Wertsteigerung von Gebäuden und Energiebedarfseinsparungen und dient als Entscheidungshilfe. Indirekte Effekte, etwa die auf das Mikroklima, die soziale Interaktion oder die ästhetische Aufwertung des städtischen Umfelds, sind hingegen kaum oder nur unzureichend quantifizierbar. Dies führt dazu, dass wesentliche Vorteile wie die Verbesserung der Luftqualität, die Erhöhung der Aufenthaltsqualität, psychologisches Wohlbefinden von Nutzer*innen oder die Verbesserung des lokalen Mikroklimas nicht angemessen in die Berechnung einfließen. Faktoren wie die subjektive Wahrnehmung oder die Verbesserung der Standortqualität durch Begrünungen lassen sich nicht ohne Weiteres durch standardisierte, finanzielle Kenngrößen ausdrücken (Perini et Rosasco 2013; Hollands et Korjenic 2019).

Einen Überblick über diverse quantitative Bewertungsmodelle für Ökosysteme bieten die Ergebnisse des europäischen Forschungsprojektes Invest4nature (Lozano et al. 2023) sowie bereits auch die Studie von Stangl et al. (2019) zu Urbane GmbH.

Ebenso wurde im Positionspapier von GRÜNSTATTTGRAU und IG Lebenszyklus (2023) *“Positionspapier für mehrwertorientierte Dachflächennutzung im Bestand und Neubau”* die Bewertung der CO₂-Emissionen und -Einsparungen verschiedener Dachnutzungsarten gegenübergestellt. Neben einer symbiotischen Beziehung wie u.a. Solargründächer, kann der direkte Vergleich hinsichtlich CO₂ Emissionen Einsparungen nicht gezogen werden, da einige positive Auswirkungen auf das Mikroklima, die Biodiversität und die Lebensqualität in urbanen Räumen nicht bewertbar sind.

Vorgestellt wird in diesem Projekt unter anderem ebenfalls die kostenbasierte Methode, bei der als Nachteil ebenfalls das Exkludieren der *non-market values* und nicht materieller Nutzen angeführt wird. *Revealed-Preference*-Methoden nutzen die Beobachtung von Marktverhalten (*willingness to pay*) und Nutzenabwägungen, um Präferenzen für Ökosystemleistungen wie Landschaftsattraktivität und Erholungswert zu evaluieren. Jedoch schränken Marktverzerrungen und schwer zugängliche Daten die Erhebungen ein (Hanley et al. 2001). Die *Value-Transfer*-Methode bedient sich an existierenden ökonomischen Bewertungen und überträgt deren Ergebnisse auf neue Kontexte, um Werte für naturbasierte Lösungen abzuleiten. Dieser pragmatische Ansatz dient als Entscheidungshilfe, kann jedoch bei der Übertragung durch kontextbedingte Unterschiede Ungenauigkeiten aufweisen (Quintas-Soriano et al. 2016).

Als qualitative Evaluierungsmethode dienen partizipative Ansätze mittels Expert*innengruppen, Jurys oder Umfragen, welche eine umfassende Erhebung von sozialen, ökologischen und ökonomischen Aspekten erlauben, jedoch stark subjektiv geprägt sind. Entsprechend der Ziele und des Umfangs des Vorhabens, den vorhandenen Daten, deren Zugänglichkeit und Qualität der zu bewertenden grünen Infrastruktur kann die passende Methode oder eine Kombination aus Methoden zur Evaluierung entwickelt werden (Lozano et al. 2023)

Die durchgeführte Analyse verbreiteter ökonomischer Bewertungsansätze ergab, dass die Einschränkungen der Methoden für einen quantitativen Vergleich keine ganzheitlichen Analysen von der Fertigung bis zum Abbruch von Vertikalbegrünungen darlegen können und ein verfälschtes Bild ergeben, das die umfangreiche Wirkmächtigkeit einer Begrünung nicht abbilden kann. Weiters konnten aufgrund von Umschichtungen der Prioritäten und des Budgets durch die Fördergeberin bzw. von Änderungen bezüglich der Umsetzungsstandorte die Quantifizierung sozialer und ökonomischer Kenngrößen nicht in ausreichender Tiefe bearbeitet werden, um zum Beispiel die *Value-Transfer*-Methode anzuwenden. Die Ergebnisse wären v.a. aufgrund fehlender Vergleichsdaten der Ausgangssituation und Verzerrungen durch weitere Einflussfaktoren nicht valide, wie Hanley et al. (2001) bestätigen. Daher werden zur Auseinandersetzung mit den GLASGrün-Demonstrationen die Umsetzungskosten tabellarisch dokumentiert und der Nutzen qualitativ beschrieben und mit Daten aus den im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Monitorings, Simulationen und Befragungen belegt oder anhand Literatur untermauert. Der Ansatz der *Value-Transfer* Methode wird zum Beispiel angewendet, um die Einsparung des Kühlbedarfs monetär darzustellen. Damit lassen sich eine Kosten-Nutzen-Bewertung der GLASGrün-Systeme darstellen. Bei den angegebenen und berechneten Werten handelt es sich um objektspezifische Daten und Aussagen, die sich nicht auf andere Projekte übertragen lassen.

11.2 Festlegung des Betrachtungszeitraums

Die Einschätzung wurde mittels objekt- und standortspezifischer Daten der GLASGrün-Umsetzungen an den Standorten SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN durchgeführt. Es wurde ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren herangezogen, da dies der aktuellen durchschnittlichen Nutzungsdauer von Lebensmittelmärkten entspricht (Pala 2020). Die in der Bestandserhebung von Pala (2020) angenommene Nutzungsdauer berücksichtigt Umbau- und Modernisierungsmaßnahmen und gilt nicht nur für die ursprüngliche Bausubstanz.

11.3 Diskontierung

Für die Diskontierung jährlich anfallender, konstanter Kosten über die 30 Jahre mit einer angenommenen jährlichen Inflationsrate von 2,5 % (Stampfl 2024) wurde die Methode des zukünftigen Werts einer annuitätenartigen Zahlung angewandt (Kruschwitz et Husmann 2019). Hierbei wird davon ausgegangen, dass die jährlichen Kosten nominal konstant bleiben und mit einer Inflationsrate von 2,5 % pro Jahr verzinst werden. Nach Ablauf von 30 Jahren liegt ein kumulierter Endbetrag vor. Die mathematische Grundlage bildet die Formel für den zukünftigen Wert (*Future Value*) einer Rente, die in der deutschsprachigen Literatur häufig als Endwert einer Rente bezeichnet wird (Pfeifer 2015). Dieser ergibt sich, indem die Anfangsjahreskosten zum Ausgangszeitpunkt mit dem Faktor multipliziert werden:

$$\text{Zukünftiger Wert} = K \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad \text{Formel 2}$$

K = jährliche Pflegekosten

r = jährliche Inflationsrate (2,5 % = 0,025)

n = Anzahl der Jahre (30)

Berechnung des Faktors:

$$\frac{(1 + 0,025)^{30} - 1}{0,025} = \frac{(1,025)^{30} - 1}{0,025}$$

$$(1,025)^{30} \approx 2,097$$

$$\frac{2,097 - 1}{0,025} = \frac{1,097}{0,025} = 43,88$$

Formel 3

Das Resultat gibt an, wie hoch die gesamten, jährlich konstanten Kosten in 30 Jahren zu Buche schlagen, wenn sie jährlich „aufgezinst“ und als Summe am Ende der Laufzeit

ausgewiesen werden. Auf diese Weise wird transparent, welcher nominale Gesamtbetrag, inklusive der angenommenen Inflationswirkung von 2,5 % pro Jahr, am Ende des Betrachtungszeitraums zum Beispiel für die Pflege- und Wartungskosten anfällt. Die Annahme konstanter Jahresbeträge ist eine vereinfachte Form der Kapitalwertberechnung, wobei keine Änderungen der Instandhaltungsintervalle, Ersatzinvestitionen realistisch abgebildet werden. Da an den GLASGrün-Standorten keine Abweichung der Pflegeintervalle geplant ist und davon ausgegangen wird, dass die Nutzungsdauer der eingesetzten Kletterhilfen aus Stahl im Betrachtungszeitraum nicht ersetzt werden, ist diese Berechnungsmethode plausibel anwendbar.

12 Ergebnisse

12.1 Umsetzung der GLASGrün-Systeme

Umgesetzt wurden 2 Vertikalsysteme zur Bestandsergänzung mit 176 m² Zielfläche Begrünung in SÖLL | TIROL und 77,5 m² in der KREUZGASSE | WIEN. Spezifikationen werden in den nachfolgenden Tabellen und Abbildungen dargelegt.

12.1.1 Demo-Objekt SÖLL | TIROL

Tabelle 6: Hardfacts zum Demo-Objekt SÖLL | TIROL.

Hardfacts	
Standort	6306 SÖLL, Dorf 140
Architektur	RATAPLAN
Pflanzkonzept	BOKU IBLB
Organisation Eigentümer	MPREIS Baguette
Planung	08.2021 bis 05.2022
Fertigstellung	07.2022
Begrünte Glasflächen (Größe Zielflächen)	176 m ² SO-Seite 88 m ² (4x22m ² RATARaster (2,2m(B) x 5m(H)), NW-Seite 88 m ² (6x11m ² Baustahlgitter (2m(B) x 5,5m(H), 2x11m ² RATA Raster (2,2m(B) x 5m(H))
Gesamtkosten Kosten je m ²	€ 72 905 € 414 ohne Planung
Kosten Kletterhilfe RATA Raster	€ 272
Sonderanfertigung je m ²	
Kosten Baustahlgitter je m ²	€ 199

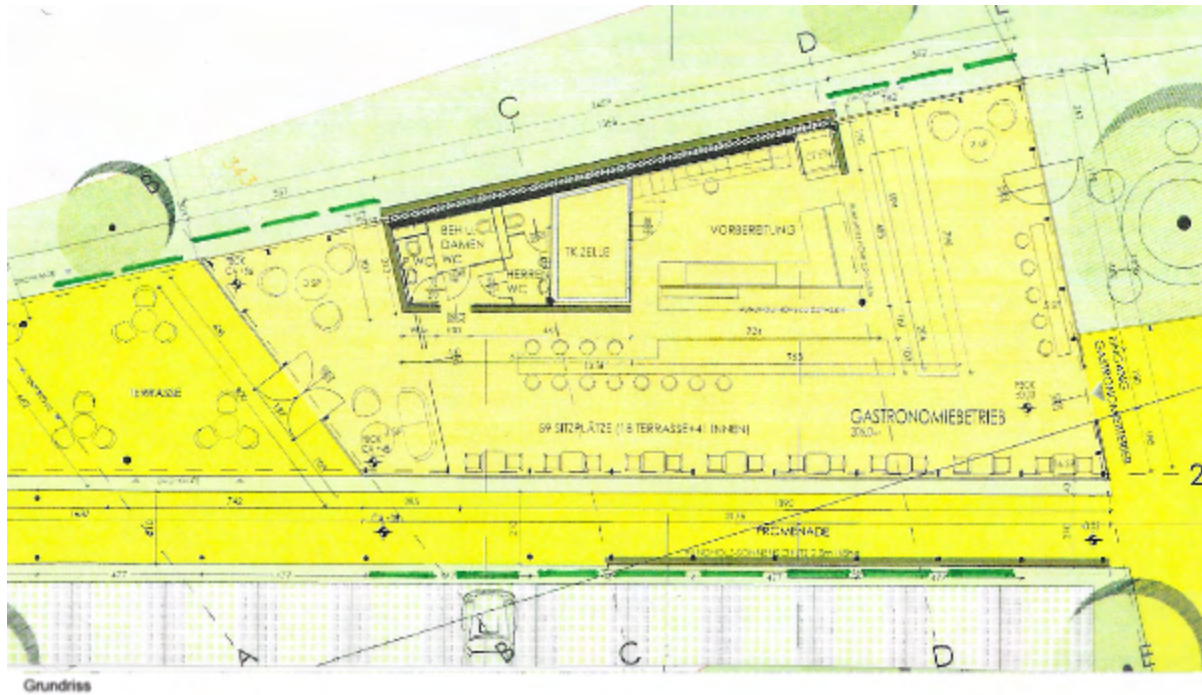
Lösungsvariante: Die Flächen der Südost- sowie der Nordwest-Seite der MPREIS Baguette-Filiale am südlichen Ortsrand in SÖLL | TIROL, gelegen, wurden durch die intensive Sonneneinstrahlung an den beiden Positionen zur Beschattung gewählt. Zudem boten die vorhandenen Bodenflächen, die frei von Versiegelungen sind, einen ausreichenden Wurzelraum. Ausgehend von der zentral gebündelten technischen Infrastruktur können die Flächen mittels Leitungen über das Dach mit Wasser versorgt werden. Die Klettergerüste sind direkt über den Boden mit dem Rand des Flachdachs verbunden, das der Aufnahme der Windlasten dient.

Konstruktion: Um die Anwuchs- und Erziehungsphase bis zum flächendeckenden Bewuchs ästhetisch zu überbrücken, wurde die Primärkonstruktion der Kletterhilfen mit sekundärer Rankgitter-Konstruktion (prinzipiell boden- und troggebunden möglich) auch ohne Bepflanzung ansprechend gestaltet. Die Ermittlung erfolgte mittels parametrischen Designs, dabei können die spezifischen Parameter (H, B, T, Stabilität; Programm RHINO 3D.7 mit Zusatzprogramm Grasshopper). Zur Anwendung kam die Variante RATA-Raster mit 3-D Gitter-Struktur aus Flachstahlbändern. Die auf bestehendem standfestem Untergrund oder hergestellten Beton-Einzelfundamenten aufgelagerten Kletterhilfen wurden zur Aufnahme der Windlasten am Rand des Flachdaches kraftschlüssig und vertikal beweglich befestigt. Die Verkleidung des Dachrands wurde zur Auffindung der Befestigungspunkte geöffnet. Der Nachweis der möglichen Lasteinbringung durch Windlasten erfolgte durch den Tragwerksplaner.

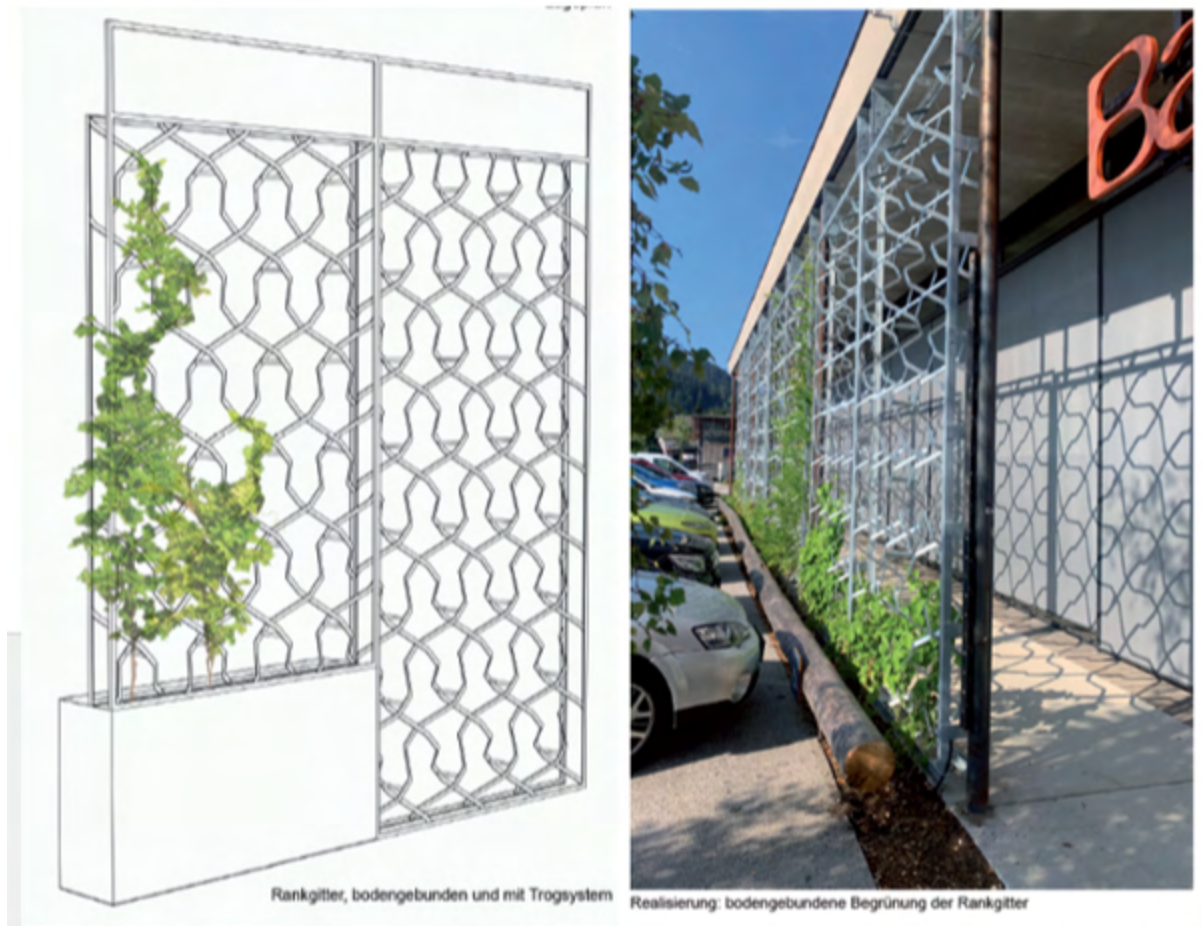
Substrat: Intensivdachsubstrat Optigrün

Pflanzenauswahl:

- *Aristolochia macrophylla*
- *Humulus lupulus*
- *Vitis coignetiae*
- *Wisteria sinensis*



Grundriss



Rankgitter, bodengebunden und mit Trogsystem

Realisierung: bodengebundene Begrünung der Rankgitter

Abbildung 25: Visualisierung Variante RATA Raster als Trogvariante Demo-Objekts SÖLL | TIROL und nach Umsetzung 2022.
© RATAPLAN, 2022.

12.1.2 Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN

Tabelle 7: Hardfacts zum Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN.

Hardfacts	
Standort	1180 WIEN, KREUZGASSE 74-76
Architektur	lichtblauwagner architekten zt gmbh
Pflanzkonzept	BOKU IBLB
Organisation Eigentümer	TB Obkircher OG
Planung:	11.2021 bis 06.2023
Ausführung:	07.2023
Begrünte Glasflächen (Größe Zielflächen)	77,5 m ² (9,5 x 8,15m)
Gesamtkosten Kosten je m ²	€ 42.505 € 548 ohne Planung
Kosten Kletterkonstruktion inkl. Tröge je m ²	€ 299,60

Lösungsvariante: Die nach Südwesten orientierte, zweigeschossige Glasfassade wurde aufgrund sommerlicher Überhitzung in den Innenräumen mithilfe von Kletterpflanzen und einer Stahlrohrrahmenkonstruktion (Variante GLASGRÜN LIWA Rundrohre mit Querverbindungen) verschattet.

Ausgehend von zwei zentralen Entwurfparametern – der vom Bebauungsplan vorgegebenen Anordnung einer Arkade bzw. eines öffentlichen Durchgangs an der betroffenen Front sowie den wenigen Möglichkeiten der konstruktiven Anbindung an das Bestandsgebäude – wurde in einem Abstand von ca. 2,0 m vor der Glasfassade und auf einer Länge von 9,5 m ein 8,15 m hohes Klettergerüst aus verzinkten Stahlrohren und bodengebundenem Bewuchs umgesetzt. Für die Bodenbindung wurde eine Fläche von 2,6 m² ((0,50x1,72) x 3) der versiegelten Gehsteigfläche entsiegelt und ein nach unten offener Trog als Pflanzfläche eingebaut.

Konstruktion: Als Primärkonstruktion dienen 5 auf Punktfundamenten ruhende und im Abstand von ca. 2,2 m aufgestellte Stützen aus Rundrohren mit einem Durchmesser von 114 mm, einer Wandstärke von 8 mm und der (hohen) Stahlgüte S355 J2H. An ihren oberen Enden sind die Stützen über biegesteife „Rohrwinkel“ an den Balkonen im 2. OG des Bestandsgebäudes montiert. Zugunsten einer Auswahl von Kletterpflanzen, welche Rundrohre als Kletterhilfen benötigen oder bevorzugen, wurden zwischen den Stützen (anstelle von Stabgittermatten) weitere Rundrohre mit einem Durchmesser von 42 mm und einer Wandstärke von 2,6 mm als Kletterhilfen in horizontaler sowie vertikaler Richtung als

Sekundärkonstruktion montiert. Der von den Stützen und der Sekundärkonstruktion gebildete Raster von ca. 1,1 x 1,0 m kommt nicht nur den Wuchsanforderungen der ausgewählten Kletterpflanzen und der Zielstruktur einer flächigen Ausbreitung der Pflanzentriebe zugute, er ist auch Resultat eines hinsichtlich Material-, Fertigungs- und Montageaufwand möglichst sparsamen, den Anforderungen der Festigkeit und Tragsicherheit dennoch gerecht werdenden Entwurfsansatzes.

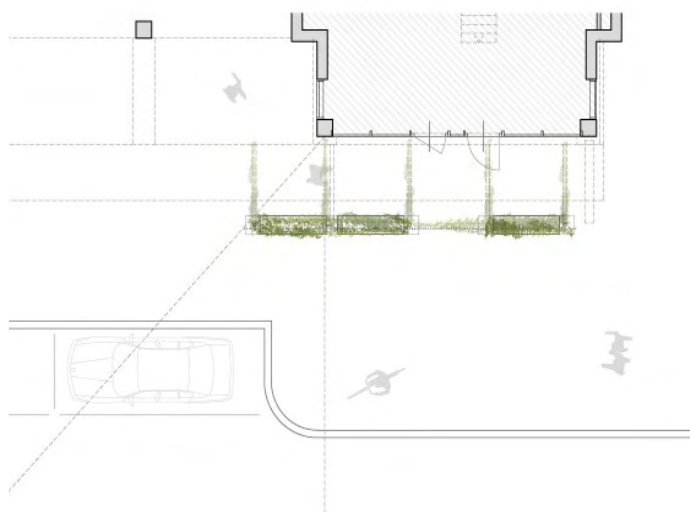
Zwischen den Stützen wurden Pflanztröge aus 6 mm starkem Stahlblech und ohne Boden derart auf die Punktfundamente aufgelagert, dass nach der Teilentsiegelung die Trogwände als Begrenzung des wieder herzustellenden Asphaltbelags dienen. Der ursprünglich stark verdichtete Untergrund wurde zuvor nicht nur in den Bereichen der Punktfundamente ausgehoben, sondern auch in deren Zwischenräumen, wodurch ein möglichst großes Volumen lockeren Substrats geschaffen wurde. Auf den ersten Blick sieht die Lösung nach einer troggebundnen Bepflanzung aus, wegen des fehlenden unteren Abschlusses der Tröge handelt es sich um eine bodengebundene Variante.

Um die Wurzeln der Kletterpflanzen vor einem allfälligen Abfrieren zu Frostzeiten bzw. vor Überhitzung bei starker Sonneneinstrahlung zu schützen – beide Phänomene treten aufgrund der Temperaturleitfähigkeit bei Stahltrögen auf – wurden ihre Innenwände mit Dämmstoff-Einlagen versehen, ehe die Befüllung mit Substrat erfolgte. Ein automatisches Bewässerungssystem, dessen Leitungen aus dem Gebäude durch die Stahlkonstruktion entlang bis in die Tröge führen, stellt eine hinreichende Wasserversorgung sicher.

Substrat: KRANZINGER Dachgarten- und Trogs substrat

Pflanzenauswahl:

- Kletterpflanzen: *Wisteria sinensis* 'Prolific'
- Staudenunterpflanzung: *Limonium latifolium*, *Salvia nemorosa*, *Verbena bodnariense*, *Hemerocallis x cultorum*, *Echinacea purpurea*



0m 4m 12m

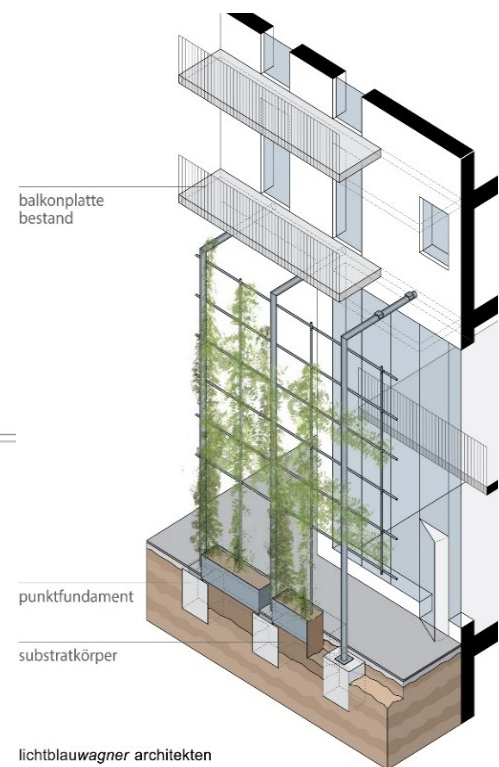


Abbildung 26: Visualisierung des Demo-Objekts KREUZGASSE | WIEN. © lichtblauwagner architekten, 2023.

12.2 Ergebnisse aus dem Monitoring im Innenraum

12.2.1 Ergebnisse SÖLL | TIROL

12.2.1.1 Klimatische Randbedingungen

Um ein besseres Verständnis auf die Temperaturentwicklungen im Innenraum zu gewinnen, wurden Wetterdaten (Außenlufttemperatur, Globalstrahlung) von der Wetterstation SÖLL ausgewertet. Zur zeitlichen Entstehung eines allfälligen Kühlbedarfes wurden die akkumulierten Kühlgradstunden (nach ÖNORM EN ISO 15927-6:2007) mit einer Kühlgrenztemperatur von 19°C berechnet. Es zeigt sich, dass die Anzahl der Stunden monatsweise deutlich variiert und nur die Monate Juli 2022 und 2024 mit einer Differenz von 63 Kühlgradstunden einen annähernd ähnlichen Wert aufweisen (Abbildung 27).

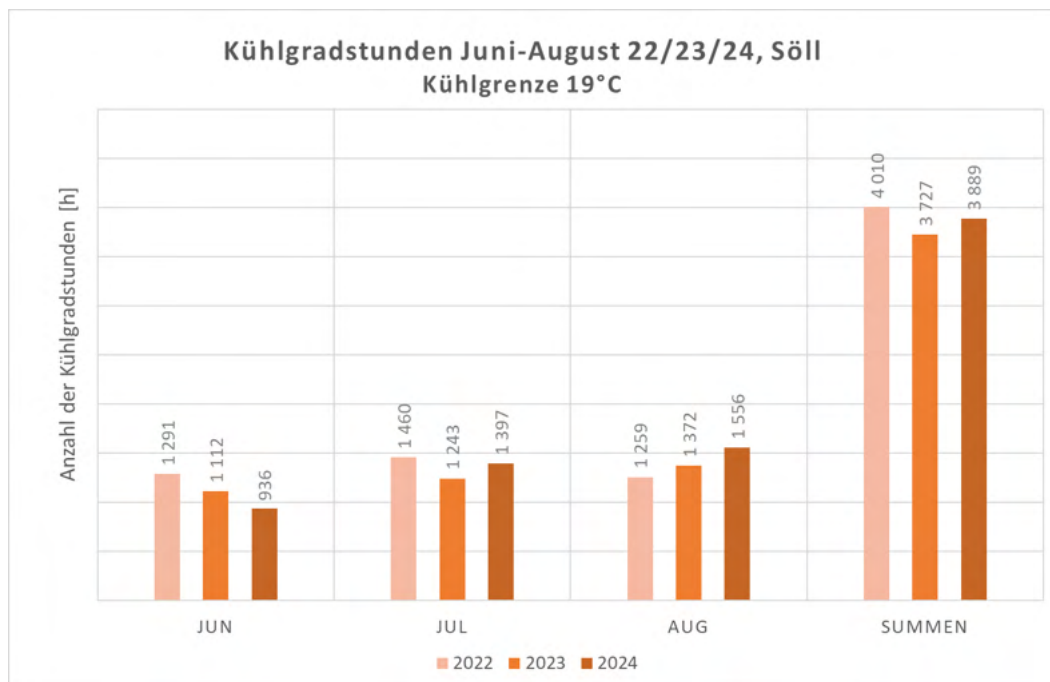


Abbildung 27: Kühlgradstunden, Standort SÖLL | TIROL für die Monate Juni bis August 2022 – 2024. © IBO, 2025.

Die Globalstrahlung (Abbildung 28) von Juni bis August wies 2022 den höchsten Wert auf und lag mit rund 15 % über den Werten von 2024. Juli 2023 und 2024 wiesen mit einem Unterschied von nur 2 kWh/m² ähnliche Einstrahlungsdaten auf.

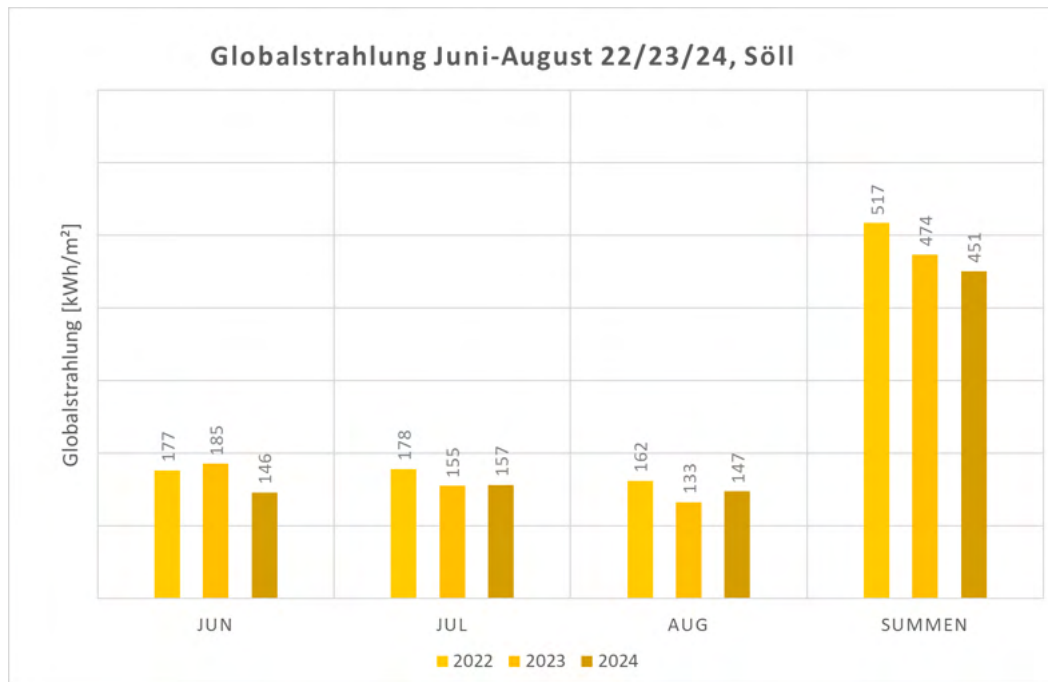
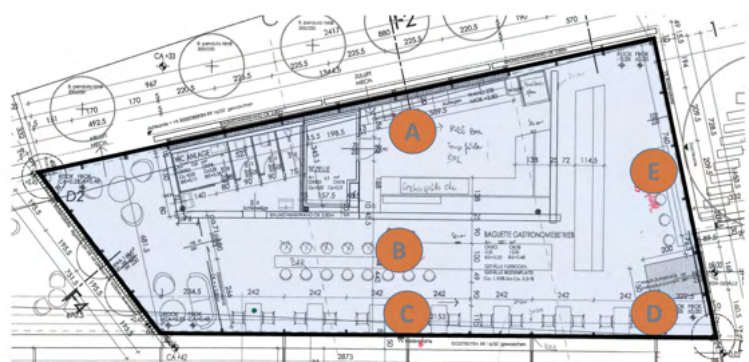


Abbildung 28: Globalstrahlung Standort SÖLL | TIROL für die Monate Juni bis August 2022 – 2024. © IBO, 2025.

12.2.1.2 Innenraumtemperaturen

In SÖLL | TIROL wurden an 5 verschiedenen Positionen Sensoren montiert und damit Raumlufttemperatur und Luftfeuchtigkeit erfasst (Abbildung 29). Die Messungen wurden mit 22.02.2022 begonnen. Die Errichtung der Fassadenbegrünung erfolgte am 14.06.2022. In der folgenden Abbildung ist die Lage der Sensoren dargestellt.



- A** MS008 NO, Arbeits-, Bürobereich
- B** MS003 Raummitte, Bar
- C** MS005 Fassade SO, Sitzbereich Mitte
- D** MS006 Fassade SO, Sitzbereich Eingang
- E** MS007 Fassade NO, Stehpult

Abbildung 29: Positionierung der Sensoren, Standort SÖLL. © IBO, 2025.

Das nachfolgende Diagramm in Abbildung 30 zeigt die analysierten Messdaten der Innenraumlufttemperatur. Im Jahr 2024 fiel der Medianwert an allen Messpunkten um mehr als 1 °C. Gleichzeitig nahm die Streuung der Messwerte vor allem oberhalb des Medians deutlich ab. Besonders die Messpunkte C und D, die sich in der Nähe der Süd-Ost-Fassade befinden, weisen die größte Bandbreite und die höchsten Temperaturwerte auf. Die niedrigeren Temperaturen lassen sich auf ein verändertes Nutzerverhalten zurückführen, wie im nächsten Kapitel (Stromverbrauch Klimaanlage) erläutert wird.

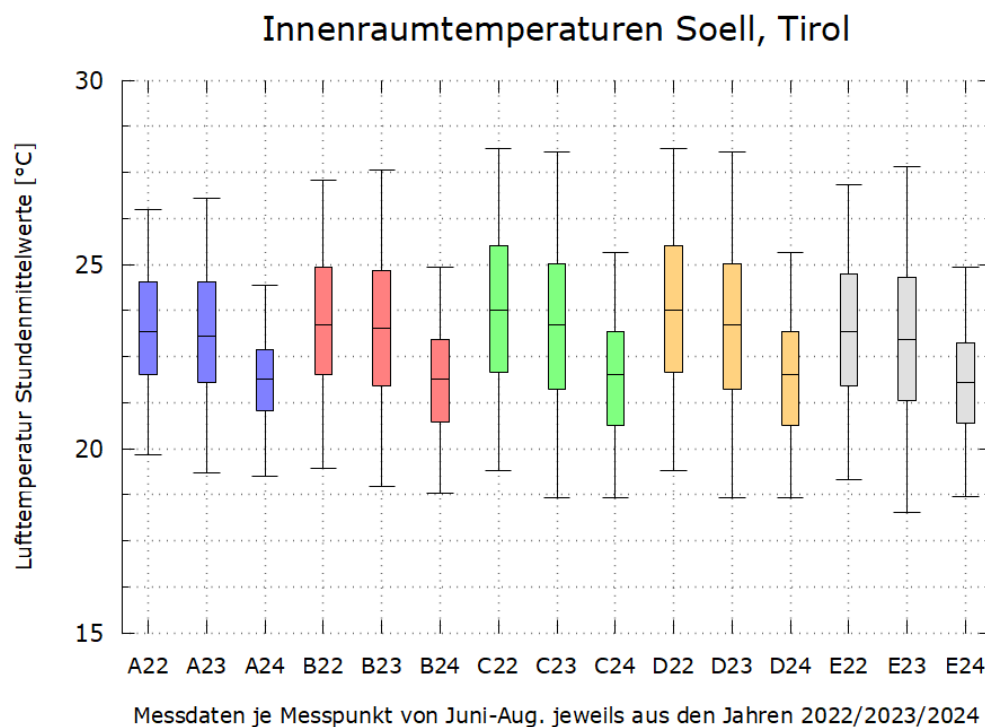


Abbildung 30: Innenraumlufttemperaturen (Stundenmittelwerte) Standort SÖLL | TIROL 2022 – 2024. © IBO, 2025.

12.2.1.3 Stromverbrauch Klimaanlage

Der Stromverbrauch (Abbildung 31) der Klimaanlage am Standort SÖLL | TIROL war im Jahr 2024 deutlich erhöht, bedingt durch einen nahezu durchgängigen Betrieb von Juni bis September. Während der Verbrauch in den Sommermonaten 2022 bei etwa 14 – 20 kWh/Tag lag und 2023 auf etwa 30 kWh/Tag anstieg, erreichte er 2024 Werte von 40 – 50 kWh/Tag.

Gespräche mit dem früheren Mitarbeiter*innenteam ergaben, dass die Klimaanlage zuvor ungern genutzt wurde, da der Betrieb häufig als unangenehm zugig empfunden wurde. Laut MPreis erfolgte 2024 ein Wechsel des Teams, und die Klimaanlage wurde intensiver genutzt. Dieses geänderte Nutzerverhalten führte 2024 zu einem Energieverbrauch von 3.183 kWh (Erhöhung um ca. 50 % von 2022 auf 2024). Ein Zusammenhang zwischen der verstärkten Nutzung der Klimaanlage und den Kühlgradstunden oder der Globalstrahlung konnte nicht

festgestellt werden. Im Vergleich zu 2022 waren die Kühlgradstunden und die solare Einstrahlung 2024 sogar geringer. Der erhöhte Betrieb der Klimaanlage ist daher vor allem auf das veränderte Nutzer*innenverhalten zurückzuführen.

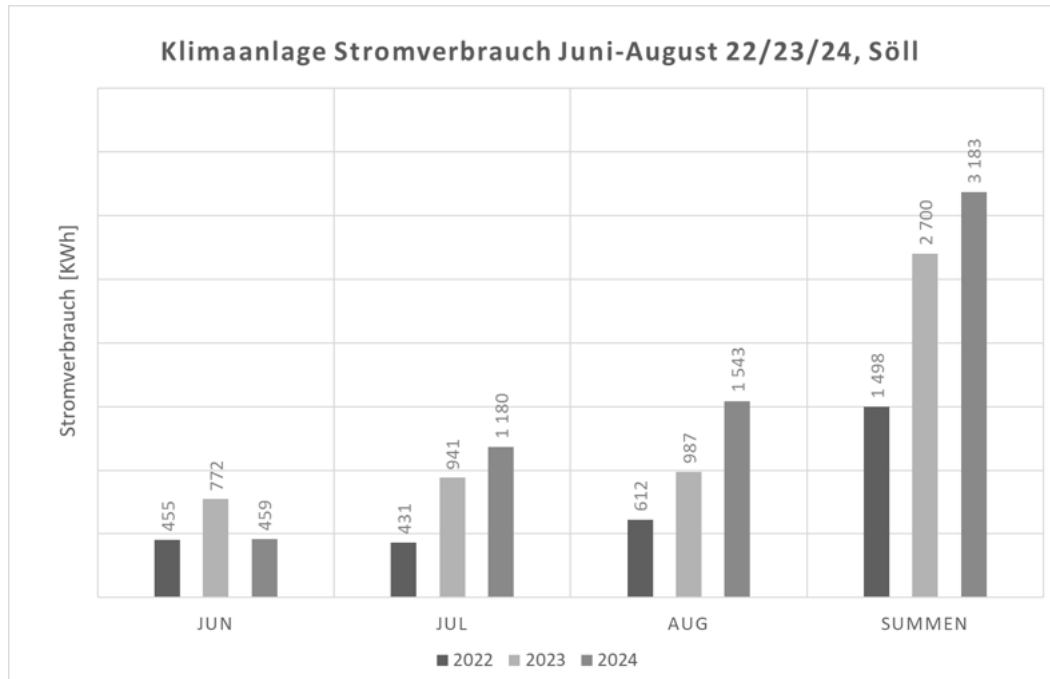


Abbildung 31: Stromverbrauch Klimaanlage Standort SÖLL | TIROL: aufgrund von individuell bedingten Nutzer*innenänderungen nicht als Bewertungsparameter geeignet. © IBO, 2025.

12.2.1.4 Thermische Behaglichkeit nach Leusden et Freymark

Exemplarisch wurde für die Sensorposition D (Sitzplatz nahe Fassade SO) das empfundene Raumklima mittels der Messwerte Lufttemperatur und Luftfeuchte nach Leusden et Freymark (1951) ausgewertet (Stundenmittelwerte). Dabei wurden die Messwertpaare eingeteilt in „behaglich“, noch „behaglich“ und „unbehaglich“. Der behagliche Bereich liegt in etwa zwischen 18 und 24 °C und 40 und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit. Die Auswertung der Messdaten erfolgte während der Hauptnutzungszeit von Montag bis Samstag, 08:00 bis 18:00 Uhr.

In den folgenden drei Abbildungen ist die Entwicklung für Juni-August von 2022, 2023 und 2024 dargestellt. 2022 liegen noch weniger als die Hälfte der Stundenmittelwerte im behaglichen Bereich. Der Großteil liegt über 24 °C und unter 60 % Luftfeuchtigkeit. 2023 nehmen die Werte im behaglichen Bereich zu, die Werte außerhalb des behaglichen Bereichs nehmen um rund 50 % auf 126 Stunden ab. 2024 sind rund 70 % im behaglichen und der Rest bis auf ein Wertepaar im noch behaglichen Bereich.

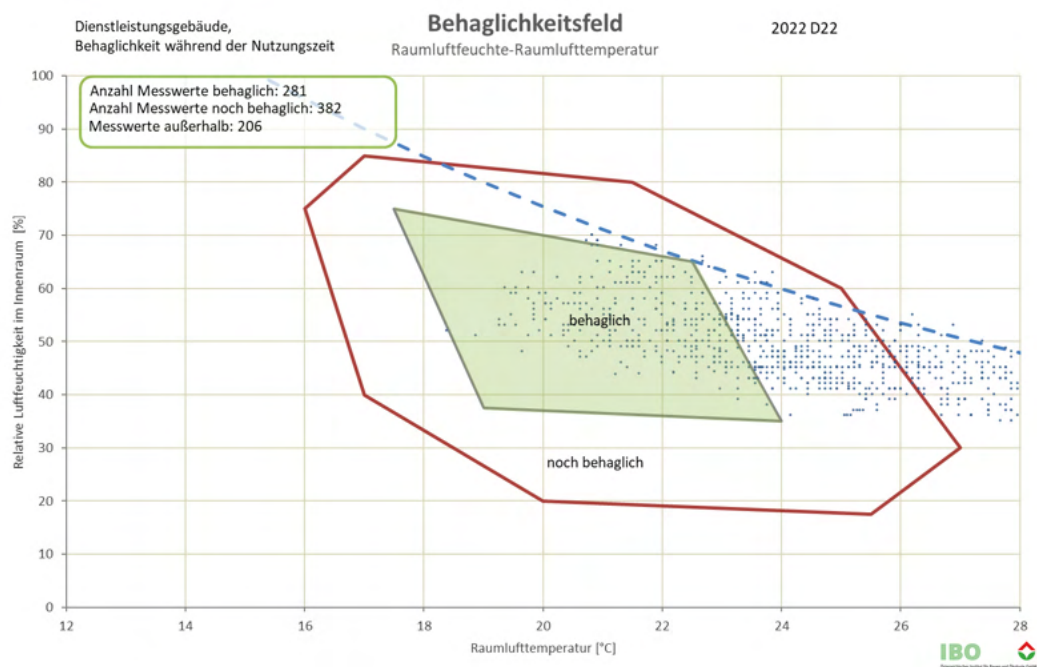


Abbildung 32: Behaglichkeitsfeld, SÖLL | TIROL, Messpunkt D, Sommer 2022. © IBO, 2025.

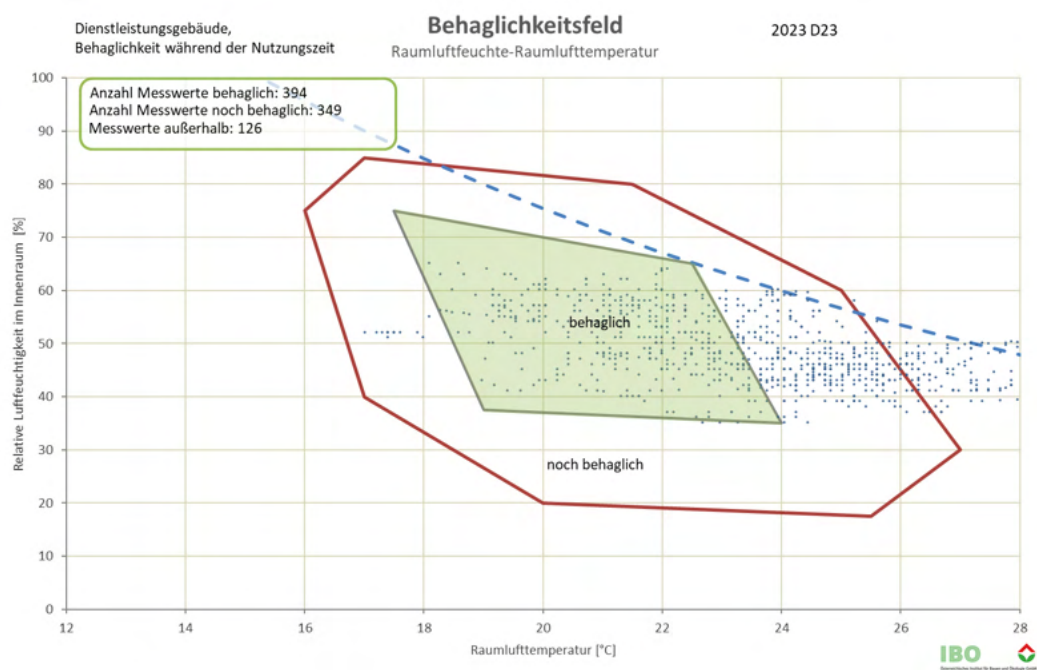


Abbildung 33: Behaglichkeitsfeld, SÖLL | TIROL, Messpunkt D, Sommer 2023. © IBO, 2025.

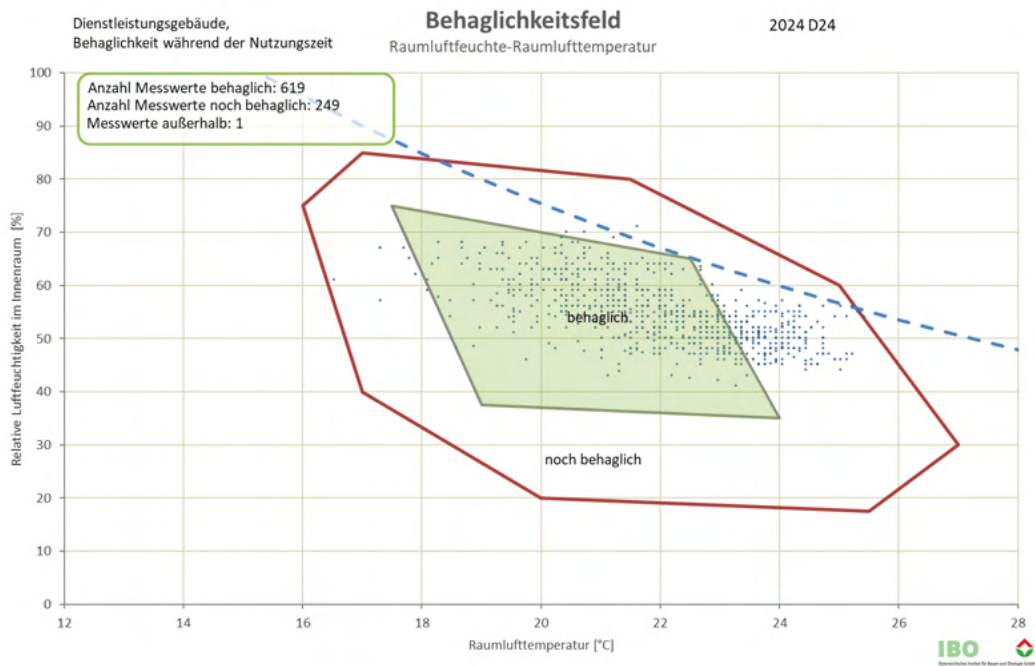


Abbildung 34: Behaglichkeitsfeld, SÖLL | TIROL, Messpunkt D, Sommer 2024. © IBO, 2025.

Die Auswertungen der weiteren Messpunkte zeigen ein vergleichbares Muster und sind in der folgenden Abbildung 35 zusammengefasst. An allen Messpunkten ist eine deutliche Zunahme der „behaglichen“ und „noch behaglichen“ Werte sowie ein gleichzeitiger Rückgang der unbehaglichen Werte erkennbar.

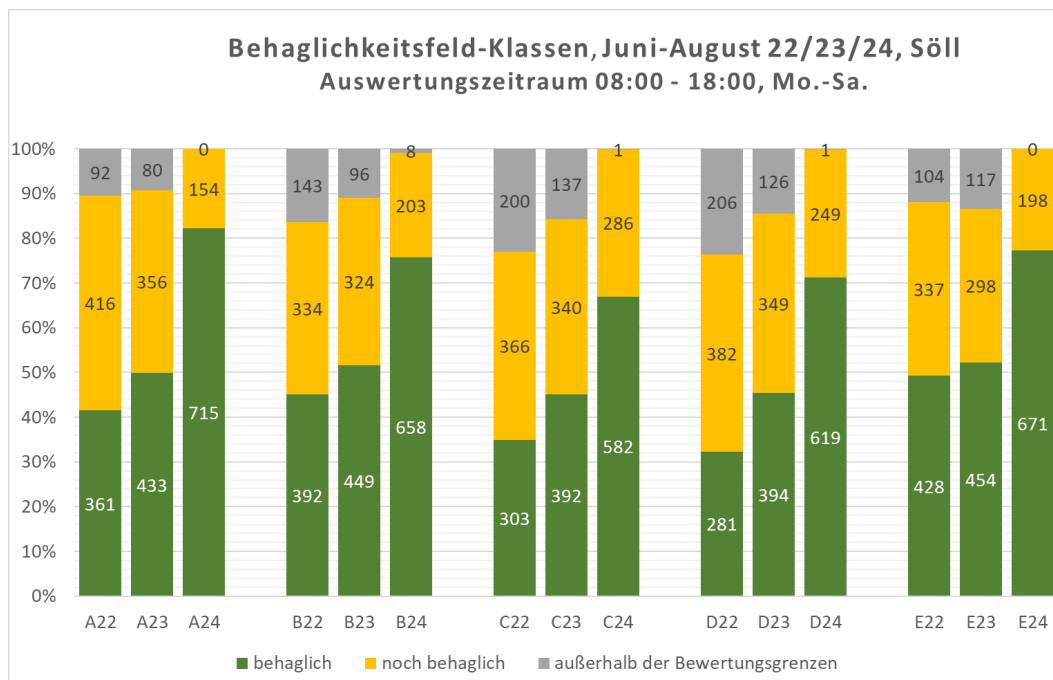


Abbildung 35: Behaglichkeitsfeld-Klassen Standort SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

12.2.1.5 Thermische Gebäudesimulation zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit und solaren Einträge, SÖLL | TIROL

Eine Ermittlung der Effekte der Begrünung auf die beiden in diesem Projekt behandelten Objekte war mit den zur Verfügung stehenden Messdaten und Rahmenbedingungen nicht möglich. In SÖLL | TIROL ergaben die Auswertungen des Stromverbrauchs (ca. 140 kWh/Tag), die vor allem auf den Betrieb der Aufbacköfen, Warmhaltevitriolen und anderer Geräte zurückzuführen sind, sehr hohe thermischen Lasten. Zusätzlich wurde die Klimaanlage 2024 aufgrund eines Personalwechsels verstärkt genutzt, was sich in den Messdaten deutlich widerspiegelt.

Um den Einfluss der Begrünung auf das Objekt und die Nutzer*innen dennoch abbilden zu können, wurde ein vereinfachtes Simulationsmodell erstellt. Eine Reduktion der solaren Einstrahlung trägt erheblich zur Verbesserung der thermischen Behaglichkeit der Nutzer*innen bei (wie im vorangegangenen Unterkapitel erläutert) und ermöglicht den Betrieb mit geringeren Kühlleistungen. Durch die Begrünung kann die solare Transmission deutlich vermindert werden. Die Messungen im Außenraum haben gezeigt, dass Reduktionen etwa von 89 % im Tagesverlauf hinter der Begrünung erreicht werden können. Die solare Transmission in das Gebäude wird durch die vorgelagerte Begrünung, das Dach und die Sonnenschutzverglasung reduziert.

Die Simulation wurde genutzt, um den Gesamteintrag durch die Süd-Ost- und Nord-West-Fassade in das Gebäude darzustellen. Grundlage der Analyse ist eine unverschattete Einzellage. Um den Einfluss der begrünten Fassaden gezielt zu isolieren und zu analysieren, wurden alle übrigen Fenster mit einer automatisch gesteuerten Sonnenschutzvorrichtung versehen. Die Begrünung wurde als vertikale Verschattung in die Analyse einbezogen, mit einem Transmissionsgrad von 0,11 und einem Reflexionsgrad von 30 %. (siehe auch Kapitel 9.2).

12.2.1.6 Thermische Behaglichkeit: Simulation nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 für SÖLL | TIROL

Die Punkte zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit wurden analog zu den Sensorpositionen aus dem Monitoring gesetzt und um zwei weitere Punkte ergänzt (Abbildung 36).

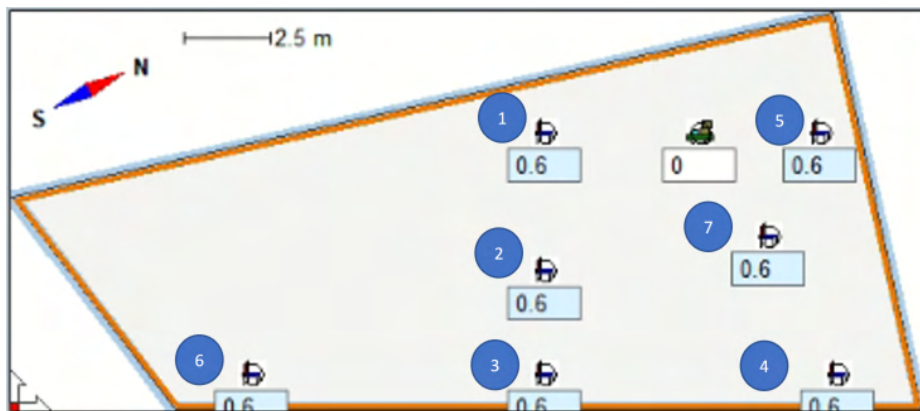


Abbildung 36: Messpunkte thermische Gebäudesimulation für die Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

Die S-O- und N-W-Fassaden wurden wie beim realen Objekt mit Vertikalbegrünungen als Verschattung versehen. Die Auswertung der Simulationsdaten erfolgte für den Zeitraum Juni bis August und dem Wetterdatensatz für Kufstein. Für das Referenzmodell wurde von einer Sonnenschutzverglasung ohne zusätzlichen technischen Sonnenschutz ausgegangen. Die folgende Abbildung 37 zeigt die Anzahl der unzufriedenen Personen (PPD) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023.

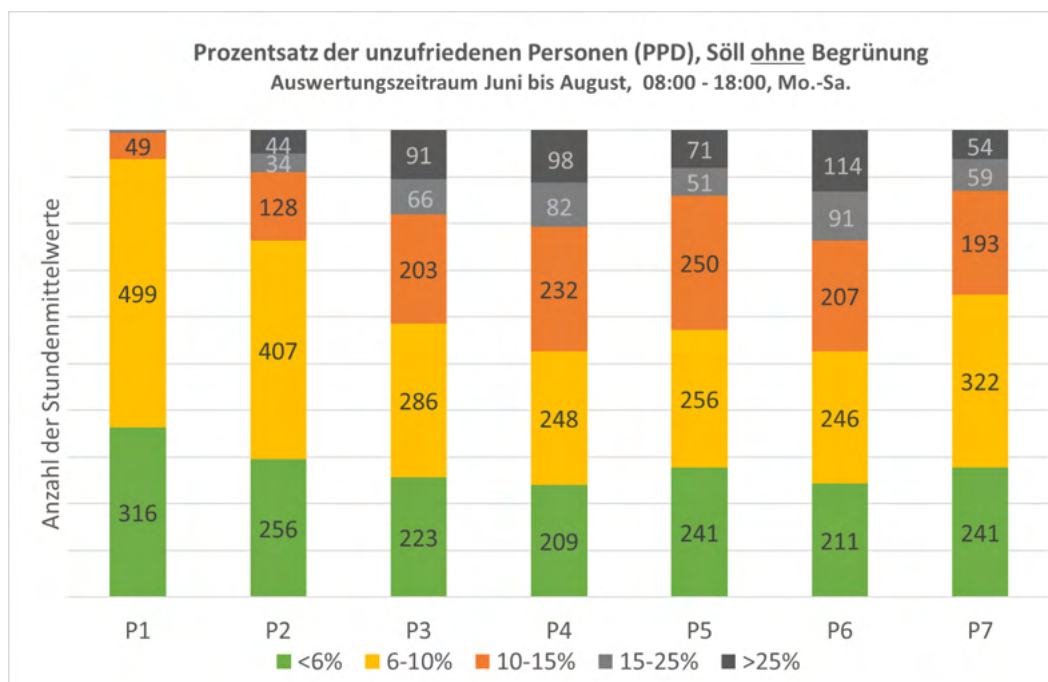


Abbildung 37: PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 ohne Begrünung, Standort SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

In der nächsten Abbildung 38 sind die Stundenmittelwerte für das Modell mit Fassadenbegrünung dargestellt. Die Anzahl der Stunden, in denen maximal 10 %

unzufriedene Personen zu erwarten sind, steigt deutlich an. Gleichzeitig sinkt die Anzahl der Stunden, in denen mehr als 15 % unzufriedene Personen zu erwarten sind, auf null.

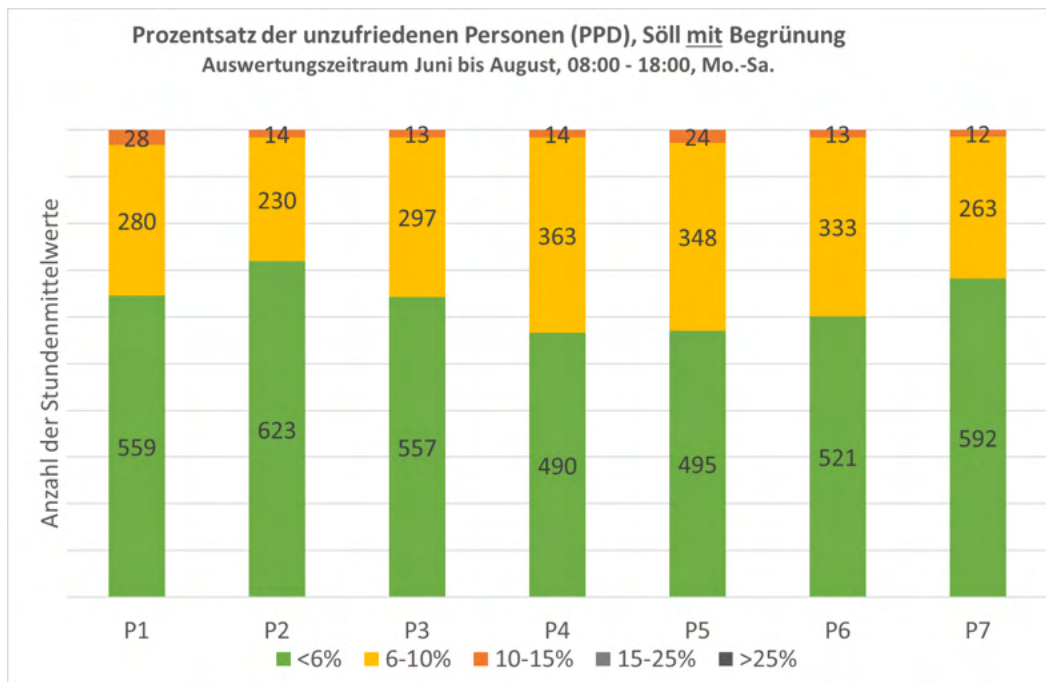


Abbildung 38: PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 mit Begrünung, Standort SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

12.2.1.7 Solare Transmission im Tagesverlauf SÖLL | TIROL

Für die Untersuchung wurde der Referenzzeitraum vom 11. bis 15. August gewählt, da in dieser Phase eine besonders hohe solare Einstrahlung auftritt. Eingangsgröße für die Fläche der Glasfassade waren 97 m². An der Südost-Fassade erreichen die solaren Einträge ihren Höhepunkt Mitte August zwischen 09:30 und 09:45 Uhr. Im Vergleich zu einer unbegrünten Fassade lassen sich beispielsweise am 11. August die Spitzenwerte der solaren Einträge um bis zu 65 % (rd. 10 000 Watt) und der gesamte Tageseintrag um 53,6 % (46,4 kWh) reduzieren (Abbildung 39).

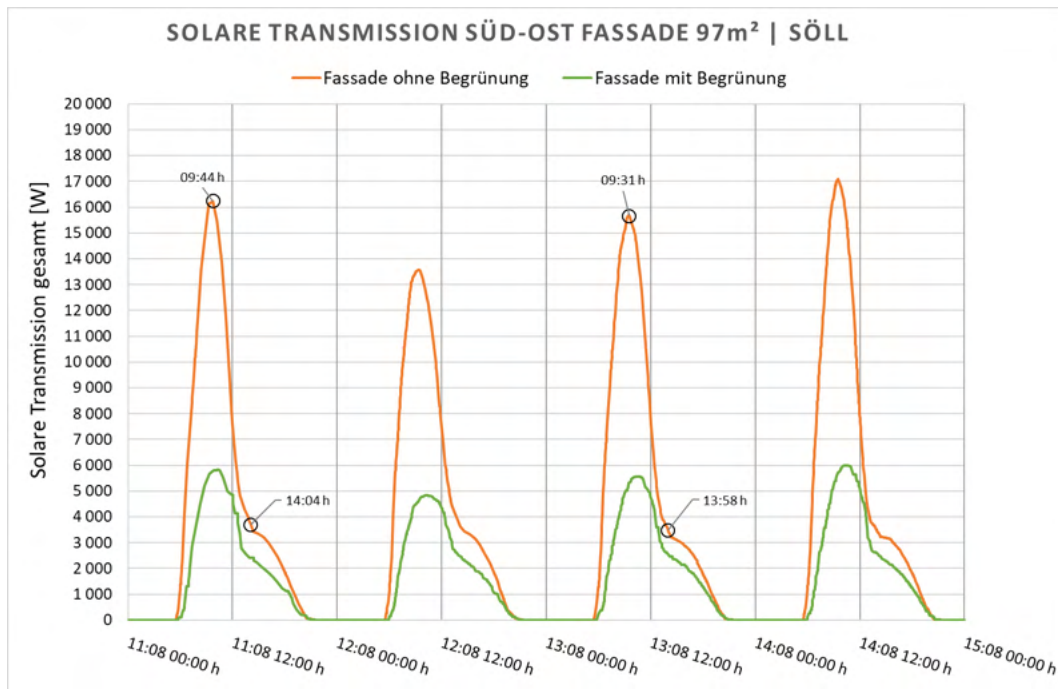


Abbildung 39: Solare Transmission Süd-Ost Fassade mit und ohne Begrünung auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort SÖLL | TIROL (Flächenbezug Glasfassade 97 m²). © IBO, 2025.

Die höchsten solaren Einträge auf der Nordwest-Seite treten Mitte August gegen 17:30 Uhr auf (Eingangsgröße Fläche Glasfassade 50 m²). Am 11. August können im Vergleich zu einer unbegrünten Fassade die Spitzenwerte der solaren Einträge um 78 % (6 500 Watt) und der gesamte Tageseintrag um 68,3 % (33,7 kWh) verringert werden (Abbildung 40).

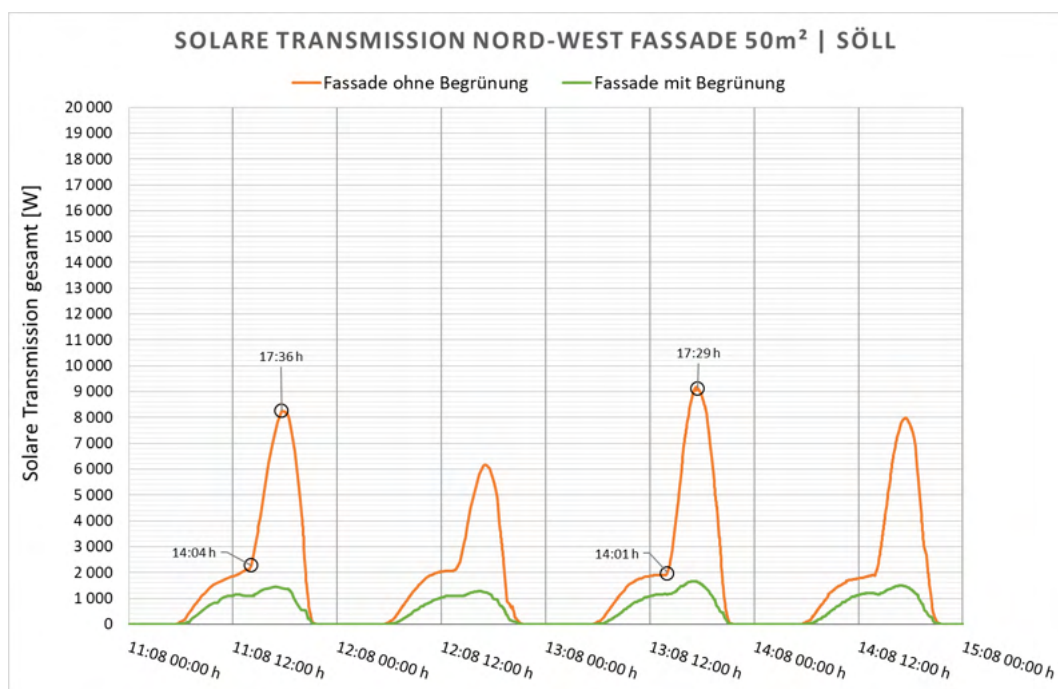


Abbildung 40: Solare Transmission Nord-West Fassade mit und ohne Begrünung auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort SÖLL | TIROL (Flächenbezug Glasfassade 50 m²). © IBO, 2025.

12.2.1.8 Solarer Eintrag von Juni bis August SÖLL | TIROL

Für den Referenzzeitraum Juni bis August wurde die Reduktion der gesamten solaren Transmission durch die Begrünungsmaßnahmen an der Südost- und der Nordwest-Fassade ermittelt. Die gesamte Solartransmission umfasst auch die indirekt (sekundäre Wärmeabgabe) übertragene Sonnenenergie. Die Ergebnisse wurden mit dem Referenzmodell (Bestand ohne externen Sonnenschutz mit Sonnenschutzverglasung) verglichen. Der solare Eintrag in das Objekt durch die beidseitigen Begrünungsmaßnahmen wird um 57,4 % bzw. 4.721 kWh verringert (Abbildung 41).

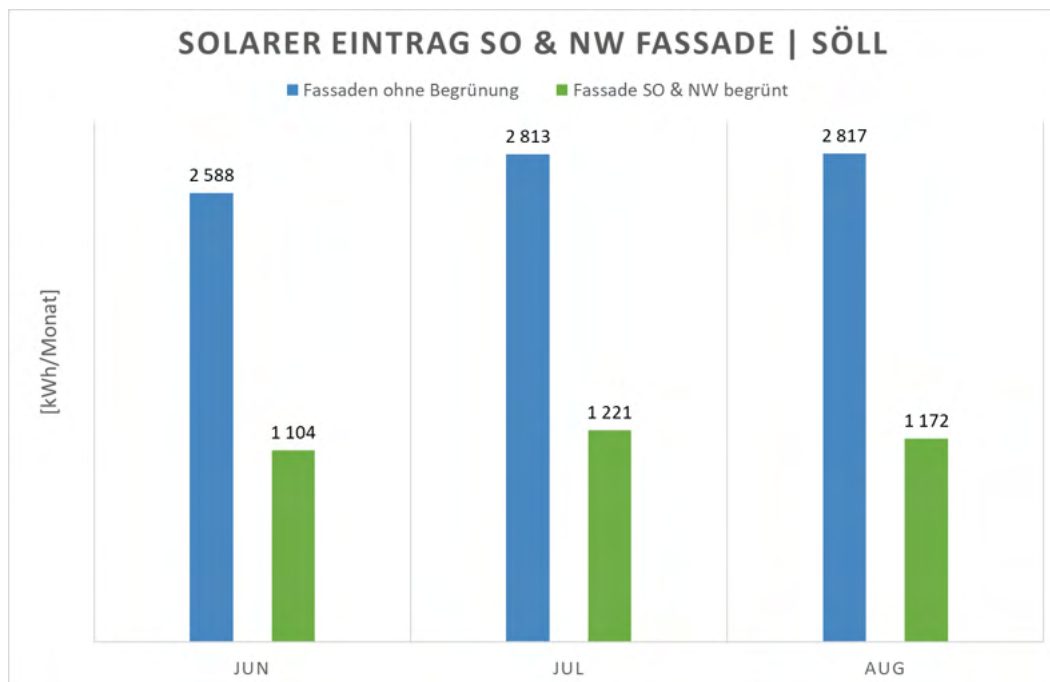


Abbildung 41: Solarer Eintrag auf Süd-Ost und Nord-West Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung Standort SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

Die Südost Fassade (Abbildung 42) mit rund 97 m² verglaster Fläche, verfügt über ein weit auskragendes Dach von 2,7 m. Das Klettergerüst für die Begrünung schließt ca. 60 cm unterhalb der Dachkante ab. Die Berechnungen aus der Simulation ergeben eine Reduktion des solaren Eintrags (nur Süd-Ost Fassade) von Juni bis August von 51,2 % bzw. 2.571 kWh.

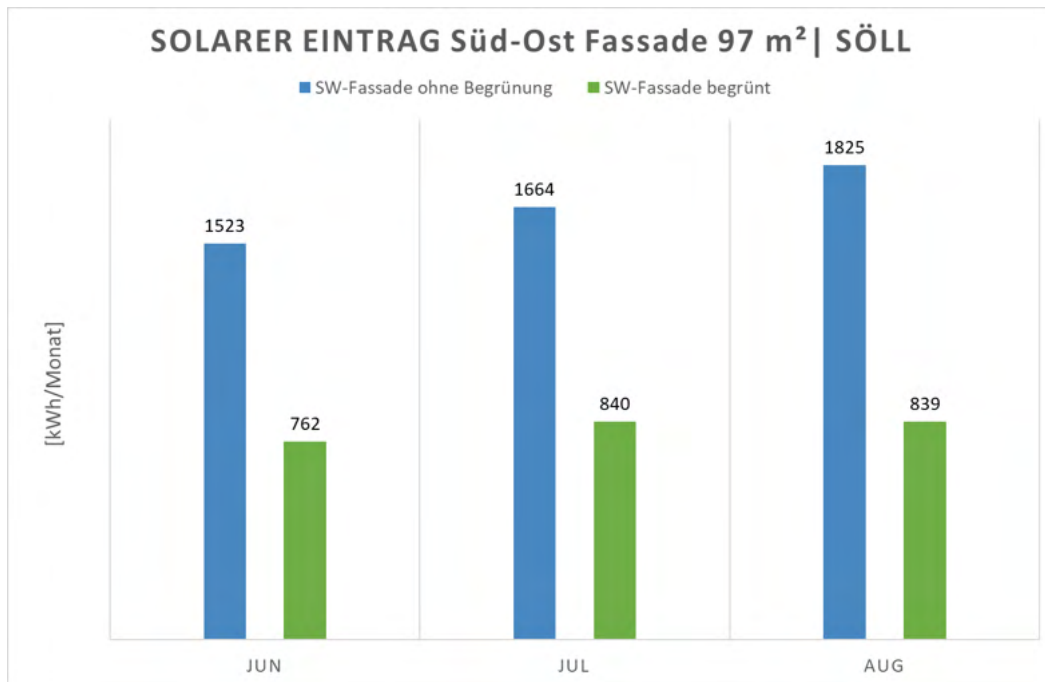


Abbildung 42: Solarer Eintrag auf Süd-Ost Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung Standort SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

An der Nordwest Fassade (Abbildung 43) wurden Begrünungen in zwei Teilbereichen an 50 m² der verglasten Fläche angebracht. Der Abstand des Kletterhilfe zu den Fenstern betrug auf dieser Seite rund 0,65 m und schließt mit der Dachkante ab. Es ergibt sich eine deutlich höhere prozentuelle Reduktion des solaren Eintrags von 67 % verglichen mit der Süd-Ost Fassade von 51,2 %. Die Differenz zur unbegrünten Fassade beträgt 2.150 kWh.

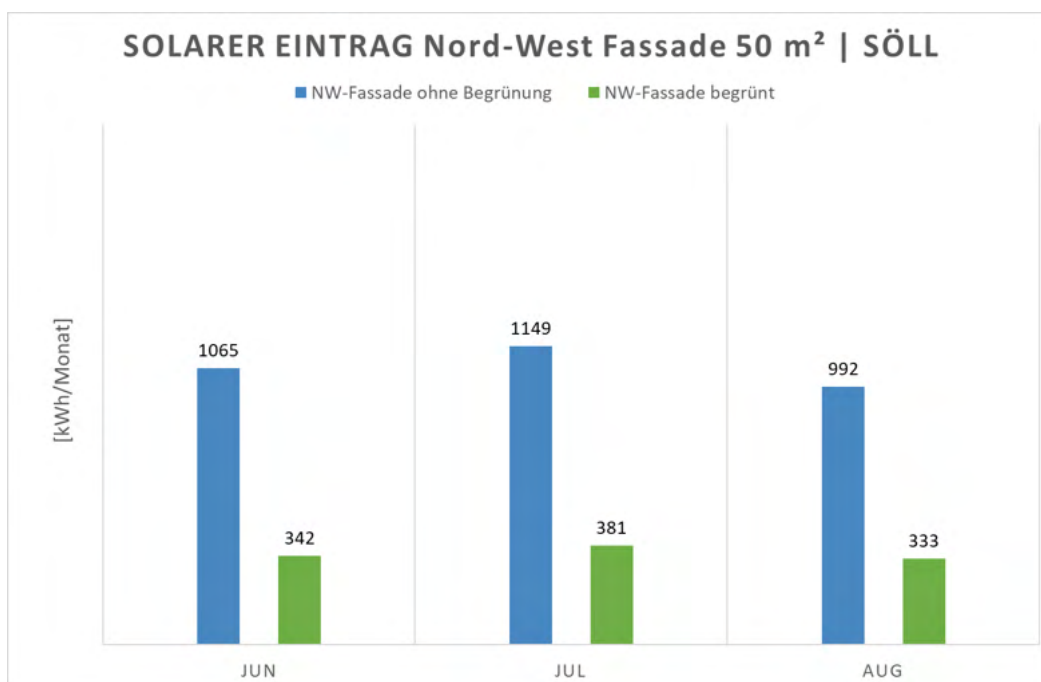


Abbildung 43: Solarer Eintrag auf Nord-West Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung Standort SÖLL | TIROL. © IBO, 2025.

12.2.2 Ergebnisse KREUZGASSE | WIEN

12.2.2.1 Klimatische Randbedingungen

Zur Bestimmung der Kühlgradstunden (mit einer Kühlgrenze von 19 °C) wurden Wetterdaten der Wetterstation WIEN, Innere Stadt (Geosphere Austria), ausgewertet. Im Vergleich zum Standort SÖLL | TIROL zeigt sich, dass in der KREUZGASSE | WIEN mehr als doppelt so viele Kühlgradstunden anfallen. Die Analyse verdeutlicht zudem eine deutliche monatliche Variation der Stundenanzahl. Lediglich die Monate Juli 2023 und 2024 weisen annähernd ähnliche Werte auf. Die Globalstrahlung weist bis auf die beiden August-Monate im 1. und 2. Standjahr ähnlich hohe Werte auf (Abbildung 44).

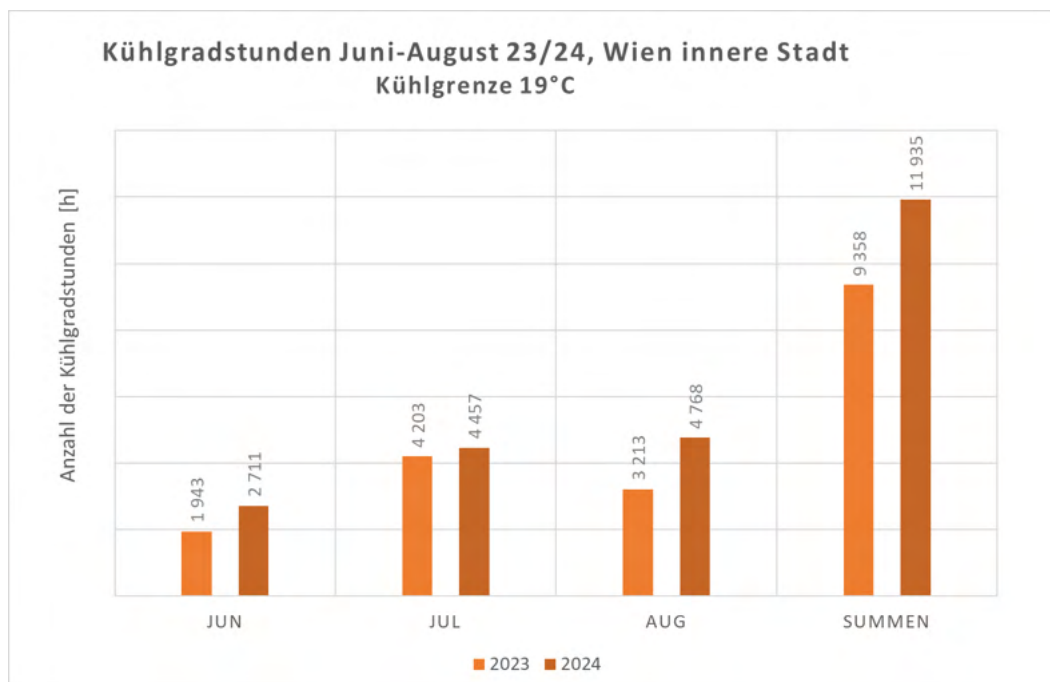


Abbildung 44: Kühlgradstunden Standort KREUZGASSE | WIEN. © IBO, 2025.

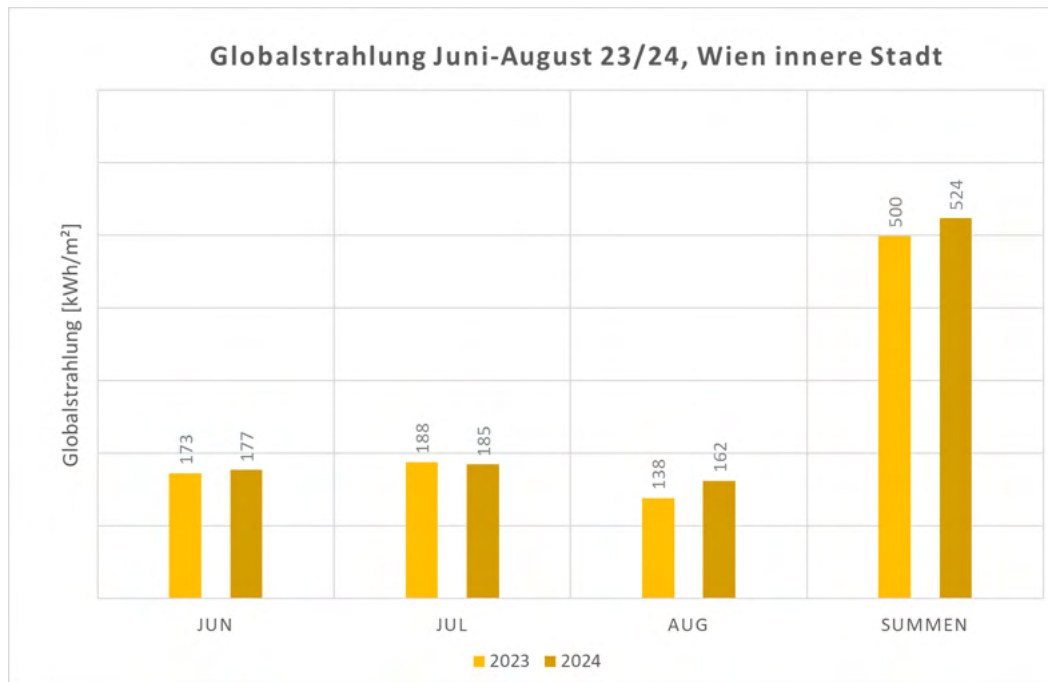


Abbildung 45: Globalstrahlung Standort KREUZGASSE | WIEN. © IBO, 2025.

12.2.2.2 Innenraumtemperaturen

In der KREUZGASSE | WIEN wurden an 3 verschiedenen Positionen des Objekts Sensoren montiert und damit die Innenraumlufttemperatur und -luftfeuchtigkeit erfasst (Abbildung 46). Die Messungen wurden am 16.05.2023 begonnen. Die Errichtung der Fassadenbegrünung erfolgte im Juni 2023. In der folgenden Abbildung ist die Lage der Sensoren dargestellt.

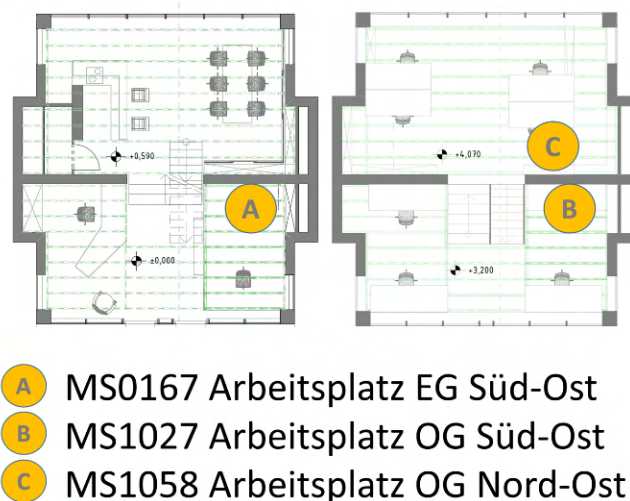


Abbildung 46: Messpunkte Innenraumsensoren Standort KREUZGASSE | WIEN

Am Standort KREUZGASSE | WIEN wurden nur die Monate August 2023 und 2024 ausgewertet, da es zu Übertragungsproblemen der Sensorik gekommen ist. Vergleicht man die drei Messpunkte, so sind die Schwankungen um den Median und die Höchsttemperaturen im August 2024 geringer als 2023 trotz 48 % mehr Kühlgradstunden (Abbildung 47).

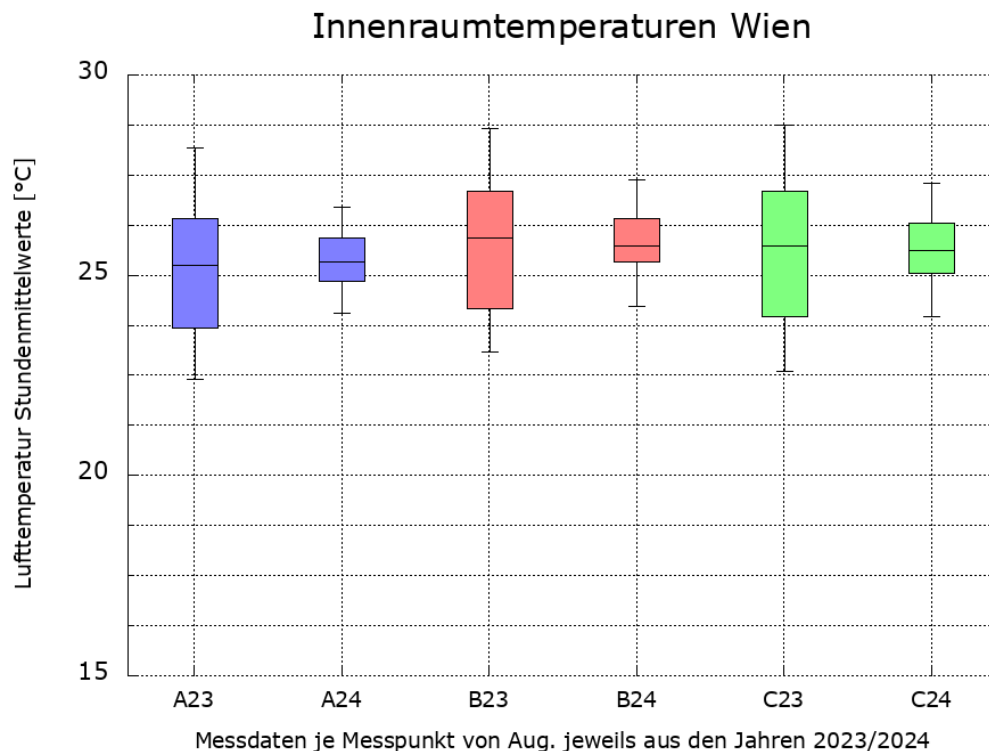


Abbildung 47: Innenraumtemperaturen Standort KREUZGASSE | WIEN. © IBO, 2025.

12.2.2.1 Thermische Behaglichkeit nach Leusden et Freymark

Die folgende Abbildung 48 zeigt die Stundenmittelwerte im Behaglichkeitsfeld nach Leusden et Freymark (1951) für die KREUZGASSE | WIEN. Im August 2024 befindet sich an keinem Messpunkt ein Messwertepaar im „behaglichen“ Bereich, jedoch haben sich die Werte außerhalb der Bewertungsgrenzen im 2. Standjahr verringert. Dies spiegelt die geringeren Temperaturschwankungen von 2024 gegenüber 2023 wider.

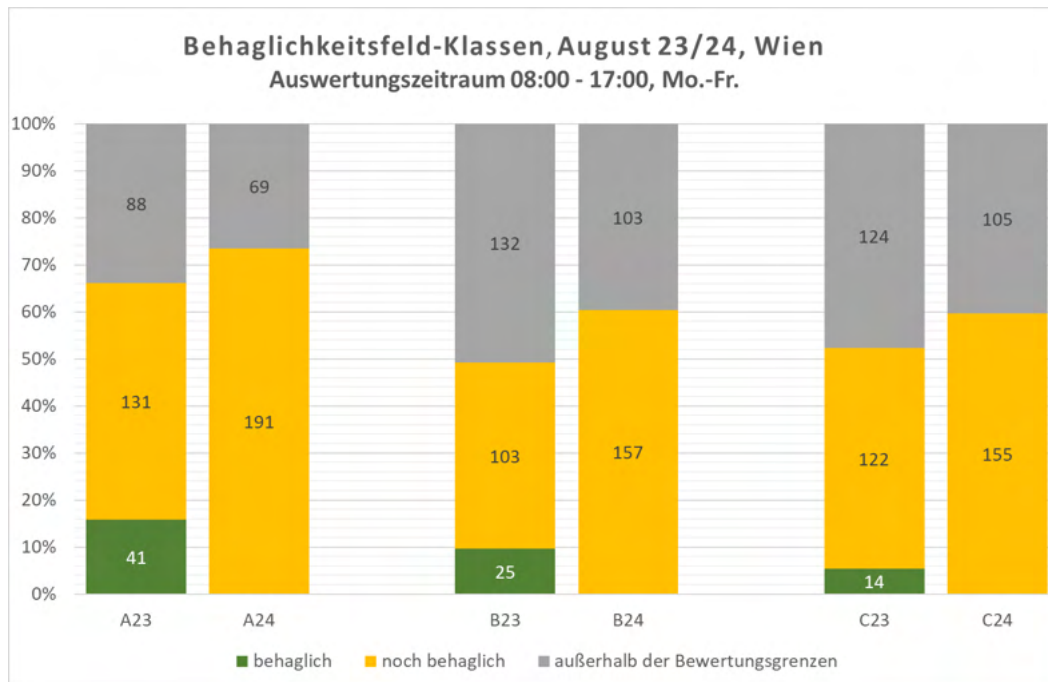


Abbildung 48: Behaglichkeitsfeld-Klassen, Standort KREUZGASSE | WIEN. © IBO, 2025.

12.2.2.2 Thermische Gebäudesimulation zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit und solaren Einträge.

Wie beim Objekt in SÖLL | TIROL waren auch beim Objekt KREUZGASSE | WIEN die Bewertungen der Effekte der Begrünung auf das Objekt mit den zur Verfügung stehenden Daten und Rahmenbedingungen nicht möglich. In WIEN, wo die Umsetzung 1 Jahr später erfolgte, liegt es vor allem an dem noch zu gering entwickelten Deckungsgraden im Bereich der Sensorpositionen im 2. Standjahr der Begrünung, der keine Rückschlüsse zulässt. Auch für dieses Objekt wurde ein vereinfachtes Simulationsmodell erstellt, um damit den Einfluss der Begrünung auf das Objekt und die Nutzer*innen abbilden zu können.

Eine Reduktion der solaren Einstrahlung trägt erheblich zur Verbesserung der thermischen Behaglichkeit der Nutzer*innen bei (wie im vorangegangenen Unterkapitel erläutert) und ermöglicht den Betrieb mit geringeren Kühlleistungen. Für die KREUZGASSE | WIEN liegen für das 2. Standjahre noch keine Daten zur Strahlungsreduktion vor. Ausgehend von den Daten in SÖLL | TIROL werden auch hier Reduktionen der Transmission von 89 % hinter der Begrünung im Außenraum angenommen. Die solare Transmission in das Gebäude wird durch die vorgelagerte Begrünung, den Balkon oberhalb und die Sonnenschutzverglasung reduziert. Die Simulation wurde genutzt, um den Gesamteintrag durch die Süd-Fassade in das Gebäude darzustellen. Grundlage der Analyse ist eine unverschattete Einzellage. Um den Einfluss der begrünten Fassade gezielt zu isolieren und zu analysieren, wurden alle übrigen Fenster mit einer automatisch gesteuerten Sonnenschutzvorrichtung vorgesehen. Die Begrünung wurde als vertikale Verschattung in die Analyse einbezogen, mit einem Transmissionsgrad von 0,11 und einem Reflexionsgrad von 30 %. (siehe auch Kapitel 9.2).

12.2.2.3 Thermische Behaglichkeit: Simulation nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 für KREUZGASSE | WIEN

Die Punkte zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit wurden analog zu den Messpunkten aus dem Innenraummonitoring gesetzt und um einen weiteren Punkt (P4) im OG ergänzt (Abbildung 49).

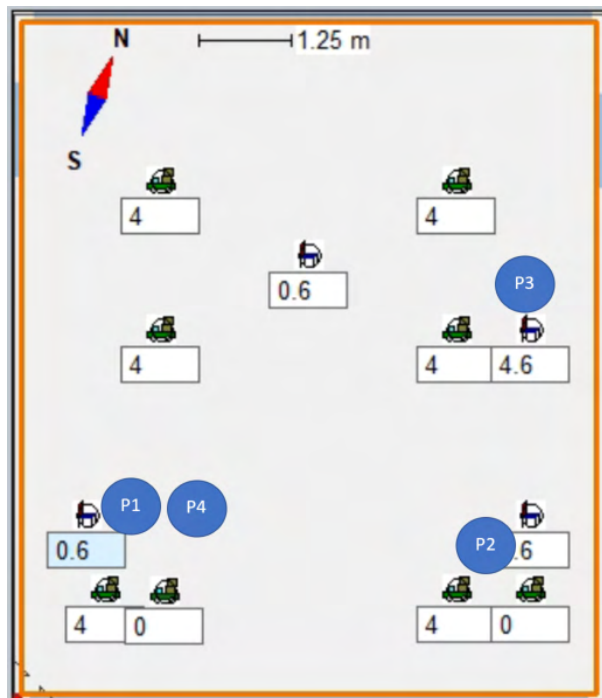


Abbildung 49: Messpunkte thermische Behaglichkeit im Innenraum für die Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort KREUZGASSE | WIEN. © IBO, 2025.

Die Süd-Fassade wurde wie beim realen Objekt mit Begrünung als Verschattung versehen. Die Auswertung der Simulationsdaten erfolgte für den Referenzzeitraum Juni bis August und dem Wetterdatensatz für WIEN-Schwechat. Für das Referenzmodell wurde von einer Sonnenschutzverglasung ohne zusätzlichen Sonnenschutz ausgegangen. Die folgende Abbildung 50 zeigt die Anzahl der unzufriedenen Personen (PPD) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023.

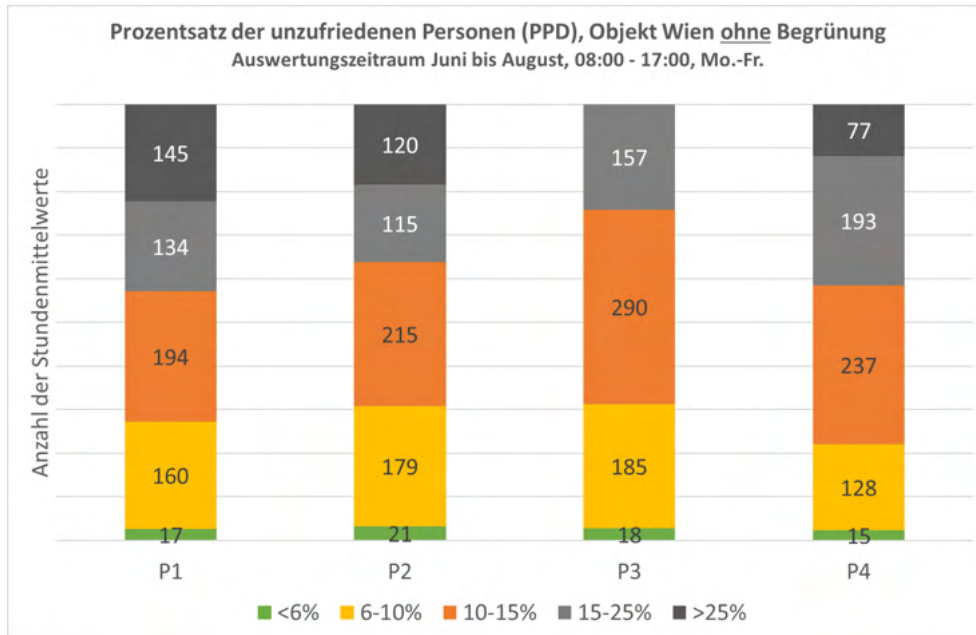


Abbildung 50: PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) Objekt ohne Begrünung, Standort KREUZGASSE | WIEN.
© IBO, 2025.

In Abbildung 51 sind die Stundenmittelwerte für das Modell mit Fassadenbegrünung dargestellt (Annahmen siehe Kapitel 9.2). Die Stundenanzahl, in denen höchstens 10 % unzufriedene Personen zu erwarten sind, nimmt deutlich zu. Gleichzeitig bleibt die Zahl der Stunden an allen Messpunkten im maximal einstelligen Bereich, in denen mehr als 15 % Unzufriedene erwartet werden. Die thermische Behaglichkeit wird deutlich verbessert.

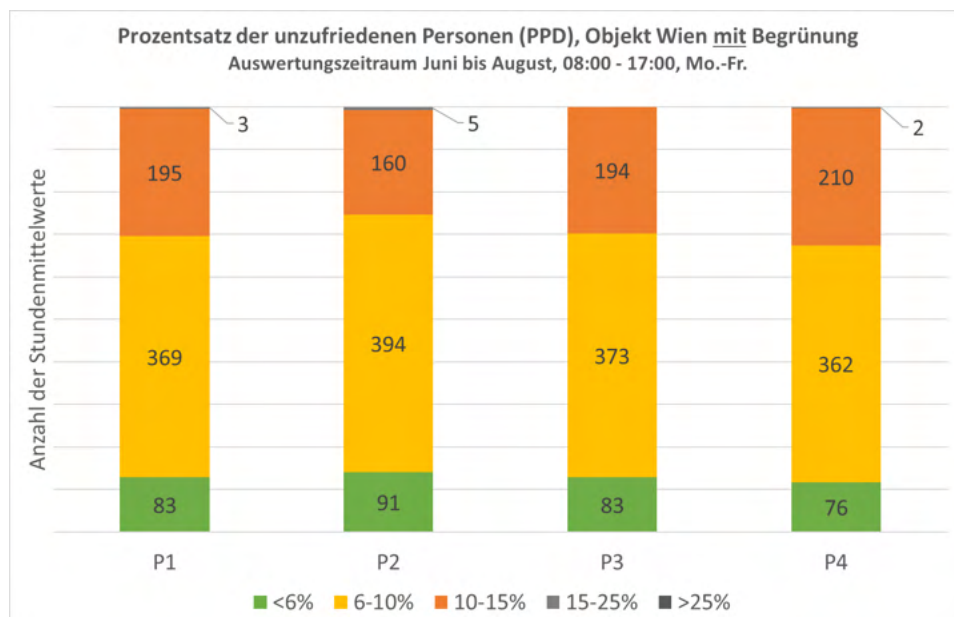


Abbildung 51: PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) Objekt mit Begrünung, Standort KREUZGASSE | WIEN © IBO, 2025.

12.2.2.4 Solare Transmission im Tagesverlauf KREUZGASSE | WIEN

Für den Standort KREUZGASSE | WIEN wurde für Abbildung 52 der Zeitraum vom 24 bis 28 August gewählt. Eingangsgröße für die Fläche der Glasfassade waren 57 m². Aufgrund der südlichen Ausrichtung der Fassade treten die höchsten solaren Einträge zur Mittagszeit auf. Im Vergleich zur Fassade ohne Begrünung können beispielsweise am 25. August die Spitzenwerte der Einträge um bis zu 73 % (rd. 7300 Watt) und der gesamte Tageseintrag um 63,8 % (rd. 37,5 kWh) verringert werden.

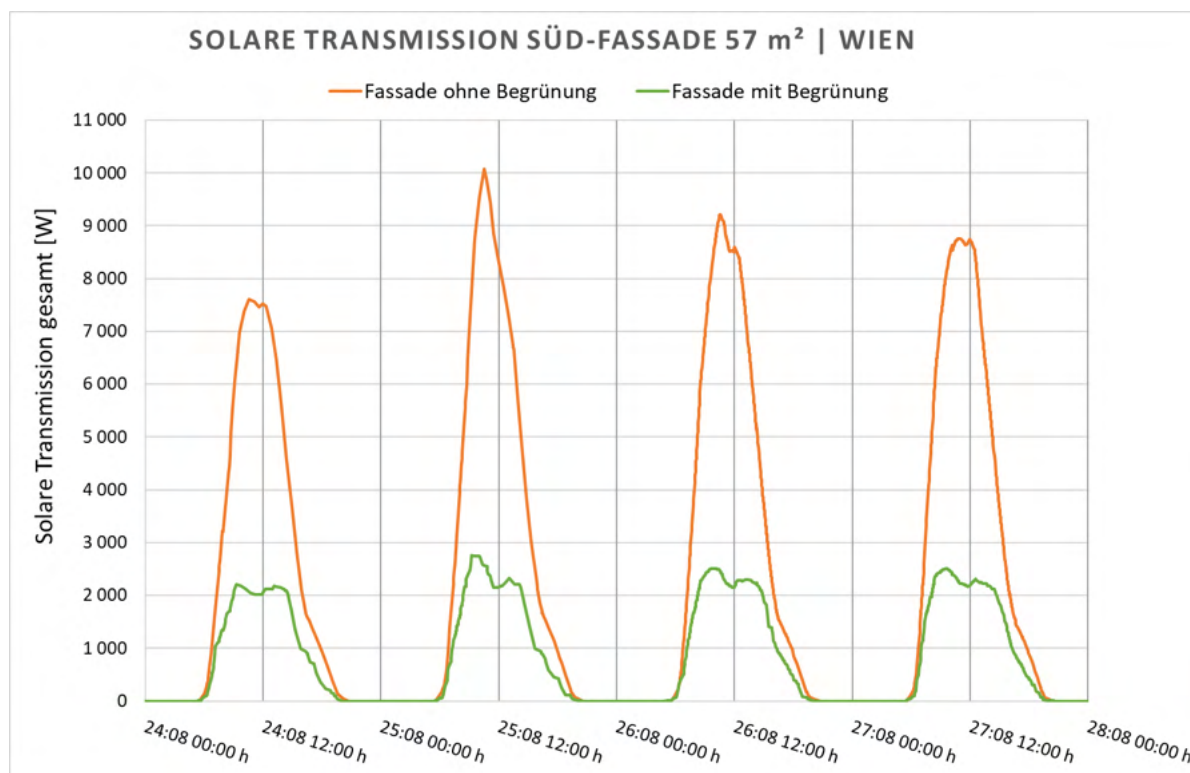


Abbildung 52: Solare Transmission Süd-Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort KREUZGASSE | WIEN (Größe Glasfassadenfläche 57 m²). © IBO, 2025.

12.2.2.5 Solare Transmission von Juni bis August KREUZGASSE | WIEN

Für die Monate Juni bis August wurde die Reduktion der gesamten solaren Transmission durch die Begrünungsmaßnahmen an der Süd-Fassade ermittelt (Glasfassadenfläche 57 m²). Die gesamte Solartransmission umfasst auch die indirekt (sekundäre Wärmeabgabe) übertragene Sonnenenergie. Die Ergebnisse wurden mit dem Referenzmodell (Bestand ohne externen Sonnenschutz mit Sonnenschutzverglasung) verglichen. Der solare Eintrag in das Objekt wird durch die Begrünung um 60,3 % bzw. 2.193 kWh verringert (Abbildung 53).

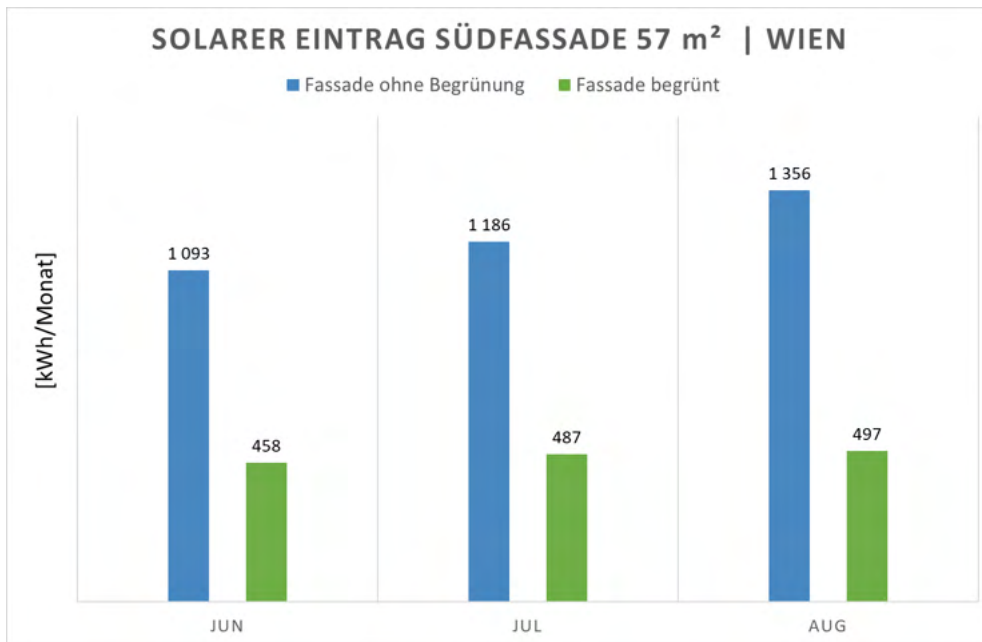


Abbildung 53: Wärmeeintrag auf Süd-Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung, Standort KREUZGASSE | WIEN (Größe Glasfassadenfläche 57 m²). © IBO, 2025.

12.3 Ergebnisse aus dem Monitoring im Außenraum

Vegetationsperioden 2023 und 2024

12.3.1 Ergebnisse SÖLL | TIROL

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse aus dem Monitoring am Demo-Objekt MPREIS, SÖLL TIROL der Vegetationsperiode 2023 und 2024 (1. und 2. Standjahr) dargestellt. Aufgrund der Installation im Juni 2022 und der noch geringen Entwicklung der Vegetation war ein Monitoring in der ersten Vegetationsperiode 2022 noch nicht durchführbar. Die nachfolgend dargestellten Daten beziehen sich auf die Standjahre 2 und 3. In Abbildung 54 und Tabelle 8 ist die Verortung der GLASGrün-Systeme, Pflanzenarten, und der Messpunkte am Demo-Objekt der MPREIS Filiale in SÖLL ersichtlich.

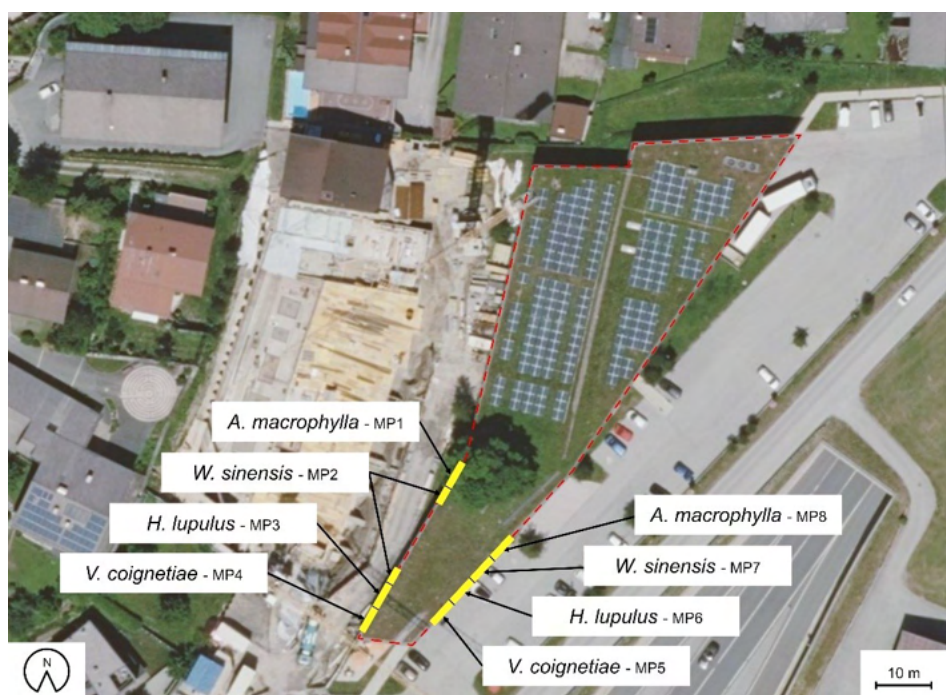


Abbildung 54: Verortung der GLASGrün-Systeme, Pflanzenarten und der Messpunkte am Demo-Objekt in SÖLL | TIROL;
Quelle: tiris, TIROL.gv.at, verändert. ©BOKU-IBLB, 2025.

Tabelle 8: Überblick Messpunkte und Pflanzenarten am Demostandort SÖLL | TIROL.

Bezeichnung	Spezies	Exposition
MP1	<i>Aristolochia macrophylla</i>	NW
MP2	<i>Wisteria sinensis</i>	NW
MP3	<i>Humulus lupulus</i>	NW
MP4	<i>Vitis coignetiae</i>	NW

MP5	<i>Vitis coignetiae</i>	SO
MP6	<i>Humulus lupulus</i>	SO
MP7	<i>Wisteria sinensis</i>	SO
MP8	<i>Aristolochia macrophylla</i>	SO

12.3.1.1 Deckungsgrad der Zielfläche (DG_{Ziel})

Im ersten Standjahr 2022 hat sich am Standort SÖLL | TIROL die Vegetation insgesamt sehr gut entwickelt. Alle vier Arten zeigten einen deutlichen Zuwachs, und es gab keine Ausfälle. An beiden Expositionen, sowohl Nord-West als auch Süd-Ost, hat sich ein vitaler Pflanzenbestand etabliert. Der projektive DG lag zum Ende der ersten Vegetationsperiode (2022), 3 Monate nach der Pflanzung bei > 10 % unabhängig von Expositionen und Pflanzenart und ist in diesem Fall ident mit DG_{Ziel}.

Zu Beginn des 2. Standjahres verlief die Entwicklung bereits deutlich schneller. *A. macrophylla*, *W. sinensis* und *V. cognitia* hatten bereits im 1. Standjahr eine ausreichende Gerüstsubstanz ausgebildet, aus der sie austrieben. Dadurch haben sie bereits wesentlich früher in der zweiten Vegetationsperiode eine kleine Fläche an der Kletterhilfe bedeckt. Eine Ausnahme bildet *H. lupulus*. Dieser ist eine Staude und zieht im Winter vollständig ein, wodurch er sich im Frühjahr die Kletterhilfe von Neuem erschließen muss. Der Vorteil des Hopfens liegt jedoch darin, dass er deutlich früher austreibt und rasche Zuwächse bis > 5 m verzeichnet, die in den heißen Sommermonaten gute Beschattungseffekte erzielen.

Die Auswertung mittels digitaler Bildanalyse des DG_{ZIEL} [%] (Rahmengröße je Variante 2,4 x 4,5 m) aus den Monitorings der Vegetationsperioden (2023 und 2024) zeigte deutliche saisonale Veränderungen. Die ermittelten Werte verdeutlichen die unterschiedlich stark ausgeprägte Wüchsigkeit der ausgewählten Versuchspflanzen. Drei Arten – *A. macrophylla*, *H. lupulus* und *W. sinensis* – zeigten im Zeitraum von Juni – September 2023 eine deutliche Zunahme des DG_{ZIEL} auf, insbesondere die Individuen an der Süd-Ostfassade. Die Ergebnisse der Auswertungen des Deckungsgrades für die Vegetationsperioden 2023/2024 sind in Abbildung 55 dargestellt (Tabellen der Monitoring Daten im Anhang). *V. cognitia* ist generell langsamer in der Entwicklung, was sich im Deckungsgrad äußerte.

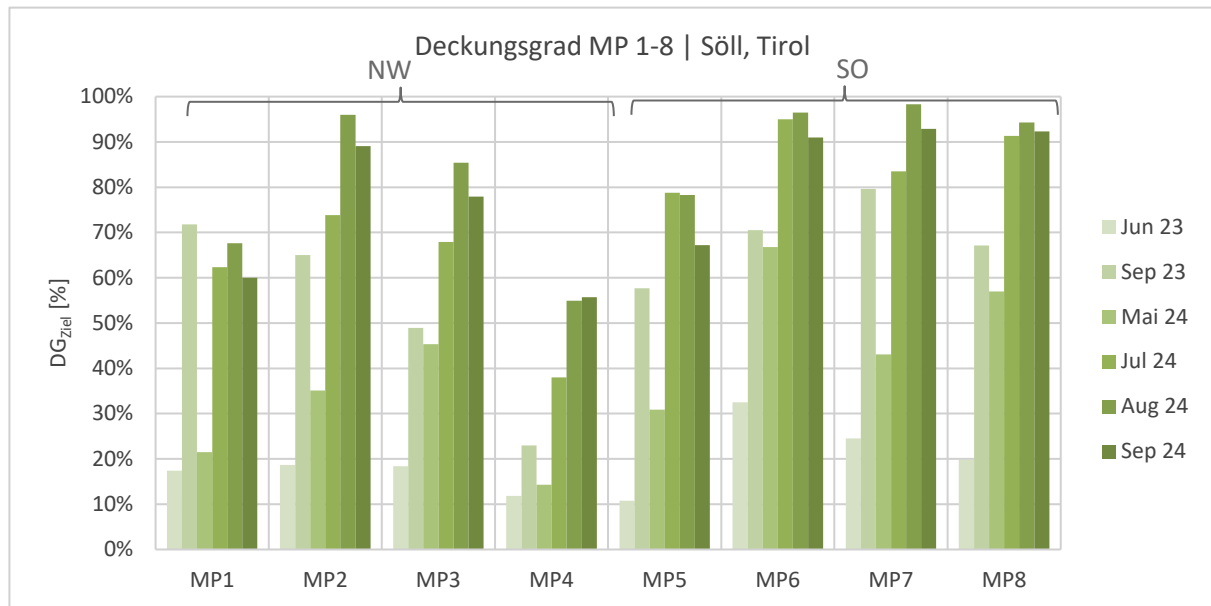


Abbildung 55: Saisonale Entwicklung Deckungsgrad Zielfläche [%] im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – September 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 Nord-West-Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost-Seite); MP1 (*A. macrophylla* NW); MP2 (*W. sinensis* NW); MP3 (*H. lupulus* NW); MP4 (*V. coignetiae* NW); MP5 (*V. coignetiae* SO); MP6 (*H. lupulus* SO); MP7 (*W. sinensis* SO); MP8 (*A. macrophylla* SO). ©BOKU-IBLB, 2025.

– *A. macrophylla* (MP1 und MP8)

Im Juni (06/23) zeigte *A. macrophylla* moderate DG_{ZIEL} von 17,4 % (MP1) bzw. 19,8 % (MP8). Drei Monate später, im September (09/23), zeigten sich an beiden Ausrichtungen deutliche Zunahmen (Abbildung 55), insbesondere an der Nord-West-Fassade mit einem DG_{ZIEL} von 71,8 %. Dies weist auf eine ausgeprägte Wachstumsphase im Spätsommer der Saison 2023 hin.

Im Mai (05/24) hatte der DG_{ZIEL} von *A. macrophylla* an MP1 28 % erreicht und im Südosten mit 57 % bereits mehr als die Hälfte der Zielfläche eingenommen. *A. macrophylla* zeigte weitere Zunahmen im Juli (07/24) mit 62,3 % (MP1) und deckte mit 91,3 % (MP8) den größten Teil der Klettermodule. Im August (08/24) erreichten die Pflanzen an beiden Expositionen ihr Jahresmaximum mit 67,6 % (MP1) und 94,3 % (MP8). Im September (09/24) war bereits ein leichter Einzug der Pflanzen und damit Rückgang des DG_{ZIEL} bei 60,0 % (MP1) und 92,3 % (MP8) zu erkennen (Abbildung 56).

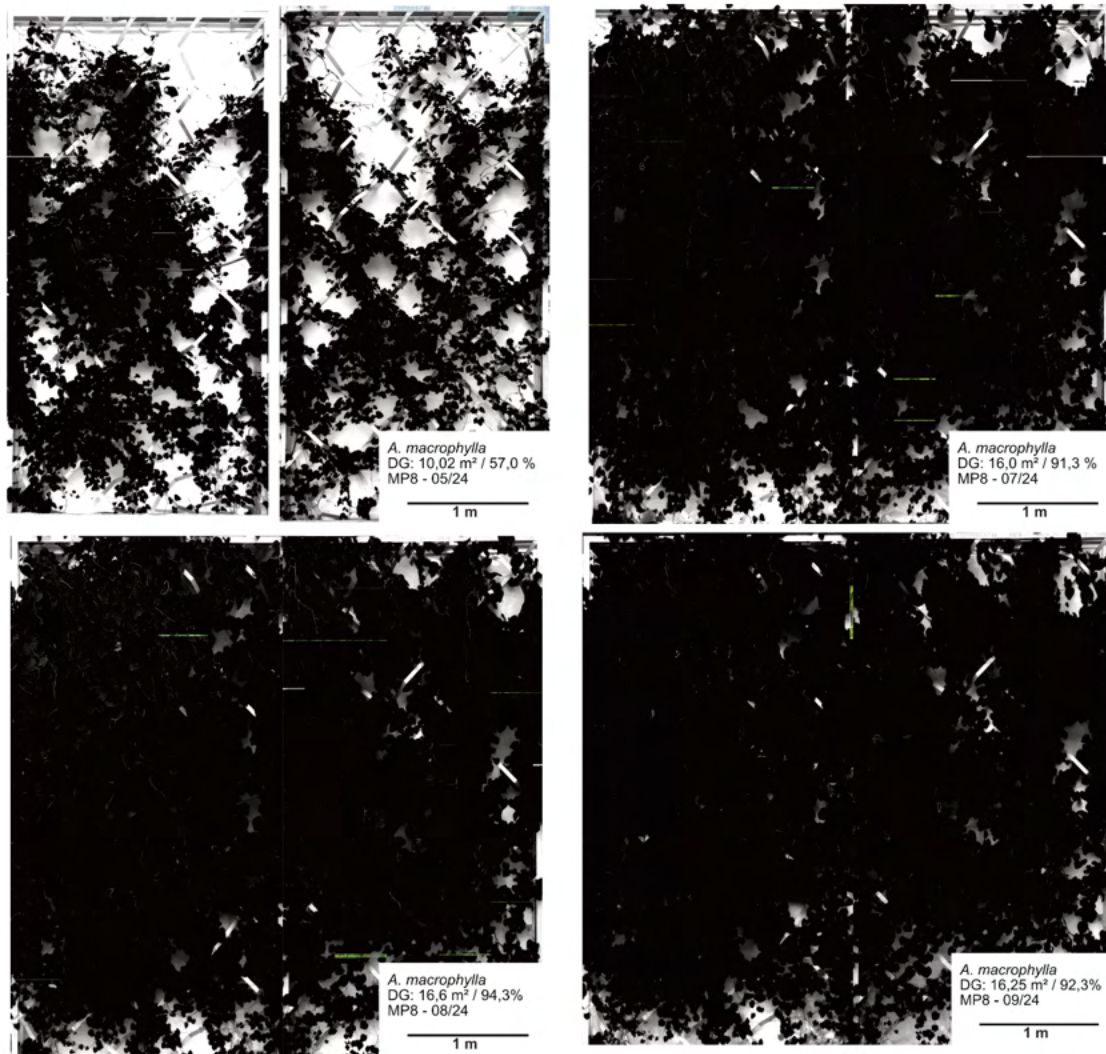


Abbildung 56: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb des 3. Standjahres (2024) am Beispiel von *A. macrophylla*, MP8 an der Süd-Ost-Fassade an Standort SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

– *W. sinensis* (MP2 und MP7)

Im Juni (05/24) verzeichnete *W. sinensis* vergleichbare moderate DG_{ZIEL} von 18,7 % (MP2) und 24,5 % (MP7). Im September (09/23) zeigte *W. sinensis* im SO (MP7) einen markanten Anstieg auf 79,6 %, während sich der DG_{ZIEL} der Pflanzen im NW (MP2) bei 65,0 % einpendelte (Abbildung 55).

W. sinensis zeigte im 3. Standjahr, im Mai (05/24) an beiden Expositionen, NW (MP 2) mit 35,1 % und SO MP 7 (43,1 %), ähnlich hohe Werte. Im Juli (07/24) stieg die Deckung der Pflanzen beider Expositionen weiter an und erreichte 73,8 % für MP2 (NW) und 83,5 % für MP7 (SO). Auch bei *W. sinensis* zeigte sich das Jahresmaximum des DG-Z im August (08/24) mit einer annähernd vollen Deckung der Zielfläche (96,0 % im NW und 98,3 % im SO). Wie auch bei *A. macrophylla* ist bei den DG_{ZIEL} werten im September (09/24) eine leichte Verminderung zu 89,1 % (NW) bzw. 92,9 % (SO) zu erkennen (Abbildung 57).



Abbildung 57: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb des 3. Standjahres (2024) am Beispiel von *W. sinensis*, MP7 an der Süd-Ost-Fassade, Standort SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

– *H. lupulus* (MP3 und MP6)

Der Deckungsgrad DG_{ZIEL} bei *H. lupulus* variierte im ersten Standjahr im Juni (05/23) zwischen 18,4 % (MP3) und 32,5 % (MP6). Bis September (09/23) zeigten die Pflanzen an beiden Fassaden erhebliche Zuwächse, wobei die SO-Fassade (MP6) mit einem DG_{ZIEL} von 70,5 % einen höheren Wert aufwies als die Pflanzen im NW (MP3) mit 48,9 % (Abbildung 55).

H. lupulus zeigte an beiden Expositionen, NW (45,3 %) und SO (66,8 %) die höchsten gemessenen Werte unter allen Pflanzenarten für Mai 2024 im Standjahr 3. Die Pflanzen bedeckten damit bereits zu Beginn der Vegetationsphase 2024 ungefähr die Hälfte der Zielfläche. Im Juli (07/24) stieg auch bei *H. lupulus* der DG-Z mit 67,9 % (NW) und 95,0 % an beiden Expositionen weiter an, wenn auch in ungleichem Maße. Wie auch bei den vorhergehenden Arten sind bei *H. lupulus* die Jahresmaxima mit 85,4 % im NW und 96,4 % im SO mit August (08/24) erreicht. Auch bei dieser Art stellte sich beim DG_{Ziel} für September (09/24) ein leichter Rückgang ein mit 77,9 % im NW und 91,0 % im SO (Abbildung 58).

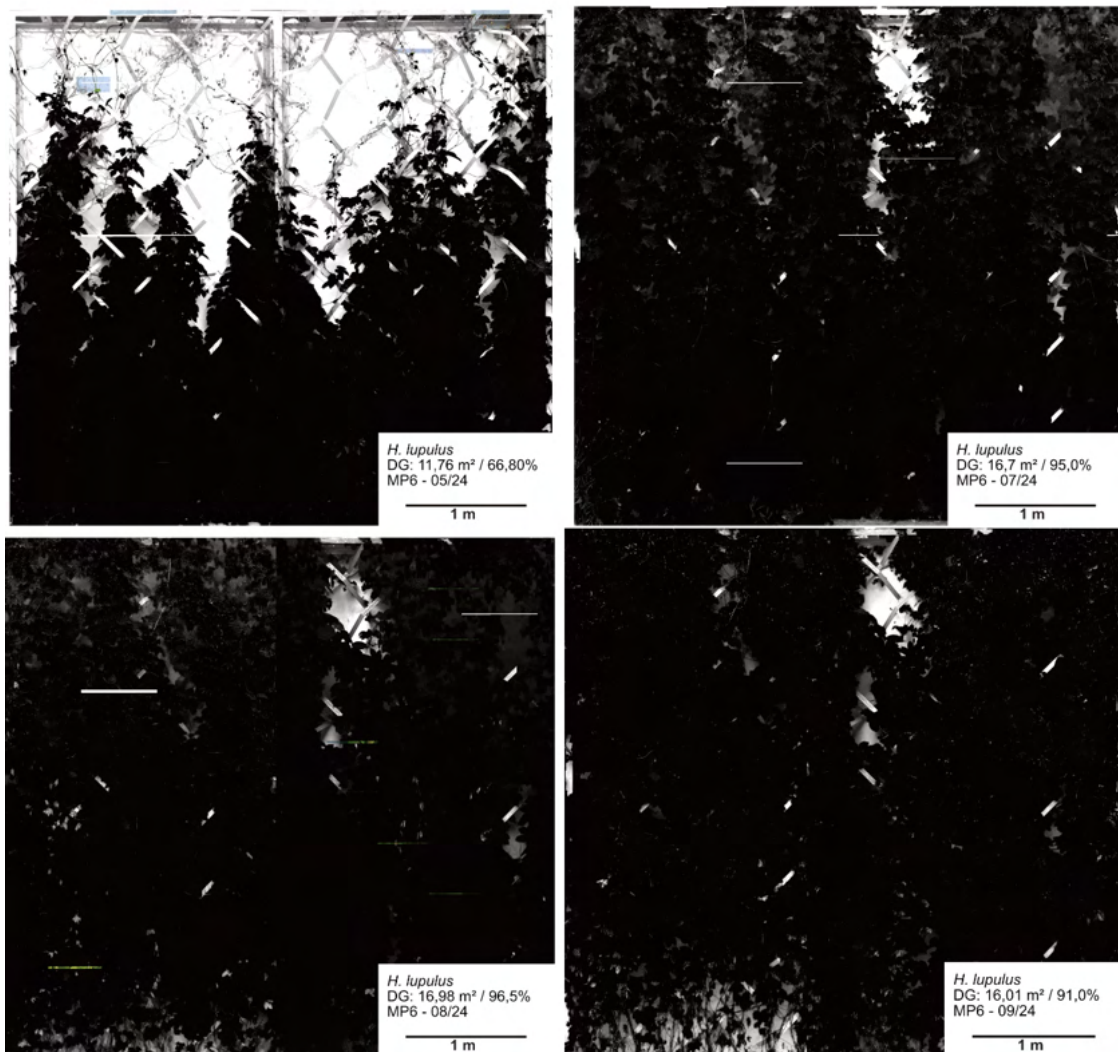


Abbildung 58: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb der 3. Vegetationsperiode (2024) am Beispiel von *H. lupulus*, MP6 an der Süd-Ost-Fassade an Standort SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025

– *V. coignetiae* (MP4 und MP5)

Im 2. Standjahr im Juni 23 zeigte *V. coignetiae* sowohl an der NW-Fassade als auch an der SO-Fassade einen vergleichsweise niedrigen DG_{Ziel} von 11,8 % (MP4) bzw. 10,8 % (MP5). Im September (09/23) blieb der Deckungsgrad an der NW-Fassade (MP4) mit 23,0 % den Sommer über stabil, während an der SO-Fassade (MP5) ein deutlicher Anstieg auf 57,7 % zu verzeichnen war (Abbildung 55).

DG_{ZIEL} von *V. coignetiae* lag im 3. Standjahr im Mai (05/24) im NW bei 14,3 % und an der SO-Seite bei 30,9 %. Im Juli (07/24) stieg der DG-Z von *V. coignetiae* an beiden Expositionen weiter an auf 38,0 % (NW) und 78,8 % (SO). Im August (08/24) verzeichneten die Pflanzen im NW weitere Anstiege des DG-Z mit 54,9 %, und die der SO-Fassade stagnierten mit 78,3 %. Im September (09/24) zeigte *V. coignetiae* NW-seitig als einziger Messpunkt einen weiteren leichten Anstieg des DG-Z auf 55,7 %. Im SO zeigte die Auswertung im September (09/24) einen Rückgang des DG-Z auf 67,2 % (Abbildung 59).

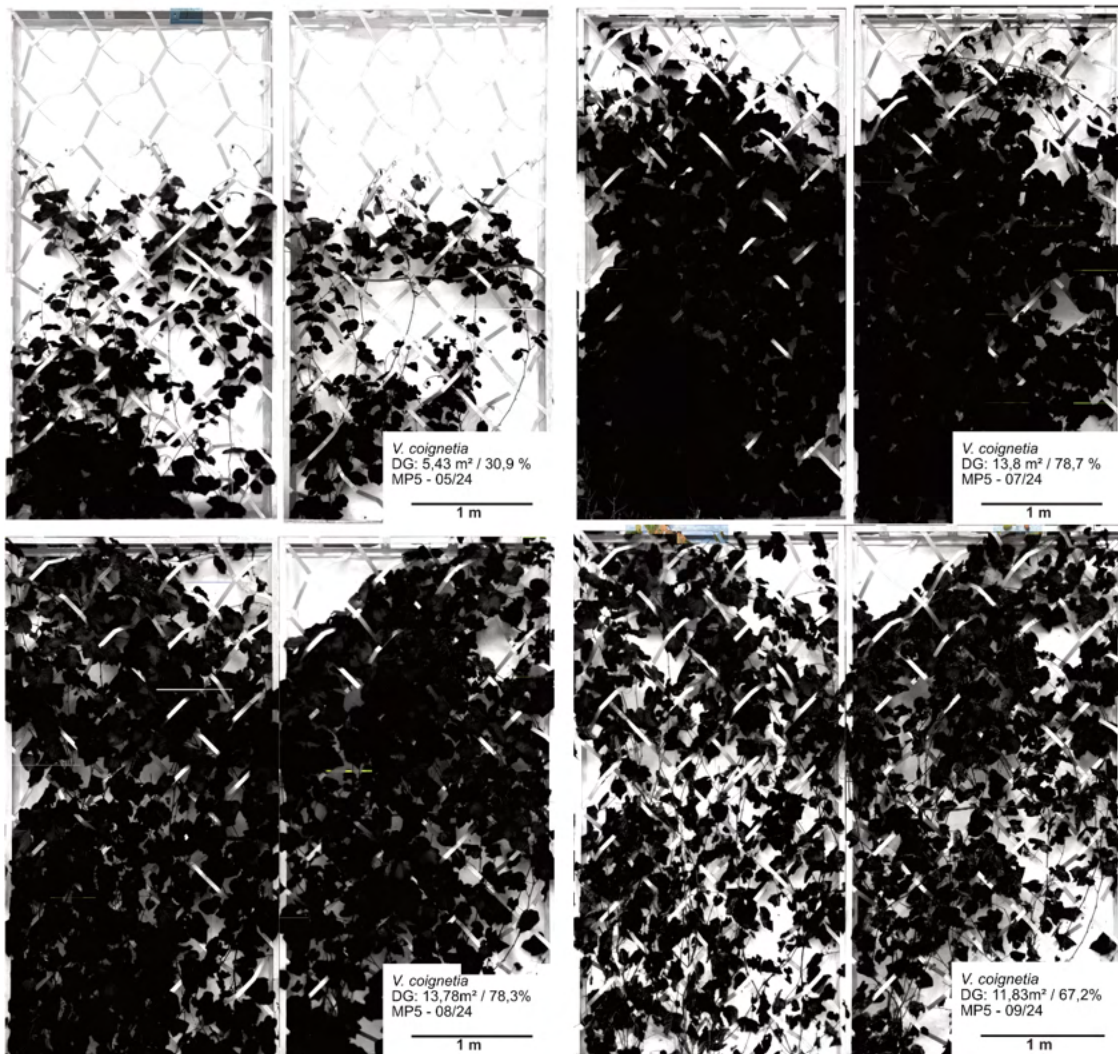


Abbildung 59: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb des 3. Standjahres (2024) am Beispiel von *V. coignetiae*, MP5 an der Süd-Ost-Fassade an Standort SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

12.3.1.2 Wand-Blattflächenindex (WLAI)

Der Blattflächenindex (LAI) ist ein dimensionsloser Indikator für die Beschattungsleistung und andere Ökosystemleistungen. Er gibt die Blattfläche im Verhältnis zur dahinter liegenden Fläche an (WLAI 2 bedeutet doppelt so hohe Blattfläche wie Wandfläche). Da sich die folgende Auswertung auf die Vertikale bezieht wird vom Wall Leaf Area Index (WLAI) gesprochen. Die Datenauswertung der Ergebnisse zum Blattflächenindex aus den Messkampagnen in SÖLL | TIROL im 1. Standjahr von 06-2023 und 09-2023 zeigen ebenfalls deutliche saisonal bedingte Zunahmen. Die Lichtverhältnisse zwischen Süd-Ost- und Nord-West-Seite variieren aufgrund des Sonnenstands erheblich. Dies hatte differenzierte Entwicklungen im Pflanzenwachstum zur Folge, die die dynamische Anpassung der Vegetation im Verlauf des Sommers an die unterschiedlichen Lichtverhältnisse – Nord-West und Süd-Ost Exposition – verdeutlichen. Die Pflanzen zeigen adaptive Reaktionen auf diese unterschiedlichen Lichtverhältnisse. Die Auswertung der Messkampagnen ist in Abbildung 60

dargestellt (Tabellen zu den Messdaten s. Anhang Kap. 16.3). Die dargestellten Werte sind Mittelwerte für jede Art von je 9 Messungen mit jeweils 8 Einzelmessungen der AccuPAR-Lanze [$n=72$].

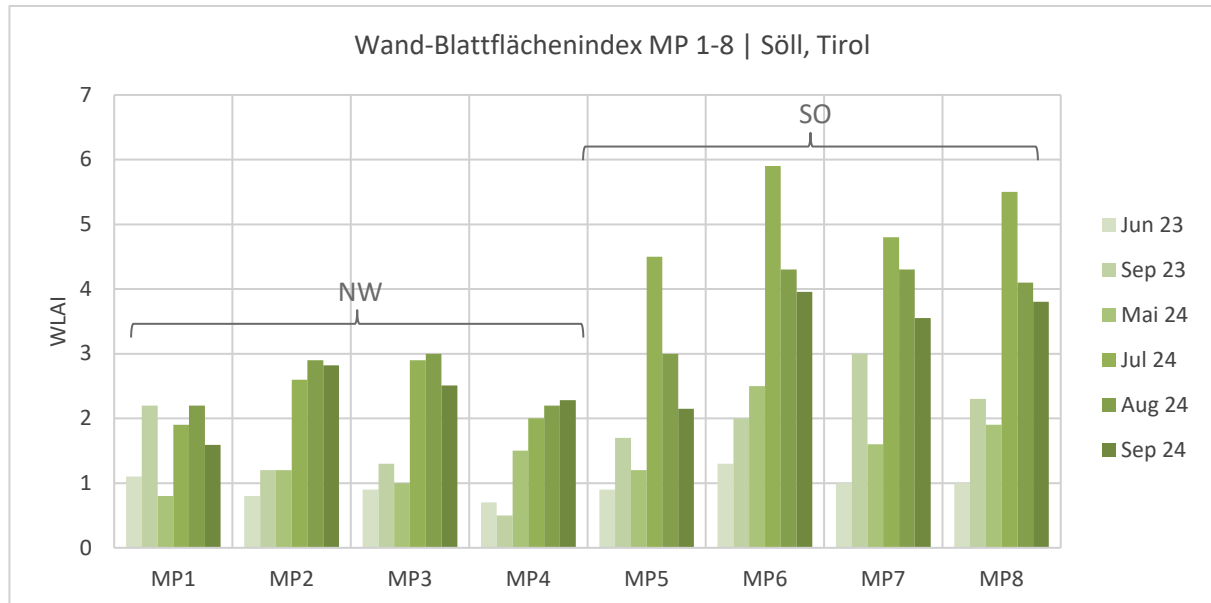


Abbildung 60: Entwicklung des Wand-Blattflächenindex (WLAI) im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 Nord-West Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost Seite); MP1 (*A. macrophylla* NW); MP2 (*W. sinensis* NW); MP3 (*H. lupulus* NW); MP4 (*V. coignetiae* NW); MP5 (*V. coignetiae* SO); MP6 (*H. lupulus* SO); MP7 (*W. sinensis* SO); MP8 (*A. macrophylla* SO). ©BOKU-IBLB, 2025.

– *A. macrophylla* (MP1 und MP8)

Im Juni (06/23) wies *A. macrophylla* an der NW-Fassade (MP1) einen Blattflächenindex von 1,1 auf, ähnlich hoch wie im SO (MP8) mit 1,0. Die Auswertung im September (09/23) ergab eine Steigerung des Blattflächenindex an der NW-Fassade auf 2,2 (MP1) und 2,3 im SO (MP8). Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass die Entwicklung bei *A. macrophylla* bei verschiedenen Lichtverhältnissen wenig unterschiedlich verläuft, die WLAI lagen zu beiden Messzeitpunkten auf ähnlichen Niveaus.

Im Mai des 3. Standjahres (05/24) hatte *A. macrophylla* im NW mit einem WLAI von 0,8 annähernd den Blattflächenindex von Juni 23 erreicht. Im SO lag der WLAI im Mai (05/24) mit 1,9 bereits doppelt so hoch wie an der NW-Exposition zu gleicher Zeit und annähernd so hoch wie gegen Ende der Vegetationsperiode 2023. Im Juli (07/24) hat sich der WLAI von *A. macrophylla* an der NW-Fassade mit 1,9 verdoppelt, während der WLAI der SO-seitigen Pflanzen einen starken Anstieg auf 5,5 verzeichnete. Im August (08/24) stieg der WLAI von *A. macrophylla* im NW weiter auf 2,2, an der SO-Fassade sank er unterdessen auf 4,1. Mit September (09/24) hielt der leicht steigende Trend des WLAI von MP1 mit 2,4 weiter an. Zugleich stieg auch der WLAI von MP8 wieder leicht auf 4,3 an.

– ***W. sinensis* (MP2 und MP7)**

Im Juni (06/23) wurde bei *W. sinensis* an Messpunkt 2 (MP2) ein Blattflächenindex von 0,8, erhoben, während er an Messpunkt 7 (MP7) bei 1,0 lag. Bei der Auswertung im September (09/23) wurde ein Anstieg des Blattflächenindex im NW auf 1,2 und im SO ein Anstieg des Blattflächenindex auf 3,0 ermittelt. Die Blattflächenentwicklung von *W. sinensis* differenziert sich somit an den betrachteten Positionen. Besonders an der SO-Seite verzeichneten die Pflanzen eine markante Zunahme des Blattflächenindex im September (09/23).

W. sinensis wies im Mai (05/24) ähnlich hohe Werte des WLAI an der NW-Seite mit 1,2 wie im SO mit 1,6 auf. Im Juli (07/24) stieg der gemessene Blattflächenindex mit 2,9 im NW und 4,3 im SO an beiden Gebäudeexpositionen stark an. Deutliche Unterschiede sind auch hier insgesamt zwischen den Expositionen zu erkennen. Die Augustmessung (08/24) brachte einen leicht gestiegenen Wert von 2,9 im NW und einen leicht gesunkenen WLAI im SO auf 4,3. Im September (09/24) stagnierte der Blattflächenindex für *W. sinensis* an der NW-Fassade mit 2,8. Im SO hingegen, ist ein Rückgang auf 3,6 zu erkennen.

– ***H. lupulus* (MP3 und MP6)**

Im Juni (06/23) erreichte *H. lupulus* an Messpunkt 3 an der NW-Seite (MP3) einen WLAI-Wert von 0,9, während er an Messpunkt 6 an der SO-Seite (MP6) bei 1,3 lag. Die Daten von September (09/23) zeigen eine Erhöhung des WLAI von MP3 auf 1,3. An der SO-Fassade wurde ein Anstieg des Blattflächenindex auf 2,0 festgestellt. An beiden Expositionen zeigt sich eine ähnlich moderate Zunahme der Blattfläche über den Sommer hinweg bei jedoch unterschiedlicher Startentwicklung.

H. lupulus wies im Mai (05/24) im NW einen WLAI von 2,5 auf. Im NW lag der WLAI mit einem Wert von 1,0 deutlich niedriger. Die Julimessung zeigte Werte von 2,9 im NW und im SO den Höchstwert unter allen untersuchten Pflanzenarten mit 5,9. Die weitere Entwicklung des Blattflächenindex im August (08/24) stagnierte für MP3 mit 3,0 und sank auf 4,3 für MP6. Im September ist eine Reduktion des WLAI von *H. lupulus* an beiden Expositionen mit 2,5 im NW und 4,0 im SO erkennbar.

– ***V. coignetiae* (MP4 und MP5)**

Im Juni (06/23) wurde für *V. coignetiae* an Messpunkt 4 an der NW-Seite (MP4) ein WLAI von 0,7 ermittelt, während er auf der SO-Seite an Messpunkt 5 (MP5) bei 0,9 lag. Im September (09/23) ergab die Auswertung bereits eine leichte Abnahme des Blattflächenindex von MP4 auf 0,5. Gleichzeitig verzeichnete MP5 einen Anstieg des Blattflächenindex auf 1,7. Es zeigt sich auch hier eine differenzierte Entwicklung des WLAI an den betrachteten Positionen, wobei insbesondere an der SO-Seite eine deutliche Dominanz festgestellt wurde.

Im Mai (05/24) wurde an der NW-Seite ein WLAI von 1,5 ermittelt. An der SO-Seite lag der WLAI bei 1,2. Für Juli (07/24) verzeichnete MP4 einen leichten Anstieg des Blattflächenindex auf 2,0, während der WLAI von MP5 auf 4,5 stieg. Für August (08/24) ist eine weitere Steigung des WLAI von *V. coignetiae* an der NW-Fassade und ein Rückgang auf 3,0 im SO zu erkennen. Im September nähern sich die Werte des Blattflächenindex an beiden Expositionen an, mit 2,3 für MP4 und 2,2 für MP5.

12.3.1.3 Kubisches Volumen

Das Kubische Volumen [m^3] des Pflanzenkörpers errechnet sich aus der flächenmäßigen Deckung [m^2] und der Dicke der Vegetationsschicht. Die unterschiedliche Architektur, vor allem Unterschiede in der Tiefe der Kletterhilfen an der NW-Fassade (einfaches Baustahlgitter) und an der SO-Fassade (dreidimensionale Bandstahlkonstruktion) lassen deutliche Unterschiede im kubischen Volumen zwischen den beiden Expositionen vermuten. Die Jahresverläufe des kubischen Volumens der einzelnen Messpunkte ähneln denen des DG_{Ziel}, wenn auch deutliche Unterschiede zwischen den Expositionen abzulesen sind.

Die Ergebnisse der Auswertungen des Kubischen Volumens für die Vegetationsperioden im 2. und das 3. Standjahr 2023/2024 sind in Abbildung 61 dargestellt (Tabelle zu den Messdaten befinden sich im Anhang Kap. 16.3).

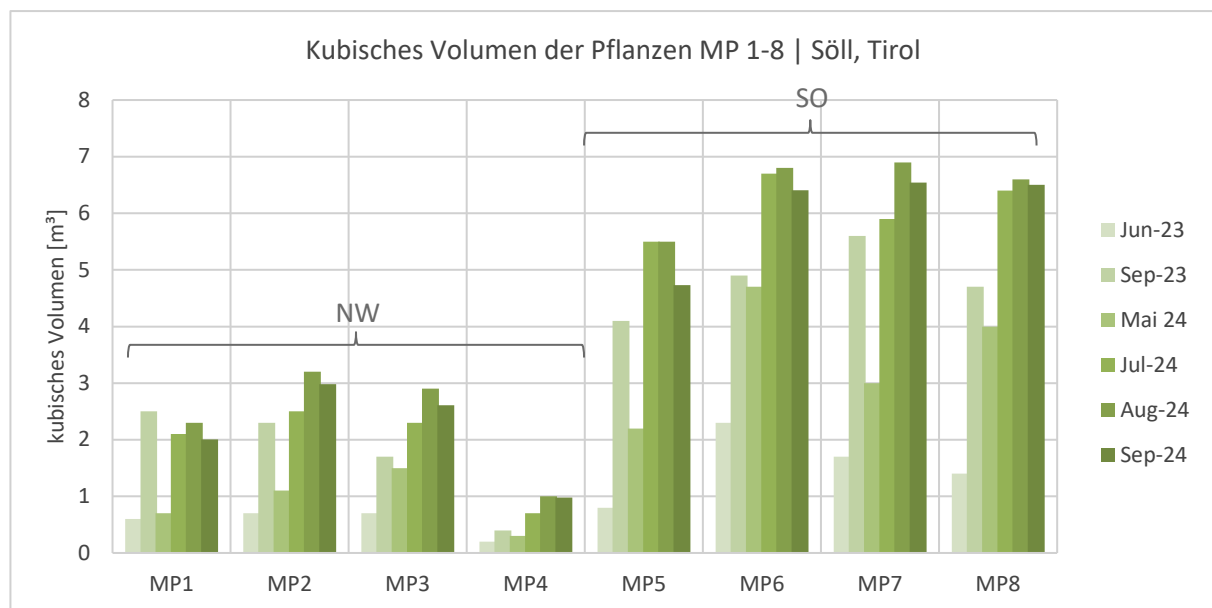


Abbildung 61: Entwicklung des kubischen Volumens [m^3] im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 NW-Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 SO-Seite); MP1 (*A. macrophylla* NW); MP2 (*W. sinensis* NW); MP3 (*H. lupulus* NW); MP4 (*V. coignetiae* NW); MP5 (*V. coignetiae* SO); MP6 (*H. lupulus* SO); MP7 (*W. sinensis* SO); MP8 (*A. macrophylla* SO). ©BOKU-IBLB, 2025.

Beim kubischen Volumen sind deutliche Unterschiede zwischen den Expositionen zu sehen. Im NW des Gebäudes zeigen die Pflanzen in etwa halb so große Volumina im Vergleich zu den Exemplaren an der SO-Fassade. Im 2. Standjahr 2023 wurden Niveaus von 2 – 3 m^3

erreicht. Doppelt so hohe Volumina wurden im 3. Standjahr (2024) zwischen 6 und 7 m³ bereits im Juli erreicht.

– ***A. macrophylla* (MP1 und MP8)**

Im Juni 2023 (06/23) wies *A. macrophylla* an der NW-Fassade (MP1) ein Volumen von 0,6 m³ auf, während es an der SO-Fassade (MP8) 1,4 m³ betrug. Drei Monate später, im September 2023 (09/23), nahm das Volumen an beiden Fassaden deutlich zu, wobei MP1 2,5 m³ und MP8 4,7 m³ erreichte.

Im Mai 2024 (05/24) belief sich das Volumen von MP1 auf 0,7 m³ und das von MP8 auf 4,0 m³. Im Juli 2024 (07/24) stieg das Volumen weiter auf 2,1 m³ (MP1) und 6,4 m³ (MP8). Im August 2024 (08/24) erreichten die Pflanzen ihr Jahresmaximum mit 2,3 m³ (MP1) und 6,6 m³ (MP8). Im September 2024 (09/24) war ein leichter Rückgang des Volumens auf 2,0 m³ (MP1) und 6,5 m³ (MP8) zu verzeichnen.

– ***W. sinensis* (MP2 und MP7)**

Im Juni 2023 (06/23) betrug das Volumen von *W. sinensis* an der NW-Fassade (MP2) 0,7 m³ und an der SO-Fassade (MP7) 1,7 m³. Drei Monate später, im September 2023 (09/23), stieg das Volumen von MP2 auf 2,3 m³ und das von MP7 auf 5,6 m³.

Im Mai 2024 (05/24) erreichte MP2 ein Volumen von 1,1 m³, während MP7 ein Volumen von 3,0 m³ aufwies. Im Juli 2024 (07/24) verzeichnete MP2 ein Volumen von 2,5 m³ und MP7 ein Volumen von 5,9 m³. Im August 2024 (08/24) erreichte MP2 ein Volumen von 3,2 m³ und MP7 ein Volumen von 6,9 m³. Schließlich betrug das Volumen im September 2024 (09/24) für MP2 3,0 m³ und für MP7 6,5 m³.

– ***H. lupulus* (MP3 und MP6)**

Im Juni 2023 (06/23) zeigte *H. lupulus* an der NW-Fassade (MP3) ein Volumen von 0,7 m³, während an der SO-Fassade (MP6) ein Volumen von 2,3 m³ gemessen wurde. Drei Monate später, im September 2023 (09/23), stieg das Volumen bei MP3 auf 1,7 m³ und bei MP6 auf 4,9 m³. Im Mai 2024 (05/24) erreichte MP3 ein Volumen von 1,5 m³ und MP6 ein Volumen von 4,7 m³.

Im Juli 2024 (07/24) verzeichnete MP3 ein weiteres Wachstum auf 2,3 m³, während MP6 auf 6,7 m³ anstieg. Im August 2024 (08/24) erreichte MP3 ein Volumen von 2,9 m³ und MP6 ein Volumen von 6,8 m³. Schließlich zeigte sich im September 2024 (09/24) ein leichtes Absinken des Volumens bei MP3 auf 2,6 m³ und bei MP6 auf 6,4 m³.

– *V. coignetiae* (MP4 und MP5)

Im Juni 2023 (06/23) zeigte *V. coignetiae* an der Nord-West-Fassade (MP4) ein Volumen von 0,2 m³ und an der Süd-Ost-Fassade (MP5) ein Volumen von 0,8 m³. Drei Monate später, im September 2023 (09/23), stieg das Volumen bei MP4 auf 0,4 m³ und bei MP5 auf 4,1 m³. Im Mai 2024 (05/24) erreichte MP4 ein Volumen von 0,3 m³ und MP5 ein Volumen von 2,2 m³. Im Juli 2024 (07/24) zeigte MP4 ein weiteres Wachstum auf 0,7 m³, während MP5 ein Volumen von 5,5 m³ erreichte. Im August 2024 (08/24) blieb das Volumen von MP4 bei 1,0 m³ konstant, und MP5 behielt ebenfalls ein Volumen von 5,5 m³ bei. Im September 2024 (09/24) blieb das Volumen von MP4 bei 1,0 m³, während MP5 ein leichtes Absinken auf 4,7 m³ verzeichnete.

12.3.1.4 Stomatäre Leitfähigkeit

Die vier Pflanzenarten am Demostandort SÖLL | TIROL weisen unterschiedliche Messwerte der stomatären Leitfähigkeit auf. Besonders bemerkenswert sind die hohen Werte von *H. lupulus* und die niedrigen Werte von *W. sinensis* (Abbildung 62 und Abbildung 63). Die stomatäre Leitfähigkeit wurde an 6 Tagen in den Vegetationsperioden 2023 und 2024, jeweils an 3 Blättern pro Pflanze ($n = 18$ pro Art und Exposition) erhoben. Wobei an der NW-Fassade einmal pro Tag um 15:00 Uhr ($n = 432$) und an der SO-Fassade um 09:00 ($n = 432$) gemessen wurde.

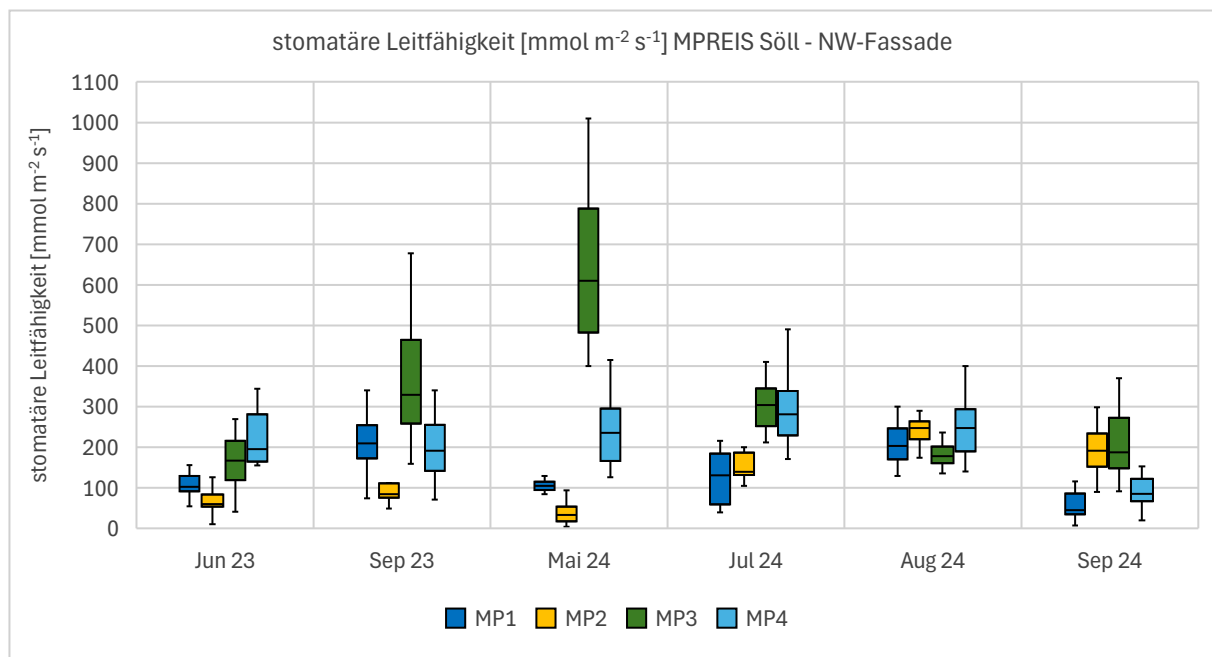


Abbildung 62: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m⁻² s⁻¹] MP1 bis MP4 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 Nord-West-Seite); MP1 (*A. macrophylla* NW; $n = 108$); MP2 (*W. sinensis* NW; $n = 108$); MP3 (*H. lupulus* NW; $n = 108$); MP4 (*V. coignetiae* NW; $n = 108$). ©BOKU-IBLB, 2025.

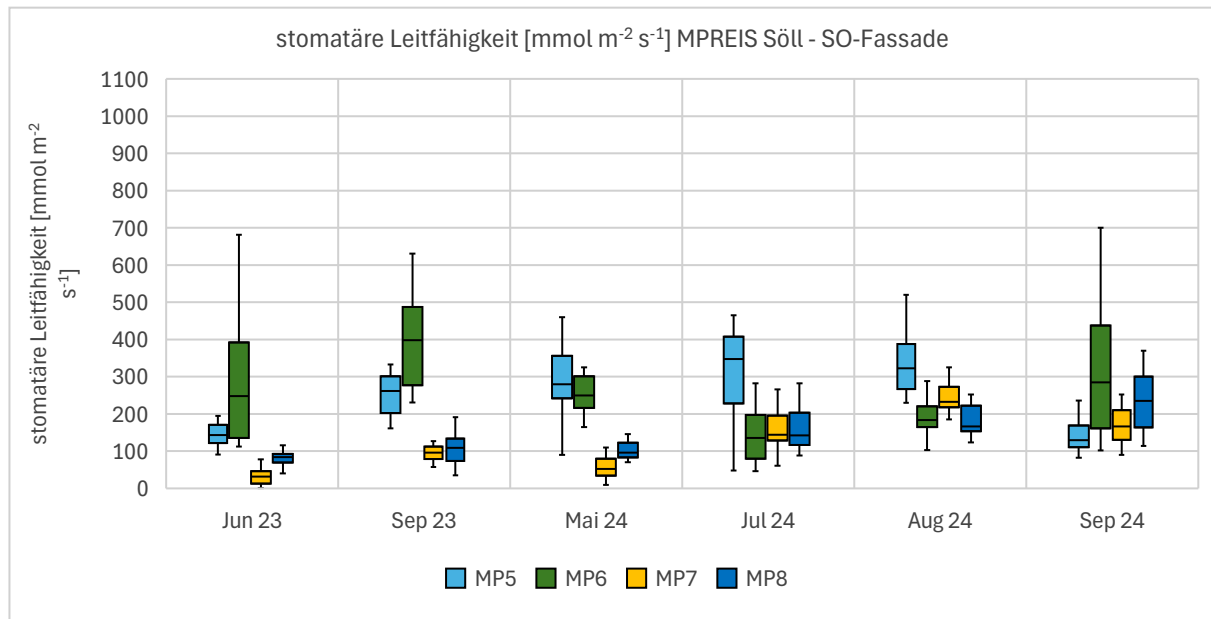


Abbildung 63: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m⁻² s⁻¹] MP5 bis MP8 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost-Seite); MP5 (*V. coignetiae* SO; *n* = 108); MP6 (*H. lupulus* SO; *n* = 108); MP7 (*W. sinensis* SO, *n* = 108); MP8 (*A. macrophylla* SO; *n* = 108). ©BOKU-IBLB, 2025.

Im Juni 2023 wurden an der NW-Fassade (MP1 – MP4) die höchsten Werte der stomatären Leitfähigkeit bei *V. coignetiae* und *H. lupulus* gemessen. *W. sinensis* zeigte hier den geringsten Wert. An der Süd-Ost-Seite (MP5 – MP8) wurde der höchste Wert bei *H. lupulus* ermittelt, während *W. sinensis* erneut den niedrigsten Wert aufwies. Im September 2023 wurden an beiden Expositionen erneut die höchsten Werte bei *H. lupulus* gemessen: Nord-West und Süd-Ost. *A. macrophylla*, MP1 und *V. coignetiae*, MP4 lagen im mittleren Bereich der gemessenen Werte. *W. sinensis* zeigte erneut die niedrigsten Werte an MP2 und MP7.

Im Mai 2024 wurden die höchsten Werte bei *H. lupulus* an MP3 und MP6 gemessen. *V. coignetiae* zeigte ebenfalls hohe Werte an MP4 und MP5. *W. sinensis* wies auch im Mai 2024 wieder die niedrigsten Werte auf, mit den geringsten Werten an MP2 und MP7. Im Juli 2024 wurden die höchsten *g_s*-Werte an *V. coignetiae*, MP4 und MP5 gemessen. An der SO-Fassade verhielten sich *H. lupulus*, *W. sinensis* und *A. macrophylla* zum selben Zeitpunkt ähnlich. An der NW-Fassade verhielten sich *A. macrophylla* und *W. sinensis* ähnlich, *H. lupulus* zeigte ähnlich hohe Werte wie MP4, *V. coignetiae*. Im August 2024 wurden erneut bei *V. coignetiae* an MP4 und MP5 die höchsten Werte gemessen. An beiden Expositionen folgte *W. sinensis* und mit annähernd gleichen Werten *H. lupulus* und *A. macrophylla*. Beim Monitoring von September 2024 zeigte sich *H. lupulus* an MP6 mit den höchsten *g_s*-Werten, im SO gefolgt von *A. macrophylla* und *W. sinensis*. An der NW-Fassade zeigten *W. sinensis* und *H. lupulus* die höchsten Werte, *V. coignetiae* folgte mit halb so hohen stomatären Leitfähigkeiten.

12.3.1.5 Grünverschattungsfaktor F_{bs}

Die folgenden Auswertungen der solaren Strahlungsdaten [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$] zeigen den Grünverschattungsfaktor (F_{bs}) für alle Messpunkte (MP 1 – 8) am Demostandort SÖLL | TIROL (Abbildung 64 bis Abbildung 71) für 2. Standjahr 2023 (jeweils oben) und 3. Standjahr 2024 (jeweils unten).

Allgemein ist zu beobachten, dass die solaren Strahlungseinträge an den Messpunkten im Nordwesten (MP 1 – 4) des Gebäudes deutlich geringer ausfallen als an den Messpunkten an der Südostseite (MP 5 – 8). Auch zwischen den NW-Messpunkten zeigen sich Unterschiede. MP1 und MP2 werden von einem gegenüberliegenden Gebäude früher verschattet als MP3 und MP4 und zeigen daher niedrigere Tagessummen der solaren Einstrahlung. Bei den F_{bs} -Werten ist bei allen Messpunkten zu erkennen, dass dieser in den Wintermonaten diffus, mit großer Streuung bleibt und die Pflanzen geringe bis keine Beschattungen zeigen. In diesen Monaten ist nur die Verschattungsleistung der Kletterhilfe zu sehen, dessen F_{bs} unbelaubt ca. 0,8 beträgt.

Ab dem Laubaustrieb verengt sich der F_{bs} -Wertbereich und fällt pflanzenspezifisch ab. Zeitgleich ist die zunehmende Reduktion des solaren Eintrags durch die Erhöhung der Blattmasse ablesbar. Ab August nehmen die Summen des täglichen solaren Eintrags sukzessive ab. Die Strahlungsreduktion durch das Laub hebt sich nach dem Laubfall in den Monaten September Oktober und November weitgehend auf, wobei auch hier Unterschiede zwischen den Pflanzenarten ablesbar sind. Pflegeschnitte sind besonders deutlich identifizierbar wie z.B. an *V. coignetiae* (Abbildung 68) und *W. sinensis* (Abbildung 70) im 2. Standjahr 2023 und äußern sich in einer abrupten Erhöhung des Beschattungskoeffizienten von ca. 0,3 auf 0,6 (*V. coignetiae*) bzw. 0,1 auf 0,7 (*W. sinensis*).

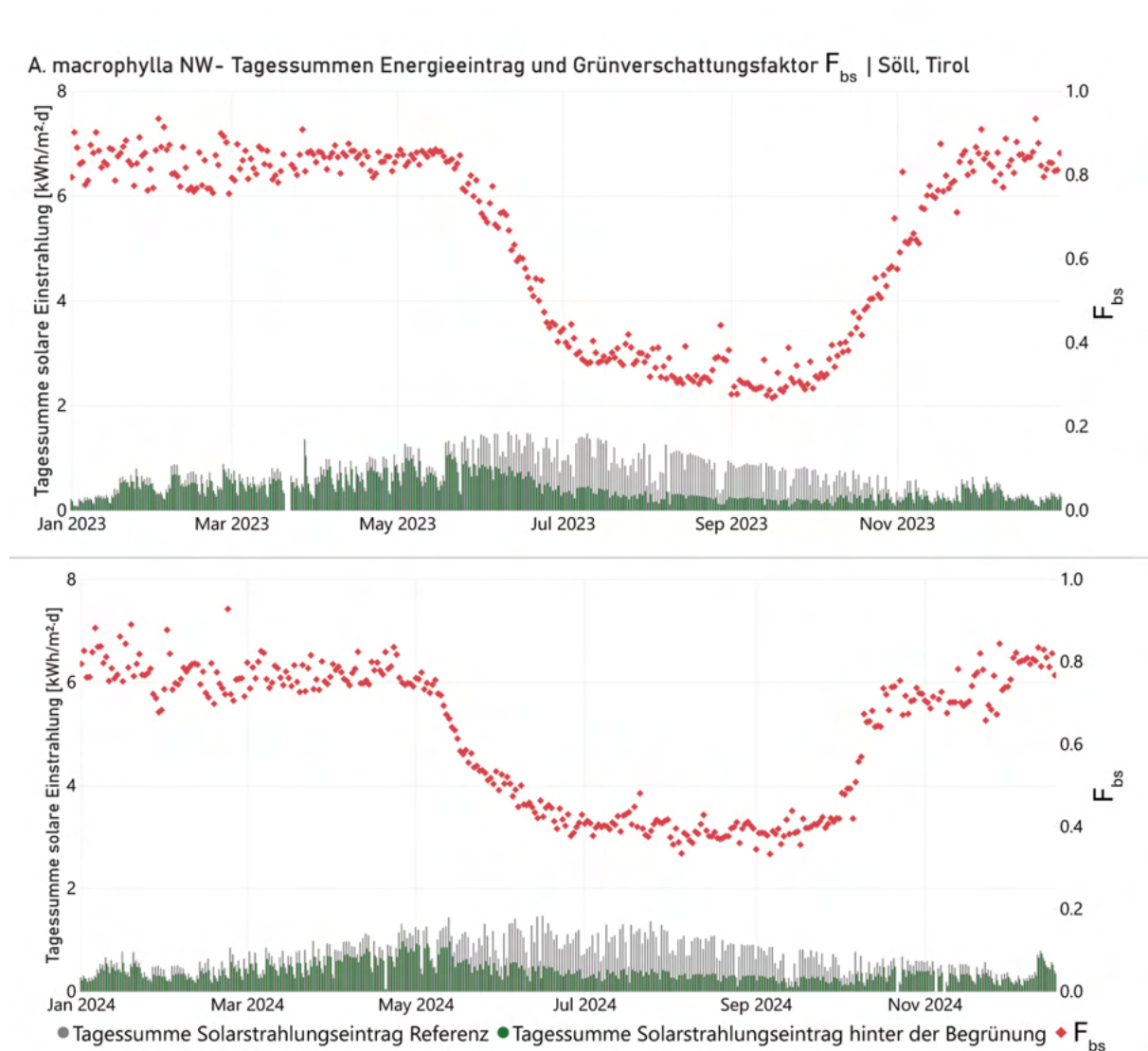


Abbildung 64: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP1 A. *macrophylla* (NW-Fassade). Tageseinträge sehr niedrig aufgrund Beschattung durch Nachbargebäude. ©BOKU-IBLB, 2025.

In Abbildung 64 sind am MP1 die Tagessummen der eingehenden Solarstrahlung sowie der Grünverschattungsfaktor von *A. macrophylla* an der NW-Fassade zu sehen. In der oberen Grafik ist das 2. Standjahr 2023 abgebildet, in der unteren das 3. Standjahr 2024. Im Jahr 2023 ist eine starke Streuung des Grünverschattungsfaktors bis zum Blattaustrieb im Mai zu erkennen ($\approx 0,8$), die 2024 im gleichen Zeitraum ähnlich ausfällt ($\approx 0,8$). Ab Ende Mai ist in beiden Jahren ein abrupt einsetzender Verschattungseffekt ablesbar. Der F_{bs} sinkt deutlich im Zeitraum von 20. Mai ($\approx 0,85$) bis 10. Juli ($\approx 0,35$) im Jahr 2023.

2024 stellt sich dieser Effekt zwischen 10. Mai ($\approx 0,72$) und 26. Juni ($\approx 0,38$) ein. Der Zeitraum der größten Strahlungsreduktion hält 2023 von 10. Juli bis 10. Oktober und pendelt in diesem Zeitraum zwischen 0,27 und 0,4. Dieser Zeitraum ist im 3. Standjahr 2024 zwischen dem 26. Juni und dem 6. Oktober, innerhalb dessen der F_{bs} zwischen 0,33 und 0,45

schwankt. Der Laubabwurf und der damit einhergehende schwindende Verschattungseffekt dauert 2023 von Anfang Oktober bis Ende November, wo wieder ähnliche Werte und eine ähnliche Streuung wie in den Wintermonaten am Anfang des Jahres zu sehen sind. 2024 erfolgte die Laubabwurfphase wenige Tage früher, lässt sich aber dennoch auf Anfang Oktober bis Ende November eingrenzen, wo sich der F_{bs} wieder bei 0,8, bei großer Streuung einfindet.

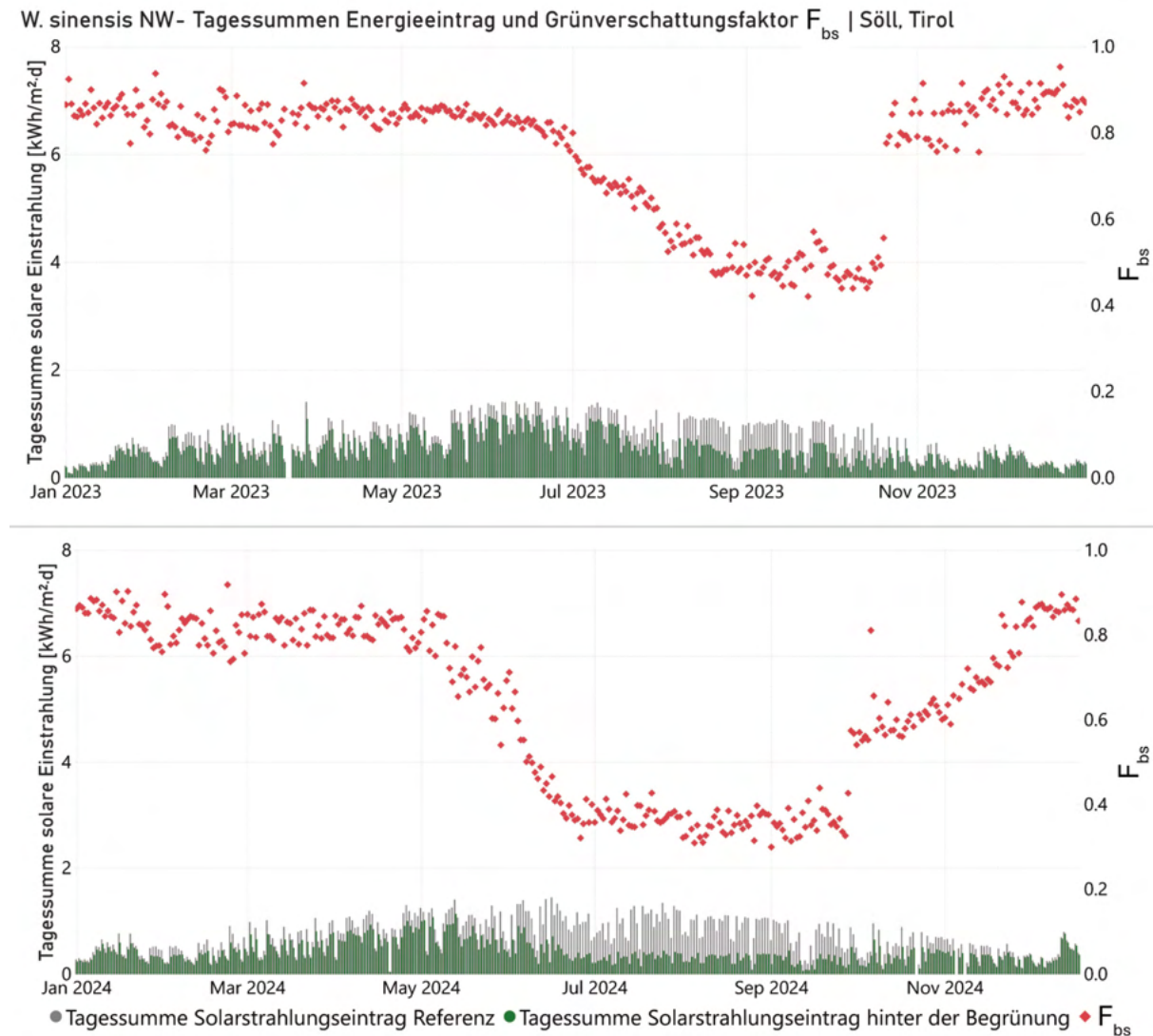


Abbildung 65: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP2 *W. sinensis* (NW-Fassade). Tageseinträge sehr niedrig aufgrund Beschattung durch Nachbargebäude. ©BOKU-IBLB, 2025.

Der Jahresverlauf der solaren Einstrahlung und des Grünverschattungsfaktors von MP2, *W. sinensis* an der NW-Fassade ist in Abbildung 65 dargestellt. Das Einsetzen des Verschattungseffekts tritt im 2. Standjahr 2023 später ein als im 3. Standjahr. 2023 setzt der Verschattungseffekt ab 20. Juni ein, während dieser 2024 ab 10. Mai zu beobachten ist. 2023

ist die Zeitspanne bis zum Erreichen der vollen Verschattungsleistung ($F_{bs} \approx 0,4$) größer und wird um den 15. August erreicht.

2024 wird die volle Verschattung ($F_{bs} \approx 0,35$) um den 26. Juni erreicht. Die volle Verschattungskapazität dauert 2023 bis zu einem manuellen Pflegeeingriff am 20. Oktober, danach stellt sich wieder die Verschattung der unbelaubten Kletterhilfe ein. 2024 erfolgte am 28. September ein kleinerer Pflegeeingriff, aber die Verschattung durch die Pflanze ist noch bis 5. Dezember erkennbar.

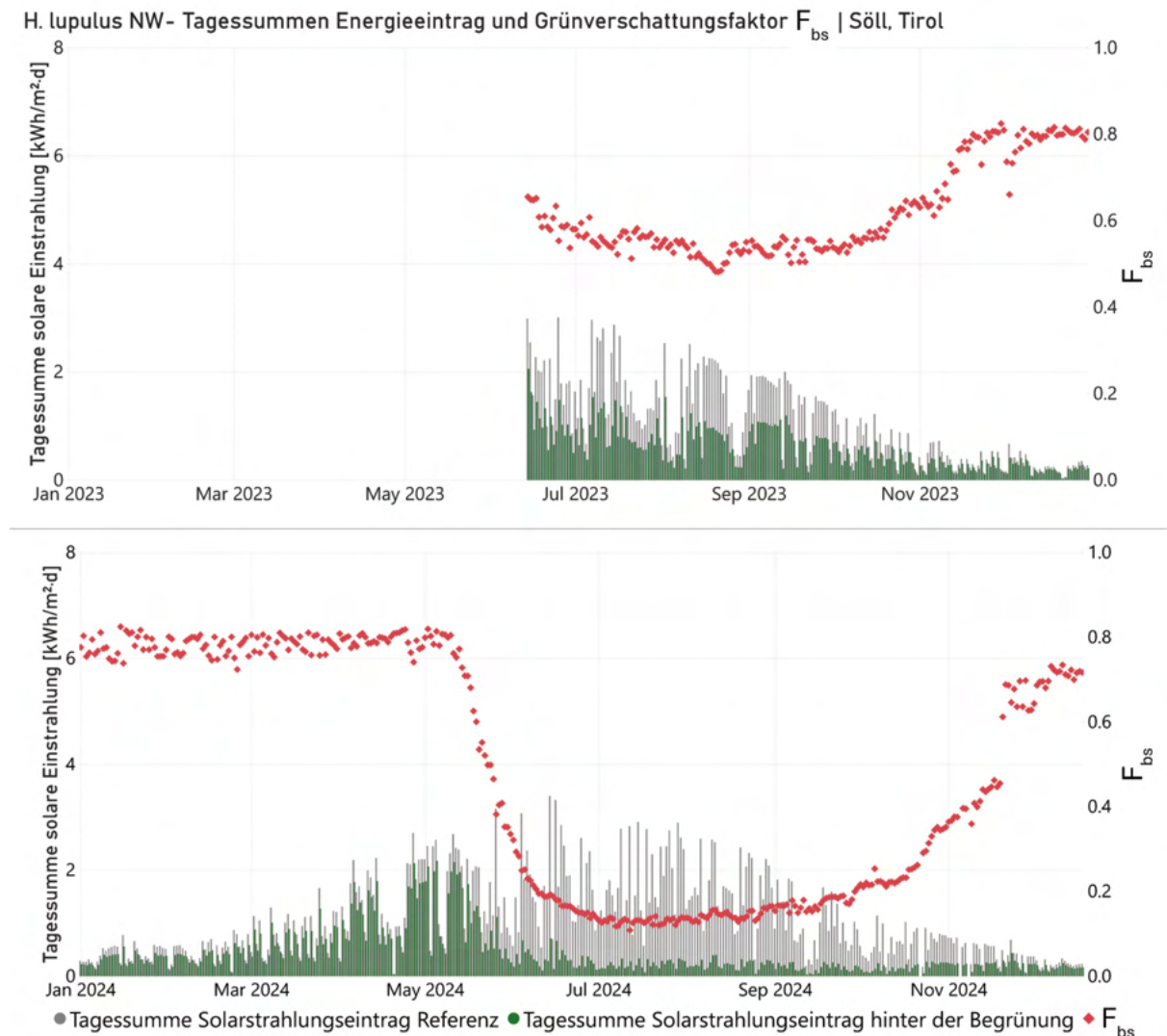


Abbildung 66: Jahresstrahlungsgrafik aus Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP3 *H. lupulus* (NW-Fassade). Sensordatenaufzeichnung 2023 bis Mitte Juni fehlerhaft. ©BOKU-IBLB, 2025.

Der Jahresverlauf von *H. lupulus* im NW des Gebäudes von 2023 (1. Standjahr, oben) und 2024 (2. Standjahr unten) ist in Abbildung 66 zu sehen. Aufgrund einer Fehlfunktion der Datenaufzeichnung sind Strahlungsdaten an diesem Messpunkt für das Jahr 2023 vor dem

14. Juni nicht vorhanden. Für dieses Jahr ist die volle Verschattungsleistung ($F_{bs} \approx 0,5$) dennoch zu erkennen.

Für das Jahr 2024 stellt sich die Verschattungsleistung abrupt ab 10. Mai ein. Der Grünverschattungsfaktor fällt bis 26. Juni kontinuierlich ab, bis die volle Verschattungsleistung ($F_{bs} \approx 0,14$) erreicht ist. Diese wird 2023 bis um den 20. Oktober aufrechterhalten, und ab 15. November ist in den Daten keine Verschattung durch Pflanzen erkennbar. Im 3. Standjahr 2024 hält sich an diesem Messpunkt die volle Verschattung bis ca. 10. Oktober und ist erst mit Anfang Dezember wieder auf dem unbelaubten Winterniveau.

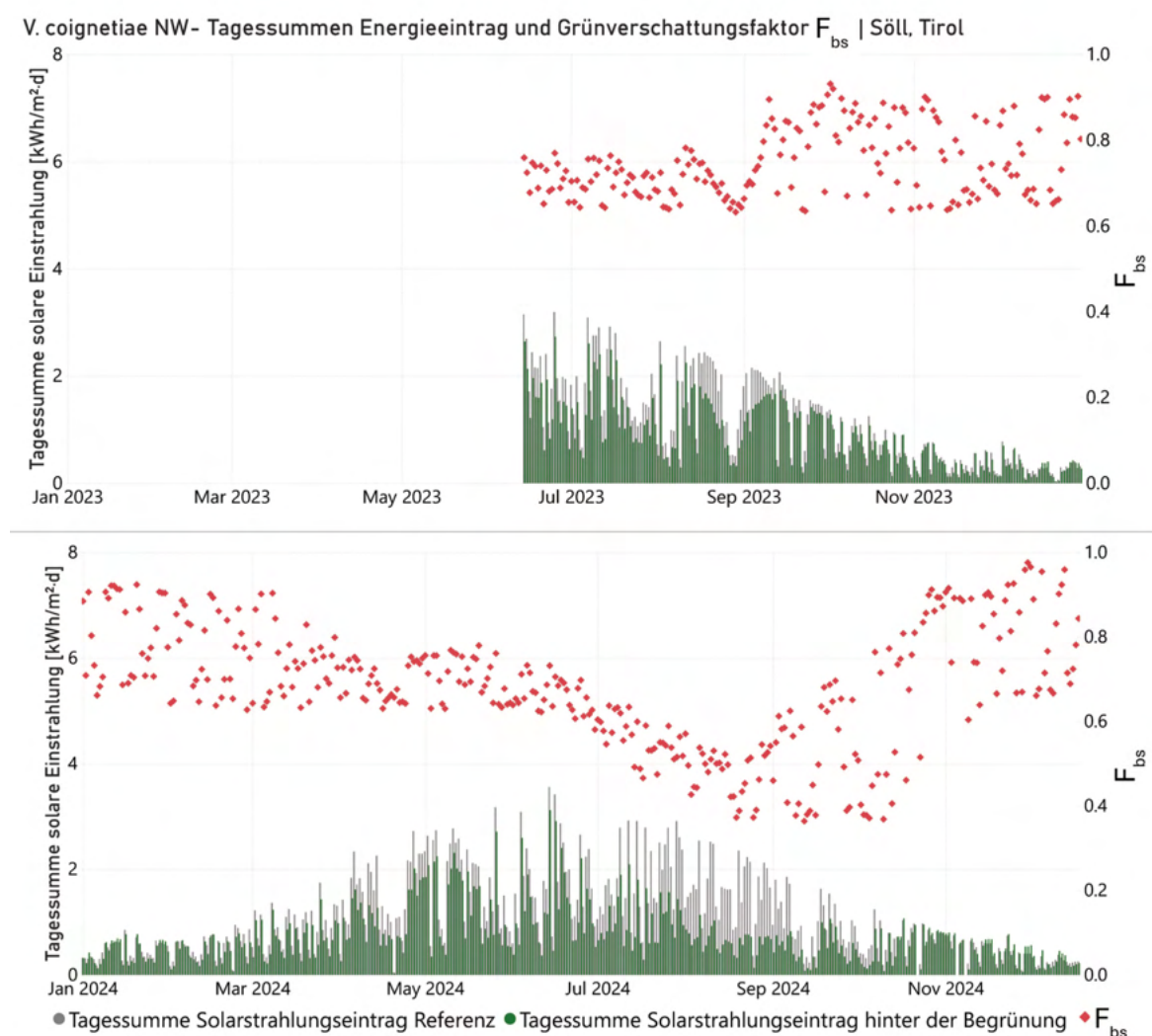


Abbildung 67: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [kWh/m²·d] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP4 *W. sinensis* (NW-Fassade). Sensordatenaufzeichnung 2023 bis Mitte Juni fehlerhaft. ©BOKU-IBLB, 2025.

In Abbildung 67 sind 2. Standjahr 2023 (oben) und 3. Standjahr 2024 (unten) der Strahlungsdaten von *V. coignetiae* an der NW-Fassade des Gebäudes visualisiert. Auch für diesen Messpunkt sind aufgrund eines Fehlers für das Jahr 2023 keine Strahlungsdaten vor Mitte Juni verfügbar. Für beide Jahre ist an diesem Messpunkt eine sehr hohe Streuung im gesamten Messverlauf zu erkennen.

Die Vegetationsmodule sind hier nicht vor einer Glasfassade montiert, sondern trennen die offene Gästeterrasse vom Außenraum. Es handelt sich hierbei um ein „freistehendes“ Modul mit Überdachung, weswegen der Pyranometer hinter der Begrünung diffuser Strahlung aus der Umgebung ausgesetzt ist. Dennoch ist aus den Grafiken abzulesen, dass die Verschattungsleistung 2024 im Vergleich zum Vorjahr zugenommen hat. Während 2023 der F_{bs} bis bei $\approx 0,7$ schwankt, ist dieser 2024 Anfang September über einen kurzen Zeitraum bei $\approx 0,5$. Ein Laubaustrieb ist 2024 ab ca. 15. Juni zu erkennen, der sich bis September hinzieht. Nach dem Verschattungs-Peak im September setzt der Laubfall ein und ab 20. Oktober ist wieder ein F_{bs} von $\approx 0,8$ ablesbar, der Wert der unbelaubten Kletterhilfe.

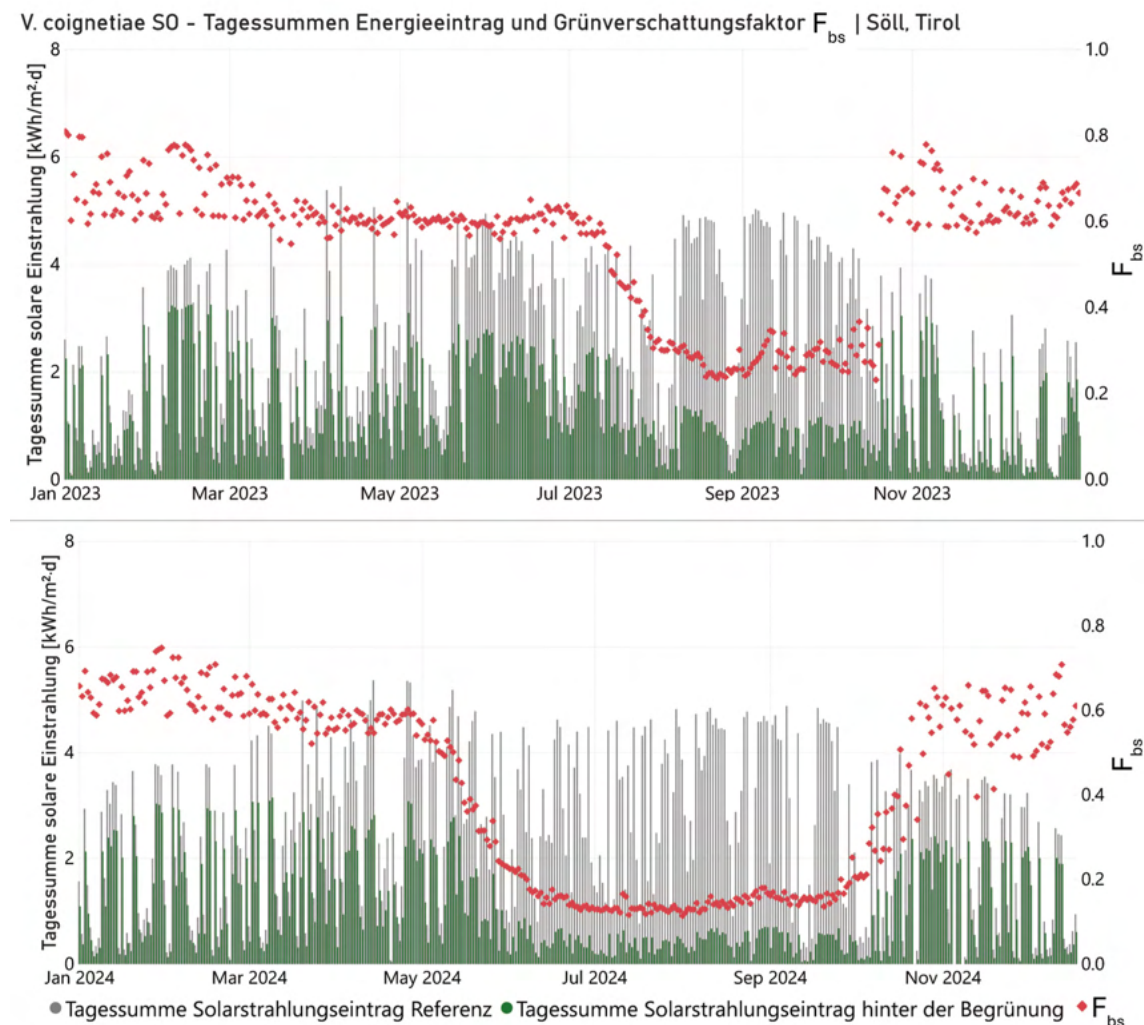


Abbildung 68: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP5 *V. coignetiae* (SO-Fassade). 2023 ist der Pflegeeingriff Ende Oktober in den Strahlungsdaten sowie dem F_{bs} sichtbar. ©BOKU-IBLB, 2025.

Abbildung 68 zeigt den Jahresgang der solaren Einstrahlung und F_{bs} von *V. coignetiae* an der SO-Fassade für 2023 (2. Standjahr oben) und 2024 (3. Standjahr, unten). Für 2023 setzt der Verschattungseffekt ab 10. Juli ein und der F_{bs} schwankt ab 10. August zwischen 0,25 und 0,35. Deutlich zu erkennen ist an diesem Messpunkt der Pflegeschnitt der Pflanzen am 20. Oktober 2023. Dieser zeigt sich durch einen sprunghaften Anstieg des F_{bs} von $\approx 0,25$ auf $\approx 0,7$.

Für das Jahr 2024 ist ein früherer Laubaustrieb und eine frühere Verringerung des F_{bs} , ab Anfang Mai erkennbar. Die Verschattungsleistung steigt bis ca. 20. Juni an und der Grünverschattungsfaktor schwankt dann bei $\approx 0,13$. 2024 ist mit September ist wieder ein leichter Anstieg des F_{bs} erkennbar und mit Ende Oktober nähert sich der F_{bs} wieder dem unbelaubten Zustand an.

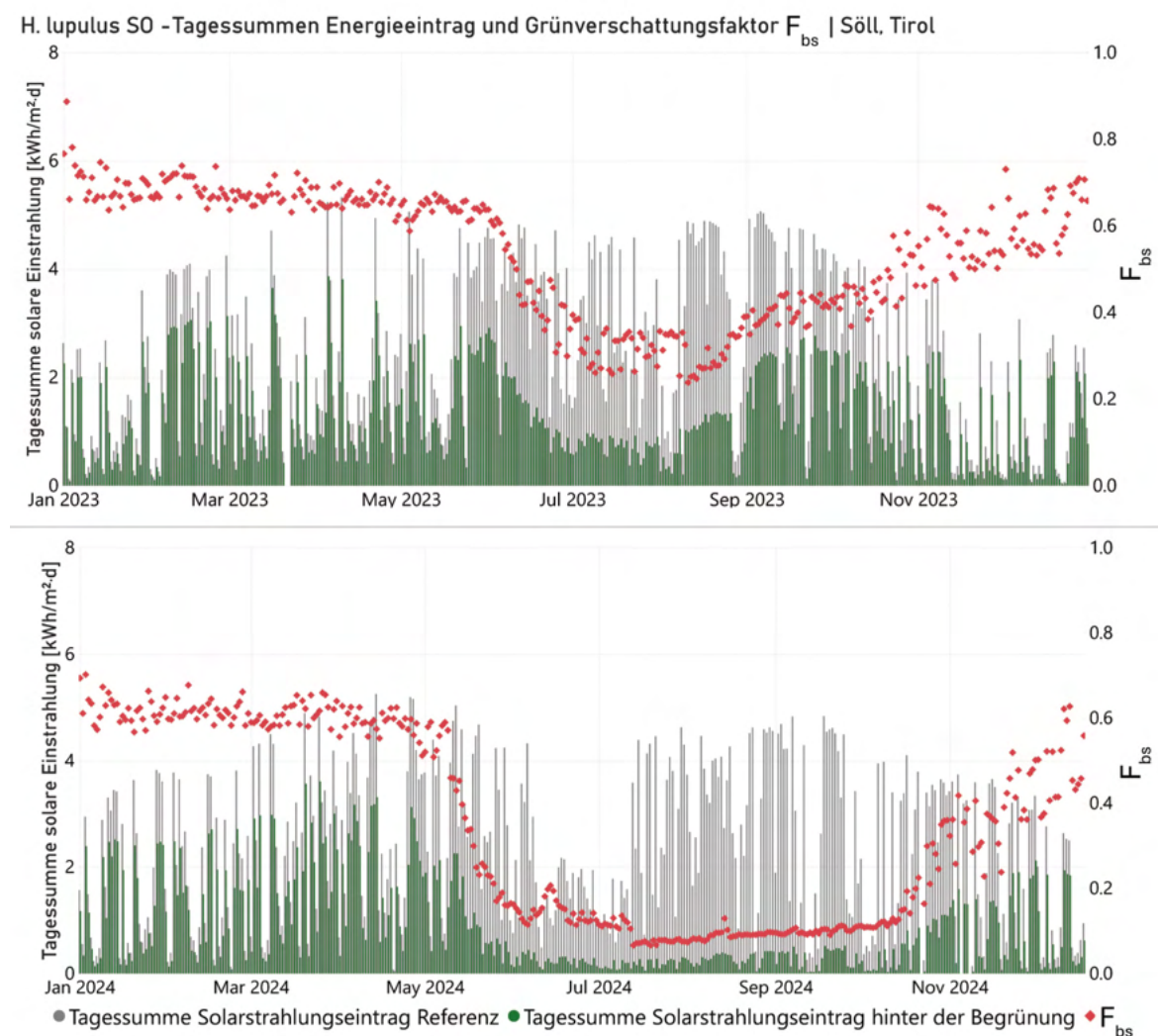


Abbildung 69: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP6 *H. lupulus* (SO-Fassade). 2024 ist zwischen Juni und Anfang August eine Verringerung der Strahlungswerte vor der Begrünung zu sehen, was durch die Beschattung durch Laub des vorderen Sensors erklärt werden kann, die beim nächsten Monitoring wieder entfernt wurden. ©BOKU-IBLB, 2025.

Abbildung 69 visualisiert die Jahresstrahlung, gemessen an MP6. Hier wächst die Spezies *H. lupulus*, dessen Verschattungseffekt 2023 mit Anfang Juni einsetzt und Ende Juni sein Maximum erreicht. 2024 ist das Einsetzen des Verschattungseffekts und damit eine Verringerung des F_{bs} bereits mit 10. Mai erkennbar. 2023 ist in den Sommermonaten eine hohe Streuung während des belaubten Zustands erkennbar, der F_{bs} schwankt hier zwischen 0,3 und 0,4. Das kann mit dem lockeren Wuchs der Pflanzen in dieser Vegetationsperiode zusammenhängen.

In den Monaten Juni bis September erreicht *H. lupulus* 2024 den höchsten beobachteten Verschattungseffekt aller Pflanzen und der F_{bs} schwankt hier zwischen 0,14 und 0,08. 2023 ist mit September wieder ein Anstieg des Grünverschattungsfaktors und damit eine Verringerung der Verschattungsleistung erkennbar und ab Anfang bis Mitte November ist keine Verschattung durch Vegetation mehr erkennbar. 2024 setzt dieser Effekt deutlich später ein. Ab September ist ein leichter Anstieg des F_{bs} sichtbar, ab Mitte Oktober bis Anfang Dezember erfolgt der Laubabwurf und damit der Rückgang des Verschattungseffekts.

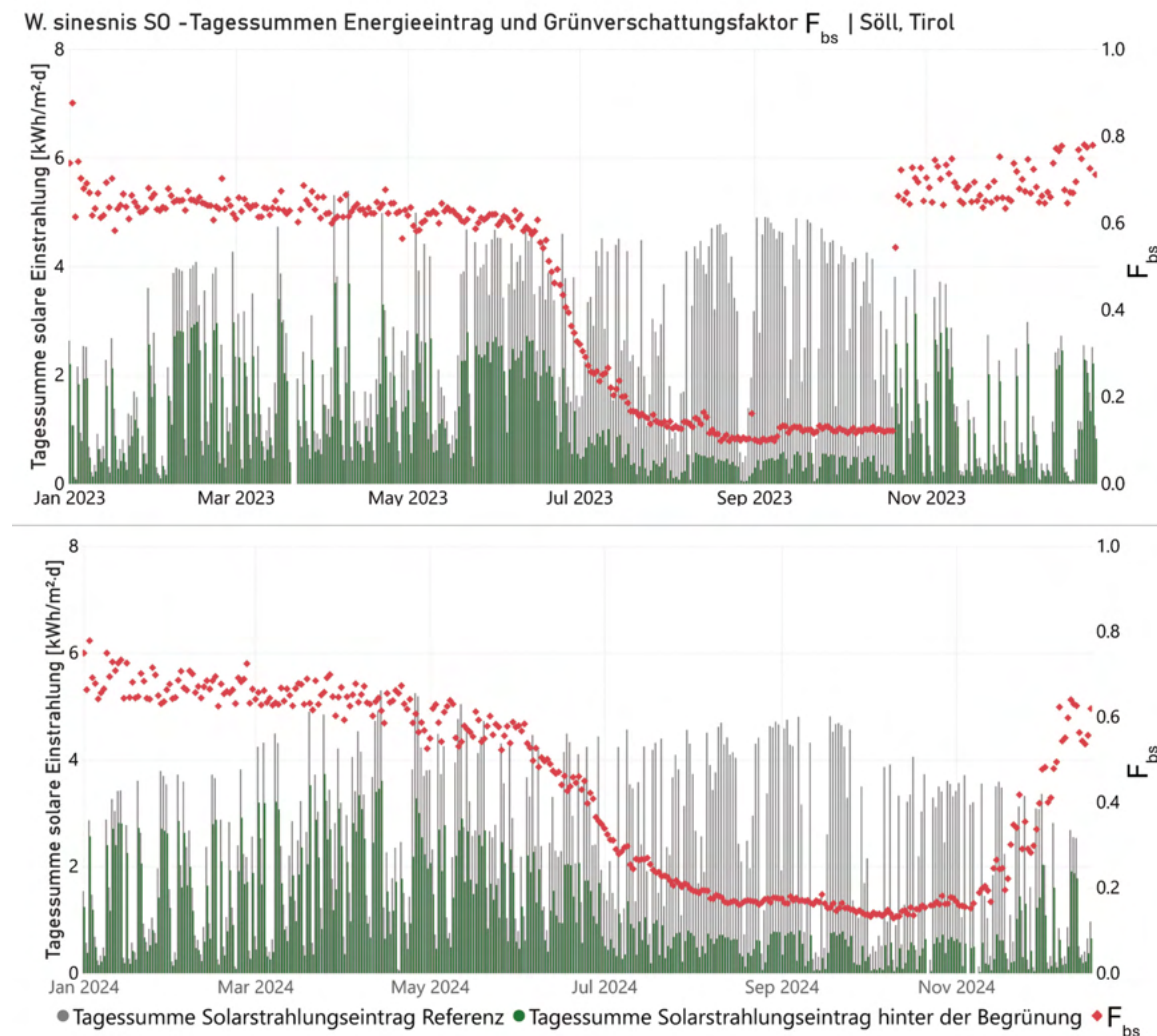


Abbildung 70: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP7 *W. sinensis* (SO-Fassade). 2023 ist der Pflegeeingriff Ende Oktober in den Strahlungsdaten sowie dem F_{bs} sichtbar. ©BOKU-IBLB, 2025.

In Abbildung 70 ist an MP7 die Verschattungsleistung von *W. sinensis* zu sehen. In der oberen Grafik ist der Pflegeschnitt Ende Oktober 2023 deutlich erkennbar, sowohl in den Strahlungswerten hinter der Begrünung als auch im Grünverschattungsfaktor. 2023 setzt der Verschattungseffekt abrupt mit 15. Juni ein und erreicht gegen Ende Juli sein Maximum. Im Folgejahr 2024 dauert diese Phase deutlich länger, vom Einsetzen der Verschattung Ende April / Anfang Mai bis zum Erreichen des Maximums Anfang bis Mitte August. Die Verringerung der solaren Einstrahlung ist im Jahr 2023 an MP7 in den Monaten August und September am höchsten ($F_{bs} \approx 0,11$).

2024 ist die maximale Verschattungsleistung im belaubten Zustand etwas geringer und damit der F_{bs} ($\approx 0,16$) höher als im Maximum 2023. Wie schon beschrieben ist das Ende der Verschattung 2023 mit dem Pflegeschnitt gegeben. 2024 dauerte die Phase des Laubabwurfs und die damit einhergehende Reduktion der Verschattungsleistung länger. Von Anfang November bis Mitte Dezember steigt der F_{bs} und die Verschattungsleistung sinkt sukzessive.

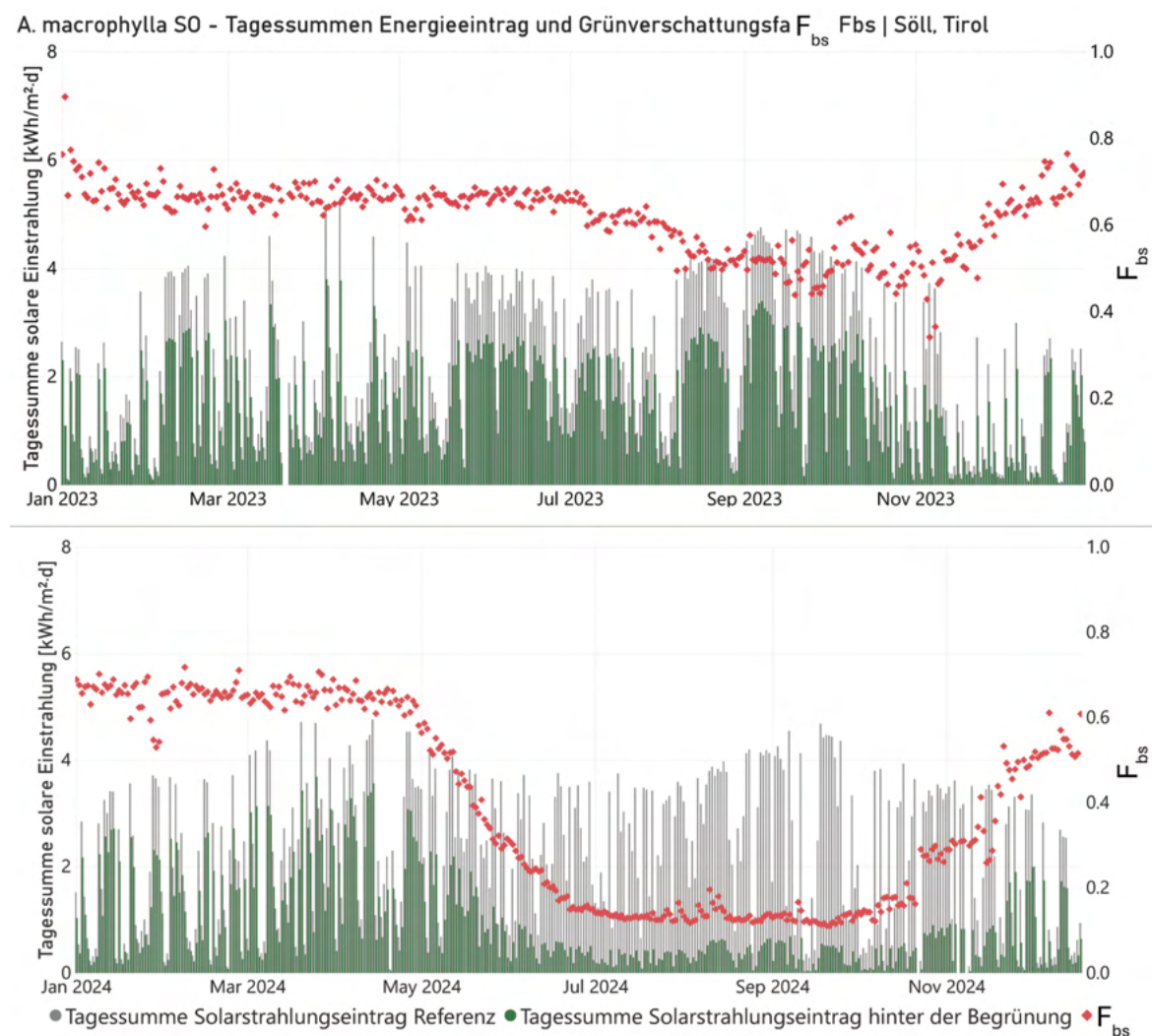


Abbildung 71: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL | TIROL, MP8 A. *Macrophylla* (SO-Fassade). Die Einstrahlungssummen an MP8 sind etwas geringer als an MP 5 – 7, das kann an einem Kleinbaum liegen, der in ca. 3 Meter Entfernung zu diesem Messpunkt steht und den solaren Strahlungseintrag insgesamt verringert. ©BOKU-IBLB, 2025.

Abbildung 71 oberhalb zeigt die Verschattungseffekte von MP8, *A. macrophylla* an der SO-Fassade des Gebäudes. Aus den Strahlungsdaten vom 2. Standjahr 2023 gehen sehr geringe Verschattungseffekte hervor, was sich durch die geringe Vegetationsentwicklung im Bereich der Sensoren erklären lässt. Aus der Grafik für 2023 ist dennoch abzulesen, dass das Einsetzen der Verschattung von Anfang Juli bis Ende August stattfindet.

2024 ist bei den Pflanzen schon Ende April der beginnende Verschattungseffekt zu erkennen. Die volle Verschattungskapazität wird 2023 Ende August erreicht (F_{bs} schwankt zwischen 0,51 und 0,68), während diese 2024 bereits Ende Juni (F_{bs} schwankt zwischen 0,12 und 0,19) erreicht ist. Der Rückgang der Verschattung ist 2023 aus den Daten mit Anfang November herauszulesen, während 2024 Anfang Oktober schon ein Anstieg des Grünverschattungsfaktors erkennbar ist. 2023 ist Ende November wieder der Strahlungsdurchgang von dem unbelaubten Modul hergestellt, 2024 stellt sich dieser Effekt mit Anfang Dezember ein.

12.3.1.6 Temperaturverlauf, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit

Die Auswertung der mikroklimatischen Daten ist in den nachfolgenden Tabellen, getrennt nach Tag (Tabelle 9) und Nacht (Tabelle 10) aufgelistet und ergab folgende Unterschiede der Lufttemperatur im unmittelbaren Umfeld der Fassadenbegrünung im Vergleich zum Referenzmesspunkt:

Am Projektstandort SÖLL | TIROL zeichneten sich im 3. Standjahr tagsüber im Bereich zwischen Begrünung und Gebäudefassaden auf der SO-Seite zwischen 0,3 und 0,6° C höhere Lufttemperatur verglichen mit der Referenz am Dach ab, auf der NW-Seite zwischen 0,2 °C wärmere und 0,1 °C kühlere Temperaturen. Unterschiede zwischen Tag und Nacht machen sich bemerkbar in Form von geringeren Lufttemperaturen hinter der Begrünung verglichen mit den Werten am Dach untertags und vergleichsweise höhere Temperaturen während der Nacht. Weiters ist eine Tendenz zur Verringerung von ΔT_{air} tagsüber mit fortschreitender Standzeit der Systeme zu erkennen. Dies könnte in direktem Zusammenhang mit höheren WLAI und Deckungsgraden stehen.

Die relative Luftfeuchtigkeit lag auf der SO-Seite um 7 bis 11 % höher, auf der NW-Seite zwischen 11 und 13 %. Dies deutet darauf hin, dass der kühlende Effekt durch Transpiration der Pflanzen ausreicht, um die Erwärmung durch andere Faktoren auszugleichen. Nachts fielen die Unterschiede geringer aus, was darauf hindeutet, dass die höhere Luftfeuchtigkeit an den Fassaden von der Transpirationsleistung der Pflanzen begünstigt wird.

Ebenso ist zu erkennen, dass sowohl tagsüber als auch nachts die Windgeschwindigkeit bedeutend geringer ist hinter der Begrünung als an der freien Dachsituation. Durch die geringere Luftaustauschrate und die Verhinderung nächtlicher Abstrahlung durch das Vordach können die etwas höheren Temperaturen hinter der Begrünung erklärt werden.

Tabelle 9: Durchschnittliche Tagesumgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit von 06:00 bis 20:00 Uhr: Monatsmittelwerte für Sommermonate Juni, Juli und August 2023 und 2024 hinter Begrünung an NW- und SO-Fassade, Referenzmessungen am Dach; SÖLL | TIROL.

Tag	Jun.23	Jul.23	Aug.23	Jun.24	Jul.24	Aug.24
T_{air} Referenz (Dach) [°C]	20,0	20,3	19,8	18,8	21,2	21,7
T_{air} NW [°C]	19,9	20,5	19,8	18,8	21,1	21,7
T_{air} SO [°C]	20,6	20,8	20,2	19,1	21,5	22,1
Δ T_{air} NW [°C]	-0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,1
Δ T_{air} SO [°C]	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4
H_{rel} Referenz (Dach) [%]	49,2	59,2	62,5	59,9	60,9	63,3
H_{rel} NW [%]	60,1	70,4	74,3	72,8	73,6	76,4
H_{rel} SO [%]	56,4	68,3	72,2	70,8	71,3	73,9
Δ H_{rel} NW [%]	10,9	11,3	11,8	12,9	12,8	13,1
Δ H_{rel} SO [%]	7,2	9,2	9,7	10,9	10,5	10,6
Wind Referenz (Dach) [m/s]	2,2	2,2	2,1	2,1	1,7	1,5
Wind NW [m/s]	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5
Δ Wind NW [m/s]	-1,4	-1,5	-1,4	-1,4	-1,2	-1,01

Tabelle 10: Durchschnittliche nächtliche Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit von 21:00 bis 05:00 Uhr: Monatsmittelwerte für die Sommermonate Juni, Juli und August 2023 und 2024 hinter Begrünung an NW- und SO-Fassade, Referenzmessungen am Dach; SÖLL | TIROL.

Nacht	Jun.23	Jul.23	Aug.23	Jun.24	Jul.24	Aug.24
T_{air} Dach [°C]	14,9	16,6	16,0	14,8	17,2	17,4
T_{air} NW [°C]	15,4	17,0	16,5	15,3	17,7	18,0
T_{air} SO [°C]	15,5	17,1	16,6	15,4	17,8	18,2
Δ T_{air} NW [°C]	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
Δ T_{air} SO [°C]	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8
H_{rel} Dach [%]	66,1	73,8	76,8	76,5	76,0	79,8
H_{rel} NW [%]	74,9	83,6	86,8	86,9	86,1	89,3
H_{rel} SO [%]	73,3	82,5	85,5	85,6	84,6	87,6
Δ H_{rel} NW [%]	8,8	9,8	10,0	10,5	10,1	9,6
Δ H_{rel} SO [%]	7,2	8,7	8,7	9,1	8,6	7,9
Wind Referenz (Dach) [m/s]	1,6	1,8	1,8	1,7	2,3	2,3
Wind NW [m/s]	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7
Δ Wind NW [m/s]	-1,1	-1,3	-1,2	-1,2	-1,6	-1,6

Abbildung 72 zeigt am Beispiel des heißesten Tages des Jahres 2024 (29.6.) den Tagesverlauf der Temperatur und Luftfeuchtigkeit hinter den Begrünungssystemen und im Vergleich dazu am Dach. Morgens, vor Sonnenaufgang (06:00 Uhr) ist zu erkennen, dass die Lufttemperatur am Dach über Nacht am weitesten gesunken ist auf 15,5 °C, während die Temperaturen

hintern den Pflanzsystemen auf 16,0 °C hinter MP 1 – 4 und auf 16,3 °C abkühlten. Da die Bereiche hinter den Pflanzen überdacht sind und sich jeweils in einer Art Arkade befinden, ist davon auszugehen, dass die Ausstrahlungskühlung verringert ist und sich Wärme in diesen Bereichen über Nacht besser halten kann als auf freien Flächen. Im selben Zeitraum ist der Unterschied in der relativen Luftfeuchtigkeit am Dach (83 %) zu den Messungen hinter MP 1 – 4 (92 %) und hinter MP 5 – 8 (89 %) um ca. 10 % niedriger als hinter den Pflanzen.

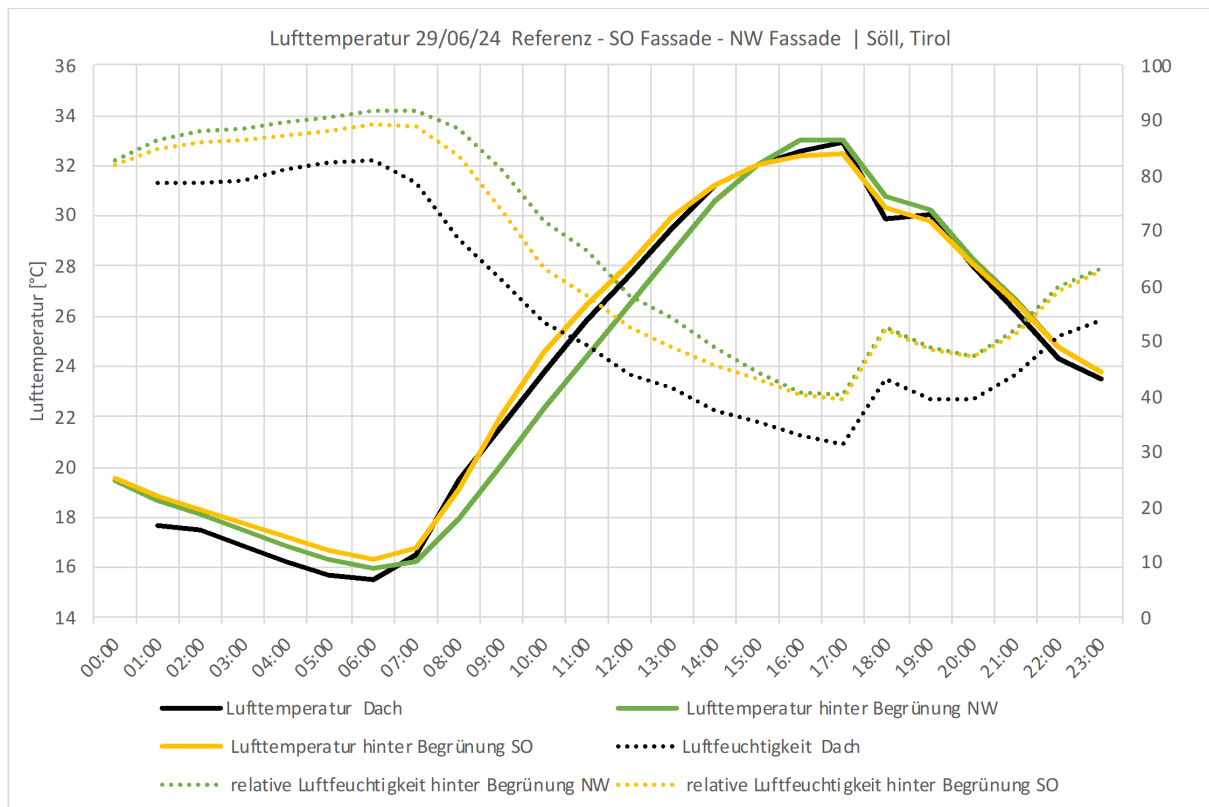


Abbildung 72: Temperaturverlauf im Vergleich: Tagesverlauf der Lufttemperatur zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün) und SO-(gelb) Fassade, Lufttemperatur am Dach (schwarz) [°C]; relative Luftfeuchtigkeit in gepunkteten Linien an der sekundären Y-Achse dargestellt; SÖLL | TIROL, beispielhaft für 29.Juni 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.

Im weiteren Verlauf des Tages bis zum Peak um 17:00 Uhr ist ein ähnlich starker Anstieg der Temperaturen am Dach und hinter den Pflanzen an der Süd-Ost-Fassade des Gebäudes zu erkennen. Ab 09:00 Uhr ist die Lufttemperatur hinter den Pflanzen an der SO-Fassade höher als die gemessenen Werte am Dach (26,5 °C hinter den Pflanzen und 25,5 °C am Dach um 11:00 Uhr), während die Lufttemperatur hinter den Systemen an der NW-Fassade deutlich darunterbleibt (24,5 °C um 11:00 Uhr). In dieser Zeitspanne fallen auch die Werte der relativen Luftfeuchtigkeit stetig ab, an der NW-Fassade jedoch etwas schwächer verglichen mit den Messungen am Dach und an der SO-Fassade. Um 15:00 Uhr ist zu erkennen, dass sich die Lufttemperatur aller Messpunkte angleicht (32,0 °C). Nach diesem Zeitpunkt, an dem die Sonne die NW-Seite des Gebäudes erreicht, steigt die Temperatur an dieser Seite, hinter

den Pflanzen weiter an bis auf 33 °C, der Tageshöchstwert, der um 16:00 Uhr gemessen wird und erst nach 17:00 Uhr wieder abfällt.

Am heißesten Punkt des Tages, um 17:00 Uhr sind die Lufttemperaturen hinter den Pflanzen an der SO-Fassade und am Dach ähnlich hoch (32,4 und 32,9 °C). Der Tagespeak der Temperatur ist gleichzeitig auch das Tagestief der relativen Luftfeuchtigkeit. Ab 17:00 Uhr gleicht sich die relative Luftfeuchtigkeit an beiden Expositionen, hinter den Pflanzen an auf 40 %. Am Dach wurde zur gleichen Zeit eine relative Luftfeuchtigkeit von 31 % gemessen. Im weiteren Tagesverlauf fällt die Temperatur bis auf das Zeitfenster von 18:00 bis 19:00 kontinuierlich ab. Im gleichen Zug steigt die relative Luftfeuchtigkeit an und reagiert auf den leichten Temperaturanstieg um 18:00 Uhr mit verzögertem Anstieg.

Den gesamten Tagesverlauf über ist eine durchwegs höhere relative Luftfeuchtigkeit hinter den Pflanzen gegenüber dem Dach von ca. 10 % zu sehen. Das kann auf die Transpiration der Pflanzen hindeuten, die Wasser verdunsten und dadurch Wärmeenergie aus der Luft binden (Hörschemeyer 2019). Die teilweise leicht erhöhten Temperaturen hinter den Pflanzen kann durch die verminderte Luftaustauschrate zwischen der Fassade und Pflanzen erklärt werden. Die Windgeschwindigkeit [m/s] am Dach (schwarz) und hinter den Pflanzen an der NW-Fassade (grün) zum heißesten Tag des Jahres 2024 ist in Abbildung 73 grafisch dargestellt.

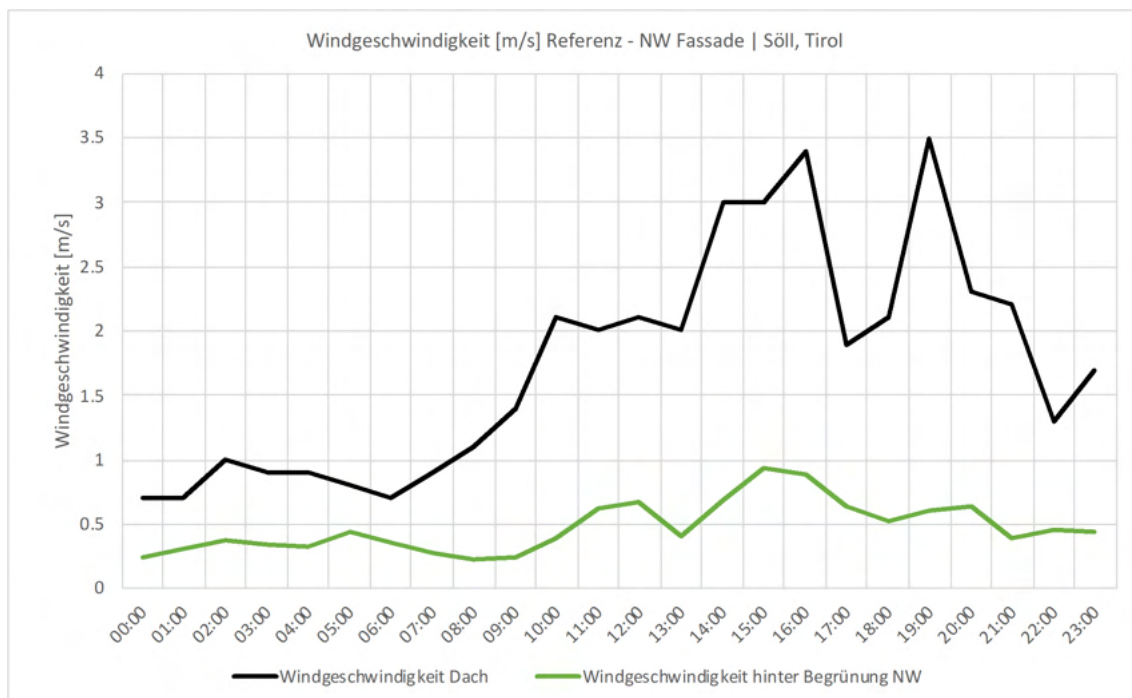


Abbildung 73: Windgeschwindigkeit im Vergleich: Tagesverlauf der Windgeschwindigkeit [m/s] vom 29.06.2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-Fassade (grün) und der Windgeschwindigkeit am Dach (schwarz) [°C]; SÖLL | TIROL 29.Juni 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.

Anhand der Windgeschwindigkeit im Tagesverlauf des 29.06.2024 ist am ersten Blick zu erkennen, dass zwischen Pflanzen und Glasfassade deutlich langsamere Luftbewegungen gemessen wurden als am freien Dach in ca. 6 Metern Höhe. Um 01:00 und 06:00 Uhr ist die

Windgeschwindigkeit am Dach am niedrigsten bei 0,7 m/s. Zu diesen Zeitpunkten zeigt das Anemometer hinter den Pflanzen eine Windgeschwindigkeit von 0,3 m/s an. Ab 06:00 steigt die Windgeschwindigkeit am Dach an, wo sie zwischen 10:00 und 13:00 Uhr bei 2 m/s stagniert und dann bis 3.4 m/s steigt. Die Luftbewegungen hinter den Pflanzen folgen stark versetzt denen am Dach und zeigen ihren Tageshöchstwert um 15:00 mit 0,93 m/s. Am Dach folgt ein zweiter Peak um 19:00 Uhr mit 3,5 m/s. Zum gleichen Zeitpunkt wurden hinter der Begrünung 0,6 m/s Wind erfasst. In der Grafik ist zu erkennen, dass zu allen Zeiten die Windgeschwindigkeit am freien Dach höher ist als zwischen Glasfassade und Begrünung, wodurch der Luftaustausch verringert wird.

Weiters wurde überprüft, ob sich diese Beobachtungen auch über längere Zeiträume, die Sommermonate Juni, Juli und August der Jahre 2023 und 2024, bestätigen. In Abbildung 74 wurden die durchschnittlichen Lufttemperaturen von den Messstationen am Dach (schwarz), hinter den Pflanzen der NW-Fassade (grün) und hinter den Pflanzen der SO-Fassade (gelb) dargestellt. Daraus ist abzulesen, dass die durchschnittlichen Lufttemperaturen hinter den Begrünungen in allen abgebildeten Monaten die durchschnittliche Lufttemperatur am Dach übersteigen. Das Bild ist in jedem der abgebildeten Monate ein ähnliches: die durchschnittliche Lufttemperatur ist am Dach am niedrigsten, hinter den Pflanzen der NW-Fassade um 0,2 – 0,3 °C höher und hinter den Pflanzen der SO-Fassade um 0,4 – 0,6 °C höher als am Dach. Ein Unterschied zwischen den Jahren 2023 und 2024 ist aus dieser Grafik nicht abzulesen.

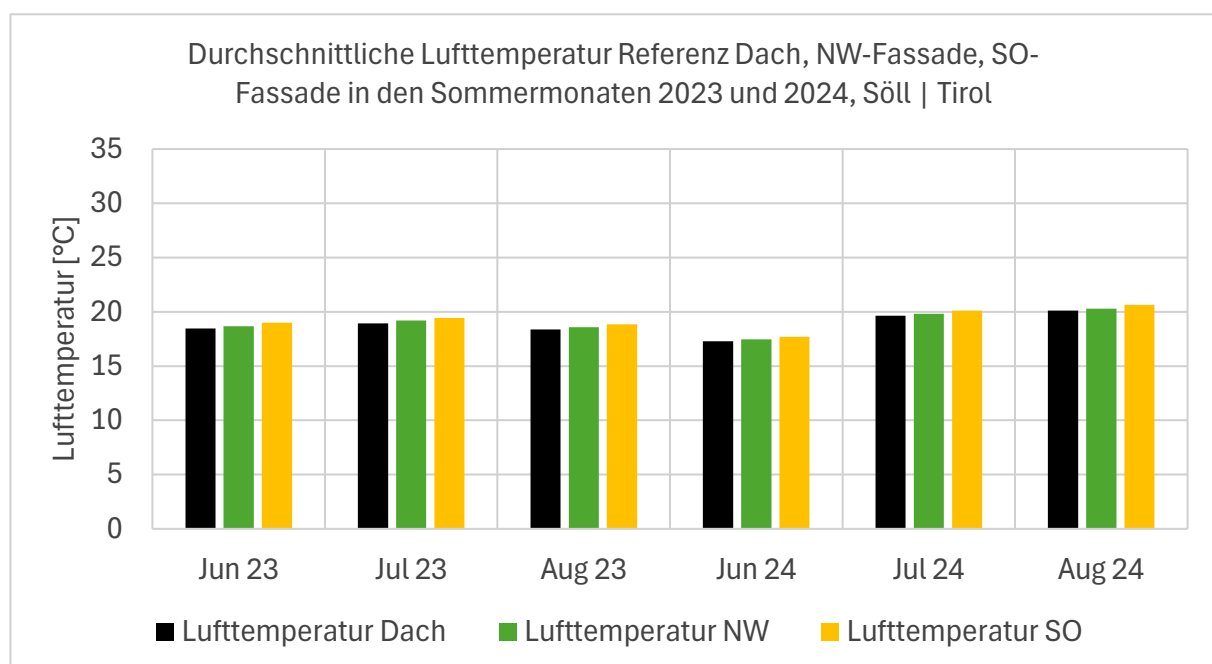


Abbildung 74: Durchschnittliche Lufttemperatur im Vergleich: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün) und SO-(gelb)Fassade, Lufttemperatur am Dach (schwarz) [°C]; SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

Abbildung 75 zeigt Durchschnittswerte der relativen Luftfeuchtigkeit am Dach (schwarz) hinter den Pflanzen der NW-Fassade (grün) und hinter den Pflanzen der SO-Fassade (gelb) der Sommermonate Juni, Juli und August 2. Standjahr 2023 und 3. Standjahr 2024. Der oben beobachtete Trend lässt sich durch diese Grafik bestätigen. Auch über längere Zeiträume ist eine deutlich höhere Luftfeuchtigkeit hinter den Begrünungen zu erkennen. Die relative Luftfeuchtigkeit hinter den Pflanzen an der NW-Fassade ist bei allen abgebildeten Monaten zwischen 10 % (Juni 2023) und 12 % (Juni 2024) höher als die Vergleichswerte am Dach. Die gemessenen Werte hinter den Pflanzen an der SO-Fassade sind zwischen 7 % (Juni 2023) und 10 % (Juni 2024) höher, verglichen mit den Werten am Dach. Auch hier ist kein Unterschied zwischen den Jahren 2023 und 2024 zu erkennen. Diese längerfristigen Beobachtungen untermauern die These, dass in Pflanzennähe die Transpiration höher und messbar ist. Dadurch ist von einer Bindung von Wärmeenergie aus der Luft auszugehen, aus der sich in weiterer Folge ein Kühlungseffekt der näheren Umgebung ergibt (Hörnschemeyer 2019).

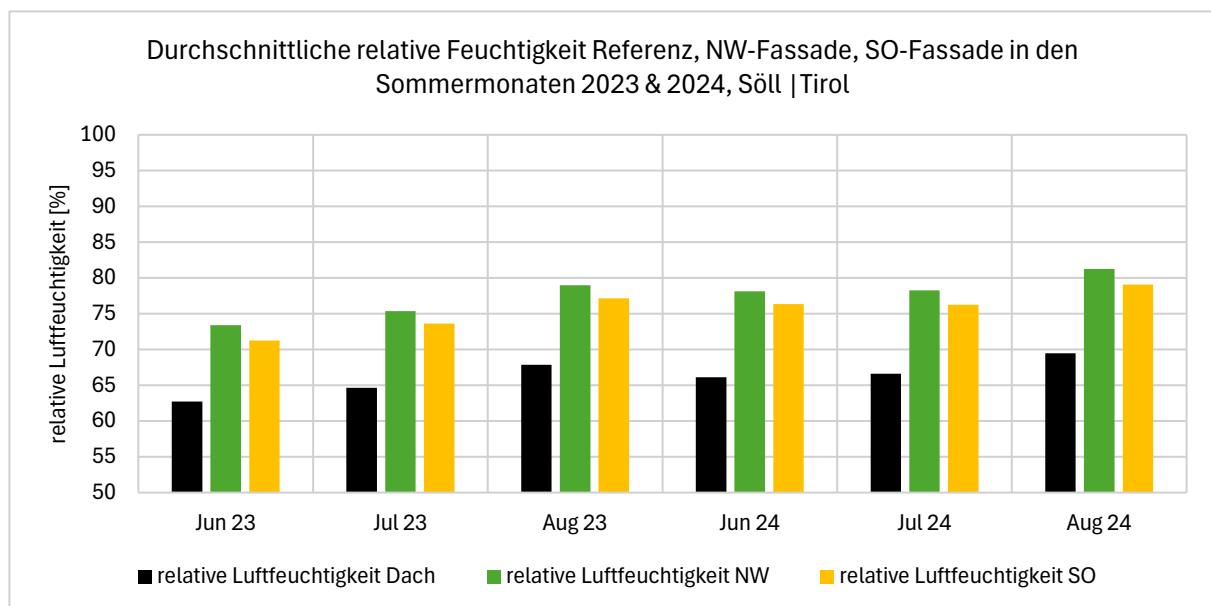


Abbildung 75: Durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit im Vergleich: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün) und SO-(gelb)Fassade, relative Luftfeuchtigkeit am Dach (schwarz) [%]; SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

Abbildung 76 zeigt durchschnittliche Windgeschwindigkeiten am Dach (schwarz) hinter den Pflanzen der NW-Fassade (grün) der Sommermonate Juni, Juli und August 2023 und 2024. Der Vergleich zeigt unverkennbar, dass die Windgeschwindigkeiten am freien Dach konstant und deutlich über denen liegen, die hinter der Pflanzenstruktur gemessen wurden. Am Dach wurden durchschnittliche Windgeschwindigkeiten zwischen 1,8 m/s (August 2024) und 2,03 m/s (Juli 2023) gemessen, während sich zwischen Begrünung und Glasfassade Windgeschwindigkeiten von 0,5 m/s (Juli 2024) und 0,7 m/s (Juni 2023) zeigten. Dabei ist der Trend in jedem der abgebildeten Monate ähnlich, indem am Dach durchschnittlich circa 3x so hohe Windgeschwindigkeiten im Vergleich zu den Bereichen hinter den Pflanzen

herrschen. Dies untermauert auch die These, dass der Luftkörperaustausch hinter den Pflanzen deutlich geringer ausfällt als jener auf der freien Position am Dach des Gebäudes.

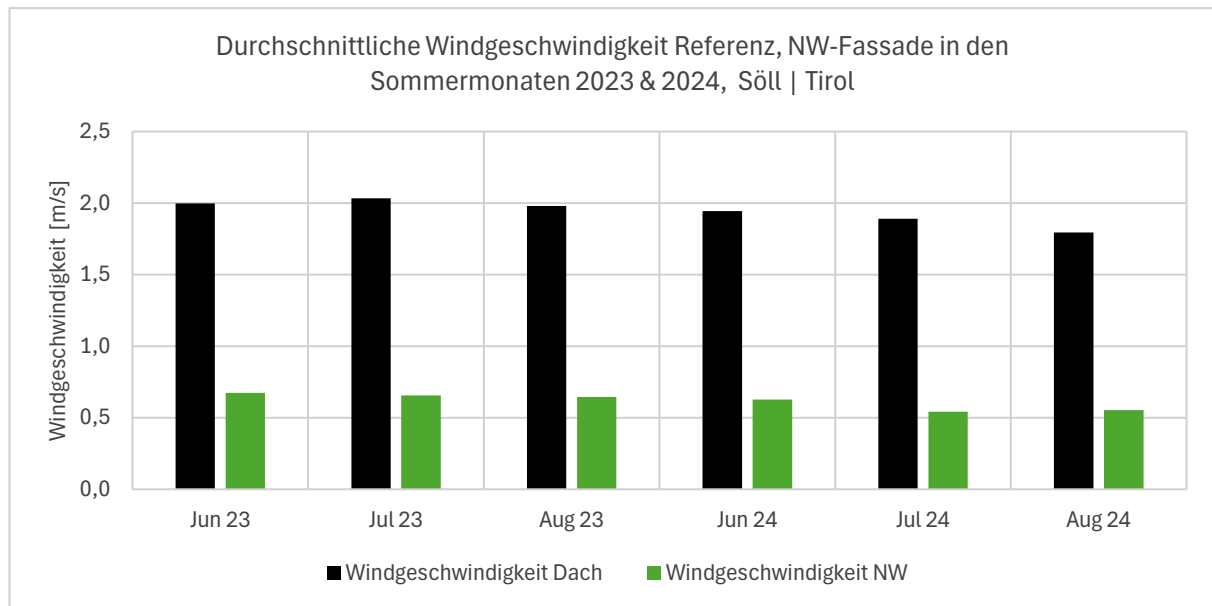


Abbildung 76: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Vergleich: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün), Windgeschwindigkeit am Dach (schwarz) [m/s]; SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.

12.3.1.1 Statistische Überprüfung der Zusammenhänge Grünverschattung, Deckungsgrad und Wand-Blattflächenindex

Die Auswertung (Tabelle 11) möglicher Zusammenhänge zwischen Wand-Blattflächenindex WLAI und Deckungsgrad DG_{Ziel} , bzw. Grünverschattungsfaktor F_{bs} der Monitoringdaten SÖLL | TIROL auf Basis der Spearman-Rho Korrelation ist nachfolgend wiedergegeben und die einfache lineare Korrelation grafisch dargestellt (Abbildung 77). Der Spearman-Rho-Korrelationskoeffizient wurde verwendet, der die Stärke und Richtung der Zusammenhänge bewertet.

Tabelle 11: Bivariate Korrelation nach Spearman-Rho von Deckungsgrad ($n = 12$), Wall Leaf Area Index ($n = 12$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 12$) der Monitoringdaten 2024 SÖLL | TIROL, 3. Standjahr. ©BOKU-IBLB, 2025.

			Deckungsgrad	Wall Leaf Area Index	Grünverschattungsfaktor
Spearman-Rho	Deckungsgrad	Korrelationskoeffizient	1,000	,907**	-,770**
		Sig. (2-seitig)	.	<,001	<,001
		N	48	48	46
	Wall Leaf Area Index	Korrelationskoeffizient	,907**	1,000	-,782**
		Sig. (2-seitig)	<,001	.	<,001
		N	48	48	46
	Grünverschattungsfaktor	Korrelationskoeffizient	-,770**	-,782**	1,000
		Sig. (2-seitig)	<,001	<,001	.
		N	46	46	46

** . Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Zwischen dem Deckungsgrad und dem WLAI besteht eine sehr starke positive Korrelation von $r = 0,907$ ($p < 0,001$). Aus dieser Analyse geht hervor, dass je höher der Deckungsgrad ist, desto größer ist auch der Wall Leaf Area Index. Beide Variablen entwickeln sich also in dieselbe Richtung und entsprechen der Erwartungshaltung.

Im Gegensatz dazu zeigt der Grünverschattungsfaktor eine starke negative Korrelation zu den anderen beiden Variablen. Der Korrelationskoeffizient zwischen Deckungsgrad und Grünverschattungsfaktor beträgt $r = -0,770$ ($p < 0,001$), während die Korrelation zwischen WLAI und Grünverschattungsfaktor bei $r = -0,782$ ($p < 0,001$) liegt. Das bedeutet, dass ein höherer Deckungsgrad bzw. ein höherer WLAI zu einer Verringerung des Grünverschattungsfaktors und damit zu einer höheren Verschattungseffizienz führt. Die Ergebnisse sind auf einem hohen Signifikanzniveau von $p < 0,01$ bestätigt und somit statistisch zuverlässig. Die Statistik verdeutlicht die Beschattungsleistung bei ausgeprägtem Deckungsgrad und mittlerem WLAI. Somit stellt bereits der einfach erhebbare Deckungsgrad einen guten Indikator für die wirkungsvolle Abminderung der Transmission und solaren Einstrahlung durch den Laubkörper dar.

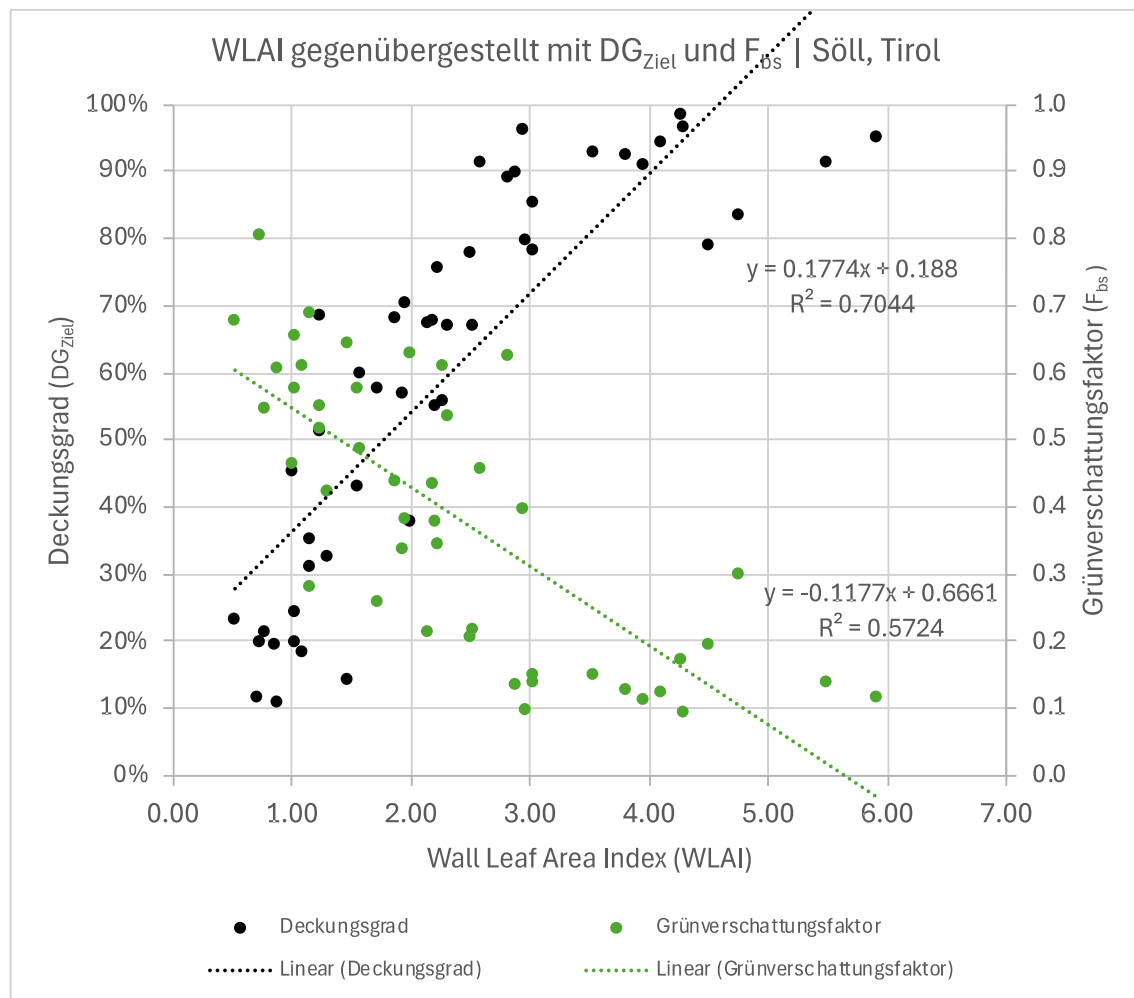


Abbildung 77: Streudiagramm mit Trendlinie und linearem Modell von Deckungsgrad ($n = 48$), Wall Leaf Area Index ($n = 48$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 46$) der Monitoringdaten 2023 und 2024 SÖLL | TIROL, 2. und 3. Standjahr. ©BOKU-IBLB, 2025.

In Abbildung 77 oberhalb wird der Zusammenhang zwischen dem Wall Leaf Area Index, dem Deckungsgrad und dem Grünverschattungsfaktor nach einfachem linearem Modell grafisch dargestellt. Die linearen Regressionslinien visualisieren die Richtung und Stärke der Zusammenhänge. Die visuelle Darstellung untermauert die Aussagen der Spearman-Rho-Korrelation und stimmt mit den Ergebnissen überein.

Die schwarze Punktwolke zeigt die Beziehung zwischen WLAI (x-Achse) und dem Deckungsgrad (y-Achse). Die zugehörige Regressionslinie steigt deutlich an, was auf eine positive Korrelation zwischen beiden Variablen hinweist. Der hohe R^2 -Wert von 0,704 gibt an, dass etwa 70,4 % der Variation im Deckungsgrad durch den Wall Leaf Area Index erklärt werden können. Das entspricht der starken positiven Spearman-Rho-Korrelation von $r = 0,907$ aus der vorherigen Analyse.

Die grüne Punktwolke stellt den Zusammenhang zwischen WLAI und dem Grünverschattungsfaktor dar. Hier zeigt die Regressionslinie eine abfallende Tendenz, was auf eine negative Korrelation zwischen den beiden Variablen hindeutet. Der R^2 -Wert von 0,572 zeigt, dass etwa 57,2 % der Variation des Grünverschattungsfaktors durch den

WLAI erklärt werden können. Daraus ist abzuleiten, dass mit zunehmendem WLAI der Grünverschattungsfaktor abnimmt, was wiederum der starken negativen Spearman-Rho-Korrelation von $r = -0,782$ der beiden Variablen entspricht und die hohe Beschattungseffizienz bei ausgeprägter Blattfläche und Deckungsgrad ausdrückt.

12.3.2 Ergebnisse KREUZGASSE | WIEN

Für die Vegetationsperiode 2023 (1. Standjahr) liegen für den Demo-Standort KREUZGASSE | WIEN keine pflanzenphysiologischen Daten vor, da die Begrünung erst im Juli 2023 installiert wurde. Im Frühjahr 2024 gab es ausreichend Anzeichen von Blattaustrieb bei *W. sinensis*, jedoch lag der DG_p der Fläche auch im Mai 2024 noch bei < 5 %.

Anstelle von *A. macrophylla* wurde für diesen Standort eine falsche Art geliefert – *A. gigantea* – was jedoch zum Pflanzzeitpunkt nicht identifiziert werden konnte. Diese Art ist nicht winterhart, wodurch es zu einem Totalausfall kam. Am Klettergerüst wurde der Ausfall durch Querlenkung der Seitentriebe von *W. sinensis* kompensiert, da diese ausreichend raumfüllend sind. In Abbildung 78 ist die Verortung des Systems mit Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) inkl. der Pflanzwahl in einem Luftbild zu sehen. Zusätzlich wurde vom Standortbetreiber die Klettertrompete (*Campsis radicans*) und das Immergrüne Geißblatt (*Lonicera henryi*) nachgepflanzt. Da diese Arten nicht vorgesehen waren für den Variantenvergleich, wurden sie in der weiteren Wachstumsphase bewusst auf Höhe der Unterpflanzung gehalten, um die Mischung der Pflanzenkörper für die Messungen und Datenverwertung zu vermeiden. *C. radicans* und *L. henryi* wurden daher in den Datenerhebungen nicht berücksichtigt.

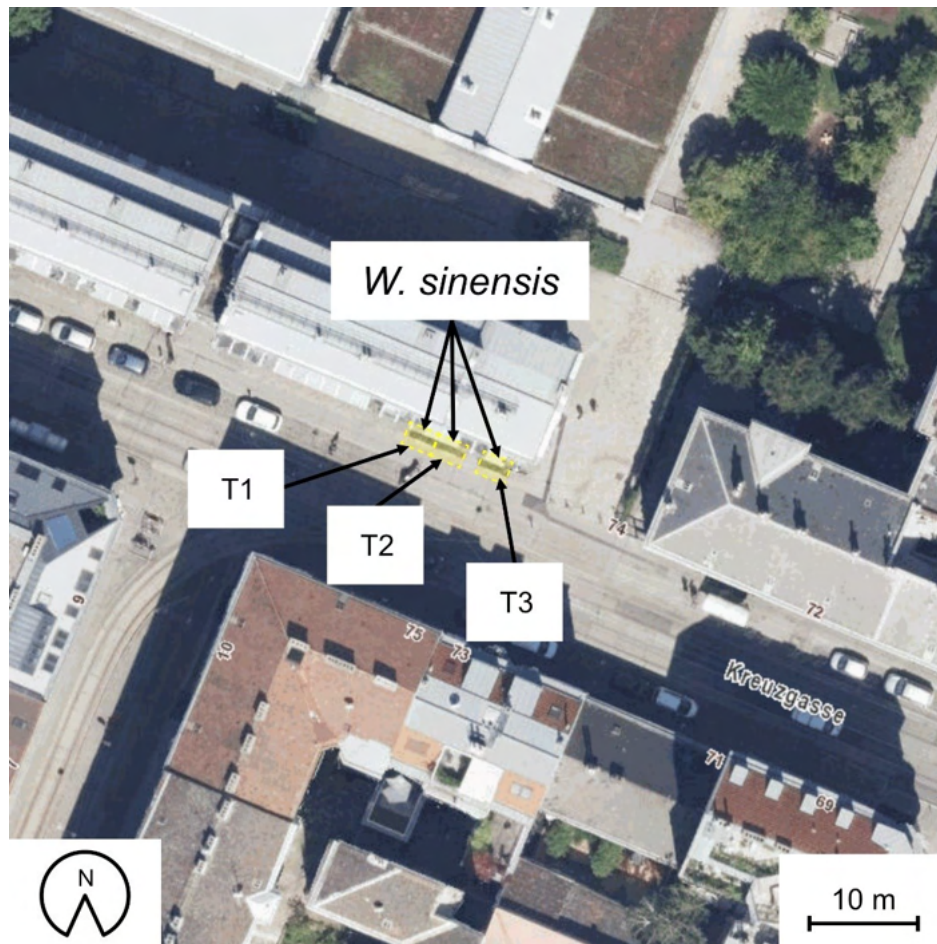


Abbildung 78: Verortung der GLASGrün-Systeme in Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) KREUZGASSE | WIEN (Quelle: ViennaGIS; WIEN.gv.at, verändert). ©BOKU-IBLB, 2025.

12.3.2.1 Projektiver Deckungsgrad (DG_p)

Im 2. Standjahr (2024) entwickelten sich die Pflanzen am Standort KREUZGASSE | WIEN gut. Nach dem Ausfall der *A. gigantea* wurden die übrigen 8 Individuen von *W. sinensis* so geleitet, dass sie die gesamte Struktur bewachsen können. In Abbildung 79 ist eine grafische Darstellung der Entwicklung des projektiven Deckungsgrades für alle drei Tröge zu sehen.

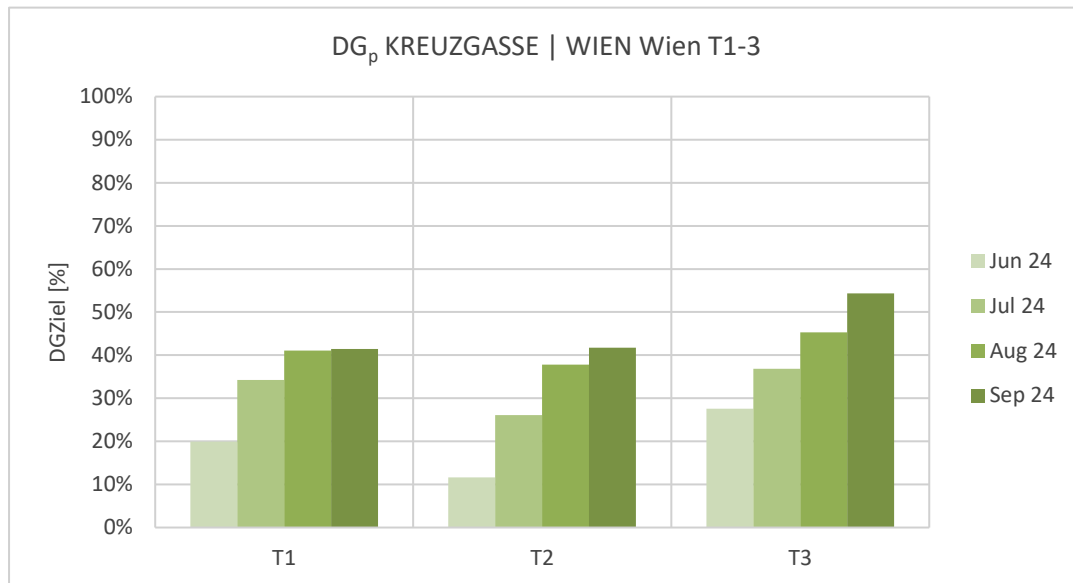


Abbildung 79: KREUZGASSE | WIEN: Saisonale Entwicklung des projektiven Deckungsgrad [%] im 2. Standjahr 2024; Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3), alle bewachsen mit *W. sinensis*. ©BOKU-IBLB, 2025.

Im Mai 2024 wiesen die Exemplare der *W. sinensis* von Trog 1 (T1) und Trog 3 (T3), wie in Abbildung 80 zu sehen, moderate Deckungsgrade von 19,9 % (T1) und 27,6 % (T3) auf. Die Pflanzen in Trog 2 (T2) haben mit 11,6 % Deckung eine deutlich geringere Ausbreitung erreicht.

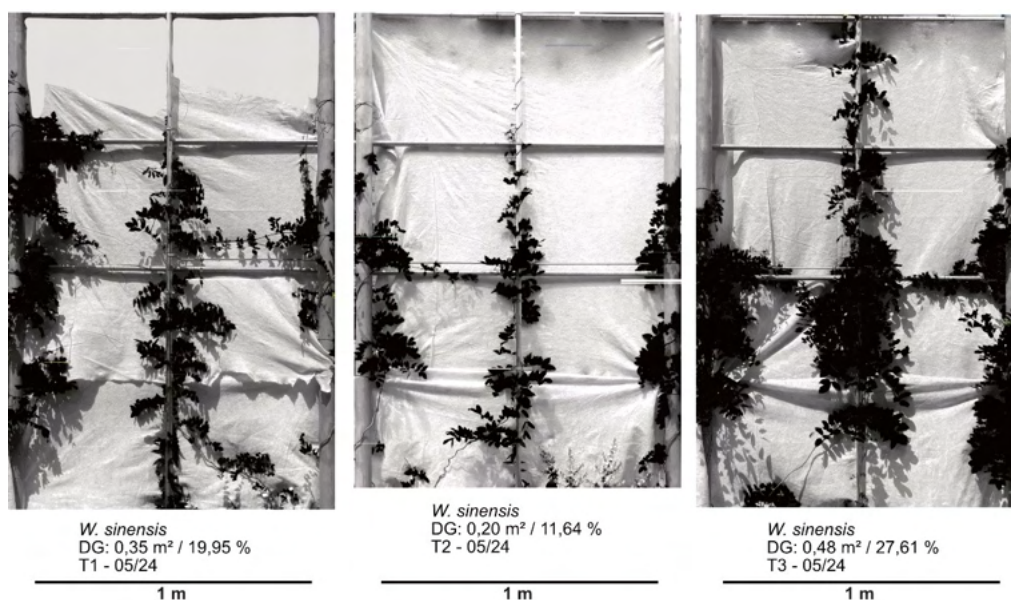


Abbildung 80: Dynamische Entwicklung der Vegetation im Mai der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

Im Juli 2024 stieg der DG_p an allen Trögen an. T1 und T3 zeigten annähernd gleiche Werte, mit 34,2 % und 36,8 %. Wie auch zwei Monate zuvor wiesen auch im Juli die Pflanzen in T2 den geringsten Wert mit 26,0 % auf (Abbildung 81).

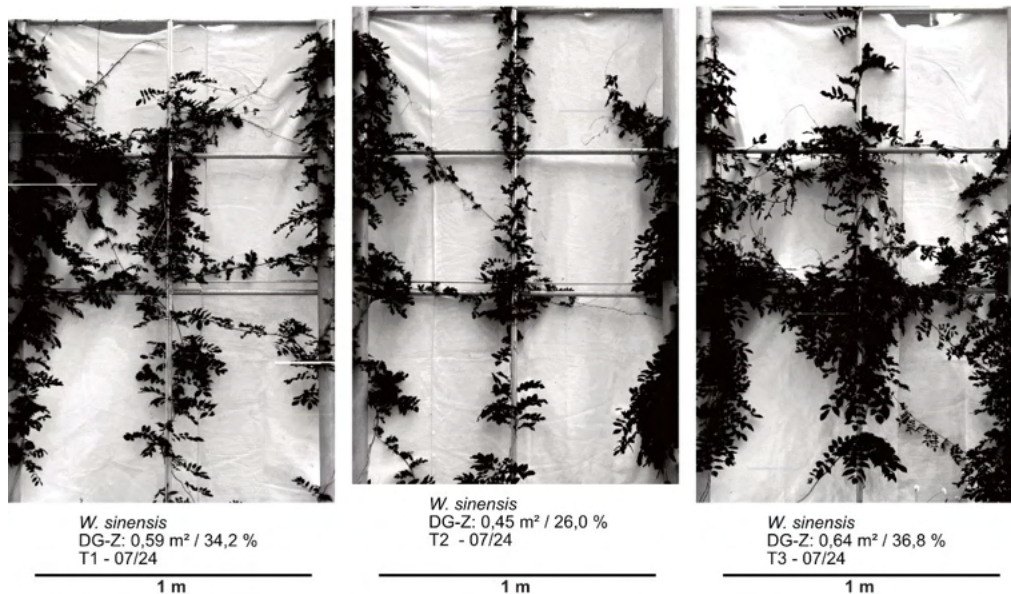


Abbildung 81: Dynamische Entwicklung der Vegetation im Juli der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

Im August 2024 entwickelten sich die Pflanzen in allen Trögen gut weiter. DG_p aller Tröge näherten sich an. T3 zeigte den höchsten Wert von 45,3 %, gefolgt von T1 mit 41,0 % und nicht weit dahinter T2 mit 37,8 % (Abbildung 82).

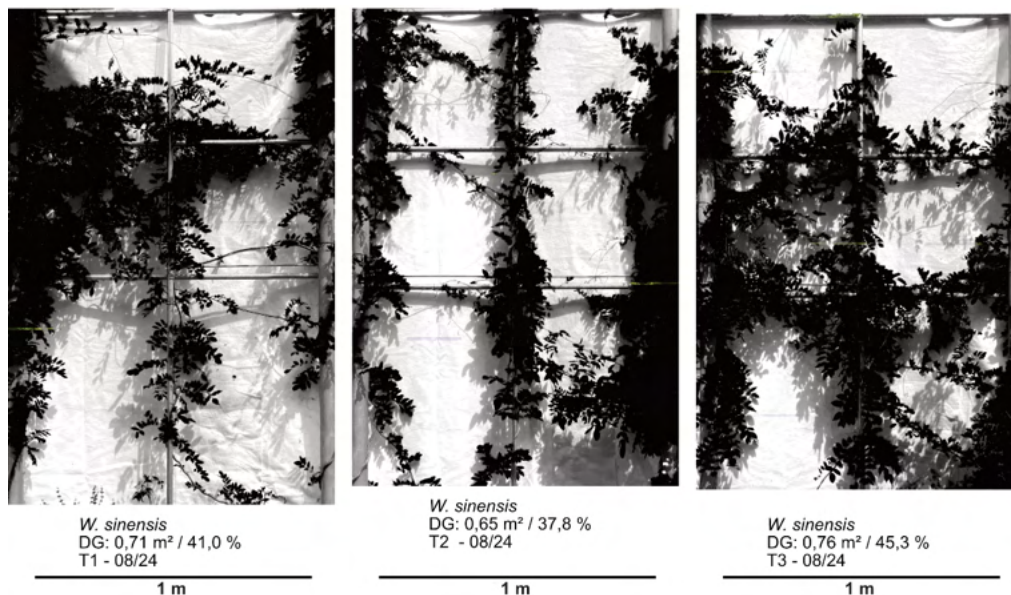


Abbildung 82: Dynamische Entwicklung der Vegetation im August der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

Auch im September 2024 waren weitere Zugewinne im DG_p bei T3 und T2 zu verzeichnen. Pflanzen in T3 wiesen erneut den höchsten Wert mit 54,3 % auf. T1 und T2 zeigten im September annähernd gleiche Werte von 41,4 % und 41,7 % (Abbildung 83).

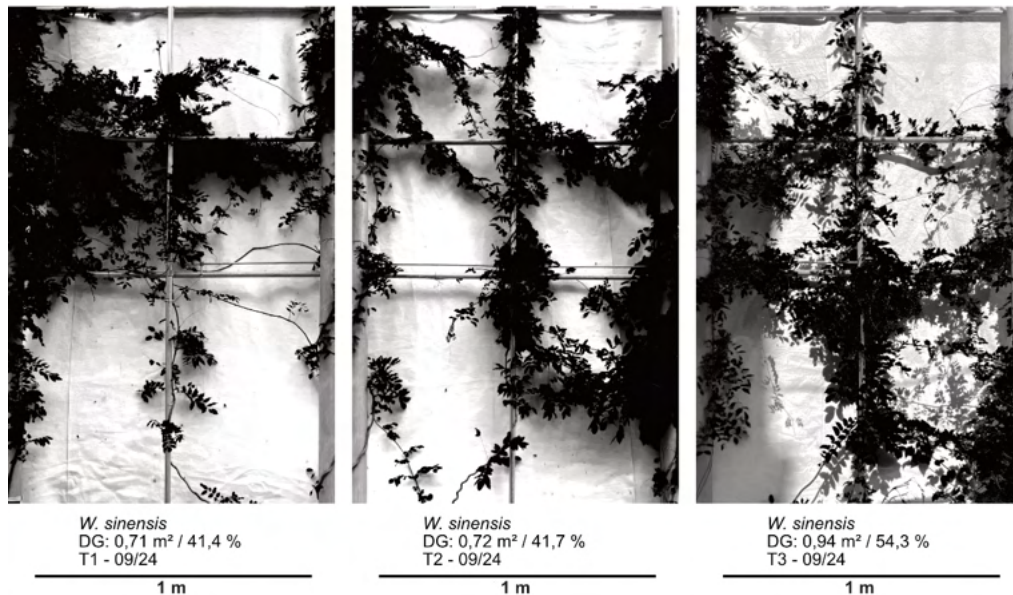


Abbildung 83: Dynamische Entwicklung der Vegetation im September der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

12.3.2.2 Wand-Blattflächenindex WLAI

Abbildung 84 zeigt die registrierten WLAI von *Wisteria sinensis* im saisonalen Verlauf der Vegetationsperiode 2024 in der KREUZGASSE | WIEN. Im Vergleich zu den gemessenen Werten am Standort SÖLL | TIROL wurden deutlich niedrigere Blattflächenindizes erfasst (< 1,59).

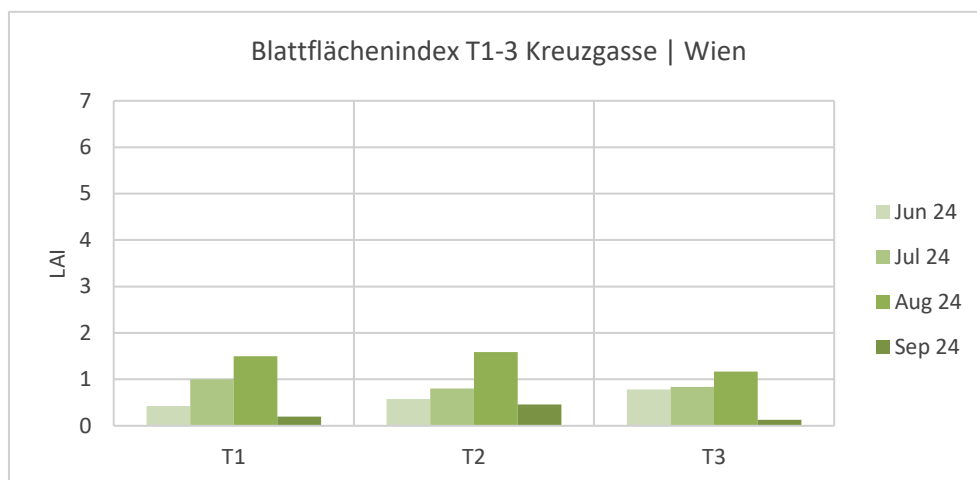


Abbildung 84: Entwicklung des Wand-Blattflächenindex (WLAI) im saisonalen Verlauf 2024 von *W. sinensis* in Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

Die Datenanalyse der WLAI-Aufnahmen im Juni 2024 ergab einen kontinuierlichen Anstieg von Trog 1 (WLAI 0,43) über Trog 2 (WLAI 0,58) bis Trog 3 (WLAI 0,78). Im Juli 2024 wies Trog 1 den höchsten WLAI-Wert auf (1,0), T2 und T3 zeigten ähnliche Werte (0,8 und 0,84). Die Erhebung im August wies den Höchstwert des Jahres an diesem Standort an T2 (1,59) aus. An T1 wurde ein ähnlich hoher WLAI von 1,5 gemessen. An T3 wurde im August ein WLAI von 1,17 gemessen. Im September desselben Jahres wiesen alle Tröge einen Rückgang des WLAI auf. An T1 wurde ein WLAI von 0,2 gemessen, T2 zeigte noch 0,46 und an T3 sank der WLAI auf 0,13 ab.

12.3.2.3 Kubisches Volumen

Das kubische Pflanzenvolumen verhält sich auch am Standort in WIEN ähnlich zum Deckungsgrad: Alle Tröge weisen ein stätiges Wachstum des kubischen Volumens im Jahresverlauf auf, wie in der Abbildung 85 zu erkennen ist. Die Unterschiede zwischen den Trögen sind mäßig. T3 sticht durch vergleichsweises höheres Volumen heraus.

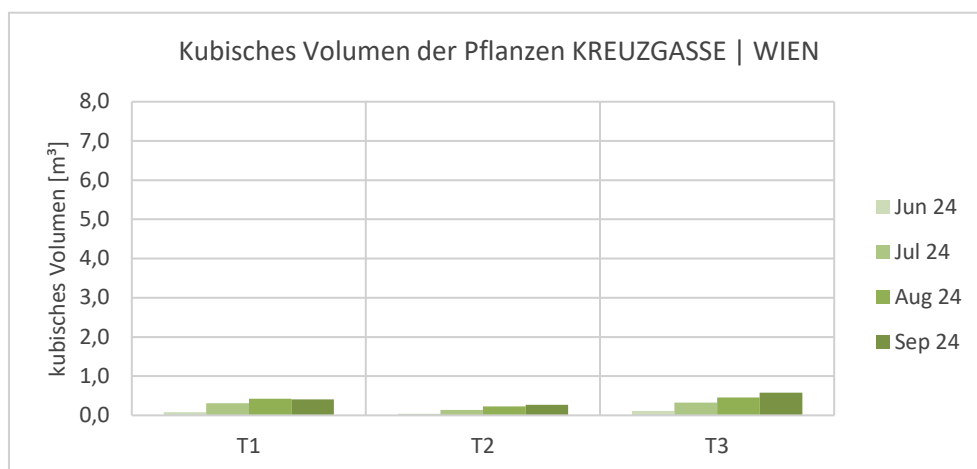


Abbildung 85: Entwicklung des kubischen Volumens [m³] im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

Die Entwicklung des kubischen Volumens der Pflanzen von T1 zeigen ein stetiges Wachstum von Mai 2024 mit 0,08m³ bis 0,42 m³ im August 2024. Danach stagnierte das Volumen im September bei 0,41 m³. Die Pflanzen an T2 zeigen, wie auch beim Deckungsgrad die kleinsten Werte. Die Entwicklung reicht von 0,04 m³ im Mai bis 0,27m³ im September. Bei Trog 3 zeichnen sich deutlich die höchsten Werte im kubischen Volumen ab. Im Mai wurde hier ein Wert von 0,11 m³ gemessen, im August der bisherige Höchstwert von 0,46 m³. Im September wurde dieser erneut von T3 mit 0,58 m³ übertroffen.

12.3.2.4 Stomatäre Leitfähigkeit

Die 8 Individuen der *W. sinensis* am Demostandort KREUZGASSE | WIEN wurden als gesamte Art ausgewertet und in Abbildung 86 dargestellt. Die stomatäre Leitfähigkeit wurde an 4 Tagen in der Vegetationsperiode 2024, jeweils an 3 Blättern pro Pflanze ($n = 96$) um 11:30 Uhr erhoben.

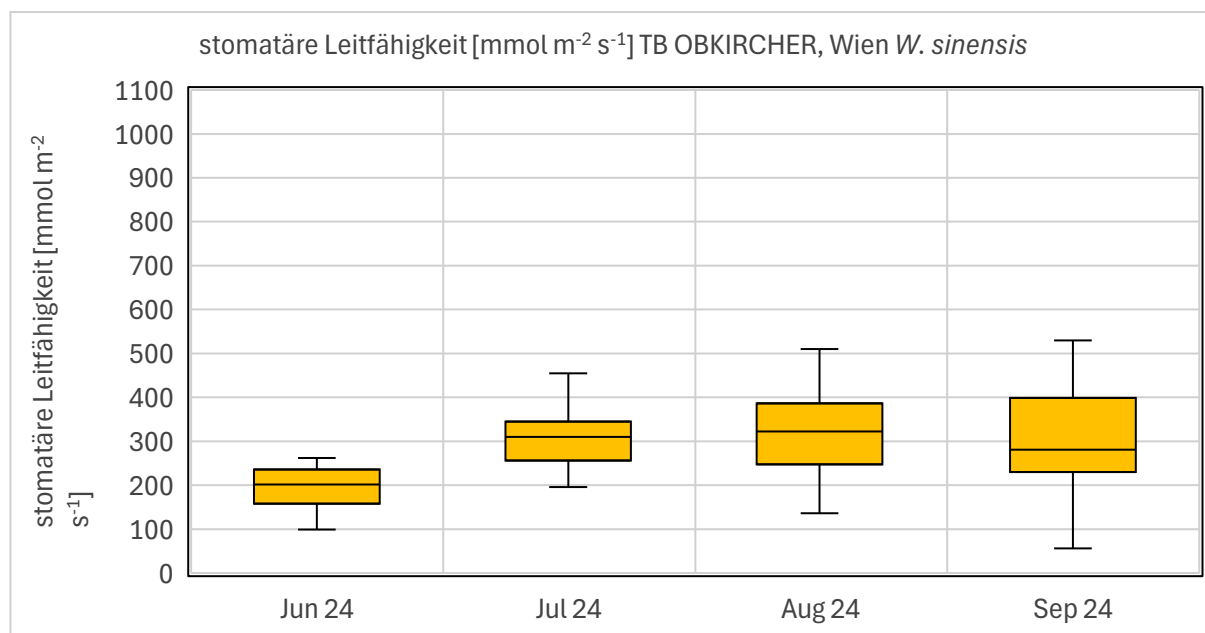


Abbildung 86: Stomatäre Leitfähigkeit [$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] von *W. sinensis* aus T1, T2 & T3 ($n=96$) im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) Standort KREUZGASSE | WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.

Die stomatäre Leitfähigkeit von *W. sinensis* in der KREUZGASSE | WIEN zeigt im Mittel des saisonalen Verlaufs einen Anstieg von Juni bis August 2024. Im September ist eine leicht abfallende Tendenz erkennbar, wobei hier auch die Schwankungsbreite der Messungen am größten ist.

Im Vergleich zu den Exemplaren von *W. sinensis* in SÖLL | TIROL wurden an den Individuen am Standort WIEN höhere Werte gemessen. Die Messungen im Juli 2024 zeigten in SÖLL an der SO-Fassade einen Mittelwert von $166 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, während *W. sinensis* in WIEN im selben Monat ein g_s -Mittel von $316 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gemessen wurde. Im August 2024 lag der Median der gemessenen g_s Werte in SÖLL | TIROL an beiden Expositionen bei ca. $240 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, im gleichen Zeitraum wurde in WIEN wieder im Mittel eine stomatäre Leitfähigkeit von $316 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gemessen. Im September wurde in SÖLL | TIROL im Mittel aller Exemplare von *W. sinensis* ein g_s -Wert von $181 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ermittelt, im selben Monat wurde an den Pflanzen in WIEN ein Mittel von $298 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gemessen. Die Bodenfeuchtesensorik zeigt für beide Standorte vergleichbare Schwankungen, was auf vergleichbares Bewässerungsregime hindeutet.

12.3.2.5 Grünverschattungsfaktor F_{bs}

Die Auswertung der Daten der Dauermessstation zu solaren Energieeinträge im 2. Standjahr 2024 ist aufgrund der fehlenden Deckung durch die Pflanzen nicht aussagekräftig. In Abbildung 87 sind die Strahlungssensoren des Standortes in Grün hinter dem System und in Rot vor dem System markiert. Die Aufnahme zeigt die Pflanzen im Maximum der Pflanzendeckung des Jahres 2024, kurz vor der Pflege im September 2024 mit einem Zieldeckungsgrad DG_{Ziel} von 18 %. Es ist zu erkennen, dass die Pflanzen im Bereich der Sensoren wenig, bis kein Laub entwickelt haben. Die erhobenen Daten der Vegetationsperiode 2024 sind in Bezug auf die Beschattungsleistung der Pflanzen nicht repräsentativ. Durch die weitere Anwuchs- und Entwicklungspflege va. zur Trieblenkung lässt eine gute bis sehr gute Deckung der Zielfläche aber auch projektiv im 3. und 4. Standjahr erwarten.



Abbildung 87: Sensorverortung am Standort KREUZGASSE | WIEN. Rot markiert sind Sensoren vor der Begrünung, in Grün, Sensoren hinter der Begrünung (Bild aufgenommen vor der Pflege im September 2024). ©BOKU-IBLB, 2025.

Im Folgenden ist die Auswertung der solaren Einstrahlung aus Pyranometern und in einer weiteren Grafik die aus Net Radiometern für den Jahresverlauf sowie der daraus generierte Grünverschattungsfaktor F_{bs} dargestellt (Abbildung 88). Letztere misst die Differenz zwischen

eintreffender Strahlung und der von den Oberflächen abgegebenen Strahlung. Ende Juli 2024 wurde ein Sensorfehler verzeichnet, der am 22.8.2024 durch einen Sensortausch wieder behoben werden konnte.

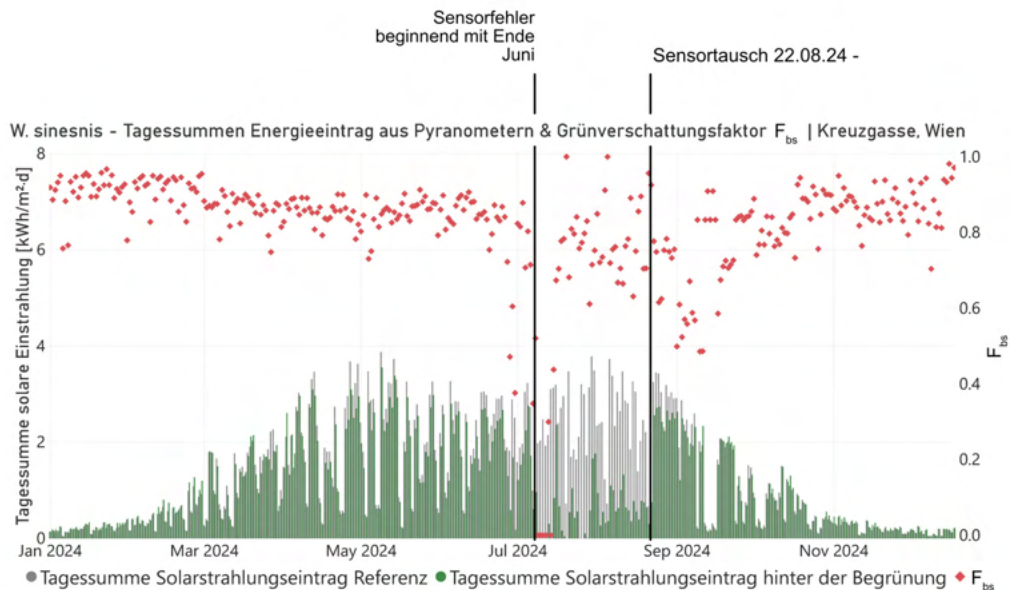


Abbildung 88: Jahresverlauf solare Einstrahlung vor und hinter der Begrünung GLASGrün-System KREUZGASSE | WIEN: Tagessummen des Energieeintrags erfasst durch Pyranometer [kWh/m²·d] und Grünverschattungsfaktor F_{bs} . ©BOKU-IBLB, 2025.

Durch das Fehlen von Vegetation im Bereich der Sensoren ist nur der Beschattungseffekt des unbewachsenen Systems in den Daten abgebildet, der eine hohe Streuung des F_{bs} im Bereich von 0,7 und 1 aufweist. Im Juli ist beim Monitoring vor Ort aufgefallen, dass der Pyranometer hinter der Begrünung defekt ist und fehlerhafte Daten lieferte, was sich als Unregelmäßigkeiten ab Ende Juni abbildet. Am 22. August 2024 wurde der betroffene Sensor getauscht. Ab diesem Zeitpunkt sind regelmäßig höhere Strahlungswerte hinter dem System aufgezeichnet als vor dem System. Vermutungen legen nahe, dass es sich hierbei um unregelmäßige Verschmutzungsgrade der Sensorköpfe handelt. Der Pyranometer vor der Begrünung wurde im Juni 2022 montiert und befindet sich circa 2 m von einer befahrenen Straße mit Straßenbahnschienen entfernt und ist daher einer kontinuierlichen Verschmutzung durch Feinstaub und Straßenabrieb ausgesetzt gewesen. Der neue Sensor wurde unverschmutzt installiert.

Die Jahresstrahlungsdaten des Jahres 2024 aus Net Radiometer-Daten für die KREUZGASSE | WIEN in Abbildung 89 zeigen ein ähnliches Bild. Wie auch die Pyranometer sind die Net-Radiometer im oberen Bereich des Systems angebracht (Abbildung 87). Die Wuchsleistung im 2. Standjahr war für diese Höhe nicht ausreichend, weshalb hier noch kein Beschattungseffekt erreicht werden konnte. Die Grafik zeigt eine große Streuung des F_{bs} und nur unwesentliche Unterschiede der Strahlungswerte vor und hinter dem System.

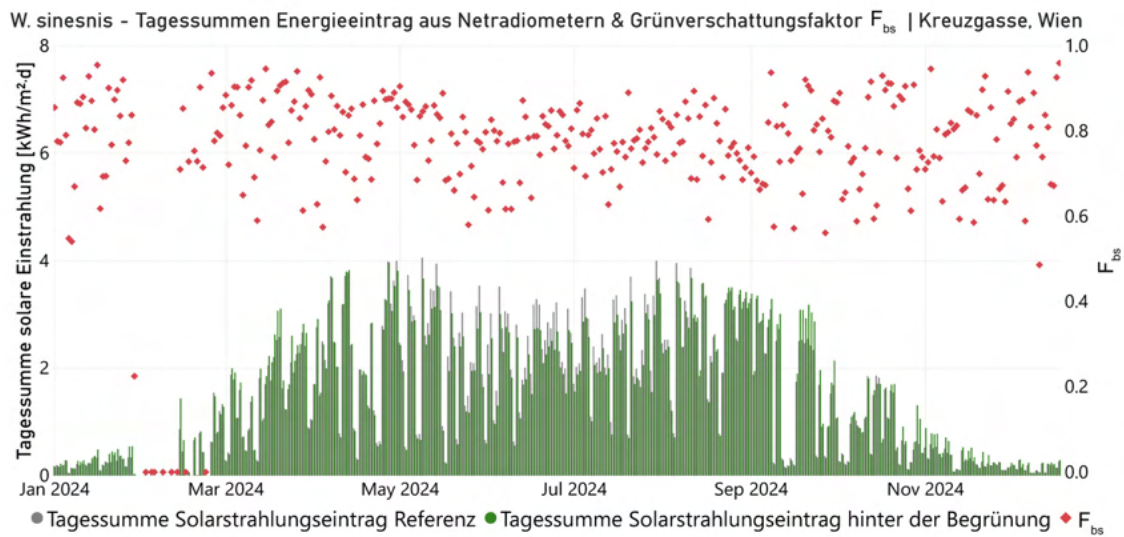


Abbildung 89: Jahresverlauf solare Strahlung aus Net Radiometer GLASGrün System KREUZGASSE | WIEN; Tagessummen des Energieeintrags [kWh/m²·d] und Grünverschattungsfaktor F_{bs} . ©BOKU-IBLB, 2025.

12.3.2.6 Temperaturverlauf und relative Luftfeuchtigkeit

Analog spiegeln sich im Temperaturverlauf und bei der relativen Luftfeuchte die fehlende Begrünung auf Sensorhöhe für die KREUZGASSE | WIEN im 2. Standjahr. Die Auswertung in Abbildung 90 zeigt zwei idente Kurven, sowohl der Lufttemperatur als auch bei der relativen Luftfeuchtigkeit vor und hinter der Begrünung. Auch diese Daten sind nicht aussagekräftig, um den Effekt durch die Begrünung abzubilden.

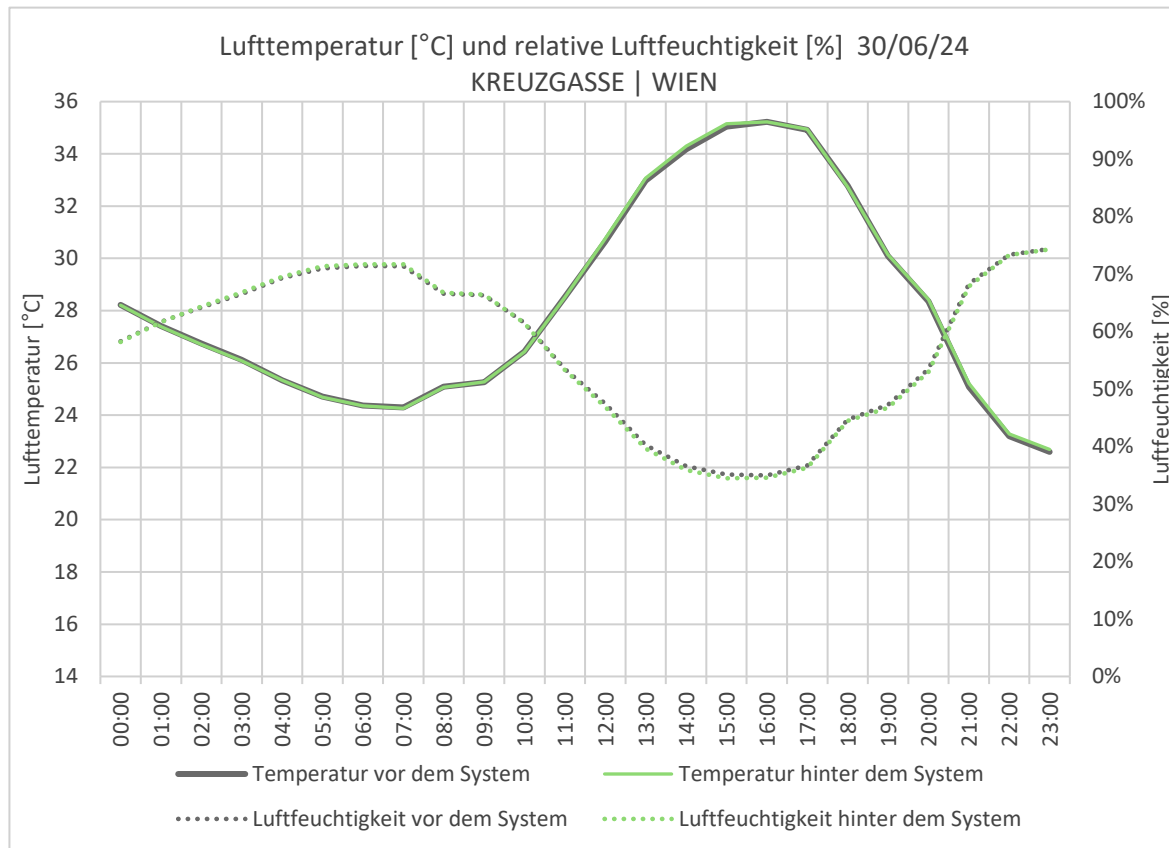


Abbildung 90: Lufttemperaturvergleich [°C] vor (grau) und hinter (grün) dem GLASGrün System KREUZGASSE | WIEN WIEN; die sekundäre Y-Achse zeigt in gepunkteten Linien die relative Luftfeuchtigkeit [%] vor (grau) und hinter (grün) dem System; 30. Juni 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.

12.3.2.1 Statistische Überprüfung der Zusammenhänge Grünverschattung, Deckungsgrad und Wand-Blattflächenindex

Im Folgenden ist Auswertung (Tabelle 12) der Zusammenhänge zwischen Parameter Blattflächenindex WLAI und Deckungsgrad DG_p , sowie Grünverschattungsfaktor F_{bs} der Monitoringdaten KREUZGASSE | WIEN auf Basis der Spearman-Rho Korrelation wiedergegeben und grafisch dargestellt (Abbildung 91).

Tabelle 12: Bivariate Korrelation nach Spearman-Rho von Deckungsgrad ($n=12$), Wall Leaf Area Index ($n=12$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 12$) der Monitoringdaten 2024 KREUZGASSE | WIEN, 2. Standjahr. ©BOKU-IBLB, 2025.

			Deckungsgrad	Wall Leaf Area Index	Grünverschattungs-faktor
Spearman-Rho	Deckungsgrad	Korrelationskoeffizient	1,000	-,042	,130
		Sig. (2-seitig)	.	,897	,688
		N	12	12	12
	Wall Leaf Area Index	Korrelationskoeffizient	-,042	1,000	,367
		Sig. (2-seitig)	,897	.	,241
		N	12	12	12
	Grünverschattungsfaktor	Korrelationskoeffizient	,130	,367	1,000
		Sig. (2-seitig)	,688	,241	.
		N	12	12	12

Die Korrelation zwischen projektivem Deckungsgrad und Blattflächenindex WLAI ist sehr schwach und beträgt $r = -0,042$, wobei auch die Signifikanz mit $p = 0,897$ nicht gegeben ist. Dies zeigt, dass zwischen diesen beiden Variablen praktisch kein Zusammenhang besteht. Ebenso zeigt der Deckungsgrad nur eine schwache positive Korrelation mit dem Grünverschattungsfaktor ($r = 0,130$), die statistisch ebenfalls nicht signifikant ist ($p = 0,688$). Der WLAI weist dagegen eine leicht positive Korrelation zum Grünverschattungsfaktor auf ($r = 0,367$), jedoch ist auch dieser Zusammenhang nicht signifikant ($p = 0,241$).

Zwischen den untersuchten Variablen in dieser Stichprobe wurden keine signifikanten Korrelationen festgestellt. Aufgrund der noch nicht ausreichenden Pflanzenentwicklung im 2. Standjahr ist keine Aussagekraft gegeben und nicht repräsentativ, da etwa auf Sensorhöhe der Dauermessstation keine Verschattung durch Pflanzen erfasst werden konnte.

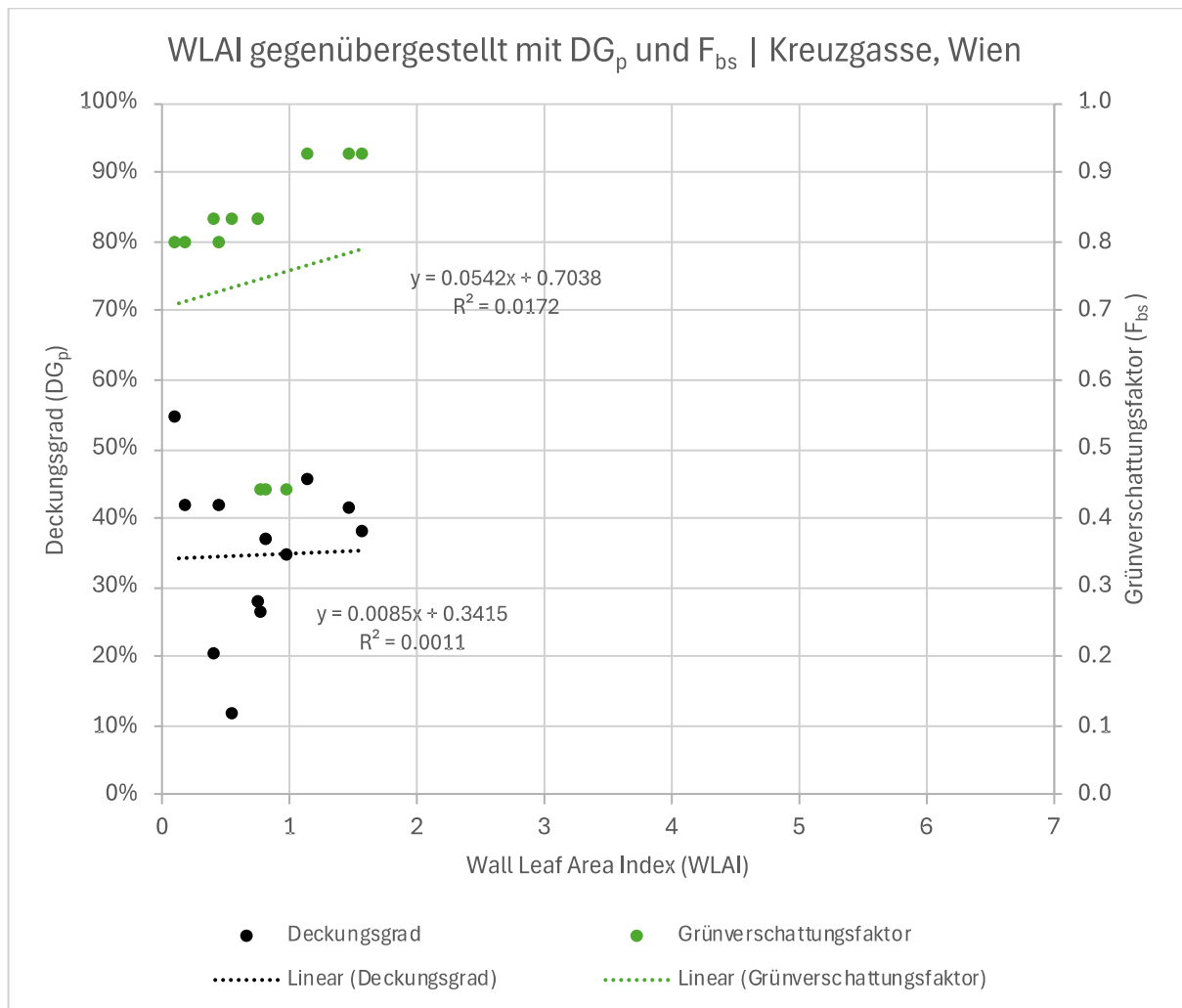


Abbildung 91: Streudiagramm mit Trendlinie und linearem Modell von Deckungsgrad ($n=12$), Wall Leaf Area Index ($n=12$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 12$) KREUZGASSE | WIEN, Monitoringdaten 2. Standjahr 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.

In Abbildung 91 oberhalb werden die Zusammenhänge zwischen Wandblattflächenindex WLAI und Deckungsgrad bzw. Grünverschattungsfaktor für die KREUZGASSE | WIEN

ersichtlich. Der R^2 -Wert für den Zusammenhang mit dem Deckungsgrad beträgt 0,001, daraus ist abzuleiten, dass der WLAI in diesem Fall praktisch keinen Einfluss auf den Deckungsgrad hat (schwarze Datenpunkte). Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen, was wiederum dem Spearman-Rho-Korrelationskoeffizienten von $r = -0,042$ entspricht. Die grüne Punktwolke stellt den Zusammenhang zwischen WLAI und dem Grünverschattungsfaktor dar. Auch hier steigt die Regressionslinie nur minimal an, und der R^2 -Wert von 0,017 ist sehr niedrig. Das deutet darauf hin, dass der WLAI auch nur einen sehr geringen Einfluss auf den Grünverschattungsfaktor hat. Das unterstützt auch die Spearman-Rho-Korrelation von $r = 0,367$ (positive, schwache Korrelation).

Die Grafik unterstützt die Aussage, dass es am Standort KREUZGASSE | WIEN keinen nennenswerten Zusammenhang zwischen dem WLAI, dem Deckungsgrad und dem Grünverschattungsfaktor gibt. Die Ergebnisse unterscheiden sich stark von den Daten für SÖLL | TIROL, wo klare Zusammenhänge beobachtet wurden. Dies ist durch die stark unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Pflanzen im 2. (KREUZGASSE | WIEN) bzw. 3. Standjahr (SÖLL | TIROL) erklärt werden.

12.4 Ergebnisse aus der Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie zur Bevölkerungssensibilisierung

Die Auswertung der Befragungsergebnisse wurden aus LimeSurvey in Excel importiert und nach absoluter und relativer Häufigkeit ausgewertet. Nach Diskussion im interdisziplinären Projektteam wurden mittels Kreuztabellen Parameter ausgewählt, die gemeinsam auftretende Variablen zeigen. So konnten die Erkenntnisse aus der 1. Umfragephase schon in die weitere Planung einfließen.

Die Umfragen lieferten erste Eindrücke über die Wahrnehmung und Akzeptanz der vertikalen Begrünung durch Passant*innen, Kund*innen und Mitarbeiter*innen sowie über die Faktoren, die ihre Wahrnehmung möglicherweise beeinflussen. Wir stellen hier die Ergebnisse entlang ausgewählter Themen der Umfrage dar, zeigen die Antworten von Kund*innen in SÖLL | TIROL und Passant*innen in der KREUZGASSE | WIEN und fügen die Zusammenfassung der Antworten von Mitarbeiter*innen hinzu.

12.4.1 Vor- und Nachteile von Fassadenbegrünung

Mit einer offenen Frage zu Beginn (Abbildung 92) wurde erhoben, welchen Eindruck die Befragten haben, wenn sie vor der jeweiligen Fassade mit Glasfront stehen. Vor der Begrünung wurden sie dabei gebeten, zwei Bilder der Fassade, ohne und mit potenzieller Begrünung, zu kommentieren.

Bei der zusammenfassenden Frage „Überwiegen Vor- oder Nachteile von Fassadenbegrünung?“ ergibt sich für WIEN eine sehr hohe Einschätzung der Vorteile, die sich vor und nach den Begrünungsmaßnahmen kaum verändert. Für SÖLL ist die Wahrnehmung von Vorteilen niedriger als in WIEN. Sie steigt allerdings nach erfolgreicher Begrünung deutlich an.

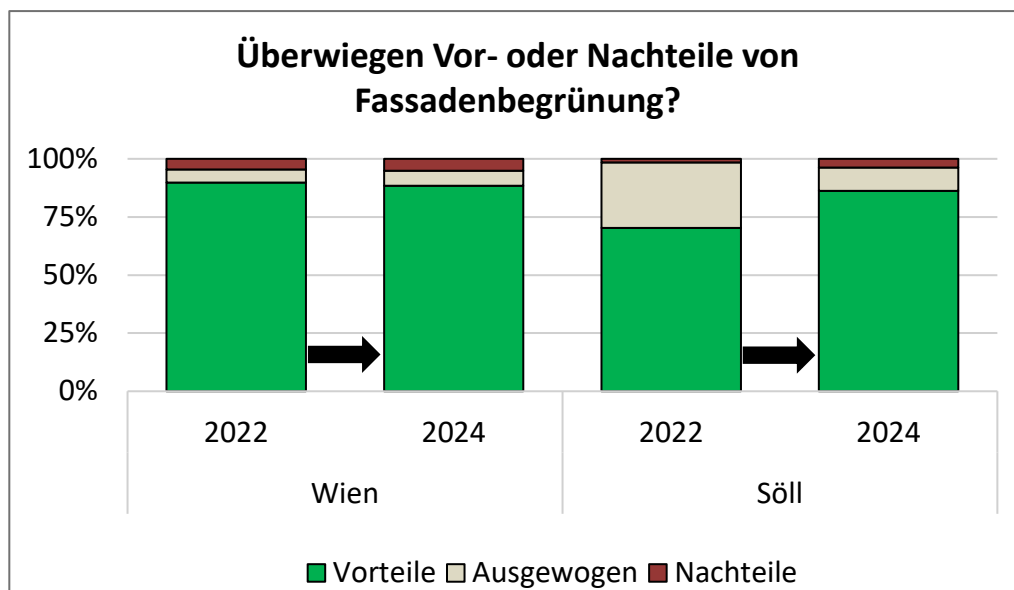


Abbildung 92: Wahrnehmung von Vor- und Nachteilen einer Fassadenbegrünung für die Demo-Objekte der KREUZGASSE | WIEN und SÖLL | TIROL. ©BOKU-SEC, 2025.

Geringe Unterschiede zeigen sich, wenn man nach Alter kontrolliert, mit höherer Zustimmung bei älteren Menschen. Keine Unterschiede ergeben sich bei Bildungsniveau und Geschlecht. Personen mit Betreuungspflichten für Kinder zeigen jedoch etwas mehr Zustimmung. Insgesamt geben alle Gruppen (Kund*innen, Passant*innen und Mitarbeiter*innen) eine hohe Zustimmung zur Fassadenbegrünung, wobei in der KREUZGASSE | WIEN sowohl höhere Zustimmungsraten als auch kritischere Aspekte genannt werden.

12.4.2 Umfrage vor Start der Begrünungsmaßnahme

Auf die Frage "Überwiegen Ihrer Meinung nach die Vorteile oder die Nachteile der Fassadenbegrünung?" nennen die Befragten in SÖLL 70 % Vorteile, 28 % ausgewogene und 2 % Nachteile. In WIEN ist die Zustimmung zur Begrünung der Glasfassade mit 90 % positiven, 5 % neutralen und 5 % negativen Nennungen in beidem höher.

In der KREUZGASSE | WIEN wird die Regulierung des Mikroklimas von 51 % der Befragten am häufigsten als Vorteil gesehen, gefolgt vom ästhetischen Aspekt mit 46 % und der Verbesserung der Luftqualität mit 24 %. Außerdem wird die Funktion als Lärmschutz mit 15 % auch oft genannt. In SÖLL | TIROL ist der ästhetische Aspekt mit 32 % der häufigste genannte Vorteil, ebenfalls gefolgt von Luftqualität mit 21 % der Befragten und als dritter Vorteil wurde Klima- und Umweltschutz mit 17 % genannt.

Mit 34 % der Antworten bestimmen die WIENER Befragten den notwendigen Pflegeaufwand als wichtigsten Nachteil einer Fassadenbegrünung. Außerdem empfinden 17 % der WIENER Passant*innen die Belästigung durch Insekten und 13 % potenzielle Beschädigung der Infrastruktur als negativ. Im ländlicheren SÖLL wird ebenfalls von 18 % der Befragten der Pflegebedarf als größter Nachteil genannt. Die Investitionskosten der Begrünungsmaßnahmen und die entstehende Verschmutzung durch Laub werden an beiden Standorten mit 5 % als zweithäufigster Nachteil bestimmt.

12.4.3 Umfrage nach Installation der Begrünungsmaßnahme

Nach der Begrünung der Fassaden in SÖLL stieg der Anteil der befragten Personen, für welche die Vorteile einer Fassadenbegrünung überwiegen, von 70 % auf 86 %. Gleichzeitig stieg aber auch der Anteil überwiegender Nachteile von 2 % auf 4 %. Die neutralen Äußerungen sind nach der Begrünung mit 10 % deutlich geringer als vor der Begrünung. In WIEN sind vor und nach der Begrünung nur minimale Veränderungen zu erkennen. Die Antwort, dass Vorteile überwiegen, sank in der zweiten Befragungsphase von 90 % auf 88 %, während der Anteil der negativen Nennungen bei 5 % gleichblieb. Bei den neutralen Antworten ist ein leichter Anstieg von 5 % auf 6 % zu sehen.

Tabelle 13 zeigt eine Heatmap zu den wichtigsten genannten Vor- und Nachteilen nach Ort und Umfragephase.

Tabelle 13: Heatmap der wichtigsten Vor- und Nachteile nach Ort und Umfragephase (Quelle: LimeSurvey); aH = absolute Häufigkeit; P = relative Häufigkeit.

Vor- und Nachteile	WIEN 2022			WIEN 2024			SÖLL 2022			SÖLL 2024		
	aH	Rang	P	aH	Rang	P	aH	Rang	P	aH	Rang	P
Vorteile												
Mikroklimaregulierung	45	1	51,1 %	56	1	70,0 %	8	4	12,1 %	34	2	42,5 %
Ästhetik	40	2	45,5 %	49	2	61,3 %	21	1	31,8 %	39	1	48,8 %
Luftqualität	21	3	23,9 %	19	3	23,8 %	14	2	21,2 %	16	3	20,0 %
Lärmschutz	13	4	14,8 %	4	7	5,0 %	0	8	0,0 %	3	8	3,8 %
Wohlbefinden allgemein	11	5	12,5 %	16	5	20,0 %	7	5	10,6 %	6	6	7,5 %
Biodiversität	10	6	11,4 %	17	4	21,3 %	7	5	10,6 %	6	6	7,5 %
Klima- /Umweltschutz	6	7	6,8 %	4	7	5,0 %	11	3	16,7 %	9	4	11,3 %
Naturnähe	6	7	6,8 %	8	6	10,0 %	6	7	9,1 %	7	5	8,8 %
Sichtschutz	3	9	3,4 %	0	10	0,0 %	0	8	0,0 %	1	10	1,3 %
Vorbildfunktion	1	10	1,1 %	0	10	0,0 %	0	8	0,0 %	3	8	3,8 %
Arbeitsplätze	0	11	0,0 %	1	9	1,3 %	0	8	0,0 %	1	10	1,3 %
Vorteile gesamt	156			174			74			125		
Nachteile												
Pflegebedarf	30	1	34,1 %	23	1	28,8 %	12	1	18,2 %	22	1	27,5 %
Insekten/andere Tiere	15	2	17,0 %	15	2	18,8 %	2	4	3,0 %	4	4	5,0 %
Beschädigung Infrastruktur	11	3	12,5 %	10	4	12,5 %	1	6	1,5 %	7	3	8,8 %
Wasserverbrauch	9	4	10,2 %	6	5	7,5 %	1	6	1,5 %	3	5	3,8 %
Kosten	6	5	6,8 %	11	3	13,8 %	3	2	4,5 %	15	2	18,8 %
Laubfall/Verschmutzung	4	6	4,5 %	4	8	5,0 %	3	2	4,5 %	2	7	2,5 %
Platz-, Sicht-, Lichtverlust	5	7	5,7 %	2	9	2,5 %	0	9	0,0 %	3	5	3,8 %
Unpraktisch allgemein	1	8	1,1 %	1	10	1,3 %	1	6	1,5 %	1	9	1,3 %
Ästhetik	0	9	0,0 %	5	6	6,3 %	2	4	3,0 %	2	7	2,5 %
Verhalten Menschen	0	10	0,0 %	5	6	6,3 %	0	9	0,0 %	0	10	0,0 %
Allergien	0	11	0,0 %	0	11	0,0 %	0	9	0,0 %	0	10	0,0 %
Gesamt Nachteile	81			82			25			59		

Die am häufigsten genannten Vorteile in SÖLL | TIROL beziehen sich in der zweiten Befragungsphase insbesondere auf die ästhetischen Aspekte durch 49 % der Befragten und auf die Mikroklimaregulierung durch 43 %. Beide Aspekte wurden deutlich öfters genannt als in der ersten Phase mit einem Anstieg von 30 % beim Aspekt der Mikroklimaregulierung und 17 % beim ästhetischen Aspekt, wobei der ästhetische Aspekt in der ersten Phase ebenfalls am häufigsten genannt wurde. Weiters gaben auch 20 % der Befragten an, dass die Verbesserung der Luftqualität zu den drei wichtigsten Vorteilen einer Fassadenbegrünung zählen. Der Beitrag zum Klima- und Umweltschutz zählt mit 11 % in der zweiten Phase nicht mehr zu den drei häufigsten genannten Vorteilen. In der KREUZGASSE | WIEN wurden dieselben drei Aspekte am öftesten genannt. Außerdem war auch beim ästhetischen Aspekt und der Mikroregulierung ähnlich wie in SÖLL ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Darüber hinaus wurde auch der Beitrag zur Biodiversität mit 21 % deutlich häufiger genannt als in der ersten Phase, während die lärmschützende Wirkung einer Fassadenbegrünungen in der zweiten Phase kaum als Vorteil erfasst wurde.

Die nach der Begrünung am häufigsten genannten Nachteile in der KREUZGASSE | WIEN sind der notwendige Pflegeaufwand mit 30 % der Befragten und die Belästigung durch Insekten mit 19 %. Somit ist wenig Veränderung zu den wahrgenommenen Nachteilen bei der ersten Phase zu erkennen. Zusätzlich sehen 14 % der WIENER Befragten auch einen Nachteil hinsichtlich der hohen Investitionskosten, während dies in der ersten Phase nur 7 % wahrgenommen haben. Potenzielle Beschädigung der Infrastruktur bleibt mit 12,5 % der Befragten unverändert. Auch bei der zweiten Befragung in SÖLL | TIROL blieb der Pflegebedarf mit 28 % der Befragten der am häufigsten genannte Nachteil und die notwendigen Kosten für eine Fassadenbegrünung der als zweithäufigst genannte negative Aspekt. Dieser wurde jedoch mit 19 % deutlich öfters als Nachteil genannt als vor der Begrünung der Fassaden.

12.4.4 Klima- und Umweltschutz

Auf die Frage „Welcher mikroklimatische Aspekt ist für Sie am wichtigsten?“ machen die Aspekte Luftqualität und Temperatur an beiden Standorten die Mehrheit aus. In SÖLL | TIROL empfanden in der ersten Befragungsphase 69 % der Befragten die Luftqualität als den wichtigsten mikroklimatischen Aspekt, während die Temperatur von nur 18 % als am wichtigsten erachtet wurde. In der zweiten Phase ist ein Anstieg von 18 % auf 42 % der Antwortmöglichkeit „Temperatur“ zu erkennen. Gleichzeitig ist der Anteil von Luftqualität als wichtigster Aspekt auf 51 % gesunken. In der KREUZGASSE | WIEN war zwar bereits in der ersten Befragungsphase die Temperatur mit 53 % der häufigste genannte Aspekt, jedoch ist auch hier ein deutlicher Anstieg in der zweiten Phase auf 63 % zu verzeichnen. Diese stärkere Gewichtung von Temperatur als wichtigster mikroklimatischer Aspekt kann auf die unterschiedlichen Befragungszeitpunkte in den zwei Phasen zurückgeführt werden. Während die erste Befragungsphase im Mai stattfand, wurden die Umfragen der zweiten Phase erst Ende Juni und Anfang Juli durchgeführt. Angesichts der höheren Temperaturen in

dieser Periode war der mikroklimatische Aspekt der Temperatur für die Befragten in der zweiten Phase vermutlich stärker präsent als in der kühleren Phase im Mai.

Zusätzlich zeigt die Gewichtung von Lärm und Wind sowohl in SÖLL als auch in WIEN nur wenig Veränderungen und macht insgesamt nur einen geringen Anteil aus (Abbildung 93). Dies deutet darauf hin, dass diese Aspekte im Vergleich zur Temperatur und Luftqualität weniger zentrale Themen für die Befragten darstellen.

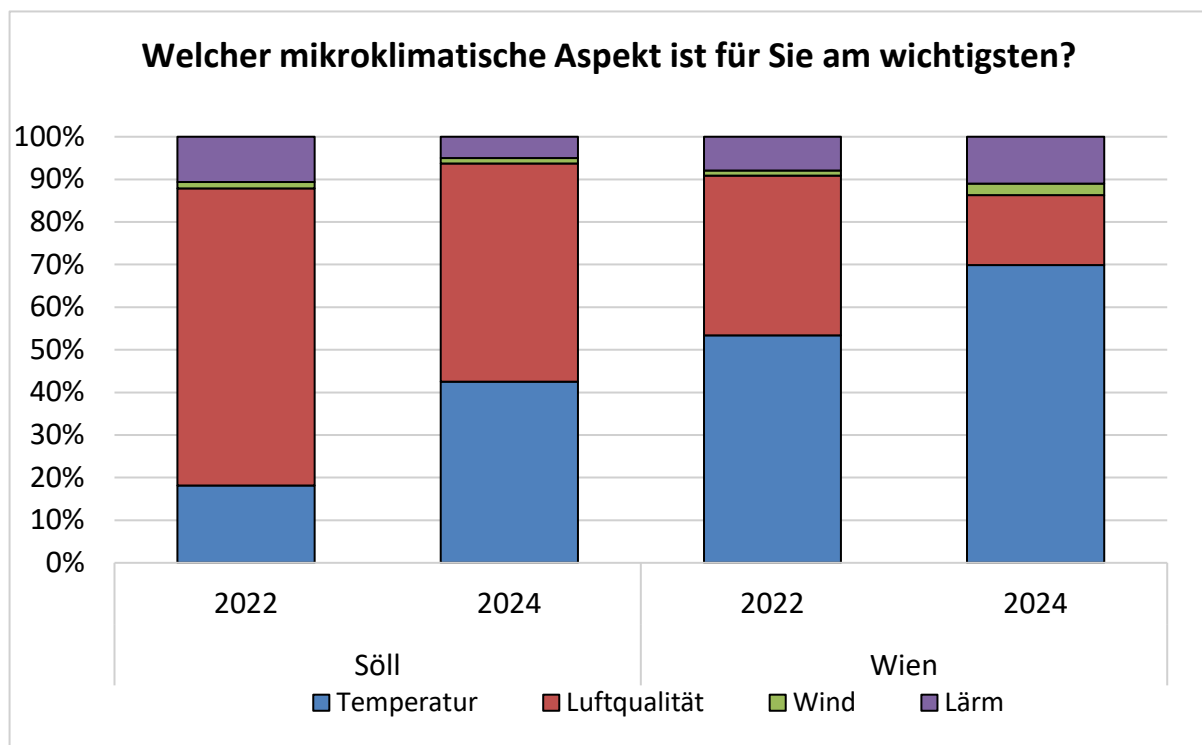


Abbildung 93:Auswertung der Frage: Mikroklimatische Effekte. ©BOKU-SEC, 2025.

Auf die Frage "Erfordert der Klimawandel schnelles und entschiedenes Handeln?" antworten 78 % der Befragten in SÖLL mit "ja" oder "eher ja" und 3 % mit "nein" (Abbildung 94). In WIEN machen positive Antworten 96 % und negative Antworten nur 1 % aus.

In der zweiten Befragungsphase in der KREUZGASSE | WIEN stieg der Anteil der Befragten, welche die Frage mit „ja“ beantworteten, auf 97 %. Keine der befragten Personen beantworteten die Frage mit „nein“, wobei sich 2 Personen neutral dazu äußerten. Auch im ländlicheren SÖLL | TIROL verstärkte sich mit 80 % positiven Antworten die Wahrnehmung der Dringlichkeit eines entschiedenen Handelns bezüglich des Klimawandels. Gleichzeitig erhöhte sich aber auch der Anteil der Befragten, welche die Frage mit „nein“ beantworten, auf 5 %. Allgemein ist in WIEN ein höheres Bewusstsein über die Dringlichkeit des Klimawandelns zu erkennen als in SÖLL.

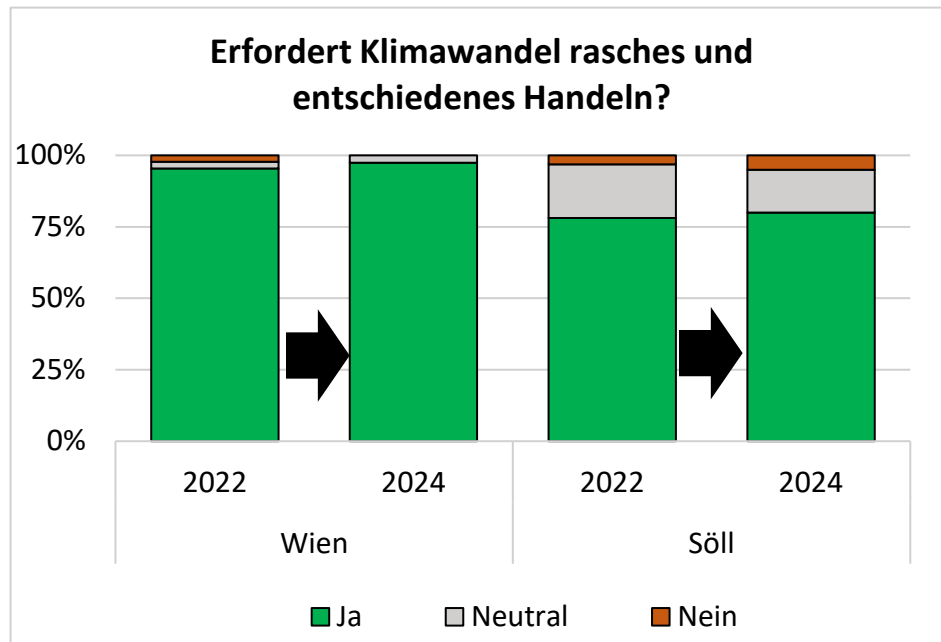


Abbildung 94: Wahrnehmung von Handlungsbedarf beim Klimawandel. ©BOKU-SEC, 2025.

Personen, die einen Handlungsbedarf bezüglich des Klimawandels sehen, haben tendenziell eine positivere Einschätzung der Fassadenbegrünung (Abbildung 95). Wenn sich diese Einstellung zum Klimawandel in der Bevölkerung stärker verbreitet, dann ist dies auch ein förderlicher Faktor für Begrünungsprojekte und für die positive Wahrnehmung in der Bevölkerung. Außerdem sind Veränderungen dieser Einstellung auch in der Kommunikation von künftigen Projekten zu berücksichtigen.

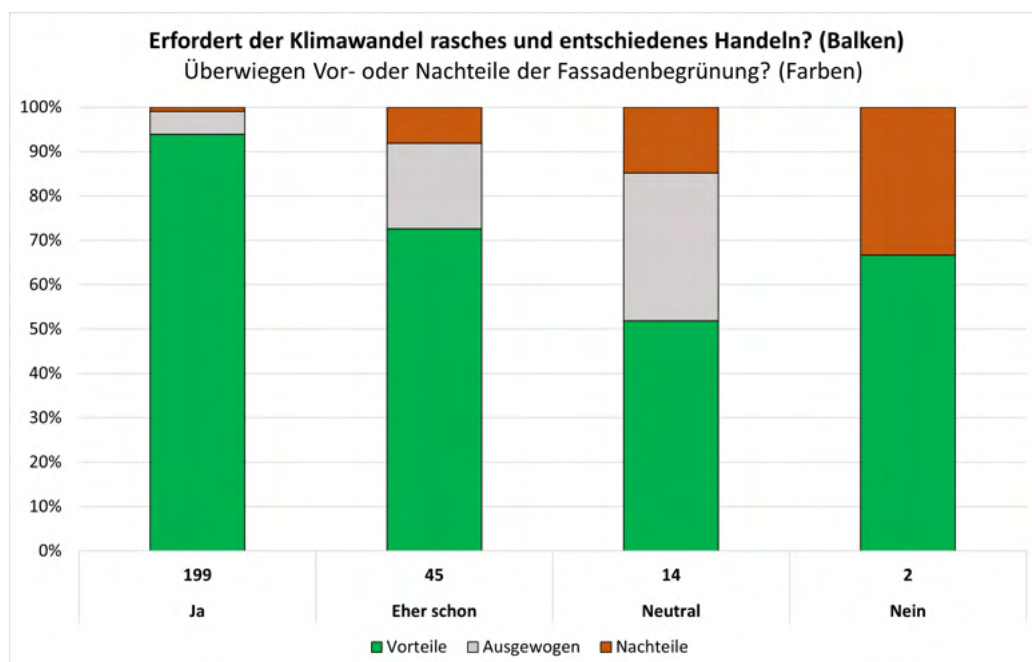


Abbildung 95: Kreuztabelle Maßnahmen gegen den Klimawandel & Vor- und Nachteile der Fassadenbegrünung. ©BOKU-SEC, 2025.

12.4.5 Zustimmung / Ablehnung zu Aussagen aus Literatur

Bei einer Reihe von Aussagen mit positiven oder negativen Auswirkungen von Fassadenbegrünung wurde Zustimmung oder Ablehnung erfragt. Die Aussagen sind in Anlehnung an Schlösser (2003) formuliert (Tabelle 14).

Tabelle 14: Aussagen zu begrünten Fassaden aus den GLASGrün-Umfragen in der KREUZGASSE | WIEN und SÖLL | TIROL

1. Begrünte Fassaden verschönern ein Gebäude.
2. Bewohner*innen begrünter Gebäude werden von Vögeln (Gezwitscher/Kot) belästigt.
3. Begrünungen schützen Fassaden vor den Auswirkungen von Frost.
4. Begrünte Fassaden fördern das persönliche Wohlbefinden der Personen im Gebäude (Temperatur, Luftqualität, Lärm).
5. Begrünte Fassaden verschönern die unmittelbare Umgebung.
6. Begrünte Fassaden führen zu einem ungepflegten Straßenbild.
7. Begrünte Fassaden fördern das persönliche Wohlbefinden von Passant*innen.
8. Begrünte Fassaden können das Erscheinungsbild eines (z.B. denkmalgeschützten) Hauses mindern.
9. Begrünungen schützen Fassaden vor den Auswirkungen von Hitze.
10. Bewohner*innen begrünter Gebäude werden verstärkt von Insekten geplagt.
11. Begrünte Fassaden würden die Lebensqualität in meinem Wohnumfeld erhöhen.
12. Begrünungen tragen zur Reduktion von Hitzeinseln bei.
13. Begrünungen fördern die Biodiversität und den Artenschutz.
14. Fassadenbegrünungen sind gefährlich (giftige Pflanzen).

Anschließend wurden die Befragten dazu aufgefordert, die drei Aussagen zu nennen, die ihnen in der Bewertung am wichtigsten waren (Abbildung 96). Dabei ist zu erkennen, dass den ästhetischen Aspekten auch hier wieder viel Bedeutung zugeschrieben wird. Dies deckt sich mit den wichtigsten Vorteilen, die die Befragten in einer Fassadenbegrünung sehen. Während in WIEN der Anteil der Zustimmung zur Aussage zur Verschönerung des Gebäudes im zweiten Jahr leicht zurückgeht, steigt die Relevanz der Verschönerung der unmittelbaren Umgebung in der Phase nach der Begrünung deutlich. Weiters wird auch der Aspekt des Wohlbefindens für Passant*innen und für Personen im Gebäude als wichtig erachtet, wobei das Wohlbefinden der Personen im Gebäude mehr gewichtet wird als das der

Passant*innen. Außerdem ist zu erkennen, dass der Beitrag einer Fassadenbegrünung zu den Auswirkungen von Hitze, ähnlich wie bei der Frage nach dem wichtigsten mikroklimatischen Aspekt, in der zweiten Befragungsphase deutlich an Bedeutung gewinnt.

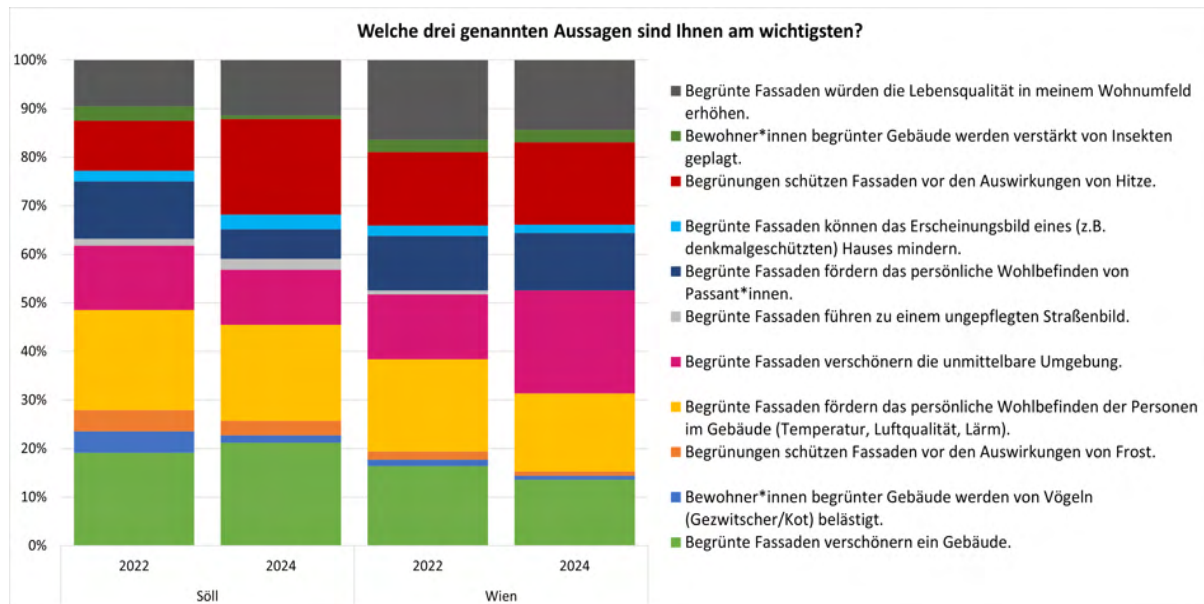


Abbildung 96: Gewichtung von Aussagen zu begrünten Fassaden. ©BOKU-SEC, 2025.

12.4.6 Wahrnehmung zu Belastungen: Insekten und Vögel

Die Belästigung durch Insekten und Vögel war einer der Nachteile, bei denen wir um Bewertung baten. Im ländlichen SÖLL stimmte nur ein sehr geringer Anteil der Befragten der Aussage zu, dass dies eine große Belastung ist, während etwa die Hälfte der Befragten eher nicht zustimmte. Interessanterweise war in WIEN der Anteil der Zustimmung deutlich höher, aber die Gruppe, die angab, dass dies eher eine Belastung ist, war weitaus kleiner (bei Insektenplage etwa ein Viertel und bei lästigen Vögeln unter 10 %). Wie auch bei den anderen Fragen, sehen wir in der KREUZGASSE | WIEN also größere Zustimmung und mehr Kritik als in SÖLL | TIROL. Im ländlichen Raum scheint die Ablehnung geringer zu sein und mehr Menschen, die man zu den Vorteilen von Fassadenbegrünung ansprechen könnte (Abbildung 97).

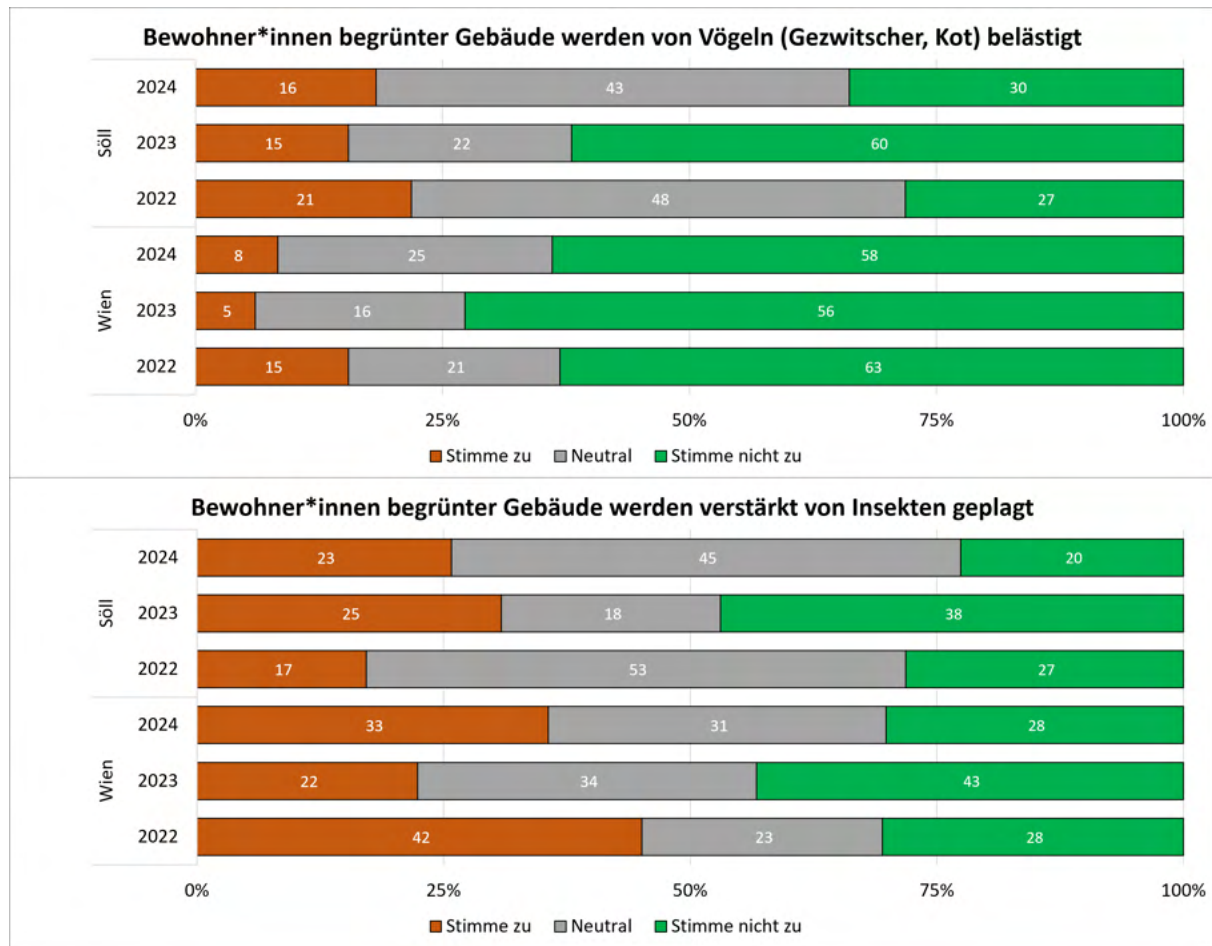


Abbildung 97: Zustimmung zu Aussagen über Vögel oder Insekten. ©BOKU-SEC, 2025.

12.4.7 Wahrnehmung zu Nutzen, Ästhetik und Wohlbefinden

Die meisten Befragten sind sich einig über die höhere Ästhetik einer grünen Fassade. Eine Tatsache, die eher überraschend erscheint, da Glasfassaden derzeit die architektonische Wahl zu sein scheinen. Möglicherweise hat sich die Wahrnehmung von grüner Infrastruktur bereits geändert oder wird zumindest als gewünschte Reaktion angesehen. Die Glasfassade wurde als kalt, langweilig, grau und schmutzig empfunden und nur wenige bezeichneten sie als modern.

Auf die Frage, ob eine Begrünung die Fassaden verschönert, stimmten in SÖLL | TIROL etwa 40 % der Kund*innen zu oder eher zu, während in der KREUZGASSE | WIEN über 90 % der Passant*innen zustimmen oder eher zustimmen. Die Verschönerung von Fassaden könnte also ein starker Motivator im städtischen Umfeld sein (Abbildung 98).

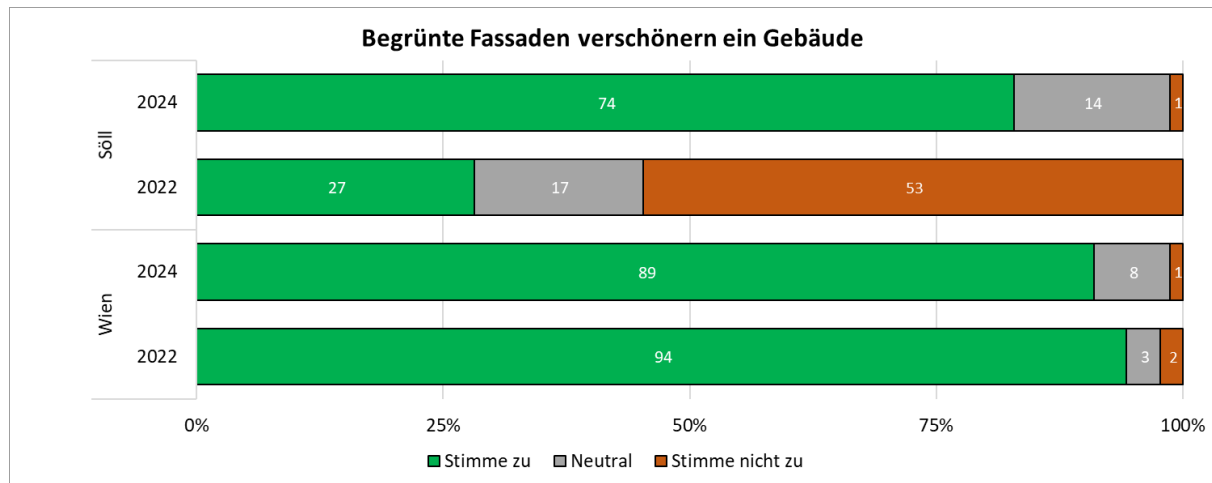


Abbildung 98: Zustimmung zur Aussage über Ästhetik (Quelle: LimeSurvey Zustimmung). ©BOKU-SEC, 2025.

Die Mitarbeiter* innen geben ähnliche Antworten und stimmen der Aussage, dass die Bemühungen um mehr Umweltfreundlichkeit das Image des Supermarktes verbessern, voll und ganz zu (90 %).

Bei der Frage ob begrünte Fassaden das persönliche Wohlbefinden fördert, gab es in der KREUZGASSE | WIEN bereits im ersten Jahr eine sehr hohe Zustimmung. Diese veränderte sich auch in der zweiten Phase kaum, wobei sich nach der Begrünung keine Person negativ dazu äußerte. In SÖLL | TIROL überwog die Ablehnung hinsichtlich dieser Aussage deutlich. In der zweiten Phase mit einer bereits begrünten Fassade überwiegt dann um so deutlicher die Zustimmung (Abbildung 99).

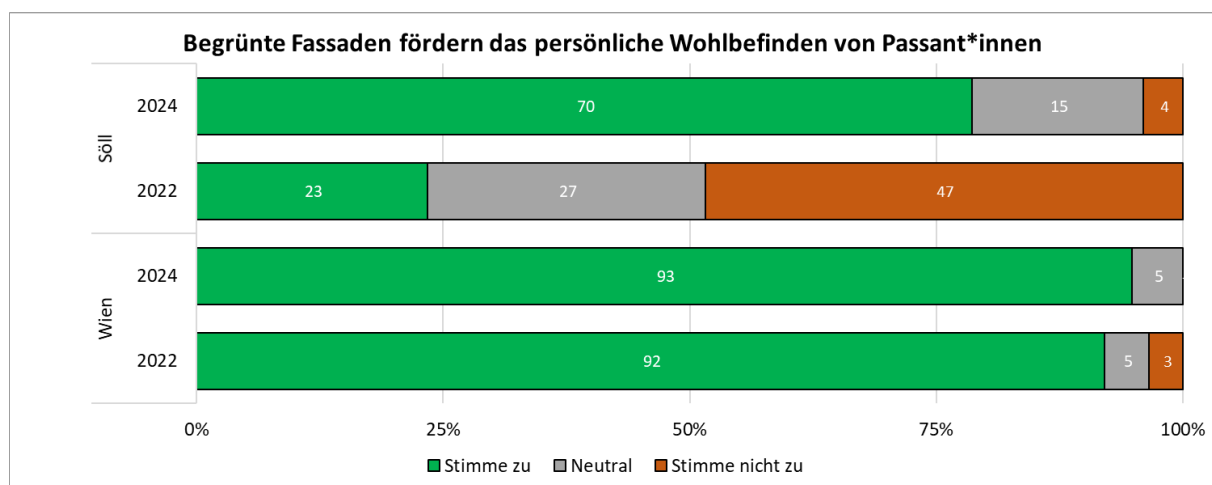
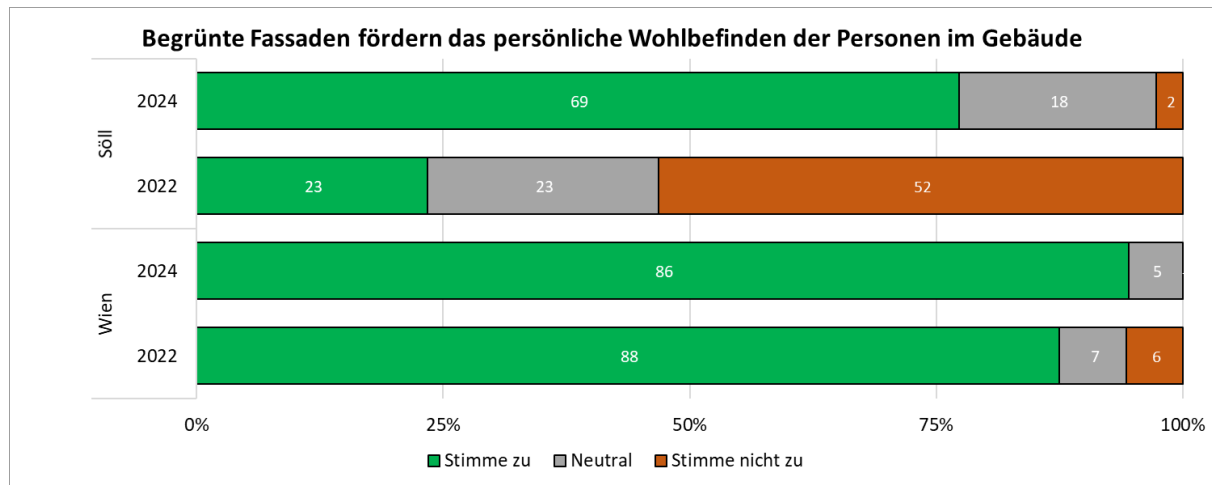


Abbildung 99: Zustimmung zu Aussagen über Wohlbefinden (Quelle: LimeSurvey Zustimmung). ©BOKU-SEC, 2025.

12.4.8 Zusammenfassende Analyse der Umfrageergebnisse

Eine Mehrheit der befragten Kund*innen und Passant*innen sehen Vorteile von Fassadenbegrünungen. Diese Wahrnehmung wird verstärkt, wenn Begrünung sichtbar ist und als gelungen angesehen wird. Daher ist es wichtig, zu verstehen, wann eine Begrünung als gelungen und erfolgreich angesehen wird. Personen, für die der Klimawandel entschiedenes Handeln braucht, haben tendenziell eine positivere Einschätzung der Fassadenbegrünung. Wenn diese Einstellung zum Klimawandel in der Bevölkerung sich stärker verbreitet, dann ist dies auch ein förderlicher Faktor für Begrünungsprojekte und die positive Wahrnehmung in der Bevölkerung. Unterschiede nach Geschlecht sind kaum zu erkennen. Jedoch zeigt sich ein Stadt-Land-Gefälle bezüglich der Auffassung von Dringlichkeit.

Die Begrünung von Glasfassaden wird in städtischen und auch ländlichen Gebieten aus einer Vielzahl von Gründen immer notwendiger werden: Stabilisierung des Raumklimas mit geringem Energieaufwand im Sommer (Mitigation), Verbesserung des Mikroklimas im Freien (Adaptation), Biodiversität (Co-Benefits), um nur einige zu nennen. Daher ist die Frage

wichtig, wie Misserfolge vermieden, und wie solche Projekte mit hoher Qualität und Akzeptanz umgesetzt werden können.

Die Wahrnehmung von Fassadenbegrünung ist laut unseren Umfragen bei Kund*innen, Passant*innen und Mitarbeiter*innen interessiert positiv und wird noch positiver, wenn Begrünung erfolgreich ist und als schön wahrgenommen wird. Ästhetik und gesteigertes Wohlbefinden werden als Vorteile gesehen, wobei multifunktionale Vorteile eher wichtig scheinen als messbare Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Umfragen decken sich mit jenen, die im Zuge der Erstellung des GREENMARKETREPORTS (Formanek et al. 2024) erstellt wurden:

Die Umfragen im Zuge des GREENMARKETREPORT zu dem Thema Hindernisse für Fassadenbegrünung brachte folgende Erkenntnis:

- Die hohen Gesamtkosten wurden in der letzten Erhebung als noch größere Herausforderung empfunden als 4 Jahre zuvor. Der Anteil der Teilnehmenden, die diese Barriere als „sehr häufig“ einschätzen, ist von 35 % auf 58 % gestiegen.
- Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich bei Hindernissen im Bereich der Pflege sowie bei gebäudespezifischen Herausforderungen. So stieg der Anteil der Befragten, die pflegebedingte Barrieren als „sehr häufig“ wahrnehmen, von 30 % im Jahr 2019 auf 50 % in der letzten Umfrage.
- Auch bei gebäudespezifischen Einschränkungen nahm dieser Anteil signifikant zu, nämlich von 13 % auf 35 %.
- Bei den allgemeinen Vorbehalten gegenüber Fassadenbegrünungen wurde eine leichte Verbesserung verzeichnet. Hier scheint sich das Wissen in der Bevölkerung erweitert zu haben, sodass diese Hürde von den befragten Unternehmen weniger kritisch bewertet wird.

Insgesamt zeigt sich, dass die Hemmnisse im Zusammenhang mit Fassadenbegrünungen heute deutlich stärker wahrgenommen werden als noch vor vier Jahren. Eine mögliche Erklärung für diese Entwicklung könnte darin liegen, dass mit der zunehmenden Zahl realisierter Projekte auch die damit verbundenen Herausforderungen realistischer eingeschätzt werden.

Den genannten Nachteilen von Fassadenbegrünung kann mit zielgruppenspezifisch relevanter Information v.a. über die Kosten und den Pflegeaufwand begegnet werden. Zu dieser Information zählt auch Wissen über Pflanzen, wie beispielsweise, dass Pflanzen welken, wachsen und je nach Alter, Saison und Wetter unterschiedlich ausschauen. Gute Kommunikation und Prozessbegleitung führt zur Übernahme von Verantwortung und vermehrter Handlungsfähigkeit bei Mitarbeiter*innen und Passant*innen auch im Hinblick auf klimabedingt dringende notwendige Anpassungsmaßnahmen.

12.5 Ergebnisse zur Kosten-Nutzen-Einschätzung

Zur Kosten-Nutzen-Einschätzung wurden die Vertikalbegrünungen mit Kletterpflanzen vor verglasten Gebäudeteilen objektspezifisch anhand der beiden GLASGRÜN-Umsetzungen an den Standorten SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN untersucht.

12.5.1 Kosten

Die Kostenermittlung erfolgte anhand der Realkosten, die im Projekt für die Umsetzung angefallen sind. Die Tabellen bilden die Kosten für die Standorte SÖLL | TIROL (Tabelle 15) und KREUZGASSE | WIEN (Tabelle 16) ab.

Für den Standort SÖLL | TIROL wurde ein Netto-Errichtungsaufwand von netto € 72.905,10 für insgesamt 176 m² Varianten GLASGRÜN RATA-Raster sowie Standard-Baustahlgitter bodengebunden erhoben. Dem gegenüber stehen jährliche Instandhaltungskosten von € 3.872,00 (Annahme Durchschnitt von 3 Kostenvoranschlägen, Preisniveau 2024). Für den Standort KREUZGASSE | WIEN wurden für 77,5 m² Variante GLASGRÜN LIWA Rundrohre (Primärkonstruktion) mit Querverbindungen (Sekundärkonstruktion) mit aufgesetztem Trog (unten offen) € 42.505,65 ausgegeben. Die jährlichen Instandhaltungskosten werden auf Basis der Kostenvoranschläge (Preisniveau 2024) € 3.255,00 geschätzt.

Tabelle 15: Kostenaufwand Errichtung GLASGRÜN RATA-Raster Standort SÖLL | TIROL Umsetzung 2022.
Betrachtungszeitraum für Instandhaltungskosten 30 Jahre. Gesamtkosten 30 Jahre, Jahreskosten sowie m²-Kosten/Jahr (jährliche Inflationsanpassung 2,5 % Prozente nach Stampfl 2024).

Kosten SÖLL TIROL Errichtungskosten (exkl. Planung)	Häufigkeit	Einheitskosten	Kosten Jahr 1	Gesamtkosten gesamt
Statische Berechnung	einmalig	11,93 €/m ²		2.100,00 €
Substrat, Pflanzen	einmalig	36,62 €/m ²		6.445,90 €
Kletterhilfen gesamt 176 m ²	einmalig	245,00 €/m ²		43.120,00 €
RATA Raster Sonderanfertigung Bandstahl 110 m ²	einmalig	272,45 €/m ²		
Kletterhilfe Baustahlgitter 66 m ²	einmalig	199,24 €/m ²		
Bewässerungsanlage	einmalig	5,78 €/m ²		1.017,00 €
Baustelleneinrichtung, Aushub	einmalig	80,92 €/m ²		14.242,20 €

Errichtung Pflanzarbeiten, Installation Bewässerung, Baustellenaufsicht	einmalig	33,98 €/m ²		5.980,00 €
Gesamtkosten Errichtung netto	einmalig	414,23 €/m ²		72.905,10 €
Instandhaltungskosten				
Pflege & Wartung (3× jährlich)	jährlich	22,00 €/m ² /Jahr	3.872,00 €	169.903,36 €
Austausch Zubehör Bewässerung	jährlich	101,70 €/Jahr		4.462,60 €
Wasserbedarf (abzgl. Niederschlag)	jährlich	0,001 €/l	69,70 €* 3.060,00 €	
Gesamtkosten Instandhaltung (30 Jahre)				177.426,24 €
Gesamtkosten Begrünung jährlich			8.344,00 €	
Kosten/m²/Jahr netto			47,40 €	

*Aus Poiss et al. 2025, berechnet nach WUCOLS.

Tabelle 16: Kostenaufwand Errichtung GLASGRÜN LIWA Rundrohre (Primärkonstruktion) mit Querverbindungen (Sekundärkonstruktion) mit aufgesetztem Trog (unten offen) am Standort KREUZGASSE | WIEN, Umsetzung 2023. Betrachtungszeitraum für Instandhaltungskosten 30 Jahre Jahreskosten sowie m²-Kosten/Jahr (jährliche Inflationsanpassung 2,5 % Prozente nach Stampfl 2024).

Kosten KREUZGASSE WIEN	Häufigkeit	Einheitspreis	Kosten Jahr 1	Gesamtkosten
Errichtungskosten (exkl. Planung)				
Statische Berechnung	einmalig	29,68 €/m ²		2.300,00 €
Materialkosten (Substrat, Pflanzen)	einmalig	27,56 €/m ²		2.135,69 €
Materialkosten (Kletterhilfe, Stahlkonstruktion 77,5 m ² , Tröge)	einmalig	299,60 €/m ²		23.218,74 €
Bewässerungsanlage	einmalig	23,22 €/m ²		1.799,74 €
Baustelleneinrichtung, Aushub	einmalig	148,28 €/m ²		11.491,48 €

Errichtung Pflanzarbeiten, Installation Bewässerung, Baustellenaufsicht	einmalig	20,13 €/m ²		1.560,00 €
Gesamtkosten Errichtung netto	einmalig	548,46 €/m ²		42.505,65 €
Instandhaltungskosten				
Pflege & Wartung (3× jährlich)	jährlich	42 €/m ² /Jahr	3.255,00 €	142.829,40 €
Austausch Zubehör Bewässerung	jährlich	179,97 €/Jahr		7.897,26 €
Wasserbedarf (abzgl. Niederschlag)	jährlich	0,00219 €/l	67,15 €* 2.945,00 €	
Gesamtkosten Instandhaltung (30 Jahre)				153.671,66 €
Gesamtkosten Begrünung jährlich			6.539,00 €	
Kosten/m²/Jahr netto			84,40 €	

* Aus Poiss et al. 2025, berechnet nach WUCOLS.

12.5.1.1 Planungskosten

Die Planungskosten wurden in der hier angeführten Kostenkalkulation nicht berücksichtigt, da diese im Rahmen des geförderten Projektes vom Projektteam geleistet wurden. Sie können bei Bedarf jedoch mit dem branchengängigen Stundensatz von Architektur- bzw. Ziviltechnikbüros abgeschätzt werden. Die Planungskosten sind einmalige Investitionskosten. Die Planungskosten umfassen die Analyse der Rahmenbedingungen, die Anpassung der Größen der Kletterhilfe auf die objekttypischen Gegebenheiten, die Erstellung von Entwürfen des Kletterhilfendesigns oder Anpassungen von bereits umgesetzten Designs, Ausführungsplänen und des Leistungsverzeichnisses, die Angebotseinholung, die Behördenabstimmungen, die örtliche Bauaufsicht ÖBA und die Rechnungsprüfung. Die Erstellung von Entwürfen des Kletterhilfendesigns für die GLASGrün-Systeme erfolgte in mehreren Varianten. Für die Übertragung des GLASGrün-Designs auf andere Standorte kann auf den GLASGrün-Leitfaden mit Variantenkatalog (Briefer et al. 2025) zurückgegriffen werden. Die zur Verfügung gestellten GLASGrün-Varianten können die Planungskosten reduzieren.

Weiters sind Kosten für die statische Berechnung zu berücksichtigen. Die Retrofit-Umsetzung von Gebäudebegrünungen im Allgemeinen und die nachträgliche Integration von GLASGrün-

Varianten an bestehende Gebäude beeinflusst die Planungskosten nachteilig. Die Erfahrung zeigt, dass die Einplanung von Gebäudebegrünungen im Neubau generell zu geringerem Planungsaufwand sowie Umsetzungskosten führt. Dies trifft auch auf die GLASGrün-Systeme zu.

12.5.1.2 Materialkosten

Die Materialkosten berücksichtigen Intensiv-Pflanzsubstrat entsprechend ÖNORM L 1131:2010, Kletterpflanzen 60/80 cm, Bindematerial für Pflanzen, Bewässerungsanlagen inklusive Zubehör, Materialien und Herstellung der Kletterhilfen aus Stahl. Bei den Kosten für die Kletterpflanzen waren deutliche regionale Unterschiede merkbar, wobei die Pflanzen für den Standort SÖLL | TIROL kostenintensiver waren.

Die Kostenaufstellung der Kletterhilfen ergibt Preisunterschiede zwischen den Ausführungen aus Formrohrstahl, vorgefertigten Baustahlgittern und individuell entworfenen und konstruktiv komplexeren 3D-Gittern aus Bandstahl (Sonderanfertigungen), die in den Quadratmeterpreisen in der Kostenaufstellung ersichtlich werden. Zu beachten ist, dass die Kosten am Standort KREUZGASSE | WIEN kostenaufwendige Pflanztrogeinfassungen aus Stahl beinhalten, während am STANDORT SÖLL | TIROL bodengebundene Begrünungen ohne Tröge ausgeführt wurden.

12.5.1.3 Errichtungskosten

Die Errichtungskosten umfassen bei beiden Standorten die Baustelleneinrichtung, die Öffnung des Bodenbelags sowie die Herstellung der Pflanzgruben bzw. des Aushubs. Weitere Errichtungsschritte waren Fundamentierung, Verfüllung der Pflanzgruben und Installation der Bewässerungsanlagen, tw. durch Drittleistungen. Die Arbeiten wurden durch fachkundiges Personal beaufsichtigt und dokumentiert.

12.5.1.4 Laufende Instandhaltungskosten

Die laufenden Instandhaltungskosten der Begrünung ergeben sich aus der gärtnerischen Pflege der Kletterpflanzen und Wartung der Kletterhilfen und Bewässerungsanlage, der jährlichen Kontrolle und ggf. dem Austausch von Teilen der Tropfschläuche und dem Wasserbedarf für die Bewässerung. Dazu ist spezifisches Fachwissen zu Kletterpflanzen und Vertikalbegrünungen und der Wartung der Klettersysteme erforderlich (s. GLASGrün-Pflegeleitfaden Poiss et al. 2025a). Schritte der Pflegedurchgänge sind u.a. Anwuchspflege, Aufbinden und Lenken der Kletterpflanzen, Erziehungs- und Formschnitt, Pflanzenschutz, Entfernung von abgestorbenem Material und Düngung, Kontrolle und Wartung aller Baubestandteile der Klettersysteme, der Bewässerung und der Tröge. Diese Pflegeschritte sind in der Anwuchs- und Entwicklungsphase bei optimaler Pflegeintensität laut ÖNORM L°1136: dreimal jährlich durchzuführen.

Für die Kostenschätzung im Betrachtungszeitraum 30 Jahre wurde der Mittelwert anhand von drei Angeboten von Gartenbauunternehmen aus WIEN und TIROL herangezogen, da sich

hierbei hohe individuelle und regionale Unterschiede bei den Angeboten gezeigt haben. Neben regionalen Unterschieden bei Anbieter*innen beeinflusst die Höhe der Begrünung die Kosten stark. Abhängig von der Begrünungshöhe sind die Verwendung von Leitern oder Zustiegshilfen, eines Hubsteigers oder das Abseilen durch Fassadenkletterer nötig. Dies beeinflusst die Kosten entscheidend. Die Zugänglichkeit bzw. Zufahrts- und Aufstellmöglichkeit der erforderlichen Ausrüstung und Gerätschaft sind ebenfalls entscheidend.

Die Aufwandskosten für Bewässerung wurden mittels des berechneten Wasserverbrauchs abzüglich effektiver Niederschlagsmengen (vergl. WUCOLS-Methode in Poiss et al. 2025a) von April bis Oktober in l/m²/Jahr und der örtlichen Wassernutzungsgebühr berechnet. Auch hier werden regionale Unterschiede bei der Höhe der Wassernutzungsgebühr deutlich. Weiters zeichnet sich der erheblich höhere Wasserbedarf der troggebundenen Begrünung aufgrund des begrenzten Wurzelraumes im Gegensatz zur bodengebundenen Variante ab.

12.5.1.5 Abbruchkosten

Um den Lebenszyklus der Begrünung zu erfassen, müssten die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung sowie die Rückführung der Materialien in den Kreislauf berücksichtigt werden. In diesem Projekt stehen Informationen zu diesen Kosten nicht zur Verfügung. Grundsätzlich sollte jedoch davon ausgegangen werden, dass die Errichtung einer solchen Grünverschattung darauf ausgelegt ist, nachhaltig und langfristig erhalten zu bleiben.

12.5.2 Nutzen

Folgend werden die Wirkungen und der Nutzen der Vertikalbegrünung vor Glasflächen anhand der Standorte KREUZGASSE | WIEN und SÖLL | TIROL qualitativ dargestellt. Kennwerte werden anhand der Messungen, Simulationen und Vergleichswerten, die in einer Literaturrecherche erhoben wurden, beschrieben.

12.5.2.1 Vergleich und Ersatz von technischem Sonnenschutz

Der aussagekräftigste Beitrag der Vertikalbegrünung auf das Gebäude ist die Verschattungsleistung der Pflanzen auf die dahinter liegenden verglasten Innenräume. Am Standort SÖLL | TIROL konnte eine Verringerung der solaren Strahlung direkt hinter der Begrünung von bis > 90 % ab dem 2. Standjahr gemessen werden. Die Reduktion des solaren Eintrags in das Rauminnere beträgt 65 % bei südlicher Exposition auf Basis der IDA ICE Simulation. Besonders auf Glasflächen wirkt sich der daraus abgeleitete Grünverschattungsfaktor positiv aus. Die Begrünung kann einen vergleichbaren Sonnenschutzeffekt bzw. Transmission wie ein außenliegender technischer Sonnenschutz aufweisen. Somit lässt sich ein technischer Sonnenschutz durch eine Vertikalbegrünung ersetzen, wenn der Abstand der Begrünung zur Glasfläche entsprechend nah gewählt wird, da damit seitliche Einträge weitgehend reduziert sind. Dem gegenüber steht, dass der Abstand zur Glasfassade für die Pflege- und Wartungsarbeiten sowohl der Glasflächen als

auch der Begrünung mind. 75 cm betragen sollte. Daraus ist ableitbar, dass sich Kostenersparnisse und geringere Betriebskosten ergeben können, wenn wartungsaufwendige, mit Motoren betriebene Rollos oder Jalousien wegfallen. Seitliche und diffuse Einträge bei größeren Abständen zwischen Glasfassade und Begrünungssystem können bei Bedarf auch durch Auskragungen oder anderswertige Grünstrukturen verringert werden.

Ein Projektteilziel war es, Veränderungen des Raumklimas, der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit im Innenraum am Standort SÖLL | TIROL vor und nach der Errichtung der Begrünung einzuschätzen. Aufgrund der Verschattungsleistung der Begrünung wurde von einer Senkung der Innenraumtemperaturen ausgegangen, was vermutlich zu einer Senkung des Stromverbrauchs für die Klimaanlage beiträgt. Jedoch erfolgte im dritten Standjahr 2024 ein Mitarbeiter*innenwechsel, was die Änderung des Nutzer*innenverhaltens zur Folge hatte und den Betrieb der Klimaanlage stark erhöhte (das frühere Team lehnte die Klimaanlage ab aufgrund von Luftzugbeschwerden, das spätere Team nutzte die Klimaanlage prinzipiell und unreflektiert). Außerdem gibt es bereits einen automatisch gesteuerten außenliegenden Sonnenschutz und hohe innere thermische Lasten v.a. durch den Backofenbetrieb, was die Evaluierung erschwerte und keine verlässlichen Aussagen zuließ. Die Auswirkung der Verschattung durch die Begrünung auf die Innenraumbehaglichkeit konnte daher für den Standort SÖLL | TIROL nicht anhand des Stromverbrauchs verifiziert werden.

Mit Hilfe der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1 an der exponierten und begrünten Fassade Standort KREUZGASSE | WIEN wurde für Juni bis September im 2. Standjahr eine Reduktion der solaren Einstrahlung von rund 4 700 kWh nach der Errichtung gegenüber vor der Errichtung errechnet, was einer Einsparung von 313 € bei Betrieb einer Klimaanlage mit einem COP (*Coefficient of Performance*) von 3 und einem Strompreis von 20 Cent entspricht. Wie Schmidt (2019) am Institutsgebäude für Physik an der TU Berlin bei einer vergleichbaren Studie feststellte, beträgt der Primärenergiebedarf für Heizen und Kühlen ein Drittel weniger kWh/m²/Jahr bei einer begrünten Glasfassade im Vergleich zur Fassade mit technischem Sonnenschutz. Es zeigte sich, dass der Kühlbedarf der Innenräume durch die Begrünung deutlich reduziert werden konnte. Daraus resultiert, dass die Betriebskosten der Vertikalbegrünung 10 % von denen des technischen Sonnenschutzes betragen (Schmidt 2019).

Hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs ist zu bedenken, dass konventioneller Sonnenschutz meist auf PVC oder Kunststoff besteht und mit wartungsintensiven Motoren ausgestattet sind. Ein Vergleich des Ressourcenverbrauchs für die Herstellung, den CO₂-Ausstoß durch die Produktion der Komponenten als auch die CO₂-Bindung durch die Pflanzen sowie die Rezyklierbarkeit der Materialien konnte im Rahmen des GLASGrün-Projektes nicht durchgeführt werden.

Zu beachten ist, dass die Vertikalbegrünung eine Vogelschutzmarkierung auf den Glasflächen nicht ersetzt und sich durch die Anwendung der Begrünung diesbezüglich keine Einsparungen ergeben.

12.5.2.2 Verbesserung psychologisches Wohlbefinden und Gesundheit der Nutzer*innen

Die Integration von Grünflächen in Städten hat einen erheblichen positiven Einfluss auf das Wohlbefinden der Bewohner*innen und Nutzer*innen. Vertikale Begrünungen bieten nicht nur ästhetische Schönheit, sondern auch Räume für Erholung und mentale Entspannung. Eine interdisziplinäre Studie unter Beteiligung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) zeigt, dass ein höherer Grünflächenanteil in der Stadt das Wohlbefinden der Bewohner*innen unmittelbar steigern kann (Tost et al. 2019). Besonders profitieren Menschen, deren Gehirn weniger in der Lage ist, negative Emotionen eigenständig zu regulieren. Die Untersuchung, veröffentlicht in Nature Neuroscience, kombinierte Methoden aus Epidemiologie, Psychologie, Neuroimaging und Geoinformatik. In der Studie wurden Stadtbewohner*innen mithilfe speziell ausgestatteter Smartphones mehrfach täglich gebeten, ihre Stimmung zu bewerten, während ihre Aufenthaltsorte per GPS erfasst wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass das Wohlbefinden zunahm, wenn sich die Personen in einer grünen Umgebung befanden. Eine zweite Gruppe wurde zusätzlich mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) untersucht, um die neuronalen Prozesse zu erfassen.

Dabei stellten die Forscher*innen fest, dass Menschen, die besonders positiv auf Grünflächen reagierten, eine geringere Aktivität im dorsolateralen präfrontalen Cortex aufwiesen – einer Hirnregion, die für die Kontrolle negativer Emotionen entscheidend ist (Tost et al. 2019). Dies legt nahe, dass städtisches Grün insbesondere jenen hilft, die Schwierigkeiten bei der emotionalen Selbstregulation haben.

Das Mental mHealth Lab des KIT übernahm die Datenerhebung und -auswertung mithilfe komplexer statistischer Modelle. Die Studie zeigt auf, dass innerstädtische Grünflächen eine direkte, positive Wirkung auf das psychische Wohlbefinden haben, und betont ihre Bedeutung für eine gesundheitsfördernde Stadtplanung (Tost et al. 2019).

Ein Forschungsprojekt der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Veitshöchheim (2000) zeigt, dass begrünte Büros als angenehmer, konzentrationsfördernder und entspannender empfunden werden. Büros mit Innenraumbegrünung konnte die Zahl der Krankheitstage um 1,0 bis 3,6 Arbeitstage pro Jahr reduziert werden.

Begrünte Umgebungen helfen Menschen, sich schneller zu regenerieren und seltener krank zu werden.

Die gesundheitsfördernden Wirkungen lassen sich außerdem aufgrund der Verbesserung der Luftqualität erklären. Pflanzen können die Luftfeuchtigkeit erhöhen und Schadstoffe filtern. Begrünte Fassaden verbessern die Luftqualität durch die Bindung von Stickoxiden (NOx) um 11,7 – 40 % (Manso et al. 2021) und Feinstaub. Dies kann langfristig die Kosten für

Gesundheitssysteme und Klimaanpassungsmaßnahmen mindern. Weiters haben Grünflächen eine beruhigende Wirkung und können Stress abbauen (Edelmann et al. 2018).

Die Studien zeigen, dass sowohl Innenraumbegrünung als auch Grünflächen im Außenbereich von Gebäuden zur Verringerung von Krankheitstagen und damit verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten beitragen können. Dies unterstreicht die Bedeutung von Begrünungsmaßnahmen für die Gesundheit und Produktivität in städtischen Umgebungen.

12.5.2.3 Lärmindernde Wirkung von Fassadenbegrünung

Vertikalbegrünungen tragen zur Reduktion des Lärmpegels im Straßenraum bei, wodurch sich die Standortqualität spürbar verbessern lässt. Studien zeigen, dass Begrünungen mit Wildem Wein den Schall im Straßenraum, abhängig von der Höhe der Frequenz und des Messpunktes, um 1,7 dB bis 5 dB absorbieren können (Feldmann et al. 2000).

12.5.2.4 Green Jobs

Die Umsetzung und Verbreitung von Bauwerksbegrünung trägt zur Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen bei und bietet Potenziale für die heimische Wertschöpfung. Die höhere Standort- und Gebäudequalität schafft attraktivere Arbeitsplätze für Arbeitnehmer*innen. Anhand einer Hochrechnung im 1. Green Market Report (Enzi et al. 2020) können bei einer gleichbleibenden positiven Marktentwicklung 1.000 neue Arbeitsplätze in Österreich geschaffen werden.

12.5.2.5 Immobilienwertsteigerung und Imagegewinn

Begrünte Gebäude können die Attraktivität des Gebäudes für Käufer*innen und Mieter*innen steigern, wodurch sich der Immobilienwert verbessern und potenzielle Einnahmen erhöhen können. Die Aufwertung durch die positive Außenwirkung von repräsentativen Bauwerksbegrünungen führt zu einem Imagegewinn (Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE) 2017). Perini et Rosasco (2013) beziehen sich dabei auf Studien aus Kanada, die von einer geschätzten Wertsteigerung des Gebäudes von 3,9 – 10,5 % ausgehen. Die Daten zeigen, dass das Wertsteigerungspotenzial projektspezifisch ist und eine große Spannweite aufweist und daher nicht in dieser Berechnung angewandt wird.

12.5.2.6 Förderungen

In vielen Städten und Ländern gibt es Förderprogramme für grüne Infrastruktur. Dadurch können Investitionskosten reduziert und indirekt weitere Einsparungen erzielt werden. Finanzielle Zuschüsse aus bundesweiten, landesweiten und kommunalen Förderungen sind möglich. An den GLASGrün Umsetzungsstandorten stehen unterschiedliche Förderungen für die Fassadenbegrünung zur Verfügung. In WIEN bietet die MA 22 der Stadt WIEN eine Förderung von maximal 10.000 € für straßenseitige Fassadenbegrünungen im Neubau und im Bestand an, wenn ein Teil der Begrünung auf öffentliches Gut ragt (Stadt Wien MA22,

2025). Bei der umgesetzten Begrünungsfläche KREUZGASSE | WIEN von 77,5m² und einem maximalen Fördersatz von 100 € pro m² ergibt sich eine maximale Fördersumme von 7.700 €, die den Investitionskosten gegenübergestellt werden kann (Stadt WIEN MA22, 2025). Am Standort SÖLL I TIROL steht die Landesförderung im Rahmen der Wohnbauförderung für Neubau zur Verfügung, wobei diese an Gewerbegebäude und daher an diesem Standort nicht anwendbar ist.

Bundesweit kann die Förderung für umfassende thermische Gebäudesanierung der KPC, welche die Begrünung von Fassaden an Gebäuden gemeinsam mit einer Sanierung oder als Einzelmaßnahme fördert, in Anspruch genommen werden. Beide Gebäudestandorte liegen laut Flächenwidmungsplan im Kerngebiet. Daher können pro m² Begrünungsfläche 120 € in Anspruch genommen werden (Umweltförderung 2025). Am Standort KREUZGASSE I WIEN ergibt das eine maximale Fördersumme von 8.160 €, am Standort SÖLL I TIROL bei 156 m² begrünter Fläche eine maximale Fördersumme von 21.480 € gemäß Förderbedingungen Stand 01/2025 (Umweltförderung 2025). Die Förderung ist jedoch, abhängig von der Unternehmensgröße, mit einem maximalen Prozentsatz der Investitionsmehrkosten begrenzt. Die Förderbedingungen ändern sich laufend und sind immer projekt- und zeitpunktspezifisch zu prüfen, der Bericht erhebt keine Gewähr auf die Aktualität und Vollständigkeit dieser Angaben.

13 Schlussfolgerungen – Synthese

13.1 Umsetzung der Demo-Objekte

Es konnten erfolgreich mehrere Varianten von GLASGrün-Systemen an 2 Demo-Standorten umgesetzt werden: Standort SÖLL | TIROL (Umsetzung Juni 2022 mit einer Beobachtungsdauer bis zum Ende des 3. Standjahres) sowie Standort KREUZGASSE | WIEN (Umsetzung Juni 2023 mit einer Beobachtungsdauer bis zum Ende 2. Standjahr). Die Begrünungserfolge und Ergebnisse übertrafen die Erwartungshaltungen insbesondere in Bezug auf die sehr gute Vegetationsentwicklung und Deckungen bzw. Beschattungsgrade, die etwa am Standort SÖLL | TIROL erreicht werden konnten. Dies zeugt davon, dass bei sorgsamer und korrekter Planung, Ausführung und Anwuchs- bzw. Entwicklungspflege der Begrünungserfolg rasch und gleichzeitig ein hoher Leistungslevel erreicht bzw. die Funktionen gesichert werden können.

Nachfolgend werden die in interdisziplinärerer Zusammenarbeit erworbenen Erkenntnisse synthetisiert und die wissenschaftliche und fachliche Relevanz zusammenfassend beschrieben. Die meisten Erkenntnisse beziehen sich hierzu auf den Standort SÖLL | TIROL, da sich dort ein zufriedenstellender Zuwachs innerhalb der kurzen Projektzeit (3 Jahr) und eine profunde Datenlage ergab, die entsprechend gut analytisch verwertet werden konnte.

Aufgrund der verzögerten Umsetzung des 2. Demo-Objektes an einem Neubau, die sich durch die Verschleppung der Behördengenehmigung für den im Projekt eingeplanten Neubau ergab und schließlich durch die Partneraufnahme von TB Obkircher OG Ende des 2. Projektjahres realisiert werden konnte, war die Vegetationsentwicklung zu Projektende (2. Standjahr) zwar ausgesprochen zufriedenstellend (18 % Deckung der Zielfläche), jedoch noch nicht so weit fortgeschritten, dass die Sensorhöhe ausreichend erreicht war. Damit konnten abseits der erhobenen Vegetationsparameter noch keine Daten zur Transmission der solaren Strahlung und solaren Einträge erworben werden.

13.2 Wirkungen auf den Innenraum

13.2.1 Innenraum und thermische Behaglichkeit.

Es konnten durch das GLASGrün-Monitoring keine Rückschlüsse auf eine Verbesserung des thermischen Komforts auf Basis der Innenraumtemperaturen gezogen werden. Am Standort SÖLL | TIROL liegt dies hauptsächlich an den hohen inneren Lasten, die durch Geräte wie Aufbacköfen, Industriegeschirrspüler, Warmhaltevitruinen und andere Verbraucher entstehen, mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 140 kWh pro Tag. Weitere Einflussfaktoren sind das Nutzer*innenverhalten, insbesondere die manuelle Inbetriebnahme der Klimaanlage und das Querlüften, sowie der vorhandene automatisch gesteuerte Sonnenschutz. Am Standort KREUZGASSE | WIEN konnten aufgrund der noch nicht vollständig entwickelten Begrünung keine belastbaren Erkenntnisse gewonnen werden.

Um die Wirkung der Begrünung zu bewerten, wurden auf Basis der im Projekt ermittelten Verschattungsgrade Simulationen für beide Standorte durchgeführt, die den Zeitraum von Juni bis August in den Jahren 2022 bis 2024 abbilden.

An fünf Messpunkten IN SÖLL | TIROL (Sitzplatz nahe Fassade SO) wurde das empfundene Raumklima mittels der Messwerte Lufttemperatur und Luftfeuchte nach Leusden et Freymark (1951) auf Basis von Stundenmittelwerten ausgewertet. 2022 lagen an allen Messpunkten noch weniger als die Hälfte der Stundenmittelwerte im behaglichen Bereich. 2023 nahmen die Werte im behaglichen Bereich leicht zu und 2024 waren rund 2/3 aller Messwertepaare an allen 5 Positionen im behaglichen und der Rest bis auf wenige Wertepaare im noch behaglichen Bereich. Im Jahr 2024 wurde die Klimaanlage intensiver genutzt, was sich deutlich im erhöhten Energieverbrauch widerspiegelt. Ein Zusammenhang zwischen der verstärkten Nutzung der Klimaanlage und den Kühlgradstunden oder der Globalstrahlung ist nicht ersichtlich. Im Vergleich zu 2022 waren sowohl die Kühlgradstunden als auch die solare Einstrahlung im Jahr 2024 sogar geringer. Der erhöhte Betrieb der Klimaanlage ist daher vor allem auf das veränderte Nutzer*innenverhalten infolge des Wechsels der Mitarbeiter*innen in Jahr 2024 zurückzuführen. In den Jahren zuvor wurde die Klimaanlage aufgrund von wahrgenommenen Zuglufterscheinungen nur ungern genutzt. Daher wurde mittels der Simulation die Anzahl unzufriedener Personen (PPD) sowohl mit als auch ohne Grünverschattung des Objekts ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Begrünung die thermische Behaglichkeit deutlich verbessert. Nur noch vereinzelt treten Stunden auf, in denen mehr als 10 – 15 % unzufriedene Personen zu erwarten sind.

Für den Standort WIEN | KREUZGASSE zeigt sich bei der Annahme einer dicht bewachsenen Grünverschattung ebenfalls eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Status quo. Allerdings werden hier nicht ganz so niedrige PPD-Werte erreicht wie in SÖLL, was aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zu erwarten ist. Rund ein Viertel der

Stunden fällt in den Bereich, in dem 10 – 15 % unzufriedene Personen prognostiziert werden, alle anderen Stundenmittelwerte liegen darunter.

13.2.2 Reduktion solarer Einträge

Am Standort SÖLL | TIROL werden laut Simulationsergebnissen die solaren Einträge (solare Transmission und sekundäre Wärmeabgabe über Fensterglas und Fensterrahmen) über den Zeitraum Juni-August durch die Grünverschattung auf der Süd-Ost-Fassade um 51 % und auf der Nord-West-Fassade um 67 % reduziert. An einstrahlungsstarken Tagen wurden Reduktionen der Einstrahlungsspitzen von rd. 10 kW (65 %) an der Süd-Ost Fassade und rd. 6,5 kW (78 %) an der Nord-West Seite errechnet. Durch den hohen Sonnenwinkel treten im Zeitraum Juni bis August geringe Einträge an den offenen Flanken (Orientierung Nord-Ost und Süd-West) der Fassade und Grünverschattung auf.

Am Standort KREUZGASSE | WIEN schließt die Begrünung in etwa 8 m Höhe an den darüberliegenden Balkon an. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die Grünverschattung an der nach Süd ausgerichteten Fassade den solaren Eintrag im Zeitraum Juni-August um 60 % reduziert. Die Tagesspitzen der solaren Transmission an sonnenreichen Tagen werden um bis zu 7,3 kW (73 %) reduziert. Am Vormittag kommt es zu direktem Sonneneintrag von der Ost-Nord-Ost-Seite. Am Nachmittag hingegen sind die solaren Einträge an der West-Süd-West Flanke im Erdgeschoss gering, da sich das Objekt aufgrund seiner Ausrichtung selbst verschattet. Eine Reduktion der solaren Einträge in der errechneten Größenordnung würde eine deutliche Verbesserung des Status quo im Hinblick auf den thermischen Komfort darstellen und dazu beitragen, etwaige Leistungsengpässe der Klimaanlage zu vermeiden.

Die höchste Reduktion wird an der Nord-West-Fassade mit 67 % in SÖLL | TIROL erzielt. Die Grünverschattung weist hier mit 0,65 m den geringsten Abstand zur Fassade auf. Die seitlichen Einträge werden dadurch auf ein Minimum reduziert. An der Süd-Ost Seite dringt in den Morgenstunden von Nordost und durch den 0,6 m breiten nicht begrünten Teil zwischen Dach und Klettergerüst direkte Sonneneinstrahlung ein. Der große Abstand von 2,7 m zur Fassade lässt zudem einen höheren Eintrag an diffuser Strahlung zu. Verschiebt man in der Simulation die Grünverschattung an der Süd-Ost Seite bis 0,45 m an die Fassade heran so wird wie auf der Nord-West Seite eine ähnlich hohe Einstrahlungsreduktion von 66 % erzielt.

Im Winter findet eine Verschattung nur mehr durch die Kletterhilfe und verholzte Pflanzenkomponenten statt. Die Verschattung durch die Kletterhilfen betrug in den GLASGrün-Demo-Objekten Projekten je nach Ausführung 15 – 20 %. Die Anforderungen an den Sonnenschutz von Fenstern durch vertikale Grünstrukturen muss im Zusammenhang mit dem Laubkörper und der jeweiligen Jahreszeit und der Ausrichtung abgestimmt werden, um eventuell unkomfortable Bedingungen in den Übergangszeiten zu vermeiden (z.B. hoher Eintrag an Sonnenstrahlung durch flachen Sonnenverlauf aber noch keine ausreichende Beschattung durch die Pflanzen). Dem kann zum Beispiel mit einem innenliegenden Sonnenschutz begegnet werden. Zu starke Beschattung im Sommer kann durch

zielgerichtete Pflege und diskrete Rückschnitte der Triebe gesteuert werden, ohne die Gesamtstruktur und -leistung zu stören. Durch die Beschattung mit Laubstrukturen wird die Blendung herabgesetzt, was zur Behaglichkeit auch im Innenraum beitragen kann.

13.3 Wirkungen auf den Außenraum

13.3.1 Transmission, Strahlungsreduktion und Beschattungswirkung

Die Transmission direkt hinter der Begrünung wurde durch die GLASGrün-Systeme in SÖLL | TIROL während der Sommermonate, je nach Pflanzenart, um bis > 90 % verringert. Ein niedrigerer Grünverschattungsfaktor (F_{bs}) bedeutet geringe Transmission solarer Strahlung und trägt zu einem angenehmeren Innenraumklima und höherer Behaglichkeit bei, da die Räume weniger von direkter Sonneneinstrahlung belastet werden. Am effektivsten war die Abschirmungswirkung der Begrünung während der Sommermonate von Juli, August und September. Im Monatsmittel lagen für SÖLL | TIROL die Beschattungskoeffizienten bei allen getesteten Pflanzenarten < 0,4, bei *Humulus lupulus*, dem Hopfen, sogar < 0,2. Für die KREUZGASSE | WIEN **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** konnten innerhalb der Projektlaufzeit keine Grünverschattungsfaktoren ermittelt werden, da die Wuchshöhen noch unterhalb der Sensorposition lagen.

Die Beschattung von Glasflächen stellt eine effektive Lösung dar, um die thermische Behaglichkeit zu verbessern. Der Schatteneffekt gilt als der wichtigste Beitrag zur Temperatúrausgleichswirkung von grünen Infrastrukturen, gefolgt von der Evapotranspiration. Su et al. (2024) geben an, dass der Schatteneffekt etwa 60 % des thermischen Effekts von begrünten Fassaden ausmacht, während die Evapotranspiration 30 % beiträgt. Glasflächen, die nach Osten, Süden und Westen ausgerichtet sind, sind besonders stark von Sonneneinstrahlung betroffen, vor allem in den heißen Sommermonaten. Im Vergleich zu konventionellen Verschattungssystemen haben Begrünungen vor Glasflächen den Vorteil, dass sie direkte Sonneneinstrahlung konstruktionsbedingt deutlich vor der Glasscheibe abfangen und über einen großen hinterlüfteten Raum verfügen. Das führt bei entsprechender Laubdichte zu geringeren sekundären Wärmeeinträgen (Glasscheiben erwärmen sich weniger und geben weniger Wärme an den Innenraum ab) im Vergleich zu außenliegendem Sonnenschutz oder Sonnenschutzverglasung. Dadurch steigt die thermische Behaglichkeit in Fensternähe.

Sonnenschutzverglasungen verfügen beispielsweise über einen Energiedurchlassgrad von rund 30 % und beschichtete 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen von rund 60 %. D.h. 30 % bzw. 60 % der eintreffenden Solarstrahlung dringen in Form von direkter Strahlung und Wärme (Erwärmung des Glases) in das Rauminnere. Mit einer zusätzlichen Begrünung kann der Strahlungseintrag von Juni-Oktober um 60 – 90 % (je nach Belaubungscharakteristik und -dichte) schon vor dem Glas reduziert werden. Bei vollflächiger, dichter Belaubung kann

auch direkte Sonneneinstrahlung auf das Fenster nahezu gänzlich vermieden werden. Der einflussreichste Faktor für diese Wirkung ist Beschattung, jedoch auch die Tatsache, dass sich im Gegensatz zu inerten Materialien Blätter nicht erwärmen und annähernd die Lufttemperatur beibehalten. Das bedeutet, dass der Großteil der Sonnenenergie durch die Pflanzen absorbiert oder reflektiert wird, bevor sie die Fassade erreicht. Dadurch erwärmen sich die Gebäudeteile deutlich weniger und geben weniger Wärme ab, was auch zu einer verringerten Wärmebelastung im Inneren führen kann (Haggag et al. 2017). Bei gedämmten Gebäuden wird der Effekt als geringer angenommen. Die Verschattung der Glasflächen hat hier den größten Einfluss.

Der Quotient der Solarstrahlung vor und hinter der Begrünung erlaubt Aussagen darüber, wie viel der einfallenden Solarstrahlung von der Begrünung durchgelassen wird. Dabei handelt es sich um die gesamte Transmission (kurz- und langwellige Strahlung). Der Faktor ermöglicht, die Wirkung der Begrünung als Sonnenschutz mit jener von technischen Verschattungselementen zu vergleichen und für Modellierungen weiterzuverwenden. Mit dem in GLASGrün generierten Grünverschattungsfaktor F_{bs} (abgeleitet von Convertino et al. 2021, Zheng et al. 2020, David et al. 2011, Ip et al. 2010, Wong et al. 2009), liegen damit energietechnisch relevante Daten von Beschattungssystemen mit Pflanzen vor, die als Berechnungsgrundlagen für den Energieausweis genutzt werden können. Weiters kann durch den Grünverschattungsfaktor die dynamische und saisonal schwankende Verschattungsleistung durch Pflanzen dargestellt werden. Dieser Ansatz wird durch die Forschungsleistung von Ip et al. (2010) und Zhang et al. (2022) unterstützt.

In Tabelle 17 und Tabelle 18 sind die im Zuge dieses Projekts hervorgegangenen Monatsmittel der Grünverschattungsfaktoren je Pflanzenart und Exposition aufgelistet. Ab Juni zeigt sich ein einheitliches Bild der Strahlungsreduktion durch die getesteten Pflanzenarten von > 50 %. Bei Arten mit lang anhaftendem Laub ist dieser Wirkungsgrad im Monatsmittel bis in den Herbst hinein verfolgbar.

Tabelle 17: Monatsmittel des Grünverschattungsfaktors (*Bioshading Coefficient*) für *A. macrophylla*, *W. sinensis*, *H. lupulus* und *V. coignetiae* in NW-Exposition Standort SÖLL | TIROL (3. Standjahr, 2024, vollentwickelte Grünfassade). Fettmarkierte Werte stellen Strahlungsreduktionen durch die Begrünung > 50 %.

F_{bs}	<i>A. macrophylla</i> NW	<i>W. sinensis</i> NW	<i>H. lupulus</i> NW	<i>V. coignetiae</i> NW
Jänner	0,78	0,81	0,76	0,92
Februar	0,74	0,76	0,76	0,83
März	0,73	0,78	0,78	0,78
April	0,74	0,79	0,80	0,70
Mai	0,58	0,71	0,61	0,75
Juni	0,39	0,45	0,19	0,73

Juli	0,33	0,33	0,12	0,55
August	0,33	0,33	0,14	0,40
September	0,36	0,37	0,16	0,51
Oktober	0,60	0,61	0,26	0,82
November	0,67	0,71	0,46	0,99
Dezember	0,86	0,91	0,70	0,98

Tabelle 18: Monatsmittel des Grünverschattungsfaktors (*Bioshading Coefficient*) für *A. macrophylla*, *W. sinensis*, *H. lupulus* und *V. coignetiae* in **SO-Exposition Standort SÖLL | TIROL** (3. Standjahr, 2024, vollentwickelte Grünfassade). Fettmarkierte Werte stellen Strahlungsreduktionen durch die Begrünung > 50 %.

F_{bs}	<i>A. macrophylla</i> SO	<i>W. sinensis</i> SO	<i>H. lupulus</i> SO	<i>V. coignetiae</i> SO
Jänner	0,71	0,77	0,69	0,73
Februar	0,70	0,74	0,67	0,74
März	0,73	0,72	0,69	0,62
April	0,70	0,66	0,63	0,57
Mai	0,43	0,58	0,30	0,39
Juni	0,19	0,48	0,14	0,16
Juli	0,12	0,23	0,08	0,12
August	0,14	0,16	0,09	0,13
September	0,13	0,16	0,10	0,14
Oktober	0,18	0,16	0,21	0,50
November	0,35	0,24	0,42	0,64
Dezember	0,59	0,60	0,63	0,71

Monatsmittel zum Grünverschattungsfaktors je Pflanzenart und Exposition stellen eine wertvolle Grundlage für die Bauphysik und die Ausstellung des Energieausweises dar. Diese Informationen sind für Pflanzen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht vorhanden und stellen können für die untersuchten Pflanzenarten spezifisch angewandt werden. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass die Verschattungsdynamik unter den Arten variiert. Hervorzuheben ist das späte Einsetzen der Verschattung bei *H. lupulus* und den bis in den November andauernden Verschattungseffekt von *H. lupulus* und *W. sinensis*. Diese

Erkenntnisse können auch in der Planung eingesetzt werden, um die unterschiedlichen Eigenschaften und Verschattungsdynamiken der Pflanzen je nach Anforderung einzusetzen. David et al. (2011) berechnen auf demselben Weg auch Verschattungsfaktoren für bautechnische Beschattungselemente, was die Vergleichbarkeit und Relevanz des Grünverschattungsfaktors hervorhebt.

Die Spearman-Rho-Korrelationsanalyse ergab stark positive Korrelation zwischen dem Wand-Blattflächenindex (WLAI) und dem Deckungsgrad der Zielfläche [%] in den repräsentativen Daten am Standort SÖLL | TIROL und weist auf einen direkten Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen hin. Die stark negative Korrelation zwischen dem Grünverschattungsfaktor und den beiden Parametern Deckungsgrad und WLAI sowie die sehr starke positive Korrelation zwischen dem Deckungsgrad und WLAI zeigen an, dass sowohl ein höherer WLAI als auch ein höherer Deckungsgrad der Zielfläche eine geringere Transmission von Solarstrahlung durch die Fassadenbegrünung, also einen geringeren F_{bs} zur Folge hat. Dies bestätigt die Bedeutung von Deckungsgrad und WLAI als wesentliche Indikatoren für die Wirkungen und Leistungen von Grünkörpern bzw. spezifischen Kletterpflanzen und Vertikalbegrünungen. Diese Ergebnisse bestätigen Aussagen von de Bock et al. (2023) und Koch et al. (2023).

In Tabelle 19 sind die im Projekt erhobenen Maximalwerte der Pflanzenparameter der Vegetationsperioden 2023 und 2024 aufgelistet. Sämtliche Maxima wurden im Jahr 2024 (3. Standjahr) an der SO-Fassade des SÖLL | TIROL in TIROL registriert. Die gleichen Arten an der gegenüberliegenden NW-Fassade erreichten deutlich niedrigere Werte im WLAI, bzw. höhere Werte beim F_{bs} . Beim Deckungsgrad der Zielfläche, hier gleichbedeutend mit dem projektiven Deckungsgrad, wiesen auch die Pflanzen an der NW-Fassade ähnlich hohe Werte auf.

Tabelle 19: Gemessene Maximalwerte von Deckungsgrad der Zielfläche (DG_{Ziel}), Wall Leaf Area Index (WLAI) und Grünverschattungsfaktor (F_{bs}) pro Pflanzenart. Alle Maximalwerte entstammen der SO-Fassade in SÖLL | TIROL und dem Jahr 2024.

Maximalwerte	DG_{Ziel}	WLAI	F_{bs}
<i>V. coignetiae</i>	88 %	4.51	0,15
<i>H. lupulus</i>	96 %	5.92	0,09
<i>W. sinensis</i>	98 %	4.76	0,10
<i>A. macrophylla</i>	94 %	5.51	0,12

Hier zeigt sich ein Muster, dass Kletterpflanzen in Vertikalbegrünungen stärker verschatten und höhere WLAI ausbilden, wenn sie größerer solarer Einstrahlung ausgesetzt sind. Diese These wird durch die Ergebnisse von Zheng et al. (2020) untermauert.

13.3.2 Temperaturentwicklung Außenraum

Die Temperaturdifferenz zwischen der Lufttemperatur der Referenzfläche und der Lufttemperatur zwischen der Begrünung und der Glasfassade ist im Messzeitraum Juli - Oktober 2023 vergleichsweise gering. Das kann in Zusammenhang mit mehreren Faktoren stehen. Einer davon ist der Windbarriereeffekt. Pérez et al. (2011, 2017) und Perini et Ottelé (2012) beschreiben den Windbarriereeffekt als die Verringerung der Luftgeschwindigkeit zwischen dem Laub und der Gebäudewand. Dieser Effekt hat einen signifikanten Einfluss auf den konvektiven Wärmedurchgangskoeffizienten der Begrünung (Perini et Ottelé, 2012) sowie den Luftaustausch.

Der Luftraum zwischen Begrünung und Glasfassade ist an beiden Demostandorten SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN größer als 150 cm, die Windgeschwindigkeit ist hinter den Begrünungselementen jedoch um ca. 1/3 geringer als die Referenzwerte (Abbildung 73 und Abbildung 76). Dadurch kommt es zu wesentlich geringeren Luftaustauschraten hinter der Begrünung als im vergleichbaren Umfeld. Das hat zur Folge, dass die Luftmassen sich länger dort aufhalten und Wärmeenergie aufnehmen. Zusätzlich kann durch die teilweise Lichtdurchlässigkeit des Laubs Strahlungsenergie hindurchdringen und die Oberflächenmaterialien und Teile der Fassade erwärmen. Diese Wärme wird im Laufe des Tages durch latente Wärmeströme wieder frei und wird vom stehenden Luftkörper zwischen Fassade und Begrünung teilweise aufgenommen. Dieses Zusammenspiel führt zu den leicht erhöhten Lufttemperaturen von $> 0,5\text{ °C}$, die hinter der Begrünung im Vergleich zum Umfeld in den Sommermonaten gemessen wurden (Abbildung 74). Diese Effekte wurden auch in den Studien von Perini et al. (2011) und Pérez et al. (2011) beobachtet.

Bemerkenswert ist die Entwicklung der relativen Luftfeuchtigkeit in diesem Zusammenhang. Die relative Luftfeuchtigkeit ist hinter den Begrünungskörpern in den Sommermonaten um 8.5 – 12 % höher als im vergleichbaren Umfeld (Abbildung 72 und Abbildung 75). Aufgrund der Erkenntnisse von Hörnschemeyer (2019) ist dieses Phänomen auf die Pflanzen zurückzuführen, da diese für den Hauptanteil der Gesamtverdunstung bei bewachsenen Flächen verantwortlich sind. Durch die Transpiration wird Wasser aus dem Boden über die Pflanzenwurzeln aufgenommen und über die Blätter an die Atmosphäre abgegeben. Dieser Prozess bindet Wärmeenergie aus der Luft, was zu einer Abkühlung der Umgebung führt, auch als „Verdunstungskälte“ bekannt. Zusätzlich beeinflusst die Transpiration laut Hörnschemeyer (2019) die atmosphärische Saugspannung und den Wasserdampftransport, was wiederum die Verdunstungsrate beeinflusst. Die Verdunstung ist ein energieverbrauchender Vorgang, bei dem die Energie der Umgebung entzogen wird, was zu einer deutlichen Verringerung der Oberflächentemperatur am Laub im Vergleich zu anderen Materialien der Umgebung führt (Hörnschemeyer 2019, Gupta et al. 2018).

Dieser Effekt der kühleren Oberflächen ist in Abbildung 100, einer Aufnahme mit Wärmebildkamera sehr gut sichtbar. Die Oberflächentemperatur der Vegetation ist annähernd der Lufttemperatur, oder sogar darunter. Dies ist ebenfalls ein spezifisches Phänomen von Pflanzenblättern, die sich auch unter Sonneneinstrahlung nicht wesentlich

erwärmen, während beispielsweise die Oberflächentemperatur von Autos auf das doppelte und mehr ansteigen kann.

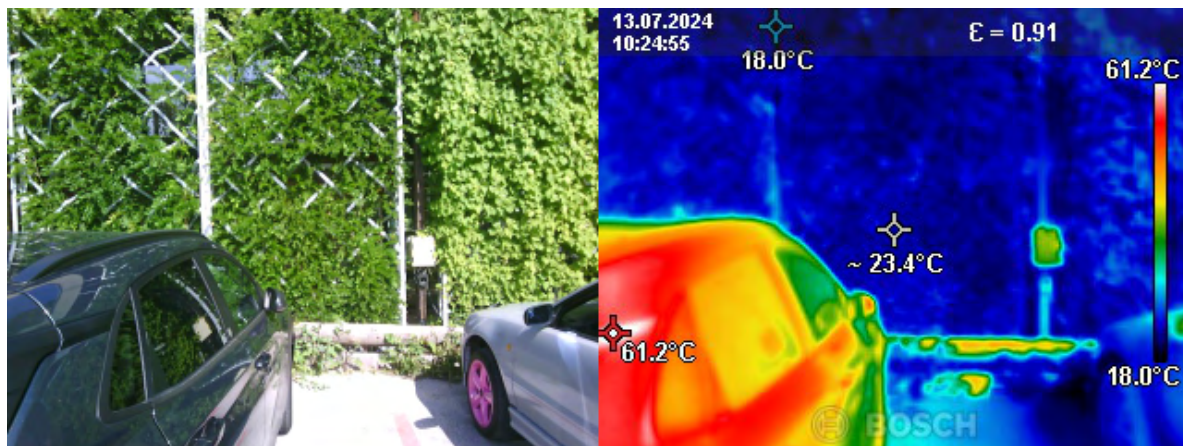


Abbildung 100: Infrarotbild (rechts) mit Vergleichsfoto (links), aufgenommen im Juli 2024 am GLASGrün Standort SÖLL | TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025

13.3.3 Vegetationsentwicklung und Eignung der getesteten GLASGrün-Kletterhilfen

Aus vegetationstechnischer Sicht konnten vier Kletterpflanzen-Arten identifiziert werden, welche sich aufgrund ihrer Wuchs- und Habituseigenschaften zur schnellen Begrünung von Gewerbegebäuden mit großflächig verglasten Fassaden eignen. Die flächige Ausbreitung kann in der Anwuchs- und Entwicklungspflege durch Trieblenkung gezielt gesteuert werden (Erziehungsphase), wobei die Ausgestaltung der Kletterhilfen (primäre Kletterkonstruktion mit sekundärer Konstruktion als Rankhilfen) individuell auf die Pflanzenbedürfnisse zu designen sind (vergl. Briefer et al. 2025 und Poiss et al. 2025a). Damit kann im 3. Standjahr bereits vollflächige Grünbedeckung bis Höhen > 4 m erreicht werden.

Die gitterartigen 3D-Kletterhilfen mit einem schmalen Rastermaß (Variante RATA Raster) am Demostandort SÖLL | TIROL fördern einen schnellen Vegetations- bzw. Laubschluss. Ein signifikanter, messbarer Beschattungseffekt war bereits am Ende des 2. Standjahres erkennbar mit Deckungsgraden bis 70 % und WLAI bis 3. Diese erhöhten sich im 3. Standjahr auf < 90 % und LAI 6. Am Standort KREUZGASSE | WIEN wurden ein größeres Rastermaß sowie auch größere Dimensionen (Durchmesser und Höhen) der Metallrohrrahmen gewählt (Variante LIWA mit Rundrohren und Querverbindungen), welche dem Wuchsverhalten von *W. sinensis* theoretisch entsprechen. Der Flächenschluss der Deckung wird hier aufgrund des weiteren Rastermaßes erwartungsgemäß weniger rasch erreicht. An diesem Demo-Standort konnte im 2. Standjahr (3. und letztes Projektjahr) keine messbare Strahlungsreduktion aufgrund fehlender Deckung in der Sensorhöhe erfasst werden. In diesem Messzeitraum wurden Blattflächen (WLAI) von 1.5 erfasst. Die maximale Deckung innerhalb des Projektzeitraums beider GLASGrün-Standorte ist in Abbildung 101 und Abbildung 102 zu sehen. Es sind deutliche Unterschiede erkennbar: Während die Pflanzen in SÖLL | TIROL

beinahe die gesamten Kletterhilfen flächig bedecken, sind am Standort KREUZGASSE | WIEN deutliche Lücken in der Vegetation zu sehen. Im 3. Standjahr (2025) konnte hier bereits im Juni ein deutlicher Zuwachs und umfangreicherer Laubkörper beobachtet werden.



Abbildung 101: Maximale Vegetationsentwicklung im Projektzeitraum der SO-Fassade am Standort SÖLL | TIROL (3. Standjahr, aufgenommen im September 2024). ©BOKU-IBLB, 2025.



Abbildung 102: Vegetationsentwicklung am Standort KREUZGASSE | WIEN (links im Projektzeitraum 2. Standjahr September 2024; rechts 3. Standjahr Juni 2025). ©BOKU-IBLB, 2025.

Mit zunehmender Größe der Pflanzen tritt der Beschattungseffekt von Jahr zu Jahr früher ein, da die Kletterhilfen nicht mehr von Grund auf erschlossen werden müssen. Dies zeigt sich auch bei staudenartigen Kletterpflanzen wie *H. lupulus*, sobald die Pflanze am Standort etabliert ist und ein umfangreiches Wurzelnetzwerk gebildet hat. Trotz unterschiedlichem Wuchsverhalten und verschiedenen Anforderungen an Pflegemaßnahmen eignet sich die in GLASgrün entwickelte Kletterhilfe am Standort SÖLL für 3 der 4 Versuchspflanzen (*H. lupulus*, *A. macrophylla*, *V. coognetiae*) sehr gut. Sie wirkt sich förderlich auf die schnelle Erreichung eines hohen Deckungsgrades und einer guten Verschattungsleistung aus, sofern in der

Anwuchs- und Entwicklungsphase entsprechende triebfördernde Rückschnitte und Trieblenkung durchgeführt werden.

Für *W. sinensis* ist die optisch ansprechende Kletterhilfe mit wertigem Design-Charakter wenig geeignet. Langfristig zeichnet sich die Art durch starkes Dickenwachstum und massive Stammdurchmesser aus. Diese werden möglicherweise bei den kleinteiligen Rasterabständen eingeengt oder führen zu Verformungen am Metall. Als ungünstig für die langfristige Entwicklung wird der Flachstahl eingeschätzt. Ähnlich wie bei Stahlseilen besteht hier die Gefahr des Einwachsens in den Stamm, was Verletzungen und Eindringen von Schädlingen verursachen kann. Das kann ein Risiko für die langfristige Vitalität und Pflanzengesundheit darstellen. Hauptsächlich ist jedoch die Höhe der Elemente unzureichend für *W. sinensis*, da hoher Pflegeaufwand notwendig ist, um die Pflanzen auf einer Zielhöhe von ca. 4,5 Metern zu halten. Gut und gerne erklimmt diese Art 30 Meter und mehr. Auch bei *H. lupulus* wurden innerhalb der Saison regelmäßige Pflegeeingriffe notwendig, um die eingeschößige Zielhöhe zu erhalten. Die Triebe sind aber deutlich weniger aggressiv im Wachstum und dringen nicht so stark in z.B. Fugen der Dachkonstruktion ein.

Die Kletterhilfe am Standort KREUZGASSE | WIEN ist für die starkwüchsige *W. sinensis* bezogen auf die Stabilität und Höhe besser geeignet. Genaue Aussagen dazu zu treffen ist aufgrund der geringen Deckung der Pflanzen im 2. Standjahr (2024) nicht möglich. Es wird dringend empfohlen, diesen Standort weiterhin zu untersuchen, um Erkenntnisse zur Eignung der Kletterhilfe und Entwicklung der Pflanzen zu gewinnen.

13.3.1 Stomatäre Leitfähigkeiten

Die stomatäre Leitfähigkeit (g_s) spielt eine wichtige Rolle beim Ausgleich von CO₂-Aufnahme und Wasserverlust in Pflanzen (Chaves et al. 2016) und wirkt sich auf die Photosynthese und die Wassernutzungseffizienz aus. Spaltöffnungen, die die Gasdifffusion zwischen dem Blatt und der äußeren Atmosphäre steuern, regulieren die CO₂-Assimilation, den Wasserverlust und die Verdunstungskälte (Faralli et al. 2019).

Die vier Pflanzenarten am Standort SÖLL | TIROL zeigten im 2. Standjahr deutlich unterschiedliche Messwerte der stomatären Leitfähigkeit. Besonders auffallend sind die hohen Werte von *H. lupulus* (Hopfen) und die niedrigen Werte von *W. sinensis* (Blauregen). Dieser Trend wird durch die Messergebnisse im Jahr 2024 bestätigt. Veränderungen zeigt lediglich *V. coignetiae*, dessen hohe Werte im 3. Standjahr auffallen. Diese Unterschiede in der stomatären Leitfähigkeit sind nicht nur markant, sondern treten konsistent an beiden untersuchten Expositionen, Nord-West und Süd-Ost, auf. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Variationen in der stomatären Leitfähigkeit zwischen diesen beiden Arten unabhängig von der Expositionsrichtung bestehen und möglicherweise auf grundlegende Unterschiede in ihrer physiologischen Anpassung an die jeweiligen Umweltbedingungen hinweisen. Dazu gehören die Regulierung der Transpiration und der Umgang mit hohen

Temperaturen, starker Sonneneinstrahlung und Trockenstress, was für die Gestaltung und Pflege der Begrünung von Gebäudefassaden entscheidend sein kann.

Die Werte der stomatären Leitfähigkeit [$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] an der Süd-Ost-Fassade für die Pflanzenarten MP5 *V. coignetiae*, MP6 *H. lupulus*, MP7 *W. sinensis* und MP8 *A. macrophylla* zeigen interessante Unterschiede und mögliche Anpassungsstrategien der Pflanzenarten an ihre Umgebung. Die Messwerte variieren zwischen der NW- und der SW-Seite der Fassade nicht nur unter den Arten, sondern auch innerhalb der Arten. *H. lupulus* weist tendenziell auf beiden Seiten höhere Werte auf, während *A. macrophylla* niedrigere Werte aufweist. *V. coignetiae* zeigt im Vergleich zu *W. sinensis* höhere Leitfähigkeitswerte auf der NW-Seite, obwohl die Unterschiede zwischen den Seiten je nach Art und Messzeitpunkt variieren. Diese Unterschiede spiegeln wahrscheinlich die Anpassung an die kleinörtlichen mikroklimatischen Bedingungen und Unterschiede wider, wie etwa unterschiedliche Lichtverhältnisse (intensive und längere Sonneneinstrahlung an der SO-Seite) und Temperaturschwankungen sowie längere Schattenperioden im Tagesverlauf an der NW-Seite entlang der Fassade.

W. sinensis zeigt deutlich sichtbare Reaktionen auf hohe Temperaturen und starke Sonneneinstrahlung, indem die Pflanzen ihre Fiederblätter zusammenfalten und sie aus der Sonne drehen. Unterstützend zu den Daten der Porometermessungen deutet dies darauf hin, dass *W. sinensis* bei hohen Umgebungstemperaturen und starker Sonneneinstrahlung nicht nur Selbstschutzmechanismen aktiviert und damit auch eine geringere Transpirationsleistung hat bzw. diese dadurch steuert. Es ist ableitbar, dass dadurch auch der Kühleffekt der Pflanzen auf das Mikroklima reduziert. Ergänzende Untersuchungen und Vergleiche unterschiedlicher Wassergaben und die Auswirkungen auf die Pflanzenmechanismen unter kontrollierten Bedingungen wären hier besonders wertvoll. Im internationalen Forschungsspiegel sind den Autor*innen hierzu keine Publikationen bekannt.

H. lupulus zeigte im 2. Standjahr in SÖLL | TIROL tendenziell auf beiden Expositionen höhere Werte. Das deutet darauf hin, dass diese Pflanze eine höhere Transpirationsrate hat, unabhängig von der Fassadenseite und den klimatischen Bedingungen. Der Vergleich der Ergebnisse lässt den Schluss zu, dass *H. lupulus*, bedingt durch die deutlich höheren Werte bei den Porometermessungen, effektiver zur Kühlung des Mikroklimas beiträgt als *W. sinensis* oder *A. macrophylla*.

Da alle Pflanzen am Standort SÖLL | TIROL das gleiche Substrat nutzen und mit der gleichen Menge Wasser versorgt wurden, spielt Trockenstress höchstwahrscheinlich keine signifikante Rolle bei den Unterschieden in der stomatären Leitfähigkeit. Diese Unterschiede in der stomatären Leitfähigkeit spiegeln eher die Anpassungsfähigkeit der Pflanzen an lokale Mikrobedingungen wie Strahlungs- und Lichtintensität und Umgebungstemperatur.

13.3.2 Generierung eines Grünverschattungsfaktors F_{bs}

Durch kontinuierliche Messaufzeichnungen der Strahlungsintensität [W/m^2] vor und hinter der Begrünung konnten genaue Daten zur Effizienz der Fassadenbegrünungen bei der Reduktion der Sonneneinstrahlung ermittelt werden. Die Auswirkung der Fassadenbegrünung auf den solaren Strahlungseintrag ins Gebäudeinnere hängt maßgeblich vom Beschattungsgrad der Begrünung ab. Dieser wird durch den Grünverschattungsfaktor (BSC – Bioshading Coefficient) – F_{bs} quantifizierbar und lässt sich dadurch mit technischen Verschattungselemente vergleichen. Eine Gegenüberstellung des Grünverschattungsfaktors der vier untersuchten Kletterpflanzenarten am Beispiel der SO-Fassade in SÖLL | TIROL ist in Abbildung 103 abgebildet.

Dieser wurde aus dem mittleren Durchlassfaktor (SC – Shading Coefficient) entwickelt, der sich auf den Quotienten der Einstrahlung und der Einstrahlung durch ein 3mm dickes Normalglas ergibt. Der F_{bs} wird beeinflusst durch den Deckungsgrad, den WLAI und der Ausrichtung des Gebäudes. Durch den Bewuchs wird der Eintrag intensiver Sonnenstrahlung im Bereich hinter der Begrünung um $< 90\%$ reduziert. Somit tritt auch weniger Sonnenenergie ins Gebäudeinnere ein, was zur Verbesserung des Innenraumklimas während der heißen Sommermonate beitragen kann. An beiden Standorten gelangt jedenfalls ausreichend Tageslicht ins Innere des Gebäudes, da die Laubmasse auch bei hohem Deckungsgrad keine vollständige Lichtabschirmung zur Folge hat, sondern eine gewisse Durchlässigkeit jedenfalls gegeben ist.

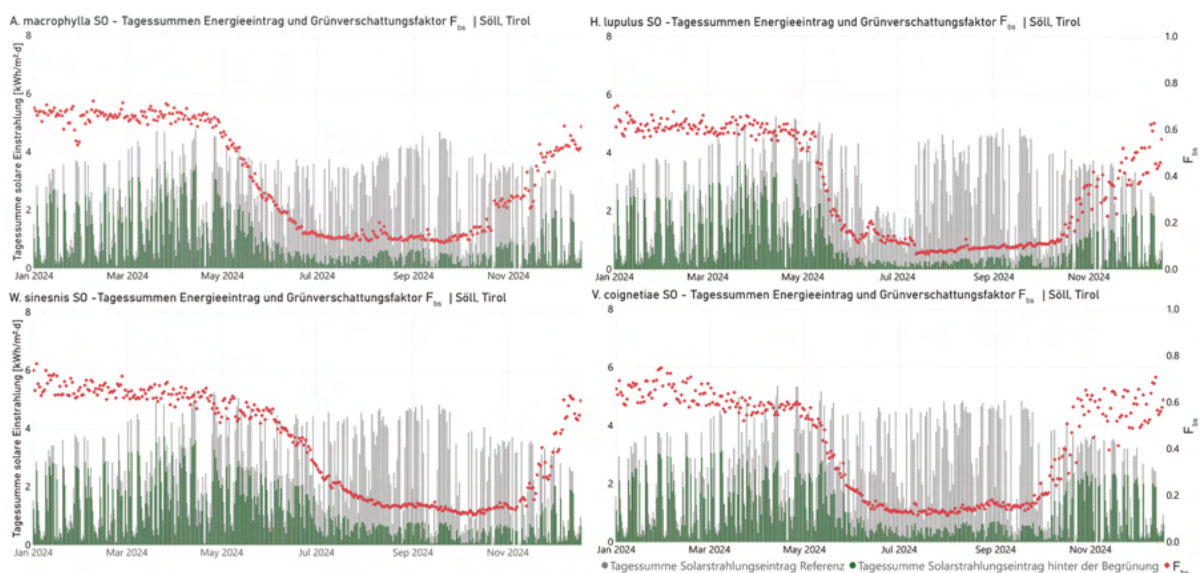


Abbildung 103: Vergleich der Pflanzenarten in Jahresstrahlungsgrafiken aus Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2024 am Demostandort SÖLL | TIROL MP5 V. coignetiae (links oben), MP6 H. lupulus (rechts oben), MP7 W. sinensis (links unten) und MP8 A. macrophylla an der SO-Fassade. ©BOKU-IBLB, 2025.

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse können Optimierungspotenziale identifiziert und Maßnahmen zur weiteren Verbesserung der Effizienz und Wirksamkeit von Fassadenbegrünungen entwickeln werden. Es ist jedenfalls wichtig, jede Situation jeweils individuell zu betrachten und mögliche Auswirkungen sorgfältig zu analysieren. Die Ergebnisse aus dem vegetationstechnischen Bereich der Studie leisten einen Beitrag zur wissenschaftlichen Erforschung der saisonalen Dynamik von Kletterpflanzen und sind von Relevanz für zukünftige Forschungsarbeiten sowie für die Planung von Fassadenbegrünungen, insbesondere im Hinblick auf die Auswahl der Pflanzenart, deren Wuchsverhalten und Beschattungsleistung. Die GLASGrün-Ergebnisse stellen eine wichtige Orientierungshilfe und -grundlage dar.

Auf Basis der Beobachtungen und Messdaten können fundierte Empfehlungen für die Auswahl, Gestaltung und Implementierung von Fassadenbegrünungen erarbeitet werden. Diese Empfehlungen können für Architekten, Stadtplaner*innen, Gebäudeeigentümer*innen und andere Interessengruppen von großem Nutzen sein. Die Ergebnisse des Projekts werden publiziert, um das Bewusstsein für die Vorteile von Fassadenbegrünungen zu schärfen und deren breitere Anwendung im Neubau und der Bestandsergänzung zu fördern. Die separat publizierten GLASGrün-Leitfäden (Variantenkatalog Briefer et al. 2025 und Pflegeleitfaden Poiss et al. 2025) unterstützen Planungen und Entscheidungen für künftige Projekte.

13.4 Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie

13.4.1 Kernaussagen

Jim et al. (2022) erhob in der Umfrage über die öffentliche Meinung zu begrünten Dächern und begrünten Wänden (GRGW) in Tokio, wo die Begrünung von Neubauten vorgeschrieben ist, eine überwiegend gemäßigte oder neutrale Haltung gegenüber Vor- und Nachteilen von vertikaler Grünverschattung. In Österreich kommen wir weiters zu ähnlichen Ergebnissen:

- ➡ Die Befragten stimmen größtenteils dem Beitrag von Grünfassaden zum thermischen Komfort zu.
- ➡ Begrünte Fassaden werden mit einer Erhöhung der Lebensqualität und des Wohlbefindens sowie der Ästhetik in Zusammenhang gebracht.
- ➡ Die Befragten nennen andere potenzielle Vorteile in geringerem Ausmaß.
- ➡ Anfallende Kosten und die Belästigung durch Insekten werden als die häufigsten negativen Aspekte genannt.
- ➡ Im urbanen Umfeld der KREUZGASSE | WIEN ist ein höheres Bewusstsein über die Dringlichkeit des Klimawandels zu erkennen als im ländlichen geprägten SÖLL | TIROL.
- ➡ Es herrscht weitläufig Einigung über die höhere Ästhetik einer grünen Fassade. Die Glasfassade wurde als kalt, langweilig, grau und schmutzig beschrieben und nur wenige bezeichneten sie als modern – ein überraschendes Ergebnis in Anbetracht der

weitläufigen Argumentation aus der Architektur und vehementen Priorisierung von Verglasungen.

Jim et al. (2022) betonten weiters folgende Aspekte:

"Die verpflichtende Installation war die am wenigsten bevorzugte Fördermaßnahme. Stattdessen erwarteten die Befragten die Installation an öffentlichen Gebäuden und die Bereitstellung von Installationsanleitungen. [...] Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Bottom-up-Strategie zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die fortschreitende Entwicklung von GRGW erforderlich ist, um die Top-down-Politik zur obligatorischen Installation zu ergänzen und zu fördern." (Jim et al. 2022; S. 35)

Die neutrale Haltung in Kombination mit einem Mangel an Informationen können in unseren Umfragen in der KREUZGASSE | WIEN und SÖLL | TIROL bestätigt werden. In Anbetracht des raschen Klimawandels scheinen verstärkte Anstrengungen zur Information über die Potenziale der Fassaden- und Dachbegrünung dringend notwendig.

13.4.2 Arbeitsumfeld, Kommunikation und Prozessbegleitung

Mitarbeiter*innen sehen viele Vorteile in der Begrünung der Fassade und erhoffen sich niedrigere Temperaturen in der warmen Jahreszeit, ein besseres Raumklima, sowie Sichtschutz und damit weniger Ablenkung von außen. Sie wissen Begrünung zu schätzen und sehen, dass es das Image ihres Arbeitsplatzes verbessern könnte. Allerdings sind sie besorgt, dass begrünte Glasfassaden mehr Arbeit bei Pflege und Reinigung erfordern. Die Unsicherheit bezüglich der Arbeit, die mit der Begrünung von Fassaden verbunden ist, muss frühzeitig angesprochen werden. Das Gelingen einer Begrünungsmaßnahme hängt eng mit früher und ausreichender Einbindung aller Beteiligten zusammen. Frühe Information und Einbindung in den Umsetzungsprozess würde zu höherer Bereitschaft führen, sich an Pflegemaßnahmen zu beteiligen und den Imagezuwachs auch selbst zu befördern und zu kommunizieren. Frühe Rückmeldungen von Betroffenen bzw. Beteiligten vor Ort kann auch bauliche Ausgestaltungen verbessern, wenn angedachte Varianten zu nachteiligen Wahrnehmungen führen (z.B. metallischer Eindruck, bevor die Begrünung das Klettergerüst verdeckt).

13.4.3 Bedeutung für den öffentlichen Raum, Lebensqualität und Wohlbefinden

Öffentliche städtische Grünflächen werden mit zunehmenden Hitzetagen an Bedeutung gewinnen, vor allem für Menschen, die über kleine Wohnräume und keinen Platz im Freien verfügen. Darüber hinaus sind grüne und kühle Flächen für Personen, die sich um Kinder kümmern, und für diese Kinder und Jugendlichen, die einen Erholungsraum benötigen, von großer Bedeutung. Im städtischen Umfeld wird der Verschönerungseffekt von Grünflächen als wichtiger Vorteil wahrgenommen. Der Zugang zu freiem, kühlem, verbrauchsfreiem

Raum in kurzer Entfernung ist unter den Bedingungen des Klimawandels ein Muss für die Stadtplanung. Grünflächen haben den zusätzlichen Vorteil, dass sie das Stressniveau senken und das menschliche Wohlbefinden steigern, dazu zählen auch vertikale Grünflächen in unmittelbarer Wohn- oder Arbeitsnähe, wie auch die Umfragen von Pichl (2021) gezeigt haben.

Die Verringerung der Entstehung von städtischen Wärmeinseln ist der Schlüssel zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Die GLASGrün- Studie verdeutlicht, dass die Bevölkerung das Potenzial und die Wirkungen von Grünen Infrastrukturen für die Anpassung an die klimawandelbedingten Stressoren erkennen und persönliche Empfindungen über die reine Temperaturregulierung hinausgehen bzw. das individuelle Wohlbefinden stark im Zusammenhang mit Optik, Ästhetik und Luftverbesserung und -qualität stehen.

13.5 Kosten-Nutzen-Einschätzung

Die vorliegenden Ausführungen zeigen, dass eine rein monetäre Kosten-Nutzen-Analyse nicht ausreicht, um die vielfältigen Wirkungen und Vorteile der im Projekt umgesetzten GLASGrün-Systeme abzubilden. Zwar bieten etablierte Bewertungsmethoden wie die klassische Kosten-Nutzen-Analyse, die *Value-Transfer*-Methode oder Ansatzpunkte aus den *Revealed-Preference*-Modellen Ansätze zur Quantifizierung (Stangl et al. 2019), doch belegen sowohl Literaturquellen als auch fehlende, vergleichbare Datensätze die Grenzen dieser Verfahren. Subjektive, nicht monetäre Faktoren wie soziale Interaktion, mikroklimatische Effekte und die Steigerung der Aufenthalts- und Standortqualität bleiben in einer rein ökonomisch motivierten Betrachtung weitgehend unberücksichtigt oder lassen sich methodenbedingt nicht hinreichend erfassen. Der Rahmen dieses Projektes erlaubte einen vollumfänglichen, ausschließlich quantitativen Vergleich nicht, daher wurden die Umsetzungskosten quantitativ erfasst und dargestellt sowie qualitative Nutzenaspekte anhand monitoringspezifischer Messwerte und Befragungsergebnisse diskutiert. Dies ermöglicht eine sachgerechtere Würdigung der Komplexität und der tatsächlichen Wirksamkeit der Vertikalbegrünungen über deren Lebenszyklus hinweg.

Die Ergebnisse zeigen standort-, regions- und systemabhängige Unterschiede bei den Kosten, Wirkungen und Energieeinträge. Die Umsetzungen in SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN und die Begrünungsarten boden- und trogebunden wurden dafür verglichen. Einsparungen des Energieverbrauchs ließen sich aufgrund zu vieler weiterer Einflussfaktoren nicht valide darstellen. Aufgrund der kurzen Projektdauer für Umsetzungen steht kein valides Referenzjahr zur Verfügung. Am Standort SÖLL | TIROL übersteigen die inneren Lasten die Einträge maßgeblich, sodass die Innenraummessungen beeinträchtigt wurden. Es ließ sich anhand des Monitorings im Aussenraum und der Simulationen für den Innenraum darstellen, dass die Begrünungen die Transmission und die solaren Einträge deutlich reduzieren. Nicht monetär bewertbare Wirkungen sind u.a. die Verbesserung der Luftqualität, die Standort- und Aufenthaltsqualität, Ästhetik und Lärminderung.

13.6 Zielgruppen und Relevanz

Die Projektergebnisse sind für verschiedene Zielgruppen relevant und können von diesen auf unterschiedliche Weise genutzt werden. Planer*innen können die Erkenntnisse nutzen, um die Planung und Gestaltung von Gebäuden mit Fassadenbegrünungen zu optimieren, insbesondere hinsichtlich der Auswahl und Platzierung des Pflanzbestandes, aber auch der pflanzenspezifischen Anforderungen an das Kletterhilfendesign und Anwuchs-, Entwicklungs- und Erziehungspflege. Dies beinhaltet die Berücksichtigung von Exposition und Lage der Gebäude. Die Ausrichtung der Gebäude in Bezug auf die Himmelsrichtungen beeinflusst maßgeblich die Menge und Intensität eintreffender Solarstrahlung auf die Fassaden. Die örtlichen klimatischen Bedingungen wie Sonneneinstrahlung, Windverhältnisse und Niederschlag müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Die Geometrie der Gebäude, insbesondere die Höhe und Breite, bestimmt die verfügbare Fläche für die Begrünung und hat Einfluss auf die Luftzirkulation und das Mikroklima. Die Höhe und Breite der Gebäude beeinflussen die Auswahl der Pflanzen für die Fassadenbegrünung maßgeblich. Im Planungsprozess sollten der bevorzugte Lebensraumtyp der Pflanzen (sonnig, halbschattig, schattig) sowie ihr Wuchsverhalten (rankend, windend, schlingend, spreizend) und ihre maximale Wuchshöhe berücksichtigt werden. Dies gewährleistet, dass die gewählten Pflanzenarten den spezifischen Standortbedingungen gerecht werden und sich optimal entlang der Strukturen entfalten können, ohne die Gebäudefunktionen zu beeinträchtigen. Architekt*innen können daher die Projektergebnisse verwenden, um die Auswahl der geeigneten Pflanzenarten und die Anpassung der Kletterhilfen bzw. Integration an den Gebäudekörper zu optimieren, um die Energieeffizienz zu steigern, das Innenraumklima zu verbessern und die Attraktivität der Gebäude zu erhöhen.

Die Projektergebnisse bieten Gebäudeeigentümer*innen und Immobilienentwickler*innen eine wertvolle Grundlage, um gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit ihrer Gebäude zu ergreifen bzw. um innovative und umweltfreundliche Bauprojekte zu realisieren. Durch die Anwendung von GLASGrün-Varianten gemäß den Erkenntnissen können Gebäudeeigentümer*innen den Energieverbrauch für Kühlung und Beleuchtung reduzieren. Diese Maßnahmen tragen nicht nur zur Kostenreduzierung bei, sondern haben auch das Potenzial, das Wohnumfeld durch die Schaffung eines angenehmeren Mikroklimas zu verbessern. Darüber hinaus können ästhetische Verbesserungen am Gebäude den Wert des Eigentums steigern und seine langfristige Attraktivität erhöhen. Insgesamt bieten die Projektergebnisse eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für Gebäudeeigentümer*innen, um ökonomische, ökologische und soziale Vorteile zu realisieren.

Forschungseinrichtungen bieten die vorliegenden Ergebnisse eine wertvolle Grundlage, um weiterführende Untersuchungen anzustellen und das Verständnis der Effekte von vertikalem Grün auf das Innenraumklima, den Energieverbrauch und das Mikroklima zu vertiefen und grüne Vorverschattungssysteme weiterzuentwickeln. Die Erkenntnisse dienen als Grundlage

für die Konzeption und Durchführung neuer Forschungsprojekte, die sich mit den komplexen Wechselwirkungen zwischen Begrünungssystemen und dem gebäudeinternen Raumklima befassen. Zudem bieten sie eine wertvolle Grundlage für die Entwicklung von Leitfäden im Bereich der nachhaltigen Architektur und Stadtplanung, indem sie aktuelle Erkenntnisse und methodische Ansätze zur Integration von Grüninfrastrukturen in die Gebäudeplanung vermitteln.

13.7 Rechtlichen Hürden in Zusammenhang mit den ausgearbeiteten Konzepten bzw. Technologien

Rechtliche Herausforderungen können bei Bewilligungsverfahren für die Errichtung der Begrünung entstehen. Die Errichtung ist bei der zuständigen Behörde bzw. Magistratsabteilung zu bewilligen, wenn die Begrünung straßenseitig und am öffentlichen Gut, wie Gehsteigen, positioniert ist oder diese oder Teile der Konstruktion in den öffentlichen Raum reichen. Auch bei Errichtung auf Eigengrund kann es erforderlich sein, eine Bauanzeige vorzunehmen bzw. einen Baubewilligungsbescheid zu erwirken. Das ist jedenfalls für den jeweiligen Standort vorab mit der Baubehörde abzuklären, ggf. unter Zuhilfenahme eines qualifizierten Architekturbüros. In Wien etwa sind die Bestimmungen hierzu sehr differenziert. Weiters müssen alle Eigentümer*innen des Gebäudes der Begrünung zustimmen, wenn nicht baurechtlich, jedenfalls aber immer zivilrechtlich.

Abhängig von landesspezifischen brandschutztechnischen Richtlinien bei Fassadenbegrünungen können Anforderungen hinsichtlich der Positionierung der Begrünung gestellt werden. Diese beziehen sich bei der Errichtung von Laubengängen zum Beispiel auf den Abstand der Begrünung zur Glasfassade, der Länge der Begrünungskonstruktion und Abstandsanforderungen zwischen einzelnen Begrünungsabschnitten. Bestimmungen über Abstände zwischen Glasfassade und Pflanzen sind im Einzelfall zu prüfen. Die Pflanzen in ausgewachsenen Zustand dürfen den Abstand nicht verringern, die dafür notwendige Pflegemaßnahmen sowie die Wartungsarbeiten an den Glasflächen müssen in einem verhältnismäßigen Ausmaß möglich sein.

13.8 Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Ergänzend zum vorliegenden publizierbaren Endbericht wurden ein *GLASGrün-Leitfaden und Variantenkatalog* und ein *GLASGrün-Pflegeleitfaden* (Briefer et al. 2025, Poiss et al. 2025a) erstellt, die in der Schriftenreihe *Nachhaltig Wirtschaften* publiziert und online auf den Websites der Konsortiumsmitglieder abrufbar ist. Diese beinhalten Checklisten für die Planung und Pflege, bautechnische und vegetationstechnische Anforderungen, Informationen über empfohlene Pflanzen und Pflegemaßnahmen im Detail, sowie Darstellungen der konzipierten GLASGRÜN Varianten.

Die GLASGRÜN Varianten wurden mit dem Ziel konzipiert, auf andere Projekte bzw. Gebäude übertragbar und skalierbar ist. Die Leitfäden dienen somit als Planungsgrundlage für weitere Begrünungsvorhaben vor Glasfassaden. Sie bieten dabei Erkenntnisse aus dem Projekt und wissenschaftliche begleitete und erprobte Begrünungsmöglichkeiten, die ebenso für andere vertikale Grünsysteme zur Verschattung wichtige Grundlagen sind.

Aus wissenschaftlicher Sicht sind die GLASGrün-Ergebnisse hoch relevant, da wenige internationale Nachweise von Deckungsgraden, Wandblattflächenindizes (WLAI), elektrische Leitfähigkeit von Kletterpflanzen im Allgemeinen und den 4 getesteten Kletterpflanzen im Besonderen zur Verfügung stehen. Eine Novität ist der Grünverschattungsfaktor Fbs, der für alle getesteten Kletterpflanzen als Jahresverlauf zur Verfügung steht und international auf die wenig verfügbaren Arbeiten von Convertino et al. 2021, Zheng et al. 2020, David et al. 2011, Ip et al. 2010, Wong et al. 2009 aufbaut.

13.9 Erreichung der Projektziele und Beantwortung der Forschungsfragen

Stand des Wissens und der Praxis zu Beginn des Projekts in Hinblick auf die Begrünbarkeit von Glasverbauten warfen eine Reihe von Fragen auf, auf welche durch das Projekt GLASGrün Antworten oder zumindest Teilantworten gefunden wurden. Damit wurde mit GLASGrün ein wichtiger Meilenstein in der Bauwerksbegrünung und für die Begrünung von Stadtquartieren und neuen Gebäudeanlagen gesetzt.

GLASGrün verfolgte 11 Projektteilziele. Nachfolgend in Tabelle 20 werden die Erreichung der Projektziele reflektiert sowie Antworten auf die definierten GLASGrün-Forschungsfragen (Tabelle 21) aus der Projektarbeit abgeleitet.

Tabelle 20: GLASGrün Projektziele und Bewertung der Zielerreichung

GLASGrün-Projektteilziele	Erreichung JA/NEIN
Ziel 1: GLASGrün entwickelt für 3 Gebäudetypen mit Glasfassaden der Partner MPREIS und liwa/TB OBkircher vertikale Begrünungsvarianten zur Bestandsergänzung, zur Bestandssanierung und für den Neubau.	JA: Es wurden 7 Konstruktionsvarianten entwickelt, mit 6 Kletterpflanzenarten (4 davon getestet) und 3 getesteten Wurzelraumvarianten ergibt das 126 mögliche Kombinationen (s. Briefer et al. 2025)
Ziel 2: Die GLASGrün-Varianten sind modular und übertragbar konzipiert und als Standardvarianten an anderen Objekten anwendbar.	JA: Die getesteten und vorgeschlagenen Varianten sind modular und übertragbar unter Berücksichtigung Objekt-spezifischer Gegebenheiten (s. Briefer et al. 2025)

Ziel 3: GLASGrün führt einen Variantentest durch: an 2 Demogebäuden werden auf Basis von Vorentwürfen, einer Kriterienbewertung und eines Variantenchecks bis zu drei Begrünungsvarianten zur sommergrünen Beschattung implementiert.

Ziel 4: Durch die Umsetzung der Vertikalbegrünungen werden im Projektzeitraum eine 50 %ige Beschattung im Sommer erreicht und dadurch die sommerlichen solaren Einträge im Bereich der Versuchsteilflächen um ein Drittel verringert. Dabei kommt es zu keinen signifikanten Verlusten an solaren Einträgen im Winter (bzw. Heizperiode).

Ziel 5: GLASGrün liefert standardisierte Kennwerte zur mikroklimatischen Performanz und energietechnischen Auswirkungen von den vertikalen Grünvarianten (gemäß Vertragsbeilage des Fördergebers (bmvit s.a.) und den Kennwerten von Scientific Board des Innovationslabors GRÜNSTATTGRAU (2019) und stellt diese als open data zur Verfügung.

Ziel 6: Die GLASGrün-Vertikalbegrünungen führen im Projektzeitraum zu Einsparungen von 10 % beim Aufwand und bei den Kosten zur Kühlenergie (bei Hochrechnung der Effekte auf die gesamte geeignete Glasfläche).

JA:

Variantentest und Implementierung sind an 2 Demo-Standorten (SÖLL | TIROL, KREUZGASSE | WIEN) erfolgt und im vorliegenden Bericht dokumentiert.

JA:

Am Demo-Objekt SÖLL | TIROL wurden im 3. Standjahr abhängig von der Kletterpflanzenart zw. 86 % und 93 % Deckung bzw. Beschattung erreicht. Die solaren Einträge reduzieren sich um > 50 bzw. 67 % (IDA ICE Simulation).

Am Demo-Objekt KREUZGASSE | WIEN wurden im 2. Standjahr 18 % Deckungsgrad der Zielfläche erreicht. Eine Abminderung der Strahlungseinträge im 2. Standjahr (letztes Projektjahr) konnte aufgrund der noch eingeschränkten Pflanzenhöhe (< Höhe Sensorposition) nicht ausreichend erhoben werden.

JA:

Auf Basis standardisierter Erhebungen wurden relevante Pflanzenkennwerte für 4 Kletterpflanzenarten und Leistungen erhoben. Es wurde erstmalig ein Grünverschattungsfaktor für 4 Kletterpflanzenarten im Jahresverlauf abgeleitet, der im Energieausweis und für bauphysikalische Berechnungen zur Anwendung kommen kann.

Die erhobenen Kennwerte haben laut Expert*innen-Feedback große Relevanz.

Die erhobenen Daten und Erkenntnisse werden nach den Open Data und Open Access Prinzipien auf Zenodo (Poiss et al. 2025c) einer breiten Öffentlichkeit bereitgestellt.

NEIN

Es konnten dazu aufgrund von zu vielen Einflussfaktoren keine validen Daten erhoben (z.B. innere Lasten, Nutzer*innenverhalten, fehlende Referenzjahre, s. Kap. 13.1).

Auf Basis der Simulationsergebnisse zur Reduktion solarer Einträge wurde die Beschattung durch Grünstrukturen belegt. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich hierzu Verringerungen bei den Kosten ergeben.

Ziel 7: GLASGrün erarbeitet Kennwerte zum Kühl- und Energiebedarf vor und nach der Intervention und zur relativen Energieeinsparung. Die bauphysikalischen und vegetationstechnischen Parameter und Wechselwirkungen werden so konsolidiert und aufbereitet, dass sie künftig in die Berechnungen der Gebäudetechnik einfließen.	NEIN Kennwerte zum Kühl- und Energiebedarf liegen nicht vor (s. Ziel 6). JA Bauphysikalische und vegetationstechnische Kennwerte können als brauchbare Indikatorwerte in Berechnungen und Modelle Berücksichtigung finden und sind für Planungen relevant.
Ziel 8: GLASGrün identifiziert Wirkungen von vertikalen Begrünungen auf die Wahrnehmungen, Empfindungen, das Wohlbefinden sowie Barrieren und Vorurteile von Mitarbeiter*innen und Kund*innen.	JA: Die Akzeptanz von Begrünungsmaßnahmen ist vorhanden. In der Wahrnehmung der Befragten tragen die vertikalen Grünverschattungen zu einem höheren Wohlbefinden u.a. aufgrund der Ästhetik, besserer Luftqualität und angenehmere gefühlte Temperaturen und Raumklima. Vorurteile bestehen vorwiegend bezüglich Wartung, Arbeitsaufwand, Insekten und Verschmutzung.
Ziel 9: GLASGrün formuliert Checklisten für den Erhaltungs- und Pflegeaufwand der getesteten Grünvarianten und entwickelt Standard-Managementpläne für die Betreuung, das Bewässerungsmanagement und das Monitoring von vertikalem Grün vor Glasflächen.	JA: Es wurde ein GLASGrün-Pflegeleitfaden mit Checklisten und relevanten Pflegemaßnahmen und -aspekten zur Verfügung gestellt. (Poiss et al. 2025a)
Ziel 10: GLASGrün stellt sicher, dass die Erkenntnisse und Ergebnisse national und international breit disseminiert werden, der Wissenstransfer branchen- und zielgruppenübergreifend erfolgt, um das Technologie Know-how von Österreich zu demonstrieren.	JA: Die Projektergebnisse wurden und werden breit disseminiert und national und international publiziert und präsentiert.
Ziel 11: GLASGrün zeigt notwendige weitere Schritte für die Integration in Planung und Konzepte für behördliche Aspekte (Genehmigungen, Einreichungen etc.) auf.	JA: Planungs- und Umsetzungsrelevante behördliche und baurechtliche Anforderungen wurden im vorliegenden Bericht und im GLASGrün-Leitfaden (Briefer et al. 2025) im Detail dargelegt.

Tabelle 21: GLASGrün Forschungsfragen

Forschungsfragen	Ableitungen und Erkenntnisse aus GLASGrün
1. Welche Systeme und Varianten der aktuell verfügbaren Begrünungstechnologien für Fassaden eignen sich zur Anwendung und Umsetzung an Glasverbauten?	Es eignen sich boden- und troggebundene Vertikalbegrünungssysteme mit Schlingern und Rankern. Die Kletterhilfen und -gerüste erfordern eine Primärkonstruktion zur Erfüllung der statischen Anforderungen und eine Sekundärkonstruktion als Rankhilfen zur Unterstützung eines flächigen Bewuchses. Standardvarianten werden im GLASGrün-Leitfaden vorgestellt (Briefer et al. 2025) Selbstkletterer bzw. wandgebundene Systeme können sind nicht zur Anwendung geeignet.
2. Welche bautechnischen Adaptierungen und Lösungen sind anzuwenden, um die Verbindung Glasfassade mit Kletterhilfen, Rankgerüsten und Pflanzen herzustellen oder zu vermeiden?	Vorgestellte Konstruktionen können statisch eigenständig stehend, auskragend oder in Randbereichen an die Fassade „angelehnt“ sein. Der Bauteil des Gebäudes, an dem die Kletterhilfen befestigt werden, müssen die Horizontallasten aufnehmen können.
3. Welche statischen Möglichkeiten und Beschränkungen bestehen im Hinblick auf die Verankerung von Kletterhilfen und Trögen?	Dabei kann es erforderlich sein, dass das Auflager als vertikal bewegliches Auflager ausgeführt werden muss, da die Kletterhilfen gegenüber dem Gebäude unterschiedliche Temperaturschwankungen haben können und möglicherweise schwere Tröge Setzungen in geringem Ausmaß ausgesetzt sind. Die primäre Kletterkonstruktion ist in Einzel- oder Streifenfundamenten zu verankern. Für Tröge muss fester, tragfähiger Untergrund gegeben sein.
4. Welche Wirkungen können mit begrünten Beschattungsvarianten hinsichtlich der Temperaturregulierung und des Energieverbrauchs im Gebäude erzielt werden?	Die Simulationsergebnisse zeigen deutliche Verbesserungen des thermischen Komforts. Die Reduktion solarer Einträge wurde durch die Beschattung durch Grünstrukturen belegt (50 – 67 %). Es kann davon ausgegangen werden, dass sich hierzu Verringerungen bei den Kosten ergeben. Valide Daten zum Energieverbrauch konnten dazu im Projekt nicht gemessen werden (s. Ziele 6 und 7).
5. Können messbare Ergebnisse auf die Gebäudedämmung erzielt werden?	Begrünungen können an Glasfassaden nicht direkt angebracht werden und benötigen einen Mindestabstand. Dadurch und durch den

	Laubfall sommergrüner Pflanzen lässt sich keine Dämmwirkung erzielen.
6. Kann mit vertikalen Begrünungen die Problematik der sommerlichen Überhitzung von Glasbaukörpern verhindert oder zumindest vermindert werden?	Ja, die sommerliche Überhitzung kann durch die hohe Reduktion des solaren Eintrags vermindert werden - siehe Frage 4.
7. Können durch nachträgliche Fassadenbegrünungen Verbesserungen des thermischen Komforts nachgewiesen werden?	JA IDA ICE Simulationen ergeben deutlich reduzierte solare Einträge durch die Glasflächen ins Rauminnere (s. Frage 4) und eine Erhöhung des thermischen Komforts (Anzahl unzufriedener Personen < 15 %).
8. Welchen Einfluss auf die solaren Gewinne haben die Vertikalbegrünungen im Sommer und im Winter (Reflexion, Absorption, Transmission)?	Die Transmission solarer Strahlung durch den Grünkörper (> 90 % Deckung, LAI ca. 4) wurde im 3. Standjahr auf +/- 10 % herabgesetzt. Es wird von einer weitgehenden Absorption ausgegangen, die Reflexion konnte nicht erfasst werden. Je nach Kletterstrukturen wird im Winter ohne Laub der solare Eintrag um 13 – 20 % herabgesetzt.
9. Kann die Verminderung wissenschaftlich soweit erfasst werden, dass sie berechenbar und quantifiziert werden können?	Ja, auf Basis der Monitoringdaten konnte die Abminderung der solaren Einstrahlung und ein Grünverschattungsfaktor F_{bs} für 4 Kletterpflanzenarten im Jahresverlauf generiert werden. Die Strahlungsabminderung konnte im vorliegenden Bericht quantifiziert dargelegt werden.
10. Können die als erfolgreich ermittelten Begrünungsvarianten standardmäßig für Umsetzungsprojekte eingesetzt werden?	Ja, dabei ist erforderlich, dass Standortanforderungen, bautechnische und baurechtlich sowie vegetationstechnische Anforderungen projektspezifisch von jeweils entsprechenden Fachpersonal geprüft werden und die Planung und Durchführung fachgerecht erfolgen. Der GLASGrün-Leitfaden und Variantenkatalog (Briefer et al. 2025) stellt dafür eine Orientierungshilfe mit umfangreichen Checklisten zur Verfügung.
11. Können die Planungsprozesse reproduzierbar abgebildet werden und auf andere Bauvorhaben übertragen werden?	Ja, die GLASGrün-Erkenntnisse aus dem vorliegenden Bericht können anhand des Leitfadens mit Checklisten und Variantenkatalog auf andere Begrünungsvorhaben übertragen

	werden. Es wurden 126 potenzielle Begrünungsvarianten/ -kombinationen erhoben. Länder- und Gemeindespezifische baurechtliche Vorgaben sowie bauvorhabenspezifische bautechnische und standortabhängige Bedingungen sind zu beachten.
12. Welche Folgen und Wirkungen hat die Glasfläche auf die Pflanzen?	Im Projektzeitraum konnten keine Folgen oder Einschränkungen auf die Pflanzen beobachtet werden.
13. Welches Bewässerungs-, Pflege- und Wartungsmanagement erfordern die Grünelemente vor Glas?	Das Pflegemanagement umfasst die allgemeingültigen Standardmaßnahmen für Anwuchs-, Entwicklungs- und Erhaltungspflege, insbes. nach ÖNORM L 1136:2021 – Vertikalbegrünung im Außenraum (Austrian Standards 2021).
14. Welches Pflege- und Wartungsmanagement ist an den Glasfassaden hinter den Begrünungen erforderlich?	Spezielle Hinweise für die Erziehungspflege zur raschestmöglichen Erreichung eines hohen Deckungsgrades und Beschattungsleistung wurden im GLASGrün-Pflegeleitfaden zur Verfügung gestellt (Poiss et al 2025a).
15. Können durch nachträgliche Fassadenbegrünungen Verbesserungen des Wohlbefindens und der Lebens- bzw. Arbeitsqualität erzielt und Mitarbeiter*innen für das Thema motiviert werden?	Fassadenbegrünungen motivieren Mitarbeiter*innen und Kund*innen über Themen wie Klimawandel, Hitze und Umweltfolgen nachzudenken. Die Begrünung wird durchwegs als schön und bereichernd wahrgenommen. Dies führt auch bei beiden Gruppen zu verbessertem Wohlbefinden.
16. Wie nehmen Arbeitnehmer*innen und Kund*innen den thermischen Komfort und der Lebens- und Arbeitsqualität mit und ohne Begrünung wahr?	Mitarbeiter*innen und Kund*innen nehmen neben dem Vorteil einer angenehmen Beschattung vor allem die Schönheit von Pflanzen und damit einen Beitrag zu höherer Lebens- und Arbeitsqualität wahr.
17. Welche Kosten-Nutzen-Effektivität ist im Lebensmittelhandel durch nachträgliche Begrünung von Handelsgebäuden erwartbar?	Anhand der GLASGrün-Varianten konnte dargestellt werden, welche Investitionskosten und laufenden Pflegekosten den vielfältigen qualitativen und quantitativen Nutzen der Vertikalbegrünung gegenüberstehen. Auf den Lebensmittelhandel konkret haben die Begrünungen positive Effekte hinsichtlich Verschattungswirkungen auf Büro- und Aufenthaltsräume, wodurch auf technischen Sonnenschutz verzichtet werden könnte.

18. Verringern sich der Energieverbrauch und die Ausgaben für Kühlung in Handelsgebäude nach der Installation von begrünten Verschattungen und Ausgaben für Kühlung?	Ja, in welchem Ausmaß ist stark Objekt-abhängig (Exposition, seitliche und diffuse Einstrahlung, Einträge durch andere Gebäudeteile/-flächen, innere Lasten, Gebäudeausstattung) und vorherrschendes Klima (Nachtabkühlung).
Abgrenzung: Wie verhalten sich Vögel in der Grünstruktur? Glasfassaden spiegeln die Umgebung und werden von Vögeln nicht als Hindernis wahrgenommen, weswegen in Europa ca. 250.000 Vögel täglich durch den Aufprall gegen Glasfassaden sterben (Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln, 2015)	Das Vorkommen und Verhalten von Vögeln in der Grünstruktur war NICHT Forschungsgegenstand dieser Studie, daher können zu dieser Thematik keine Aussagen getroffen werden. Es wird angemerkt, dass während der Projektlaufzeit keine Vögel in den GLASGrün-Systemen beobachtet wurden. Der Hauptgrund wird darin vermutet, dass die Standortsituationen keine attraktiven, sondern gestörte Habitate darstellen (hoch frequentierter Parkplatz beim Supermarkt in SÖLL TIROL, Straßenbahn- und Autoverkehr, rege Fußgängerdurchquerungen in der KREUZGASSE WIEN).

14 Ausblick und Empfehlungen

14.1 Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Umsetzungsprojekte erfordern längere Planungs- und Vorbereitungszeiten, die Monitoringphase im Projektumfang von 3 Jahren ist aufgrund der Planungs- und Errichtungsphase verkürzt und kann nur die frühjuvenile Phase erfassen, vorausgesetzt die Pflanzenentwicklung erfolgt nach Wunsch und Plan. Verzögerungen im Prüf-, Behörden- und Genehmigungsprozess stellen hier oft große Limitationen dar und führen durchaus zur Behinderung des Projektplans, das Monitoring, sofern es überhaupt zustande kommt, fällt oft sehr kurz aus. Die Ausdehnung des Monitorings auf längere Perioden wäre unbedingt erforderlich, um die Leistungen und Erfolge auch nach der Entwicklungs- und Erziehungsphase der Vegetationsstruktur systematisch zu erfassen und valide zu analysieren.

Im GLASGrün-Projekt etwa konnten am Standort KREUZGASSE | WIEN aufgrund der verspäteten Umsetzbarkeit noch keine ausreichenden Pflanzenhöhen erreicht werden, weshalb noch keine Werte zur Transmission bzw. Reduktion der solaren Einstrahlung und keine Grünverschattungsfaktoren vorliegen.

Die Projektleitung plant, im 3. Standjahr im Rahmen einer betreuten Masterarbeit, das Monitoring und die Datenanalyse fortzusetzen. Damit sollen für die KREUZGASSE | WIEN weitere Erkenntnisse gewonnen und Grundlagen abgeleitet werden, die eine entsprechende Einschätzung der Leistung der dort umgesetzten Variante (LIWA Rundrohre mit Querverbindungen und aufgesetzter Trog unten offen) bzw. die Verifizierung der Erkenntnisse in SÖLL | TIROL auch an einem anderen Standort erlaubt.

14.1.1 Vegetationstechnik und Mikroklimawirkungen

In der Forschung fehlen derzeit Daten zu den vorliegenden Pflanzenarten, ebenso wie allgemeine Daten zu Transpirationsraten und -mengen für Kletterpflanzen, die als Teil der Grünen Infrastruktur und insbesondere für Vertikalbegrünungen zum Einsatz kommen. Um valide Daten zu erhalten, die im Projekt GLASGrün erworbenen Erkenntnisse zu verifizieren und fundierte Aussagen über die effektive Transpirationsleistung treffen zu können, ist weitere Grundlagenforschung notwendig. Diese Untersuchungen sollten idealerweise unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden, da klimatische Einflüsse wie Temperaturschwankungen, wechselnde Intensität der Solarstrahlung, Wind oder Niederschlag im Freilandversuch einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben und diese verfälschen können.

Es ist auch schwierig, verschiedene Standorte miteinander zu vergleichen, da die einflussreichsten Faktoren wie 1. klimatische Bedingungen, 2. die Exposition, 3. die Boden-

oder Substratbeschaffenheit, 4. die Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit, 5. der Versiegelungsgrad und 6. die Pflegemaßnahmen von Standort zu Standort oft sehr unterschiedlich sind.

Für ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Umweltfaktoren und Pflanzenphysiologie ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von entscheidender Bedeutung. Durch die Förderung der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftler*innen aus verschiedenen Fachbereichen wie Biologie, Meteorologie und Ingenieurwissenschaften können unterschiedliche Perspektiven und Fachkenntnisse kombiniert werden, um ein ganzheitliches Verständnis zu entwickeln.

Fragestellungen zur Grundlagenforschung stellten sich zahlreiche während der Beobachtungen und bieten ausreichend Motivation für weitere Forschungsarbeiten:

- Welche Mechanismen befördern die Transpirationsleistung der unterschiedlichen Pflanzenarten und damit das Luftfeuchteregeime?
- Ab welchem Schwellenwert greift Trockenstress in die Ausgleichsleistung der Pflanzen bzw. ihre Wärmerückstrahlung ein?
- Welche artspezifischen Reaktionen zeigen die Pflanzen auf Trockenstress?
- Welche artspezifischen Unterschiede bestehen in der Blatttemperatur bzw. Wärmerückstrahlung?
- Ist es möglich, die Architektur mit der Verschattungsstruktur soweit zu optimieren, dass Einschränkungen im Luftaustausch vermieden werden und das Temperaturregime noch optimiert werden können?
- Welche artspezifischen Pflanzenmassen und Lasten ergeben sich in unterschiedlichen Altersphasen und Pflegezuständen? In welcher Hinsicht sind Dimensionierung und statische Berechnungen anzupassen?
- Welche Beeinträchtigungen ergeben sich an und in den Pflanzenwurzeln durch die Substraterwärmung in Trögen?
- Durch welche Dämmstoffe kann die Substraterwärmung im Trog bestmöglich vermieden werden?
- Wie zeigt sich die Durchwurzelung in den Wurzelräumen? Welche Wurzelarchitekturen sind typisch für die unterschiedlichen Pflanzenarten?
- Wieviel Platz nimmt die Wurzelmasse ein?
- Welchen Beitrag zur CO₂-Bindung können Kletterpflanzen leisten? Wie zeigt sich die Spanne artspezifischer Unterschiede (starkwüchsige Gerüstkletterpflanzen mit hohem Dickenwachstum vs. Teils langsam wachsender, filigraner Ranker)?
- Welche Habitate werden durch grüne Vorverschattungen erschlossen?
- Eignen sich Vögel Habitate an? Unter welchen Bedingungen? Wann und unter welchen Umständen tritt Vogelschlag auf?

14.1.2 Forschung Bauphysik und Innenraumwirkungen

Für die Bedeutung und Verbesserung von Innenraumsituationen durch vorgelagerte Grünverschattung sind folgende weiterführende Forschungsarbeiten von Bedeutung:

- Simulationen zum Verhalten in den Übergangszeiten (Erhöhung des Heizwärmebedarfs);
- Stromverbrauch Beleuchtung (objektspezifisch);
- Generierung von Simulationsmodellen, die monatlich variierende Verschattungsfaktoren einfach abbilden können;
- Simulation der Eigenverschattung von Klettergerüsten und Pflanzen (Winter);
- Erfassung und Analyse der Verringerung langwelliger Abstrahlung des Gebäudes durch Begrünung;
- Generierung von Kennwerten zu Reflexion und Absorption von Grünkörpern.

14.1.3 Wahrnehmungs- und Akzeptanzforschung

Seit Beginn des Projektes gibt es einige Studien und Fallbeispiele, in denen die Akzeptanz und Wahrnehmung von Begrünungsmaßnahmen thematisiert wurde. Die Projektergebnisse für die Fassadenbegrünungen in SÖLL | TIROL und KREUZGASSE | WIEN decken sich weitgehend mit anderen Studien. Da es meist um begrenzte Erhebungen geht, wäre es interessant eine weitere Panelstudie, in Nachfolge von Schlösser 2003 durchführen zu können. Seit 2003 haben sich zwei wichtige Rahmenbedingungen geändert: Es gibt nun viel mehr Umsetzungsbeispiele und politische Maßnahmen zur Förderung von Begrünungsmaßnahmen. Und es gibt eine höhere Dringlichkeit und Präsenz der Kommunikation zum Klimawandel und der erforderlichen Klimawandelanpassung, um Hitzeinseln und andere Folgen zu minimieren.

Aus Literatur und anderen Projektstudien geht deutlich hervor, dass neben der Einstellung der Bevölkerung besonders auch Entscheidungsträger*innen bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen wichtig sind. Die Kosten-Nutzenrechnung und die Leitfäden in diesem Projekt leisten einen wichtigen Beitrag zur Kommunikation mit Bauträger*innen, Hauseigentümer*innen und Unternehmen. Die Akzeptanz und Wahrnehmung von Entscheidungsträger*innen und Mitarbeiter*innen von Unternehmen konnten in diesem Projekt aufgrund der Förderkürzungen weder ausreichend erhoben noch analysiert werden. Eine Folgestudie mit stärker sozialwissenschaftlichem Schwerpunkt wäre dafür nötig.

14.1.1 Umsetzungs- und Lebenszyklusforschung

Die Durchführung weiterer Umsetzungsprojekte in verschiedenen städtischen Umgebungen und Klimazonen kann außerdem helfen, die Anpassungsfähigkeit und Wirksamkeit der Fassadenbegrünung zu testen und erfolgreiche Pilotprojekte als Grundlage für größere Implementierungen zu nutzen sowie Limitationen zu erfassen. Detaillierte wirtschaftliche Analysen sollten die Kosten und Nutzen über den gesamten Lebenszyklus bewerten,

einschließlich Instandhaltung, Betrieb und Energieeinsparungen. Von insbesondere Interesse sind:

- Berechnungen der Wertsteigerung durch Gebäudebegrünung, Kund*innenfrequenz vor/nach Begrünung, Kaufverhalten, Aufenthaltsdauer;
- die Ableitung bzw. Prüfung weiterer Konzepte zur monetären Bewertung von Fassadenbegrünungen.

Programme zur Aufklärung und Einbindung der Öffentlichkeit können das Bewusstsein für die Vorteile der Fassadenbegrünung schärfen und die Akzeptanz fördern. Gesetzliche und regulatorische Rahmenbedingungen sollten analysiert und angepasst werden, um die Umsetzung von Fassadenbegrünungsprojekten zu erleichtern und politische Entscheidungsträger*innen zu beraten, wie Bauvorschriften und Planungsrichtlinien angepasst werden können, um Begrünungsmaßnahmen zu fördern.

14.2 Potenzial für Demonstrationsvorhaben

14.2.1 Chancen

14.2.1.1 Die EU-Gebäuderichtlinie (*Energy Performance of Buildings Directive, EPBD*)

Glasfassaden sind seit Jahrzehnten Elemente moderner Architektur und bieten zahlreiche Vorteile wie natürliche Belichtung, visuelle Offenheit und ästhetische Attraktivität. Energetisch betrachtet sind sie umstritten, da sie ohne wirksamen Sonnenschutz den Innenraum stark aufheizen, was den Kühlbedarf und damit den Energieverbrauch für Klimaanlage erheblich steigert. Der Einsatz von außenliegenden Jalousien, Lamellen oder – wie im Projekt GLASGrün – vertikalen Begrünungssystemen dient zur Reduktion des solaren Eintrags. Begrünte Fassaden bieten zusätzlich mikroklimatische und ökologische Vorteile und tragen zur Kühlung der Umgebung bei.

Die EU-Gebäuderichtlinie (*Energy Performance of Buildings Directive, EPBD*) legt klare Vorgaben zur Reduzierung des Energieverbrauchs von Gebäuden fest, um die Energieeffizienz zu steigern und den Gebäudesektor bis 2050 emissionsfrei zu gestalten. Die Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zielt auch darauf ab, die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor der Europäischen Union signifikant zu reduzieren. Sie ist Teil des "Fit for 55"-Pakets, das darauf abzielt, die Emissionen in der EU bis 2030 um mindestens 55 % zu senken (Europäisches Parlament, 2024)

Ab dem 1. Januar 2030 müssen alle neuen Gebäude den Standard eines Nullemissionsgebäudes erfüllen. Für öffentliche Neubauten gilt diese Anforderung bereits ab dem 1. Januar 2028. Nullemissionsgebäude dürfen vor Ort keine CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen verursachen. Die Richtlinie sieht vor, dass der durchschnittliche Primärenergieverbrauch von Wohngebäuden bis 2030 um 16 % und bis 2035 um 20–22 % im Vergleich zu 2020 gesenkt wird (Europäische Kommission, 2023).

14.2.1.2 GLASGrün-Beiträge zur erfolgreichen Umsetzung

Die Begrünung von Glasfassaden wird in ländlichen und städtischen Gebieten aus einer Vielzahl von Gründen immer notwendiger werden: Stabilisierung des Raumklimas mit geringem Energieaufwand im Sommer (Mitigation), Verbesserung des Mikroklimas im Freien (Adaptation), Biodiversität (Co-Benefits), um nur einige zu nennen. Daher ist die Frage wichtig, wie Misserfolge vermieden werden können und wie solche Projekte mit hoher Qualität und Akzeptanz umgesetzt werden können. Eine erfolgreiche Umsetzung setzt eine erfolgreiche technische Umsetzung, aber auch eine gute Kommunikation voraus. Interaktive Kommunikationsprozesse können sicherstellen, dass Einwände und Bedenken der verschiedenen Gruppen ernst genommen werden und in die Projektplanung einfließen. Projekte mit interaktiven und inklusiven Kommunikationsprozessen ermöglichen eine breite Umsetzung und nachhaltigen Erfolg.

Alle Pfade für eine sozial-ökologischen Transformation stehen vor der Herausforderung, wie integrierte Lösungen im Dialog mit den Nutzer*innen entwickelt werden können. Und sie stehen vor der Frage, inwieweit die gewünschten Effekte grüner Fassaden - wie die Reduzierung von Treibhausgasen, ein besseres Aussen- und Innenraumklima für alle Bürger*innen erreicht werden können.

Da die besten technischen Lösungen an sozialen Barrieren scheitern können, müssen gemeinsam mit Entscheidungsträger*innen, Interessenvertretungen (Arbeitnehmer*innen, Kund*innen) und der breiten Öffentlichkeit Leitlinien für korrekte und erfolgreiche Installation und Wartung von grünen Fassaden entwickelt werden. Neben Informationen über Energieeffizienzgewinne, über mikroklimatische Auswirkungen im Innen- und Außenbereich und über die Kosten muss auch über den Zeitaufwand für die Instandhaltung informiert werden. Mit Best-Practice-Beispielen, angemessenen Informationen und praktischen Leitfäden für jeden Schritt der Begrünung bestehender Gebäude können wir einen öffentlichen Diskurs anstoßen, Umwelterziehung betreiben und das Bewusstsein für das Begrünungspotenzial in Städten stärken. Solche Leitfäden sollten so gestaltet sein, dass sie die Akzeptanz der Entscheidungsträger*innen, die Bereitschaft zur Zusammenarbeit zwischen den Akteuren und das Bewusstsein in den Stadtvierteln und in der breiten Öffentlichkeit bestmöglich fördern.

Durch die kontinuierliche Datenerhebung mittels stationärer Messungen und gezielter Messkampagnen liegen belastbare Daten über die Entwicklung der Vegetation und potenziellen Ökosystemleistungen (Mikroklima, Behaglichkeit) von Fassadenbegrünungen an großflächig verglasten Gebäuden vor. Diese Daten können genutzt werden, um die

Wirksamkeit und die Vorteile der Fassadenbegrünung gegenüber Stakeholdern zu demonstrieren. Hinsichtlich des öffentlichen Interesses und Bewusstseinsbildung lässt sich sagen, dass Fassadenbegrünung zur Verbesserung der städtischen Umwelt beitragen und in der Öffentlichkeit großes Interesse wecken. Die Ergebnisse des Projekts können helfen, das Bewusstsein für umweltfreundliche Bauweisen zu schärfen.

Die positiven Ergebnisse des Forschungsprojekts demonstrieren den praktischen Nutzen und die Effektivität von Fassadenbegrünungen, wodurch die Wahrscheinlichkeit steigt, finanzielle Unterstützung für die Umsetzung weiterer Projekte zu gewinnen. Diese Unterstützung kann entscheidend sein, um die anfänglichen Investitionskosten zu decken und einen langfristigen Betrieb der Begrünung zu sichern, wodurch das Demonstrationsprojekt erfolgreich umgesetzt werden kann. Darüber hinaus können erfolgreiche Demonstrationsprojekte zum Thema Fassadenbegrünungen als Best-Practice für ähnliche Initiativen in anderen Städten dienen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Monitoring ermöglichen es, die Implementierung an unterschiedliche klimatische und städtebauliche Bedingungen anzupassen. Dies ermöglicht es, die positiven Effekte der Fassadenbegrünung in unterschiedlichsten Umgebungen zu realisieren und so die städtische Umwelt nachhaltig zu verbessern. Für die Multiplikation wurden aus den GLASGrün-Erfahrungen Leitfäden und ein Variantenkatalog entwickelt, die als eigenständige Dokumente zur Verfügung stehen (Briefer et al. 2025, Poiss et al. 2025a). Weiters stehen eine wissenschaftliche Publikation zu den ermittelten Grünverschattungsfaktoren im Jahresverlauf (Poiss et al. 2025b) sowie das Dataset des Aussenraummonitorings (Poiss et al. 2025c) zur Verfügung. Weiters sollen auch die Daten aus dem Innenraummonitoring des IBO veröffentlicht werden.

14.2.2 Herausforderungen

14.2.2.1 Planungs- und regulatorische Hürden

Die initialen Kosten für die Umsetzung eines groß angelegten Demo-Projekts zur Fassadenbegrünung können beträchtlich sein. Im konkreten Fall waren es vor allem Materialkosten, die im Rahmen der Teuerungswelle 2020/ 2021 zu Verzögerung und Planänderungen geführt haben. Es ist notwendig, eine detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen und langfristige Finanzierungsmöglichkeiten zu sichern, um das Projekt nachhaltig zu gestalten und finanzielle Risiken zu minimieren. Regulatorische Hürden, Bauvorschriften und städtische Planungsrichtlinien können die Umsetzung von Fassadenbegrünungsprojekten erschweren. Genehmigungsverfahren können zeitaufwändig und kompliziert sein, was zu Verzögerungen und zusätzlichen Kosten führen kann. Es ist wichtig, diese regulatorischen Anforderungen frühzeitig zu berücksichtigen und entsprechende Genehmigungen rechtzeitig einzuholen.

Die Übertragbarkeit der Bauweisen auf andere Bauwerke / Demo-Objekte kann erhebliche technische Herausforderungen mit sich bringen. Dazu zählen sowohl die Auswahl geeigneter Pflanzenarten im Zusammenspiel mit der geeigneten Kletterhilfenstruktur, die Entwicklung und Installation effizienter Bewässerungssysteme sowie die bauliche Integration der

Begrünung in bestehende Strukturen. Diese Aspekte erfordern sorgfältige Planung und möglicherweise spezialisierte, individuelle technische Lösungen.

14.2.2.2 Standardisierung und Validität

Die Standardisierung von Messvorgängen und Sensorausstattung für die Erhebung forschungsrelevanter Daten von Fassadenbegrünungen steht vor der Herausforderung, standortspezifische Unterschiede wie Lage, Größe, Ausrichtung und Ausführung der Begrünung zu berücksichtigen. Dies erfordert eine angepasste Sensorplatzierung und -auswahl, um relevante Daten zu erfassen und Verzerrungen zu vermeiden. Die Interpretation der gesammelten Daten ist komplex und erfordert auch interdisziplinäre Zusammenarbeit. Dennoch ermöglicht eine standardisierte Herangehensweise eine zuverlässige Datenerfassung und -interpretation, die fundierte Erkenntnisse über die Leistung und Effektivität von Fassadenbegrünungen liefert. Aus wissenschaftlicher Sicht jedoch sind Einzelsensormessungen nicht valide, die Platzierung eines umfangreichen Sensor-Mess-Netzwerkes mit adäquater Sensorausstattung wäre notwendig, um robuste und nicht anfechtbare Aussagen zu erreichen.

14.2.2.3 Pflanzen und Zielvegetation

Die Herausforderung bei der Pflanzenauswahl und Berücksichtigung standortspezifischer Parameter für die Fassadenbegrünung liegt in der Anpassung an eine Vielzahl von Umweltbedingungen. Lokales Klima, Bodenbeschaffenheit, Versiegelungsgrad, Bebauungsdichte, Exposition und die Ausführung der Kletterhilfen beeinflussen das Wachstum und die Entwicklung der Pflanzen maßgeblich. Daher erfordert die Auswahl zueinanderpassender Kletterhilfen und Pflanzen eine sorgfältige Abstimmung auf die spezifischen Standortbedingungen, um optimales Wachstum zum Erreichen der Zielvegetation sicherzustellen.

Eine weitere Herausforderung besteht in der langfristigen Instandhaltung und Pflege der Fassadenbegrünung. Diese umfasst regelmäßige Bewässerung, den Rückschnitt der Pflanzen, die Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten sowie die regelmäßige Inspektion der bautechnischen und technischen Einheiten und ist entscheidend für den anhaltenden Erfolg des Projekts. Eine kontinuierliche Pflege ist notwendig, um die Funktionalität und Ästhetik der Begrünung dauerhaft zu gewährleisten. Diese ganzheitliche Betrachtung ermöglicht es, die Herausforderungen der Fassadenbegrünung erfolgreich zu bewältigen und nachhaltige Lösungen zu entwickeln, die sowohl ästhetisch ansprechend als auch ökologisch wertvoll sind.

14.2.3 Risiken

14.2.3.1 Akzeptanz

Die aktive Beteiligung der Anwohner*innen und Immobilienbesitzer*innen ist entscheidend für den Erfolg des Projekts. Bei Objekten im öffentlichen Raum spielt u.U. auch Akzeptanz durch die Öffentlichkeit eine Rolle. Widerstand oder mangelndes Interesse auch bei Behörden können die Umsetzung erheblich verzögern oder sogar verhindern. Daher ist es wichtig, von Anfang an Transparenz und Inklusion zu fördern. Im Rahmen des Projekts wurden deshalb an beiden Demo-Standorten Informationstafeln angebracht, die Informationen zum Projekt und der zu erwartende Wirkung der Begrünung vermitteln sollen.

14.2.3.2 Ausbleibender Begrünungserfolg

Es besteht das Risiko, dass die langfristigen Effekte der Fassadenbegrünung nicht den hohen Erwartungen entsprechen. Sollten die erwarteten Vorteile, wie verbesserte Beschattungsleistung, Behaglichkeitsvorteile und Energieeinsparungen nicht in ausreichendem Maße eintreten, könnte dies die Akzeptanz und das Vertrauen in ähnliche zukünftige Projekte mindern. Extreme Wetterbedingungen, wie Hitzewellen oder Frostperioden, können zu Schäden an den Pflanzen oder zum Totalausfall der Vegetation führen und dadurch die erwarteten Effekte mindern. Solche Probleme bringen zusätzliche Kosten und Herausforderungen mit sich, die die Projektplanung und -durchführung beeinträchtigen können. Eine schnelle und effektive Reaktion auf diese unvorhergesehenen Herausforderungen ist essenziell für den langfristigen Erfolg des Projekts.

14.2.3.3 Potenzielle Nachteile von stationären Messungen

Stationäre Messungen zur Daueraufzeichnung von Messdaten erlauben Beobachtungsreihen über definierte Zeiträume oder saisonale Perioden und unterstützen das Verständnis witterungsbedingter Einflüsse, Muster oder Besonderheiten. Abseits von der Investition sind damit laufende Kontrollen und Wartungsarbeiten verbunden bzw. Ersatzinstallationen im Falle nicht reparierbarer Sensorausfälle. Zudem ist ein reibungsloser Datentransfer (z.B. über WLAN), Speicherung (z.B. über Clouds oder externe Server) und ein Backup-Management erforderlich. Dennoch ist es selten möglich, u.U. auftretende kurzfristige Datenverluste vollständig zu vermeiden. Abseits davon ergeben sich weitere Nachteile beim Einsatz stationärer Messsysteme:

- **Begrenzte Flexibilität:** Durch eine fixe Position werden möglicherweise nicht alle relevanten Bereiche der Begrünung erfasst;
- **Verschmutzung:** Sensoren, die längere Zeit im Freien installiert sind, können durch Staub, Witterung, Laub oder Vogelkot verschmutzt werden. Dies kann zu Verfälschungen der Messergebnisse führen;
- **Wetterbedingungen:** Starker Regen, Schnee oder Eis können die Sensoren blockieren oder die Messgenauigkeit beeinträchtigen;

- **Drift:** Über die Zeit können die Messgenauigkeit und Kalibrierung der Sensoren nachlassen, was zu ungenauen Daten führt;
- **Wartungsbedarf:** Regelmäßige Wartung und Kalibrierung sind notwendig, möglicherweise aber zeitaufwendig und schwer durchzuführen, wenn die Sensoren an schwer zugänglichen Stellen installiert sind;
- **Lokalisierte Messung:** Fixe Sensoren messen nur an einem spezifischen Punkt, was bedeutet, dass sie lokale Unterschiede innerhalb des Messobjekts, z.B. einer Begrünung, nicht erfassen können;
- **Mikroklimatische Effekte:** Unterschiedliche Bereiche der Fassade können unterschiedliche Mikroklimata aufweisen, die nicht von einem einzelnen fix installierten Sensor erfasst werden;
- **Technische Ausfälle:** Fixe Sensoren können ausfallen oder Fehlfunktionen aufweisen, was zu Datenlücken führt, insbesondere wenn der Ausfall nicht sofort bemerkt wird;
- **Wachstum der Pflanzen:** Pflanzen wachsen und verändern sich, fix positionierte Sensoren können diese dynamischen/ saisonale Veränderungen nicht flexibel erfassen – z.B. Solarstrahlung.

Insbesondere technische Probleme wie Sensor- und Loggerausfall können den Verlust wertvoller Daten nach sich ziehen, die für die Bewertung der Wirksamkeit des Projekts unerlässlich sind. Der Verlust oder die ungenaue Erfassung von Daten kann die Analyse und Berichtslegung über die erzielten Kühleffekte und anderen Umweltvorteile beeinträchtigen. Es ist daher unerlässlich, redundante Messsysteme und eine regelmäßige Datensicherung einzurichten, um die Kontinuität und Genauigkeit der Datenerfassung zu gewährleisten.

14.2.4 Fazit und Ausblick

14.2.4.1 Fazit zum Monitoring im Innen- und im Aussenraum

Aus dem Monitoring konnten aus mehreren Gründen (u.a. zu hohe innere Lasten, seitliche und diffuse Einstrahlung, Änderung im Nutzer*innenverhalten, fehlende Referenzräume) keine belastbaren Rückschlüsse auf die Wirkung der begrünten Fassaden auf die Objekte bzw. **Innenräume** gezogen werden. Die Ergebnisse der Simulationen zum Innenraum zeigen jedoch, dass durch Grünverschattung sowohl deutliche Verbesserungen des thermischen Komforts erzielt als auch die solaren Einträge in den Innenraum um mehr als 50 % reduziert werden können.

Bei der Positionierung der Begrünung, insbesondere dem Abstand zur Fassade, sollten die baulichen Gegebenheiten (z.B. Vordächer oder Horizontverschattungen) sowie der Sonnenverlauf berücksichtigt werden, um die größtmögliche Wirkung zu erzielen. Die im vorliegenden Projekt ermittelten Grünverschattungsfaktoren im Jahresverlauf bieten eine solide Grundlage für weiterführende Untersuchungen.

Für den **Außenraum** lieferte das Projekt zahlreiche wertvolle Erkenntnisse:

- ✓ Die wenig verfügbaren Informationen und Berichte zur Transmission von Solarstrahlung durch den Grünkörper bestätigten sich auch an den Vertikalanlagen: im 3. Standjahr werden in den Peakmonaten (Peak Belaubung und Peak solare Belastung) 90 % der eintreffenden Solarstrahlung vom Laub zurückgehalten, das meiste davon wird absorbiert.
- ✓ Es wurde ein Grünverschattungsfaktor F_{bs} generiert, der als Grundlage für Berechnungen, Modelle und den Energieausweis dient.
- ✓ Es ist möglich, durch korrekte Errichtung und Umsetzung und adäquate Anwuchs- und Erziehungspflege die Blattbedeckung zu fördern, im 3. Standjahr bereits Höhen bis > 4 m zu überwinden und Deckungsgrade bis 90 % (Zielfläche als auch projektiv) zu erreichen.
- ✓ Je nach Kletterpflanzenart wird auch in dieser Zeit bereits ausreichende Blattfläche entwickelt ($LAI > 4$), die entsprechende Beschattungs- und Absorptionsleistung bietet.
- ✓ Durch das Laub und die Evapotranspiration unterbleibt die Bildung von Hitzespots bzw. die Wärmerückstrahlung von aufgeheizten Bauteilen: die Lufttemperatur hinter dem Laub wird konstant gehalten bzw. die relative Luftfeuchte angehoben.

14.2.4.2 Fazit zur Kosten-Nutzen-Einschätzung

Eine rein monetäre Kosten-Nutzen-Analyse greift zu kurz, um die vielfältigen Vorteile der im Projekt umgesetzten GLASGRÜN Varianten abzubilden. Etablierte Bewertungsmethoden stoßen an ihre Grenzen, da nicht-monetäre Faktoren wie soziale Interaktion, mikroklimatische Effekte oder Aufenthaltsqualität oft unberücksichtigt bleiben. Im Projekt wurden daher neben den Umsetzungskosten auch qualitative Nutzenaspekte anhand von Literatur, Messwerten und Befragungen erfasst.

Die Ergebnisse zeigen standort-, regions- und systemabhängige Unterschiede in Kosten, Wirkungen und Einsparungen. Die valide Bewertung an den Demo-Standorten war durch zusätzliche Einflussfaktoren erschwert.

Nicht-monetär direkt bewertbare Vorteile umfassen u.a. bessere Luftqualität, erhöhte Aufenthaltsqualität, ästhetische Aufwertung und Lärminderung – zentrale Faktoren für eine ganzheitliche Bewertung von Vertikalbegrünungen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg.

Zudem wurden Grundlagen aus den Ergebnissen aus dem mikroklimatischen, bauphysikalischen energietechnischen und sozialwissenschaftlichen Monitoring zur Integration in Planung abgeleitet und behördenrelevante Prozesse aufgezeigt.

14.2.4.3 Fazit zur Wahrnehmungs- und Akzeptanzanalyse

Insgesamt sehen wir aus den Umfragen und der Wahrnehmungsstudie, dass die Akzeptanz von vertikaler Grünverschattung bzw. Grünfassaden hoch ist und nicht das Problem darstellt.

Wichtig ist es, zielgruppenspezifisch relevante Information v.a. über die Kosten und den Pflegeaufwand bereit zu stellen. Zu dieser Information gehört auch Wissen über Pflanzen: Pflanzen welken, wachsen und haben je nach Alter, Saison und Wetter ein unterschiedliches Erscheinungsbild. Gute Kommunikation und Prozessbegleitung führt zur Identifikation mit der Maßnahme bei Mitarbeiter*innen und Passant*innen, wodurch sich die Akzeptanz signifikant erhöhen lässt.

Relevant für Entscheidungsträger*innen ist, dass eher multifunktionale Vorteile überwiegen, denn messbare Ergebnisse. Karutz et al. (2024, S. 210) etwa betont das Potenzial für das hochsommerliche Wohlbefinden der Bewohner*innen, obwohl die Autor*innen die Erhöhung von Quartiersresilienz gegenüber Hitze durch Begrünung von Fassaden eher gering einschätzt. Eine umfassende Betrachtung und Bewertung von Empfindungen und Akzeptanz sind notwendig für Vergleiche mit technischen Lösungen (z.B. Beschattungselemente, Klimanlagen etc.), da Multifunktionalität von grünen Infrastrukturen, zu denen auch Bauwerksbegrünungen zählen, eine Kerncharakteristik darstellen. Mit Hitze stehen auch andere Stressoren wie z.B. Luftverschmutzung in enger Verbindung, Karutz et al. (2024, S. 210) fordert daher, die Spezifizierung von Resilienz („wogegen“) nicht eng zu fassen und nicht auf singulären Definitionen aufzubauen (siehe Helbig et al. Im genannten Sammelband, Kap. 15 und Rink et al. in diesem Band geforderte Spezifizierung „Resilienz wogegen“.

14.2.4.4 Der GLASGrün-Leitfaden mit Variantenkatalog und der GLASGrün-Pflegeleitfaden

Glasfassaden mit Begrünungen, wie sie im Projekt GLASGrün untersucht wurden, bieten zahlreiche Vorteile und gelten als zukunftsichere Lösung in der modernen Architektur. Sie verbinden Ästhetik, Funktionalität und nachhaltige Verbesserung der Umgebungsbedingungen, um den Herausforderungen des Klimawandels und der urbanen Verdichtung zu begegnen. Sie können dazu beitragen, die festgelegten Energieeffizienzstandards und Anforderungen der Richtlinie zu erfüllen und den Energieverbrauch zu minimieren. Begrünungen wirken zudem schallabsorbierend und verbessern die akustischen Eigenschaften in urbanen Räumen, sie schaffen eine visuell ansprechende Umgebung und steigern das Wohlbefinden der Menschen.

Das Projekt GLASgrün hat hierzu fundamentale Beiträge geleistet, die im vorliegenden Bericht dokumentiert wurden. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden zusätzlich der *„GLASGrün-Leitfaden und Variantenkatalog zum wirksamen Einsatz von Vertikalbegrünungen bei (Gewerbe)Gebäuden mit Glasflächen“* von Briefer et al. (2025) sowie der *„GLASGrün-Pflegeleitfaden“* von Poiss et al. (2025a) erarbeitet. Sie sind in derselben Publikationsreihe von *Nachhaltig Wirtschaften* veröffentlicht und als Open Source verfügbar.

Diese Leitfäden beinhalten praxistaugliche Empfehlungen für Planer*innen, (Landschafts-)Architekt*innen, Gebäudetechniker*innen, Bauträger*innen sowie Grünraumpfleger*innen und Klimagärtner*innen. Die erarbeiteten Begrünungssysteme sind modular konzipiert,

skalierbar und auf verschiedene Gebäudetypen übertragbar. Neben technischen Details werden auch Aspekte wie Pflanzenwahl, Kletterhilfen, erwartbare Wirkungen sowie die Pflegeanforderungen behandelt. Die Leitfäden beinhalten ausführliche Beschreibungen und Checklisten zu:

- ✓ Standortanforderungen
- ✓ Bautechnischen Anforderungen und Verfahrensabläufe
- ✓ Vegetationstechnische Anforderungen
- ✓ den GLASGrün-Variantenkatalog
- ✓ Erwartbare Wirkungen
- ✓ Best-Practice aus dem GLASGrün-Projekt
- ✓ Hinweise zur Anwuchs- Entwicklungs- und Erhaltungspflege.

15 Verzeichnisse

15.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: GLASGrün-Vision und intendierte Lösungen für Bestandsergänzung, -sanierung und Neubau. ©BOKU-IBLB, 2025.....	23
Abbildung 2: GLASGrün-Ansatz und Workflow zur Erreichung der Projektziele. ©BOKU-IBLB, 2025.....	26
Abbildung 3: Sonnenstandsanalyse Standort SÖLL TIROL (IBO GmbH, erstellt mit 3D Sun-Path). ©IBO, 2025.	32
Abbildung 4: Sonnenstandsanalyse Standort KREUZGASSE WIEN (IBO GmbH, erstellt mit 3D Sun-Path). ©IBO, 2025.....	33
Abbildung 5: Entwurf Klettergerüst mit 3D-Gitter SÖLL TIROL (Variante RATA-Raster in 2D-Projektion), technische Zeichnung. © RATAPLAN, 2022.	37
Abbildung 6: Entwurf I mit Primärkonstruktion aus T-Profilen für Standort KREUZGASSE WIEN. © RATAPLAN, 2024.	38
Abbildung 7: Entwurf II mit L-förmiger Primärkonstruktion aus Rundrohren mit Doppelstabmatten für Standort KREUZGASSE WIEN. © lichtblauwagner architekten, 2024.	39
Abbildung 8: Entwurf III mit L-förmiger Primärkonstruktion aus Rundrohren mit Sekundärkonstruktion für Standort KREUZGASSE WIEN. © lichtblauwagner architekten, 2024, Rendering Begrünung: BOKU-IBLB.....	40
Abbildung 9: Prozess und Ablauf der Vorprüfungen zur Einreichung der Bauanzeige bei vereinfachtem Genehmigungsverfahren am Beispiel SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	41
Abbildung 10: Detailaufnahmen direkt nach der Umsetzung des Demo-Objekt in SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.	42
Abbildung 11: Detailaufnahmen direkt nach der Umsetzung des Demo-Objekt in DER KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.	44
Abbildung 12: Messpunkte Standort SÖLL TIROL. ©IBO, 2025.	46
Abbildung 13: Messpunkte Standort WIEN, KREUZGASSE WIEN. ©IBO, 2025.....	47
Abbildung 14: Simulationsmodelle SÖLL TIROL. ©IBO, 2025.	48
Abbildung 15: Messpunkte Simulationsmodell SÖLL TIROL. ©IBO, 2025.	49
Abbildung 16: Simulationsmodelle WIEN, KREUZGASSE WIEN. ©IBO, 2025.	49
Abbildung 17: Messpunkte Simulationsmodelle WIEN, KREUZGASSE WIEN. ©IBO, 2025...	50
Abbildung 18: Stationäre Messeinheit SÖLL TIROL, links: Messeinheit hinter der Begrünung (Strahlungssensor, Tair/rhum Sensor), mitte: Klimastation am Dach für Referenzwerte	

(Vaisala Wetterstation und Strahlungssensor),WIEN KREUZGASSE rechts: NetRadiometer und Tair/rhum Sensor. ©BOKU-IBLB, 2025.	52
Abbildung 19: Datenzentrale SÖLL TIROL, die Datenlogger wurden in witterungsbeständigen Schaltschränken verbaut, Solarstrahlung (I_{sol}). ©BOKU-IBLB, 2025..	54
Abbildung 20: Mittels der digitalen Bildbearbeitungssoftware Affinity Photo (Serif, 2015) wurde ein kontrastreiches schwarzweiß Bild erstellt, um die bedeckten Pixel durch Vegetation hervorzuheben (aus Poiss et al. 2025b).	59
Abbildung 21: Zur Verbesserung des Kontrasts der Begrünung auf den Fotos wurde ein weißes Vlies an der Rückseite der Kletterhilfen befestigt, hier veranschaulicht an MP4 (<i>V. coignetiae</i>). ©BOKU-IBLB, 2025.	59
Abbildung 22: Schema der Messungen mit dem AccuPAR LP-80 je Messpunkt am Standort SÖLL TIROL. Die Messung mit dem Ceptometer erfolgte an 9 Punkten hinter der Vegetation, der Referenzsensor wurde vor seitlich vor der Vegetation in 2m Höhe für alle Messungen gehalten (aus Poiss et al. 2025).	61
Abbildung 23: Schema der Messungen mit dem AccuPAR LP-80 je Messpunkt am Standort KREUZGASSE WIEN WIEN. Die Messung mit dem Ceptometer erfolgte an 6 Punkten hinter der Vegetation, der Referenzsensor wurde vor seitlich vor der Vegetation in 2m Höhe für alle Messungen gehalten. ©BOKU-IBLB, 2025.	62
Abbildung 24: Messung der stomatären Leitfähigkeit (<i>stomatal conductance</i> g_s) an <i>W. sinensis</i> mit AP4 Porometer, Standort SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.	64
Abbildung 25: Visualisierung Variante RATA Raster als Trogvariante Demo-Objekts SÖLL TIROL und nach Umsetzung 2022. © RATAPLAN, 2022.	77
Abbildung 26: Visualisierung des Demo-Objekts KREUZGASSE WIEN. © lichtblauwagner architekten, 2023.	80
Abbildung 27: Kühlgradstunden, Standort SÖLL TIROL für die Monate Juni bis August 2022 – 2024. © IBO, 2025.	81
Abbildung 28: Globalstrahlung Standort SÖLL TIROL für die Monate Juni bis August 2022 – 2024. © IBO, 2025.	82
Abbildung 29: Positionierung der Sensoren, Standort SÖLL. © IBO, 2025.	82
Abbildung 30: Innenraumlufttemperaturen (Stundenmittelwerte) Standort SÖLL TIROL 2022 – 2024. © IBO, 2025.	83
Abbildung 31: Stromverbrauch Klimaanlage Standort SÖLL TIROL: aufgrund von individuell bedingten Nutzer*innenänderungen nicht als Bewertungsparameter geeignet. © IBO, 2025.	84
Abbildung 32: Behaglichkeitsfeld, SÖLL TIROL, Messpunkt D, Sommer 2022. © IBO, 2025.	85
Abbildung 33: Behaglichkeitsfeld, SÖLL TIROL, Messpunkt D, Sommer 2023. © IBO, 2025.	85
Abbildung 34: Behaglichkeitsfeld, SÖLL TIROL, Messpunkt D, Sommer 2024. © IBO, 2025.	86

Abbildung 35: Behaglichkeitsfeld-Klassen Standort SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	86
Abbildung 36: Messpunkte thermische Gebäudesimulation für die Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	88
Abbildung 37: PPD (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 ohne Begrünung, Standort SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	88
Abbildung 38: PPD (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>) nach ÖNORM EN ISO 7730:2023 mit Begrünung, Standort SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	89
Abbildung 39: Solare Transmission Süd-Ost Fassade mit und ohne Begrünung auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort SÖLL TIROL (Flächenbezug Glasfassade 97 m ²). © IBO, 2025.....	90
Abbildung 40: Solare Transmission Nord-West Fassade mit und ohne Begrünung auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort SÖLL TIROL (Flächenbezug Glasfassade 50 m ²). © IBO, 2025.....	90
Abbildung 41: Solarer Eintrag auf Süd-Ost und Nord-West Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung Standort SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	91
Abbildung 42: Solarer Eintrag auf Süd-Ost Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung Standort SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	92
Abbildung 43: Solarer Eintrag auf Nord-West Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung Standort SÖLL TIROL. © IBO, 2025.....	92
Abbildung 44: Kühlgradstunden Standort KREUZGASSE WIEN. © IBO, 2025.....	93
Abbildung 45: Globalstrahlung Standort KREUZGASSE WIEN. © IBO, 2025.....	94
Abbildung 46: Messpunkte Innenraumsensoren Standort KREUZGASSE WIEN.....	94
Abbildung 47: Innenraumtemperaturen Standort KREUZGASSE WIEN. © IBO, 2025.....	95
Abbildung 48: Behaglichkeitsfeld-Klassen, Standort KREUZGASSE WIEN. © IBO, 2025.....	96
Abbildung 49: Messpunkte thermische Behaglichkeit im Innenraum für die Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort KREUZGASSE WIEN. © IBO, 2025.....	97
Abbildung 50: PPD (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>) Objekt ohne Begrünung, Standort KREUZGASSE WIEN. © IBO, 2025.....	98
Abbildung 51: PPD (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>) Objekt mit Begrünung, Standort KREUZGASSE WIEN © IBO, 2025.....	98
Abbildung 52: Solare Transmission Süd-Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, Standort KREUZGASSE WIEN (Größe Glasfassadenfläche 57 m ²). © IBO, 2025.....	99

Abbildung 53: Wärmeeintrag auf Süd-Fassade auf Basis der Simulationsanwendung IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1, mit und ohne Begrünung, Standort KREUZGASSE WIEN (Größe Glasfassadenfläche 57 m ²). © IBO, 2025.....	100
Abbildung 54: Verortung der GLASGrün-Systeme, Pflanzenarten und der Messpunkte am Demo-Objekt in SÖLL TIROL; Quelle: tiris, TIROL.gv.at, verändert. ©BOKU-IBLB, 2025. ...	101
Abbildung 55: Saisonale Entwicklung Deckungsgrad Zielfläche [%] im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – September 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 Nord-West-Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost-Seite); MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO). ©BOKU-IBLB, 2025.....	103
Abbildung 56: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb des 3. Standjahres (2024) am Beispiel von <i>A. macrophylla</i> , MP8 an der Süd-Ost-Fassade an Standort SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	104
Abbildung 57: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb des 3. Standjahres (2024) am Beispiel von <i>W. sinensis</i> , MP7 an der Süd-Ost-Fassade, Standort SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	105
Abbildung 58: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb der 3. Vegetationsperiode (2024) am Beispiel von <i>H. lupulus</i> , MP6 an der Süd-Ost-Fassade an Standort SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	106
Abbildung 59: Dynamische Entwicklung der Vegetation innerhalb des 3. Standjahres (2024) am Beispiel von <i>V. coignetiae</i> , MP5 an der Süd-Ost-Fassade an Standort SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	107
Abbildung 60: Entwicklung des Wand-Blattflächenindex (WLAI) im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 Nord-West Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost Seite); MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO). ©BOKU-IBLB, 2025.	108
Abbildung 61: Entwicklung des kubischen Volumens [m ³] im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 NW-Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 SO-Seite); MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO). ©BOKU-IBLB, 2025.....	110
Abbildung 62: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m ⁻² s ⁻¹] MP1 bis MP4 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 1 – 4 Nord-West-Seite); MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW; n = 108); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW; n = 108); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW, n = 108); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW; n = 108). ©BOKU-IBLB, 2025.....	112

Abbildung 63: Stomatäre Leitfähigkeit [$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] MP5 bis MP8 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost-Seite); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO; $n = 108$); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO; $n = 108$); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO, $n = 108$); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO; $n = 108$). ©BOKU-IBLB, 2025.	113
Abbildung 64: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP1 <i>A. macrophylla</i> (NW-Fassade). Tageseinträge sehr niedrig aufgrund Beschattung durch Nachbargebäude. ©BOKU-IBLB, 2025.	115
Abbildung 65: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP2 <i>W. sinensis</i> (NW-Fassade). Tageseinträge sehr niedrig aufgrund Beschattung durch Nachbargebäude. ©BOKU-IBLB, 2025.	116
Abbildung 66: Jahresstrahlungsgrafik aus Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP3 <i>H. lupulus</i> (NW-Fassade). Sensordatenaufzeichnung 2023 bis Mitte Juni fehlerhaft. ©BOKU-IBLB, 2025.	117
Abbildung 67: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP4 <i>W. sinensis</i> (NW-Fassade). Sensordatenaufzeichnung 2023 bis Mitte Juni fehlerhaft. ©BOKU-IBLB, 2025.	118
Abbildung 68: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP5 <i>V. coignetiae</i> (SO-Fassade). 2023 ist der Pflegeeingriff Ende Oktober in den Strahlungsdaten sowie dem F_{bs} sichtbar. ©BOKU-IBLB, 2025.	119
Abbildung 69: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im	

Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP6 <i>H. lupulus</i> (SO-Fassade). 2024 ist zwischen Juni und Anfang August eine Verringerung der Strahlungswerte vor der Begrünung zu sehen, was durch die Beschattung durch Laub des vorderen Sensors erklärt werden kann, die beim nächsten Monitoring wieder entfernt wurden. ©BOKU-IBLB, 2025.	120
Abbildung 70: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [kWh/m ² ·d] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP7 <i>W. sinensis</i> (SO-Fassade). 2023 ist der Pflegeeingriff Ende Oktober in den Strahlungsdaten sowie dem F_{bs} sichtbar. ©BOKU-IBLB, 2025.....	121
Abbildung 71: Jahresverlauf Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [kWh/m ² ·d] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2023 (oben) und 2024 (unten) am Demostandort SÖLL TIROL, MP8 A. <i>Macrophylla</i> (SO-Fassade). Die Einstrahlungssummen an MP8 sind etwas geringer als an MP 5 – 7, das kann an einem Kleinbaum liegen, der in ca. 3 Meter Entfernung zu diesem Messpunkt steht und den solaren Strahlungseintrag insgesamt verringert. ©BOKU-IBLB, 2025.....	122
Abbildung 72: Temperaturverlauf im Vergleich: Tagesverlauf der Lufttemperatur zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün) und SO-(gelb) Fassade, Lufttemperatur am Dach (schwarz) [°C]; relative Luftfeuchtigkeit in gepunkteten Linien an der sekundären Y-Achse dargestellt; SÖLL TIROL, beispielhaft für 29.Juni 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.....	125
Abbildung 73: Windgeschwindigkeit im Vergleich: Tagesverlauf der Windgeschwindigkeit [m/s] vom 29.06.2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-Fassade (grün) und der Windgeschwindigkeit am Dach (schwarz) [°C]; SÖLL TIROL 29.Juni 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.....	126
Abbildung 74: Durchschnittliche Lufttemperatur im Vergleich: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün) und SO-(gelb)Fassade, Lufttemperatur am Dach (schwarz) [°C]; SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	127
Abbildung 75: Durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit im Vergleich: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün) und SO-(gelb)Fassade, relative Luftfeuchtigkeit am Dach (schwarz) [%]; SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	128
Abbildung 76: Durchschnittliche Windgeschwindigkeit im Vergleich: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024	

zwischen Begrünung und Glasfassade an NW-(grün), Windgeschwindigkeit am Dach (schwarz) [m/s]; SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.....	129
Abbildung 77: Streudiagramm mit Trendlinie und linearem Modell von Deckungsgrad ($n = 48$), Wall Leaf Area Index ($n = 48$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 46$) der Monitoringdaten 2023 und 2024 SÖLL TIROL, 2. und 3. Standjahr. ©BOKU-IBLB, 2025.....	131
Abbildung 78: Verortung der GLASGrün-Systeme in Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) KREUZGASSE WIEN (Quelle: ViennaGIS; WIEN.gv.at, verändert). ©BOKU-IBLB, 2025.....	133
Abbildung 79: KREUZGASSE WIEN: Saisonale Entwicklung des projektiven Deckungsgrad [%] im 2. Standjahr 2024; Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3), alle bewachsen mit <i>W. sinensis</i> . ©BOKU-IBLB, 2025.	134
Abbildung 80: Dynamische Entwicklung der Vegetation im Mai der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.....	134
Abbildung 81: Dynamische Entwicklung der Vegetation im Juli der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.....	135
Abbildung 82: Dynamische Entwicklung der Vegetation im August der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.....	135
Abbildung 83: Dynamische Entwicklung der Vegetation im September der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.	136
Abbildung 84: Entwicklung des Wand-Blattflächenindex (WLAI) im saisonalen Verlauf 2024 von <i>W. sinensis</i> in Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.....	136
Abbildung 85: Entwicklung des kubischen Volumens [m^3] im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.	137
Abbildung 86: Stomatäre Leitfähigkeit [$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] von <i>W. sinensis</i> aus T1, T2 & T3 ($n=96$) im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) Standort KREUZGASSE WIEN. ©BOKU-IBLB, 2025.....	138
Abbildung 87: Sensorverortung am Standort KREUZGASSE WIEN. Rot markiert sind Sensoren vor der Begrünung, in Grün, Sensoren hinter der Begrünung (Bild aufgenommen vor der Pflege im September 2024). ©BOKU-IBLB, 2025.	139
Abbildung 88: Jahresverlauf solare Einstrahlung vor und hinter der Begrünung GLASGrün-System KREUZGASSE WIEN: Tagessummen des Energieeintrags erfasst durch Pyranometer [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{d}$] und Grünverschattungsfaktor F_{bs} . ©BOKU-IBLB, 2025.....	140

Abbildung 89: Jahresverlauf solare Strahlung aus Net Radiometer GLASGrün System KREUZGASSE WIEN; Tagessummen des Energieeintrags [kWh/m ² ·d] und Grünverschattungsfaktor F_{bs} . ©BOKU-IBLB, 2025.	141
Abbildung 90: Lufttemperaturvergleich [°C] vor (grau) und hinter (grün) dem GLASGrün System KREUZGASSE WIEN WIEN; die sekundäre Y-Achse zeigt in gepunkteten Linien die relative Luftfeuchtigkeit [%] vor (grau) und hinter (grün) dem System; 30. Juni 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.	142
Abbildung 91: Streudiagramm mit Trendlinie und linearem Modell von Deckungsgrad ($n=12$), Wall Leaf Area Index ($n=12$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 12$) KREUZGASSE WIEN, Monitoringdaten 2. Standjahr 2024. ©BOKU-IBLB, 2025.	143
Abbildung 92:Wahrnehmung von Vor- und Nachteilen einer Fassadenbegrünung für die Demo-Objekte der KREUZGASSE WIEN und SÖLL TIROL. ©BOKU-SEC, 2025.	145
Abbildung 93:Auswertung der Frage: Mikroklimatische Effekte. ©BOKU-SEC, 2025.	149
Abbildung 94: Wahrnehmung von Handlungsbedarf beim Klimawandel. ©BOKU-SEC, 2025.	150
Abbildung 95: Kreuztabelle Maßnahmen gegen den Klimawandel & Vor- und Nachteile der Fassadenbegrünung. ©BOKU-SEC, 2025.	150
Abbildung 96: Gewichtung von Aussagen zu begrünten Fassaden. ©BOKU-SEC, 2025.	152
Abbildung 97: Zustimmung zu Aussagen über Vögel oder Insekten. ©BOKU-SEC, 2025.	153
Abbildung 98:Zustimmung zur Aussage über Ästhetik (Quelle: LimeSurvey Zustimmung). ©BOKU-SEC, 2025.	154
Abbildung 99:Zustimmung zu Aussagen über Wohlbefinden (Quelle: LimeSurvey Zustimmung). ©BOKU-SEC, 2025.	155
Abbildung 100: Infrarotbild (rechts) mit Vergleichsfoto (links), aufgenommen im Juli 2024 am GLASGrün Standort SÖLL TIROL. ©BOKU-IBLB, 2025.	174
Abbildung 101: Maximale Vegetationsentwicklung im Projektzeitraum der SO-Fassade am Standort SÖLL TIROL (3. Standjahr, aufgenommen im September 2024). ©BOKU-IBLB, 2025.	175
Abbildung 103: Vegetationsentwicklung am Standort KREUZGASSE WIEN (links im Projektzeitraum 2. Standjahr September 2024; rechts 3. Standjahr Juni 2025. ©BOKU-IBLB, 2025.	175
Abbildung 104: Vergleich der Pflanzenarten in Jahresstrahlungsgrafiken aus Tagessummen des solaren Strahlungseintrags [kWh/m ² ·d] (graue Balken stellen den Strahlungseintrag vor der Vegetation dar und grüne Balken den Strahlungseintrag dahinter) und Grünverschattungsfaktor F_{bs} (Tagesdurchschnitt) im Jahresverlauf 2024 am Demostandort SÖLL TIROL MP5 <i>V. coignetiae</i> (links oben), MP6 <i>H. lupulus</i> (rechts oben), MP7 <i>W. sinensis</i> (links unten) und MP8 <i>A. macrophylla</i> an der SO-Fassade. ©BOKU-IBLB, 2025.	178

Abbildung 105: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten für das Jahr 2023 und 2024 im Innenraum SÖLL TIROL.	220
Abbildung 106: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten für das Jahr 2023 und 2024 im Außenraum SÖLL TIROL.	220
Abbildung 107: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten im Jahr 2024 im Innenraum KREUZGASSE WIEN.	221
Abbildung 108: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten im Jahr 2024 im Außenraum KREUZGASSE WIEN.	221
Abbildung 109: Beschreibung der Erhebungsmethodik der relevanten Daten im Innenraum.	221
Abbildung 110: Beschreibung der Erhebungsmethodik der relevanten Daten im Außenraum.	222
Abbildung 111: Baustellenprotokoll Implementierung GLASGrün-Systeme Standort SÖLL TIROL	224

15.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertungsmatrix für die Standortwahl der GLASGrün Systeme für den Partner MPREIS.	28
Tabelle 2: Relevante Messparameter in deutscher und englischer Bezeichnung sowie deren Abkürzungen und zugehörige SI-Einheiten.	52
Tabelle 3: Relevante vegetationstechnische und pflanzenphysiologische Parameter in deutscher und englischer Bezeichnung sowie deren Abkürzungen und zugehörige Einheiten.	56
Tabelle 4: Übersicht über die Mess- und Monitoringkampagnen an den Demo-Standorten SÖLL TIROL und KREUZGASSE WIEN nach Datum.	58
Tabelle 5: Begriffsabgrenzung relevanter Begriffe für die Verschattung: Abminderungsfaktor, Gesamtenergiedurchlassgrad, Wärmedurchgangskoeffizient, Shading Coefficient, Grünverschattungsfaktor.	64
Tabelle 6: Hardfacts zum Demo-Objekt SÖLL TIROL.	75
Tabelle 7: Hardfacts zum Demo-Objekt KREUZGASSE WIEN.	78
Tabelle 8: Überblick Messpunkte und Pflanzenarten am Demostandort SÖLL TIROL.....	101
Tabelle 9: Durchschnittliche Tagesumgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit von 06:00 bis 20:00 Uhr: Monatsmittelwerte für Sommermonate Juni, Juli und August 2023 und 2024 hinter Begrünung an NW- und SO-Fassade, Referenzmessungen am Dach; SÖLL TIROL.	124

Tabelle 10: Durchschnittliche nächtliche Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit von 21:00 bis 05:00 Uhr: Monatsmittelwerte für die Sommermonate Juni, Juli und August 2023 und 2024 hinter Begrünung an NW- und SO-Fassade, Referenzmessungen am Dach; SÖLL TIROL.	124
Tabelle 11: Bivariate Korrelation nach Spearman-Rho von Deckungsgrad ($n = 12$), Wall Leaf Area Index ($n = 12$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 12$) der Monitoringdaten 2024 SÖLL TIROL, 3. Standjahr. ©BOKU-IBLB, 2025.	130
Tabelle 12: Bivariate Korrelation nach Spearman-Rho von Deckungsgrad ($n=12$), Wall Leaf Area Index ($n=12$) und Grünverschattungsfaktor ($n = 12$) der Monitoringdaten 2024 KREUZGASSE WIEN, 2. Standjahr. ©BOKU-IBLB, 2025.....	142
Tabelle 13: Heatmap der wichtigsten Vor- und Nachteile nach Ort und Umfragephase (Quelle: LimeSurvey); aH = absolute Häufigkeit; P = relative Häufigkeit.	147
Tabelle 14: Aussagen zu begrünten Fassaden aus den GLASGrün-Umfragen in der KREUZGASSE WIEN und SÖLL TIROL.....	151
Tabelle 15: Kostenaufwand Errichtung GLASGRÜN RATA-Raster Standort SÖLL TIROL Umsetzung 2022. Betrachtungszeitraum für Instandhaltungskosten 30 Jahre. Gesamtkosten 30 Jahre, Jahreskosten sowie m^2 -Kosten/Jahr (jährliche Inflationsanpassung 2,5 % Prozente nach Stampfl 2024).	157
Tabelle 16: Kostenaufwand Errichtung GLASGRÜN LIWA Rundrohre (Primärkonstruktion) mit Querverbindungen (Sekundärkonstruktion) mit aufgesetztem Trog (unten offen) am Standort KREUZGASSE WIEN, Umsetzung 2023. Betrachtungszeitraum für Instandhaltungskosten 30 Jahre Jahreskosten sowie m^2 -Kosten/Jahr (jährliche Inflationsanpassung 2,5 % Prozente nach Stampfl 2024).	158
Tabelle 17: Monatsmittel des Grünverschattungsfaktors (<i>Bioshading Coefficient</i>) für <i>A. macrophylla</i> , <i>W. sinensis</i> , <i>H. lupulus</i> und <i>V. coignetiae</i> in NW-Exposition Standort SÖLL TIROL (3. Standjahr, 2024, vollentwickelte Grünfassade). Fettmarkierte Werte stellen Strahlungsreduktionen durch die Begrünung > 50 %.	170
Tabelle 18: Monatsmittel des Grünverschattungsfaktors (<i>Bioshading Coefficient</i>) für <i>A. macrophylla</i> , <i>W. sinensis</i> , <i>H. lupulus</i> und <i>V. coignetiae</i> in SO-Exposition Standort SÖLL TIROL (3. Standjahr, 2024, vollentwickelte Grünfassade). Fettmarkierte Werte stellen Strahlungsreduktionen durch die Begrünung > 50 %.	171
Tabelle 19: Gemessene Maximalwerte von Deckungsgrad der Zielfläche (DG_{Ziel}), Wall Leaf Area Index (WLAI) und Grünverschattungsfaktor (F_{bs}) pro Pflanzenart. Alle Maximalwerte entstammen der SO-Fassade in SÖLL TIROL und dem Jahr 2024.	172
Tabelle 20: GLASGrün Projektziele und Bewertung der Zielerreichung	184
Tabelle 21: GLASGrün Forschungsfragen	187
Tabelle 22: GLASGrün Bauprotokoll MPreis Filiale Standort SÖLL (BRIEFER 2022).....	225

Tabelle 23: Entwicklung Deckungsgrad Zielfläche [%] an den Vegetationsstrukturen im saisonalen Verlauf im 2. Standjahr Juni 2023 – September 2024. MP1 – MP4 (Messpunkte 1- 4 Nord-West Seite); MP5 – MP8 (SÖLL, Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost Seite); Am_MP1 (A. <i>macrophylla</i> NW); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO). POISS, 2024.....	229
Tabelle 24: Saisonale Entwicklung Deckungsgrad Zielfläche [%] im 2. Standjahr 2024 Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3), alle bewachsen mit <i>W. sinensis</i> . POISS, 2024.....	229
Tabelle 25: Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (Messpunkte 1- 4 Nord-West-Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost-Seite). MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO). POISS, 2024.....	229
Tabelle 26: Entwicklung des Wand-Blattflächenindex (WLAI) im saisonalen Verlauf 2024 von <i>W. sinensis</i> in Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN, WIEN. POISS, 2024	230
Tabelle 27: Auswertung Kubisches Volumen [m ³] der Vegetationsstrukturen im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1- 4 Nord-West Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost Seite); MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO). POISS, 2024....	230
Tabelle 28: Entwicklung des kubischen Volumens [m ³] im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE WIEN, WIEN. POISS, 2024.....	230
Tabelle 29: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m ⁻² s ⁻¹] MP1 bis MP4 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 1- 4 Nord-West-Seite); MP1 (<i>A. macrophylla</i> NW; n= 108); MP2 (<i>W. sinensis</i> NW; n= 108); MP3 (<i>H. lupulus</i> NW, n= 108); MP4 (<i>V. coignetiae</i> NW; n= 108). POISS, 2024	231
Tabelle 30: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m ⁻² s ⁻¹] MP5 bis MP8 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 5- 8 Süd-Ost-Seite); MP5 (<i>V. coignetiae</i> SO; n= 108); MP6 (<i>H. lupulus</i> SO; n= 108); MP7 (<i>W. sinensis</i> SO, n= 108); MP8 (<i>A. macrophylla</i> SO; n= 108). POISS, 2024.....	237
Tabelle 31: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m ⁻² s ⁻¹] von <i>W. sinensis</i> aus T1, T2 & T3 (n=96) im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) Standort KREUZGASSE WIEN, WIEN. POISS, 2024.....	237
Tabelle 32: Durchschnittliche Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit im Vergleich: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur aus den	

Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW- und SO-Fassade, Lufttemperatur am Dach; SÖLL TIROL. POISS 2024.....	239
Tabelle 33: Lufttemperaturvergleich [°C]; relative Luftfeuchtigkeit [%] 30. Juni 2024; vor und hinter dem GLASGrün System KREUZGASSE WIEN WIEN. POISS 2024.....	240

15.3 Literaturverzeichnis

- Austrian Standards ÖNORM EN 14500:2021: Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren. Wien, 2021.
- Austrian Standards ÖNORM EN 14501:2021: Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Leistungsanforderungen und Klassifizierung. Wien, 2021.
- Austrian Standards ÖNORM EN 410:2011: Glas im Bauwesen – Bestimmung der optischen Eigenschaften von Glas. Wien, 2011.
- Austrian Standards ÖNORM EN 674:2011: Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Verfahren mit dem Plattengerät. Wien, 2011.
- Austrian Standards ÖNORM EN ISO 15927-6:2007: Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden — Berechnung und Darstellung von Klimadaten. Wien, 2007
- Austrian Standards: EN ISO 7730:2023: Ergonomie der thermischen Umwelt—Analytische Bestimmung und Interpretation des thermischen Komforts unter Verwendung der Berechnung der PMV- und PPD-Indizes sowie lokaler Komfortkriterien. Wien, 2023.
- Austrian Standards: ÖNORM B 2501:2025. Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Planung, Ausführung und Prüfung - Ergänzende Bestimmungen zu ÖNORM EN 12056 (alle Teile). Wien, 2025.
- Austrian Standards: ÖNORM B 8110-3:2020. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung). Wien, 2020.
- Austrian Standards: ÖNORM EN ISO 7730:2006: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Wien, 2006
- Austrian Standards: ÖNORM L 1131:2010 Gartengestaltung und Landschaftsbau - Begrünung von Dächern und Decken auf Bauwerken - Anforderungen an Planung, Ausführung und Erhaltung. Wien, 2010.
- Austrian Standards: ÖNORM L 1136:2021. Vertikalbegrünung im Außenraum - Anforderungen an Planung, Ausführung, Pflege und Kontrolle. Wien, 2021.
- Başdoğan, G., Çiğ, A. (2016): Ecological-Social-Economical Impacts of Vertical Gardens in the Sustainable City Model. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 26(3), 430-438.
- Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Würzburg/Veitshöchheim (2000): Projekt Bürobegrünung. Sonderdruck Deutscher Gartenbau Nr. 31, Nr. 32, Nr. 33.
- Briefer A., Poiss M., Wultsch T., Scharf B., Pitha U., Smetschka B., Haas B., Bintinger R., Lipp B., Wagner S., Huber G., Maus K., Formanek S., Stangl R. (2025): GLASGrün-Leitfaden und Variantenkatalog zum wirksamen Einsatz von Vertikalbegrünungen bei Gebäuden mit Glasflächen. Projekt GLASGrün. Projektbericht im Rahmen des Programms Stadt der Zukunft. Berichte aus Energie und Umweltforschung 60b/2025.

- Bringslimark, T., Hartig, T., Patil, G. G. (2009): Der psychologische Nutzen von Zimmerpflanzen: A critical review of the experimental literature. *Zeitschrift für Umweltpsychologie*, 29(4), 422-433.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.05.001>.
- Chaves, M.M., Costa, J.M., Zarrouk, O., Pinheiro, C.s., Lopes, C.M., Pereira, J.S. (2016): Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool? *Plant Science*, Volume 251, 2016, Pages 54-64, ISSN 0168-9452, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.06.015> [17.06.24].
- Conrads J. (2018): Status quo zur Begrünung von Glasfassaden und zur nachträglichen Gebäudeisolierung am Beispiel Universitätsgebäude Muthgasse I der BOKU WIEN [Diplomarbeit / Masterarbeit]. Online: <http://permalink.obvsg.at/bok/AC14558666> [03.01.2025].
- Convertino, F., Vox, G., Schettini, E. (2021). Evaluation of the cooling effect provided by a green façade as nature-based system for buildings. *Building and Environment*, 203(June), 108099.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108099>.
- Damour, G., Simonneau, T., Cochard, H., Urban, L. (2010). An overview of models of stomatal conductance at the leaf level. *Plant, Cell & Environment*, 33(9), 1419–1438. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02181.x>.
- David, M., Donn, M., Garde, F., Lenoir, A. (2011). Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. *Building and Environment*, 46(7), 1489–1496. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.022>.
- De Bock, A., Belmans, B., Vanlanduit, S., Blom, J., Alvarado-Alvarado, A. A., Audenaert, A. (2023). A review on the leaf area index (LAI) in vertical greening systems. In *Building and Environment* (Vol. 229). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109926>.
- Delta-T Devices. (2020). AP4 porometer user manual (Version 4). Online: <https://delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2020/03/AP4-Porometer-User-Manual-A5-v4.pdf> [17.06.24].
- Edelmann, H.P., Minka, A. P. (2018): Effekte und Parameter von Efeu bewachsenen Fassaden im Vergleich zu blanken Hausfassaden In: *Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland XIV: Dokumentation der 14. Tagung.* – Bonn, Deutschland / Bundesamt für Naturschutz: 26-30. ISBN 978-3-89624-234-1.
- Enzi, V. Formanek, S. Mauss, K., Peritsch, M. Schultes, C. (2020): *Green Market Report Austria 2014-2018. Zahlen, Daten, Fakten. Bauwerksbegrünung in Österreich.*
- Equa Simulation (2019): IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) 5.1. Equa Simulation AB. Online: <https://www.equa.se> [18.03.25].
- Europäische Kommission (2023): Überarbeitung der Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD). Brüssel: Europäische Union.
- Europäisches Parlament. (2024). Bericht über den Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Ausweitung der Emissionsminderungsverpflichtungen der Mitgliedstaaten im Rahmen des Klimapakets "Fit für 55".
- Faralli, M., Matthews, J., Lawson, T. (2019): Exploiting natural variation and genetic manipulation of stomatal conductance for crop improvement, *Current Opinion in Plant Biology*, Volume 49, 2019, Pages 1-7, ISSN 1369-5266. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.01.003>.
- Farquhar, G. D., Sharkey, T. D. (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33(1), 317–345. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533>.
- Feldmann, J., Möser, M., Volz, R. (2000): Umweltbelastung durch Verkehrsgeräusche sowie Aspekte der Schallausbreitung und Schallabsorption in Straßenschluchten. *LärmSenken - Nachhaltige Senkung von verkehrsinduzierten Emissionen durch Naturierung von Stadträumen. Symposium „LärmSenken“.* Online: <https://www.researchgate.net/publication/322601365> [16.03.2025].

- Fjeld, T. (2000): Die Auswirkungen der Innenbepflanzung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Arbeitern und Schulkindern. *HortTechnology*, 10(1), 46-52.
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.10.1.46>.
- Formanek S., Mauss, K., Peritsch, M., Schultes, C. (2024): Green Market Report Austria: Bauwerksbegrünung in Österreich 2019-2022. GRÜNSTATTGRAU Forschungs- und Innovations- GmbH (Hrsg.). Online: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/GMR_19_22_komprimiert.pdf [16.03.2025].
- Formanek, S, Dreisiebner, A, Egger, F, Fontana, B, Frithum, R, Haluza, D, Hagstock, R, Jung, M, Klie, A, Lönig, K, Reisinger, K, Riegler, C, Roithmaier, S., Weissenböck, S (2023): Mehrwertorientierte Dachflächennutzung: Positionspapier für mehrwertorientierte Dachflächennutzung im Bestand und Neubau. WIEN. Online [16.03.2025].
- Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE) (Hrsg.) (2017): Hamburgs Gründächer. Eine ökonomische Bewertung. Online: <https://www.hamburg.de/resource/blob/281306/8023dad2c3130442c4683b45ca71beed/d-eine-oekonomische-berwertung-data.pdf> [03.02.2025].
- Geosphere Austria (n.d.): Wetterdaten der Geosphere WIEN. Geosphere Austria. Online: <https://www.geosphere.at> [17.06.24].
- Gupta, S. K., Ram, J., Singh, H. (2018). Comparative Study of Transpiration in Cooling Effect of Tree Species in the Atmosphere. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 06(08), 151–166.
<https://doi.org/10.4236/gep.2018.68011>.
- Haggag, M., Hassan, A., Qadir, G. (2017). Energy and economic performance of plant-shaded building Façade in hot arid climate. *Sustainability (Switzerland)*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/su9112026>.
- Hanley, N., Mourato, S., Wright, R. E. (2001). Choice Modelling Approaches: A Superior Alternative for Environmental Valuation? *Journal of Economic Surveys*, 15(3), 435–462.
<https://doi.org/10.1111/1467-6419.00145>.
- Hollands, J., Korjenic A. (2019): Ansätze zur ökonomischen Bewertung vertikaler Begrünungssysteme. *Bauphysik* 41 (2019), Heft 1, 83-54. DOI: 10.1002/bapi.201800033.
- Hörnschemeyer, B. (2019). Modellierung der Verdunstung urbaner Vegetation Weiterentwicklung des LID-Bausteins im US EPA Storm Water Management Model Forschungsreihe der FH Münster.
https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-658-26284-6_2.
- IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- IG LEBENSZYKLUS (Hrsg.) (2023): MEHRWERTORIENTIERTE DACHFLÄCHENNUTZUNG. Positionspapier für mehrwertorientierte Dachflächennutzung im Bestand und Neubau. WIEN. Online: https://ig-lebenszyklus.at/wp-content/uploads/2023/11/Dachflaechennutzung_WEB.pdf [02.02.2025].
- Ip, K., Lam, M., Miller, A. (2010). Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment*, 45(1), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.003>.
- Jim, C. Y., Hui, L. C., Rupprecht, C. D. D. (2022): Die öffentliche Wahrnehmung von Gründächern und begrünten Wänden in Tokio, Japan: A Call to Heighten Awareness. *Environmental Management*, 70(1), 35-53.
<https://doi.org/10.1007/s00267-022-01625-8>.
- Karutz, R., Zozmann, H., Wollschläger, N., Schlink, U. (2024). Fassadenbegrünung als multifunktionales Anpassungsinstrument gegen Hitze: Ergebnisse des Leipziger Pilotprojekts „Lebendige Wände“. In: Kabisch, S., Rink, D., Banzhaf, E. (eds) *Die Resiliente Stadt*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-66916-7_13.

- Koch, K., Wuyts, K., Denys, S., Samson, R. (2023). The influence of plant species, leaf morphology, height and season on PM capture efficiency in living wall systems. *Science of the Total Environment*, 905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167808>.
- Kruschwitz L., Husmann, S. (2019). Investition und Finanzierung (7. Aufl.). Oldenbourg Verlag.
- Lefevre, A., Malet-Damour, B., Boyer, H., Rivière, G. (2024). Advancing Urban Microclimate Monitoring: The Development of an Environmental Data Measurement Station Using a Low-Tech Approach. *Sustainability (Switzerland)*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/su16073093>.
- Leusden P, F., Freymark, H. (1951): Darstellung der Raumbehaglichkeit für den einfachen praktischen Gebrauch; *Gesundheitsingenieur* 72, Nr.16, 271-27.
- Lohr, V. I. (2007): Der Nutzen der Natur: Was wir darüber lernen, warum Menschen auf die Natur reagieren. *Zeitschrift für PHYSIOLOGISCHE ANTHROPOLOGIE*, 26(2), 83-85. <https://doi.org/10.2114/jpa2.26.83>.
- Lozano, J. E., Nainggolan, D., Zandersen, M., Kofler, V., Kernitzkyi, M., Staccione, A., Bidoli, C., Mysiak, J. (2023). Value categories and approaches to assess NbS economic and financial performance. Invest4Nature Deliverable 2.1. Invest4Nature. Horizon Europe Grant no.101061083. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10834731>.
- Magliocco, A., Perini, K. (2015): Die Wahrnehmung von in die Architektur integriertem Grün: Installation einer grünen Fassade in Genua, Italien. *AIMS Environmental Science*, 2(4), 899. <https://doi.org/10.3934/environsci.2015.4.899>.
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>.
- Marsh, A. (n.d.): SunPath3D Web. Andrew Marsh. Online: <https://andrewmarsh.com/software/sunpath3d-web/> [18.03.25].
- National Institutes of Health (NIH) (n.d.): ImageJ. Version 1.53. U.S. National Institutes of Health. Online: <https://imagej.nih.gov/ij/> [18.03.25].
- Pacheco, R., Ordóñez, J., Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 6, pp. 3559–3573). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>
- Pala, D. (2020). Nutzungsdauer von Immobilien für den Lebensmitteleinzelhandel - Ermittlung mittels Bestandserhebung als Grundlage für die Verkehrswertermittlung [Master Thesis, Technische Universität Wien]. reposiTUm. DOI:10.34726/hss.2020.80782.
- Pérez, G., Coma, J., Chàfer, M., Cabeza, L.F. (2017): Green facade for energy savings in buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect, *Applied Energy*, Volume 187, 2017, Pages 424-437, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.055>.
- Pérez, G., Coma, J., Chàfer, M., Cabeza, L.F. (2022): Seasonal influence of leaf area index (LAI) on the energy performance of a green facade, *Building and Environment*, Volume 207, Part B, 2022, 108497, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108497>.
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., Cabeza, L. F. (2011): Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 88(12), (2011b), 4854–4859. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2011.06.032>.
- Perini, K., Ottelé, M. (2012): Vertical greening systems: Contribution to thermal behaviour on the building envelope and environmental sustainability. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 165, 2012, 239–250. <https://doi.org/10.2495/ARC120221>.

- Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
- Perini, K., Rosasco, P. (2013): Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* 70 (2013) 110-121, Genoa. DOI:10.1016/j.buildenv.2013.08.012.
- Pfeifer, A. (2015): Finanzmathematik. 2. Auflage. Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG. Haan-Gruiten.
- Pichl, M. (2021). Wahrnehmungen zum Einfluss von Vertikalbegrünungen im städtischen Raum. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur WIEN.
- Poiss M., Briefer A., Wultsch T., Scharf B., Pitha U., Stangl R. (2025a). GLASGrün-Pflegeleitfaden zum wirksamen Einsatz von Vertikalbegrünungen bei Gebäuden mit Glasflächen. Projekt GLASGrün. Projektbericht im Rahmen des Programms Stadt der Zukunft. Berichte aus Energie und Umweltforschung 60c/2025.
- Poiss, M., Briefer, A., Scharf, B., Spörl, P., Stangl, R. (2025b). Vertical Greenery as Natural Shading of Glass Facades: Bioshading Coefficients for 4 Climbing Plant Species for Assessment of Shading Performance. *Building and Environment*, 113399. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113399>.
- Poiss, M., Briefer, A., Scharf, B., Pitha, U., Wultsch, T., Bintinger, R., Stangl, R. (2025c). GLASGrün Regulation of Climate, Energy Demand, and Well-being in Glass Structures through Building-integrated Vertical Greenery - Raw Data Outdoor. Dataset. DOI: 10.5281/ZENODO.15089684.
- Quintas-Soriano, C., Martín-López, B., Santos-Martín, F., Loureiro, M., Montes, C., Benayas, J., GarcíaLlorente, M. (2016). Ecosystem services values in Spain: A meta-analysis. *Environmental Science & Policy*, 55, 186–195. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.001>.
- Radić, M., Brković Dodig, M., Auer, T. (2019): Green Facades and Living Walls-A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits. *Sustainability*, 11(17), 4579. <https://doi.org/10.3390/su11174579>.
- Schlößer, S. (2003): Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung. Meinungsbilder Kölner Bürger - Eine Bevölkerungsbefragung. Dissertation, Universität zu Köln.
- Schmauck, S. (2019): Dach- und Fassadenbegrünung - neue Lebensräume im Siedlungsbereich: Fakten, Argumente und Empfehlungen. Bundesamt für Naturschutz. <https://doi.org/10.19217/skr538>.
- Schmidt, M. (2019): Klimawandel und Hitzevorsorge. Begrünte Dächer und Fassaden als Teil einer Lösungsstrategie?. Ditzingen. Online: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-vortraege/ditzingen2019/07Marco_Schmidt_Verdunstungsleistung_Gebaeudegruen.pdf [02.03.2025].
- Serif (2023): Affinity Photo. Version 2.0. Serif. Online: <https://affinity.serif.com> [18.03.2025].
- Stadt WIEN Magistratsabteilung 22 (2025): Straßenseitige Fassadenbegrünung – Förderungsantrag. WIEN. Online: <https://www.WIEN.gv.at/amtshelfer/umwelt/umweltschutz/naturschutz/fassadenbegruenung.html> [03.02.2025].
- Stampfl, E. (2024): Statistik Inflation: in Österreich 2000-2024. Online: <https://www.infina.at/trends/statistik-inflation/> [16.03.2025].
- Stangl, R., Medl, A., Scharf, B., Pitha, U. (2019c): Wirkungen der grünen Stadt: Studie zur Abbildung des aktuellen Wissensstands im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen. BMVIT (Hrsg.), WIEN. Online: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2019-12-wirkungen-gruene-stadt.pdf [23.12.2024].

- Stangl, R., Minixhofer, P., Hörbinger, S., Frühwirth, G., Pitha, U., Friesl-Hanl, W., Jung, M. Heiss, G., Enzi, V., Hofer, G., Preiss, J. (2019a): Urbane Grünraumpotenziale im verBauten BestAnd - Urbane GmbA - Berichte aus Energie- und Umweltforschung 46/2019. Bundesministerium Verkehr, Innovation und Technologie.
- Stangl, R., Pitha, U., Scharf, F., Formanek S., Enzi V. (2019b): Ergebnisse aus dem Diskussionsforum „Wirkungen und Kennwerte von Grünen Infrastrukturen Fokus Mikroklima, Energie- und Wasserhaushalt“. GRÜNSTATTGRAU, BMVIT (Hrsg.), Wien. Online: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/berichte/schriftenreihe-2019-41-gsg-diskussionsforum.pdf [23.12.2024].
- Su, M., Jie, P., Li, P., Yang, F., Huang, Z., Shi, X. (2024). A review on the mechanisms behind thermal effect of building vertical greenery systems (VGS): methodology, performance and impact factors. *Energy & Buildings*, 303, 113785. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113785>.
- Tost, H., Reichert, M., Braun, U. et al. (2019). Neural correlates of individual differences in affective benefit of real-life urban green space exposure. *Nature Neuroscience* 22, 1389–1393. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0451-y>.
- Ulrich, R., Simons, R., Losito, B., Fiorito, E., Miles, M., Zelson, M. (1991): Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), 201-230. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80184-7](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80184-7).
- Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln (Hrsg.) (2015): Glänzende Aussichten? Vogelschlag – Informationen und Maßnahmen gegen das Vogelsterben an unseren Fenstern Online: <https://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/pdf57/vogelschlag.pdf> [22.01.2025].
- Umweltförderung (2025): INFORMATIONENBLATT THERMISCHE GEBÄUDESANIERUNG FÜR BETRIEBE. Online: https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/umweltfoerderung/betriebe/SUN_Betrieb_e/UFI_Standardfall_Infoblatt_GEBSAN.pdf [03.02.2025].
- VDI (2015): VDI Richtlinie 2015-06. Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation). Verein Deutscher Ingenieure. Bauen und Gebäudetechnik (Hrsg.), Düsseldorf.
- Watson, D.T. (1947): Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops: I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years, *Annals of Botany*, Volume 11, Issue 1, January 1947, Pages 41–76. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083148>.
- WKO (2025): der Lebensmittelhandel. Wir nahversorgen Österreich. Hoher Frauenanteil. Online: <https://www.derlebensmittelhandel.at/branche/beschaeftigung-und-ausbildung/hoher-frauenanteil/> [2025-0315].
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y., Wong, N. C. (2009): Energy simulation of vertical greenery systems. *Energy and Buildings*, 41(12), 1401–1408. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.010>.
- Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, L., Zhao, C., Yan, J., Liu, M., Zhao, L. (2022). Seasonal variation in leaf area index and its impact on the shading effects of vertical green facades in subtropical areas. *Building and Environment*, 225(September), 109629. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109629>.
- Zheng, X., Dai, T., Tang, M. (2020): An experimental study of vertical greenery systems for window shading for energy saving in summer. *Journal of Cleaner Production*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120708>.

16 Anhang

16.1 Data Management Plan (DMP)

16.1.1 Datenerstellung und Dokumentation

Für sämtliche erhobene Daten im Innenraum ist das IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie verantwortlich. Die Rohdaten werden auf Zenodo öffentlich zur Verfügung gestellt. Der Hauptverantwortliche (Bintinger, R.) für die Daten ist erreichbar unter der E-Mail-Adresse: rudolf.bintinger@ibo.at.

Für sämtliche erhobene Daten im Außenraum ist das BOKU IBLB verantwortlich. Die Rohdaten sind öffentlich verfügbar unter DOI: [10.5281/ZENODO.15089684](https://doi.org/10.5281/ZENODO.15089684) (Poiss et al. 2025c). Die Hauptverantwortlichen für die Daten sind erreichbar unter der E-Mail-Adresse: rosemarie.stangl@boku.ac.at; ulrike.pitha@boku.ac.at. Mitwirkende bei der Datenerhebung im Außenraum waren Wultsch, T; Poiss, M; Briefer, A; Mezger L. und Spörl, P.

Für die Erhebungen zur Wahrnehmung und Akzeptanz ist das BOKU SEC verantwortlich. Die Rohdaten werden auf Zenodo zur Verfügung gestellt. Die Hauptverantwortliche für die Daten ist erreichbar unter der E-Mail-Adresse: barbara.smetschka@boku.ac.at.

Abbildung 104: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten für das Jahr 2023 und 2024 im Innenraum SÖLL | TIROL.

ID	Beschreibung	Typ	Art	Einheit	Zeitintervall
t	Lufttemperatur	Numerisch	Zeitreihen	°C	Stündlich
rF	Luftfeuchtigkeit	Numerisch	Zeitreihen	%	Stündlich

Abbildung 105: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten für das Jahr 2023 und 2024 im Außenraum SÖLL | TIROL.

ID	Beschreibung	Typ	Art	Einheit	Zeitintervall
Atm_press	Luftdruck	Numerisch	Zeitreihen	kPa	Stündlich
HUMrel	Luftfeuchtigkeit	Numerisch	Zeitreihen	%	Stündlich
PYR	Solare Einstrahlung	Numerisch	Zeitreihen	W/m ²	Stündlich
Tair	Lufttemperatur	Numerisch	Zeitreihen	°C	Stündlich
VWC	Volumetrischer Wassergehalt	Numerisch	Zeitreihen	%	Stündlich
MPO	Wetterstation	Numerisch	Zeitreihen	div	Stündlich
Wind	Windgeschwindigkeit und -richtung	Numerisch	Zeitreihen	Km/h, °	Stündlich
COV	Deckungsgrad	Numerisch	Zeitreihen	%	Sommermonate

CUB	Kubisches Volumen	Numerisch	Zeitreihen	m ³	Sommermonate
WLAI	Wand- Blattflächenindex	Numerisch	Zeitreihen		Sommermonate
GS	Stomatäre Leitfähigkeit	Numerisch	Zeitreihen	mmol m ⁻² s ⁻¹	Sommermonate

Abbildung 106: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten im Jahr 2024 im Innenraum KREUZGASSE | WIEN.

ID	Beschreibung	Typ	Art	Einheit	Zeitintervall
t	Lufttemperatur	Numerisch	Zeitreihen	°C	Stündlich
rF	Luftfeuchtigkeit	Numerisch	Zeitreihen	%	Stündlich

Abbildung 107: Beschreibung der relevanten erhobenen Daten im Jahr 2024 im Außenraum KREUZGASSE | WIEN.

ID	Beschreibung	Typ	Art	Einheit	Zeitintervall
Atm_press	Luftdruck	Numerisch	Zeitreihen	kPa	10 min
HUMrel	Luftfeuchtigkeit	Numerisch	Zeitreihen	%	10 min
PYR	Solare Einstrahlung	Numerisch	Zeitreihen	W/m ²	10 min
Tair	Lufttemperatur	Numerisch	Zeitreihen	°C	10 min
VWC	Volumetrischer Wassergehalt	Numerisch	Zeitreihen	%	10 min
Wind	Windgeschwindigkeit und -richtung	Numerisch	Zeitreihen	Km/h, °	10 min
COV	Deckungsgrad	Numerisch	Zeitreihen	%	Sommermonate
CUB	Kubisches Volumen	Numerisch	Zeitreihen	m ³	Sommermonate
WLAI	Wand- Blattflächenindex	Numerisch	Zeitreihen		Sommermonate
GS	Stomatäre Leitfähigkeit	Numerisch	Zeitreihen	mmol m ⁻² s ⁻¹	Sommermonate

Die Daten wurden wie folgt erhoben:

Abbildung 108: Beschreibung der Erhebungsmethodik der relevanten Daten im Innenraum.

ID	Sensor/Gerät	Methodik
t	STM550U (EnOcean)	Stationäre Messung
rF	STM550U (EnOcean)	Stationäre Messung

Abbildung 109: Beschreibung der Erhebungsmethodik der relevanten Daten im Außenraum.

ID	Sensor/Gerät	Methodik
Atm_press	Atmos 14 (METER GROUP)	Stationäre Messung
HUMrel	Atmos 14 (METER GROUP)	Stationäre Messung
PYR	SP-110 (APOGEE)	Stationäre Messung
Tair	Atmos 14 (METER GROUP)	Stationäre Messung
VWC	TEROS 12 (METER GROUP)	Stationäre Messung
MPO	Weather Transmitter WXT530 (Vaisala)	Stationäre Messung
Wind	Atmos 22 (METER GROUP)	Stationäre Messung
COV	Digitalfotographie und Software (Affinity, ImageJ)	Manuelles Monitoring
CUB	Manuelle Messungen mit Zollstock	Manuelles Monitoring
WLAI	Accupar LP-80 Ceptometer (METER GROUP)	Manuelles Monitoring
GS	AP4 Porometer (Delta-T Devices)	Manuelles Monitoring

16.1.2 Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Alle erhobenen Daten im Außenraum sind Eigentum des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) des Departments für Landschaft, Wasser und Infrastruktur (LAWI) der Universität für Bodenkultur WIEN (BOKU).

Alle erhobenen Daten im Innenraum sind Eigentum der IBO GmbH (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie).

Alle erhobenen Daten zur Wahrnehmungs- und Akzeptanzstudie sind Eigentum des Instituts für Soziale Ökologie (SEC) des Departments für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität für Bodenkultur WIEN (BOKU).

16.1.3 Datenspeicherung und -erhalt

Die Aussenraummonitoringdaten zu dieser Studie sind öffentlich über Zenodo unter DOI: [10.5281/ZENODO.15089684](https://doi.org/10.5281/ZENODO.15089684) zugänglich (Poiss et al. 2025c).

16.1.4 Wiederverwendbarkeit der Daten

Die Aussenraummonitoringdaten zu dieser Studie sind öffentlich über Zenodo unter DOI: [10.5281/ZENODO.15089684](https://doi.org/10.5281/ZENODO.15089684) zugänglich (Poiss et al. 2025c).

16.2 Wissenschaftliche Baubegleitung

16.2.1 Bauprotokoll Demostandort SÖLL | TIROL (Briefer 2022)

Ziele und Gegenstand des Protokolls: Die wissenschaftlichen Expert*innen des Konsortiums überwachen und dokumentiert die Errichtungsphase lückenlos. GRÜNSTATTGRAU nahm die Umsetzung ab. Es werden Rückstellproben der eingesetzten Materialien genommen, um Sensorkalibrationen vorzunehmen bzw. geotechnische und hydraulische Leistungen und Eigenschaften im Labor zu überprüfen (siehe AP5). Außerdem werden von den eingesetzten Pflanzenarten jeweils eine ausreichende Anzahl für die weiterführenden vegetationstechnischen Forschungen rückgestellt (siehe AP5).

Die Errichtung der Vertikalbegrünungen am Demo-Objekt der MPreis Filiale in SÖLL | TIROL wurde in drei Bauphasen unterteilt. Diese erstrecken sich von KW 21 bis KW 24 2022.

Bauphase 01: Erdarbeiten und Metallbau | Zeitraum KW 21 bis KW 23 2022

Bauphase 1 betrifft Arbeitsschritte von Erd- (Aushub Pflanzgruben, Herstellung der Fundamentierung Klettergerüste) und Metallbau (Montage der Klettergerüste). Die Arbeiten dazu wurden bereits vor dem planmäßig angesetzten Termin in KW 22 begonnen und auch teilweise abgeschlossen. Aufgrund des nicht planmäßig vorgezogenen Baustarts konnten die Erd- und Metallarbeiten nicht durch eine wissenschaftlich Baubegleitung (rataplan, BOKU-IBLB) vor Ort begleitet werden. Eine lückenlose Aufzeichnung der Bauarbeiten ist daher nicht möglich.

Die Klettergerüste an der Gebäudevorderseite wurden planmäßig umgesetzt. Die Arbeiten dazu wurden bereits in KW 22, ohne Bauaufsicht, abgeschlossen. Die ursprünglich geplanten Schraubfundamente für die Klettergerüste an der Gebäuderückseite konnten nicht umgesetzt werden, da bei Schürfarbeiten im Bereich der Pflanzgruben mehrere parallellaufende – in den Plänen nicht ersichtliche – Leitungen freigelegt wurden. Anstelle der Schraubfundamente wurden zu groß dimensionierte Plattenfundamente für die Gründung der Klettergerüste ausgeführt. Die Fundamente ragten weit die Pflanzgruben hinein, eine Pflanzung im Bereich zwischen den Fundamenten war mit dieser Ausführung nicht möglich. Nach Rücksprache mit der ausführenden Firma (Bodner) wurden auf Vorgabe des Architekten (rataplan) sämtliche Fundamente verschmälert. Die Pflanzgrube ist jedoch auch nach Bearbeitung gut ein Drittel schmaler als geplant.

FOTOS Briefer Bauphase

Bauphase 02: Gartenbau | Zeitraum KW23 – KW 24

In diesem Bericht wurden die am Standort SÖLL ausgeführten Bauarbeiten aus dem Zeitraum von 07.06.2022 bis 14.06.2022 zu Protokoll gebracht sowie fotografisch festgehalten.

Bauphase 2 betrifft Pflanzarbeiten und die Installation der Bewässerung. Die Bauphase wurde im Zeitraum von 07.06.2022 bis 14.06.2022 von Dipl.-Ing. Thomas Wultsch und Dipl.-

Ing.ⁱⁿ Anna Briefer, vom Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der BOKU WIEN, durchgeführt. Im Zuge der Arbeiten wurde die Bauaufsicht vor Ort übernommen und zu Protokoll gebracht.

Das Baustellenprotokoll (Abbildung 110) führt die sechs Bautage an, welche im Zeitraum von 07.06 – 14.06.2022 durchgeführt worden sind, sowie deren Tätigkeitsbeschreibungen je Tag. Beschrieben werden die Arbeitsschritte, der Zeitaufwand sowie den Materialeinsatz der durchgeführten Arbeiten.

Abbildung 110: Baustellenprotokoll Implementierung GLASGrün-Systeme Standort SÖLL | TIROL

Baustellenprotokoll der Bauphase 02		
		Dauer
Di, 07.06.2022	Ankunft, Baustelleninspektion, Fertigstellung der Metallarbeiten Fa. Guggenbichler	12:00 – 18:00 Uhr
Aufnahme des IST-Zustandes		
Arbeitsschritte	Baustelleninspektion, Fertigstellung der sowie Montage der Klettergerüste an der Gebäuderückseite; Einkürzen der alten Sichtschutzelemente (Baumstämme) im Glasbereich auf der Rückseite der Filiale durch Baufirma Bodner; erneute Anweisung die Fundamente der Klettergerüste auf der Rückseite zu verkleinern und die planmäßige Größe der Pflanzgrube herzustellen;	
Vermerk	Die Fundamente der Klettergerüste auf der Gebäuderückseite wurden ohne Schalung, zu groß und ohne Rücksprache mit dem Planer ausgeführt;	
Mi, 08.06.2022	Installierung der Bewässerungsleitung	09:00 – 19:30 Uhr
Arbeitsschritte	Anschluss der Zuleitung an das bauseits vorhandene frostsichere Kemper Ventil; Montage des Ventilschachts mit zwei Kreisläufen; BW-Kreislauf 1 verläuft an der Vorderseite des Gebäudes, die Leitung wurde dazu über das Dach geführt, in das Gründachsubstrat eingebettet und am Klettergerüst mit Kabelbindern befestigt; BW Kreislauf 2 wurde an der Gebäuderückseite in die Rollierung im Traufenbereich verlegt.	
Materialeinsatz	Siehe Materialliste A&T; wurde vorab bei dem Händler A&T besorgt;	
Do, 09.06.2022	Baustellenkoordination	09:00 – 14:00 Uhr
Arbeitsschritte	Koordination für die Pflanz- und Substratanlieferung für Freitag 10.06.2022 mit Fa. Seidemann; Koordination und Updates zum Baufortschritt an die Projektleitung (Rosemarie Stangl) sowie an die Projektpartner MPreis (Verena Engl) und Rataplan (Gerhard Huber); Materialbesorgungen für Bewässerung sowie Bindematerial für die Kletterpflanzen;	
Fr, 10.06.2022	Erd- und Pflanzarbeiten	07:30 – 17:30 Uhr
Arbeitsschritte	Entgegennahme der Substratlieferung 6 x BigBag á 2 m ³ (12 m ³) auf Paletten sowie Positionierung vor Ort; Verfüllen und verdichten der vorgefertigten Pflanzgruben per Hand. Auf Anforderung mit Unterstützung der Baufirma Bodner mittels Maschineneinsatz. Pflanzarbeiten an Vorder- und Rückseite abgeschlossen. Säubern der Parkfläche.	

Materiallieferungen	Pflanzsubstrat	
	Lieferant: unbekannt	
	Anlieferungszeit: 07.30 Uhr	
	Materialeinsatz: 12m ³ Optigrün intensiv Substrat	
	Pflanzmaterial	
	Lieferant: Bio Blumengärtnerei Seidemann	
	Anlieferungszeit: 11:30 Uhr	
	Materialeinsatz: 48 Stück 60/80cm auf 2 CC Wagen (12 Pflanzen je Art)	
	• Wisteria sinensis • Humulus lupulus • Aristolochia macrophylla • Vitis coignetiae	
	Mitnahme 6 Stück Tauschpaletten - Substratlieferrung - von Fa. Seidemann	
Mo, 13.06.2022	Instandsetzung, Programmierung der Bewässerung, Nacharbeiten	09:00 – 16:00 Uhr
Arbeitsschritte	Bewässerung Programmieren, Testlauf der Bewässerung, Kontrolle der Verbindungselemente auf Dichtheit und nachziehen der Verschlüsse; Anbinden der Kletterpflanzen an den Kletterhilfen.	
Di, 14.06.2022	Übergabe, Protokollierung, Abreise	10:30 – 15:00 Uhr
Arbeitsschritte	Übergabe der Baustelle an Martin Auer. Besprechung über die weiteren Schritte - Abschlussarbeiten an der Rückseite, Mulch aufbringen, Anfahrschutz), Fotodokumentation	

Tabelle 22: GLASGrün Bauprotokoll MPreis Filiale Standort SÖLL (BRIEFER 2022)

Bauphase 03: Abschlussarbeiten | Zeitraum KW 23 bis KW26

Die Abschlussarbeiten betreffen folgende Punkte, welche nach Abschluss der Pflanzarbeiten ab KW 25 umgesetzt werden müssen:

- Herstellen einer sauberen, durchgängigen Rollierung im Traufenbereich an der Gebäuderückseite im Anschluss an die bestehende Rollierung mit Flusskies 32/63 KG.
- Auflockern, abziehen des verdichteten Oberbodens a.d. Gebäuderückseite, Geländeoberfläche nivellieren (entlang des Geländeverlaufs)
- Planum herstellen, Feinplanie, bei Bedarf 5 – 8 cm gesiebte Erde aufbringen, Ansaat einer Gräser- Kräutermischung
- Aufbringen von Mulchmaterial (ca. 5 cm) auf den Pflanzflächen (Verdunstungsschutz, Unkrautunterdrückung)

- Einfassen der Pflanzflächen mit einem Metallband (geliefert in KW 23 von Fa. Guggenbichler Metallbau) an der Gebäuderückseite
- Montieren eines Anfahrschutz sowie Streusalzschutz an der Gebäudevorderseite (KW 26)
- Nachflechten loser Triebe in die Gerüststruktur

Nachsatz: Beim Verlassen der Baustelle MPREIS Filiale SÖLL am 14.06.2022 schloss an der Gebäuderückseite direkt an die Pflanzflächen eine Nachbarbaustelle getrennt von einem Baustellenzaun an. Während der Bauphase 02 (07.06 – 14.06.2022) wurde der Baustellenzaun, durch Arbeiter der Nachbarbaustelle, mehrmals an der Grundstücksgrenze versetzt.

Abbau des Baustellenzauns (Fa. BODNER) am Parkplatz, Gebäudevorderseite: Mo, 13.06.2022, während die Pflanzarbeiten und Bewässerungsarbeiten noch am Laufen waren. Dies führte zu unangenehmen und gefährlichen Situationen mit parkplatzsuchenden Kund*innen, da sich die Parkflächen direkt vor den Pflanzflächen befinden. Das Belassen des Baustellenzauns zum Schutz von Personen, die sich im Baustellenbereich aufhalte wird bis zur Fertigstellung der Bauarbeiten dringend empfohlen.

16.2.1 Bauprotokoll Demostandort KREUZGASSE | WIEN (Briefer 2022)

Einreichverfahren und Genehmigungen

Da es sich bei dem Bauvorhaben um eine eigenständige Konstruktion handelt, war ein Einreichverfahren gemäß §70 bei der MA 37 – Baubehörde Gebietsgruppe West erforderlich.

Antragsteller: KREUZGASSE | WIEN OG

Zustimmung durch: Zürich Versicherung AG (Grundeigentümerin)

Wesentliche Anforderungen:

- Einhaltung der Bauordnung für WIEN (BO)
- Einhaltung der Bestimmungen des Flächenwidmungs- und Bebauungsplans (FLÄWI)
- Positive Stellungnahme der MA 19 – Architektur und Stadtgestaltung
- Positive Stellungnahme der KSB – Kompetenzstelle für Brandschutz
- Statische Berechnungen und Auslegung der Konstruktion

Die Entscheidung der MA 37 erfolgt mittels Bescheid.

Chronologie der Bauvorbereitung

November 2021

Erste Kontaktaufnahme mit der KREUZGASSE | WIEN OG und Beginn der Abstimmungen.

Jänner 2022

Übergabe der Planunterlagen durch KREUZGASSE | WIEN an LIWA. Diskussionen und

Abstimmungen mit der Grundstückseigentümerin (Zürich Versicherung AG). Erste Varianten wurden entwickelt.

Juni 2022

Positive Rückmeldung der Grundeigentümerin.

Kostenschätzung auf Basis des Antrags, teilweise unter Berücksichtigung von Erkenntnissen aus dem Projekt in SÖLL. Klärung der Vorentwürfe und Varianten, Einholung erster Kostenangebote (Stahlbau).

September 2022

Grundsätzliche Abstimmungen mit der MA 19 (DI Ronald Franz).

Sehr positive Rückmeldung zum Projekt.

Empfehlung an DI Edith Schindler-Seiss (MA 19 – Gestaltung öffentlicher Raum). Da das Vorhaben auf Eigengrund umgesetzt wird, war diese Stelle nicht zuständig. Weiterleitung an DI Günther Reschreiter (MA 28 – Bereich Projektentwicklung und -management), insbesondere zur Klärung der Straßenbahn-Leitungsführung.

November 2022

Details zu Grundstück und Gebäude wurden mit der MA 37 abgestimmt. Planeinsicht erfolgte.

Dezember 2022

Nach umfangreichen Kostendiskussionen erteilte die KREUZGASSE | WIEN OG ihre Zustimmung zum Projekt. Die KREUZGASSE | WIEN OG wurde als Partner in das Projekt eingebunden.

Jänner 2023

Laut FLÄWI der MA 21 ist im Bereich der Fassadenbegrünung eine Widmung als Arkade für öffentlichen Durchgang vorgesehen. Dieser Bereich befindet sich zwischen Grundstücksgrenze (Baulinie) und Baufluchtlinie. Rücksprache mit der MA 21 und positive Klärung mit dem Bezirk.

Termin mit Bezirksvertretung (BV-Stellvertreter Ing. Robert Zöchling) zur Feinabstimmung der Gehwegbreite. Es wurde festgelegt, dass ein Abstand von 2,50 m zur Straße einzuhalten ist. Zudem war sicherzustellen, dass die Reinigung der Fassade mit einer Hebebühne möglich bleibt (Abstand von 2,00 m).

Fundamente und Tröge wurden so positioniert, dass sie ausschließlich auf Eigengrund liegen.

Prüfung durch MA 28:

Keine Leitungsführungen im Untergrund festgestellt, daher keine Notwendigkeit für eine Nutzungsvereinbarung nach §71.

Statische Herausforderungen:

- Konstruktion: 9,5 m Länge, 8,2 m Höhe.
- Fundamente wurden aufgrund der Nähe zur Gebäudefassade und den Balkonplatten mit besonderer Maßnahme ausgelegt.

- Primärkonstruktion: Rundrohre (114,3 mm Durchmesser, 8 mm Wandstärke, Stahlqualität S355J2H).
- Sekundärkonstruktion: Rundrohre (42,4 mm Durchmesser, 2,6 mm Wandstärke, Stahlqualität S355JRH).

März 2023

Einreichung der Unterlagen bei der MA 37. Positive Rückmeldungen von der MA 19 und KSB. Der Bescheid der MA 37 wurde innerhalb von drei Wochen zugestellt.

Bauphase 1: Baustellenvorbereitung und Fundamentarbeiten (ab 1. Juni 2023)

- Einrichten und Absichern der Baustelle.
- Einmessen der Fundamente und Tröge.
- Asphaltaufschneiden und Grabenaushub.

Herausforderungen:

- Zusätzliche Betonplatte unter dem Asphalt erschwerte den Aushub.
- Telekom-Leitung nahe Fundament 1 erforderte eine statische Anpassung der Bewehrung.
- Alter Steinzeugkanal im Bereich eines Fundaments konnte nach Freilegung entfernt werden.

Weitere Arbeiten:

- Einsetzen der Bewehrungskörbe, Betonieren der Fundamente (7. Juni).
- Entfernen der Schalung (16. Juni).
- Auflockerung des dazwischenliegenden Erdkörpers.

Bauphase 2: Montage der Stahlkonstruktion (ab 21. Juni 2023)

- Anlieferung der Stahlteile, Einrichtung des Mobilkrans.
- Aufbau der Primärkonstruktion, Befestigung an den Fundamenten und Balkonplatten.
- Montage der Sekundärkonstruktion (zugweise).

Herausforderung:

Koordination mit der Straßenbahn-Leitungsführung während der Montagearbeiten.

Parallel dazu wurden Bewässerungs- und Stromleitungen verlegt.

Bauphase 3: Fertigstellung und Pflanzarbeiten (23. – 28. Juni 2023)

- Befüllen der Tröge mit Substrat und Einsetzen der Pflanzen.
- Installation der Bewässerungsanlage und Leitungsführung für das Messsystem.
- Wiederherstellung des Asphaltbelags im Bereich der Fundamente.

Das Projekt wurde planmäßig abgeschlossen.

16.3 Ergebnistabellen aus dem Monitoring im Außenraum

Vegetationsperioden 2023 und 2024

16.3.1 Deckungsgrade SÖLL | TIROL

Tabelle 23: Entwicklung Deckungsgrad Zielfläche [%] an den Vegetationsstrukturen im saisonalen Verlauf im 2. Standjahr Juni 2023 – September 2024. MP1 – MP4 (Messpunkte 1- 4 Nord-West Seite); MP5 – MP8 (SÖLL, Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost Seite); Am_MP1 (*A. macrophylla* NW); MP2 (*W. sinensis* NW); MP3 (*H. lupulus* NW); MP4 (*V. coignetiae* NW); MP5 (*V. coignetiae* SO); MP6 (*H. lupulus* SO); MP7 (*W. sinensis* SO); MP8 (*A. macrophylla* SO). POISS, 2024

[%]	Jun 23	Sep 23	Mai 24	Jul 24	Aug 24	Sep24
MP1	17.4	71.8	21.5	62.3	67.6	60.0
MP2	18.7	65.0	35.1	73.8	96.0	89.1
MP3	18.4	48.9	45.3	67.9	85.4	77.9
MP4	11.8	23.0	14.3	38.0	54.9	55.7
MP5	10.8	57.7	30.9	78.8	78.3	67.2
MP6	32.5	70.5	66.8	95.0	96.5	91.0
MP7	24.5	79.6	43.1	83.5	98.3	92.9
MP8	19.8	67.1	57.0	91.3	94.3	92.3

16.3.1 Deckungsgrade KREUZGASSE | WIEN

Tabelle 24: Saisonale Entwicklung Deckungsgrad Zielfläche [%] im 2. Standjahr 2024 Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3), alle bewachsen mit *W. sinensis*. POISS, 2024

[%]	Jun 24	Jul 24	Aug 24	Sep 24
T1	19.9	34.2	41.0	41.4
T2	11.6	26.0	37.7	41.7
T3	27.6	36.8	45.2	54.3

16.3.1 Wand-Blattflächenindex SÖLL | TIROL

Tabelle 25: Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (Messpunkte 1- 4 Nord-West-Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost-Seite). MP1 (*A. macrophylla* NW); MP2 (*W. sinensis* NW); MP3 (*H. lupulus* NW); MP4 (*V. coignetiae* NW); MP5 (*V. coignetiae* SO); MP6 (*H. lupulus* SO); MP7 (*W. sinensis* SO); MP8 (*A. macrophylla* SO). POISS, 2024

	Jun 23	Sep 23	Mai 24	Jul 24	Aug 24	Sep 24
MP1	1.1	2.2	0.8	1.9	2.2	1.6
MP2	0.8	1.2	1.2	2.6	2.9	2.8

MP3	0.9	1.3	1.0	2.9	3.0	2.5
MP4	0.7	0.5	1.5	2.0	2.2	2.3
MP5	0.9	1.7	1.2	4.5	3.0	2.2
MP6	1.3	2.0	2.5	5.9	4.3	4.0
MP7	1.0	3.0	1.6	4.8	4.3	3.6
MP8	1.0	2.3	1.9	5.5	4.1	3.8

16.3.1 Wand-Blattflächenindex KREUZGASSE | WIEN

Tabelle 26 Entwicklung des Wand-Blattflächenindex (WLAI) im saisonalen Verlauf 2024 von *W. sinensis* in Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN, WIEN. POISS, 2024

	Jun 24	Jul 24	Aug 24	Sep 24
T1	0.43	1.00	1.50	0.20
T2	0.58	0.80	1.59	0.46
T3	0.78	0.84	1.17	0.13

16.3.2 Kubisches Pflanzenvolumen SÖLL | TIROL

Tabelle 27: Auswertung Kubisches Volumen [m³] der Vegetationsstrukturen im saisonalen Verlauf im 2. und 3. Standjahr Juni 2023 – Oktober 2024. MP1 – MP4 (SÖLL, Messpunkte 1- 4 Nord-West Seite); MP5 – MP8 (Messpunkte 5 – 8 Süd-Ost Seite); MP1 (*A. macrophylla* NW); MP2 (*W. sinensis* NW); MP3 (*H. lupulus* NW); MP4 (*V. coignetiae* NW); MP5 (*V. coignetiae* SO); MP6 (*H. lupulus* SO); MP7 (*W. sinensis* SO); MP8 (*A. macrophylla* SO). POISS, 2024

[m³]	Jun-23	Sep-23	Mai 24	Jul-24	Aug-24	Sep-24
MP1	0.6	2.5	0.7	2.1	2.3	2.0
MP2	0.7	2.3	1.1	2.5	3.2	3.0
MP3	0.7	1.7	1.5	2.3	2.9	2.6
MP4	0.2	0.4	0.3	0.7	1.0	1.0
MP5	0.8	4.1	2.2	5.5	5.5	4.7
MP6	2.3	4.9	4.7	6.7	6.8	6.4
MP7	1.7	5.6	3.0	5.9	6.9	6.5
MP8	1.4	4.7	4.0	6.4	6.6	6.5

16.3.3 Kubisches Pflanzenvolumen KREUZGASSE | WIEN

Tabelle 28: Entwicklung des kubischen Volumens [m³] im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) von Trog 1 (T1), Trog 2 (T2) und Trog 3 (T3) an Standort KREUZGASSE | WIEN, WIEN. POISS, 2024

	Jun 24	Jul 24	Aug 24	Sep 24
--	---------------	---------------	---------------	---------------

T1	0.1	0.3	0.4	0.4
T2	0.0	0.1	0.2	0.3
T3	0.1	0.3	0.5	0.6

16.3.4 Stomatäre Leitfähigkeit SÖLL | TIROL

Tabelle 29: Stomatäre Leitfähigkeit [$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$] MP1 bis MP4 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 1- 4 Nord-West-Seite); MP1 (*A. macrophylla* NW; $n= 108$); MP2 (*W. sinensis* NW; $n= 108$); MP3 (*H. lupulus* NW, $n= 108$); MP4 (*V. coignetiae* NW; $n= 108$). POISS, 2024

[$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	MP1	MP2	MP3	MP4
12/06/2023	102	59	167	215
	54	54	102	166
	103	60	255	173
	139	45	253	344
	87	58	41	171
	90	61	124	279
	117	126	207	156
	126	10	198	167
	102	5	137	175
	92	96	241	306
	102	83	141	262
	129	68	196	286
	156	72	186	255
	133	86	269	155
	130	57	82	236
	81	55	156	156
	127	84	166	160
	95	52	91	336
01/09/2023	193	76	430	105
	224	69	345	198
	250	111	159	184
	340	78	292	283
	287	73	270	151
	222	90	264	71
	174	98	225	147
	142	83	678	195
	167	81	464	215
	197	189	240	340

	74	77	206	266
	219	174	354	187
	274	112	560	327
	199	179	313	234
	232	86	357	251
	87	87	285	104
	266	61	569	126
	183	49	465	161
17/05/2024	125	22	610	395
	113	25	840	163
	102	49	770	294
	84	5	850	226
	109	11	610	415
	129	4	660	187
	88	42	770	244
	106	19	550	252
	96	10	1010	550
	120	24	580	175
	105	30	620	194
	105	68	920	272
	106	119	410	126
	104	110	495	144
	86	94	570	300
	103	38	400	148
	90	38	na	248
	119	36	445	167
12/07/2024	154	185	252	296
	41	168	330	248
	62	175	410	208
	39	124	250	244
	51	139	340	208
	93	129	292	270
	66	140	315	284
	44	132	212	350
	65	137	286	198
	188	151	238	335
	183	194	315	171
	122	105	258	236

	140	196	330	490
	159	137	236	320
	146	123	256	330
	200	137	380	490
	216	200	360	510
	190	192	370	278
25/08/2024	190	224	174	195
	252	216	163	246
	216	136	268	153
	187	218	181	156
	300	290	228	222
	244	222	236	174
	141	224	200	234
	165	264	174	140
	55	174	188	248
	262	244	190	310
	252	280	206	345
	179	256	184	264
	172	256	155	264
	129	262	148	264
	185	250	135	238
	224	264	171	400
	224	264	147	330
	224	220	162	288
30/09/2024	17.8	194	187	81
	40	218	340	67
	44.5	188	190	93
	6.8	141	187	67
	46	232	264	75
	37	166	131	65
	44.5	156	135	103
	49	134	370	57
	37.5	95	298	52
	42	286	240	115
	91	214	175	83
	26.2	165	174	93
	85	240	161	20
	58	250	190	153

27.4	214	335	87
87	298	152	345
98	177	95	345
116	90	91	142

[mmol m ⁻² s ⁻¹]	MP5	MP6	MP7	MP8
12/06/2023	121	681	9	92
	120	201	1	74
	127	200	3	86
	172	137	43	73
	150	112	2	40
	143	165	14	82
	173	410	33	73
	114	259	33	167
	150	354	24	149
	140	292	27	116
	170	406	39	94
	122	387	56	57
	165	237	78	76
	195	374	146	58
	91	477	105	88
	176	116	40	90
	144	131	20	53
	141	114	30	88
01/09/2023	331	456	127	88
	257	463	98	108
	294	607	97	177
	282	406	112	94
	161	456	95	93
	165	268	112	74
	476	306	101	65
	226	560	104	64
	203	279	82	111
	291	231	62	177
	266	271	62	35
	322	244	75	71
	195	445	57	191

	287	577	127	131
	333	631	80	115
	250	303	85	141
	200	390	88	128
	228	372	113	109
17/05/2024	405	325	70	70
	460	288	46	85
	300	325	36	102
	425	268	110	105
	320	192	54	85
	240	300	77	83
	550	165	28	79
	288	226	17	84
	296	310	47	83
	242	260	74	71
	340	238	104	104
	264	305	87	89
	270	252	9	121
	242	198	50	117
	272	218	24	128
	202	248	46	140
	230	212	59	139
	90	220	88	146
12/07/2024	254	250	140	98
	415	280	139	118
	400	550	195	165
	380	131	198	121
	210	120	144	138
	48	169	77	119
	455	282	266	88
	315	65	160	274
	405	80	435	108
	178	46	114	147
	440	81	144	116
	465	78	130	178
	240	140	138	152
	280	51	174	117
	405	112	125	202

	395	180	61	208
	174	152	149	282
	234	150	199	245
25/08/2024	365	234	226	224
	450	177	238	240
	375	122	218	146
	395	216	218	222
	520	190	206	167
	268	208	218	165
	370	172	254	134
	270	244	410	252
	288	288	274	178
	244	171	230	168
	355	168	355	123
	254	173	325	157
	262	103	218	156
	270	149	272	162
	290	154	214	183
	230	208	266	242
	500	202	185	163
	385	244	234	143
30/09/2024	161	162	166	114
	192	189	167	214
	210	175	163	202
	143	129	244	159
	127	296	196	177
	236	274	206	126
	132	180	140	118
	206	157	90	165
	144	480	248	350
	114	385	154	320
	124	102	193	300
	99	340	252	206
	127	700	99	278
	98	400	101	262
	111	475	134	256
	82	570	224	300
	109	425	118	298

149	145	166	370
-----	-----	-----	-----

Tabelle 30: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m⁻² s⁻¹] MP5 bis MP8 im saisonalen Verlauf zwischen Juni 2023 bis September 2024 (SÖLL, Messpunkte 5- 8 Süd-Ost-Seite); MP5 (*V. coignetiae* SO; n= 108); MP6 (*H. lupulus* SO; n= 108); MP7 (*W. sinensis* SO, n= 108); MP8 (*A. macrophylla* SO; n= 108). POISS, 2024

16.3.1 Stomatäre Leitfähigkeit KREUZGASSE | WIEN

Tabelle 31: Stomatäre Leitfähigkeit [mmol m⁻² s⁻¹] von *W. sinensis* aus T1, T2 & T3 (n=96) im saisonalen Verlauf der 2. Vegetationsperiode (2024) Standort KREUZGASSE | WIEN, WIEN. POISS, 2024

Date	gsw
Jun 24	6.3
	141
	124
	204
	161
	157
	153
	200
	218
	164
	167
	99
	254
	262
	222
	252
	186
	244
	236
	220
	236
	204
	200
	250
Jul 24	238
	226
	236
	455

	294
	250
	296
	340
	305
	335
	385
	315
	101
	276
	690
	360
	288
	355
	335
	345
	196
	286
	335
	345
Aug 24	320
	325
	325
	390
	420
	510
	395
	500
	375
	315
	292
	370
	142
	196
	191
	390
	310
	282

	136
	375
	142
	236
	315
	345
Sep 24	189
	405
	298
	365
	530
	274
	425
	276
	56
	250
	325
	530
	405
	320
	425
	248
	286
	242
	230
	149
	156
	380
	230
	167

16.3.2 Verlauf der Umgebungstemperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit SÖLL | TIROL

Tabelle 32: Durchschnittliche Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit im Vergleich: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur aus den Sommermonaten Juni, Juli und August 2023 und 2024 zwischen Begrünung und Glasfassade an NW- und SO-Fassade, Lufttemperatur am Dach; SÖLL | TIROL. POISS 2024

	Jun-23	Jul-23	Aug-23	Jun-24	Jul-24	Aug-24
--	--------	--------	--------	--------	--------	--------

T _{air} Dach [°C]	18.08	18.94	18.38	17.29	19.64	20.12
T _{air} NW [°C]	18.18	19.19	18.57	17.48	19.83	20.28
T _{air} SO [°C]	18.66	19.42	18.86	17.71	20.11	20.64
H _{rel} Dach [%]	55.53	64.63	67.85	66.13	66.61	69.50
H _{rel} NW [%]	65.65	75.34	78.98	78.12	78.28	81.25
H _{rel} SO [%]	62.74	73.63	77.16	76.34	76.27	79.05
Wind Dach[m/s]	1.98	2.03	1.98	1.94	1.89	1.80
Wind NW [m/s]	0.73	0.66	0.64	0.63	0.54	0.55

16.3.1 Temperaturverlauf der Umgebungstemperatur KREUZGASSE | WIEN

Tabelle 33: Lufttemperaturvergleich [°C]; relative Luftfeuchtigkeit [%] 30. Juni 2024; vor und hinter dem GLASGrün System KREUZGASSE | WIEN WIEN. POISS 2024

Date	Time	Temperatur vor dem System [°C]	Temperatur hinter dem System [°C]	Luftfeuchtigkeit vor dem System	Luftfeuchtigkeit hinter dem System
30.06.24	00:00:00	28.22	28.21	58%	58%
	01:00:00	27.42	27.39	62%	62%
	02:00:00	26.75	26.71	64%	64%
	03:00:00	26.12	26.09	67%	67%
	04:00:00	25.33	25.33	69%	70%
	05:00:00	24.72	24.69	71%	71%
	06:00:00	24.37	24.36	71%	72%
	07:00:00	24.29	24.27	71%	72%
	08:00:00	25.09	25.07	67%	67%
	09:00:00	25.26	25.27	66%	66%
	10:00:00	26.44	26.42	62%	61%
	11:00:00	28.53	28.52	53%	53%
	12:00:00	30.64	30.75	47%	47%
	13:00:00	32.97	33.08	40%	40%
	14:00:00	34.17	34.30	37%	36%
	15:00:00	35.04	35.15	35%	34%
	16:00:00	35.23	35.23	35%	35%
	17:00:00	34.93	34.94	37%	36%
	18:00:00	32.78	32.74	45%	44%
	19:00:00	30.09	30.14	47%	47%
	20:00:00	28.36	28.43	53%	53%

21:00:00	25.08	25.21	68%	68%
22:00:00	23.20	23.29	73%	73%
23:00:00	22.60	22.69	74%	74%

