

Entwicklung und praktische Umsetzung von nachhaltigen Lösungen urbaner Hotspots in Kombination mit Begrünung, Photovoltaik und Wasser (GREENsChOOLENERGY)

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 18/2026

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 (interimistisch): DIⁱⁿ (FH) Isabella Warisch

Autorinnen und Autoren:

Stefan Guggenberger, BSc IPAK GmbH

DI Dr. Irene Zluwa, Ma DI Elisabeth Tess-Weißbach, GRÜNSTATTGRAU Forschungs- und
Innovations-GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Franz Christian Stebe, Höhere Technische Bundeslehranstalt, HTL1
Klagenfurt Lastenstraße

Wien, Klagenfurt am Wörthersee, 2026. Stand: September 2024

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.

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 [nachhaltigwirtschaften.at](https://www.nachhaltigwirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	9
3	Ausgangslage	11
4	Projekthalt	17
4.1.	Versuchsflächen	17
4.1.1.	Adaptierungen am Vorplatz	17
4.1.2.	Adaptierungen an der Fassade	21
4.1.3.	Adaptierungen am Dach	22
4.2.	Forschungsinhalte	28
4.3.	Datenerfassung und Visualisierung für das PV-Monitoring (Leistung der PV-Anlagen).....	28
4.4.	Monitoring und Steuerung des Bachlaufes und der Besprühung der PV-Fassade	32
4.4.1.	Steuerung der Besprühung der Fassade.....	32
4.4.2.	Steuerung von Bachlauf und Energierückgewinnung durch das Wasserrad.....	32
4.5.	Vegetationstechnisches Monitoring	40
4.6.	Soziales Monitoring.....	42
5	Ergebnisse	44
5.1.	Ergebnisse zur Energierückgewinnung durch das Wasserrad und Leistungssteigerung der PV durch den Bachlauf am Vorplatz	44
5.2.	Ergebnisse der Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Sicherstellung der Wasserqualität für die Fassadenbesprühung.....	47
5.3.	Optimierung der Kühlung der Fassade durch Besprühung:.....	48
5.4.	Ergebnisse der PV-Ertragsmessungen an der Fassade	52
5.5.	Ergebnisse des Vegetationsmonitorings der Kletterpflanzen an Fassade und Bachlauf (Vergleich bodengebundene und troggebundene Begrünung)	53
5.6.	Ergebnisse des Vegetationsmonitorings am PV-Gründach	54
5.6.1.	Deckungsgrad in den Versuchsflächen	54
5.6.2.	Eignung der ausgewählten Arten:	55
5.6.3.	Aufgekommene Fremdvegetation und erforderliche Pflege:	57
5.7.	Ergebnisse zu den PV-Erträgen der unterschiedlichen PV-Aufständerungsarten am Gründach im Vergleich	58
5.8.	Erkenntnisse zu Montage, Eignung, Kosten und Wartungsaufwand der unterschiedlichen PV-Aufständerungsvarianten für PV-Gründächer	62
5.9.	Ergebnisse des GreenPass - Checks	64
5.10.	Ergebnisse des sozialen Monitorings	64
6	Schlussfolgerungen	66
7	Ausblick und Empfehlungen	70

8	Verzeichnisse.....	72
9	Anhang.....	76
	9.1. Data Management Plan (DMP).....	76

1 Kurzfassung

a. Motivation und Forschungsfrage

Die Anpassung von Städten an die Auswirkungen des Klimawandels ist in den kommenden Jahren unumgänglich. So ist auch in der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee in Zukunft mit höheren Temperaturen und einem vermehrten Auftreten von urbanen Hitzeinseln in Gebieten mit hoher Flächenversiegelung und Bebauungsdichte zu rechnen. Auf Basis der Ergebnisse der Klimastudie ADAPT-UHI wird eine Urbane Hitzeinsel der Stadt entschärft und gleichzeitig vor Ort auf innovative Art und Weise Strom produziert. Das Projekt orientiert sich nach eben dieser Forschungsfrage.

Ziele des DEMONSTRATIONS-Projektes GREENsChOOLENERGY waren:

- Erprobung innovativer Kombinationsbauweisen von Solar/Begrünungskombinationen zur Kühlung von Gebäuden und Außenräumen am Beispiel der HTL1 Klagenfurt-Lastenstraße.
- Bewusstseinsbildung für Schüler:innen und Lehrkörper
- Leuchtturmfunktion und Vorzeigeobjekt für verschiedene innovative Technologien

b. Ausgangssituation/Status Quo

Im Zentrum des Projektes GREENsChOOLENERGY steht die HTL1 Klagenfurt Lastenstraße, die durch eine großzügig angelegte, südexponierte Glasfassade und einer versiegelten Fläche im Haupteingangsbereich sowie einem darüber liegenden bekiesten Flachdach mit starker Überhitzung konfrontiert ist. Diese Gegebenheiten sorgen für Einschränkungen der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler sowie dem Lehrpersonal.

c. Projekt-Inhalte und Zielsetzungen

Im vorliegenden Projekt soll einerseits mit einer strategischen Begrünung des Vorplatzes und dem Flachdach der urbane Hitzeinseleffekt ebendort reduziert und andererseits die hohe Sonneneinstrahlung zur lokalen Stromproduktion genutzt werden. Hierbei bieten sich Teile des Vorplatzes, ein Großteil der Glasfassade sowie das bereits erwähnte Flachdach an. Zum Einsatz kommen dabei experimentelle PV-Anlagen, die teilweise noch keine Marktreife besitzen.

Das Flachdach wurde mit verschiedenen Aufbauten von bifazialen PV-Systemen versehen, für welche die Untersuchung der Leistungsbilanz der einzelnen Aufstellungsart kombiniert mit dem entsprechenden Untergrund durchgeführt wurde. Die Kombination dieser PV-Systeme am Dach mit extensiver Begrünung und möglichst hellen Pflanzenarten, um die Albedo Rückstrahlung zu erhöhen und eine zusätzliche Ertragssteigerung zu erzielen.

Die Elemente der Glasfassade wurden mit, der Sonne nachgeführten und beweglichen, Modulen ersetzt und auf unterschiedliche Weise (Wasserfilm, Sprühnebel, Fassadenbegrünung etc.) gekühlt, um Ertragssteigerungen zu erzielen. Am Vorplatz wurden Begrünungsmaßnahmen die Aufenthaltsqualität erhöhen. Dabei wurde auch ein künstlicher Wasserlauf angelegt und im Nahbereich mit weiteren PV-Modulen Strom erzeugt.

d. Methodische Vorgehensweise

Die Arbeitspakete 3 (Begrünungssysteme), AP4 (Photovoltaiksysteme) und AP5 (Versorgung und Steuerung) beschäftigen sich mit der Entwicklung und Umsetzung der geplanten Begrünungen und PV-Anlagen sowie deren notwendige Steuerung und Versorgung. Diese Arbeitspakete sind eng miteinander verwoben und entwickeln die jeweiligen Konzepte, Detailplanung und Umsetzung.

Für die interne Qualitätskontrolle wurden Prüfberichte und Pflegeprotokolle zu erstellt. Das Arbeitspaket 6 (Monitoring, Modellierung, Evaluierung, Geschäftsmodelle) sorgt für die Aufbereitung und Verarbeitung der erhobenen Daten an den Versuchsanlagen. Dazu werden einerseits Energieerträge an den experimentellen PV-Anlagen untersucht, vegetationsökologische Besonderheiten gemonitort (Wildbienenauftreten, Bodenparameter am begrünten Dach etc.), mikro- und raumklimatische Daten (inkl. ZAMG-Wetterstation) erhoben und das gesamte Projekt in Bezug auf Kosten/Nutzen-Relation zur Erstellung von Geschäftsmodellen verwertet.

e. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Sinne der Smart City Strategie der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee trägt das Projekt dazu bei, den urbanen Hitzeinseleffekt im nahen Umfeld der Schule zu reduzieren und einen Beitrag für ein verträgliches Stadtklima zu leisten. Darüber hinaus wurde durch die lokale Stromproduktion der Anteil der erneuerbaren Energien erhöht und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet.

Die Errichtung der unterschiedlichen, innovativen PV-Anlagen in Kombination mit Begrünungsmaßnahmen tragen dazu bei, dass sowohl Erkenntnisse in der technischen Umsetzung generiert werden als auch die Marktreife im Realbetrieb, von Beginn der Planung, über die Errichtung, bis hin zur Fertigstellung und begleitendem Monitoring festgestellt wurde.

Ausblick

Die Ergebnisse des Projektes wurden bereits auf ein nachfolgendes Forschungsprojekt (E³@SCHOOL) integriert und befassen sich mit der nachhaltigen und innovativen Nutzung des im gegenständlichen Projekt innovativ erzeugten Strom vor Ort. Weiters werden Erfahrungen im Bereich der PV-Anlagen in Kombination mit Bauwerksbegrünung verwertet und in der Stadt nach Möglichkeit skaliert. Die beiden Projekte fließen auch in das neue Abteilungsübergreifende Ausbildungsangebot der HTL1-Lastenstraße ein – der Ausbildung zur Green:energie Ingenieur:in (HTL1-Lastenstraße, 2024).

2 Abstract

a. Motivation and research question

Adapting cities to the effects of climate change is essential in the coming years. In the state capital Klagenfurt am Wörthersee, higher temperatures and an increased occurrence of urban heat islands in areas with high surface sealing and building density can also be expected in the future. Based on the results of the ADAPT-UHI climate study, an urban heat island in the city will be mitigated and at the same time energy will be produced on site in an innovative way. The project is based on precisely this research question.

The goals of the demonstration project GREENsChOOLENERGY were:

- Testing innovative combination construction methods of solar/greening combinations for cooling buildings and outdoor spaces using the example of the HTL1 Klagenfurt-Lastenstrasse.
- Raising awareness for students and teaching staff
- Lighthouse function and showcase for various innovative technologies

b. Initial situation/status quo

At the center of the GREENsChOOLENERGY project is the HTL1 Klagenfurt Lastenstrasse, which is faced with severe overheating due to a generously sized, south-facing glass facade and a sealed area in the main entrance area as well as a conventional flat roof above. These conditions cause serious restrictions on the physical and mental performance of students and teaching staff during heat waves

c. Project contents and objectives

In the present project, on the one hand, the urban heat island effect is to be reduced there with strategic greening of the forecourt and the flat roof and, on the other hand, the high solar radiation is to be used for local electricity production. Parts of the forecourt, a large part of the glass facade and the flat roof already mentioned are ideal here. Experimental PV systems are used that are not yet ready for the market.

The flat roof is equipped with vertical/bifacial modules that are intended to absorb load peaks in the morning and evening hours. These PV elements on the roof are combined with extensive greenery and plant species that are as bright as possible in order to increase the albedo radiation and achieve an additional increase in yield.

The elements of the glass facade are replaced with sun-tracking and movable modules and cooled with spray mist and climbing plants underneath in order to achieve increased yields. Greening measures on the forecourt are intended to increase the liability. An artificial watercourse will also be created, and electricity will be generated in the nearby area using additional PV modules.

d. Methodical procedure

Work packages 3 (greening systems), WP4 (photovoltaic systems) and WP5 (supply and control) deal with the development and implementation of the planned greening and PV systems as well as their necessary control and supply. These work packages are closely interwoven and develop the respective concepts, detailed planning and implementation.

Test reports and maintenance protocols must be created for internal quality control. Work package 6 (monitoring, modelling, evaluation, business models) ensures the preparation and processing of the data collected at the test facilities. For this purpose, on the one hand, energy yields from the experimental PV systems are examined, vegetation-ecological characteristics are monitored (wild bee numbers, soil parameters on the green roof, etc.), micro- and room-climatic data are collected (including ZAMG weather station), and the entire project is analysed in terms of costs/benefits. Relation used to create business models.

e. Results and conclusions

In line with the Smart City strategy of the state capital Klagenfurt am Wörthersee, the project helps to reduce the urban heat island effect in the vicinity of the school and contributes to a tolerable urban climate. In addition, local electricity production increases the proportion of renewable energies and contributes to climate protection.

The construction of the different, innovative PV systems in combination with greening measures contribute to the generation of knowledge in the technical implementation as well as the market readiness in real operation, from the beginning of planning, through construction, to completion and accompanying monitoring is determined.

Outlook

The results of the project have already been integrated into a subsequent research project (E³@SCHOOL) and deal with the sustainable and innovative use of the electricity generated on site in the current project. Furthermore, experiences in the area of PV systems are used in combination with green buildings and scaled up in the city if possible. The two projects will also be incorporated into the new cross-departmental training program at HTL1-Lastenstraße - the Green:energie Ingenieur:in (HTL1-Lastenstraße, 2024).

3 Ausgangslage

Die Anpassung von Städten an die Auswirkungen des Klimawandels ist in den kommenden Jahren unumgänglich. So ist auch in der Landeshauptstadt Klagenfurt am Wörthersee in Zukunft mit höheren Temperaturen und einem vermehrten Auftreten von urbanen Hitzeinseln in Gebieten mit hoher Flächenversiegelung und Bebauungsdichte zu rechnen. Auf Basis der Ergebnisse der Klimastudie ADAPT-UHI wird eine Urbane Hitzeinsel der Stadt entschlüft und gleichzeitig vor Ort auf innovative Art und Weise Strom produziert. Das Projekt orientiert sich nach eben dieser Forschungsfrage.

Im Zentrum des Projektes GREENsChOOLENERGY steht die HTL1 Klagenfurt Lastenstraße, die durch eine großzügig angelegte, südexponierte Glasfassade und einer versiegelten Fläche im Haupteingangsbereich sowie einem darüber liegenden bekiesten Flachdach mit starker Überhitzung konfrontiert ist.

Im vorliegenden Projekt soll einerseits mit einer strategischen Begrünung des Vorplatzes und dem Flachdach der urbane Hitzeinseleffekt ebendort reduziert und andererseits die hohe Sonneneinstrahlung zur lokalen Stromproduktion genutzt werden.

Ziele des DEMONSTRATIONS-Projektes GREENsChOOLENERGY waren:

- Erprobung innovativer Kombinationsbauweisen von Solar/Begrünungskombinationen zur Kühlung von Gebäuden und Außenräumen am Beispiel der HTL1 Klagenfurt-Lastenstraße.
- Bewusstseinsbildung für Schüler:innen und Lehrkörper
- Leuchtturmfunktion und Vorzeigeobjekt für verschiedene innovative Technologien

Das Demogebäude

Im Zentrum des Projektes steht das Gebäude der HTL1 Lastenstraße in Klagenfurt am Wörthersee, das sich im Süd-Osten am Rande der Klagenfurter Innenstadt befindet. Das Gebäude, welches Bildungseinrichtung für mehr als 1.000 SchülerInnen ist, ist speziell in den Sommermonaten während Hitzeperiode von hohen Temperaturen in den Klassenräumen betroffen. Im Frühjahr und im Herbst ist der Vorplatz, an dem sich auch ein Kunstprojekt mit dem Namen "Wörthersee" befindet, als Aufenthaltsbereich nicht mehr nutzbar. Zusätzlich sind südexponierte Klassenzimmer, Aula Bereiche und die Räumlichkeiten der Direktion im Sommer nur eingeschränkt nutzbar, denn es treten regelmäßig Raumtemperaturen über 30°C auf. Folgende Abbildungen geben einen Überblick zu den einzelnen Schwerpunkten im Projekt:

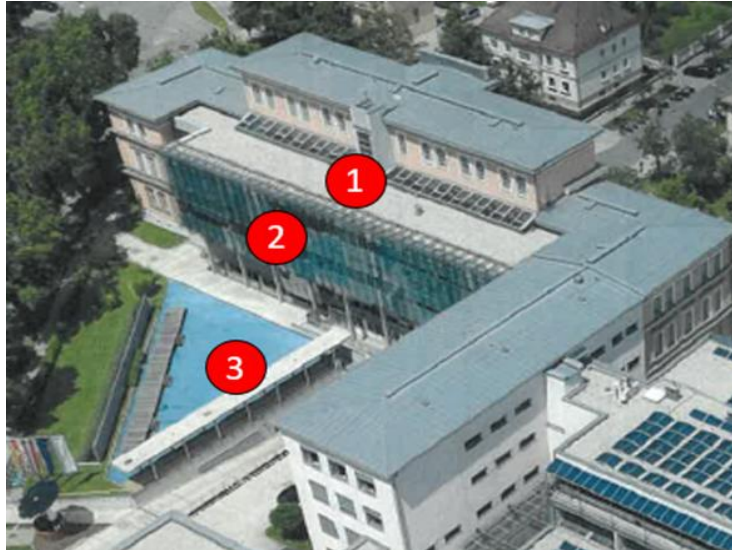


Abbildung 1 Demogebäude der HTL! Klagenfurt Lastenstraße mit den drei Untersuchungsbereichen im Forschungsprojekt (Foto: HTL1)

1) Das Flachdach:

Der erste Schwerpunkt des Projektes liegt am abgebildeten Kies-Flachdach, das als Experimentierraum für Begrünungsmaßnahmen in Kombination mit verschiedenen PV-Anlagentypen verwendet wird. Es werden dabei unterschiedliche Aufständerungsarten und Aufstellungswinkel verglichen. Auch der Unterschied zwischen einem konventionellen Sedum-Gründach zu einer silberlaubigen Bepflanzung mit weißem Kies ist Gegenstand der Untersuchungen. Im Zentrum der Monitoringtätigkeit und der Arbeit mit den Stakeholdern steht der Vergleich der verschiedenen Technologieansätze der Kombination im Hinblick auf deren Kosten-Nutzen Verhältnis (Errichtung, Pflege/Wartung, Geschäftsmodelle) sowie deren großflächiges Anwendungspotential.



Abbildung 2 Das Kies-Flachdach der HTL (Foto: HTL1)

2) Die Fassade:

Ein massives (Überhitzungs-)Problem für die Schule bildet eine rund 500m² große, vorgehängte, Glasfassade auf der Südseite des Hauptgebäudes. Ab dem Frühjahr bis spät in den Herbst treten in den dahinterliegenden Klassen- und Aufenthaltsräumlichkeiten zum Teil massive Hitzeprobleme auf. Konkret führen Temperaturwerte an den Fenstern (außen 60°C, innen 45°C) zu Raumtemperaturen von bis zu 38°C. Zusätzlich verhindert ein horizontales Glasdach über der Fassade für den ursprünglich angedachten Kamineffekt, der für Kühlung sorgen sollte. Weiters besteht der Bodenbereich ausschließlich aus versiegelten Flächen, wo warme Luft aufsteigt, zwischen Glasfassade und Gebäude hochsteigt und oben aufgrund des Glasdaches nicht entweichen kann. Somit wurde in das Gesamtbetrachtungsobjekt "Fassade" auch der Vorplatz- und Bodenbereich betrachtet und Begrünung für kühl aufsteigende Luftmassen sorgen betrachtet. Im unteren Bereich der Fassade wurden bodengebunden Kletterpflanzenbegrünungen auf Rankhilfen umgesetzt. Die Herausforderung bestand in der bedarfsgerechten Versorgung der Pflanzen mit Wasser. Die Glasfassade selbst besteht aus 37 Glaselementen, die aus je 4 vertikal angeordneten Glaselementen mit einer Gesamthöhe von ca. 10,2 m bestehen. Alle 4 vertikalen Glaselemente sind vertikal drehbar angeordnet. Diese wurden durch steuerbare, transparente, PV-Elemente die Glaselemente ersetzt, die für Teil Beschattung sorgen.



Abbildung 3 Großzügige, südexponierte Glasfassade der HTL (Foto: HTL1)

3) Vorplatz ("Wörthersee")

Der Vorplatz der HTL1 ist ein nahezu vollkommen versiegelter Bereich, in dem sich Hitze staut und der sehr anfällig für urbane Hitzeinseln ist. Am Vorplatz befindet sich das Kunstprojekt "Wörthersee" mit einer Größe von ca. 520 m², bei dem der Boden blau gefärbt ist und sich ein "Steg" und eine "Brücke" befindet. Dieser Platz soll eigentlich Aufenthaltsbereich für SchülerInnen sein, Allerdings ist er von Mai bis Oktober aufgrund der starken Widerhitze nicht nutzbar. Ziel des Projektes ist es, dass im Bereich des "Wörthersees" unterschiedliche Kühlelemente geschaffen werden. Die Brücke, sprich der überdachte Gang am Vorplatz soll ebenfalls, wie das Dach und die Fassade mit PV-Elementen ausgestattet werden. Diese Elemente erhalten als Untergrund eine mit Wasser gefüllte Wanne, mit der experimentell getestet wird, wie eine direkte Verdunstung durch offenes Wasser den Ertrag der PV-Anlagen steigert.

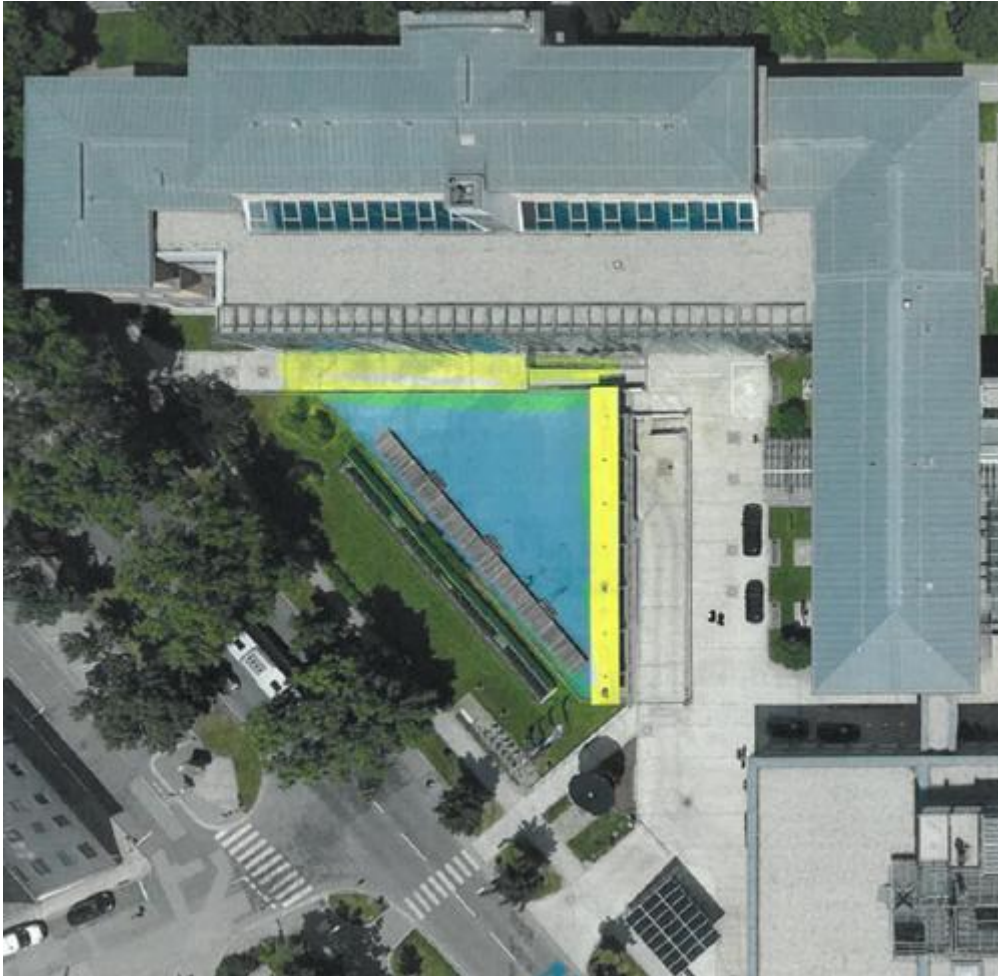


Abbildung 4 Vorplatz "Wörthersee" in der Vogelperspektive (Quelle: Google Maps, Maxar Technologies, 2023)

Sämtlicher notwendiger Wasserbedarf für das gesamte Demogebäude wird durch den eigenen Brunnen der HTL1 versorgt, der in einer Tiefe von ca. 12 m eine Schüttung von etwa 200 Liter pro Minute hat.

In den vorliegenden als auch folgenden Kapitel erfolgt die Beschreibung des im Forschungsprojektes GREENsChOOLENERGY umgesetzten Forschungsarbeiten und deren Ergebnisse anhand der beschriebenen Projektbereiche.

- Vorplatz
- Fassade
- Dachbegrünung



Abbildung 5 Frontansicht der Schule vor den Umgestaltungsmaßnahmen (Foto: HTL1)



Abbildung 6 Frontansicht der großzügigen Glasfassade mit Klassenzimmer direkt dahinter und entsprechender sommerlicher Überhitzung (Foto: HTL1)

Ausgangssituation und Stand der Technik für die Nutzung von Wasser zur Kühlung von PV-Anlagen:

Ausgangslage für das Forschungsvorhaben: Aktive Wasserkühlung mittels Besprühung zur Steigerung des Wirkungsgrades von Photovoltaikmodulen.

Die Effizienz von Photovoltaikmodulen ist stark von der Betriebstemperatur der Solarzellen abhängig. Um den Wirkungsgrad zu optimieren, ist eine gezielte Kühlung erforderlich. In diesem Kontext wird die aktive Wasserkühlung als Technologie betrachtet, die durch das Besprühen der Photovoltaikmodule mit Wasser die Betriebstemperatur senken kann. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Leistungsfähigkeit der Solarzellen zu steigern, insbesondere in Regionen mit intensiver Sonneneinstrahlung und hohen Umgebungstemperaturen bzw. in den Sommermonaten im mitteleuropäischen Raum.

Das Forschungsvorhaben beabsichtigt, die Wirksamkeit der aktiven Wasserkühlung zu untersuchen, indem Parameter wie die Effizienzsteigerung der Module untersucht werden. Zudem sollen neue Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie diese Technologie in realen Umgebungen implementiert und optimiert werden kann.

Besondere Aufmerksamkeit wird auf die Wasseraufbereitung dieser Wasserkühlungstechnologie gelegt, um sicherzustellen, dass das Wasser in einer entsprechenden Beschaffenheit für die Besprühung vorliegt. Im speziellen wurde die Umkehrosmose als Verfahren gewählt. Die Umkehrosmose ist eine effektive Methode zur Entfernung von Verunreinigungen, einschließlich organischen Molekülen und bestimmten Salzen, was auch das Wachstum von Algen hemmen kann. Dies liegt daran, dass die semipermeable Membran in einer Umkehrosmose-Anlage nur Wassermoleküle passieren lässt, während viele gelöste Substanzen zurückgehalten werden. Durch eine Evaluierung dieser Faktoren strebt dieses Forschungsvorhaben an, nicht nur den aktuellen Stand der Technik in Bezug auf aktive Wasserkühlung zu dokumentieren, sondern auch wertvolle Erkenntnisse für die Weiterentwicklung und Implementierung dieser Technologie in Photovoltaiksystemen zu gewinnen. Andere Methoden wie die Wasserenthärtung über Ionentauscher sind nicht für sich alleine zielführend, da diese die oben genannten Begleitstoffe nicht entfernt.

Ausgangslage beim sozialen Monitoring: Auswertung der Fragebögen (2021-2023)

Seit dem Schuljahr 2020 wird unter dem Label GREENsChOOLENERGY an der HTL1 Lastenstraße an einer wesentlichen Herausforderung der Stadtentwicklung gearbeitet: Beton und reflektierende Fassaden, wenige Grünflächen und ein Mangel an Wasserquellen führen dazu, dass die ohnehin stetig anwachsende Sommerhitze noch fataler für die Stadtbewohner:innen wird. GREENsChOOLENERGY beschäftigt sich mit den Möglichkeiten der Abkühlung und Temperaturreduzierung in der Stadt, insbesondere am Schulstandort. In diesem Kontext werden innovative und nachhaltige Klimasysteme sowie Energieeffizienz erforscht, entwickelt und umgesetzt.

Die HTL1 in der Lastenstraße, als teilweise denkmalgeschütztes Schulgebäude, musste sich ebenso den klimatischen Herausforderungen stellen und Lösungen finden, die ein konzentriertes Arbeitsklima für die Schüler:innen ermöglichen, trotz steigender Hitze im Frühling und Sommer. Aus diesem Grund wurden innovative und nachhaltige Klimasysteme sowie Energieeffizienz erforscht, entwickelt und umgesetzt.

Der Wohlfühlfaktor in der Schule, der als eines der erklärten Projektziele durchaus Priorität hatte, wurde in Umfragen erhoben, wobei vier Gruppen befragt wurden: Schüler:innen, Lehrer:innen, Verwaltungs- und Reinigungspersonal.

4 Projektinhalt

An den drei zuvor beschriebenen Bereichen (Vorplatz, Fassade und Dach) wurden unterschiedliche Bauwerksbegrünungsvarianten errichtet. Im Google Maps Bild von 2024 sind die umgesetzten Flächen bereits zu erkennen.

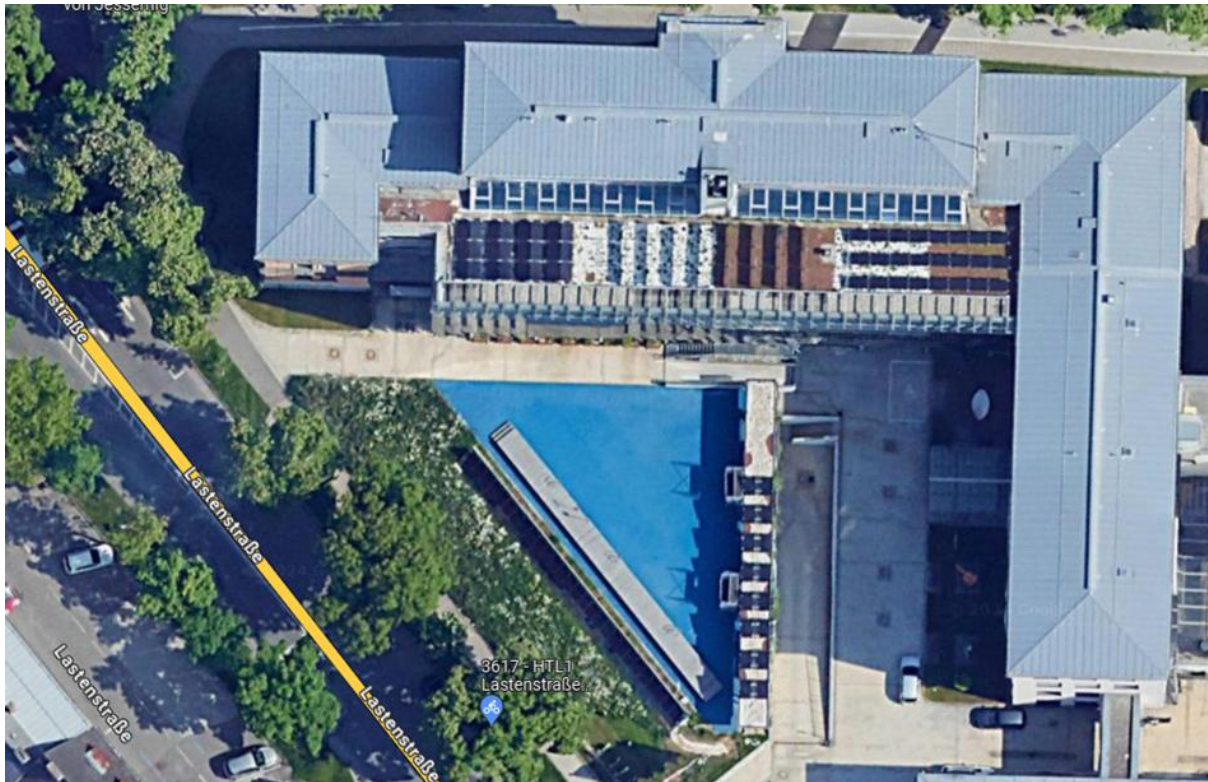


Abbildung 7 Dachbegrünung mit unterschiedlichen PV-Varianten, PV-Fassade mit Fassadenbegrünung und begrünte Pergola mit PV und Bachlauf (Quelle: Google Maps, Airbus Kartendaten, 2024).

4.1. Versuchsflächen

Im Folgenden werden die Umbauten an den drei Versuchsflächen (Vorplatz, Fassade und Dach) beschrieben. Die Arbeiten wurden teilweise von Fachfirmen durchgeführt, und teilweise unter fachgerechter Anleitung von den Schüler:innen der HTL1 im Zuge von Projektstunden durchgeführt.

4.1.1. Adaptierungen am Vorplatz

Im Bereich des Vorplatzes (unter dem Bachlauf) wurde eine Trog-Begrünung mit Rankseilen realisiert. Im Bereich der Fassade kamen eine bodengebundene Begrünung mit Rankseilen und Trogbegrünungen mit Rankseilen zum Einsatz. Die gewählten Kletterpflanzen sind: *Wisteria floribunda*, *Campsis radicans* und verschiedene *Lonicera*-Arten.

Die Metalltröge wurden gedämmt und mit Drainageplatten (mit integriertem Wasseranstau) ausgelegt. Danach wurde ein Filtervlies eingelegt und ein geeignetes Ober- und Untersubstrat eingefüllt. Die Pflanzarbeiten wurden gemeinsam mit den Schüler:innen der HTL Lastenstraße durchgeführt. Die Kletterpflanzen werden über eine Tröpfchenbewässerung (gesteuert über einfache Bewässerungscomputer) mit Wasser versorgt.



Abbildung 8 Begrünung der Pergola unter dem Wasserlauf (Fotos: Weiss-Tessbach und Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

Auf dem Laubengang am Vorplatz "Wörthersee" wurde ein künstlicher Wasserlauf durch Aufdopplung der Überdachung umgesetzt. Über dem Bachlauf wurde eine Photovoltaikanlage mit südlicher Aufständigung von 15° montiert. 16 Stück bifaziale Module mit einer Einzelleistung von je 310 Wp ergeben eine Leistung von 4,96 kWp.

In der unten gezeigten Abbildung 9 ist der künstliche Bachlauf dargestellt. Die PV-Module befinden sich direkt über dem Bachlauf. Der Bachlauf selbst wird mit kühlem Wasser aus der Tiefgarage gespeist. Dieses kühle Wasser erzeugt eine große Kühlfläche für die PV-Anlage, wodurch die Leistungsbilanz verbessert wurde.

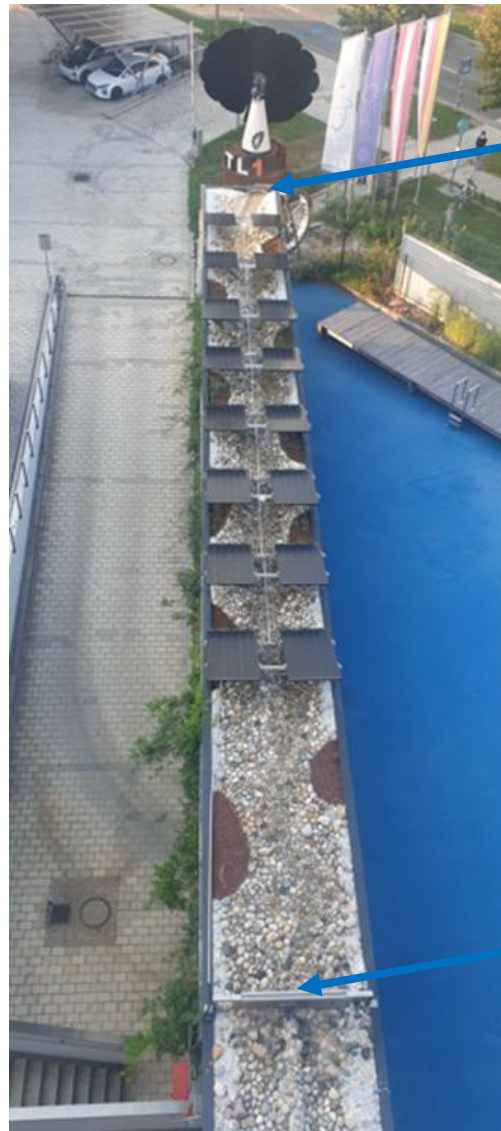


Abbildung 9 Abbildung der Pergola mit Fassadenbegrünung, künstlichem Bachlauf und PV-Modulen (Foto: HTL1)

Der Bachlauf hat einen 4 Kubikmeter großen Puffertank, der 4 Füllstandsensoren beinhaltet, um durchgehend überwachen zu können, ob ausreichend Wasser im Behältnis ist. Der Bachlauf besitzt einen geschlossenen Wasserkreislauf, welcher im eingeschalteten Zustand 1,5 Kubikmeter Wasser benötigt. Das bedeutet, dass der Bachlauf nie eingeschaltet werden darf, wenn der Wasserpegel im ausgeschalteten Zustand unter 50% liegt, um ein Trockenlaufen der Pumpe zu vermeiden. Im Fall, dass zu wenig Wasser im System ist, öffnet sich ein Magnetventil, um den Kreislauf mit zusätzlichem Wasser zu versorgen. Die Regelung der Wassermenge des Bachlaufs erfolgt über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die einen Frequenzumrichter ansteuert und damit den Sollwert der Wassermenge regelt. Der Bachlauf bildet einen Wasserkreislauf, wobei das Wasser wieder zurück in die Behälter geleitet wird. Die Einstellung der Pumpe sowie die Anzeige des integrierten Durchfluss- und Drucksensors wie auch der Stromverbrauch werden auf der Visualisierung der SPS dargestellt.



Abbildung 10 Die Schüler und Lehrer der HTL1 beim Betonieren des Bachlaufs (Foto: Irene Zluwa, 31.05.2023)



**Wasserablauf
(Wasserrad)**

Wasserzulauf

Abbildung 11 Bachlauf und PV-Module aus der Vogelperspektive (Foto: HTL1)



**Wasserrad mit Generator
(Energierückgewinnung)**

Abbildung 12 Installiertes Wasserrad am Ende des Bachlaufes (Foto: HTL1)

Für den Bachlauf wurde eine Pumpenauslegung hinsichtlich des erforderlichen Volumenstroms für das Wasserrad durchgeführt. Ein Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (RI-Schema), welches den Wasserbezug bezugnehmend auf den Bach darstellt, wurde erstellt. Ebenfalls wurde mit den Schülern ein Laborversuch hinsichtlich der Aufnahme einer Pumpenkennlinie durchgeführt, um herauszufinden, wie man den Betriebspunkt ermitteln kann. Für die Optimierung der Leistung des Wasserrades im Zuge der Zufluss-Regelung wurde ein sogenanntes MPPT (Maximum Power Point Tracking) umgesetzt.

4.1.2. Adaptierungen an der Fassade

Bei der bestehenden Glasfassade wurden die Glaselemente durch Photovoltaikmodule ersetzt. Auf Grund der zur Verfügung stehenden Fläche von ca. 500 m² konnten 216 Module mit einer Einzelleistung von 300 Wp zu einer Gesamtanlage von 64,80 kWp zusammengefasst werden. Die Fassadenanlage wurde durch die Wechselrichterzuordnung und Stringaufteilung in fünf Abschnitte eingeteilt. Dabei wurden fünf Wechselrichter mit je 12,5 kW verbaut, wobei einem Wechselrichter 42 Module zugeordnet sind. Die Kühlung der PV-Module erfolgt mit Hilfe eines Wasserbesprühungssystems.

Herausforderungen stellen die erforderliche Wasserqualität für die Besprühung der Fassade und die gleichmäßige Verteilung des Wassers. Diese Lösungen wurden gemeinsam mit den Schüler:innen in Projekt- und Diplomarbeiten erarbeitet und werden im Ergebnisteil dieses Berichts beschrieben.



Abbildung 13 Großzügige PV-Fassade nach Umbauarbeiten (Foto: HTL1), (zum Zeitpunkt der Aufnahme wurden die Begrünungen und der Bachlauf noch nicht umgesetzt)



Abbildung 14 Tröge mit Kletterpflanzen an Rankseilen unter der PV-Fassade und Aushebung der Pflanzengrube für die bodengebundene Fassadenbegrünung (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

Unter der PV-Fassade wurde eine bodengebundene sowie troggebundene Fassadenbegrünungen an Rankseilen gebaut. Die Bepflanzung erfolgte analog zum Vorplatz unter Mithilfe der Schüler:innen. Bezüglich der Vegetationsentwicklung wurden das unterschiedliche Wuchsverhalten zwischen trog- und bodengebundener Begrünung beobachtet.

4.1.3. Adaptierungen am Dach

Zur Installation der extensiven Dachbegrünung wurde auf der bestehenden Dachabdichtung eine zusätzliche wurzelfeste Lage eingebaut. Auf dieser ist ein 500 g starkes Schutzvlies verlegt. Als Drainageebene dienen Festkörperdrainage-elemente.

Für die Kombination PV-und Dachbegrünung wurden 3 unterschiedliche Varianten verglichen: eine nach Süden ausgerichtete Variante mit hintereinander gereihten Modulen mit einer Neigung von 15°, vertikal aufgestellte Module mit bifazialen Solarzellen und eine Variante zur nachträglichen Ausstattung eines Gründaches mit PV.

Die Photovoltaikanlage am Flachdach des Hauptgebäudes wurde (passend zu den untersuchten Aufständervarianten) in drei Bereiche eingeteilt. Es wurden jeweils 24 bifaziale Module mit 310 Wp zu einer Anlage mit 7.44 kWp und einem Wechselrichter zusammengefasst. In Summe wurde somit eine PV-Anlage mit 22,32 kWp am Flachdach errichtet.



Abbildung 16:

Links oben: Schüler der HTL bauen unter Anleitung der Fachfirma die PV-Gründachsysteme auf;

Rechts oben: das Dachsubstrat wird auf das Dach geblasen;

Links unten: Die Montage der PV erfolgt nach dem Aufbringen des Dachsubstrats, Rechts unten:

Multiopfpaletten und Pflanzen bereit zur Auspflanzung (Fotos Zluwa und Tess-Weißbach, GRÜNSTATTGRAU)

Beschreibung der Unterkonstruktionen:

- a) Folgende Aufstellungsvarianten, Ausrichtungen und Neigungswinkel der PV wurden verglichen: PV-Gründach 15° bifazial Süd:

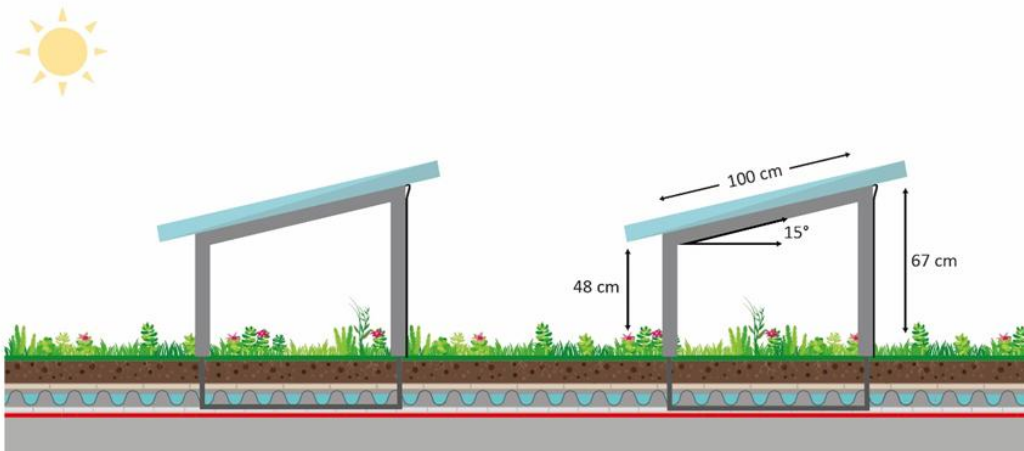


Abbildung 17 Schematische Darstellung der Südlich ausgerichteten 15° geneigten PV-Gründachsystems (Grafik: Mühlbauer, GRÜNSTATTGRAU)

Die Bodenplatten der Unterkonstruktion liegen unter der Drainageplatte und sind mit den Bügeln, auf denen die Schienen für die PV befestigt sind, über eine Schraube verbunden. Das System braucht daher keine zusätzliche Auflast, sondern wird vom Gewicht des Dachsubstrates gegen den Windsog gesichert. Die Ausrichtung der Module ist nach Süden mit einer Neigung von 15°.



Abbildung 18: Aufgeständerte Module mit Sedumbepflanzung (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

b) PV-Gründach 90°, vertikal bifazial, Ost-West Ausrichtung

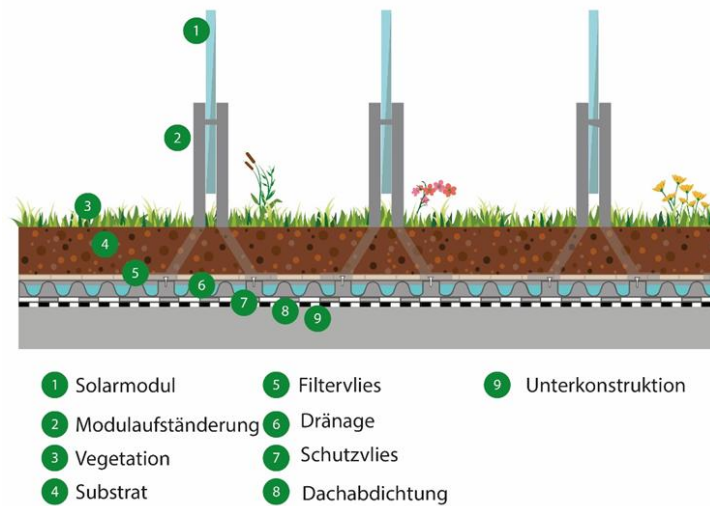


Abbildung 19 Ost-West ausgerichtete vertikal aufgeständerte Anlage (Grafik: Mühlbauer, GRÜNSTATTGRAU)

Auch die zweite Aufständerungsvariante wird durch die Auflast des Dachsubstrates gehalten. Die Unterkonstruktion ist dabei mit der Drainageplatte verschraubt. Die Ausrichtung der Module ist Ost-West, die Neigung ist 90° (Das System ist also vertikal aufgestellt).



Abbildung 20 Vertikales Bifaziales PV-Gründachsystem mit silberlaubiger Unterpflanzung und weißem Kies. (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

c) Ost-West ausgerichtete Anordnung mit 10° Neigung

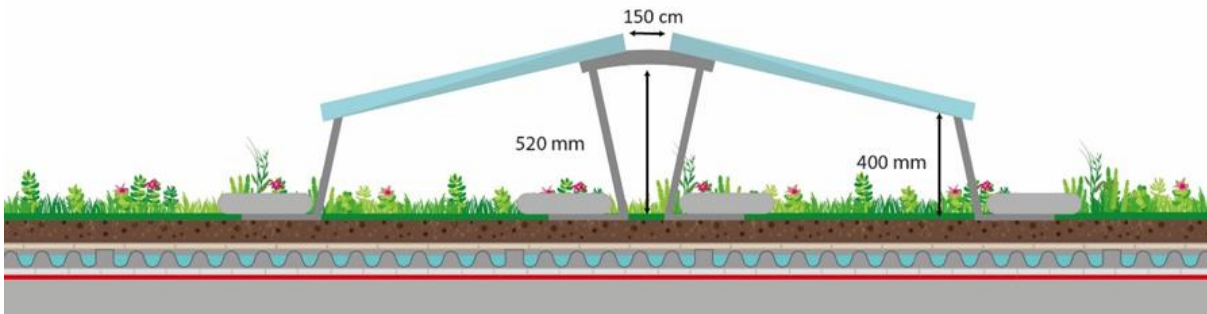


Abbildung 21 Schematische Darstellung des Ost west ausgerichteten 10° geneigten dachförmig aufgestellten PV-Gründachsystems (Grafik: Martinez, GRÜNSTATGRAU)

Das dritte System ist für die nachträgliche Installation auf einer Begrünung gedacht. Es wird mit einer zusätzlichen Beschwerung gegen Windsog gesichert. Die Ausrichtung der Module ist dachförmig nach Ost-West mit einer Neigung von 10°.



Abbildung 22 Unterkonstruktion der dachförmigen PV-Variante zur nachträglichen Aufstellung mit einer Beschwerung aus Betonsteinen (Foto: Zluwa, GRÜNSTATGRAU).

4.2. Forschungsinhalte

Die HTL1 Lastenstraße hat ihren Ausbildungsschwerpunkt auf den Inhalten Maschinenbau, Elektrotechnik, Mechatronik sowie Land- und Umwelttechnik. Ziel des Forschungsprojektes war nicht nur die Erprobung und Demonstration verschiedener innovativer PV und Begrünungskombinationen sondern auch die aktive Einbindung der Schüler:innen in den Monitoringprozess und die Entwicklung von Steuerungen und Optimierungen für die unterschiedlichen technologischen Lösungen.

Gemonitort wurden:

- die Erträge der unterschiedlichen PV-Systeme,
- die Steuerung von Bachlauf und Fassaden-Besprühung,
- die Entwicklung der Pflanzen in den Begrünungssystemen (bei besonderem Fokus auf das PV-Gründach) und
- die Akzeptanz der Maßnahmen durch Schüler:innen und Schulpersonal.

Bei den Datenerhebungen wurde darauf geachtet, möglichst viele Punkte in den Unterricht einzubauen und die Schüler:innen im Zuge von Projektarbeiten und Diplomarbeiten einzubinden.

4.3. Datenerfassung und Visualisierung für das PV-Monitoring (Leistung der PV-Anlagen)

Im Zuge des Projektes wurden alle Photovoltaiksysteme (PV-Module, Wechselrichter und dazugehörige Verkabelungen sowie Zubehör) nach dem aktuellen Stand der Technik montiert. Alle PV-Systeme wurden in das zentrale Datenbanksystem der HTL1 integriert. Die Leistung der einzelnen Flächen wird aufgezeichnet und gibt Rückschlüsse über die unterschiedlichen Aufbauten.

Die für das Projekt installierten PV-Anlagen lassen sich in folgende Anlagen unterteilen:

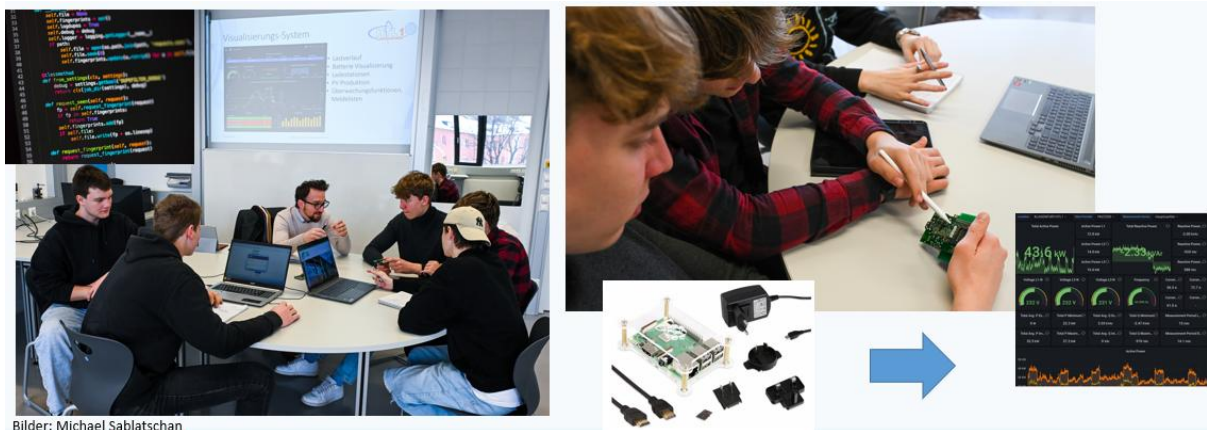
- Laubengang Vorplatz "Wörthersee"
- PV-Fassade
- Flachdach

Das Monitoring wurde über mehrere Energiezähler und PV-Systeme durchgeführt. Es gliedert sich in folgenden Teilen:

- Schnittstelle Energiezähler PAC2200 (an den Knotenpunkten)
- Visualisierungen der Energiedaten für interne Überwachung (Geräte Ausfall)
- Visualisierung Energiedaten externe Visualisierung (Anzeigen)

Die Energiezähler wurde an ein zentrales Serversystem vernetzt und mit Flow-Code abgefragt. Die Energiedaten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert und für das Monitoring bereitgestellt. Eine Dokumentation der Schnittstellenanbindung diente der einfachen Kommunikation der beteiligten Personen.

Mit den Schülern wurden die Ergebnisse zu den einzelnen Projektschritten besprochen und anschließend Optimierungen erstellt.



Bilder: Michael Sablatschan

Abbildung 23 Projektbesprechung mit Schülern (Foto: HTL1)

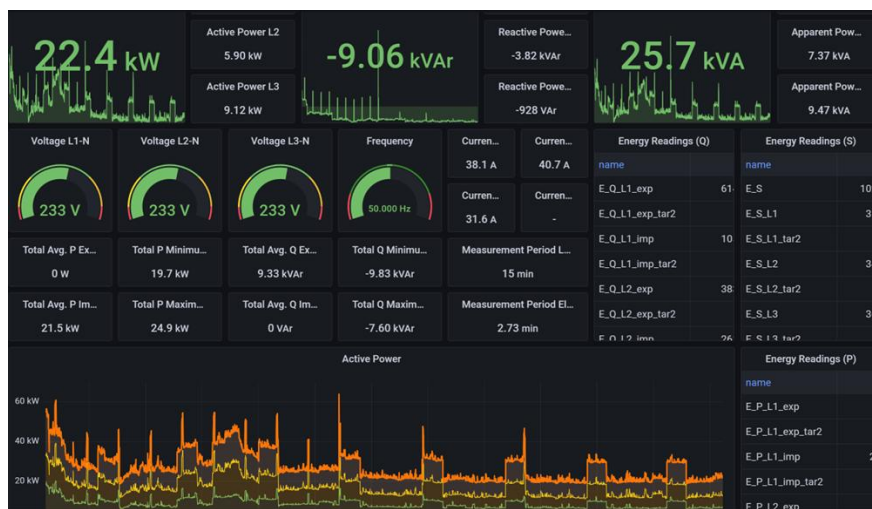


Abbildung 24 Visualisierung des Datenmonitorings (Visualisierung HTL 1)

In der oben gezeigten Abbildung ist die Übersicht für die Analyse und Optimierung der PV-Anlagen dargestellt. Hier ergibt sich die Möglichkeit, die einzelnen PV-Leistungen zu visualisieren und anschließend den Effekt mit den unterschiedlichen Kühlungseinstellungen auswerten zu können. Die Datenanbindungen für die Optimierungen erfolgten über die grafische Programmiersprache „Flow-Code“.

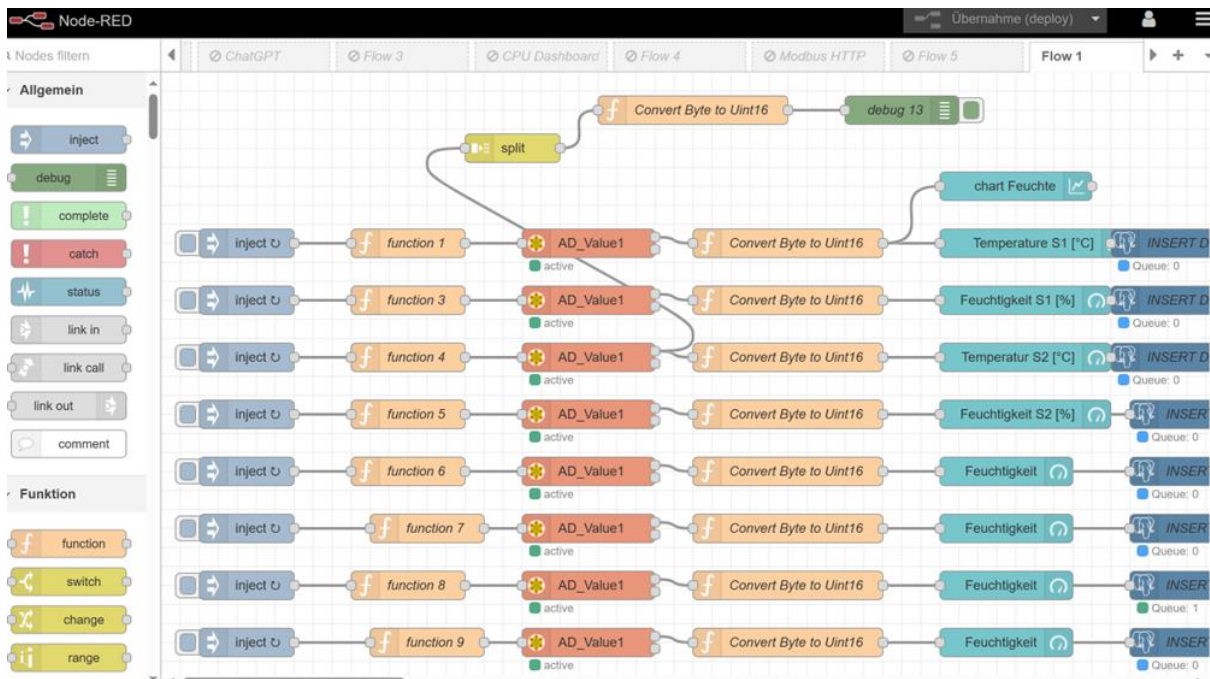


Abbildung 25 Auszug des Flow-Codes (Visualisierung HTL1)

In der oben gezeigten Abbildung ist auszugsweise der Flow-Code zur Verarbeitung der umfangreichen Sensorik und Speicherung in die zentrale Datenbank dargestellt.

Auch für die Aufzeichnung der einzelnen Daten der Anlage wurde Flow-Code verwendet. Hierbei wurden die einzelnen Sensoren an dezentrale Subeinheiten angebunden, welche mittels Modbus TCP/IP Kommunikation mit einem zentralen Server System verbunden sind.

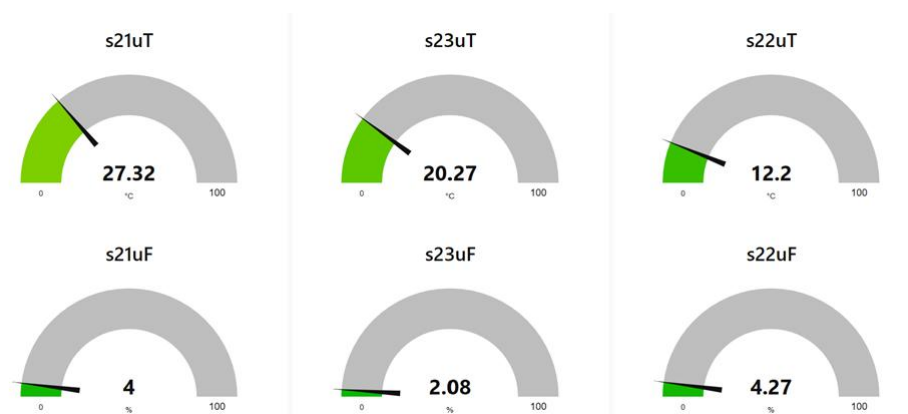


Abbildung 26 Visualisierung der momentan Werte in Dashboards (Visualisierung HTL1)

Die Visualisierung wurde in zwei Abschnitte unterteilt, in einen Teil für die momentan Wert Darstellung und einen Teil für die historischen Daten. Die Momentanwert Darstellungen dienen zur Analyse der aktuellen Messungen für Sensorausfälle oder Fehler. Die historischen Aufzeichnungen sind für die Analyse von Leistungsbilanzen und Kühleigenschaften.

Hierbei wurden für die historische Aufzeichnung der Daten Funktionen und SQL-Skripte („Structured Query Language“) erstellt, welche die Daten der Messungen in eine PostgreSQL Datenbank abspeichern.

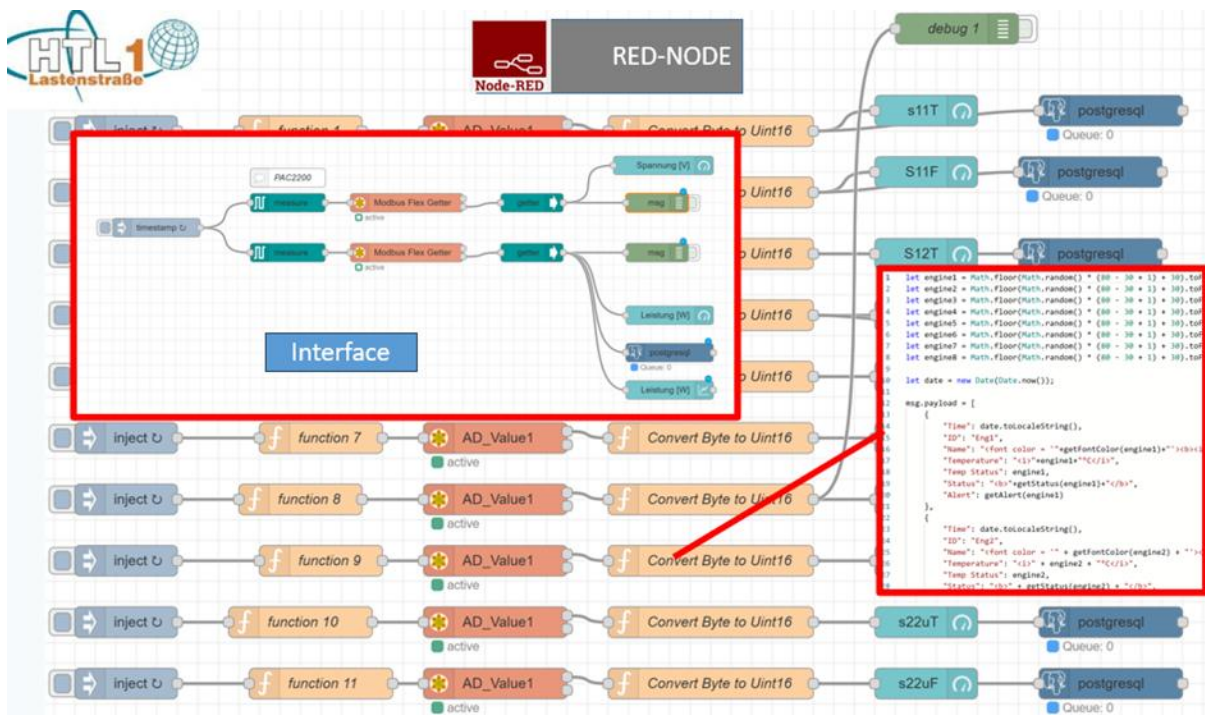


Abbildung 27 Auszug aus dem Flow-Code System (Visualisierung HTL1)

Alle Aufzeichnungen sind mit einer zeitlicher Trigger-Funktion ausgestattet. Die Kernaufgabe ist die Verarbeitung der unterschiedlichen Messungen und die Speicherung in eine zentrale Datenbank.

Die Visualisierung der Daten erfolgt in einem eigenem Software Tool (Grafana). Hierbei sind Oberflächen mit SQL-Abfragen erstellt worden für die Analyse der Anlagen Leistungen im Detail und für die Auswertung der Leistungsbilanzen.



Abbildung 28 Analyse der Leistungen mit Grafana (Visualisierung HTL1)

4.4. Monitoring und Steuerung des Bachlaufes und der Besprühung der PV-Fassade

4.4.1. Steuerung der Besprühung der Fassade

Die Aufgabe der Besprühung ist es, die Klassen und die PV-Anlage auf der Südseite der Schule zu kühlen. Die Regelung der Pumpe ist daher mit der Klassentemperatur verknüpft. Ein Temperatursensor, welcher in einer Klasse installiert ist und mit dem Techniknetzwerk der Schule verbunden ist, wird dabei für den Referenzwert genutzt. Diesen Wert kann man einfach über eine Modbus Verbindung auslesen. Wenn die Klassentemperatur über 27°C steigt, wird die Besprühung aktiviert und es beginnt durch die Verdunstung von Wasser die Kühlung der Klassenräume. Wie im Fall des Bachlaufs wird auch bei den Tanks der Besprühung der Füllstand geprüft und falls benötigt automatisiert mit neuem Wasser versorgt. Die Steuerung der geförderten Wassermenge ist wie bei dem Bachlauf mit einem Frequenzumrichter realisiert und auch hier werden die Daten "Druck", "Durchfluss" und "Stromverbrauch" erfasst.

4.4.2. Steuerung von Bachlauf und Energierückgewinnung durch das Wasserrad

Der Bachlauf fließt über ein Wasserrad, welches mit einem Generator ausgestattet ist und einen Teil der Energie der Wasserpumpe des Kühlkreislaufes (künstlicher Bachlauf) der PV-Systeme wieder rückgewinnt. Eine installierte Leistungsmessung liefert dabei die Messwerte der Leistung des Generators des Wasserrades. Dies geschieht über eine Strom- und Spannungsmessung im Gleichstromkreis der Energieerzeugung und einem 3-phasigen Leistungsmessgerät im Wechselstromkreis. Die Umdrehungsgeschwindigkeit wird über Hall-Sensoren im Generator gemessen und es wird eine digitale Darstellung der Wert für die erzeugte Leistung und Drehzahl ausgegeben.

Die Messungen erfolgen über IO-Module, welche auf der Steuerung und am zentralen Server über Modbus TCP/IP angebunden sind. In den folgenden Ansichten werden die aufgezeichneten und angezeigten Messwerte dargestellt.

Sensoren PV-Fassade			
Sensor	Temperatur	Feuchtigkeit	Position
S11FT	%i °c	%i %	2. Blumentopf von links
S12FT	%i °c	%i %	5. Blumentopf von links
S13FT	%i °c	%i %	8. Blumentopf von links
S14FT	%i °c	%i %	Pflanze Rechts

Sensoren Bachlauf			
Sensor	Temperatur	r. Feuchtigkeit	Position
S21UFT	%i °c	%i %	Blumentopf Anfang
S21MFT	%i °c	%i %	Unter Bach Anfang
S21OFT	%i °c	%i %	Unter PV Anfang
S22UFT	%i °c	%i %	Blumentopf Mitte
S22MFT	%i °c	%i %	Unter Bach Mitte
S22OFT	%i °c	%i %	Unter PV Mitte
S23UFT	%i °c	%i %	Blumentopf Ende
S23MFT	%i °c	%i %	Unter Bach Ende
S23OFT	%i °c	%i %	Unter PV Ende

Abbildung 29 MMS-Ansichten zur Messung von Daten (Visualisierung HTL1)

Diese MMS-Ansichten (Mensch-Maschinen-Schnittstelle) sind für das Ausgeben der Temperatur und Feuchtigkeitswerte zuständig. Im Grunde sind es einfache Tabellen, die die Variablenwerte in Echtzeit ausgeben. Von diesen MMS-Ansichten gibt es 5 verschiedene, die zusammengerechnet die Daten von 33 Sensoren ausgeben. Etwas komplizierter ist es bei den folgenden MMS-Ansichten für Bachlauf, Besprühung und Generator. Diese besitzen neben der einfachen Ausgabe von Daten auch die Möglichkeit, Geräte zu steuern und zu verändern, nachdem bestimmte Aktionen ausgeführt wurden.

Bachlauf

Der Bachlauf zeigt die Gesamtfüllmenge der Wassertanks, den Stromverbrauch, den Durchfluss, die Temperatur und den Druck an. Im Rechteck mit dem Titel "Nachfüllung" sieht man auch, ob Wasser in das System geführt wird. Sollte es eine Veränderung des Füllstands geben, ändert sich auch der Wasserspiegel in den Wassertanks auf der grafischen Oberfläche. Auf der MMS-Ansicht ist es möglich, die Pumpe zu konfigurieren und zu schalten. Durch das Klicken auf den Button mit der Bezeichnung "zurück" kommt man auf die Steueransicht.

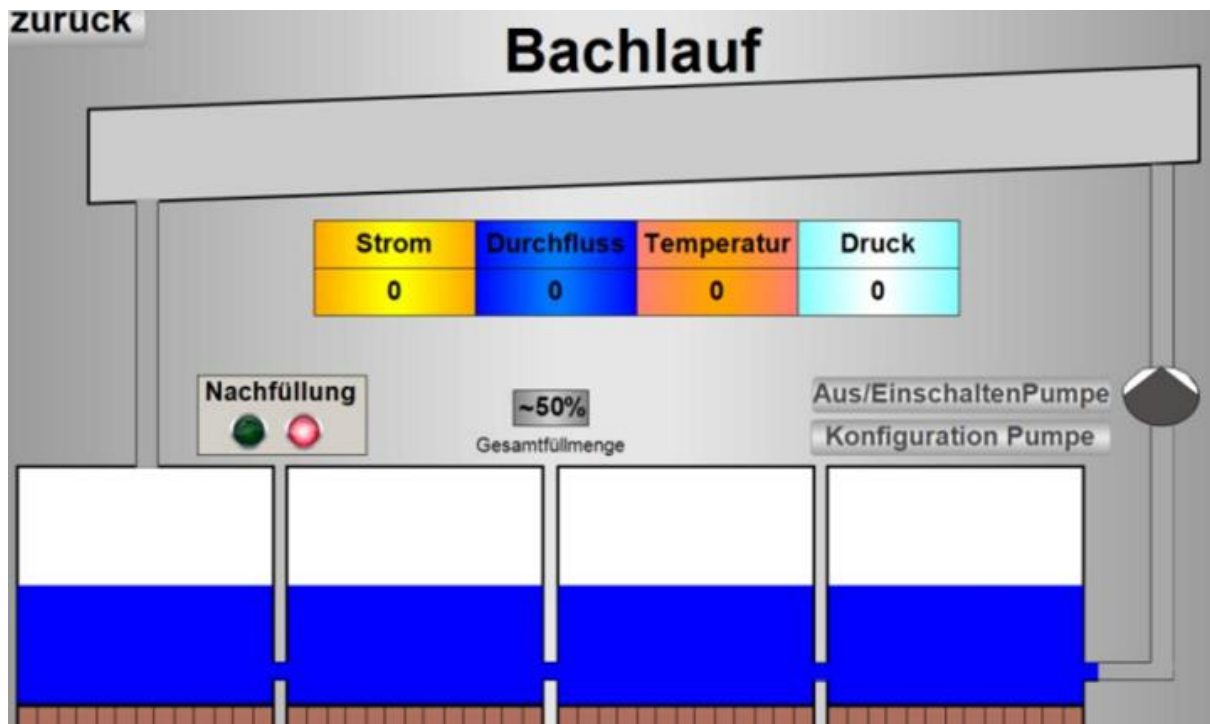


Abbildung 30 Visualisierung zur Messung der Daten am Bachlauf (Visualisierung HTL1)

Besprühung der PV-Fassade

Die Besprühung weist im ausgeschalteten Zustand dieselben Eigenschaften auf wie der Bachlauf. Für die Optimierung des Verbrauches kann über ein Menü das Fördervolumen geändert werden, in dem die Frequenz des Frequenzumrichters angepasst wird.

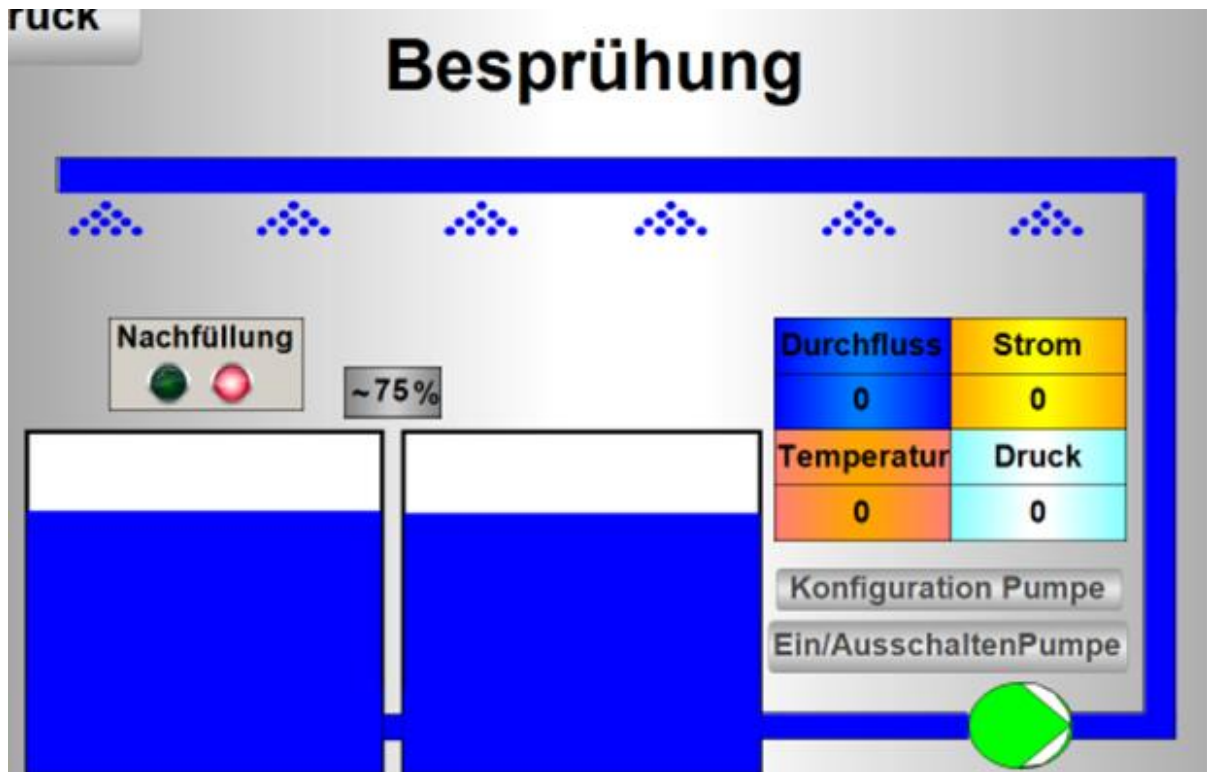


Abbildung 31 Visualisierung zur Messung der Daten der besprühten PV-Fassade (Visualisierung HTL1)

Bachlauf		Besprühung	
ZULAUF EIN		ZULAUF EIN	
ANLAGE AUS		OSMOSE EIN	
Level 1	●	Level 1	●
Level 2	●	Level 2	●
Level 3	●	Level 3	●
Level 4	●	Level 4	●

Abbildung 32 Echtzeitanzeige des Füllstandes der Anlage (Visualisierung HTL1)

In der oben gezeigten Abbildung ist die Echtzeitanzeige des Füllstandes der Anlage dargestellt. Hier stellten wir fest, dass eine Nachfüllung sehr genau eingestellt werden muss, damit es beim Rücklauf nach einer Abschaltung nicht zu einem Überlauf kommt.

Steuerung

Neben der Wasserinstallationstechnik wurden auch unterschiedliche Elektroleitungen verlegt, Sensoren angebracht, Steuerungstechnik verbaut und Schaltschränke errichtet und verkabelt.

Es wurde die erforderliche Software für die Bedienung und das laufende Monitoring entwickelt und umgesetzt. Nachfolgend ist der Schaltschrank mit Steuerungspanel für die Bewässerungstechnik dargestellt.

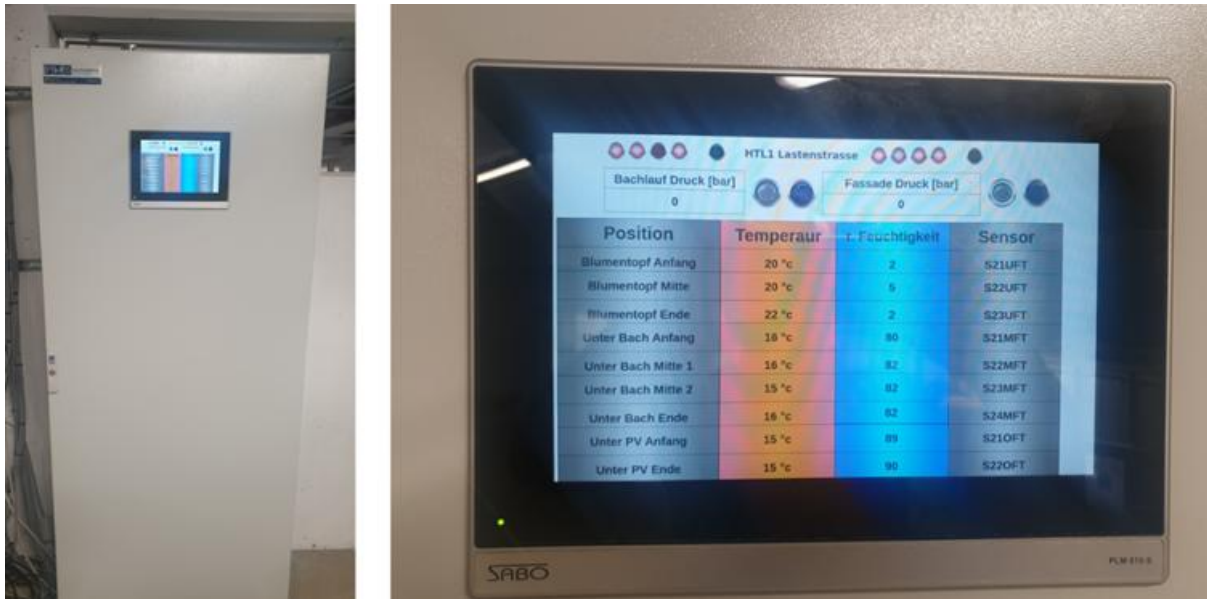


Abbildung 33 Schaltschrank der Anlage (Foto: HTL1)

In der Abbildung ist der Schaltschrank und die im Schrank verbaute Visualisierung dargestellt. Die Steuerung der Anlage wurde über eine SPS-Steuerung realisiert, welche die Prozesssteuerung unabhängig vom Optimierungsprogramm durchführen kann. Als Schnittstelle wurde eine Modbus TCP/IP Schnittstelle realisiert. Die Optimierungssoftware wurde mit Flow-Code programmiert und regelt die Anlage in Kombination mit dem Steuerungsprogramm der SPS.

Durchfluss, Druck, Feuchtigkeit, Leistung und Temperatur fließen in den Optimierungsprozess ein. Eine zentrale Datenbank speichert die aktuellen Werte des Tages und ermöglicht historische Daten und Trends zu analysieren.

Über diese manuellen Analysen werden Verbesserungen in den Ablauf integriert und als Parameter im Regler integriert.

Für die Optimierung wurden eigene Oberflächen erstellt, welche die Werte der Sensoren anzeigen, um bei der Prozessoptimierung die Parameter basierend auf den angezeigten Werten optimal anzupassen.

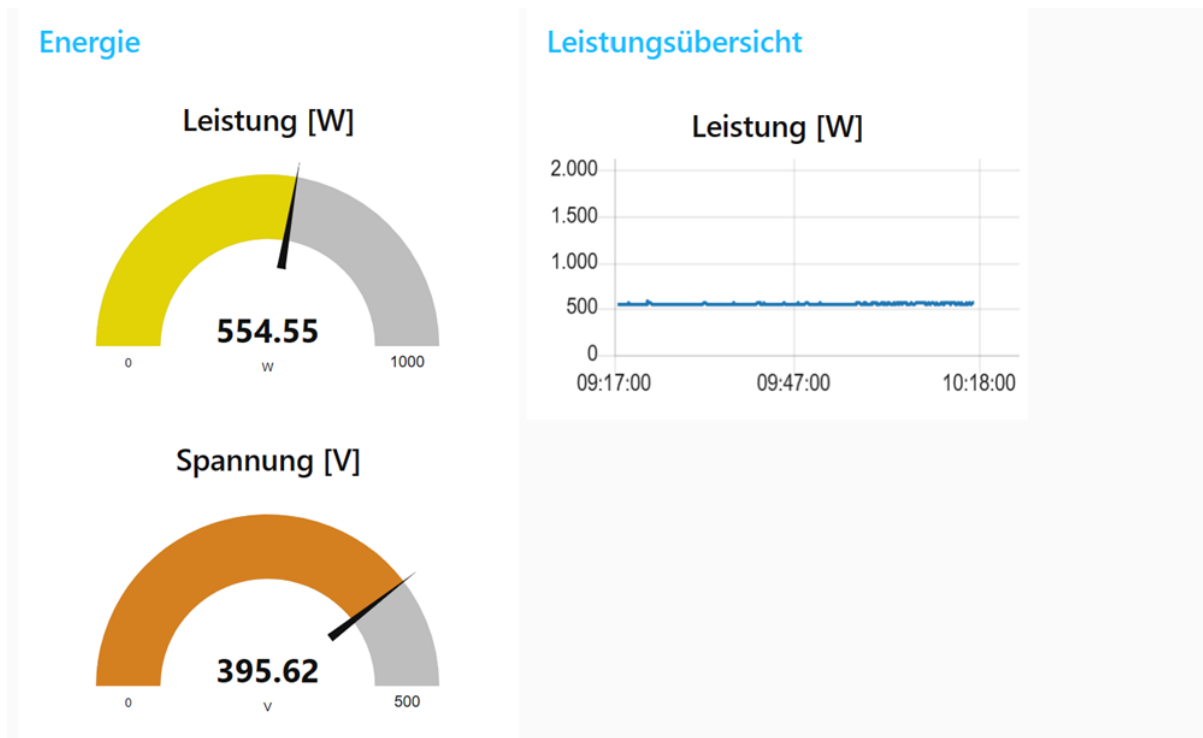


Abbildung 34 Optimierung des Leistungsverbrauchs (Visualisierung HTL1)

Speicherung der Daten

In folgender Abbildung ist die Leistungsanzeige der momentan Wertdarstellung der Verbrauchsleistung der Bachlaufanlage dargestellt. Diese dient zur Aufzeichnung und zum Darstellen der aktuellen Leistungen.

Das Monitoring erfolgt über einen zentralen Server, welche alle notwendigen Daten für die Auswertung und die Evaluierung zentral sammelt und in einer Datenbank speichert.

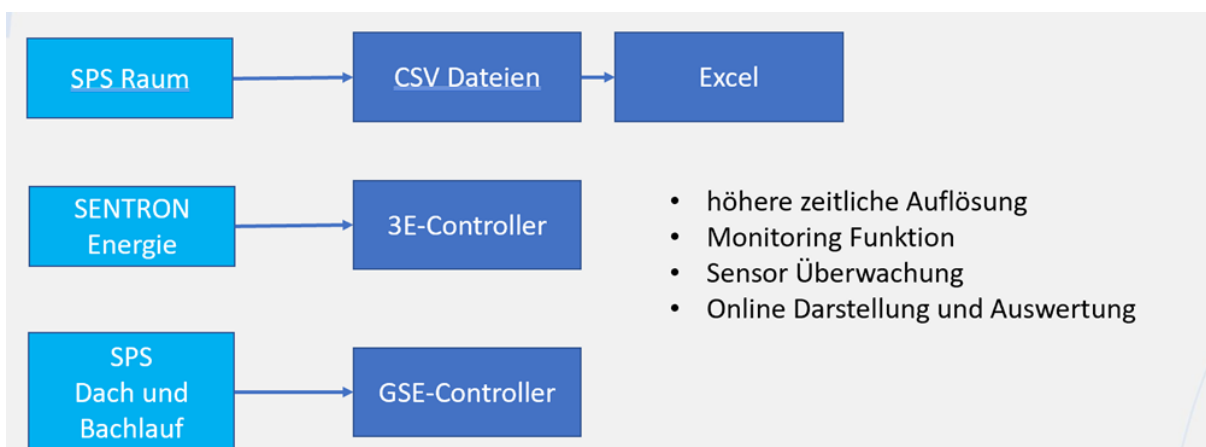


Abbildung 35 Bestandteile der Kommunikationsanbindung (Visualisierung HTL1)

In der oben dargestellten Abbildung sind die wesentlichen Bausteine mit deren Kommunikationsanbindung dargestellt. Die Basis für die Realisierung und die Programmierung der

einzelnen Optimierungsverfahren und Evaluierungsdarstellung wurde mit dem folgenden Software-Elementen realisiert.

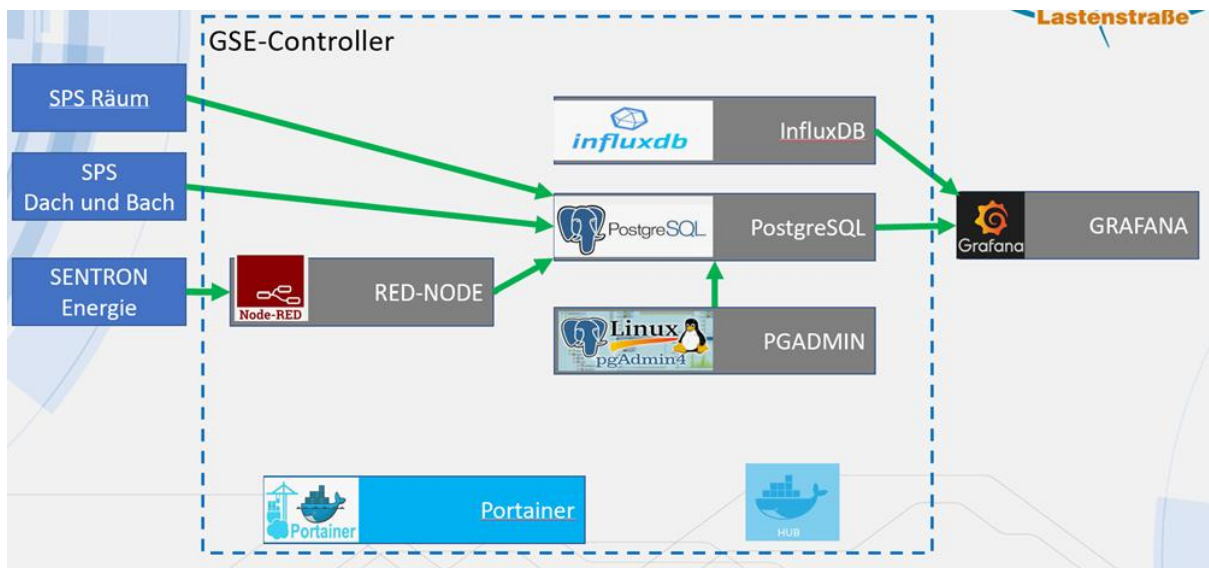


Abbildung 36 Container der Software (Visualisierung HTL1)

In Abbildung oben werden die einzelnen Container der Software dargestellt. Ersichtlich ist die zentrale Verbindung der Daten mit dem Datenbank Server „PostgreSQL“.

Als Hardware wurde ein eigener Server angeschafft. Die einzelnen virtuellen Maschinen wurden auf diese Hardware installiert. In der unten gezeigten Abbildung sind die einzelnen virtuellen Maschinen dargestellt.

Schaltplan:

Für das Erstellen der Schaltpläne wurde das Programm WSCAD verwendet. Dieser dokumentiert den Stand des Steuerschranks und die Verbindungen zur Sensorik und Aktorik.

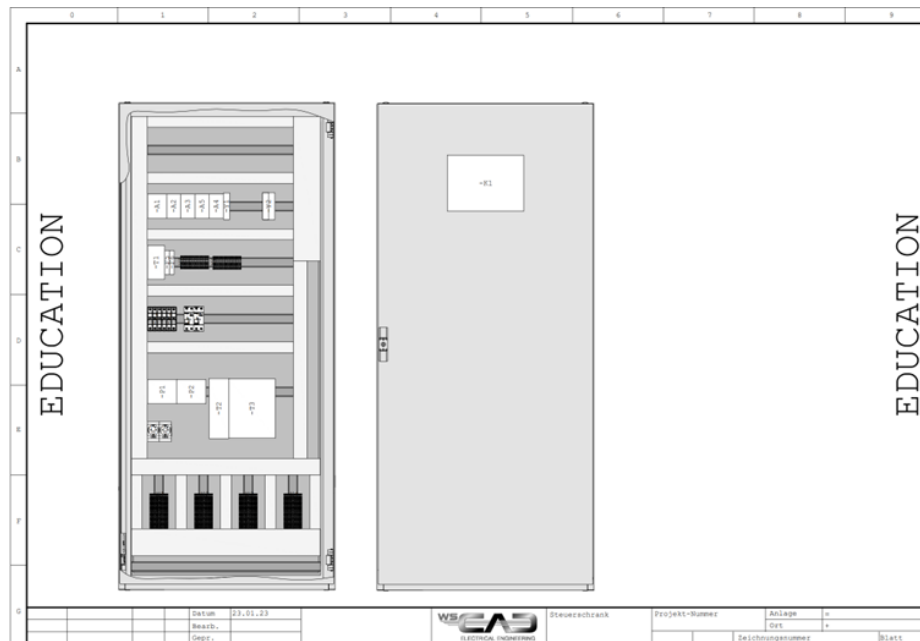


Abbildung 37 Aufbauplan des Steuerungsschranks (Visualisierung HTL1)

4.5. Vegetationstechnisches Monitoring

Die Kletterpflanzen (boden- und troggebunden) wurden visuell gemonitort. Auffälligkeiten und Krankheiten wurden im digitalen Pflegeprotokoll festgehalten.

Ein detailliertes vegetationstechnische Monitoring erfolgte auf dem Gründach, um die Unterschiede in Installation, Pflanzenwachstum, Artenzusammensetzung und Pflege bei den drei unterschiedlichen Aufständervarianten (in der Abbildung 38 von links nach rechts) zu evaluieren:

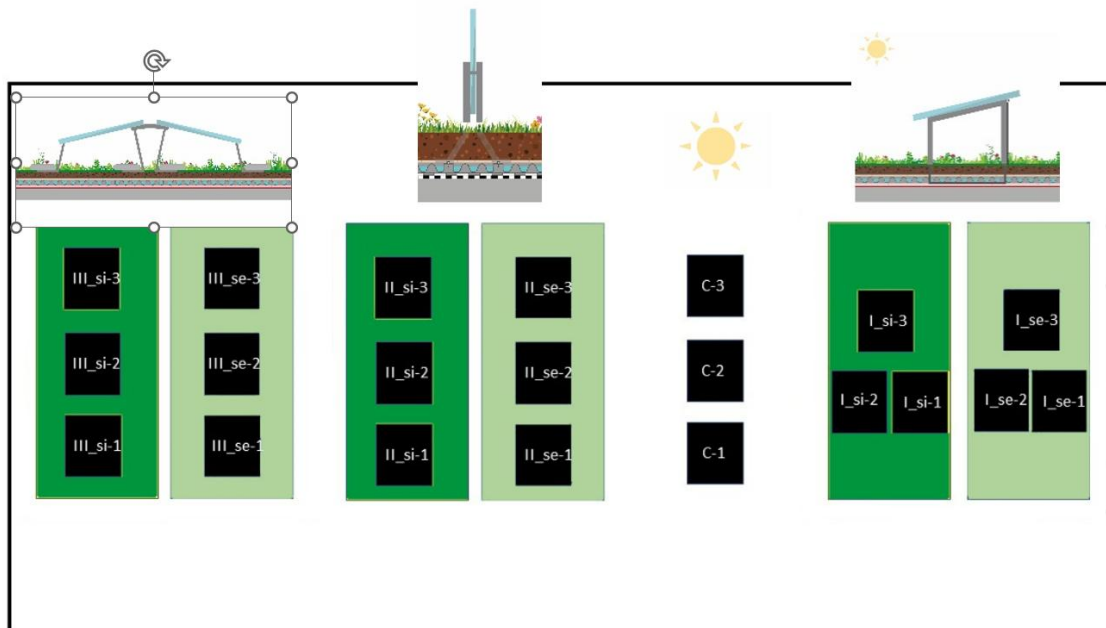


Abbildung 38 Aufteilung der Versuchsfelder (Darstellung: FH Klagenfurt, verändert von GSG)

Das Vegetationsmonitoring erfolgte mit Frequenzrahmen und automatisierter Vegetationsklassifizierung zum Vergleich. Das detaillierte Vegetationsmonitoring wurde am 30.05.2023 und 28.09.2023 durchgeführt.

Im Vegetationsmonitoring wurden folgende Fragestellungen ermittelt:

- Welchen Deckungsgrad weisen die Vegetationsflächen unter den unterschiedlichen PV-Anlagen auf?
- Sind Unterschiede auf die Entwicklung der angepflanzten Vegetation bei unterschiedlichen PV-Anlagen sichtbar?
- Sind für die Dachbegrünung problematische Arten, die spontan aufkommen, vorhanden?



Abbildung 39 Durchführung der Vegetationsaufnahme von 2 Personen mit dem Frequenzrahmen. (Foto: Zluwa: GRÜNSTATTGRAU)

Die Einschätzung der Funktionalität der Systeme hinsichtlich Pflegeaufwand und Konstruktion erfolgte durch Erprobung der Systeme im Aufbau und Betrieb.

4.6. Soziales Monitoring

Das GREENsChOOLENERGY-Projekt an der HTL1 inkludierte eine mehrmalige Befragung, die den Wohlfühlfaktor im und rund um das Schulgebäude beinhaltete. Des Weiteren konnten die Befragten ihre Meinungen zu eventuellen Gestaltungsoptionen äußern und individuelle Vorschläge anbringen. Hierfür erstellte Fragebögen wurden online zur Verfügung gestellt und konnten in einem festgesetzten Zeitraum digital ausgefüllt werden. Die drei Umfragen bauten aufeinander auf und hatten unterschiedliche Schwerpunkte, die nachfolgend erläutert werden sollen.

Hinsichtlich der ersten Abfrage lag der Fokus auf allgemeinem Wissen bezüglich botanischer Grundlagen. Zusätzlich wurde erhoben, inwiefern sich die Sonneneinstrahlung bzw. Raumtemperatur vor Installation der PV und Begrünung auf das Arbeitsklima in den Klassen auswirkten.

Im Sommersemester 2022 wurden die Umbauarbeiten finalisiert: Die HTL1 wurde mit neuen PV-Modulen und diversen Arten der Bepflanzung an verschiedenen Gebäudebereichen (am Vorplatz, an der Fassade und am Dach) ausgestattet. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen standen anschließend im Zentrum der zweiten Erhebung, zu der Schüler:innen, der Lehrkörper sowie das Verwaltungs- und Reinigungspersonal ihre Meinung abgeben konnten.

Bei der dritten Umfrage im Sommer 2023 wurden die verschiedenen Gruppen wiederholt befragt. Abgefragt wurde u.a., ob die begrünte Umgebung rund um den Vorplatz „Wörthersee“ einen Effekt auf das Wohlbefinden hat und welchen Stellenwert die Themen „Nachhaltigkeit“ bzw. Klimaschutz für die Befragten haben.

5 Ergebnisse

5.1. Ergebnisse zur Energierückgewinnung durch das Wasserrad und Leistungssteigerung der PV durch den Bachlauf am Vorplatz

Der Bachlauf unterteilt sich in drei Komponenten, welche für die Energieproduktion und Energieeffizienzsteigerung zuständig sind.

- Energie Produktion PV Anlage 4,96 kWp
- Bachlauf Wasserpumpe 0,8 kW (maximal), in Betrieb 0,35kW (im Betriebspunkt)
- Wasserrad mit Generator 0,25 kW (maximal), in Betrieb 0,12kW (im Betriebspunkt max. Kühlung)



Abbildung 40 Zulauf Bachlauf mit PV-Anlage (Foto HTL1)

In der oben gezeigten Darstellung ist der Zulauf des Bachlaufs dargestellt. Hierbei wird die Wassermenge reguliert und optimiert, um ein optimiertes Ergebnis der Leistungsbilanz zu erzielen. Über ein Wasserrad mit Generator am Ende des Bachlaufes wird ein Teil der Energie rückgewonnen und in das System zurückgespeist.

Untersucht wird wie sich die PV- Anlagenleistung verbessert, wenn an Tagen mit viel Sonneneinstrahlung die PV-Elemente mittels künstlichen Bachlaufs darunter gekühlt werden.

Des Weiteren wurde untersucht, wie sich eine Wassermengenregelung auf die Kühlung der PV-Anlage auswirkt. Zur teilweisen Energierückgewinnung der notwendigen Pumpenergie des Wasserkreises

wurde ein Wasserrad, welches einen 0,25 kW Generator antreibt, installiert. Der Generator speist einen Teil der für die Wasserpumpe aufgewendeten elektrischen Energie wieder ins System zurück. Somit wird der Gesamtwirkungsgrad der Anlage verbessert.

Aus den aktuellen Auswertungen der Energiebilanz wurden Tage mit hoher Sonneneinstrahlung untersucht. Hierbei ergibt sich folgende Auswertung der erreichten maximal Leistungen bei hohen Außentemperaturen:

Tabelle 1 Leistungsbilanz für Kühlsysteme

Komponente	Leistung (hoher Sonneneinstrahlung) Ohne Kühlung	Leistung (hoher Sonneneinstrahlung) mit Kühlung	Gewinn
Energie Produktion PV Anlage 4,96 kWp	4,00 kW	4,39 kW	0,39 kW
Leistung Wasserpumpe im Betriebspunkt	-	0,35 kW	-0,35 kW
Wasserrad mit Generator 0,25 kW	-	0,12 kW	0,12 kW
		<u>Gewinn</u>	<u>0,16 kW</u>

Aus der oben gezeigten Leistungsbilanztafel geht hervor, dass die Leistungssteigerung und die Energierückgewinnung insgesamt eine positive Leistungsbilanz ergeben. Der Leistungsgewinn für dieses Szenario beträgt 0,16 kW für die Kühlung bei hohen Außentemperaturen.

Für die Optimierung der gesamten Leistungsbilanz wurde ein neuronales Netzwerk installiert, welches laufend die notwendige Kühlleistung für eine maximale Leistungsbilanz optimiert. Das Lernen des neuronalen Netzwerkes erfolgt kontinuierlich.

Die Grundsteuerung erfolgt über eine SPS. Diese steuert die einzelnen Komponenten und übernimmt Optimierungen des neuronalen Netzwerkes.



Abbildung 41 Einbau des Generators (Foto: HTL1)

In der oben gezeigten Abbildung ist das Wasserrad mit dem Generator für die Energierückgewinnung dargestellt.

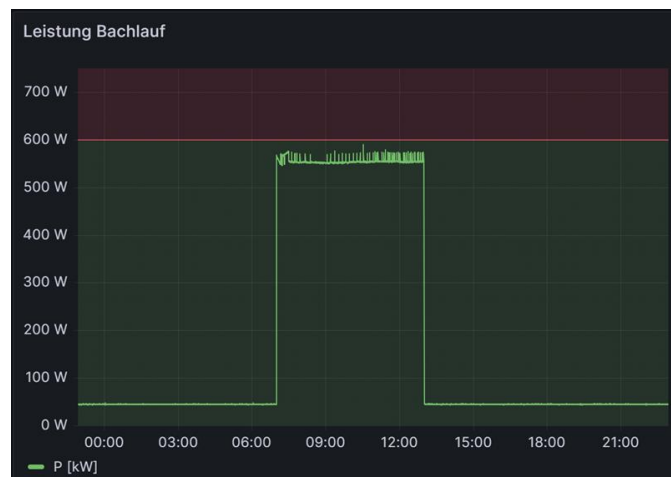


Abbildung 42 Leistung des Bachlaufs (Visualisierung: HTL1)

In der Abbildung ist die Leistung der Wasserpumpe inkl. der Steuerungsanlage bei Maximaler Wassermenge des Bachlaufs dargestellt. Aufgrund von Temperaturmessungen wird der Bachlauf bei bestimmten Uhrzeiten aktiviert, um die optimale Leistungsbilanz zu erzielen. Des Weiteren schafft dieser auch ein angenehmes Klima im Nahbereich. Die Leistung des Bachlaufs wurde optimiert und auf 350 W reduziert. Die Wassermenge des Bachlaufes wird mit einem neuronalen Netzwerk bezogen Temperatur und Produktionsleistung der PV-Anlage optimiert. Durch die Energierückgewinnung mittels Wasserrades in Kombination mit der Absenkung der Modultemperatur durch einen kühlenden

Bachlauf unter den PV-Modulen konnte die Leistung der PV-Module um 0,16 kW bei heißen Tageszeitbereichen gesteigert werden.

5.2. Ergebnisse der Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Sicherstellung der Wasserqualität für die Fassadenbesprühung

Um Kalkablagerungen und Verunreinigungen durch z.B. Algen und Mikroorganismen zu vermeiden/verhindern wurde ein Konzept für die Wasserreinigung erarbeitet. Die grundlegenden Überlegungen dafür finden sich in der Diplomarbeit „Hydraulische Auslegung von GREENsChOOLENERGY“, und beschreiben Möglichkeiten, die für die Wasserreinigung eruiert wurden.

Ein entscheidender Aspekt der Wasserreinigung in diesem Projekt war die Desinfektion, um das Wachstum von Mikroorganismen zu kontrollieren. Die Desinfektion ist besonders wichtig, um die Bildung von Algen und anderen schädlichen Organismen zu verhindern. Eine geeignete Methode ist die Verwendung von Desinfektionsmitteln wie Chlor, die bakterizide und algizide Eigenschaften aufweisen. Die Dosierung und Anwendung solcher Desinfektionsmittel müssen jedoch sorgfältig gesteuert werden, um die Effizienz zu gewährleisten und gleichzeitig sicherzustellen, dass das behandelte Wasser den gewünschten Qualitätsstandards entspricht. Die Wahl der Desinfektionsmethode hängt von den spezifischen Anforderungen des Projekts, den örtlichen Bedingungen und Umweltaspekten ab.

Es wurden u.a. folgende Desinfektionsverfahren bei oben genannter Diplomarbeit behandelt:

Chlordesinfektion:

Die Chlordesinfektion ist eine bewährte Methode zur Desinfektion von Wasser. Chlordesinfektion erfolgt durch Zugabe von Chlor, das Bakterien, Viren und andere Mikroorganismen abtötet. Es ist wichtig, die Dosierung von Chlor sorgfältig zu überwachen, um sicherzustellen, dass eine ausreichende Desinfektionswirkung erzielt wird, ohne die Qualität des behandelten Wassers negativ zu beeinflussen. Die Chlordesinfektion kann in verschiedenen Wasseranwendungen eingesetzt werden, einschließlich Fassadenbesprühungen und Bachläufen, um eine hygienisch sichere Umgebung zu gewährleisten. Diese Möglichkeit wurde aber aufgrund der Problematik verworfen, dass freies Chlor im Wasser durchaus ein starkes Oxidationsmittel ist und somit eine potenzielle Gefahr für die Menschen beim Besprühen und v.a. für die Stahlkonstruktion der Photovoltaikpaneele an der Südfassade aufgrund von ablaufenden Redoxreaktionen darstellt.

Ionentauscher:

Ein weiterer relevanter Aspekt der Wasserreinigung ist der Einsatz von Ionentauschern. Diese Geräte können zur Entfernung von gelösten Ionen wie Calcium und Magnesium eingesetzt werden, die zur Härte des Wassers beitragen. Durch den Ionentausch wird das Wasser enthärtet, was nicht nur Ablagerungen in den Leitungen und Düsen reduziert, sondern auch die Effizienz wasserführender Geräte wie z.B. Pumpen. Die Auswahl des geeigneten Ionentauschers erfordert ein genaues Kenntnis der Wasserzusammensetzung und der Härtebildner. Diese Variante wurde aber aufgrund dessen verworfen, da die eingesetzten Harze für die Entsalzung nur selektiv auf bestimmte Ionenarten wirken und somit nicht andere Ionen und organische Verbindungen herausfiltert die z.B. eine Eutrophierung der Anlagen verursachen können.

Umkehrosmose:

Schlussendlich wurde die Variante der Umkehrosmose (REO) gewählt, da diese das Problem der Eutrophierung hintanhaltend können sollte. Dafür wurde eine Wasseranalyse des Brunnenwassers an der HTL1 durchgeführt die folgendes Ergebnis brachte.

Die Wasseranalyse zeigt, dass das Wasser eine sehr hohe Qualität aufweist, und die analysierten Parameter in einem Bereich liegen der dem von Trinkwasser entspricht. Nicht analysiert wurden spezielle Schwermetalle und Stoffe die aufgrund von Altlasten im Bereich der Schule bekannt wären. Die Recherche ergab, dass normalerweise in diesem Bereich keine Altlasten vorhanden sein sollten.

Es wurde für die Besprühung der Südfassade eine Osmose- Anlage Typ PUR Smart 800 Pro installiert.

5.3. Optimierung der Kühlung der Fassade durch Besprühung:

In Bezug auf die Besprühung wurde der Volumenstrom pro Düse empirisch ermittelt. Als Ergebnis zeigte sich ein Volumenstrom von 16,2 ml Wasser pro Minute bei einem Vordruck von 4 bar. Bei insgesamt 286 Düsen entspricht dies einem Gesamtvolumenstrom von ca. 4,6 l/min (278l/h). Die Pumpenregelung wurde auf 4 bis 8 bar Vordruck vor den Düsen ausgerichtet.

Hinsichtlich der ermittelten und im obigen Absatz angeführten Zahlenwerte wurde von der Treibacher Industrie AG eine passende Pumpe zur Verfügung gestellt. Die Pumpe kommt von der Firma Lowara Typ: 1HM06 Y.

In Bezug auf die Kühlung der PV-Paneele wurde mit den Schülern eine Verdunstungsberechnung für einen Hochsommertag durchgeführt. Die Verdunstungsrate ist abhängig von sehr vielen physikalischen Parametern, wie Partialdruckdifferenz im Wasser und des Wassers in der feuchten Luft, Turbulenzgrad des Windes etc. welche die maßgebenden dimensionslosen Kennzahlen wie Sherwood bzw. Lewis, Reynolds und Nußeltzahl beeinflussen.

Die in der Mittagszeit entstehenden Temperaturen an den PV-Modulen (70°C) könnten durch das Abkühlen auf ca. 44°C reduziert werden. Dadurch erzielt man eine 10% höhere Energieausbeute über die Mittagszeit im Sommer. Das bedeutet, eine Leistungssteigerung pro Modul von 22W (von 148W auf 170W). Im Gesamten erzielt die Anlage, bei 216 Modulen, eine Mehrleistung von 4752W. Voraussetzung ist allerdings, dafür das immer ein Wasserfilm auf der Rückseite der bifazialen Solarmodule vorhanden ist.

Für die Optimierung der einzelnen Versuchsaufbauten hinsichtlich Energie, Wasserverbrauch und des Kühleffektes wurden Sensoren installiert. Diese werden mit einem zentralen Server überwacht und aufgezeichnet. In einem ersten Optimierungs-Schritt wurde die Kühlfunktion der Fassade untersucht und eine Messung mit Kühlung und ohne Kühlung gemessen. Im Folgenden sind diese Messung mittels Thermographie dargestellt.

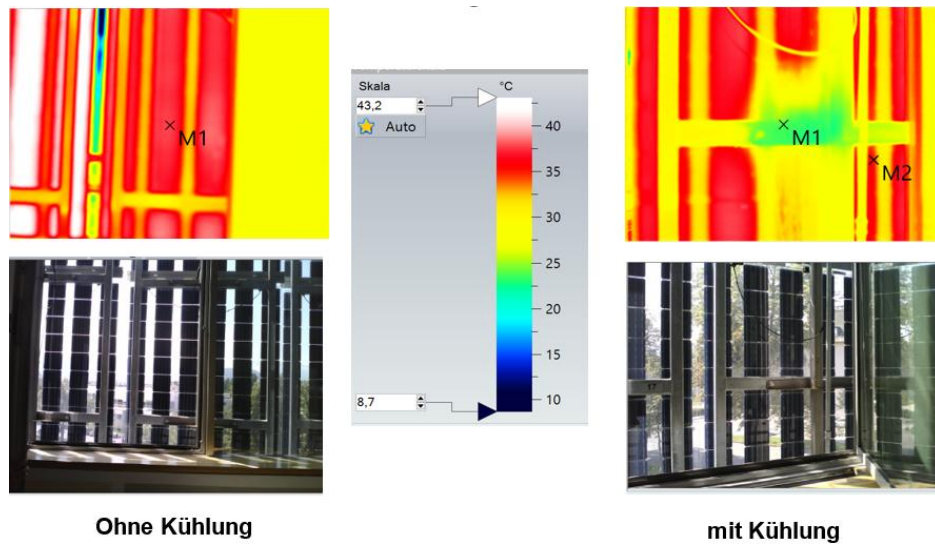


Abbildung 43 Untersuchung Kühlung Fassadenanlage (Visualisierung und Fotos: HTL1)

Im Zuge der Untersuchung wurden die Kühlung der Fassadenanlage zeitlich aktiviert und der Effekt der Kühlung mittels Thermokamera aufgenommen. Anhand des Messpunktes M1 ist ersichtlich, dass es einen ausgezeichneten Kühleffekt mittels Besprühung auf einer begrenzten Fläche (grün) gibt.

In den Evaluierungen der Fassaden-Kühlung wurde festgestellt, dass diese punktuellen Kühleffekte auch direkt an der Vorderseite ersichtlich sind.

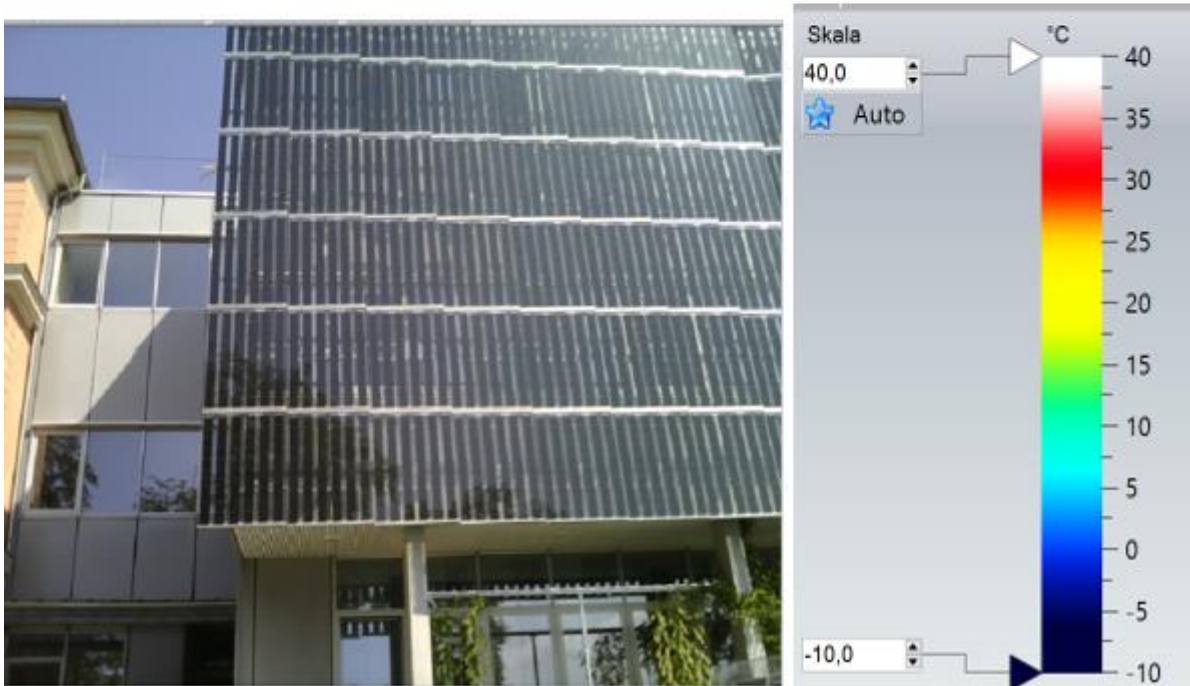
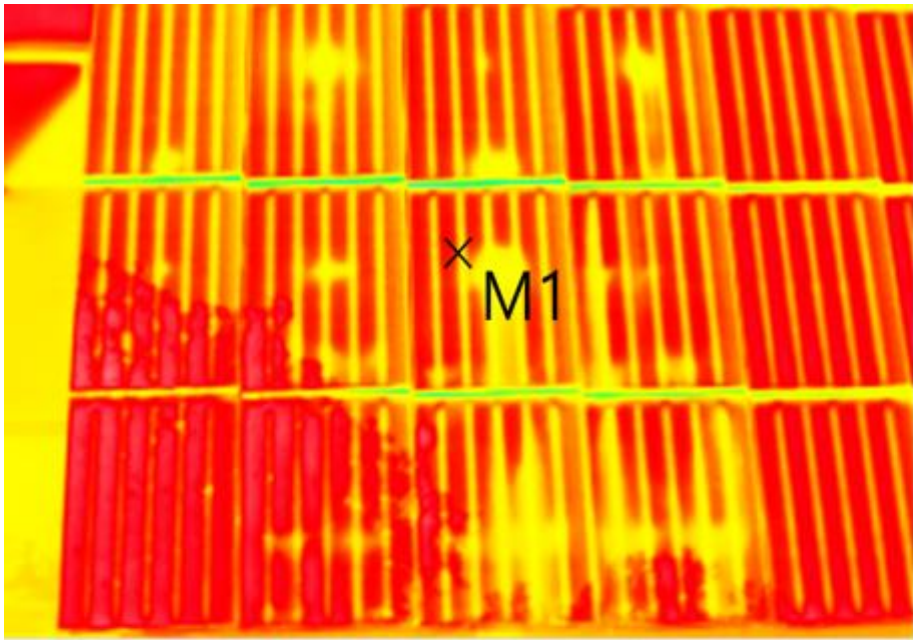


Abbildung 44 Vorderseite der Fassade (Visualisierung und Foto: HTL1)

In der oben gezeigten Abbildung sind diese punktuellen Kühlbereiche ersichtlichen.

Es erwies sich, dass die Besprühungsdüse nicht optimal ist, da der Kühleffekt hauptsächlich vom Rahmen aufgebraucht wird. Hierzu zeigte sich, dass die Sprühdüse versetzt werden muss, um einen Effekt auf dem Glaspanel zu erzielen. Dies wurde in der Optimierungsphase umgebaut.

Nach der ersten Messung wurde festgestellt, dass die Kühlung der PV-Anlage mit der ersten Ausführungsform der Düsenvariante nicht optimal das Gesamt-Panel besprüht und die Düsen sehr leicht verstopfen. Hier wurde an einer Optimierung gearbeitet, um diese zu verbessern. Im Folgenden ist die optimierte Lösung beschrieben.

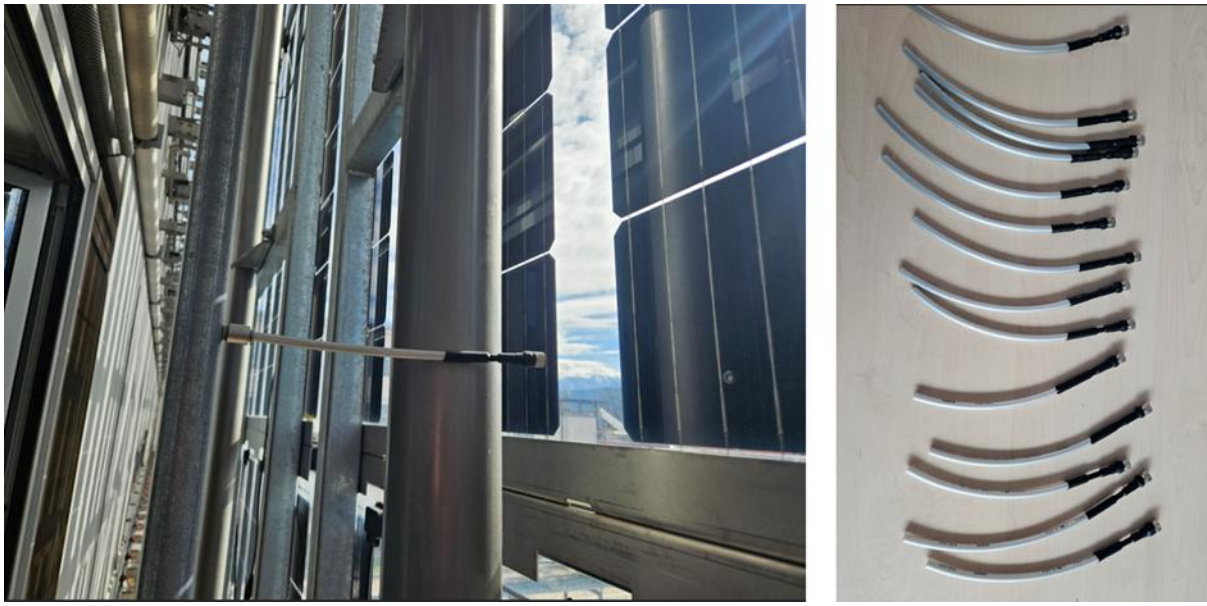
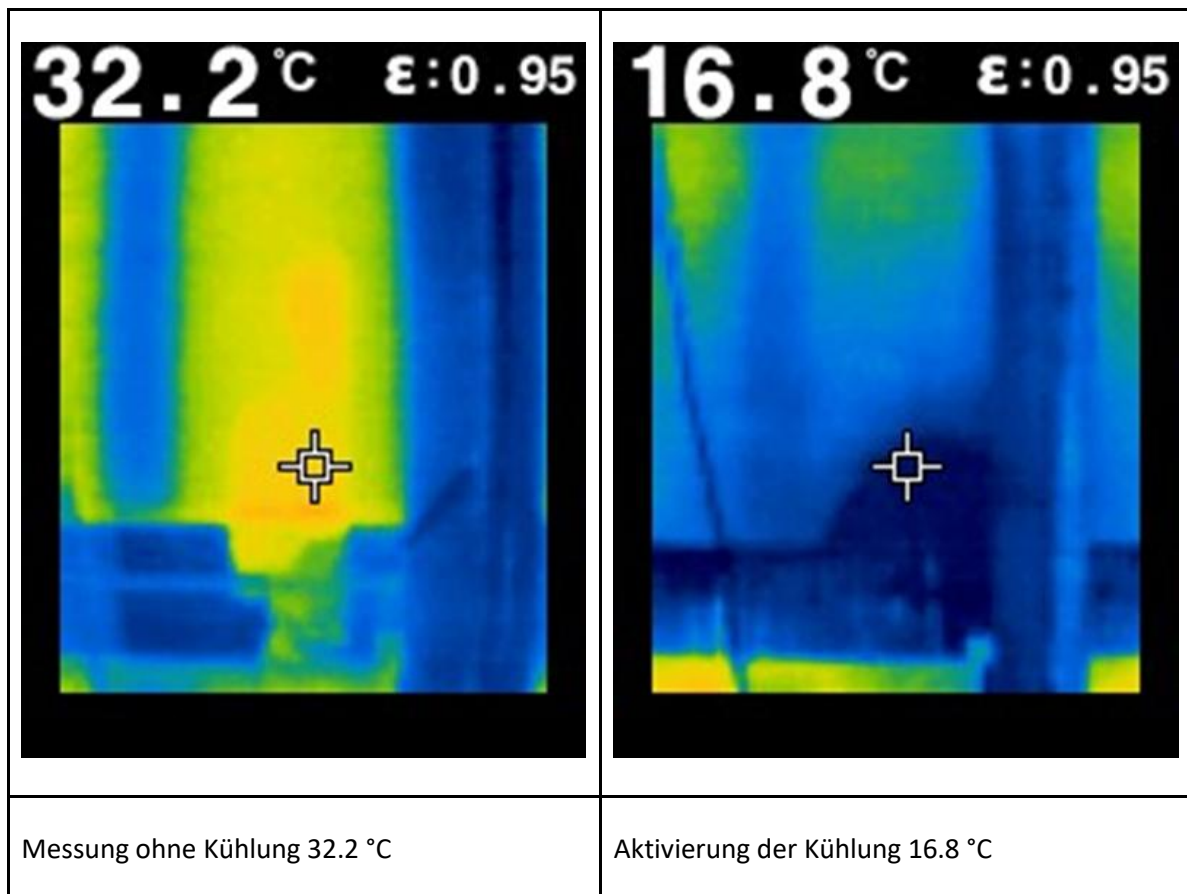


Abbildung 45 Optimierung mittels Verlängerung und neuen Düsen (Fotos: HTL1)

Die Düsen wurden getauscht und erneut untersucht, um eine breite gleichmäßige Besprühung der PV-Platten zu erreichen.

Tabelle 2 Ersichtliche Kühleffekte durch gleichmäßige Besprühung (Visualisierung HTL1)



Aus der oben gezeigten Thermobildern ist ersichtlich, dass der Kühleffekt durch die gleichmäßige Besprühung auf der ganzen PV-Platte verteilt wird.

Die Auswirkungen der gleichmäßigen Besprühung auf die Lufttemperatur im Innenraum konnten im Projektzeitraum noch nicht gemessen werden, da die Optimierung und Verbesserung der Wasserverteilung der Sprühdüsen erst zu Projektende fertiggestellt wurden.

5.4. Ergebnisse der PV-Ertragsmessungen an der Fassade



Abbildung 46 PV-Fassade (Foto: HTL1)

In der unten gezeigten Abbildung ist ein Auszug der Leistung der Fassaden-Anlage dargestellt. Hier zeigt sich, dass sich bei der fixierten Winkelstellung erhebliche Nachteile hinsichtlich der Leistungsbilanz ergeben. Die nachgeführten Fassadenteile haben hier eine höhere Leistungsbilanz.

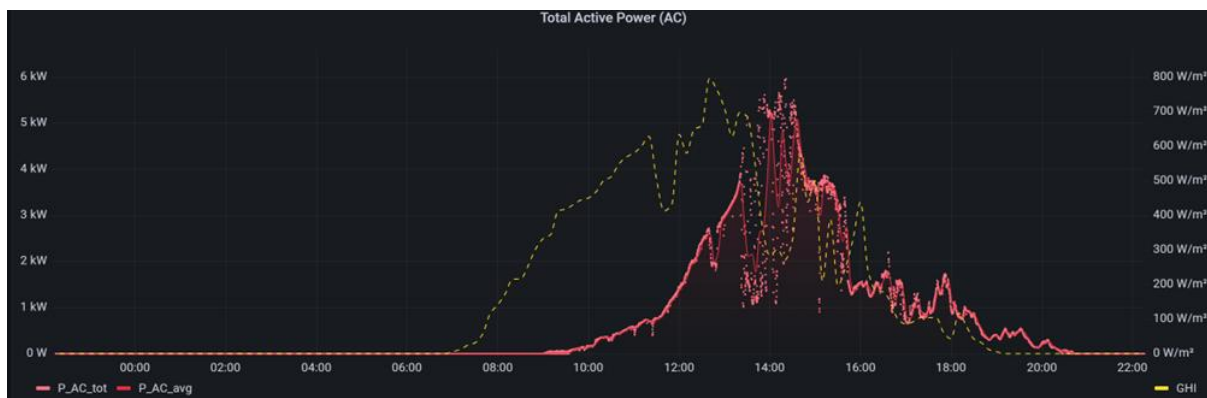


Abbildung 47 Leistungsbilanz Fassadenanlage (Visualisierung HTL1)

In Abbildung 2 ist der Tagesverlauf einer Fassadenanlage mit fixierter Sonnenausrichtung dargestellt. Die Nachführung wurde erneuert, da die erst integrierten Motoren den Nachteil hatten, dass diese die Position der Platte nicht bestimmen konnten. Hier wurden neue Antriebe eingesetzt. Die Positionsermittlung ist wichtig, da die Verdrehung der Module durch die begrenzte Kabelführung zu Beschädigung der Verkabelung führen kann.

5.5. Ergebnisse des Vegetationsmonitorings der Kletterpflanzen an Fassade und Bachlauf (Vergleich bodengebundene und troggebundene Begrünung)

Bei der Entwicklung der Kletterpflanzen war ein besseres Pflanzenwachstum in Korrelation zum verfügbaren Wurzelraum zu erkennen. Die bodengebundenen Kletterpflanzen an der Fassade entwickelten sich schneller und erreichten einen höheren Deckungsgrad als die Pflanzen in den Trögen. Am schwächsten war das Pflanzenwachstum in den kleineren Trögen unter dem Bachlauf.



Abbildung 48 Vergleich der Pflanzenentwicklung und Deckung im Trogsystem (links) und bodengebunden (rechts). (Fotos: IPAK, Guggenberger)

Die Wisteria-Pflanzen (*Wisteria floribunda*) haben sich gut geeignet und die Seile schnell bewachsen. In den folgenden Jahren muss weiter beobachtet werden, ob es durch das Seilsystem zu Problemen kommt und eine starre Rankhilfe verwendet werden muss. *Campsis radicans* (Klettertrompete) ist sehr schwachwüchsig und muss an den Seilen festgebunden werden, da sie sich nicht selbständig um die

Seile schlingt (Spreizklimmer). Die Lonicerapflanzen waren für den vollsonnigen und stark hitzebelasteten Bereiche an der Fassade nicht so gut geeignet und litten unter Lausbefall. Unter dem Bachlauf waren die Pflanzen nicht von Läusen befallen, sie dürften unter geringerem Hitzestress gestanden sein. Das Substrat in den Metalltrögen erreichte trotz der Dämmung der Tröge sehr hohe Temperaturen.

5.6. Ergebnisse des Vegetationsmonitorings am PV-Gründach

Beim detaillierten Vegetationsmonitoring auf dem PV-Gründach wurde die Pflanzenentwicklung unter 3 verschiedenen Aufständerungsarten der PV-Anlagen verglichen. In allen Versuchsflächen wurden zwei unterschiedliche Bepflanzungen getestet: Eine typische Sedum-Begrünung und eine silberlaubige Staudenbepflanzung auf den weißen Kies als Mulch-Schicht aufgebracht wurde. Die Entwicklung der Vegetation wurde im Zeitraum vom 30.5.2023 und 28.9.2023 beobachtet.

5.6.1. Deckungsgrad in den Versuchsflächen

Die gemittelte Deckung hat bei beiden Vegetationsarten (Silberlaubig und Sedum) in allen Versuchsflächen zugenommen. Die Versuchsflächen mit *Sedum* wiesen einen höheren Deckungsgrad als die Versuchsflächen mit silberlaubigen Pflanzen auf.

Bei den Versuchsflächen mit geneigten Modulen wurden Kahlstellen unter den Modulen festgestellt. Bei den vertikal bifazialen Flächen ist die Deckung mit Pflanzen gleichmäßig.

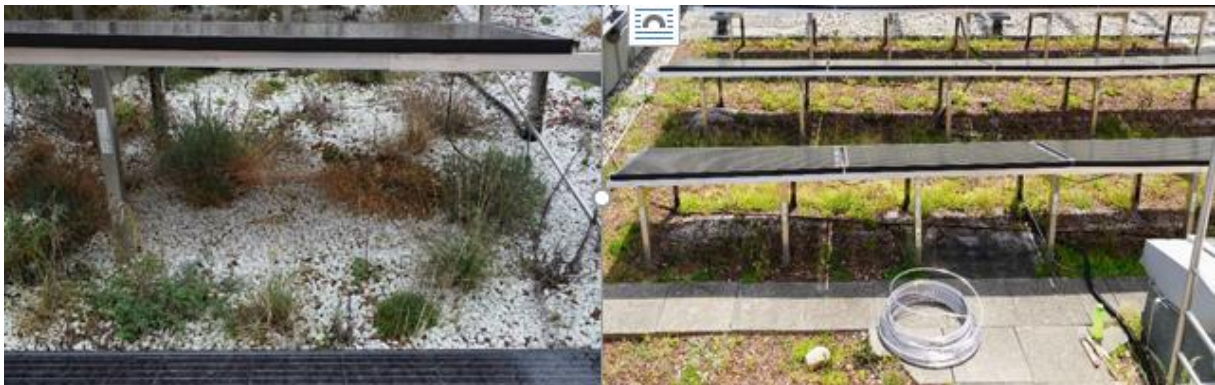


Abbildung 49 Kahle Stelle ohne Pflanzenbewuchs unter PV-Modul auf dem Gründach (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGTRAU).

Im Vergleich des Pflanzenwachstums unter den verschiedenen PV-Aufständerungsarten hat *Sedum* den höchsten Deckungsgrad bei dem vertikalen Ost-West System, und den niedrigsten Deckungsgrad in der Sonne. Der Trend zeigt die höchsten Zuwächse in der Sonne und bei 90° O-W. Dies bestätigt die Annahme, dass Sedumvegetation für unbeschattete vollsonnige Standorte ausgelegt ist und dort die beste Performance zeigt.

Die silberlaubigen Pflanzen zeigten den höchsten Deckungsgrad bei der dachförmigen Ost-West Anlage und den niedrigsten Deckungsgrad in der vertikalen Ost-West Anlage. Der höchste Zuwachs bei den silberlaubigen Pflanzen hat in den stärker beschatteten Flächen stattgefunden. Die silberlaubige Vegetation scheint also in den beschatteten Flächen geeigneter zu sein als die Sedumbepflanzung.

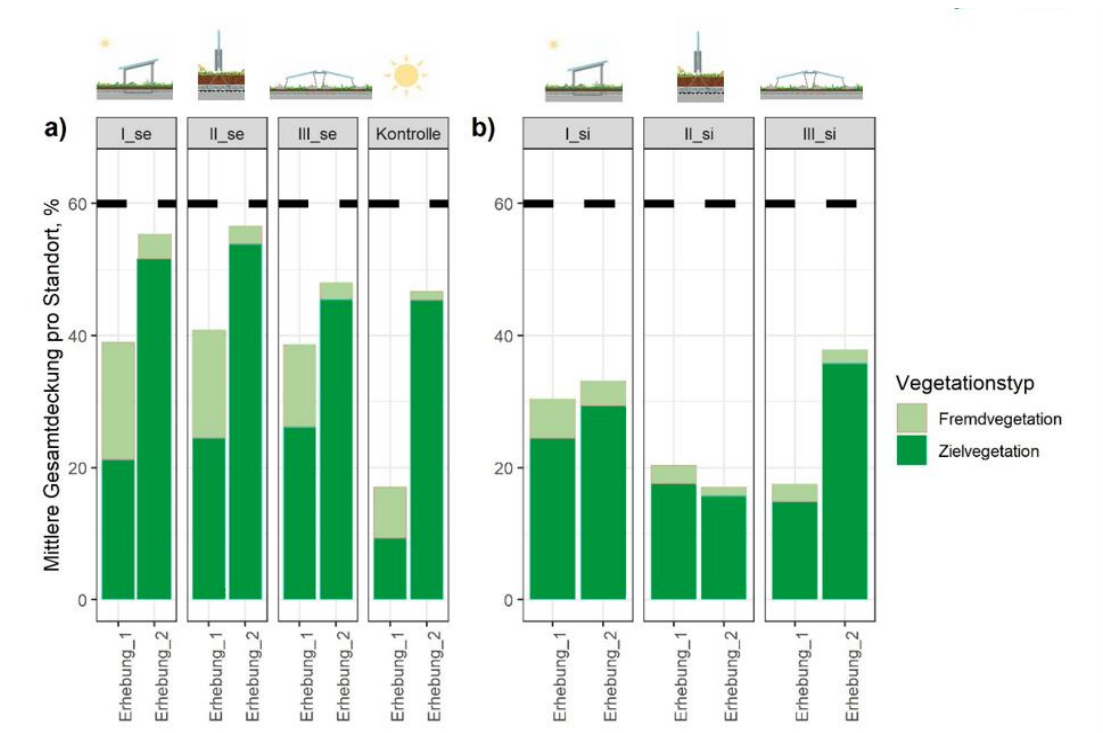


Abbildung 50 Mittlere Gesamtdeckung pro Standort an beiden Erhebungszeitpunkten (Grafik; FH Kärnten koloriert von GRÜNSTATTGRAU)

5.6.2. Eignung der ausgewählten Arten:

Folgende Arten haben zugenommen und eignen sich daher gut für die Bepflanzung von PV-Gründächern: *Sedum lydicum glaucum*, *Sedum rupestre*, *Nepeta faassenii*, *Dianthus plumarius* und *Sedum kamtschatikum*. Abgenommen haben die Arten: *Sedum floriferum*, *Achillea tomentosa*, *Anaphalis triplinervis* und *Thymus vulgare*. Sie sind eher nicht für die Verwendung auf einem Solargründach geeignet.

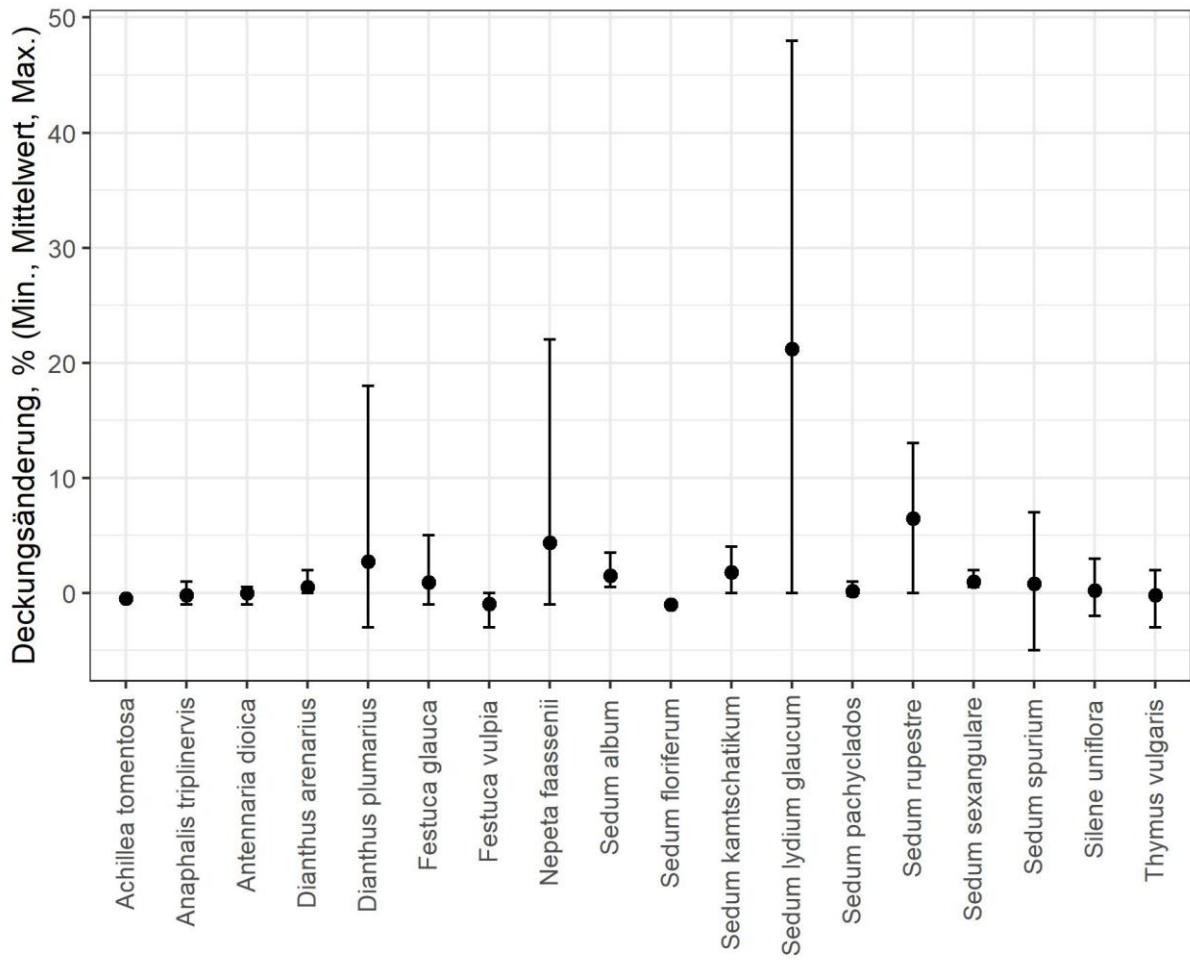


Abbildung 51 Deckungsgradänderung der einzelnen Arten (Grafik: FH-Kärnten).

5.6.3. Aufgekommene Fremdvegetation und erforderliche Pflege:



Abbildung 52 Mittlere Gesamtdeckung aller Felder (Grafik:FH Kärnten koloriert von GRÜNSTATTGRAU)

Es fand eine Abnahme der Fremdvegetation und eine Zunahme der Zielvegetation zwischen erstem und zweitem Monitoring statt.

Bei der Erfassung der Fremdvegetation wurden hauptsächlich einjährige Arten aufgenommen. An Gehölzen wurden *Acer pseudoplatanus* und *Salix sp.* erfasst, diese müssen bei den Pflegegängen unbedingt entfernt werden. An neophytischen Pflanzen wurden *Erigeron annuus* und *Erigeron canadensis* vermerkt. Da diese höher wachsen sollten sie auch entfernt werden. Die mehrjährigen heimischen Arten *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens* und *Euphorbia peplus* müssen nicht entfernt werden.

5.7. Ergebnisse zu den PV-Erträgen der unterschiedlichen PV-Aufständerungsarten am Gründach im Vergleich



Abbildung 53 PV-Anlage am Flachdach (Foto: IPAK, Guggenberger)

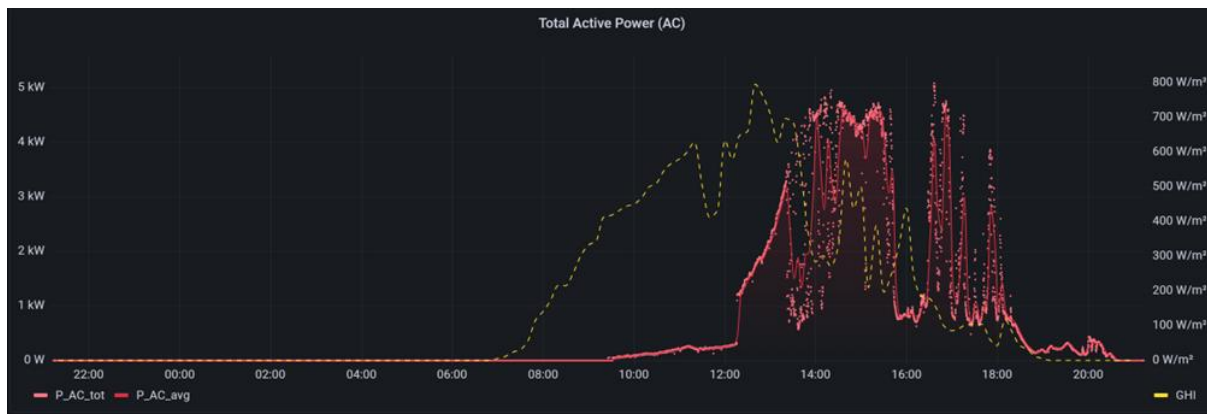


Abbildung 54 Leistung PV-Anlage Auszug (Visualisierung: HTL1)

In obiger Abbildung ist die Leistung der PV-Anlage und die aktuelle Bestrahlungsstärke der Sonne dargestellt. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass die PV-Anlage im Zeitfenster von 7 bis 12 Uhr nicht die volle Sonnenenergie in Leistung umwandeln kann, dies liegt an der fixierten Position der PV-Paneele. Eine Winkeloptimierung könnte hier eine Verbesserung der Leistungsbilanz bringen.

Tabelle 3 Ergebnisse für die Leistungsauswertung der einzelnen Bauweisen (Fotos: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU):








10° Ost-West Dachförmig	90° Ost-West	15° Südlich hintereinander
		
8.041 kWh	3.453 kWh	7.510 kWh

Tabelle 4 Ergebnisse für die Leistungsauswertung silberlaubige Bepflanzung mit weißem Kies und Sedumdach (Fotos: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

	15° Südlich hintereinander	
	SILBER	SEDUM
		
Produktion	4.038 kWh	3.472 kWh
	10° Ost-West Dachförmig	
	SILBER	SEDUM
		
Produktion	4.028 kWh	4.013 kWh

Aus dem Energiemonitoring geht hervor, dass eine optimale Kombination aus Ausrichtung der PV-Platten und Bauweise, die Leistungsbilanz für die PV-Erträge verbessert. Hier zeigt sich, dass die silberlaubige Bepflanzung mit weißem Kies als Mulchschicht die beste Kombination für die Ertragsoptimierung darstellt. Dies wird von den beiden Ausrichtungen „10° Ost-West Dachförmig“ und „15° Südlich hintereinander“ anhand der Ertragswerte ersichtlich. Der Unterschied zwischen den

Ausrichtungen „10° Ost-West Dachförmig“ und „15° Südlich hintereinander“ ergibt sich Gebäudestruktur bedingt.

Tabelle 5 Temperaturunterschiede auf den unterschiedlichen Dachaufbauten (Fotos: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

			
Bitumen	Kiesrandstreifen	Sedumbegrünung (unter PV)	Silberlaubige (Bepflanzung mit weißem Kies unter PV)
63,0 °C	40,3 °C	26,6 °C	25,4 °C

Aus der Auswertung der ist ersichtlich, dass silberlaubige Bepflanzung mit weißem Kies als den besten Kühleffekt aufweist. Dies zeigt sich auch in der Leistungsbilanz.

5.8. Erkenntnisse zu Montage, Eignung, Kosten und Wartungsaufwand der unterschiedlichen PV-Aufständerungsvarianten für PV-Gründächer



Abbildung 55: Die Systeme im Vergleich:

linkes Bild: PV-Gründach 15° bifazial Süd hintereinander aufgestellt,

mittleres Bild: PV-Gründach 90° vertikal bifazial Ost-West Ausrichtung,

rechtes Bild: PV-Gründach 10° bifazial Ost-West Ausrichtung, dachförmig aufgestellt

(Fotos: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

Tabelle 6 Systemvergleich der unterschiedlichen Aufständerungsvarianten

	PV-Gründach 15° bifazial Süd hintereinander aufgestellt	PV-Gründach 90° vertikal bifazial Ost- West	PV-Gründach 10° bifazial Ost-West Dachförmig aufgestellt
Synergie mit Gründachaubau, Zeitpunkt der Installation	Auflastgehalten, muss gleichzeitig mit dem GD errichtet werden.	Auflastgehalten, muss gleichzeitig mit dem GD errichtet werden.	Zusätzliches Gewicht notwendig. Nachträgliche Installation auf GD möglich
Wasserverteilung	Trockene Stellen unter den Modulen	Sehr gut	Trockene Stellen unter den Modulen
Zugänglichkeit zur Pflege	Von der Hinterseite ok	Sehr gut	Sehr schlecht
Windlast	mittel	hoch	gering
Montage	einfach	schwierig	Sehr einfach

Synergie mit Gründachbau: Die beiden Systeme PV-Gründach 15° bifazial Süd und PV--Gründach 90° bifazial Ost-West werden vom Gründachsubstrat auf dem Dach gehalten. Die Integration der PV-Unterkonstruktion erfolgt idealerweise gleich beim Einbau des Gründaches. Ein nachträglicher Einbau ist nur schwierig möglich und mit hohem Aufwand verbunden. Das System PV-Gründach 10° bifazial Ost-West wird mit Betonsteinen gehalten, die auf das Gründach gelegt werden. Es muss daher mit zusätzlichen Lasten gerechnet werden. Eine nachträgliche Installation auf einem bestehenden Gründach ist leicht möglich.

Wasserverteilung: Die Wasserverteilung und Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen ist bei dem Bifazialen vertikal (90°) O-W System am besten. Bei den beiden geneigten Varianten wurden trockene Stellen unter den Modulen festgestellt, in denen sich die Pflanzen schlechter entwickeln.

Zugänglichkeit zur Pflege: Die Zugänglichkeit für Pfllegetätigkeiten (Entfernung von unerwünschtem Aufwuchs, Freihalten der Entwässerungsöffnungen, ggf. Düngung) ist bei den vertikalen Modulen sehr gut. Bei der südlich hintereinandergestellten Variante, konnte man von der höher Aufgeständerten hinteren Seite gut unter die Module greifen. Bei der Dachförmig aufgestellten Variante ist die Zugänglichkeit sehr schlecht, Pfllegetätigkeiten unter den Modulen müssen auf dem Bauch liegend durchgeführt werden.

Kosten: Die niedrigsten Kosten ergaben sich bei dem nachträglich aufgestellten System (PV-Gründach 10° bifazial Ost-West dachförmig aufgestellt), hier war auch die Montage sehr einfach. Die höchsten Kosten und schwierigste Montage ergaben sich bei dem vertikal aufgeständerten System.

Windlast: Das vertikal aufgeständerte System hat aufgrund seiner Höhe den meisten Winddruck. Über das dachförmig aufgestellte System kann der Wind gut drübergleiten.

Montage: Die Montage war beim vertikalen System am schwierigsten. Das südlich geneigte System lies sich gut aufstellen und am schnellsten ist die Montage des nachträglich aufgeständerten Systems erfolgt.

Im Vergleich lässt sich sagen, dass die unterschiedlichen Varianten für unterschiedliche Einsatzzwecke geeignet sind. Das System PV-Gründach 15° bifazial Süd hintereinander aufgestellt eignet sich für die PV-Gründächer besonders dann, wenn Gründach und PV gleichzeitig geplant und gebaut werden. Es ist dann keine weitere Auflast für die Windsogsicherung der PV-notwendig. In südlich ausgerichteten Anlagen ist der Stromertrag um die Mittagszeit am höchsten.

Das vertikal (90°) aufgestellte System ist optimal für die Pflege von Gründächern. Das Fachpersonal kann ungehindert Pfllegetätigkeiten ausführen und die Wasserverteilung ist gut für die Pflanzen. Ein weiterer Vorteil ist, dass in der Draufsicht (etwa von höheren Gebäuden) ein vollflächiges Gründach zu erkennen ist und die PV-Flächen wenig sichtbar sind. Ein Nachteil ist die Höhe der Module (Achtung auf örtliche Bebauungsvorschriften).

Ost-West ausgerichtete Systeme haben ihre Produktionsspitzen in den Morgen und Abendstunden.

Die Variante "PV-Gründach 10° bifazial Ost-West Dachförmig aufgestellt" ist ideal für die Nachrüstung eines bereits bestehenden Gründaches mit PV. Allerdings wäre eine "Schmetterlingsaufstellung" (V-förmige Aufstellung) anstatt der Dachform für die Pfllegetätigkeiten von Vorteil.

5.9. Ergebnisse des GreenPass - Checks

Mit den Schüler:innen wurde gemeinsam der Greenpass-Check, durchgeführt, um die Maßnahmen im Projekt GREENsChOOLENERGY zu Bewerten. Der Greenpass Check ist eine KI-basierte Plattform für die Erstellung von klimasicheren und grünen Immobilienportfolios im Einklang mit der EU-Taxonomie.

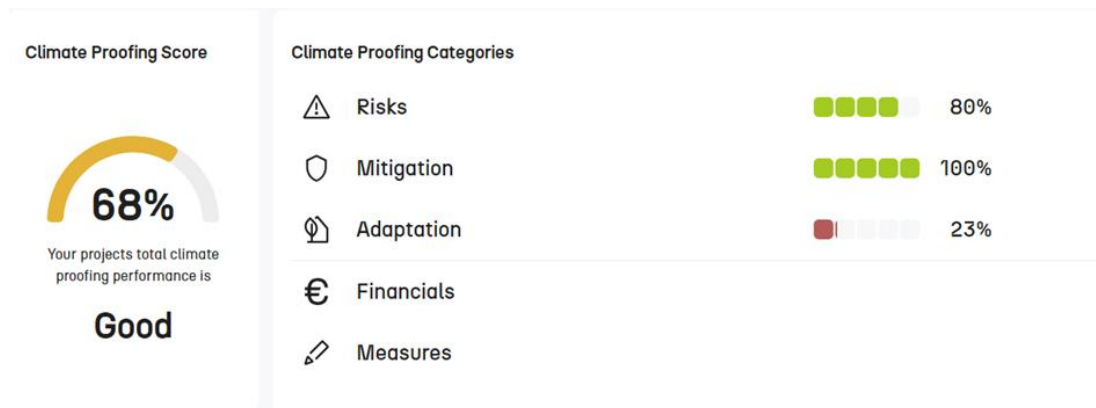


Abbildung 56 Screenshot aus dem Ergebnis-Dashboard im Szenario mit den umgesetzten Begrünungen und PV-Anlagen (Visualisierung: GRÜNSTATTGRAU)

Durch die im Projekt gebauten Begrünungen konnte der im GreenPass-Check errechnete Climate Proofing Score um 2 % verbessert werden.

5.10. Ergebnisse des sozialen Monitorings

Die erste Auswertung ergab, dass die Raumtemperatur im Sommer von der Mehrheit der Befragten als eindeutig unangenehm eingestuft wurde. Mehr als die Hälfte gab auch an, dass dadurch die Konzentrationsfähigkeit beeinträchtigt wurde. Außerdem wurde die Beschattung als nicht ausreichend eingestuft. Erwähnenswert ist ebenfalls, dass die Schüler:innen aufgrund der direkten Sonneneinstrahlung schlecht von der Tafel ablesen konnten. Die Begrünung an der Außenfassade wurde grundsätzlich befürwortet.

Bei den Fragebögen nach Umsetzung der Maßnahmen gab es folgende Erkenntnisse: Die überwiegende Mehrheit der Schüler:innen fühlt sich nach Anbringung der PV und den Begrünungsaktionen in den Wintermonaten in den südseitig ausgerichteten Räumen wohler, beim Lehrkörper sind es sogar 95%. Dahingegen empfinden im Sommer 25% der Lehrpersonen sowie etwa ein Drittel der Schüler:innen die Temperaturen in diesen Räumlichkeiten als zeitweise unangenehm, der restliche Prozentsatz beurteilt die Raumtemperatur als zumindest befriedigend.

Sowohl Schüler:innen als auch Lehrpersonen sind mit der Beschattung der Räume seit der Installation der PV-Module überaus zufrieden. Der Großteil der Schüler:innen kann gut bzw. problemlos von der Tafel ablesen. Fast die Hälfte der Lernenden gibt auch an, dass sich zumindest teilweise weniger unangenehme Gerüche bilden als vorher. Der grün bepflanzte „Wörthersee“-Vorplatz sowie die Fassadenbegrünung werden grundsätzlich positiv angenommen. Aus der Umfrage geht hervor, dass der Umweltschutz und ein nachhaltiger Lebensstil für beinahe alle Befragten einen hohen Stellenwert

haben und die Mehrheit auch im Alltag darauf achtet. Ein Teil der befragten Personen konnte durch das GSE-Projekt (stärker) sensibilisiert werden.

6 Schlussfolgerungen

Fazit Bachlauf:

Die Wassermenge des Bachlaufes für die Kühlung des PV-Systems wird mit einem neuronalen Netzwerk bezogen auf Temperatur und Produktionsleistung optimiert.

Durch die Energierückgewinnung mittels Wasserrades in Kombination mit der Absenkung der Modultemperatur durch einen kühlenden Bachlauf unter den PV-Modulen konnte die Leistung der PV-Module um 0,16 kW gesteigert werden.

Es ist möglich durch einen Bachlauf unter der PV mit einem Wasserrad eine Energierückgewinnung und eine angenehme Atmosphäre am Vorplatz bei gleichzeitiger Kühlung der PV-Paneele zu erzeugen. Die Anlage zeigt anschaulich, wie Energierückgewinnung und Leistungssteigerung der PV durch niedrigere Modultemperaturen möglich sind. Gleichzeitig erzeugt das plätschernde Wasser und die gekühlte Luft einen angenehmen Aufenthaltsqualität. Die Wirtschaftlichkeit der Schau-Anlage steht aufgrund des hohen Aufwands bei dieser Installation nicht im Vordergrund.

Fazit Fassaden-Begrünung:

Das Pflanzenwachstum in bodengebundenen Begrünungen ist schneller und üppiger als in troggebundenen Systemen.

Wisteria floribunda ist schnellwüchsig und eignet sich für sonnige Standorte. Eine starre Rankhilfe wäre für die starkwüchsige Pflanze geeigneter gewesen als das im Projekt verwendete Seilsystem. *Lonicera*-Pflanzen sind für heiße, trockene Standorte wenig geeignet und zeigen Stresssymptome.

Fazit PV-Fassade:

Es wurde eine Steuerung entwickelt, bei der sich die Besprühung der PV-Paneele bei Innenraumtemperaturen über 27° C aktiviert. Die gleichmäßige Verteilung des Wasserfilms auf den Modulen ist dabei wichtig, damit es nicht zu punktuellen Kühleffekten kommt. Durch die gleichmäßige Besprühung kommt es zu einer Kühlung der PV-Module. Die Auswirkungen der gleichmäßigen Besprühung auf die Lufttemperatur im Innenraum konnten im Projektzeitraum noch nicht validierbar gemessen werden, da die Optimierung und Verbesserung der Wasserverteilung der Sprühdüsen erst zu Projektende fertiggestellt wurde.

Fazit PV Dach:

Die Sedumvegetation entwickelte sich in den vollsonnigen Flächen schneller und dichter als unter der PV-Beschattung. Die silberlaubige Bepflanzung eignet sich gut für die Kombination mit PV-Anlagen, ist aber aufwändiger und teurer in der Herstellung. Die Arten *Sedum lydicum glaucum*, *Sedum rupestre*, *Nepeta faassenii*, *Dianthus plumarius* und *Sedum kamtschatikum* hatten den meisten Zuwachs und eignen sich gut für die Bepflanzung von PV-Gründächern. Um die beobachteten Trends bestätigen zu können ist ein längerer Beobachtungszeitraum über mehrere Vegetationsperioden notwendig.

- Im Vergleich lässt sich sagen, dass die unterschiedlichen Varianten für unterschiedliche Einsatzzwecke geeignet sind. Das System PV-Gründach 15° bifazial Süd hintereinander

aufgestellt eignet sich für die PV-Gründächer besonders dann, wenn Gründach und PV gleichzeitig geplant und gebaut werden. Es ist dann keine weitere Auflast für die Windsogsicherung der PV-notwendig. In südlich ausgerichteten Anlagen ist der Stromertrag um die Mittagszeit am höchsten.

- Das vertikal (90°) aufgestellte System ist optimal für die Pflege von Gründächern. Das Fachpersonal kann ungehindert Pflégetätigkeiten ausführen und die Wasserverteilung ist gut für die Pflanzen. Ein weiterer Vorteil ist, dass in der Draufsicht (etwa von höheren Gebäuden) ein vollflächiges Gründach zu erkennen ist und die PV-Flächen wenig sichtbar sind. Ein Nachteil ist die Höhe der Module (Achtung auf örtliche Bebauungsvorschriften). Ein weiterer Nachteil ist der geringere Energieertrag/m² im Vergleich zu geneigten Modulen.
- Die Variante "PV-Gründach 10° bifazial Ost-West Dachförmig aufgestellt" ist ideal für die Nachrüstung eines bereits bestehenden Gründaches mit PVEs muss aber mit zusätzlichen Lasten gerechnet werden, da das System nicht durch das Gründachsubstrat gesichert ist sondern extra beschwert werden muss. Eine "Schmetterlingsaufstellung" anstatt der Dachform für die Pflégetätigkeiten von Vorteil.
- Ost-West ausgerichtete Systeme haben ihre Produktionsspitzen in den Morgen und Abendstunden.
- Im Vergleich eines konventionellen Sedumdaches zu einem Gründach mit silberlaubiger Bepflanzung mit einer Mulchschicht aus weißem Kies liefert die silberlaubige Bepflanzung mit Bemulchung aus weißem Kies höhere Stromerträge.

Im Zuge des Projektes wurde festgestellt, dass die Planung und Ausführung von PV-Gründächern und PV-Fassaden in Kombination mit Bauwerksbegrünung eine komplexe Angelegenheit sind, selbst wenn Standard-Produkte verwendet werden.

Um dem Mangel an Wissen entgegenzuwirken und zukünftige fehlerhafte Anwendungen zu verhindern wurde ein Dienstleistungsmodell entwickelt, das Gebäudeeigentümer:innen, die eine kombinierte Anwendung von Gründach und Solarenergieerzeugung ausführen wollen, unterstützt. Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass es bei der Kombination dieser beiden Technologien noch immer zu Fehlplanungen und falscher Ausführung kommt. Durch die Begleitung der Gebäudeeigentümer:innen in allen Schritten, von Konzeption, Planung, Ausschreibung, Ausführung und Abnahme sowie Festlegen der Pflegeziele können die Kund:innen gezielt beraten werden, wo Input und Sicherheit gebraucht werden.

Für die beiden innovativen Bauweisen auf der Fassade und am Vorplatz konnten aufgrund der Komplexität keine verwertbaren Geschäftsmodelle entwickelt werden. Die Abbildung 57 wiedergegebene Business Model Canvas bildet also nur die Kombination von Dachbegrünung und PV ab. Die Dienstleistung wurde vom Partner GRÜNSTATGRAU bereits ins Produktportfolio aufgenommen.

Business Model Canvas (BMC) für PV-Dachbegrünungskombination Dienstleistung: Umsetzungsbegleitung (= begleitende Beratung) von Solargümdächern (Bestand, Nachrüstung und Neubau)						
Schlüsselpartner	Schlüsselressourcen	Schlüsseltätigkeiten	Wertangebote	Kundenbeziehungen	Kundensegmente	Kostenstruktur
<p>Landschaftsplanungsunternehmen</p> <p>Landschaftsbaunternehmen</p> <p>PV Systemhersteller</p> <p>Sachverständige (Statik, Dachdichtheit)</p> <p>PV-planer</p> <p>Elektriker</p>	<p>geschultes Personal</p> <p>Know-How</p> <p>Auswahl der passenden Produkte für die jeweiligen Bedürfnisse</p> <p>Risiko: Fachkräftemangel</p> <p>Lieferverfügbarkeit/ Produktengässe</p>	<p>Bewusstseinsbildung</p> <p>Information</p> <p>Koordination</p> <p>Risiko: Kommunikation und Informationsweitergabe</p>	<p>Lösung für die Entscheidung Grunddach ODER Solar!</p> <p>Ganzheitliches Konzept für die Kombi Begrünung und Energieerzeugung</p> <p>Artenvielfalt, Schutz der Gebäudehülle, elektrische Energie (Verlängerung der Lebensdauer der Dachabdeckung)</p> <p>bereitstellung E-Ladestation, Einspeisung ins Netz</p> <p>Sonderform Vertikal Bifacial in schneereichen Regionen möglich</p> <p>Sonderform Vertikal Bifacial wenn Blick auf das Grunddach von Oben gegeben sein soll</p> <p>Sonderform: mit zusätzlicher Auflast getragene Systeme können auch nachträglich auf das Grunddach aufgestellt werden.</p>	<p>Unterstützung der Kund:innen von der Planung bis zur Umsetzung (Gezielte Beratung für jeden Planungsschritt und Baufortschritt)</p> <p>Organisation von Exkursionen zu Demonstratororten.</p> <p>(Sichtbarmachung von Erträgen)</p> <p>Kanäle</p> <p>Vorgaben seitens der Kommunen</p> <p>Informationskampagnen</p> <p>Publikationen und Vorträge</p> <p>Online Marketing</p> <p>Homepage</p>	<p>Wer investiert: Unternehmen aus der Infrastruktur (Lebensmittel, Verkehr, Energie)</p> <p>Bildungseinrichtungen</p> <p>Sozialer Wohnbau/Gemeindebau</p> <p>Öffentliche Gebäude</p> <p>Baureifer/ immobilienentwickler</p> <p>Vorwiegend großflächige Gebäude mit hohem Energiebedarf und entsprechender Statik und dem Wunsch nach oder der Vorgabe zur Dachbegrünung</p> <p>Einnahmequellen Services für Planer und Architekten (Planungsbegleitung)</p> <p>Investierende Unternehmen die die Kombi auf ihren Dächern umsetzen wollen</p> <p>Service für ausführende Betriebe</p> <p>Ausschreibungsbegleitung</p>	<p>Personal (Beratung und Begleitung)</p> <p>Materialkosten</p> <p>Planungskosten</p> <p>Baukosten</p> <p>(Marketing)</p> <p>(Reisekosten für vor Ort-Termine)</p>

Abbildung 57 Business Model Canvas für die Umsetzungsbegleitung von PV-Gründächern.

Soziales Monitoring:

Nachhaltigkeit und Innovation sind nicht bloß eine persönliche Herzensangelegenheit unserer Schule, sondern unverzichtbare Leitbilder für die Zukunft, die wir mit größter Ambition verfolgen. Aus diesem Grund war das Projekt ein Schritt in die richtige Richtung, der das Wohlbefinden insgesamt verbessert hat. Die Fragebögen bzw. das soziale Monitoring haben deutlich gemacht, dass eine Intensivierung der gesetzten Maßnahmen notwendig und wünschenswert für alle Beteiligten wäre.

Es ist erfreulich, dass die Mehrheit aller Befragten es als positiv empfunden hat, ins Projekt miteinbezogen zu werden. Durch die jährliche Abfrage und offene Kommunikation entstand ein Bezug zum Projekt und dementsprechend entwickeln sich praktische Anknüpfungspunkte für Schüler:innen, unter anderem in Form von Diplomarbeiten und Projektarbeiten im Rahmen des Unterrichts. Den Schüler:innen wurde so ein Lernumfeld geboten, das sich den technischen und wissenschaftlichen Notwendigkeiten der heutigen Zeit bewusst ist und die Herausforderungen annimmt. Folglich wurden tatkräftiges Anpacken und nachhaltige Lösungen vermittelt, umgesetzt bzw. gelebt.

Mit GREENsChOOLENERGY an der HTL1 wurde Ambition in die Tat umgesetzt und ein Schüler:innen-zentriertes Projekt erarbeitet und umgesetzt.



Abbildung 58: Schüler der HTL1-Lastenstraße beim Bienenmonitoring auf dem Dach (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

7 Ausblick und Empfehlungen

Eine wesentliche Empfehlung ergibt sich aus der Tatsache, dass durch die Kombination von Bauwerksbegrünung und innovativen PV-Anlagen besonders in der Anfangsphase und Investitionsphase ein finanzieller Mehraufwand entsteht, der erst durch langfristige Nutzung einen monetären Nutzen ergibt. Eine wesentliche Komponente ist dabei die optimierte Nutzung des durch die innovativen PV-Anlagen erzeugten Strom, was nachfolgend des gegenständlichen Projektes im Folgeprojekt E³@SCHUL durchgeführt und untersucht wird.

Die Anordnung und Aufstellung von PV-Modulen sollte sich entsprechend einer Lastoptimierung und entsprechend dem Stromverbrauch am Gebäude orientieren und sich die Frage unterordnen, wann wird wo Strom gebraucht. Sollte Strom vor allem in der Früh und am Abend benötigt werden so könnte sich eine vertikal bifaciale Variante rechnen. Im Gesamttagesverlauf ist der Ertrag von Ost-West oder Südaufständungen deutlich effizienter und erzielt höhere Gesamtleistungen.

In Bezug auf die Begrünung und die Nutzung von Verdunstungskühlung an unterschiedlichen Bereichen des Gebäudes ist festzustellen, dass ein Kühleffekt einerseits wahrgenommen andererseits aber auch die Leistung der PV-Module gesteigert wird. Der wesentliche Output aus dem Projekt ist eine Kombination von PV-Modulen mit Bauwerksbegrünung. Relevante Nebeneffekte sind eine Erhöhung der Biodiversität aber auch des Regenwasserrückhalts und Schonung des Gebäudes sowie die längere zu erwartende Lebensdauer.

PV-Erträge: Nachdem die Besprühung der PV-Fassade erst sehr spät zu Projektende optimal funktioniert, ist eine weitere Beobachtung der Auswirkungen der Besprühung auf die Modultemperaturen und den PV-Ertrag notwendig.

Vegetationstechnisches Monitoring: der Beobachtungszeitraum von knapp 2 Vegetationsperioden auf der Dachbegrünung ist zu kurz für eine Aussage über eine langfristige Entwicklung der Pflanzen. Eine weitere Beobachtung mit Vegetationsuntersuchungen muss durchgeführt werden, um die Etablierung und Veränderung von Artenzusammensetzung und Deckungsgrad in Verbindung mit den unterschiedlichen PV-Unterkonstruktionen langfristig dokumentieren zu können.

Die Einbindung von SchülerInnen während der Bauphasen und Entwicklungsphasen hat sich als wertvoll erwiesen und wird im Zuge eines eigenen Lehrganges an der HTL (Green:Energy -Ingenieur:in) fortgeführt. SchülerInnen werden speziell in nachhaltigen Technologiebranchen geschult und ausgebildet. Das kann als wertvolle Multiplikationswirkung festgehalten werden.

Das Projekt GREENsChOOLENERGY leistete einen wesentlichen Pionierbeitrag für die Stadt Klagenfurt zur Erreichung der Klimaziele. Ergebnisse werden in weiterer Folge skaliert und finden sich in

Umsetzungsprojekten wieder. Weiters war das Projekt Anlass für das Nachfolgeprojekt E³@SCHOOL sowie das Projekt zur Entwicklung innovativer Parkplatzüberdachungen mit PV-Anlagen.



Abbildung 59: Blühende Kletterpflanzen unter dem Bachlauf mit Photovoltaiküberdachung zu Projektende (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Demogebäude der HTL! Klagenfurt Lastenstraße mit den drei Untersuchungsbereichen im Forschungsprojekt.....	12
Abbildung 2 Das Kies-Flachdach der HTL	12
Abbildung 3 Großzügige, südexponierte Glasfassade der HTL	13
Abbildung 4 Vorplatz "Wörthersee" in der Vogelperspektive (Quelle: Google Maps)	14
Abbildung 5 Frontansicht der Schule vor den Umgestaltungsmaßnahmen	15
Abbildung 6 Frontansicht der großzügigen Glasfassade mit Klassenzimmer direkt dahinter und entsprechender sommerlicher Überhitzung.....	15
Abbildung 7 Dachbegrünung mit unterschiedlichen PV-Varianten, PV-Fassade mit Fassadenbegrünung und begrünte Pergola mit PV und Bachlauf (Quelle: Google Maps).	17
Abbildung 8 Begrünung der Pergola unter dem Wasserlauf (Fotos: Weiss-Tessbach und Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)	18
Abbildung 9 Abbildung der Pergola mit Fassadenbegrünung, künstlichem Bachlauf und PV-Modulen	19
Abbildung 10 Die Schüler und Lehrer der HTL1 beim Betonieren des Bachlaufs (Foto: Irene Zluwa, 31.05.2023)	19
Abbildung 11 Bachlauf und PV-Module aus der Vogelperspektive (Foto: HTL-Lastenstraße).....	20
Abbildung 12 Installiertes Wasserrad am Ende des Bachlaufes (Foto: HTL-Lastenstraße).....	20
Abbildung 13 Großzügige PV-Fassade nach Umbauarbeiten (Foto: HTL-Lastenstraße), (zum Zeitpunkt der Aufnahme wurden die Begrünungen und der Bachlauf noch nicht umgesetzt)	21
Abbildung 14 Tröge mit Kletterpflanzen an Rankseilen unter der PV-Fassade und Aushebung der Pflanzengrube für die bodengebundene Fassadenbegrünung (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU).....	22
Abbildung 15 Schematische Anordnung des PV-Gründachs mit unterschiedlichen Bauweisen (Grafik: Stadtwerke Klagenfurt)	23
Abbildung 16: Links oben: Schüler der HTL bauen unter Anleitung der Fachfirma die PV-Gründachsysteme auf; Rechts oben: das Dachsubstrat wird auf das Dach geblasen; Links unten: Die Montage der PV erfolgt nach dem Aufbringen des Dachsubstrats, Rechts unten: Multiopfpaletten und Pflanzen bereit zur Auspflanzung (Fotos Zluwa und Tess-Weißbach, GRÜNSTATTGRAU)	24
Abbildung 17 Schematische Darstellung der Südlich ausgerichteten 15° geneigten PV-Gründachsystems (Grafik: Mühlbauer, GRÜNSTATTGRAU).....	25
Abbildung 18: Aufgeständerte Module mit Sedumbepflanzung (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)	25
Abbildung 19 Ost-West ausgerichtete vertikal aufgeständerte Anlage(Grafik: Mühlbauer, GRÜNSTATTGRAU)	26
Abbildung 20 Vertikales Bifaziales PV-Gründachsystem mit silberlaubiger Unterpflanzung und weißem Kies. (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)	26

Abbildung 21 Schematische Darstellung des Ost west ausgerichteten 10° geneigten dachförmig aufgestellten PV-Gründachsystems (Grafik: Martinez, GRÜNSTATGRAU).....	27
Abbildung 22 Unterkonstruktion der dachförmigen PV-Variante zur nachträglichen Aufstellung mit einer Beschwerung aus Betonsteinen (Foto: Zluwa, GRÜNSTATGRAU).	27
Abbildung 23 Projektbesprechung mit Schülern (Foto: HLT1).....	29
Abbildung 24 Visualisierung des Datenmonitorings (Visualisierung HTL 1).....	29
Abbildung 25 Auszug des Flow-Codes.....	30
Abbildung 26 Visualisierung der momentan Werte in Dashboards.....	30
Abbildung 27 Auszug aus dem Flow-Code System.....	31
Abbildung 28 Analyse der Leistungen mit Grafana.....	31
Abbildung 29 MMS-Ansichten zur Messung von Daten.....	33
Abbildung 30 Visualisierung zur Messung der Daten am Bachlauf.....	34
Abbildung 31 Visualisierung zur Messung der Daten der besprühten PV-Fassade	35
Abbildung 32 Echtzeitanzeige des Füllstandes der Anlage	36
Abbildung 33 Schaltschrank der Anlage	37
Abbildung 34 Optimierung des Leistungsverbrauchs.....	38
Abbildung 35 Bestandteile der Kommunikationsanbindung	38
Abbildung 36 Container der Software.....	39
Abbildung 37 Aufbauplan des Steuerungsschranks	40
Abbildung 38 Aufteilung der Versuchsfelder (Darstellung: FH Klagenfurt, verändert von GSG).....	41
Abbildung 39 Durchführung der Vegetationsaufnahme von 2 Personen mit dem Frequenzrahmen. (Foto: Zluwa: GRÜNSTATGRAU	42
Abbildung 40 Zulauf Bachlauf mit PV-Anlage (Foto HTL1).....	44
Abbildung 41 Einbau des Generators (Foto: HTL1).....	46
Abbildung 42 Leistung des Bachlaufs (Visualisierung: HTL1)	46
Abbildung 43 Untersuchung Kühlung Fassadenanlage	49
Abbildung 44 Vorderseite der Fassade	50
Abbildung 45 Optimierung mittels Verlängerung und neuen Düsen.....	51
Abbildung 46 PV-Fassade	52
Abbildung 47 Leistungsbilanz Fassadenanlage	52
Abbildung 48 Vergleich der Pflanzenentwicklung und Deckung im Trogsystem (links) und bodengebunden (rechts).....	53
Abbildung 49 Kahle Stelle ohne Pflanzenbewuchs unter PV-Modul auf dem Gründach (Foto: Zluwa, GRÜNSTATGRAU).	54
Abbildung 50 Mittlere Gesamtdeckung pro Standort an beiden Erhebungszeitpunkten (Grafik; FH Kärnten koloriert von GRÜNSTATGRAU	55
Abbildung 51 Deckungsgradänderung der einzelnen Arten (Grafik: FH-Kärnten).....	56
Abbildung 52 Mittlere Gesamtdeckung aller Felder (Grafik:FH Kärnten koloriert von GRÜNSTATGRAU.....	57
Abbildung 53 PV-Anlage am Flachdach.....	58
Abbildung 54 Leistung PV-Anlage Auszug (Visualisierung: HTL1)	58

Abbildung 55: Die Systeme im Vergleich: linkes Bild: PV-Gründach 15° bifazial Süd hintereinander aufgestellt, mittleres Bild: PV-Gründach 90° vertikal bifazial Ost-West Ausrichtung, rechtes Bild: PV-Gründach 10° bifazial Ost-West Ausrichtung, dachförmig aufgestellt (Fotos: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)	62
Abbildung 56 Screenshot aus dem Ergebnis-Dashbord im Szenario mit den umgesetzten Begrünungen und PV-Anlagen	64
Abbildung 57 Business Model Canvas für die Umsetzungsbegleitung von PV-Gründächern.	68
Abbildung 58: Schüler der HTL1-Lastenstraße beim Bienenmonitoring auf dem Dach (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU)	69
Abbildung 59: Blühende Kletterpflanzen unter dem Bachlauf mit Photovoltaiküberdachung zu Projektende (Foto: Zluwa, GRÜNSTATTGRAU).....	71
Abbildung 60 Frontansicht HTL1 Klagenfurt Lastenstraße (Quelle: HTL1 Klagenfurt Lastenstraße)	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Leistungsbilanz für Kühlsysteme.....	45
Tabelle 2 Ersichtliche Kühleffekte durch gleichmäßige Besprühung	51
Tabelle 3 Ergebnisse für die Leistungsauswertung der einzelnen Bauweisen:.....	59
Tabelle 4 Ergebnisse für die Leistungsauswertung silberlaubige Bepflanzung mit weißem Kies und Sedumdach	60
Tabelle 5 Temperaturunterschiede auf den unterschiedlichen Dachaufbauten	61
Tabelle 6 Systemvergleich der unterschiedlichen Aufständervarianten.....	62
1: Datenerstellung und Dokumentation Tabelle 7: Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts generiert werden.....	76
Tabelle 8: Beschreibung der Datensammlung zum sozialen Monitoring.....	76
Tabelle 9 Beschreibung der Datensammlung zur Messung der PV-Erträge	78
Tabelle 10 Beschreibung der Daten zu Bodenfeuchte und Bodentemperatur in der Dachbegrünung	79
Tabelle 11 Beschreibung der Bilddaten.....	81
Tabelle 12 Beschreibung der Datensammlung des vegetationstechnischen Monitorings	81

Literaturverzeichnis

Baumann T, Nussbaumer H, Klenk M, Dreisiebner A, Carigiet F, Baumgartner F.: Photovoltaic systems with vertically mounted bifacial PV modules in combination with green roofs. Solar Energy. 2019. doi:10.1016/j.solener.2019.08.014

Enzi Vera, Fritthum Roman, Schmidt Thomas, Fricke Jörg, Gruchmann-Bernau Elisabeth, Rafael Werluschnig: ÖNORM L 1131 Beiblatt Solargründächer, VfB – Verband für Bauwerksbegrünung Österreich, Wien, 2019.

HTL1-Lastenstraße (2024): Abteilungsübergreifende Ausbildung Green:energie- Ingenieur:in. Online unter: [Green:Energy – ht11-klagenfurt](#) (Letzter Zugriff: 25.09.2024).

ÖNORM L1131: Begrünung von Dächern und Decken. Austrian Standards Institute, 2010.

Diplomarbeiten:

- Green School Energy Wasserkreislauf Automation of a water circuit 5AHET 2022/23
- Hydraulische Auslegung des Forschungsprojektes GREENsChOOLENERGY 5CHMB 2020/21

Laborberichte:

- Druckverlustberechnung: STML, 5AHMB, Datum: 15.03.2023
- Kreiselpumpe: STML, 5DHME, Datum: 03.03.2023
- Überschlagsmäßige Berechnung der Verdunstung an den PV-Paneelen der Südfassade an der HTL1 - Lastenstraße: STML, 8ABMB, Datum: 14.12.2022
- Kreiselpumpe: STML, 5DHME, Datum: 03.03.2023

9 Anhang

9.1. Data Management Plan (DMP)

1: Datenerstellung und Dokumentation

Tabelle 7: Beschreibung der Daten, welche im Rahmen des Projekts generiert werden

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
SOZ	Soziales Monitoring	Beschreibend	Umfrage	GRÜNSTATTG RAU und HTL1	Nicht öffentlich
PV	PV-Erträge	Numerisch	Gemessene erzeugte Leistung	HTL1	Nicht öffentlich
LF/LT	Lufttemperatur	Numerisch	Messung am Objekt (Innenraum)	HTL1	Nicht öffentlich
BF/BT	Bodenfeuchte und Bodentemperatur	Numerisch	Messung am Objekt (in den Begrünungen)	HTL1	Nicht öffentlich
FOTO	Fotografische Dokumentation	Bilddaten	Fotos	GRÜNSTATTG RAU/ IPAK	Teilweise öffentlich
VEG	Vegetationstechnisches Monitoring	Numerisch und Beschreibend	Vegetationserhebung mit Frequenzrahmen	GRÜNSTATTG RAU (FH. Klagenfurt)	Nicht öffentlich
THERMO	Oberflächentemperatur	Bilddaten	Messkampagne	GRÜNSTATTG RAU	Nicht öffentlich

Tabelle 8: Beschreibung der Datensammlung zum sozialen Monitoring

ID Soz 1-3	Umfrage zum Sozialen Monitorings
Titel	Ergebnisse des sozialen Monitoring
Zusammenfassung	Mittels ZOHO Umfrage wurde die Meinung über die Maßnahmen im Projekt GREENsChOOLENERGY erhoben. Es gab drei unterschiedliche Fragebögen (für Schüler:innen, für Lehrer:innen und für sonstiges Schulpersonal). Die Umfrage fand zu 3

	Zeitpunkten statt (zu Projektanfang, in der Mitte und zu Projektende).
Kurzbezeichnung	Soziales Monitoring
Einheit	Umfrage mit beschreibenden Daten
Zeitintervall	Jährlich
Zeitraum und Referenzjahr	Messungen ab Sommer 2023
Institution	HTL1-Lastenstraße und GRÜNSTATTGRAU
Kontakt	Irene.zluwa@gruenstattgrau.at
Mitwirkende und Rolle	Rafael Werluschnig, Elisabeth Weiss-Tessbach und Irene Zluwa (GRÜNSTATTGRAU) – Administration der Umfrage Anna Franziska Keber und Anna Zampetti - Inhaltliche Bearbeitung der Umfrage
Methodik	Umfrage mit offenen Fragen und Multiple Choice Fragen.
Datenvervollständigung	keine
Quelldaten	<p>ZOHO:</p> <p>Juni 2023: Umfrage Lehrpersonal https://survey.zohopublic.eu/zs/6fB808 Verwaltungspersonal Juni 2023: https://survey.zohopublic.eu/zs/5eB8T0 Schüler:innen: https://survey.zohopublic.eu/zs/UOB8MD</p> <p>Juni 2022: Umfrage Lehrpersonal https://survey.zohopublic.eu/zs/XoDHpA Verwaltungspersonal https://survey.zohopublic.eu/zs/fxDHAU Schüler:innen: https://survey.zohopublic.eu/zs/XoDHpA Schulwarte und Reinigungspersonel: https://survey.zohopublic.eu/zs/0JDH3r</p> <p>Juni 2021: Umfrage Lehrpersonal https://survey.zohopublic.eu/zs/p2BzIQ Verwaltungspersonal https://survey.zohopublic.eu/zs/EFBzLQ Schüler:innen: https://survey.zohopublic.eu/zs/NOBzmt Schulwarte und Reinigungspersonel: https://survey.zohopublic.eu/zs/QnBz3X</p>

Kommentar	Login notwendig (Zugang Grünstattgrau)
Erstellungsdatum	Juni 2023 Juni 2022 April 2021
Datentyp	Beschreibende Daten
Versionsstand	Stand: Juni 2023 (interne Verwendung)

Tabelle 9 Beschreibung der Datensammlung zur Messung der PV-Erträge

PV	Messung der PV-Erträge
Titel	PV-Erträge
Zusammenfassung	Es wird der erzeugte Strom der innovativen PV-Grünelemente gemessen. PV-Anlagen: <ol style="list-style-type: none"> 1) PV-Gründach <ul style="list-style-type: none"> • PV-Gründach 15°, bifazial, Süd-Ausrichtung hintereinander aufgestellt • PV-Gründach 90°, vertikal bifazial, Ost-West Ausrichtung • PV-Gründach 10°, bifazial Ost-West Ausrichtung, Dachförmig aufgestellt 2) PV-Fassade 3) Laubengang Vorplatz "Wörthersee"
Kurzbezeichnung	PV
- Einheit	kWh
Zeitintervall	Täglich
Zeitraum und Referenzjahr	
Institution	HTL1-Lastenstraße
Kontakt	Franz STEBE ste@htl1-klu.at Jürgen Morak mk@htl1-klu.at
Mitwirkende und Rolle	Franz Stebe: Datenauswertung und Interpretation der Daten
Methodik	Ständige Messung des Stromertrages in kWh <ul style="list-style-type: none"> • Schnittstelle Energiezähler PAC2200 • Visualisierungen der Energiedaten für interne Überwachung (Geräte Ausfall) • Visualisierung Energiedaten externe Visualisierung (Anzeigen, Homepage)

	Und temporäre Messkampagne zur Ermittlung des Unterschieds (Ertragssteigerung) zwischen silberlaubiger Bepflanzung und Sedum Gründach
Datenvervollständigung	keine
Quelldaten	
Kommentar	Login notwendig (Zugang HTL1)
Erstellungsdatum	
Datentyp	numerisch
Versionsstand	Stand: Juni 2024 (interne Verwendung)

Tabelle 10 Beschreibung der Daten zu Bodenfeuchte und Bodentemperatur in der Dachbegrünung

Attribut	Beschreibung
ID 1-	Bodenfeuchte und Bodentemperatur
Titel	Bodenfeuchte und Bodentemperatur Dach
Zusammenfassung	<p>Bodenfeuchte und Bodentemperatur auf den Versuchsflächen: Feld 1: PV-Gründach 15°, bifazial, Süd-Ausrichtung hintereinander aufgestellt Feld 2: PV-Gründach 90°, vertikal bifazial, Ost-West Ausrichtung Feld 3: PV-Gründach 10°, bifazial Ost-West Ausrichtung, Dachförmig aufgestellt Jedes Versuchsfeld ist in 2 unterschiedliche Gründachvarianten (a: Sedumdach und b: silberlaubige Pflanzen mit weißem Kies) unterteilt).</p> <p>Referenzflächen: in der Sonne, im Kiesrandstreifen und auf der nicht überdeckten Bitumenbahn</p>
Kurzbezeichnung	<p>Aufteilung der Flächen: I (römisch eins) à Optigrün Fläche mit Südaufständering I_se_DA (BF/BT) (Sedumfläche mit BF/BT an der Dachabdichtung) I_se_GD (Sedumfläche mit BF/BT im Gründachaufbau) I_si_GD (Silberlaubig+Kies mit BF/BT im Gründachaufbau)</p> <p>II (römisch 2) à Vertikal aufgeständertes ZINCO-System (Ost-West Ausrichtung) II_se_DA (BF/BT) (Sedumfläche mit BF/BT an der Dachabdichtung) II_se_GD (Sedumfläche mit BF/BT im Gründachaufbau)</p>

	<p>II_si_GD (Silberlaubig+Kies mit BF/BT im Gründachaufbau)</p> <p>III à mit Betonsteinen gehaltenes Aero-Compact GROUND System (O-W Ausrichtung in Dachform)</p> <p>III_se_DA (BF/BT) (Sedumfläche mit BF/BT an der Dachabdichtung)</p> <p>III_se_GD (Sedumfläche mit BF/BT im Gründachaufbau)</p> <p>III_si_GD (Silberlaubig+Kies mit BF/BT im Gründachaufbau)</p> <p>Referenzpunkte in der Sonne (nicht im Einfluss der PV)</p> <p>SO_se_DA (Sedumfläche mit BF/BT an der Dachabdichtung)</p> <p>SO_se_GD (Sedumfläche mit BF/BT im Gründachaufbau)</p> <p>Referenzpunkte im Kies</p> <p>Ref_Ki_1</p> <p>Ref_Ki_2</p> <p>Ref_Ki_3</p> <p>Referenzpunkte im Bitumen</p> <p>Ref_Bi_1</p> <p>Ref_Bi_2</p> <p>Ref_Bi_3</p>
Einheit	°Celsius und E (Bodenfeuchterohwerte)
Zeitintervall	Zeitintervall der Daten 10 Min (zusammengefasst auf Stundenwerte)
Zeitraum und Referenzjahr	Messungen ab Sommer 2023
Institution	HTL1-Lastenstraße
Kontakt	Franz STEBE ste@htl1-klu.at Jürgen Morak mk@htl1-klu.at
Mitwirkende und Rolle	Franz Stebe (HTL1-Lastenstraße) – Datenmanagement und Bearbeitung Irene Zluwa (GRÜNSTATTGRAU) – Interpretation der Daten
Methodik	
Datenvervollständigung	Vergleich mit Messungen anderer Objekte und Literatur
Quelldaten	Vor Ort-Messung
Kommentar	
Erstellungsdatum	2.Mai 2023
Datentyp	Nummerische Daten
Versionsstand	Version der Daten und ihr Status für die Verwendung Stand: 15.07.2024 (interne Verwendung)

Tabelle 11 Beschreibung der Bilddaten

FOTO	Fotodokumentation
ID 1-	Fotodokumentation GSE
Titel	Fotodokumentation
Zusammenfassung	Fotodokumentation der Bautätigkeiten und der Workshops mit den Schüler:innen
Kurzbezeichnung	Bautage Baudokumentation, Monitoring, Bilder nach der Umsetzung, Gründach, Bienen
Zeitintervall	Punktuell bei Projekthighlights
Zeitraum und Referenzjahr	2021-2024
Institution	GRÜNSTATTGRAU HTL1-Lastenstraße IPAK
Kontakt	Irene Zluwa@gruenstattgrau.at
Mitwirkende und Rolle	Alle Projektpartner:innen
Aufnahmedaten	Laufend
Datentyp	Fotos

Tabelle 12 Beschreibung der Datensammlung des vegetationstechnischen Monitorings

VEG 1-2	Vegetationstechnisches Monitoring
Zusammenfassung	Punktuelle Vegetationserhebung in den Dachbegrünungsflächen unter den unterschiedlichen PV-Dachbegrünungssystemen und in der unbeschatteten Referenzfläche.
Kurzbezeichnung	Vegetationstechnisches Monitoring
Einheit	Nummerisch und Beschreibend
Erhebungszeitpunkte	Vegetationsperiode 2023
Institution	FH-Klagenfurt im Auftrag von GRÜNSTATTGRAU
Kontakt	Irene.zluwa@gruenstattgrau.at
Mitwirkende und Rolle	Vanessa Berger und Klaus Steinbauer, FH Klagenfurt – Vegetationsaufnahme Irene Zluwa – Informationen zu den Aufbauten
Methodik	Frequenzrahmen und automatisierte Vegetationsklassifizierung zum Vergleich.

Quelldaten	Bei der FH-Klagenfurt.
Kommentar	Bericht der Vegetationserhebung bei GRÜNSTATTGRAU
Erstellungsdatum	30.05.2023 und 28.09.2023
Datentyp	Beschreibende Daten
Versionsstand	Bericht: vom 19.12.2023

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Rechte an der Datennutzung bleiben bei den Mitgliedern des Konsortiums.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Die Messdaten (Bodenfeuchte und Bodentemperatur, Lufttemperatur sowie Energieertrag) werden auf dem Server der HTL1-Lastenstraße gespeichert. Die Daten werden mit Flowcode verarbeitet und in der zentralen Datenbank gespeichert. Hierbei wurden die einzelnen Sensoren an dezentrale Subeinheiten angebunden, welche mittels Modbus TCP/IP Kommunikation mit einem zentralen Server System verbunden sind.

Die Datenspeicher Intervalle der Sensoren sowie der einzelnen Leistungsmessungen wurden im Projektverlauf mehrmals geändert, da das Volumen an Daten sehr rasch gestiegen ist. Die Daten werden aktuell auf einem Server der HTL1 gespeichert.

Die Daten der Umfragen des sozialen Monitorings werden im ZOHO-Account von GRÜNSTATTGRAU gespeichert. Ansprechpartnerin ist Irene Zluwa.

Bildmaterial ist in der internen Datenbank von GRÜNSTATTGRAU abgelegt. (Verwaltung: Irene Zluwa und Elisabeth Weiss-Tessbach).

Die Rohdaten der vegetationstechnischen Erhebungen auf dem Schuldach liegen bei der FH-Klagenfurt (Kontakt ist: Vanessa Berger). Der zusammenfassende Bericht des Vegetationsmonitorings liegt zusätzlich auf dem Server von GRÜNSTATTGRAU.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Wie und wo werden die Daten geteilt? Wer hat Zugriff und wie werden sensible Daten geschützt?

Auf den Schulserver der HTL1, dem Server von GRÜNSTATTGRAU und der FH-Klagenfurt ist kein externer Zugriff erlaubt. Falls Daten oder Bildmaterial von dem Projekt verwendet werden ist beim entsprechenden Konsortialpartner:innen eine schriftliche Anfragen zumachen.

(Grundsätzlich dürfen auch Fotos der Schüler:innen veröffentlicht werden, die HTL1 hat dafür eine Pauschalerlaubnis).

