

Gemeinsamer Schlussbericht

zum Verbundvorhaben

Leichtbausystem zur lichtdurchlässigen Dacheindeckung Light-Light-Roof

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Osterfelder Straße 3, 46047 Oberhausen	03LB4007A
Vorhabensbezeichnung: Light-Light-Roof – Leichtbausystem zur lichtdurchlässigen Dacheindeckung Teilvorhaben: Entwicklung einer Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Betriebsuntersuchung und Ökobilanzierung	
Laufzeit des Vorhabens:	01.07.2021 bis 31.12.2023
Berichtszeitraum:	01.07.2021 bis 31.12.2023

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG, Senefelder Straße 4, 48282 Emsdetten	03LB4007B
Vorhabensbezeichnung: Light-Light-Roof – Leichtbausystem zur lichtdurchlässigen Dacheindeckung Teilvorhaben: Entwicklung des Dachsystems und Aufbau des Gesamtsystem-Prototyps	
Laufzeit des Vorhabens:	01.07.2021 bis 31.12.2023
Berichtszeitraum:	01.07.2021 bis 31.12.2023

Der vorliegende Bericht ist als gemeinsamer Schlussbericht der beiden Verbundpartner verfasst. Die partnerspezifischen Inhalte sind entsprechend separat dargestellt.

Der Bericht beinhaltet eine Kurzdarstellung und eine eingehende Darstellung (vgl. Muster Schlussbericht zu Nr. 8.2 NKBF 98).

Autoren: Dr. Holger Wack¹, Benedikt Wensing², Wolfgang Bock²

¹Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

²Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Kurzdarstellung

1 Aufgabenstellung

Aufgabenstellung des Vorhabens war die Entwicklung und Demonstration eines leichtbauenden und lichtdurchlässigen Dacheindeckungssystems. Das System sollte auf einem Glas-Folie-Modul basieren, das mit einem Innendach aus einem verfahrbaren, lichtdurchlässigen und IR-reflektierenden Gewebe kombiniert ist. Durch den Aufbau und die Materialkombination sollte das System im Vergleich zu konventionellen Mehrscheiben-Glassystemen Gewichtsersparnisse von bis zu 75 %, bei gleichzeitig erhöhter Funktionalität, erzielen.

Ziel war die Entwicklung eines modularen Systems auf Basis der Kombination ETFE-Folienbeanspannung (ETFE: Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer) und Einscheibensicherheitsglas (ESG). Das Rahmenprofilsystem des Moduls sollte so gestaltet werden, dass über integrierte Leitungen ein Luftvolumenstrom durchgeleitet werden und den Zwischenraum zwischen Glas und ETFE-Folie durchströmen kann. Bei der Konzeptionierung und Entwicklung des Moduls sollten folgende Aspekte einfließen: seriennahe Produktion, Lichttransmissionsgrad, transparentes versus diffuses Glas- und Folienmaterial, Verschmutzungsneigung, Montagefreundlichkeit, Systemkosten und bautechnische sowie baurechtliche Regulierungen. Durch die Kombination Glas-Folie und die Beanspannung in einem Rahmensystem sollte die bei Folien- oder Membranbauten typische Kissenbildung vermieden und dem Gebäudeplaner so eine große gestalterische Freiheit ermöglicht werden können.

Die Untersuchung der Licht- und Klimamanagementeigenschaften (Betriebsuntersuchung) des im Projekt entwickelten Gesamtsystem-Prototyps sollte auf Basis eines MSR-Systems erfolgen, das eine kabellose Sensorik verwendet sowie cloudbasiert eine Datendokumentation und Visualisierung realisiert. Als Übertragungsprotokoll sollen dazu funkbasierte Systeme eingesetzt werden.

Ein Gesamtsystem-Prototyp sollte in einem für die realen Einsatzbedingungen repräsentativen Umfeld, im Fraunhofer UMSICHT Forschungs- und Entwicklungsbereich des Dachgewächshauses »Altmarktgarten Oberhausen« etabliert und im Ganzjahresbetrieb untersucht werden.

2 Voraussetzungen unter den das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Voraussetzungen für das Vorhaben basierten auf den Vorerfahrungen der beiden Verbundpartner. Diese standen zu Beginn des Vorhabens bereits seit 4 Jahren in Kontakt und hatten Erfahrung in der Bearbeitung von gemeinsamen Projekten. Die technischen Einrichtungen (mechanische Werkstätten, Labore und Technika, Fertigungstiefe zu Prototypen und Produkten) an den jeweiligen Unternehmensstandorten, waren beiden Partnern gut bekannt.

Beide Partner verfügten weiterhin über die notwendigen technischen Kommunikationsmöglichkeiten zur Sicherstellung eines reibungslosen, flexiblen und bedarfsangepassten Austauschs während der Projektbearbeitung.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

In Bild 1 ist der für das Vorhaben geplante und entsprechend auch so durchgeführte Lösungsweg dargestellt. Das Projekt gliederte sich in die drei übergeordneten Arbeitsschwerpunkte »Konzeption und Bau«, »Demonstration und Betrieb« und »Bewertung«.

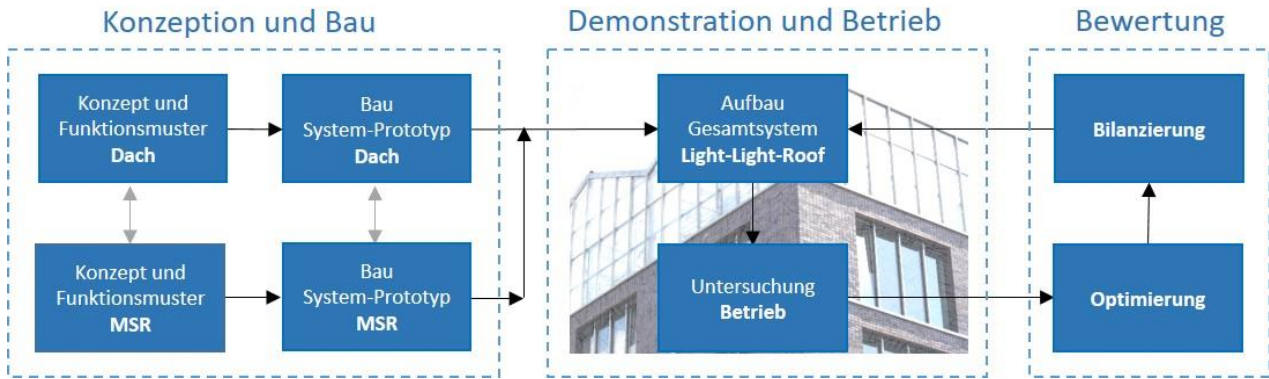


Bild 1: Lösungsweg zur Erreichung der Projektziele.

Die Durchführung der jeweiligen Arbeiten erfolgte in zwei Teilprojekten, mit den folgenden Inhalten und Verantwortlichkeiten:

Teilprojekt 1 (TP1) – Durchführung und Verantwortlichkeit Fraunhofer UMSICHT: Entwicklung der Mess-, Steuer und Regeltechnik, Betriebsuntersuchung und Ökobilanzierung

Teilprojekt 2 (TP2) – Durchführung und Verantwortlichkeit Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG: Entwicklung des Dachsystems und Aufbau des Gesamtsystem-Prototyps

Der für das Projekt geplante Zeit- und Arbeitsplan sowie die definierten Meilensteine sind in Bild 2 dargestellt.

Arbeits- und Zeitplan		2021			2022												2023														
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fraunhofer UMSICHT																															
TP1-1	Konzeptentwicklung und Funktionsmuster MSR						1																								
TP1-2	Bau System-Prototyp MSR													2																	
TP1-3	Unterstützung Aufbau Gesamtsystem-Prototyp													3																	
TP1-4	Demonstration/Untersuchung Gesamtsystem-Prototyp																														
TP1-5	Ergebnisauswertung/Optimierung																														
TP1-6	Ökobilanzierung Gesamtsystem																														

Arbeits- und Zeitplan		2021			2022												2023														
		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG																															
TP2-1	Konzeptentwicklung und Funktionsmuster Dach						1																								
TP2-2	Bau System-Prototyp Dach																														
TP2-3	Aufbau Gesamtsystem-Prototyp																														
TP2-4	Mitarbeit Demonstration/Untersuchung GP																														
TP2-5	Umsetzung von Optimierungspotenzialen																														

Meilenstein-Nr.	Zeitpunkt	Definition
1	Ende Monat 6	Die Konzepte liegen vor. Planungsunterlagen sind erstellt. Notwendige Beschaffungsvorgänge sind eingeleitet.
2	Ende Monat 12	Die Demonstratoren liegen vor.
3	Ursprünglich geplant Monat 18 (grau), erreicht Monat 22 (rot), Teilerreichung Monat 13 (blau)	Der Aufbau des Gesamt-System-Prototyps im »Altmarktgarten Oberhausen« ist abgeschlossen. Der Gesamtsystem-Prototyp ist funktionsbereit. Abbruchkriterium bei Nichterreichen.

Bild 2: Durchgeführter Zeit- und Arbeitsplan sowie Meilensteinplan.

Das Vorhaben konnte nahezu entsprechend der Planung durchgeführt werden. Eine Abweichung zum Zeitplan ergab sich in TP2-3 und beim geplanten Meilenstein 3. Durch die Auslastung von Zulieferanten und erforderliche Designanpassungen konnten die Modulrahmen nicht fristgerecht

bereitgestellt werden und der Aufbau des Gesamtsystems nicht, wie geplant, zum Ende des Jahres 2022 erfolgen. Die Fertigstellung der Rahmen erfolgte im Zeitraum Februar 2023, und der Gesamt-Prototyp konnte nach Herstellung der Modul-Prototypen im Zeitraum April 2023 installiert und in Betrieb genommen werden.

Für das Erreichen der gesteckten Projektziele war dies jedoch nicht schädlich, da bereits aus den Arbeiten zu den Funktionsmustern (TP2-1) Folie-Glas-Folie-Systeme bereitgestellt werden konnten, die in einer Praxisumgebung für den Anwendungsfall »Fassade« etabliert werden konnten. Dies konnte Ende Juli 2022 realisiert werden und entsprach bereits einer Teilerreichung von Meilenstein 3. Insgesamt wurden 9 Elemente (Elementabmessungen 100 cm x 120 cm x 3 cm), als Folie-Glas-Folie-System mit jeweils einer Seite transparenter Folie, einer Seite diffuser Folie und einem 4 mm Einscheibensicherheitsglas gefertigt und in den Fassadenlichtausschnitt einer Leichtbauhalle (Standort Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen) integriert. Das Folie-Glas-Folie-System ersetzte an dieser Stelle einen konventionellen Lichtausschnitt aus Polycarbonat-Doppelstegplatte, der entsprechend zurückgebaut wurde. Das Folie-Glas-Folie-System wurde so konzipiert, dass es bei dieser Maßnahme ohne Änderungen der Tragrahmenstruktur sowie Abdichtung verwendet werden konnte. An dem Fassaden-System-Demonstrator wurden praxisnahe Untersuchungen zur Langzeitstabilität und dem Verhalten bei Windlast durchgeführt (vgl. Eingehende Darstellung).

4 Stand von Wissenschaft und Technik, an den angeknüpft wurde

Stand von Wissenschaft und Technik

Der Aufbau von lichtdurchlässigen Dächern (Überkopfverglasungen) erfolgt gewöhnlich unter Einsatz von Mehrscheiben-Isolierglas. Zwischen den einzelnen Scheiben der Mehrfachverglasung befindet sich ein Hohlraum, der gas- und feuchtigkeitsdicht verschlossen ist und der Schall- und Wärmedämmung dient. Der Einsatz von 2-Scheiben- und 3-Scheibengläsern, unter Einsatz von Verbundsicherheitsglas (VSG) und Einscheibensicherheitsglas (ESG), hat sich in der Praxis durchgesetzt. Verbundsicherheitsglas besteht aus zwei oder mehr Flachglasscheiben, verbunden durch eine reißfeste und zähelastische Folie. Einscheibensicherheitsglas ist ein Temperglas in dem durch Wärmebehandlung eine starke innere Spannung aufgebaut wird. Neben Glas werden in Nischenanwendungen auch Kunststoffe als Dacheindeckungsmaterialien etabliert, wie Polycarbonat- und Polyvinylplatten in Mehrfachstegausführung und Polymethylmethacrylat (sog. Acrylglas) [Ober-2004].

In Bezug auf Leichtbauanwendungen in der Architektur sind Folien oder Membranen in einer Ausführung aus Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE) hochinteressant. ETFE ist mittlerweile mit Lichtdurchlässigkeiten von bis zu 95 % verfügbar, und der Aufbau von Gebäudehüllen aus ETFE hat in den letzten Jahren insbesondere im Bereich der Architektur zunehmend an Bedeutung gewonnen, da die Materialien immer besser charakterisiert sind und z. B. durch Verklebung und Verschweißbarkeit produktionstechnische Hemmnisse behoben werden konnten. Prominente Beispiele für den Einsatz von ETFE sind die »Allianz Arena« in München und der »Water Cube« in Peking.

Ein technisches System zur Nutzung von konvexen/konkaven Folien, auch in Kombination mit Gläsern, wurde von Reisinger beschrieben und positiv im Hinblick auf Lichttransmission sowie Potenziale zur Energieeinsparung diskutiert [Reis-2007]. Systeme mit einem solchen Aufbau werden beispielsweise vom Forschungszentrum Jülich betrieben, und folienbasierte Gewächshäuser sind im Laborumfang seit 2018 im »Versuchszentrum Gartenbau« in Straelen in der Erprobung [Schu-2010, Schoc-2015, Land-2020].

Energie- und Verschattungsschirme sind insbesondere im Pflanzenproduktionsbereich bekannt. Solche Systeme werden seit den 1970er Jahren eingesetzt und können zwischen 20 bis 40 %

Energieeinsparung realisieren, wobei auch mehrere übereinander positionierte Energie- und Verschattungsschirme eingesetzt werden [Aid-2007]. Je nach Hersteller sind gewirkte und gewebte Systeme mit unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeiten und Einlagen (z. B. Aluminium) von verschiedenen Herstellern am Markt verfügbar.

Schutzrechtssituation

Das im Vorhaben geplante Gesamtsystem war im Stand der Technik nicht beschrieben, und eine über die Software »PatBase« durchgeführte Patentrecherche lieferte ebenfalls keine auswertbaren Treffer.

Gleichwohl waren Einzelkomponenten, wie zum Beispiel Glas-Folie-Elemente Stand der Technik und auch schutzrechtlich abgesichert, vgl. WO 2007/076756 A1 (Eindeckelement sowie Eindeckung, Patentschrift, 2007). Dieses Schutzrecht wurde jedoch im Jahr 2010 aufgegeben. Da das beschriebene Gesamtsystem zudem auf am Markt verfügbare Grundkomponenten aufsetzt, bestand nach dem vorliegenden Informationsstand für die Entwicklung Freedom to Operate. Die Zusammenschaltung des Dacheindeckungssystems mit fahrbarem Innendach inklusive systemangepasster Regelung wurde als mögliche Option für die Entwicklung eigener Schutzrechte eingeschätzt.

Literatur

- [Aid-2007] Aid Infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e. V. (Hrsg.), Bonn, 2007.
- [Land-2020] <https://www.landwirtschaftskammer.de/gartenbau/versuche/artikel/versuchsgewaechshaus.htm>, Zugriff: 06.04.2020.
- [Ober-2004] Oberacker, R., Glas- und Fenstertechnik, Gentner Verlag, Stuttgart, 2004.
- [Reis-2007] Reisinger, G., WO 2007/076756 A1, Eindeckelement sowie Eindeckung, Patentschrift, 2007.
- [Schoc-2015] Schockert, K., Aktuelle Gewächshaus-Eindeckmaterialien, Lehrerfortbildung Landesakademie Essen, 2015.
- [Schu-2010] Schurr, U., et al., Workshop: Glas-Folie-Kombination (GFK) – Ein innovatives Bedachungskonzept für den Gartenbau?, Jülich, 2010.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen ist im Verlauf des Vorhabens nicht erfolgt.

Eingehende Darstellung

1 Projektergebnisse inkl. Verwendung der Zuwendung und Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Projektergebnisse werden nachfolgend, gegliedert nach den beiden Teilprojekten »TP1: Entwicklung der Mess-, Steuer und Regeltechnik, Betriebsuntersuchung und Ökobilanzierung (Fraunhofer UMSICHT)« und »TP2: Entwicklung des Dachsystems und Aufbau des Gesamtsystem-Prototyps (Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG)« beschrieben.

Teilprojekt 1 (TP1) – Durchführung und Verantwortlichkeit Fraunhofer UMSICHT:

Entwicklung der Mess-, Steuer und Regeltechnik, Betriebsuntersuchung und Ökobilanzierung

TP1-1: Konzept und Funktionsmuster MSR (MSR: Messen, Steuern, Regeln)

Das im Rahmen der Konzeptentwicklung entstandene finale Sensorkonzept und die realisierten Funktionsmuster beruhen auf Sensoreinheiten (RuuviTag, Ruuvi Innovations Ltd Oy, Riihimäki, Finnland), die Temperatur sowie relative Luftfeuchte (optional Luftdruck und Beschleunigung) erfassen. Die Datenauskopplung erfolgt mittels eines Bluetooth-Protokolls, das in die Sensoreinheit integriert wurde. Die Energieversorgung der Sensoreinheit erfolgt mit einer Batterie, die eine Laufzeit von größer einem Jahr ermöglicht. Eine Sensoreinheit hat ein Baumaß von ca. 45 mm Durchmesser und ca. 12 mm Höhe und ist dadurch flexibel im Gewächshaus installierbar, ohne Störungen im Betriebsablauf zu verursachen, und dies auch bei einer hohen Anzahl an Sensoreinheiten.

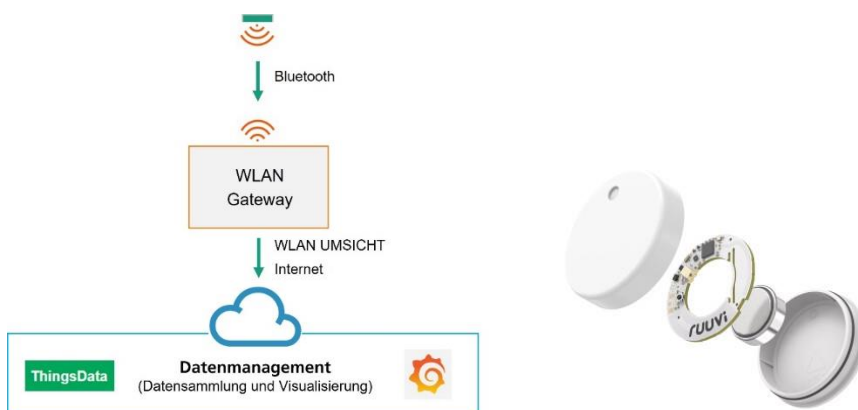


Bild 1: Datenmanagementkonzept (links) und Komponenten der RuuviTag-Sensoreinheit mit Einhausungs-Oberteil, Sensorik, Batterie und Einhausungs-Unterteil (rechts, Quelle: <https://ruuvi.com/>, Zugriff: 06.05.2024).

Zur Erfassung, Sammlung, Visualisierung und Auswertung der Daten wurde eine cloudbasierte IT-Infrastruktur entwickelt und aufgebaut (s. Bild 1). Das geplante Funktionsmuster MSR wurde durch die Zusammenführung von mehreren Sensoreinheiten zu einem Sensornetzwerk realisiert und im Zusammenspiel mit der IT-Infrastruktur im Technikumsmaßstab getestet. Zur Datensammlung wurde ein Light-Light-Roof-Datenraum in der Fraunhofer UMSICHT ThingsData-Cloud entwickelt und etabliert. Zur Visualisierung der Daten wurde die Visualisierungs-Software »Grafana« (Open-Source, Grafana Labs) verwendet.

Die Sensoreinheiten wurden bezüglich ihrer Eignung validiert, wobei folgende Fragestellungen untersucht wurden: Ansprechverhalten bei Temperatur- und Feuchteänderung, Langzeitverhalten

bei gewächshaustypischen Umgebungsbedingungen, Energieverbrauch, Drift bei Temperatur- und Luftfeuchtemessung, Einfluss von thermischen Massen (z. B. Stahlträger), Befestigungs- und Installationsmöglichkeiten.

In Bild 2 ist exemplarisch das Temperatursprechverhalten der Sensorik bei einem Temperatursprung von 23 °C auf 30 °C unter Variation der Sensorumhüllung dargestellt. Die Sensoren wurden bei diesen Untersuchungen zunächst in einem Temperierschrank in ein Temperaturgleichgewicht gebracht und anschließend in einen Temperierschrank überführt, der auf die gewünschte Sprungtemperatur eingestellt war.

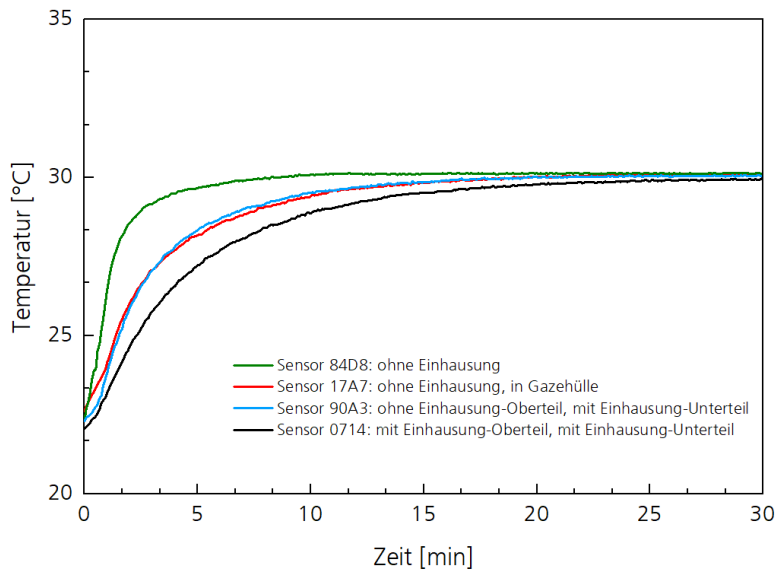


Bild 2: Sensortemperatur in Abhängigkeit von der Zeit bei einem Temperatursprung der Umgebung von 23 °C auf 30 °C unter Variation der Sensorumfüllung.

Die Untersuchungen zeigten einen signifikanten Einfluss der Sensorumfüllung auf das Ansprechverhalten, in Form einer Verschlechterung des Ansprechverhaltens und einer längeren Zeit, die benötigt wird, um ein Temperaturgleichgewicht zu erreichen. Im weiteren Projektverlauf wurden die Sensoren daher ohne Umfüllung verwendet. Zum Schutz und zur Aufhängung der Sensoren wurden luftdurchlässige gitterförmige Sensorhüllen entwickelt und mittels 3D-Druck hergestellt. Die Sensorschutzhüllen wurden farblich gestaltet (vgl. Bild 6), um im Gewächshausraum visuell schnell erkennbar zu sein. Die so weiterentwickelten MSR-Funktionsmuster konnten Ende 2020 in das Dachgewächshaus »Altmarktgarten Oberhausen« überführt und in Versuchsbetrieb genommen werden.

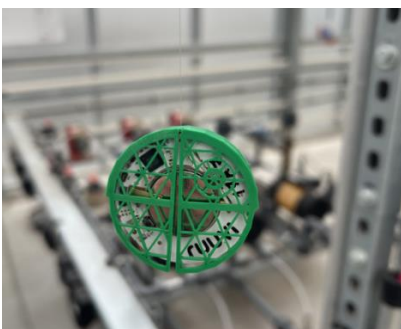


Bild 3: MSR-Funktionsmuster in der Betriebsumgebung des »Altmarktgarten Oberhausen«.

In Bild 4 sind ein Blick durch die Eingangstür des Forschungs- und Entwicklungsbereich des Fraunhofer UMSICHT im Dachgewächshaus »Altmarktgarten Oberhausen« und die Sensorpositionen der Funktionsmusteruntersuchungen in einer schematischen 3D-Ansicht dargestellt.

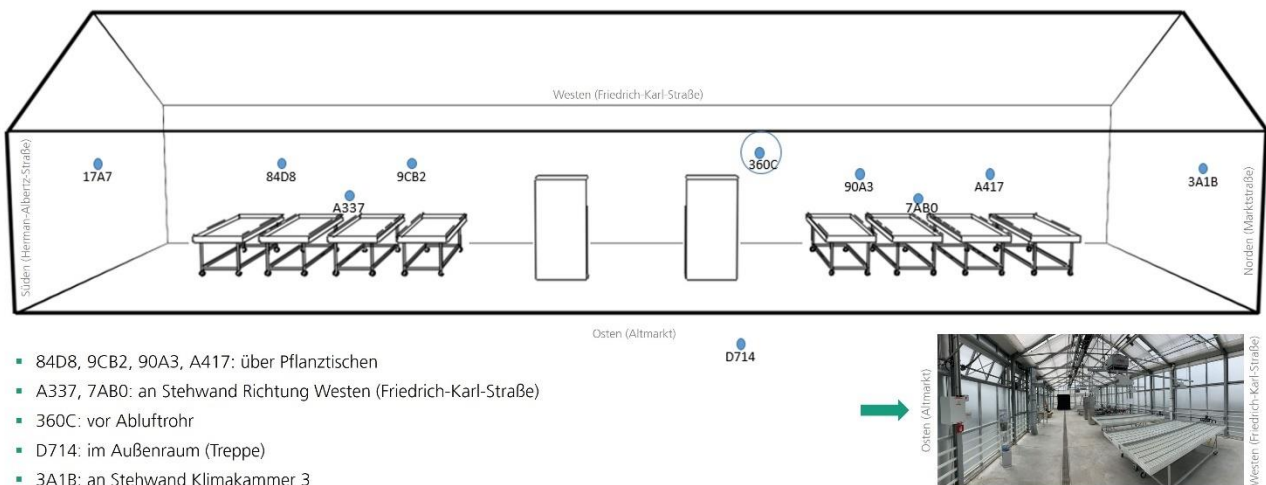


Bild 4: Blick in den Forschungs- und Entwicklungsbereich des Fraunhofer UMSICHT im Dachgewächshaus »Altmarktgarten Oberhausen« und Sensorpositionierung der MSR-Funktionsmusteruntersuchungen im »Altmarktgarten Oberhausen« in einer schematischen 3D-Ansicht.

Das im Technikumsmaßstab erfolgreich getestete Datenmanagementkonzept (vgl. Bild 1) wurde dazu entsprechend im »Altmarktgarten« etabliert. Zum Test und zur Untersuchung der Funktionalität und Robustheit der Sensorik wurden unterschiedliche Betriebszustände über die Gewächshaussteuerung eingestellt und das Sensorverhalten über die etablierte Datenerfassung und -visualisierung untersucht. In Bild 5 ist exemplarisch die Temperatur (Visualisierung über Grafana) an den unterschiedlichen Sensorpositionen in Abhängigkeit von der Zeit und wechselnden Betriebsbedingungen dargestellt.

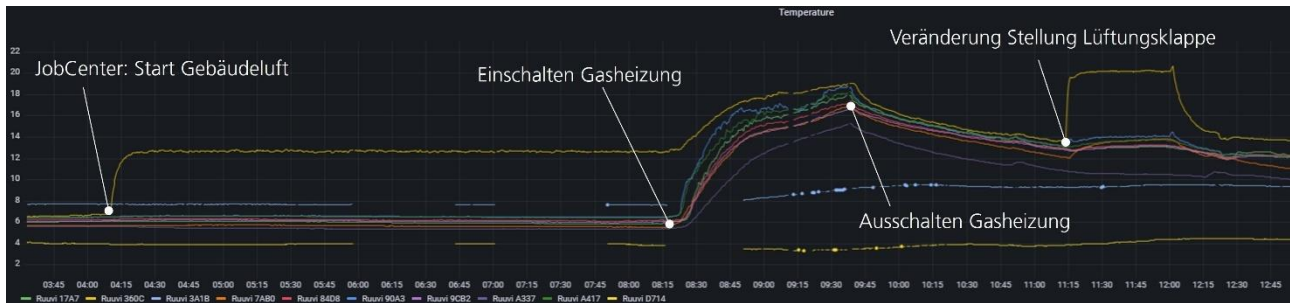


Bild 5: Temperatur an den unterschiedlichen Sensorpositionen in Abhängigkeit von der Zeit und wechselnden Betriebsbedingungen des Dachgewächshauses.

Im Rahmen der Betriebsuntersuchungen konnte die Eignung des MSR-Konzepts sowohl im Hinblick auf die Ansprechgenauigkeiten, als auch die Robustheit und Übertragungsleistung unter den im Gewächshaus vorherrschenden klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftbewegungen durch Lüfter, Luftfeuchtigkeit) erfolgreich nachgewiesen werden.

TP1-2: Bau Systemprototyp MSR

Auf Basis der Ergebnisse von TP1-1 wurde im Verlauf von TP1-2 ein Systemprototyp entwickelt und aufgebaut. Dazu wurde die Anzahl der eingesetzten Sensoren auf insgesamt 60 und die Anzahl der Gateways auf insgesamt 3 erhöht. Die Sensoren wurden in den »Altmarktgarten« überführt und zunächst analog zu den Untersuchungen in TP1-1 in der Demonstrationsumgebung getestet. Untersucht wurde insbesondere das Zusammenspiel der Vielzahl von Sensoren und der Gateways sowie die dabei erzielte Übertragungsqualität und Datenvollständigkeit. Insgesamt konnten alle Sensoren schließlich mit nur einem Gateway im Hinblick auf die Datenübertragung und -vollständigkeit betrieben werden. Die Sensoren wurden entsprechend an die UMSICHT-ThingsData-Cloud angebunden und alle auflaufenden Messdaten konnten auf diese Weise cloud-basiert erfasst, archiviert und über die Software »Grafana« visualisiert (vgl. TP1-1) werden.

Erste Sensornetze wurden als Demonstratoren räumlich angeordnet und die Mess- und Datenperformance (Luftfeuchte und Temperatur) untersucht. Auf Basis der Ergebnisse wurden unterschiedliche Konzepte zur Sensorverteilung im Raum entwickelt und in Planungsunterlagen überführt. Das abschließend für den Aufbau des MSR-Prototyps konzipierte und realisierte Sensornetz ist in Bild 6 dargestellt.

Das Sensornetzwerk besteht aus insgesamt 6 in y-Richtung angeordneten Ebenen. Die Ebene 1 liegt in einem freien Bereich des Raums, Ebene 2, 3, 5 und 6 sind jeweils zentral über den Pflanzischen positioniert und Ebene 4 befindet sich zwischen den beiden Bewässerungs- und Düngeanlagen. An dieser Position ist auch der einzige standardmäßig installierte Temperatur- und Feuchtesensor positioniert. Mit den Daten dieses Sensors wird das Gewächshaus aktuell geregelt. Jede Sensorebene (y-Richtung) ist mit jeweils 8 Sensoren bestückt, wodurch eine räumliche Abdeckung in x- und z-Richtung realisiert wird. Insgesamt waren final 48 Sensoren im Gewächshaus im Einsatz und 1 Sensor im Außenbereich positioniert. Die Sensoren wurden zur Auswertung der Messdaten katalogisiert, wobei die Sensorkennung entsprechend mit der eingemessenen x-y-z-Position der Sensoren ergänzt wurde (vgl. x-y-z-Nullpunkt in Bild 6). Die Sensorschutzhüllen wurden mit einem Farbcode versehen (vgl. Bild 6), um im Gewächshausraum visuell schnell erkennbar und zuortbar zu sein.

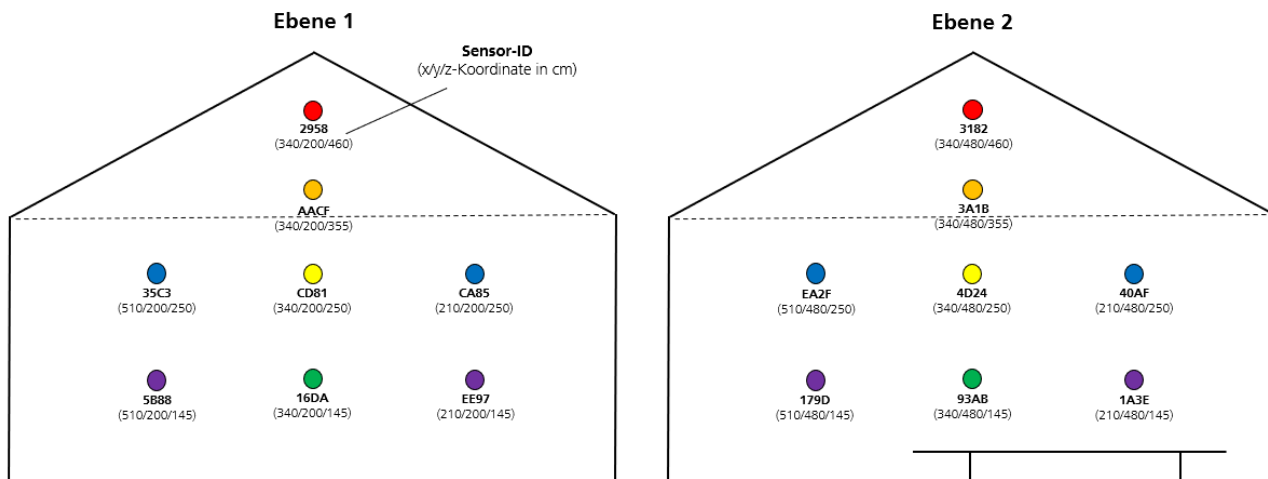
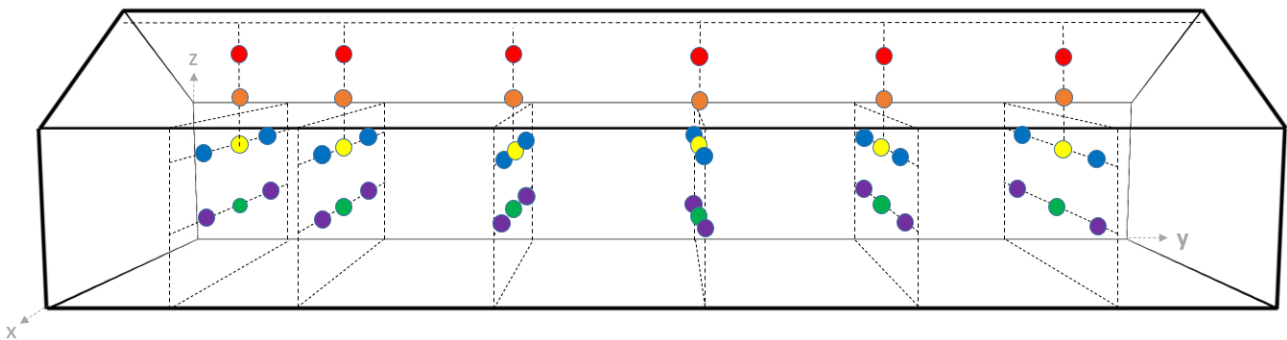
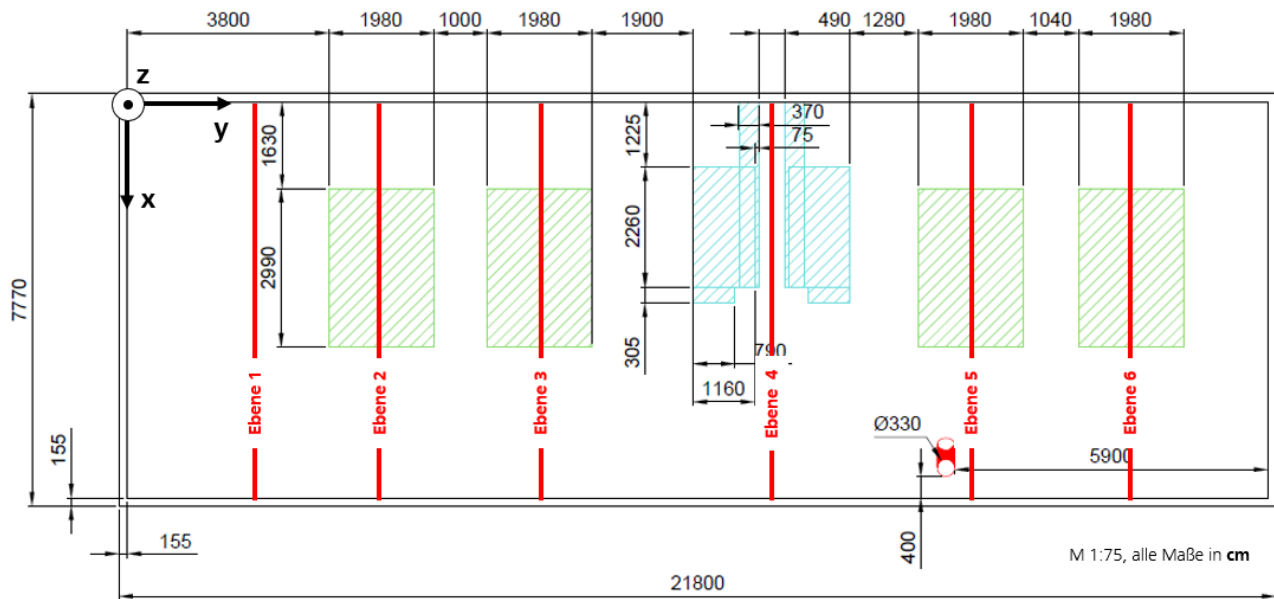


Bild 6: Sensornetzwerk im FuE-Bereich des Fraunhofer UMSICHT im »Altmarktgarten Oberhausen«. Grundriss sowie Kennzeichnung der Sensorebenen (oben), Verteilung der Sensoren im Raum (mittig) und exemplarisch Darstellung der Ebene 1 und 2 mit Bezeichnung sowie Position der Sensoren.

Zusätzlich zu den geplanten Arbeiten im Bereich »Dach« wurde ein weiterer Systemprototyp für den Bereich »Fassade« entwickelt und am Standort des Fraunhofer UMSICHT installiert (vgl. auch Bericht TP2, Wolfgang Block GmbH & Co. KG). Dieser Prototyp wurde ebenfalls mit Sensorik ausgestattet, an die UMSICHT-ThingsData-Cloud angebunden und betriebstechnisch untersucht (vgl. TP1-3).

TP1-3: Unterstützung beim Aufbau und der Inbetriebnahme des Gesamtsystem-Prototyps

Im Rahmen der Arbeiten erfolgte die Unterstützung beim Aufbau des Gesamt-System-Prototyps »Dach« im FuE des Fraunhofer UMSICHT im »Altmarktgarten Oberhausen« sowie des Gesamt-System-Prototyps »Fassade« an der Leichtbauhalle des Fraunhofer UMSICHT am Institutsstandort Oberhausen. Die Arbeiten umfassten die Planung von Anlagenumbauten, die Komponentenbeschaffung und die Durchführung von Infrastrukturmaßnahmen (Druckluft und Stromversorgung). Weiterhin wurden arbeitssicherheitsrelevante Maßnahmen abgestimmt sowie die notwendigen Freigaben zur Durchführung der Umrüstungsarbeiten eingeholt.

Für die Betriebsuntersuchung des Gesamt-System-Prototyps »Fassade«, der zeitlich als erster umgesetzt werden konnte, wurde ein Versuchsaufbau entwickelt und realisiert, mit dem die Untersuchung eines Light-Light-Roof-Moduls im Hinblick auf die Ablufnnutzung, die Luftdurchströmung und den Innendruckaufbau durchgeführt werden konnte. Das Verfahrensfliessbild der Versuchseinrichtung ist in Bild 7 dargestellt.

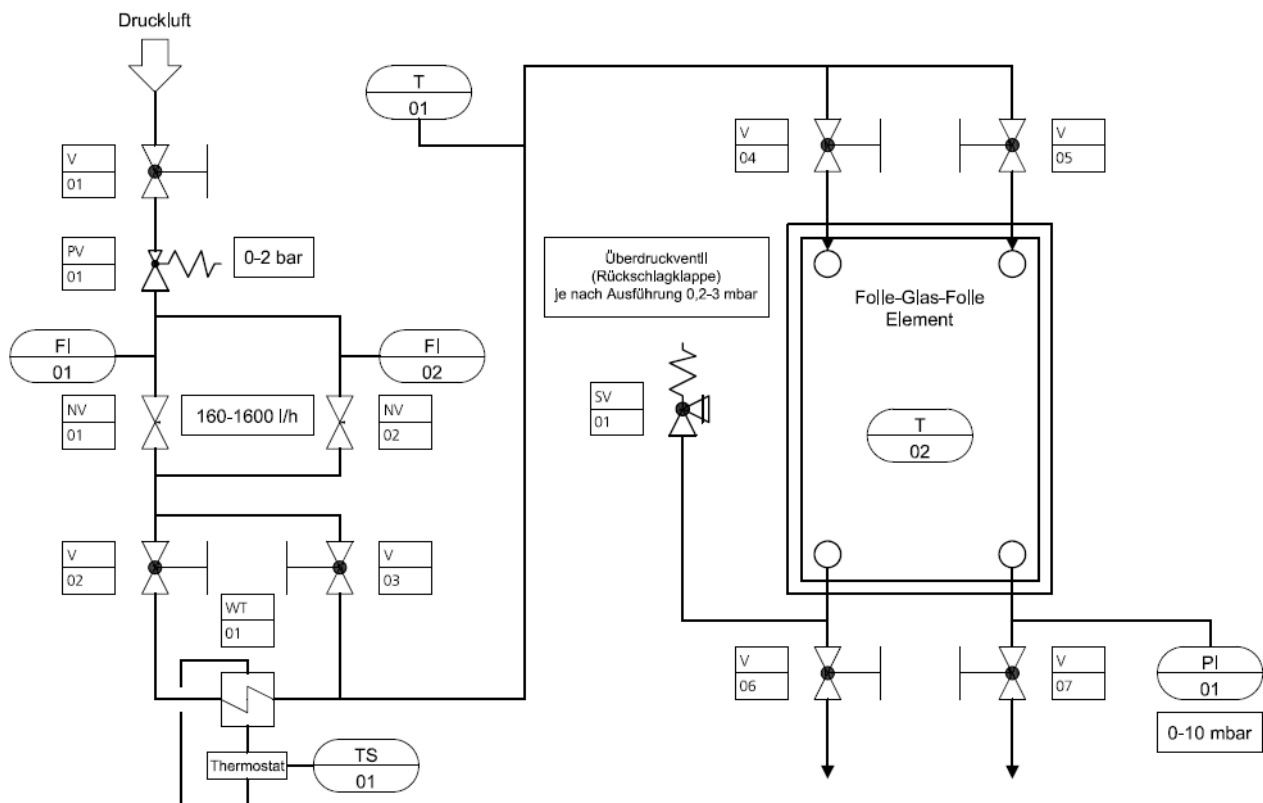


Bild 7: Verfahrensfliessbild zur Untersuchung der Light-Light-Roof-Module für den Demonstrationsfall »Fassade«.

Das Versuchskonzept besteht darin, dass ein definierter Luftvolumenstrom, aus dem Fraunhofer UMSICHT-Druckluftnetz, über Ventileinheiten (NV01, NV02, V02, V03) geregelt, in eine Temperiereinheit (WT01) geführt wird, dort temperiert werden kann und anschließend über unterschiedliche Verschaltungsmöglichkeiten (V04 bis V07) in das Light-Light-Roof-Modul (Folie-Glas-Folie-Element) ein- und ausgleitet werden kann. Temperatur und Druckmessungen (T01, T02, PI01) lassen Aussagen zur Wirkungsweise der Betriebsführung zu.

Details zum eingesetzten Light-Light-Roof-Modul (vgl. auch TP2-2 und TP2-3) sowie die installierte Sensorik sind in Bild 8 dargestellt.

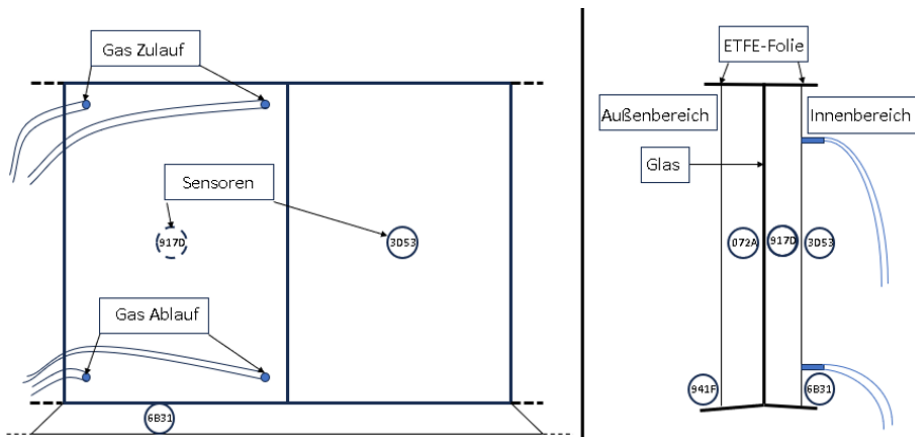


Bild 8: Light-Light-Roof-Modul (Aufbau: Folie-Glas-Folie) mit installierter Sensorik. Darstellung der Frontansicht (links) und des Querschnitts (rechts).

Sensor 917D befindet sich im durchlüfteten Hohlraum der Scheibe. Sensor 072A befindet sich im nicht durchströmten Hohlraum der Scheibe. Der Sensor 941F befindet sich außerhalb der Halle, unterhalb der Scheibe. Sensor 6B31 ist innerhalb der Halle unterhalb der Scheibe positioniert. Sensor 3D53 ist innerhalb der Halle, mittig an der benachbarten, Scheibe befestigt.

TP1-4: Demonstration und Betriebsuntersuchung Gesamtsystem-Prototyp

Die Demonstration und Betriebsuntersuchung der Gesamtsystem-Prototypen (vgl. Bericht TP2-2, TP2-3) erfolgte über einen Zeitraum von 17 Monaten für das Anwendungsszenario »Fassade« am Institutsstandort Fraunhofer UMSICHT (Leichtbauhalle) und über einen Zeitraum von 8 Monaten für das Anwendungsszenario »Dach« im »Altmarktgarten Oberhausen«.

Im Rahmen der Projekt- und Betriebszeit wurden folgende Maßnahmen zum Stakeholderdialog sowie zur Kommunikation und Demonstration des Projekts durchgeführt:

- 16.09.2021, Das Vorhaben wurde im Rahmen einer Führung (Volkshochschule Oberhausen, 12 Teilnehmende) im »Altmarktgarten Oberhausen« vorgestellt.
- Das Vorhaben wurde im Newsletter Nr. 04/2021 des BMWi vorgestellt.
- Kontakt zum Netzwerk »Agrobusiness Niederrhein e. V.« wurde aufgenommen. Projektinformationen zum Vorhaben Light-Light-Roof wurden übermittelt mit dem Ziel, am zukünftigen Forschungsaustausch teilzunehmen.
- Projektvorstellung in der TASPO, Ausgabe Nr. 15, 16. April 2022. Die TASPO ist eine wöchentlich erscheinende Branchenzeitung für den Gartenbau aller Fachsparten. Die TASPO ist Marktführer im deutschsprachigen Raum. Unter dem Titel »Thalackers Allgemeine Samen- und Pflanzen-Offerte« erschien die TASPO erstmals 1867 und ist damit das älteste Gartenbau-Wochenblatt.
- Das Vorhaben wurde in der NRZ (Neue Ruhr Zeitung, Ausgabe 27.06.2022) vorgestellt.
- Das Projekt wurde in den Jahresbericht 2021 (S. 41) des Fraunhofer UMSICHT aufgenommen und dort vorgestellt.
- Das Vorhaben wurde in die Projektliste der inFARMING®-Internetseite (www.infarming.de, Fraunhofer UMSICHT) eingetragen.
- 20.09.2022, Führung durch den »Altmarktgarten Oberhausen« mit Projekterläuterung Light-Light-Roof, 20 Oberhausener Bürgerinnen und Bürger, Ruhr Werkstatt Oberhausen und Volkshochschule Oberhausen.
- Ein Roll-up zum Projekt wird ab 05.10.2022 dauerhaft im »Altmarktgarten« ausgestellt.

- Ein Informationsschild weist ab 15.11.2022 an der Leichtbauhalle am Standort Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen auf das Projekt hin (Demonstration, Anwendungsfall Fassade).
- Kommunikation des Projekts und Inhalte im Fraunhofer UMSICHT Mitarbeiterforum »forum:akut«.
- Treffen am 06.12.2022 beim ZAE Bayern (Bayrisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.), in Würzburg. Diskussion mit Dr. Stephan Weismann (Leiter Energieoptimierte Gebäude) und Dr. Jochen Manara (Leiter Angewandte IR-Meteorologie) zum Thema Light-Light-Roof und Möglichkeiten zur Integration von Photovoltaik in die Module.
- Vorstellung des Projekts im Newsletter »Energiewende direkt« des BMWK, 24.01.2023.
- Führung im »Altmarktgarten Oberhausen« mit Vorstellung des Light-Light-Roof-Projekts, Ruhrwerkstatt Oberhausen, 15 Teilnehmende, 30.03.2023.
- Führung im »Altmarktgarten Oberhausen« mit Vorstellung des Light-Light-Roof-Projekts, Ruhrwerkstatt Oberhausen, 15 Teilnehmende, 04.04.2023.
- Teilnahme an Messe BAU (Weltleitmesse für Architektur, Materialien, Systeme), Präsentation eines Exponats »Light-Light-Roof«, 17. bis 22.04.2023, München.
- Treffen mit dem ZAE Bayern (Bayrisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.) im »Altmarktgarten Oberhausen«, Diskussion von Möglichkeiten zur Zusammenarbeit, 10.05.2023.

Im Rahmen der Betriebsuntersuchungen »Fassade« wurde studiert, wie sich die installierten Prototypen in Bezug auf wechselnde Umgebungsbedingungen (Regen, Hagel, Sonne, Wind) verhalten und welche Effekte eine Luftdurchströmung der Module im Hinblick auf Wärmeaustausch und Druckaufbau erzielt.

Im Rahmen der Betriebsuntersuchungen »Dach« wurde studiert, wie sich die installierten Prototypen in Bezug auf wechselnde Umgebungsbedingungen (Regen, Hagel, Sonne, Wind) und definierte Änderungen des Betriebszustands des Gewächshauses (Öffnen/Schließen von Dachlüftungen und Energieschirmen) verhalten.

TP1-5: Ergebnisauswertung und Optimierung

Betriebsuntersuchung »Fassade« (Leichtbauhalle, Institutsstandort Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen)

Mit dem beschriebenen Versuchsaufbau (vgl. TP1-3) wurden Untersuchungen zum Durchströmungsverhalten sowie zur Temperierung durchgeführt. In Bild 9 ist exemplarisch der im Light-Light-Roof-Modul gemessene Druck in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom (Raumtemperatur) unter Variation der Ventilstellung (V04 bis V07, vgl. Bild 7) dargestellt.

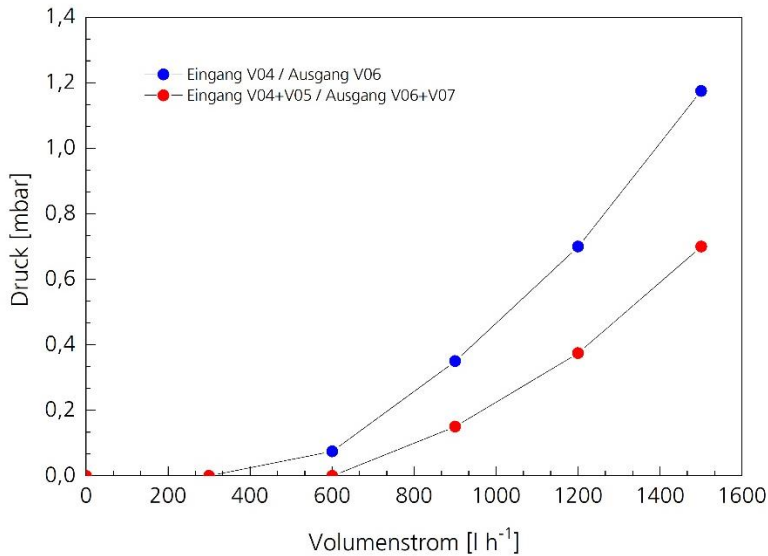


Bild 9: Im Light-Light-Roof-Modul gemessener Druck in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom (Raumtemperatur) unter Variation der Ventilstellung (V04 bis V07, vgl. Bild 7).

Wie das Ergebnis in Bild 9 zeigt, findet für beide Variationen der Ventilstellung bis zu einem Wert von ca. 300 l h⁻¹ kein Druckaufbau im Modul statt. Für den Fall, dass nur ein Ventil als Ein- und Auslass genutzt wird (blaue Symbole) steigt der Druck ab diesem Wert in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom an. Für einen Volumenstrom von 1.500 l h⁻¹ wird ein Wert von 1,2 mbar erreicht. Dies entspricht einer Flächenlast von 12 kg m⁻². Werden zwei Ventile als Ein- und Auslass genutzt, erfolgt ab einem Wert von ca. 600 l h⁻¹ der Druckanstieg und erreicht für einen Volumenstrom von 1.500 l h⁻¹ einen Wert von 0,7 mbar. Das Light-Light-Roof-Modul zeigte unter Druckaufbau eine leicht kissenartige Auswölbung. Das Montagekonzept mittels Kederprofil erwies sich bei den Betriebsuntersuchungen als stabil und hatte kein Herauslösen der ETFE-Folie aus dem Rahmen zur Folge.

Im Rahmen der Temperierungsuntersuchungen konnte kein signifikanter Temperaturanstieg innerhalb der Module gemessen werden. Vorgewärmte Luft wurde mit einer Temperatur von bis zu 50 °C eingesetzt, was jedoch nicht ausreichte, um das Modul an den Messstellen zu erwärmen. Wahrscheinlich ist, dass die Konstruktion des Funktionsmusters, mit einem Rahmen aus Aluminium, hier einen zu hohen Abtransport der Wärme nach außen verursacht. Auch schloss die Glasscheibe nicht vollständig dicht ab, was durch eine Kissenbildung sowie durch Änderungen bei der Luftfeuchte im Folierraum – ebenfalls/beides in Richtung Außenbereich - ersichtlich wurde.

Zusammenfassend können aus den durchgeführten Untersuchungen nachstehende Schlussfolgerungen abgeleitet werden: 1. Das Montagekonzept der Kederprofile ist zielführend und erwies sich in den Betriebsuntersuchungen sowie im Langzeitverhalten als stabil. 2. Die Ankopplung von Luftzugängen und Luftabgängen ist nicht nur über die Rahmenprofile, sondern auch direkt in Kombination mit der Folie möglich. 3. Insbesondere Schraubsysteme sind zielführend, Klebevarianten waren nicht langzeitstabil. 4. Die Luftdurchströmung der Module konnte erfolgreich durchgeführt werden. 5. Die Temperierung der Module war unter den vorliegenden Randbedingungen nicht möglich. 6. Die Luftdurchströmung kann zur Entfeuchtung der Module bei Kondensationsbildung sowie zur Erhöhung der Folienspannung eingesetzt werden. 7. Für den Herstellungsprozess sind die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Rahmenprofil und Folie zu berücksichtigen, um optimal gespannte Module zu erzielen.

Betriebsuntersuchung »Dach« (»Altmarktgarten«, FuE-Bereich Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen)

Aufgrund der Vielzahl an Sensoren und der über die Betriebslaufzeit hohen Anzahl an auflaufenden Messdaten in Bezug auf Temperatur- und Feuchtedaten ist die Ergebnisauswertung komplex. Zur Darstellung und Ergebnisauswertung wurde daher, zusätzlich zu der über Grafana möglichen Visualisierung und MS-Excel-Exportmöglichkeit, ein eigenständiges Datenvisualisierungsportal entwickelt. Das Portal ist über eine eigene Projektseite, integriert in die Fraunhofer UMSICHT ThingsData-Umgebung erreichbar (s. Bild 10).

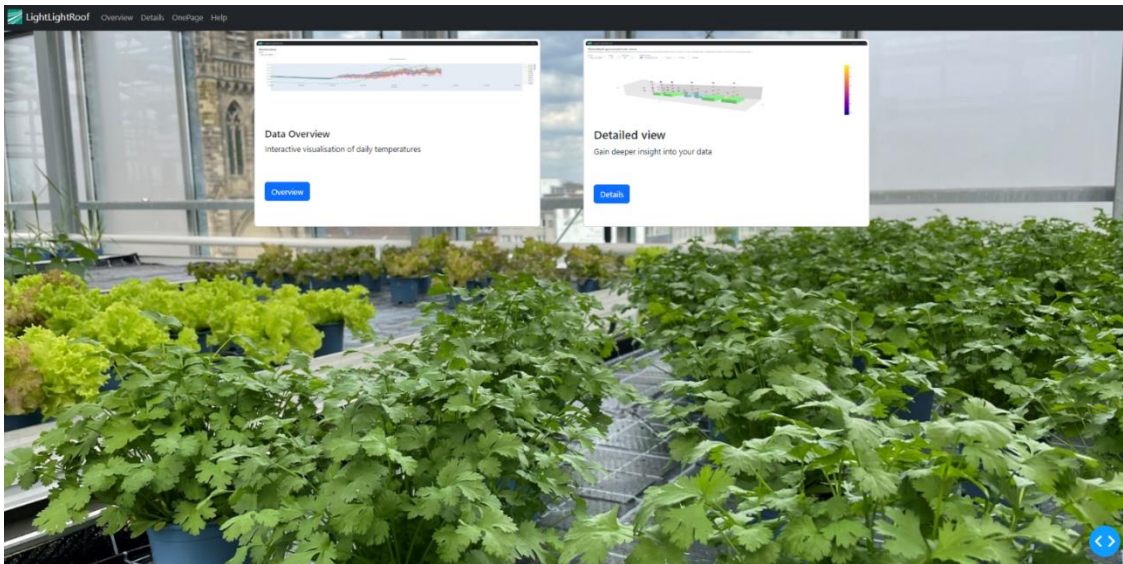


Bild 10: Light-Light-Roof-Portal in der Fraunhofer UMSICHT ThingsData-Umgebung.

Über das Portal sind zwei Ansichten abrufbar. Die Option »Data Overview« ermöglicht, ähnlich wie die Grafana-Visualisierung, die Ergebnisdarstellung der Sensoren in Abhängigkeit der Zeit. Dazu kann über eine Datumsanwahl der gewünschte Tag aufgerufen und dargestellt werden. In Bild 11 ist exemplarisch die Temperatur (adaptierbar entsprechend für die Feuchtedaten) an den Sensorpositionen für den 12.06.2023 (24 h) dargestellt.



Bild 11: Temperaturen an den Sensorpositionen in Abhängigkeit von der Zeit für den 12.06.2024 (24 h).

Die Option »Detailed View« ermöglicht eine Darstellung der Temperaturen (entsprechend adaptierbar für die Feuchtedaten) an den diskreten Sensorpositionen. Dazu können das gewünschte Datum und die Uhrzeit (Auflösung 2 Minuten) abgefragt werden, wonach die Temperaturen der Sensorpositionen farblich, in Abhängigkeit einer Temperaturskala, dargestellt werden, s. Bild 12.

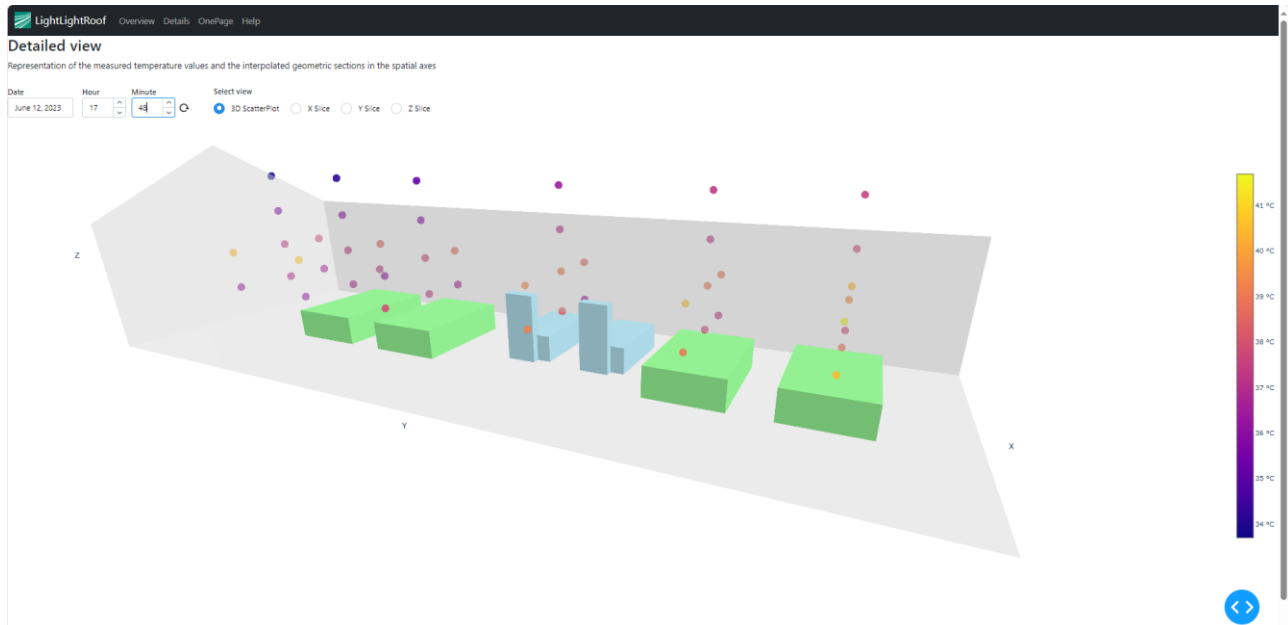


Bild 12: Temperaturen an den Sensorpositionen für den Zeitstempel: 12.06.2023, 17.48 Uhr.

Für die Visualisierung wurde der FuE-Gewächshausbereich entsprechend abgebildet und die Sensoren gemäß ihren Koordinaten eingetragen. Diese Darstellung ermöglicht einen schnellen Überblick der vorliegenden räumlichen Temperaturverteilung sowie der Spreitung zwischen Minimal- und Maximaltemperatur.

Auf Basis der diskreten Sensordaten wurde eine Temperaturkartierung des Sensornetzwerk-bereichs entwickelt. Dazu wurde angenommen, dass sich die Temperaturen zwischen zwei benachbarten Sensoren linear ändern. Über eine lineare Interpolation wurden entsprechend in x-y-z-Richtung die Temperaturen im Bereich zwischen zwei benachbarten Sensoren berechnet und daraus eine Temperaturkartierung erstellt. Der Abruf der Temperaturkartierung ist mit einem Intervall von 2 Minuten möglich. Um die räumlichen Abläufe der Temperaturänderung innerhalb des Gewächshauses darzustellen, wurden aus den Temperaturkartierungsdaten x-y-z-abhängige Visualisierungen erstellt. Diese können jeweils separat in der gewünschten Koordinatenrichtung abgerufen werden und entlang der gewählten Achse, entsprechend aufgespannt in einer Ebene der beiden übrigen Achsen, durchlaufend dargestellt werden.

In Bild 13 sind exemplarisch die Temperaturkartierungen für den Zeitstempel 12.06.2023, 17.48 Uhr, in x-Richtung (Koordinate: 500 cm) und in y-Richtung (Koordinate: 340 cm) dargestellt.

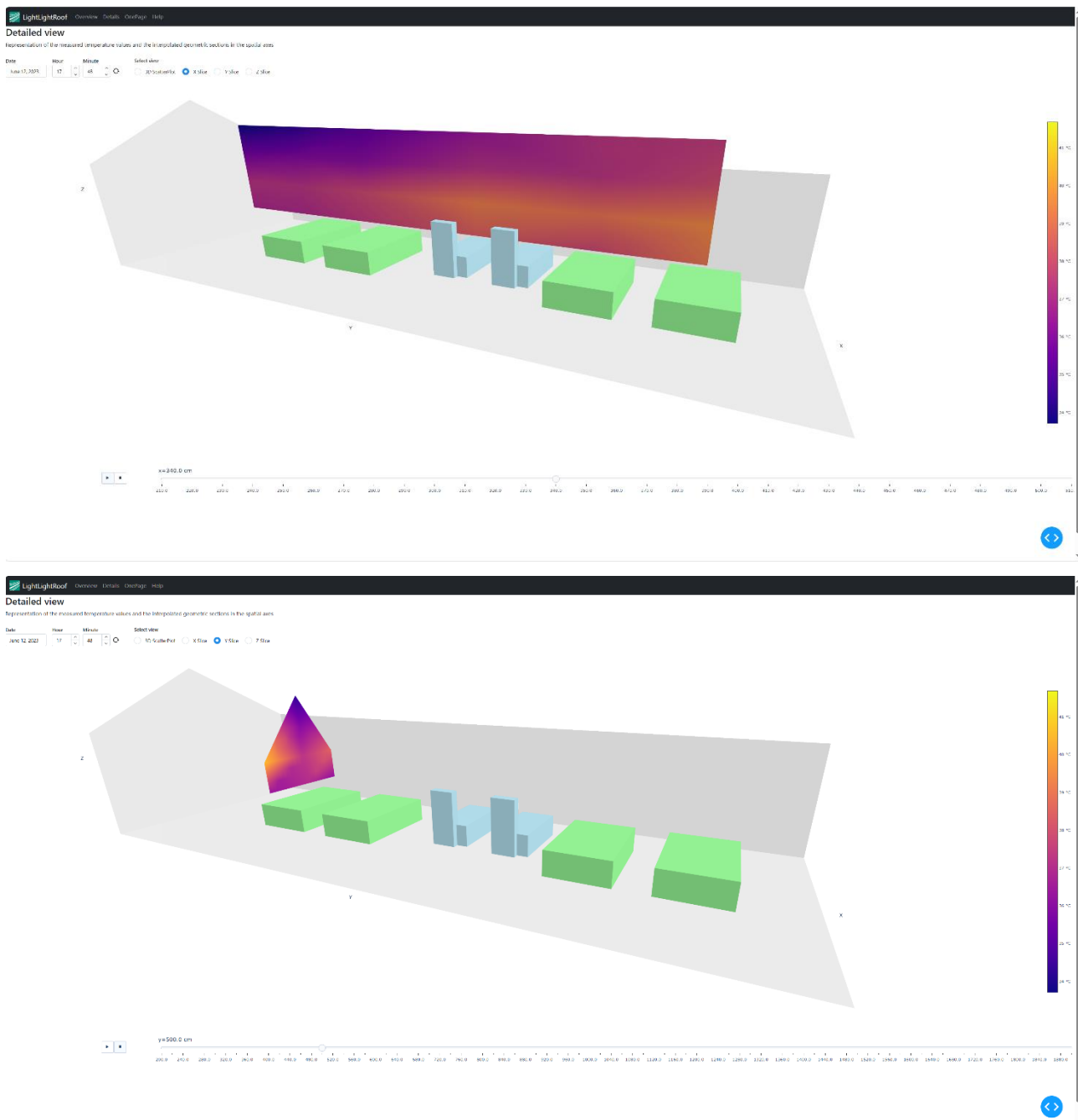


Bild 13: Exemplarische Darstellung der Temperaturkartierung für den 12.06.2024, 17.48 Uhr, in x-Richtung mit Koordinate 500 cm (oben) und y-Richtung mit Koordinate 340 cm (unten).

Die durchgeführten Betriebsuntersuchungen wurden, neben der Einzelsensorbetrachtung unter Einsatz von MS-Excel und Grafana, unterstützend mit der beschriebenen Methodik, ausgewertet. Im Ergebnis konnten Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen den Betriebszuständen bzw. der Betriebsführung des Gewächshausbereichs und den Temperatur- sowie Feuchtedaten innerhalb des Gewächshausbereichs erhalten werden.

Exemplarisch wird dies für die in Bild 11 bis Bild 13 dargestellten Ergebnisse erläutert. Bild 11 zeigt im Nachtbereich von 00.00 bis 06.00 Uhr eine weitgehend homogene Temperaturverteilung, die der Außentemperatur (untere grüne Linie) folgt und gegen 06.00 Uhr die tiefsten Werte einnimmt. Mit vermehrter Sonneneinstrahlung wird die Temperaturverteilung zunehmend inhomogener und weist im Tagesverlauf Spreitungen zwischen Minimal- und Maximaltemperatur von 15 °C bis 20 °C

auf. Der Temperaturwert des Sensors für die Außentemperatur steigt bis auf 45 °C an, wobei hier berücksichtigt werden muss, dass dieser hohe Temperaturwert vermutlich durch eine direkte Sonnenbestrahlung des Sensorgehäuses hervorgerufen wurde. Diese Artefakte können auch bei den im Innenraum installierten Sensoren entstehen (vgl. violette Line bis 50 °C) und müssen entsprechend im Gesamtzusammenhang bewertet werden. Nichtsdestotrotz sind dies Werte, denen die Pflanzen ebenfalls ausgesetzt sein können, da auch dort direkte Sonneneinstrahlung erfolgt. Ab den Abendstunden und mit verringerter Sonneneinstrahlung (ab ca. 21.00 Uhr) gleichen sich die Temperaturen wieder an und zeigen über die Nachtstunden erneut eine weitgehend homogene Temperaturverteilung.

Die Betrachtung der Temperaturkartierung in Bild 13 zeigen auf den ersten Blick ein überraschendes Ergebnis, da die niedrigsten Temperaturen tendenziell im Dachbereich vorliegen. Dies erklärt sich jedoch durch die zu diesem Zeitpunkt geöffneten Dachlüftungen. Durch diese wird Frischluft eingetragen und der Dachraum direkt gekühlt. Diese Luft wird jedoch noch nicht gleichmäßig im Raum verteilt, wodurch sich sowohl in x-Richtung als auch in y-Richtung in tieferen Regionen kein homogenes Temperaturfeld ausbildet.

Zusammenfassend können aus den durchgeführten Untersuchungen nachstehende Schlussfolgerungen für die Entwicklung und Optimierung von MSR-Systemen abgeleitet werden: 1. Im Gewächshausbereich können sich sowohl in den Sommermonaten als auch in den Wintermonaten hohe Temperaturspreitungen einstellen, sodass der Unterschied zwischen Minimal- und Maximaltemperatur bis zu 30 °C aufweisen kann. 2. Die Luftzufuhr über Dach- und Seitenlüftungen führt, auch bei Einsatz der installierten Zwangslüfter (Umluft und Heizung), nicht immer zu einer homogenen Temperaturverteilung innerhalb des Gewächshausbereichs. 3. Mithilfe des Energieschirms können gezielt Luftschichtungen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus erzeugt werden.

TP1-6: Bilanzierung

Die Bilanzierung der Systeme wird nachfolgend am Beispiel der im »Altmarktgarten Oberhausen« eingesetzten Dacheindeckungssysteme sowie der im Projektkontext entwickelten Systeme durchgeführt. In Tabelle 1 sind dazu die Daten der Systeme dargestellt.

		»Altmarktgarten« Zweischeiben-ESG	Light-Light-Roof-I Aufbau F-G-F	Light-Light-Roof-II Aufbau F-PMMA-F
Typ	Abmessung L x B x H [cm]	Gesamtgewicht [kg]	Gesamtgewicht [kg]	Gesamtgewicht [kg]
Modul 1	150 x 92 x 2,5	34,9	13,8	6,5
Modul 2	117 x 92 x 2,5	27,2	10,8	5,1

Tabelle 1: Abmessungen und Gewichte der Systeme. ESG: Einscheibensicherheitsglas, F-G-F: Folie-Glas-Folie, F-AG-F: Folie-PMMA-Folie (PMMA – Polymethylmethacrylat, sog. Acrylglas).

Die Light-Light-Roof-Module erzielen somit im Vergleich zu den Glassystemen beim Modultyp 1 Gewichtseinsparungen von bis zu 26,4 kg (entspricht 75,6 %) und beim Modultyp 2 von bis zu 20,6 kg (entspricht 75,7 %).

Für die weitere Bewertung wurden die Daten auf jeweils 1 Quadratmeter Dacheindeckung umgerechnet und jeweils nach den transparenten Einheiten und dem Randverbund aufgeteilt (vgl. Tabelle 2).

System	Randverbund	Gewicht [kg m ⁻²]	Transparente Einheit	Gewicht [kg m ⁻²]
»Altmarktgarten«	Aluminium+Buthylkautschuk	5,20	2x ESG (je 4 mm)	20,00
Light-Light-Roof-I	Polyvinylchlorid	1,60	Folie-Glas-Folie ¹⁾	10,34
Light-Light-Roof-II	Polyvinylchlorid	1,60	Folie-PMMA-Folie ²⁾	5,10

Tabelle 2: Gewichte der unterschiedlichen Systeme. ¹⁾ Die Folie wurde als ETFE-Folie mit 100 µm Stärke betrachtet (Gewicht: 0,17 kg m⁻²), das Glas als Flachglas mit 4 mm Stärke (10 kg m⁻²). ²⁾ Die Folie wurde als ETFE-Folie mit 100 µm Stärke betrachtet (Gewicht: 0,17 kg m⁻²), das PMMA mit 4 mm Stärke (Gewicht: 4,7 kg m⁻²).

Zur Bewertung der CO₂-Einsparungen wurden die GWP100-Werte (GWP: Global Warming Potential, Beitrag eines Stoffs zum Treibhauseffekt, gemittelt über den Zeitraum von 100 Jahren) der jeweiligen Systeme berechnet. Folgende Daten wurden dazu herangezogen:

Für Flachglas, das zur Herstellung von Glasscheiben verwendet wird, wird ein Wert von 2,68 kg CO₂ Äqu. angegeben, bei einer Abmessung von 1 Quadratmeter und 1 mm Glasstärke. Bei einer Dichte für Glas von 2.500 kg m⁻³ ergibt sich daraus ein Wert von 1,07 kg CO₂ Äqu. pro kg [IFT-2021]. Polymethylmethacrylat (PMMA, sog. Acrylglas) wird als Plattenware mit einem Wert von 4,77 kg CO₂ Äqu. pro kg angegeben [Plas-2015]. ETFE wird als Folienware mit einem Wert von 2,09 kg CO₂ Äqu., bei einer Abmessung von 1 Quadratmeter und 100 µm Folienstärke, angegeben. Bei einer Dichte für ETFE von 1.700 kg m⁻³ ergibt sich daraus ein Wert von 12,28 kg CO₂ Äqu. pro kg [Nowo-2017]. Für Aluminiumprofile wird ein Wert von 4,47 kg CO₂ Äqu. pro kg angegeben [Schü-2023]. Für Buthylkautschuk wird ein Wert von 5,77 kg CO₂ Äqu. pro kg angegeben [Flan-2022]. Für Polyvinylchlorid (PVC) wird ein Wert von 7,83 kg CO₂ Äqu. pro kg angegeben [Quan-2023].

Basierend auf diesen Daten ergeben sich mit den Werten aus Tabelle 2 die in Tabelle 3 dargestellten GWP100-Werte für die einzelnen Systeme.

Aufbau	Gewicht [kg m ⁻²]	GWP100 [kg CO ₂ Äuq. kg ⁻¹]	Summe GWP100 [kg CO ₂ Äuq. m ⁻²]
»Altmarktgarten«			
2 Scheiben ESG, je 4 mm	20,00	1,07	21,44
Randverbund ½ Al	2,60	4,47	15,00
Randverbund ½ BK	2,60	5,77	11,62
Summe			48,06
Light-Light-Roof-I			
2 Folien ETFE, je 100 µm	0,34	12,28	4,17
1 Scheibe ESG, 4 mm	10,00	1,07	10,72
Randverbund PVC	1,60	7,83	12,53
Summe			27,42
Light-Light-Roof-II			
2 Folien ETFE, je 100 µm	0,34	12,28	4,17
1 Scheibe PMMA, 4 mm	4,70	4,77	22,51
Randverbund PVC	1,60	7,83	12,53
Summe			39,21

Tabelle 3: GWP100-Werte für die einzelnen Dacheindeckungssysteme. ESG: Einscheibensicherheitsglas, Al: Aluminium, BK: Buthylkautschuk, ETFE: Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer, PMMA: Polymethylmethacrylat, PVC: Polyvinylchlorid.

Die Light-Light-Roof-Module erzielen im Vergleich zum Glassystem jeweils Einsparungen in Bezug auf den GWP100-Wert. Das Light-Light-Roof-I reduziert den GWP100-Wert im Vergleich zum Glassystem um 42,9 %, das Light-Light-Roof-II um 18,4 %. Jedoch sind diese Einsparungen nicht so hoch, wie die in Tabelle 1 aufgeführten Werte zur Gewichtseinsparung hätten vermuten lassen. Dies resultiert insbesondere aus den hohen GWP100-Werten der betrachteten Kunststoffe. Diese wurden im Rahmen der Untersuchungen und Bilanzierung als Frischware angenommen. Aktuelle Entwicklungen beschreiben durch Recyclateinsatz, z. B. beim PMMA, Reduktionsmöglichkeiten des GWP100-Werts um bis zu 30 % [Kzei-2023], beim PVC sind durch Recyclateinsatz Werteverringerungen um bis zu 95 % beschrieben [Quan-2023]. In der Auswahl und Verwendung der für die Systeme verwendeten Rohstoffe liegt somit im Hinblick auf die GWP100-Werte ein hohes Optimierungspotenzial.

Im Rahmen der Recherchen wurden auch Daten zum europäischen Marktumfeld (im Bereich »Pflanzenproduktion im geschützten Anbau«) erhoben. Schwerpunktmäßig wurden Deutschland, Frankreich, Italien und die Niederlande betrachtet, da die Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG hier agiert. Die in den genannten Ländern vorhandenen Flächen können insgesamt auf ca. 463 Mio. Quadratmeter abgeschätzt werden [Ahre-2022, BW-2023, Dahm-2020, NN-2022], mit folgender Aufteilung: Italien ca. 250 Mio. m², Niederland ca. 105 Mio. m², Frankreich ca. 95 Mio. m², Deutschland 13 Mio. m². Diese Zahlen zeigen, dass für die CO₂-Einsparungsoptionen bei der Übertragung auf das europäische Marktumfeld ein hohes Potenzial besteht.

Teilprojekt 2 (TP2) – Durchführung und Verantwortlichkeit Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG

Entwicklung des Dachsystems und Aufbau des Gesamtsystem-Prototyps

TP2-1: Konzept und Funktionsmuster Dach

Neben dem geplanten zweikomponentigen Aufbau »Glas-Folie«, wurde auch ein dreikomponentiger Aufbau »Folie-Glas-Folie« entwickelt. Dieser hat in Bezug auf das Modulgewicht keinen signifikanten Einfluss, kann aber in Bezug auf die Wärmenutzung und das Energiemanagement Vorteile bringen. Daher wurden auch die Funktionsmuster entsprechend den beiden Konzepten geplant und konzipiert.

Als Rahmenprofile werden für die Funktionsmuster profilierte Aluminiumsegmente verwendet, in die Aufnahmen für die ETFE-Folie (auch in unterschiedlichen Dicken) und das Glas (Einscheibensicherheitsglas, ESG in 3 mm Stärke) integriert sind. Montageversuche wurden durchgeführt und Aufspannmethode für die Folien entwickelt, was Grundlage für die spätere Entwicklung des Profilquerschnitts des Prototyps war.

TP2-2: Bau Systemprototypen »Fassade« und »Dach«

Auf Basis der Ergebnisse von TP2-1 wurden Funktionsmuster und Systemprototypen entwickelt. Als Rahmenprofile wurden zunächst profilierte Aluminiumsegmente verwendet, in die Aufnahmen für die ETFE-Folie und das Glas (Einscheibensicherheitsglas, ESG in 3 mm Stärke) integriert waren. Für die Fertigung der Module wurde ein Spanntisch entwickelt und etabliert, mit dem die Folien auf die Profile aufgezogen werden konnten (vgl. Bild). Zur Fixierung der Folie wurde eine Kederklemmung entwickelt, mit der die Folie ohne weitere Klebungen o. Ä. im Rahmen verankert werden konnte.



Bild 14: Spanntisch zur Entwicklung und Herstellung der Funktionsmuster und Prototypen.

Fassade

Neben der Erprobung der Systeme am Standort Emsdetten wurde ein System auch an den Standort des Fraunhofer UMSICHT nach Oberhausen überführt. Es ergab sich die Chance, die Erprobung und Demonstration, in Ergänzung zum Anwendungsfall »Dach« (»Altmarktgarten Oberhausen«), an diesem Standort für den Anwendungsfall »Fassade« durchführen zu können. Das Institut verfügt an diesem Standort über eine Leichtbauhalle (s. Bild 15), deren Polycarbonat-Doppelstegplatten aufgrund von Vergilbung und Hagelschäden ersetzt werden sollten.



Bild 15: Leichtbauhalle am Standort des Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen, mit Polycarbonat-Doppelstegplatten.

In Absprache mit dem Facility Management des Instituts wurde entschieden, die Front aus Polycarbonat-Doppelstegplatten durch Light-Light-Roof-Module zu ersetzen. So ergab sich bereits zur Mitte der Projektlaufzeit die Gelegenheit, Prototypen in die Demonstration und Betriebsuntersuchung zu überführen und einen Praxiseinsatz in horizontaler Anordnung durchzuführen. Dies erbrachte schon in der Projektphase TP2-2 Aussagen zur Übertragung des Light-Light-Roof-Konzepts in den Stehwand- und Fassadenbereich. Gleichzeitig erhöhen sich mit dem zusätzlichen Anwendungsfall »Fassade« auch die Möglichkeiten zur Verwertung.

Insgesamt wurden 9 Elemente (Elementabmessungen 100 x 120 x 3 cm), als Folie-Glas-Folie-System mit jeweils einer Seite transparenter Folie und einer Seite diffuser Folie gefertigt, die für den Ersatz der Polycarbonat-Doppelstegplatten dienten. Ziel war, das Folie-Glas-Folie-System so zu konzipieren, dass bei den Montagearbeiten auf Änderungen der Tragrahmenstruktur sowie Abdichtungen verzichtet werden konnte.

Dach

Für den Systemprototyp »Dach« wurde, auf Basis der erhaltenen Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Systemprototyp »Fassade« neben einem Aluminiumprofil auch ein Rahmenprofil aus Kunststoff konzipiert und entwickelt. Das Kederprinzip zur Fixierung der Folie hatte sich als zielführend erwiesen und wurde auch für das Kunststoffkonzept weiterverfolgt. Zudem wurden Kanäle und Öffnungen zur Einbringung und Verteilung eines Luftvolumenstroms geplant und entsprechend konstruktiv umgesetzt.

Für den Austausch der im »Altmarktgarten« eingesetzten Glasdacheindeckung wurde das Rahmenprofil unter Berücksichtigung der Einbausituation entsprechend dimensioniert. Bild 16 zeigt die Grundkonzeption des Profils, die Einbausituation am First und die finale Konstruktion des Profils.

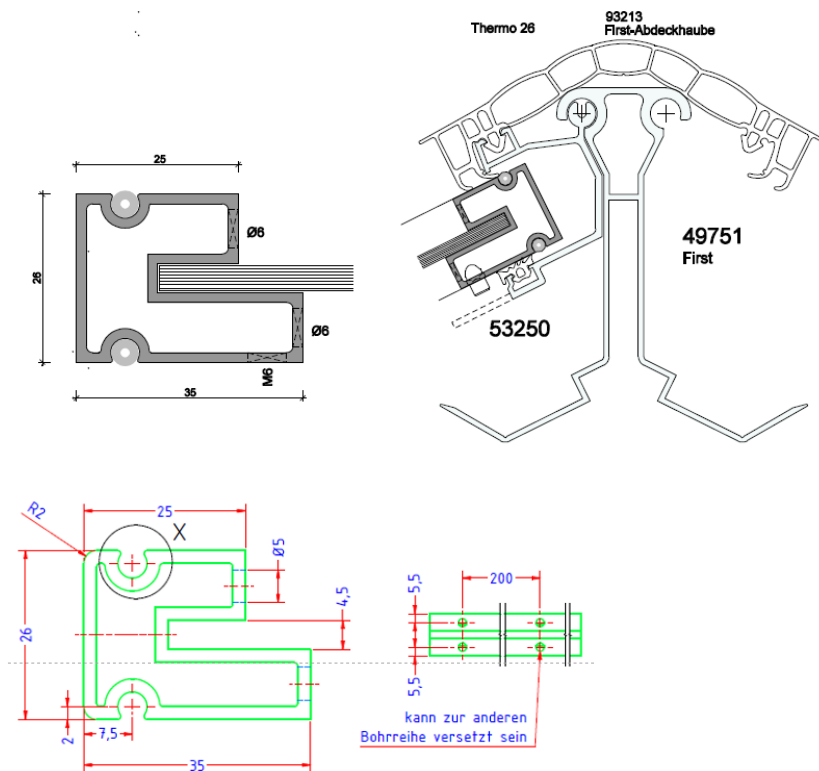


Bild 16: Grundkonzeption des Profils (oben links), Einbausituation am First (oben rechts) und die finale Konstruktion des Profils (Schnittdarstellung) des Rahmenprofils (unten links) für den Bau des Systemprototypen »Dach«.

Die Profilkonstruktion wurde, in Kooperation mit dem Fraunhofer UMSICHT, zunächst in mehreren Iterationsschleifen mittels 3D-gedruckten Prototypen erprobt und insbesondere im Hinblick auf den Schrumpf beim späteren Herstellungsprozess und die Abmessungen des Kederprofils sowie den Montageprozess der Rundschnur untersucht und optimiert. In Bild 19 ist ein Beispiel eines 3D-gedruckten Profils dargestellt, das für den Entwicklungsprozess genutzt wurde.

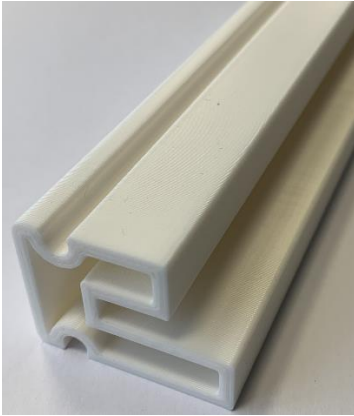


Bild 17: Beispiel eines 3D-gedruckten Prototyps für das Rahmenprofil des Systemprototypen »Dach«.

Nach Abschluss der Optimierungen wurde ein entsprechendes Extrusionswerkzeug gebaut, das die Herstellung von Endlosprofilen aus Kunststoff ermöglicht hat. Mit diesen war der Bau von Systemprototyp-Rahmen möglich.

Für den Austausch der Dacheindeckung im »Altmarktgarten« waren zwei unterschiedliche Light-Light-Roof-Module notwendig, mit den folgenden Abmessungen:

Modul 1: L x B x H = 150 cm x 92 cm x 2,5 cm

Modul 2: L x B x H = 117 cm x 92 cm x 2,5 cm

Für den Bau der finalen Module wurden im Rahmen der Arbeiten neben Glas auch Varianten aus Polymethylmethacrylat (PMMA, sog. Acrylglas) mit in die Bewertung einbezogen und schließlich ausgewählt. Das PMMA eröffnet im Vergleich zum Glas einen Gewichtsvorteil und sollte daher für die Untersuchungen im Projektkontext eingesetzt werden. Im Rahmen der Energieschirmentwicklung (s. nachfolgender Punkt »IR-Energieschirm«) eröffnete sich die Möglichkeit, auch ETFE-Folie direkt mit IR-reflektierenden Beschichtungen zu versehen. Dies wurde genutzt, und entsprechende Module wurden ebenfalls mit in die Untersuchungen einbezogen.

Die finalen Module bestanden aus folgendem Grundaufbau:

Außen: ETFE-Folie (diffus), Mitte: PMMA, Innen: ETFE-Folie (transparent)

Insgesamt wurden 10 Stück Module des Typs 1 und 20 Stück Module des Typs 2 angefertigt. Die Module wiesen die folgenden Gewichte auf:

Modul 1: 6,5 kg

Modul 2: 5,1 kg

IR-Energieschirm

Zur Entwicklung eines IR-reflektierenden Energieschirms wurden Beschichtungs- und Applikationsversuche an geeigneten Geweben/Gewirken durchgeführt. Die vorliegenden Materialien wurden im Hinblick auf relevante Parameter (Reißfestigkeit, Dehnung, IR-Reflektion, Lichtdurchlässigkeit) untersucht.

Neben der Entwicklung der IR-reflektierenden Energieschirme wurden auch Möglichkeiten zur direkten Beschichtung von ETFE-Folien mit in die Überlegungen einbezogen und entsprechende Prototypen realisiert.

Insgesamt wurden 2 IR-Energieschirme (Dimension jeweils: 1,80 m x 3,70 m) zum Austausch der im »Altmarktgarten« eingesetzten Standard-Energieschirme hergestellt.

TP2-3: Aufbau Gesamtsystem-Prototyp

Fassade

Insgesamt wurden 9 Elemente (Elementabmessungen 100 cm x 120 cm x 3 cm) als Folie-Glas-Folie-System mit jeweils einer Seite transparenter Folie und einer Seite diffuser Folie gefertigt und in den Fassadenlichtausschnitt der Leichtbauhalle integriert. Die Folie-Glas-Folie-Systeme ersetzen an dieser Stelle die konventionellen Lichtausschnitte aus Polycarbonat-Doppelstegplatte, die entsprechend zurückgebaut wurden. Das Folie-Glas-Folie-System konnte wie geplant, ohne Änderungen der Tragrahmenstruktur sowie Abdichtungen, verwendet werden. Jeweils zwei Polycarbonat-Doppelstegplatten wurden durch ein Light-Light-Roof-Modul ersetzt (vgl. Bild 18).



Bild 18: Light-Light-Roof-Modul und defekte Polycarbonat-Doppelstegplatte (links) und Montage der Light-Light-Roof-Module im Lichtausschnitt der Leichtbauhalle am Standort des Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen (rechts).

Bild 18 zeigt im Bild links, auf der linken Seite das Light-Light-Roof-Modul und rechts ein ausgebautes, defektes Segment aus Polycarbonat-Doppelstegplatte. Bild 19 zeigt den Zustand nach Abschluss der Montagearbeiten.



Bild 19: Aus Light-Light-Roof-Modulen bestehender Lichtausschnitt der Leichtbauhalle am Standort des Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen nach Ende der Montagearbeiten.

Am Systemprototypen »Fassade« wurden Untersuchungen zur Witterungsbeständigkeit, der Luftdurchströmung bei Überdruck sowie dem Betriebsverhalten bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt (vgl. TP1-4, TP1-5).

Dach

Die Demonstration und Betriebsuntersuchung des Gesamtsystem-Prototyps »Dach« erfolgte, wie geplant, im »Altmarktgarten Oberhausen«. Dazu wurde die Dachfläche ausgewählt, die im Bild 20 (Grundriss des FuE-Bereichs des Fraunhofer UMSICHT im »Altmarktgarten Oberhausen«) farbig markiert ist. Die Auswahl wurde getroffen, da an dieser Position die Zugänglichkeit für die Montagearbeiten gegeben war und aus logistischer und arbeitssicherheitstechnischer Sicht, ohne den Einsatz von Gerüsten oder Hubsteigern, gearbeitet werden konnte.

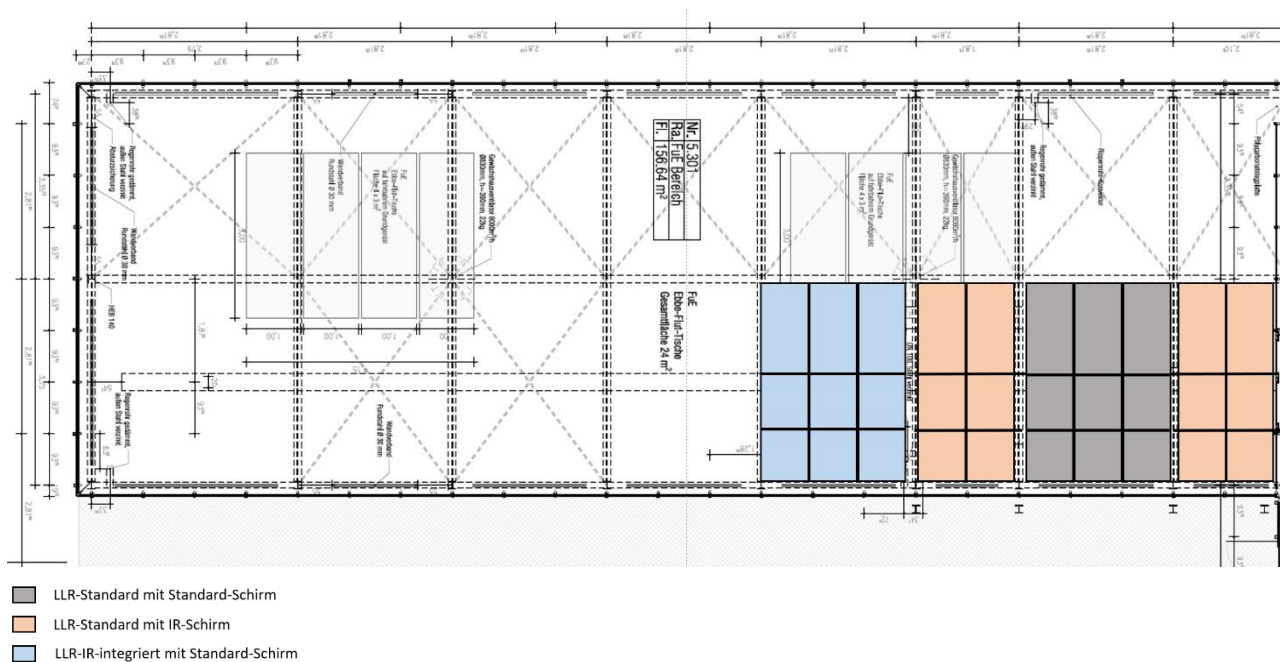


Bild 20: Grundriss des FuE-Bereichs des Fraunhofer UMSICHT im »Altmarktgarten Oberhausen« und farbig markierte Dachfläche, die für die Demonstration und Betriebsuntersuchungen ausgewählt wurde.

Die im Rahmen von TP2-2 hergestellten Module und IR-Schirme wurden in den »Altmarktgarten« überführt, und es erfolgte der Austausch der bestehenden Glaseindeckung gegen die Light-Light-Roof-Module sowie der Energieschirme (vgl. Bild 21).

Da im Rahmen der Entwicklungsarbeiten unterschiedliche Systeme bereitgestellt werden konnten, erfolgte die Installation mit den in Bild 20 dargestellten Zusammenstellungen. Kombiniert wurden ein mit IR-Beschichtung versehenes Light-Light-Roof-Modul mit einem Standard-Schirm (blau dargestellt), ein Standard Light-Light-Roof-Modul mit einem IR-Energieschirm (hellbraun dargestellt) und ein Standard-Light-Light-Roof-Modul mit einem Standard-Schirm (grau dargestellt).

Der Austausch konnte ohne Veränderungen an den Profilklemmungen oder Dichtungen erfolgen. Die Module passten sich formschlüssig in die bestehende Konstruktion ein. Gleiches konnte für die Energieschirme realisiert werden.

Ein Glasmodul (ganz oben rechts) konnte nicht ausgetauscht werden. Das Glasmodul war in der Rahmenkonstruktion verklemmt und hätte nicht zerstörungsfrei ausgebaut werden können. Daher wurde auf den Austausch verzichtet.



Standard Light-Light-Roof Module



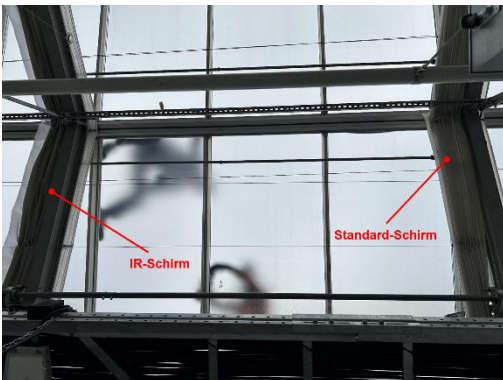
Light-Light-Roof-Module mit IR-Beschichtung



Montage der Light-Light-Roof-Module



Passfähigkeit des Moduls (links) in die bestehende Konstruktion



Installierte Energieschirme



Mit Light-Light-Roof-Modulen fertiggestellte Dachfläche (rote Umrahmung)

Bild 21: Montage der Light-Light-Roof-Module und Energieschirme im FuE-Bereich des Fraunhofer UMSICHT im »Altmarktgarten Oberhausen«.

TP2-4: Mitarbeit bei der Demonstration und Betriebsuntersuchung der Gesamtsystem-Prototypen

Es erfolgte die Mitarbeit bei der Demonstration und Betriebsuntersuchungen der Gesamtsystem-Prototypen »Fassade« und »Dach«. Im Rahmen von Arbeitstreffen wurden die Systeme vor Ort inspiziert und die Versuchsergebnisse diskutiert. Auf Basis der Ergebnisse wurden gemeinsam mit dem Fraunhofer UMSICHT Optimierungspotenziale abgeleitet.

TP2-5: Umsetzung von Optimierungspotenzialen

Die im Rahmen von TP1-4, TP1-5 und TP2-2 erhaltenen Optimierungspotenziale wurden zeitnah umgesetzt und in die Entwicklungsarbeiten integriert. Maßgeblich waren hier insbesondere: 1. Die

Betrachtung und Auswahl eines dreischichtigen Systems (Folie-Glas-Folie), was in Bezug auf den Betrieb der Systeme mehr Optionen bereitstellen kann. 2. Die Betrachtung und Berücksichtigung von Kunststoffrahmenprofilen im Vergleich zu Aluminiumprofilen, was insbesondere hinsichtlich Wärmeleitung, Fertigung und das Gesamthandling vorteilhaft war. 3. Die Durchführung von IR-Beschichtungen direkt auf ETFE-Folie, was in Bezug auf das Wärmemanagement des Gesamtsystems mehr Optionen bereitstellen kann. 4. Der Einsatz von Polymethylmethacrylat (PMMA, sog. Acrylglas), als mittleres Element im Light-Light-Roof-Modul, was im Vergleich zu Glas einen weiteren Gewichtsvorteil bringt.

Auf Basis der Ergebnisse bei der Modulentwicklung sowie der Modulherstellung wurden die Grundprinzipien der Modulbespannung bewertet und, darauf basierend, ein Konzept für eine Anlagentechnik entwickelt, die eine halbautomatische Betriebsweise und optimal gleichbleibende Bespannungsqualitäten ermöglichen würde (vgl. Bild 22).

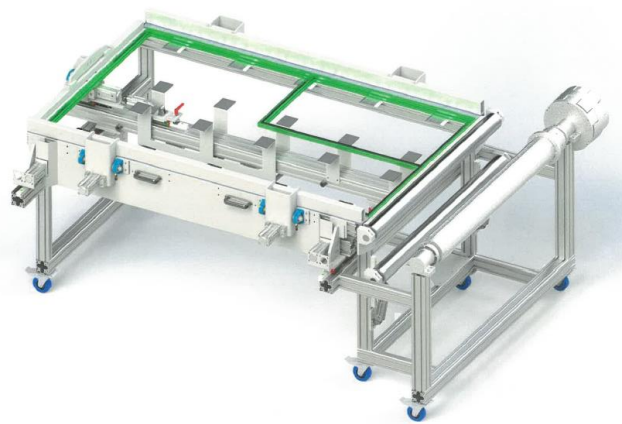


Bild 22: Anlagenkonzept zur Herstellung (Bespannung) von Light-Light-Roof-Modulen.

Literatur

- [Ahre-2022] Ahrens, S., Anbaufläche von Gemüse und Glas oder anderen begehbaren Schutzabdeckungen in Deutschland in den Jahren 2020 und 2021, Statista, 2022, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/169193/umfrage/anbauflaechen-von-gemuese-unter-glas/>, Zugriff: 05.12.2022.
- [BMU-2023] Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS), Information des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, <https://www.bmu.de/faqs/per-und-polyfluorierte-chemikalien-pfas>, Zugriff: 10.07.2023.
- [BW-2023] Commercial Greenhouse Market Report 2022, <https://www.businesswire.com/news/home/20220921005526/en/Commercial-Greenhouse-Market-Report-2022-Growth-in-Year-Round-Crop-Production-to-Drive-Sector---ResearchAndMarkets.com>, Zugriff: 30.08.2023.
- [Dahm-2020] Dahms, M., Europas Gemüsegarten, Frankfurter Rundschau, <https://www.fr.de/wirtschaft/europas-gemuesegarten-13576710.html>; Zugriff: 12.01.2023.
- [Flan-2022] Flannery, B. P., Mares, J. W., Greenhouse Gas Index for Products in 39 Industrial Sectors: Synthetic Rubber, Resources for the future, NAICS CODE 325212, 2022.

- [Ift-2021] IFT-Rosenheim GmbH, Umweltproduktdeklaration Flachglas, Guardian Europe S.a.r.l, EPD-GFEV-19.1, 2021.
- [Kzei-2023] K-Zeitung, PMMA mit reduziertem Carbon Footprint, Januar 2023, <https://www.k-zeitung.de/pmma-mit-reduziertem-carbon-footprint>, Zugriff: 13.01.2024.
- [NN-2022] N. N., Mehr Gartenbau unter Glas in den Niederlanden, Fruchtportal.de, Zugriff: 12.01.2023.
- [Nowo-2017] Nowofol Kunststoffprodukte GmbH & Co. KG, Product sustainability fact sheet, Nowoflon ET-Folie, 2017.
- [Plas-2015] PlasticsEurope, Poly methyl methacrylate (PMMA), Eco-profiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers, 2015.
- [Quan-2023] Quanwei, L., Liming, Y., Assessment of carbon emission potential of polyvinyl chloride plastics, E3S Web of Conference 393, 01031 (2023).
- [Schl-2019] Schlemme, J. et al., Energiewende in der Industrie, Potenziale und Wechselwirkungen mit dem Energiesektor, Branchensteckbrief der Eisen- und Stahlindustrie, Bericht an: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Navigant Energy Germany GmbH, 2019.
- [Schü-2023] Schüco, Schüco Low Carbon/Ultra Low Carbon Aluminium, Zertifikat, 2023.

Verwendung der Zuwendung und Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Die Zuwendung wurde für die im Projekt angefallenen Personal-, Sach- und Reisekosten verwendet (vgl. Kapitel 2 und Verwendungsnachweise der Verbundpartner).

In der Aufgabenstellung wurden folgende Projektziele definiert: 1) Entwicklung und Demonstration eines leichtbauenden und lichtdurchlässigen Dacheindeckungssystems. 2) Aufbau als Glas-Folie-Modulsystem in Kombination mit einem Innendach aus einem verfahrbaren, lichtdurchlässigen und IR-reflektierenden Gewebe. 3) Gewichtseinsparungen zu konventionellen Mehrscheiben-Glassystemen von bis zu 75 %, bei gleichzeitig erhöhter Funktionalität. Die Projektziele wurden erreicht.

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Positionen der zahlenmäßigen Nachweise umfassen jeweils Personal, Sachmittel und Reisekosten. Die Verwendung der Personal- und Sachmittel erklärt sich aus den beschriebenen durchgeführten Untersuchungen und erzielten Ergebnissen. Die Reisemittel wurden für Projektarbeits- und -statustreffen, für Besuche bei Stakeholdern und die Teilnahme an der Messe BAU eingesetzt. Eine detaillierte Aufstellung ergibt sich aus den Verwendungsnachweisen der Verbundpartner.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die beschriebenen Forschungsarbeiten, die erreichten Fortschritte und erhaltenen Erkenntnisse (vgl. Kapitel 1) sind erst mit der Durchführung des Projekts möglich geworden. Die erforderlichen Ressourcen hätten anderweitig nicht zur Verfügung gestanden und konnten erst durch das Projekt bereitgestellt werden.

4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschrittenen Verwertungsplans

Im Rahmen des Projekts wurde ein leichtbauendes und lichtdurchlässiges Dacheindeckungssystem entwickelt. Das System besteht aus einem Folie-Glas-Folie-Modulsystem, mit einem Innendach aus einem verfahrbaren, lichtdurchlässigen und IR-reflektierenden Gewebe. Die Untersuchung der Licht- und Klimamanagementeigenschaften (Betriebsuntersuchung) des im Projekt entwickelten Gesamtsystem-Prototyps erfolgte auf Basis eines MSR-Systems (3D-Sensornetzwerk), das eine kabellose Sensorik verwendet sowie cloudbasiert eine Datendokumentation und Visualisierung realisiert.

Neben dem Anwendungsgebiet »Dach« wurde im Projekt zusätzlich der Anwendungsfall »Fassade« erschlossen und parallel zum Anwendungsfall »Dach« in die Untersuchungen einbezogen. Der Gesamtsystem-Prototyp »Dach« wurde in einem für die realen Einsatzbedingungen repräsentativen Umfeld, im Fraunhofer UMSICHT Forschungs- und Entwicklungsbereich des Dachgewächshauses »Altmarktgarten Oberhausen« etabliert und betriebstechnisch untersucht. Der Gesamtsystem-Prototyp »Fassade« wurde in einem Lichtausschnitt einer Leichtbauhalle etabliert (Institutsstandort des Fraunhofer UMSICHT in Oberhausen) und betriebstechnisch untersucht.

Erkenntnisse zur Konstruktion, dem Aufbau und der Herstellung von Systemprototypen wurden gewonnen. Das Betriebsverhalten der Systeme wurde unter Realbedingungen studiert, und im Zusammenspiel mit der etablierten Sensorik wurden Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen den Betriebszuständen der Systeme und den sich im Gewächshaus einstellenden klimatischen Bedingungen erhalten.

Die erhaltenen Erkenntnisse bringen Nutzen bei der angestrebten Verwertung, insbesondere bei der gezielten Ansprache und Kommunikation mit Stakeholdern, der zielgerichteten Weiterentwicklung bei einzelfallbezogenen Gartenbaukleinprojekten sowie der Skalierung bei größeren Gartenbauprojekten. Auf Basis der Daten des Sensornetzwerks (3D-Temperatur und 3D-Feuchte-Kartierung) wurden innovative Gewächshaus- und Betriebskonzepte abgeleitet, die aktuell Gegenstand von Schutzrechtsanmeldungen der Wolfgang Block Industrie- und Gartenbau GmbH & Co. KG sind. Die erhaltenen technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse sollen in Fachzeitschriften publiziert werden.

5 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Jahre 2023 wurde auf EU-Ebene eine Debatte über ein evtl. Verbot chemischer Stoffe der PFAS-Gruppe angestoßen.

PFAS ist eine Abkürzung für per- und polyfluorierte Chemikalien. Diese Stoffgruppe umfasst nach letzten Schätzungen mehr als 10.000 verschiedene Stoffe. PFAS kommen nicht natürlich vor und werden erst seit den späten 1940er Jahren hergestellt. Chemisch gesehen bestehen die organischen Verbindungen aus Kohlenstoffketten verschiedener Längen, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind [BMU-2023].

Der Werkstoff ETFE wäre ggf. von einem solchen Verbot betroffen. Diese Debatte wird beobachtet, und Wege für eine mögliche Weichenstellung auf Ersatzprodukte werden untersucht.

6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichungen sind erfolgt:

- BMWi-Newsletter Nr. 04/2021.
- Projektvorstellung in der TASPO, Ausgabe Nr. 15, 16. April 2022. Die TASPO ist eine wöchentlich erscheinende Branchenzeitung für den Gartenbau aller Fachsparten. Die TASPO ist Marktführer im deutschsprachigen Raum. Unter dem Titel »Thalackers Allgemeine Samen- und Pflanzen-Offerte« erschien die TASPO erstmals 1867 und ist damit das älteste Gartenbau-Wochenblatt.
- Projektvorstellung in der NRZ – Neue Ruhr Zeitung, Ausgabe 27.06.2022.
- Fraunhofer UMSICHT, Jahresbericht 2021, S. 41.
- BMWK-Newsletter »Energiewende direkt«, 24.01.2023.
- Flyer als Information im Rahmen der Teilnahme an der Messe BAU (Weltleitmesse für Architektur, Materialien, Systeme) und Stakeholderdialogen.

Mittelfristig sind zwei wissenschaftliche Veröffentlichungen geplant:

Veröffentlichung 1: Thema Light-Light-Roof-Module und praxisnaher Einsatz für den Anwendungsfall »Fassade« und »Dach«, möglichst PeerReviewed oder in renommierten bautechnischen Journalen.

Veröffentlichung 2: IoT-Sensornetzwerk in gartenbautechnischer Anwendung, möglichst PeerReviewed oder in renommierten gartenbautechnischen Journalen.