

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Machbarkeitsstudien im Rahmen des Programmes
Solarthermie – solare Grossanlagen

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Projekttitle:	Machbarkeitsstudie solare Großanlage Gemüsebau Quendler – St. Andrä 
Programm inkl. Jahr:	Solare Großanlage 2021
Dauer:	11.8.2022 bis 30.4.2023
Kontaktperson Name:	SolarEngineering GUGGENBERGER Dr. Wolfgang Guggenberger
Kontaktperson Adresse:	Teichweg 10 9210 Pörtschach
Kontaktperson Telefon:	+43 664 8119909
Kontaktperson E-Mail:	guggenberger@solarengineering.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	Gemüsebau Quendler, 9433 Mettersdorf Gerhard Moritz, 9201 Krumpendorf greeniXcloud, 6100 Mösern
Schlagwörter:	Solarthermie-Großanlage mit Saisonspeicher, PV-Anlage und Wärmepumpe
Auftragssumme:	52.500,- €
Klimafonds-Nr:	KR21KB0K0001
Erstellt am:	23.5.2024

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Eine thermische Solaranlage speist einen Saison-Erdspeicher, der unter dem Gewächshaus (ev. mit Dämmung nach oben und seitlich) angeordnet ist und auch einen Spitzenlast-Wärmespeicher.

Die Effizienz der thermischen Solaranlage ist überdurchschnittlich hoch, weil der Erdspeicher einerseits nie voll wird und andererseits die (Erd-)Speichertemperaturen verhältnismäßig gering sind.

Anstelle der Glaseindeckung wird das Dach des Gewächshauses mit Photovoltaik (PV-)Paneelen bestückt. Um den Pflanzen genügend Licht zu geben, kommen bifaciale, transparente Solarmodule zum Einsatz. Trotzdem ist die Dachfläche im Verhältnis zum Eigenstrombedarf so groß, dass rund die Hälfte des erzeugten Stroms in das öffentliche Netz bzw. an erneuerbare Energiegemeinschaften abgegeben werden kann.

Über eine Art „Fußbodenheizung“ (FBH) wird das Substrat erwärmt und Lüfterhitzer fangen kurzzeitige Spitzenlasten ab.

Die FBH kann sowohl direkt aus dem Erdspeicher, als auch aus dem unteren (kalten) Bereich des Wasser-Wärmespeichers mit Energie versorgt werden. Die Lüfterhitzer werden aus dem oberen Bereich des Wasser-Wärmespeichers betrieben.

Eine Wärmepumpen-Anlage (WPA) entnimmt aus dem Erdspeicher die darin gespeicherte Energie und bereitet diese für den Wasser-Wärmespeicher – auf die entsprechend Nutzttemperaturen der FBH und der Heizlüfter – auf. Gemäß Simulation kann mit durchschnittlichen Jahresarbeitszahlen (JAZ) von mehr als 4¹ gerechnet werden. Der Wasser-Wärmespeicher ermöglicht eine zeitliche Entkopplung von Wärmebedarf und PV-Stromangebot, sodass die WPA zum Großteil (nach Möglichkeit zur Gänze) mit Eigenstrom betrieben werden kann. Bei Bedarf kann auch ein Stromspeicher (Akku) installiert werden.

Solaranlage, PV-Anlage, Erd-Wärmespeicher und Wasser-Wärmespeicher werden basierend auf Klimadaten des Standorts und den Wärmebedarfswerten des Gewächshauses (auf der Basis von Stunden- oder Monatswerten) in einem dynamischen Simulationsmodell abgebildet und dabei entsprechend optimiert.

Als Zusatzheizung soll nach Möglichkeit nur die passive Sonnenenergie und die menschliche Abwärme der Mitarbeiter:innen/Besucher:innen dienen. Basierend auf den derzeitigen Planungen und Simulationen sind keine zusätzlichen, konventionellen Energiequellen (Erdgas, Biomasse) vorgesehen.

¹ das bedeutet, dass aus einem Teil „Erdwärme“ die vierfache Wärmemenge im Wasser gespeichert werden kann

2 Hintergrund und Zielsetzung

2.1 Ausgangslage & Hintergründe

Die Geschichte des landwirtschaftlichen Betriebes Quendel in Mettersdorf, die seit 3 Generation Getreide, Fleisch, Milch und Gemüse erzeugt, kann folgendermaßen beschrieben werden:

1931 Erwerb des Betriebes vlg. Maier für Produktion von Fleisch, Milch, Getreide, Kartoffel (bis 1960 auf 4 ha Kartoffel als Hauptprodukt mit händischer Ernte...).

Ab 1970 vermehrte Produktion von Fleisch und Milch und 1995 mit EU-Beitritt verstärkte Nachfrage nach regionalem Gemüse.

Ab 2016 Schwerpunkt auf regionales Gemüse für lokale Lebensmittelhändler (Fa. Robitsch) und ab 2020 Belieferung auch von SPAR-Kärnten.

2.2 Aufgabenstellung bzw. Zielsetzung

Auf Basis der vermehrten Nachfrage nach regional erzeugtem Biogemüse auch im Winter – bei gleichzeitiger Ressourcenschonung für den Winterbetrieb – entstand „**das energieautarke Bio-Gewächshaus**“ mit folgenden Rahmenbedingungen:

- lokale Bio-Lebensmittelproduktion während 365 Tagen pro Jahr für die Menschen in Kärnten
 - ohne klimarelevante Emissionen: das Gewächshaus wirkt in der Jahresbilanz sogar als CO₂-Senke da das Gemüse CO₂ bindet und die dachintegrierte PV-Anlage mehr erneuerbaren Strom produziert, als für den Betrieb des Gewächshauses benötigt werden
 - für regionale Lebensmittelhändler – ohne lange Transportwege
- die Heizwärme für den Winter wird als Solarwärme im Sommer geerntet, in das Erdreich unter dem Gewächshaus eingespeichert und im Winter - direkt oder als Erdwärme - für die Heizung genutzt
- die elektrische Energie für Antrieb der Haustechnik (Wärmepumpen, Umwälzpumpen, Lüftung ...) wird mit einer dachflächenintegrierten PV-Anlage erzeugt
- das Wasser für die ganzjährige Bewässerung wird in Form von Regenwasser gesammelt und in einem Behälter für die weitere Nutzung aufbewahrt
- die Dach- und Wandkonstruktion soll für Solarstrom- (teiltransparente PV-Module) und Solarwärmeerzeugung (Solarthermie Kollektoren) genutzt werden – ohne Einschränkung der Gemüseproduktion und möglichst ohne zusätzlichem Freiflächenbedarf.

2.3 Projektbeschreibung

Aus der vorhin genannten Ausgangslage und Zielsetzung ergibt sich die folgende Projektbeschreibung:

Planung eines Gewächshauses zur ganzjährigen Nutzung als energieautarkes System. D.h. dass die Wärmeenergie für Heizung und Warmwasser, sowie die elektrische Energie für Wärme- und Umwälzpumpen, Lüftung, Beleuchtung, ... vollständig am Standort erzeugt und über entsprechende Speicher für den „zeitversetzten“ Betrieb des Gewächshauses zur Verfügung gestellt wird.

Überschussenergie (v.a. PV-Strom) soll – bevorzugt - an eine regionale Energiegemeinschaft abgegeben, oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden.

Die Gemüseproduktion wird – trotz erheblichem Heizenergiebedarf im Winter – vollständig CO₂-frei (klimaneutral) erfolgen, sodass dieses Gesamtkonzept durch die CO₂-speichernde Gemüseproduktion und den PV-Überschuss als große CO₂-Senke gesehen werden kann.

2.4 Projektpartner & Stakeholder

Die ursprüngliche Projektidee zum „energieautarken Gewächshaus“ (solar-thermischer Saisonspeicher, PV-Anlage mit Wärmepumpe) wurde von Robert Quendler und Gerhard Moritz entwickelt und zusammen mit Wolfgang Guggenberger (Solarthermie mit Saisonspeicher) sowie Heinz P. Stössel (Systemregelung/-komponenten für Erdwärmespeicher) zum hier beschriebenen, finalen Konzept verfeinert.

- Projektbetreiber, Biogemüseproduzent:
Robert Quendler, 9433 Mettersdorf / St. Andrä
- Partner für Energieeffizienz und Öffentlichkeitsarbeit:
Gerhard Moritz, 9201 Krumpendorf
- Partner für Solarenergie und Systemkonzept:
Wolfgang Guggenberger, 9210 Pörtschach
- Partner für Systemlösung Erdwärmespeicher
Heinz Peter Stössel, 6100 Mösern
- Handelspartner für Produktionsabnahme:
SPAR Österreich (Ma. Saal)
Robitsch Gemüsegroßhandel



GERHARD MORITZ

Büro für Effizienz.

SolarEngineering
GUGGENBERGER

 **greeniXcloud**

SPAR 

Kärnten
Taufrisch 

Weitere Stakeholder:

- Gemeinde St. Andrä (Widmungsverfahren, Baugenehmigungen)
- BH Wolfsberg (Vorbescheide für Wasserrecht, Naturschutz, Agrarnutzung, bau- und gewerberechtliche Betriebsanlagengenehmigung)
- Land Kärnten (Widmungsverfahren)

- Klimafonds (Förderung Machbarkeitsstudie)

3 Projektinhalt und Ergebnis(se)

3.1 Grundlagen zum Gemüseanbau im Gewächshaus

Gegenüber dem konventionellen Gemüseanbau – sowohl auf der Freifläche als auch im Gewächshaus – sind folgende **Effizienzkriterien** für einen ökologischen Gemüseanbau im Gewächshaus von Bedeutung:

- **Produktionseffizienz:**
keine tierischen Schädlinge und kaum Beikräuter bzw. Pilzerkrankungen durch die Trennung von Umwelt außen und Klima innen (keine Hitze bzw. Trockenzeit, keine Staunässe, kein Hagel, kein Frost) woraus sich keine Notwendigkeit für den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel ergibt
- **Wassereffizienz:**
je nach Pflanze werden bei der Ganzjahresproduktion ca. 500 Liter Wasser pro m² Anbaufläche benötigt; die Jahresniederschlagsmenge am Standort des Gewächshauses (St. Andrä) beträgt 750 l/m² weshalb durch die Installation eines entsprechenden Behälters keine Ergänzung aus dem Grundwasser notwendig ist, da allein durch das Regenwasser die ganzjährige Bewässerung sichergestellt wird
- **Nährstoffeffizienz:**
Bio-Kompost (Biohühnermist + Grünschnitt) hält den Nährstoffgehalt im Boden konstant und verhindert eine Auswaschung tieferer Bodenschichten
- **Grundflächeneffizienz:**
die gleichmäßigen Wachstumsbedingungen – und auch der Anbau im Winter – verdoppeln den Ertrag gegenüber Freilandkulturen

Daraus leiten sich folgende **Vorteile für Umwelt und Klima** ab:

- Gegenüber dem Freilandanbau ist kein sekundäres Bewässerungssystem (z.B. mit Grundwasser) notwendig, weil die erforderliche Wassermenge aufgrund der durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge im Lavanttal und die Wasserspeicherung jederzeit und in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt werden kann.
- Da im Gewächshaus die erforderlichen Nährstoffe – gegenüber dem Freilandanbau - nicht in tiefere Bodenschichten „verfrachtet“ werden (bis zu 30 %) und somit für die Kulturpflanzen erreichbar bleiben, ist kein Zwischenfruchtanbau – der keinen Ertrag für die Lebensmittelproduktion darstellt – erforderlich, wodurch die Produktivität gesteigert werden kann.
- Gewächshäuser schaffen für Pflanzen optimale Klimazonen, machen diese robuster und daher weniger für Krankheiten anfällig. Weniger Ernteauffälle durch Fäulnisbakterien oder durch Pilzerkrankungen sind die Folge; somit wird der Nährstoff-/Lebensmittelkreislauf in sich geschlossen.
- Durch die Beschattung des Gewächshauses mit PV-Modulen und Solarkollektoren und der effizienten Nutzung der Sonneneinstrahlung ergeben sich die größten Vorteile für die Umwelt und das Klima:
 - Speicherung der solaren „Sommerwärme“ für die Nutzung im Winter
 - kontinuierliche Stromproduktion mit der dachintegrierten PV-Anlage die mindestens doppelt so viel Leistung liefert, wie für den Betrieb des Gewächshauses erforderlich ist und somit auch im Winter einen Großteil des benötigten Stroms zur Verfügung stellen kann
 - daraus resultiert, dass die in diesem Gewächshaus produzierten Lebensmittel absolut klimaneutral sind und – vor allem gegenüber einer konventionellen Gewächshäusern mit Erdgasheizung im Winter – überhaupt keine CO₂-Emissionen verursachen
 - durch die „Beschattung“ mit PV- und thermischen Solaranlagen wird eine Überhitzung - und somit ein erhöhter Stromverbrauch für die erforderliche Lüftung im Sommer vermieden.

In weiterer Folge ergeben sich auch beachtliche **Vorteile für die Region**:

- Bis zu 30 Arbeitsplätze entstehen für die Kulturführung, Ernte und Verarbeitung der angebauten Lebensmittel, die der Versorgung der lokalen Bevölkerung mit frischem Bio-Gemüse dienen
- frisches, ausgereiftes Gemüse ist leicht verderblich, daher ist ein rascher Transport zu den Konsument:innen notwendig;
- die lokale Gemüseproduktion auf einer Anbaufläche von rd. 4 ha in und für Kärnten spart jährlich ca. 80 LKW-Fahrten mittels Kühl-LKW aus dem Ausland (z.B. Spanien, Süditalien, ...) und reduziert dadurch den Treibstoffverbrauch um rd. 48.000 Liter², bzw. die CO₂-Emissionen um rd. 150 Tonnen pro Jahr³
 - würde dasselbe Gewächshaus konventionell mit Erdgas beheizt werden, hätte das CO₂-Emissionen von ca. 3.200 t/a⁴ zur Folge; das ist mehr als 20 Mal so viel wie der Transport der selben Gemüsemenge verursacht
 - zusätzlich werden durch die dachintegrierte PV-Anlage (siehe Seite 13) CO₂-Emissionen von rd. 1.000 t/a ersetzt werden
 - durch das solare, klimaneutrale Gewächshaus werden zumindest die oben genannten 4.200 t_{CO2}/a eingespart; zusätzlich muss aber auch die CO₂-Bindung durch die angebauten Lebensmittel bewertet werden
- durch das Gewächshaus wird eine regionale Wertschöpfung für das Gewerbe und die Industrie (Ingenieurarbeiten, Zivilbau, Anlagenbau und Betriebstechnik) generiert
- der PV-Stromüberschuss soll in einer regionalen erneuerbaren Energiegemeinschaft direkt verwertet werden; ein gewerblicher Großbetrieb mit einem erheblichen Energiebedarf ist in unmittelbarer Nähe des geplanten Standorts angesiedelt
- in Kärnten entsteht das weltweit erste klimaneutrale und CO₂-freie „Ganzjahres-Gewächshaus“, bei dem die Heizung im Winter zu 100 % aus – hauptsächlich im Sommer geernteter - Sonnenenergie zur Verfügung gestellt wird;
ähnlich klimaneutrale Konzepte sind bisher nur realisierbar, wenn am Standort z.B. Wärme aus Geothermie vorhanden ist!

² Annahmen: 1.000 km/Strecke * 2 Strecken * 80 Fahrten = 160.000 km * 30 Liter/100km = 48.000 Liter

³ CO₂-Konversionsfaktor gem. [Umweltbundesamt Österreich](#) = 3,13 kg/Liter Diesel

⁴ CO₂-Konversionsfaktor gem. OIB RL6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ (April 2019) = 247 g/kWh

3.2 Dimensionierung, Anlagen- und Betriebskonzept

3.2.1 Hauptabmessungen des energieautarken Gewächshauses

- Das Gewächshaus soll am Grundstück 1463/1, 1464, 1465 und 1466/2, KG 77261, Dachberg (Ortschaft Mettersdorf) errichtet werden.
- Die Gebäudeabmessungen L x B x H betragen ca. 240 x 165 x 8 m; dies ergibt Grundfläche des Gewächshauses von ca. 4 ha.
- An der Süd-Ost und Süd-West Fassade werden schräg aufgestellt Solarthermie-Kollektoren montiert, deren Unterkonstruktionen einen Teil der Gebäudewände bilden.
- Auf dem mehrreihigen Satteldach werden an den Nord-Ost und den Süd-West orientierten Flächen teiltransparente PV-Module eingebaut.
- Der saisonale Erdwärmespeicher befindet sich unter dem Gebäude-Boden (der Gemüse-Anbaufläche), der Tages-Pufferspeicher soll in der Nord-West Ecke des Grundstücks installiert werden.



Abbildung 1: Lageplanskizze Gewächshaus

3.2.2 Energiekonzept des energieautarken Gewächshauses

Im folgenden „Funktionsdiagramm“ ist das Energiekonzept dargestellt.

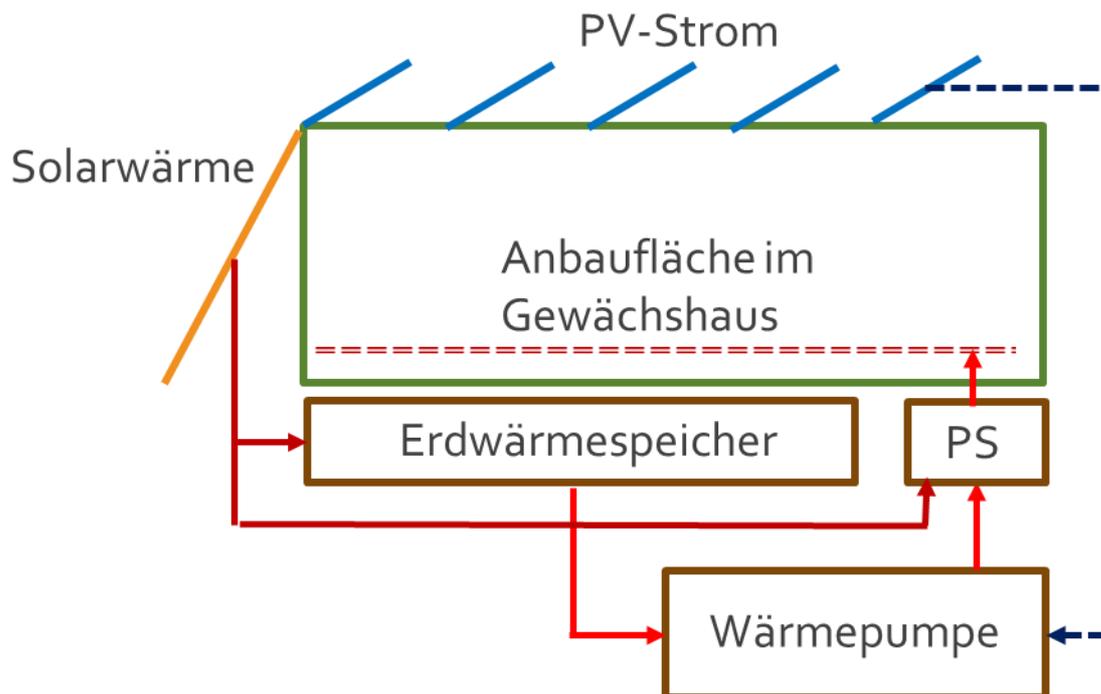


Abbildung 2: Energiekonzept Gewächshaus

Die Solarthermie Kollektoren erzeugen das ganze Jahr über Wärme, die vorrangig den mit Wasser gefüllten Pufferspeicher (PS) erwärmen und nachrangig den Erdwärmespeicher beladene. Da das Gewächshaus von Frühjahr bis Herbst üblicherweise wenig aktive Heizwärme benötigt (nur für Luftentfeuchtung), kann die in dieser Zeit reichlich vorhandene Solarwärme den Erdwärmespeicher beladen.

Der Erdwärmespeicher befindet sich direkt unterhalb dem Gebäudeboden bzw. der Substratschicht und besteht aus mehreren Rohrmatten aus Kunststoff, die die Solarwärme in das Erdmaterial einbringen.

Zwischen Erdspeicher und Gewächshausboden sowie seitlich des Gewächshauses werden Dämmmaßnahmen (Wärmedämmplatten bzw. Glasschaumgranulat) installiert, die den Wärmeverlust in das umgebende Erdreich bzw. an die Außenluft vermindern. Im generellen Anlassfall wird auch untersucht, ob die Wärmeverluste mit einer sogenannten „Schirmdämmung“ in ausreichendem Maß reduziert werden können.

Im Heizbetrieb nutzen – eine, zwei oder mehrere - Wärmepumpen den Saison-Erdspeicher als Wärmequelle und den Pufferspeicher als Wärmesenke. Die Wärmepumpe(n) sollen – wenn immer möglich – nur zu Zeiten der eigenen PV-Strom Produktion betrieben werden.

Die PV-Anlage erzeugt das ganze Jahr über Strom, der vorrangig für den Betrieb der Wärmepumpe(n), Umwälzpumpen, Lüftungsanlagen, Beleuchtung, ... genutzt und nachrangig bzw. bei Überschussproduktion ins öffentliche Netz (auf für die Nutzung in einer erneuerbaren Energiegemeinschaft) eingespeist wird.

Da im Winter – vor allem zum Wechsel von Tag auf Nacht (aufgrund des schlechten Dämmstandards eines Gewächshauses) – immense Leistungsspitzen auftreten, dient der Pufferspeicher vor allem dazu, einen zeitlichen und energetischen Lastausgleich sicherzustellen. Die Größe des Pufferspeichers und die Leistung der Wärmepumpen sind so ausgelegt, dass tagsüber genügend Wärme produziert und „zwischengelagert“ werden kann um die Wärmeenergie für einen zuvor definierten Zeitraum (mehrere Tage bzw. Wochen) – ohne Fremdstrombezug – zur Verfügung stellen zu können.

3.2.3 Entwurfsplanung der Solarthermieanlage

- A) **Freiflächenanlage südlich der Mettersdorfer Landesstraße** auf den im Eigentum von R. Quendler stehenden Parz. 1463/2, 1588, 1590, 1589/1 9 Doppelreihen mit 3 x 40 und 5 x 44 Kollektoren/Reihe ergibt 340 Kollektoren mit 5.440 m² und einer benötigten Grundfläche von ca. 1,5 ha (Widmungsänderung erforderlich).

Die hier angewendet Doppelreihenmontage besteht aus zwei Großflächen-Solarkollektoren übereinander (Tischmontage wie bei PV-Anlagen üblich) und ermöglicht somit 6 bis 7 m Durchfahrtsbreite zwischen den Kollektorreihen sowie eine weiterhin mögliche Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Bodens mit gängigen Erntemaschinen.

Die Bauhöhe der Doppelreihenmontage mit 35° Kollektorneigung und 80 cm Bodenfreiheit erreicht hierbei ca. 3,5 m.

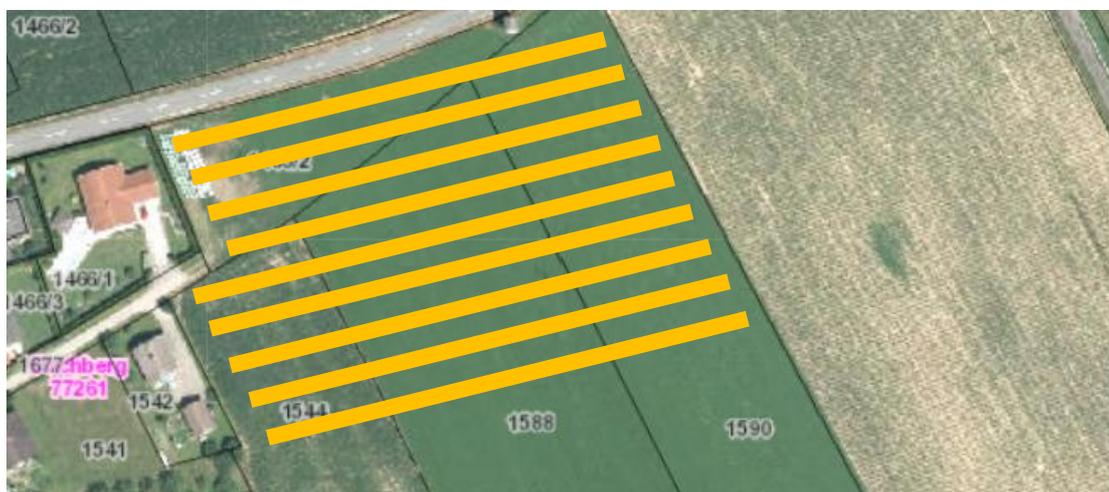


Abbildung 3: Solarvariante Freiflächenanlage

- B) **Gebäudeintegrierte Anlage mit schräg an das Gewächshaus gelegenen Fünffachreihen** (5 Kollektoren übereinander) zu je 3 x 13 Kollektoren je Reihe im Süd-Osten sowie 2 x 12 Kollektoren je Reihe im Süd-Westen ergibt $195 + 120 = 315$ Kollektoren mit 5.040 m^2 und einem benötigten Grundstreifen von jeweils 10 m Breite an der Süd-Ost und Süd-West Seite des Gewächshauses. Die Bauhöhe dieser Fünffachreihenmontage mit 45° Kollektorneigung und 80 cm Bodenfreiheit erreicht hierbei ca. 10 m und überragt somit das Dach des Gewächshauses um ca. 2 m. Diese Konstruktion verschattet die Gewächshauswand über die gesamte Höhe und das Dach mit einer Streifenbreite von ca. 5 bis 10 m (So/Wi).



Abbildung 4: Solarvariante gebäudeintegrierte Anlage, 10 m hoch

C) **Vorgesetzte Anlage mit schräg vor das Gewächshaus gestützten Dreifachreihen** (3 Kollektoren übereinander) zu je 3 x 13

Kollektoren/Reihe im Süd-Osten sowie 2 x 12 Kollektoren/Reihe im Süd-Westen ergibt $117 + 72 = 189$ Kollektoren mit 3.024 m^2 und einem benötigten Grundstreifen von 10 m Breite an der Süd-Ost und Süd-West Seite des Gewächshauses.

Die Bauhöhe dieser Dreifachreihenmontage mit 45° Kollektorneigung und 80 cm Bodenfreiheit erreicht hierbei ca. 6 m.

Der Abstand der vorgesetzten Kollektoren am oberen Ende hin zur Gewächshauswand beträgt 2 m und verschattet diese nur in der unteren Hälfte.



Abbildung 5: Solarvariante gebäudeintegrierte Anlage 6 m hoch

D) Vorgesetzte Anlage mit schräg vor das Gewächshaus gestützten Dreifachreihen samt Ergänzungsfläche im Süden

Zum Ausgleich der verringerten Kollektorfläche von Variante C gegenüber Variante B kann auf der Hofstelle von R. Quendler auf Parz. 1521 und 1522 eine zusätzliche, kleine Freiflächenanlage realisiert werden. Beide Parzellen ermöglichen zusammen 4 Doppelreihen zu je 36 Kollektoren/Reihe mit 2.304 m² und einer benötigten Grundfläche von ca. 0,4 ha (keine Widmungsänderung erforderlich), womit in Summe 5.328 m² Kollektorfläche erzielt werden können.



Abbildung 6: Solarvariante gebäudeintegrierte Anlage mit Ergänzungsfläche

Die hier angewendete Doppelreihenmontage besteht aus zwei Großflächen-Solarkollektoren übereinander (Tischmontage wie bei PV-Anlagen üblich) und ermöglicht somit 6 bis 7 m Durchfahrtsbreite zwischen den Kollektorreihen sowie eine weiterhin mögliche Bewirtschaftung des landwirtschaftlichen Bodens mit gängigen Erntemaschinen. Die Bauhöhe der Doppelreihenmontage mit 35° Kollektorneigung und 80 cm Bodenfreiheit erreicht hierbei ca. 3,5 m.

3.2.4 Entwurfsplanung der PV-Anlage

Die PV-Module werden direkt in die Dachkonstruktion des Gewächshauses integriert. Auf dem mehrreihigen Giebeldach werden statt der üblichen Glasscheiben transparente PV-Module als Glas-Glas-Module eingesetzt. Die dadurch verminderte Lichteinstrahlung ist gewollt und verhindert vor allem im Sommer einen zu starken Lichteintrag und eine Überhitzung. Die Pflanzen erhalten aber noch immer genügend Licht, um optimal wachsen zu können.

Das Dach besteht aus 30 Giebelabschnitten mit einer Basisbreite von 8 m, einer Gebäudebreite von 165 m und einer Dachneigung von 22°. Je Abschnitt steht somit eine Fläche von 610 m² (165 m x 3,7 m) für den halben Giebelabschnitt zur Verfügung.

Die PV-Module werden nur auf der Süd-West Seite des Giebeldachs montiert, die Lichtdurchlässigkeit der PV-Module soll > 50 % betragen.

Im Winter werden Pflanzen mit etwas geringerem Lichtbedarf angebaut, sodass die Verschattung durch die PV-Module erfahrungsgemäß zu keinen relevanten Ertragseinbußen führt.



Abbildung 7: Teil-belegtes Dach mit semi-transparenten PV-Module

In Summe kann auf den Dachflächen des Gewächshauses – trotz der erforderlichen Lichtdurchlässigkeit – eine PV-Leistung von ca. 2.000 kW_{peak} installiert werden, wodurch eine CO₂-Einsparung von rd. 500 kg/a⁵ erreicht wird.

⁵ CO₂-Konversionsfaktor gem. OIB RL6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ (April 2019) = 227 g/kWh

3.2.5 Entwurfsplanung Erdwärmespeicher

Der Erdwärmespeicher wird als Erdssolespeicher unterhalb des Gewächshauses ausgeführt. Er besteht aus handelsüblichen Rohr-Registermatten, die aus mehreren, parallelen PE-RT Rohren mit thermisch verschweißten Sammelrohren in Industriestandard-Qualität gefertigt werden.

Die maximale Fläche einer Registermatte beträgt ca. 15 m² (Sonderanfertigung für dieses Projekt). Jeweils 2 Registermatten werden mittels PE-Schweißtechnik parallel verbunden und mittels Anbindeleitung an einen entsprechenden Sole-Verteiler angeschlossen (ähnlich wie bei Fußbodenheizungen). Diese Verteiler versorgen mehrere Kreise (bis zu 150 m²), werden bei den Gebäudestützen in Bodennähe montiert und sind so zur hydraulischen Einregulierung gut erreichbar.

Die Registermatten werden nach Abtrag der Humusschicht auf einem Sandbett aufgelegt und mit den Hydraulikverteilern verbunden. Danach werden die Registermatten mit Sand und dem Planiermaterial überdeckt und die Dämmung zum Gewächshausboden (Dämmmatten bzw. Glasschaugranulat) aufgebracht.



Abbildung 8: Erdssole-Registermatten samt Hydraulikverteiler

Zusammen mit den seitlichen Dämmschürzen am Gebäuderand, die ca. 1,5 m in die Tiefe reichen (aber auch als „Schirmdämmung“ errichtet werden können), wird der Erdssolespeicher am Umfang und Deckel mit einem „Dämmring“ umschlossen und so eine maximale Wärmespeicherung gewährleistet.

Die maximale Fläche der Registermatten ergibt sich aus den Abmessungen des Gewächshauses abzüglich eines Randstreifens von 1 Meter auf der Gebäude-Innenseite und abzüglich der Flächen für die Punktfundamente der Gewächshauskonstruktion. Somit verbleibt für das gegenständliche Gewächshaus eine Registermatten-Fläche von ca. 34.000 m².

3.2.6 Entwurfsplanung Wärmepumpe

Neben der direkten Solarwärmeproduktion – die vor allem in der Heizperiode eine eher untergeordnete Rolle spielt – erzeugt/erzeugen die Wärmepumpe/n die erforderliche Heizenergie. Dabei dient der Erdspeicher als Wärmequelle und der Pufferspeicher als Wärmesenke. Bei schwacher Solarstrahlung – auch mit hohem diffusen Lichtanteil – kann die thermische Solaranlage auch mit niedrigen VL-Temperaturen arbeiten und über den Solespeicher-Ladekreis die Wärmepumpen-Quelle direkt mit Solarwärme versorgen.

Die (Sole-Wasser) Wärmepumpenanlage ist modular aufgebaut und besteht – nach derzeitiger Planung – aus mehreren Einzelaggregaten mit fixer Leistung (ca. 300 kW_{th}). Dies ergibt einerseits eine sehr gute Redundanz im Störfall und andererseits eine ausreichend genaue Leistungsanpassung durch die kaskadierbare Zu-/Abschaltung der einzelnen Module.



Abbildung 9: kompakte Wärmepumpenmodule mit integrierter Aggregatsteuerung

Die Wärmepumpenanlage soll im Normalfall nur bei ausreichend vorhandener Stromproduktion aus der PV-Anlage am Dach betrieben werden. Durch die kaskadierbare Betriebsführung der Wärmepumpenanlage ist eine Anpassung an die variable PV-Produktion gut möglich.

3.2.7 Entwurfsplanung Pufferspeicher

Der Pufferspeicher dient als zentraler Wärmespeicher auf der Temperaturebene des Heizungssystems. Er kann einerseits durch die Solaranlage direkt beladen, oder andererseits über den Erdspeicher und die Wärmepumpenanlage mit indirekter Solarenergie erwärmt werden. Da sowohl die Solarwärme als auch der PV-Strom stark witterungsabhängig sind, ist die Größe des Pufferspeichers für eine gesicherte und klimaneutrale Wärmeversorgung des Gewächshauses entscheidend.

Der Pufferspeicher ist aber auch zur Sicherung kurzfristiger – zu Teil extremer – Heizleistungssteigerungen – wenn im Winter am Tagesende die Sonne untergeht und somit die passive Solarwärme schlagartig wegfällt – erforderlich.

Basierend auf einer ersten Dimensionierung hat sich ein Speichervolumen von mehreren 100 m³ ergeben. Druckbehälter können auf Grund der möglichen Straßentransporte nur bis zu einem Volumen von 150 m³ wirtschaftlich gefertigt werden. Mehrere Druckspeicher nebeneinander weisen wiederum ein ungünstiges Verhältnis von Oberfläche (= Wärmeverluste) zu Volumen (= Nutzwärme) auf, weswegen im gegenständlichen Anwendungsfall ein druckloser Stahlbehälter vorgesehen wird.

Damit das hydraulisch direkt verbundene Heizungssystem – dies betrifft v.a. die Umwälzpumpen beim Pufferspeicher und der Heizwärmeverteilung – störungsfrei arbeiten kann, ist für den notwendigen Zulaufdruck der Pumpen eine statische Wasserhöhe im Pufferspeicher von mind. 12 m erforderlich. Die Bauhöhe des Pufferspeichers (inkl. Sockel und Wärmedämmung) ergibt somit ca. 13,5 m.



Abbildung 10: 2 x 100 m³ Druckspeicher vs. 1.000 m³ druckloser Speicher (selbe Bauhöhe)

Drucklose Wärmespeicher werden im oberen, feuchten Bereich mit einem Stickstoffpolster als Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion ausgerüstet. Der Stick-

stoff wird vor Ort aus der Luft erzeugt und im Rahmen der Betriebsführung wieder an die Umgebung abgegeben.

3.2.8 Anlagendimensionierung Gesamtsystem

Im Rahmen einer Energie-Simulation in Form eines Jahresbilanzverfahrens (Wärmebedarf, Solarproduktion, Speicherkapazität) wurden Abschätzungen für die Größe der Solaranlage und des Pufferspeichers ermittelt.

Mit einer dynamischen Simulation (Polysun®) wurden diese Abschätzungen verfeinert bzw. in mehreren Simulationsvarianten optimiert.

Das Simulationsmodell wurde entsprechend dem Funktionskonzept aufgebaut und mit zwei unterschiedlich ausrichtbaren Kollektorfeldern, dem Erdwärmespeicher, dem Pufferspeicher und der Wärmepumpe ausgestattet. Damit konnten die Varianten A (Freiflächenanlage), B (Fassadenanlage SW + SO, 10 m hoch) und C (Fassadenanlage SW + SO, 6 m hoch) simuliert werden. Für die Variante braucht es ein drittes Kollektorfeld, was die Komplexität des Simulationsmodelles erheblich vergrößert.

Abhängig vom Ausgang der Behördenverfahren werden im Rahmen einer späteren Detailplanung die dann real bewilligten Kollektorflächen in der Simulation aktualisiert.

Die Modellierung in Polysun entspricht dem hydraulischen Prinzip der Gesamtanlage, ist aber aus Gründen der schnelleren Simulationsläufe ohne Systemtrennung zwischen Solar- und Erdsolekreis ausgeführt.

Das Anlagenschema inklusive der einzelnen Regler wurde von Vela Solaris AG (Entwickler von Polysun) geprüft und optimiert.

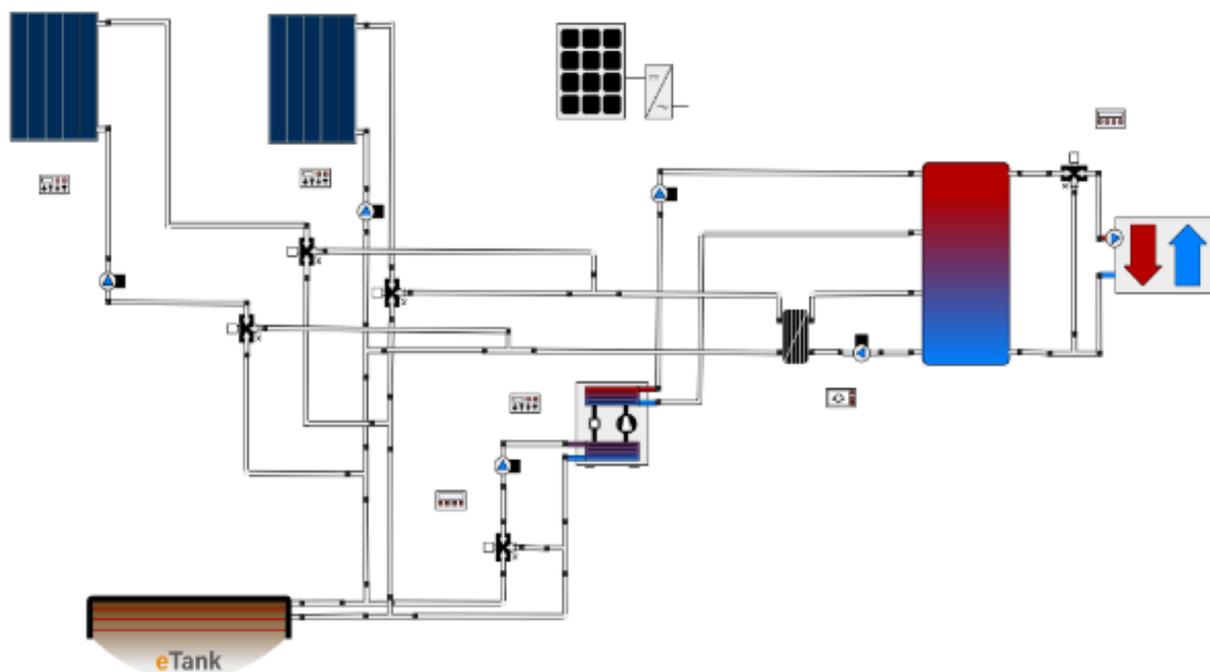
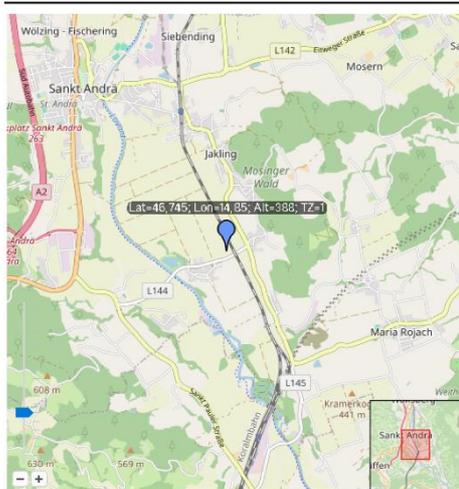


Abbildung 11: Polysun Anlagenschema

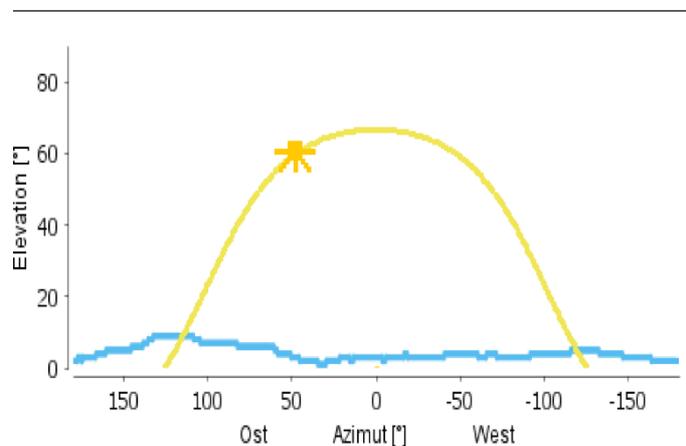
Als Ergebnis der Simulationsvarianten wird jeweils ein „Professioneller Report“ generiert, siehe Anhang. Anhand der Variante A (Freifläche) werden die wesentlichen Ergebnisse erläutert.

- Standort:
Polysun nutzt die Klimadaten von Meteonorm und errechnet für einen definierten Standort mittels Interpolation aus umliegenden Messstationen die entsprechenden Klimadaten (Einstrahlung, Außentemperatur, Niederschlag, Wind, etc.).
Ebenso wird der natürlich Horizont berücksichtigt.

Kartenausschnitt



Horizontlinie



- Solarthermieanlage:
Kollektorfläche 5.426 m², Leistung 4.600 kW_{peak}, spezifischer Jahresertrag: 1.067 kWh/m²/a, Jahresertrag 5.791 MWh/a, der Monatsertrag wird für jede Kollektorfläche separat dargestellt.

Solarthermische Energie an das System [Qsol]

MWh

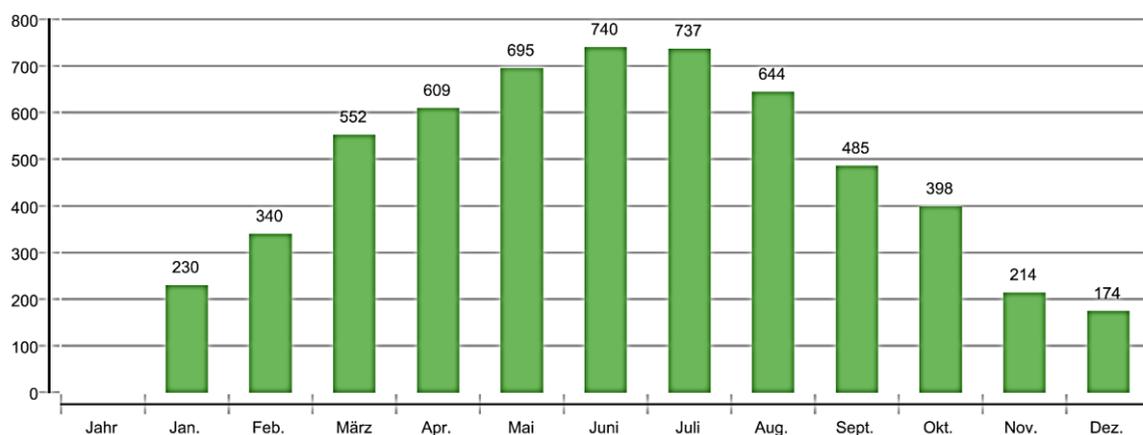


Abbildung 12: monatlicher Ertrag der Solarthermieanlage

- PV-Anlage:
Modulfläche 8.751 m², Leistung 1.971 kW_{peak}, spezifischer Jahresertrag 1.086 kWh/kW_{peak}, Jahresertrag AC 2.141 MWh/a

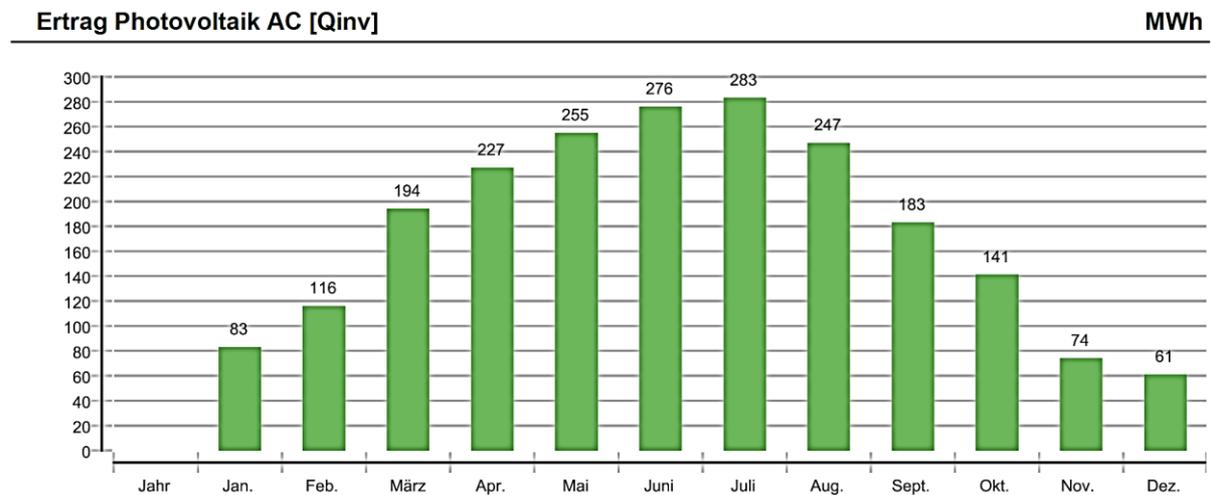


Abbildung 13: monatlicher Ertrag der PV-Anlage

- Energieflussdiagramm:
Der linke Bereich zeigt die Energiequellen, der rechte Bereich die Energiesenken.

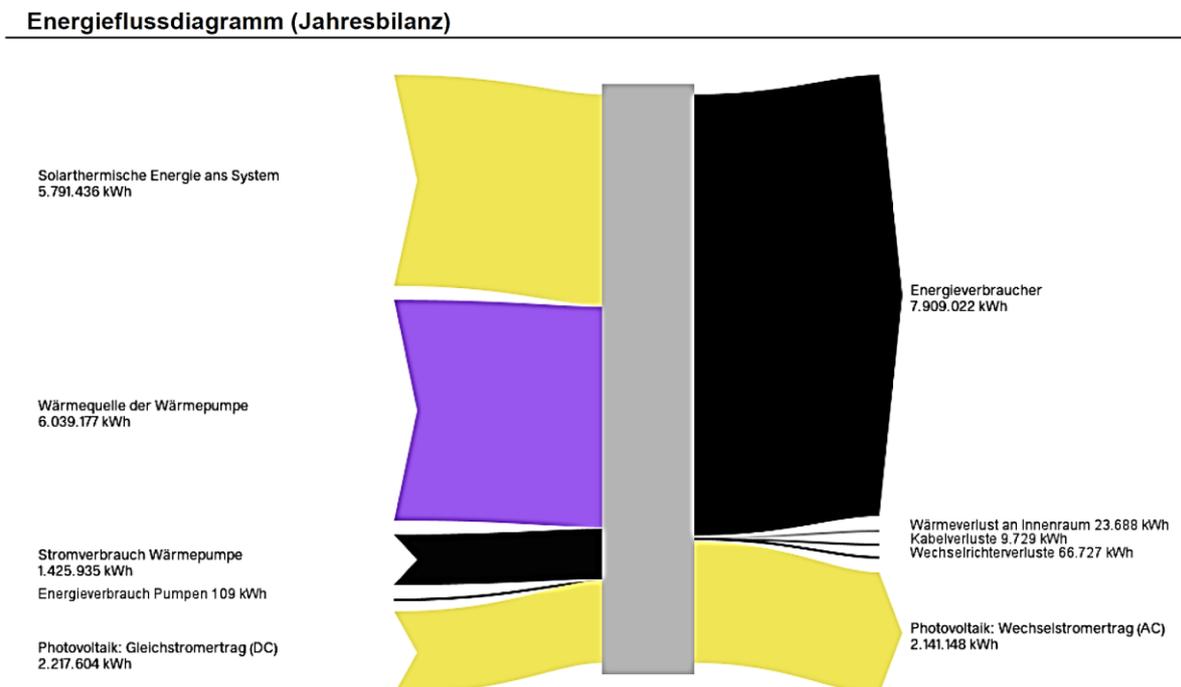


Abbildung 14: Energieflussdiagramm der Gesamtanlage

3.3 Ökonomische Betrachtung

Eine fundierte, ökonomische Betrachtung ist zum aktuellen Zeitpunkt eher schwierig, da v.a. relevante Parameter noch unklar sind, wie z.B.:

- Kosten der Gesamtanlage, da die detaillierte Komponentenauslegung v.a. wegen dem noch nicht validierten Simulationsmodell des Erdwärmespeichers noch einen erheblichen Unsicherheitswert aufweist
- Zeitpunkt der Realisierung, da die wasserrechtliche Bewilligung zwar seitens des Landes positiv bearbeitet wurde, aber die zuständige Bezirkshauptmannschaft nach wie vor keine positive Zustimmung erteilt
- Erträge aus PV-Netzeinspeisung (angedacht ist die Versorgung einer regionalen Energiegenossenschaft bzw. eines größeren Industriebetriebes)
- Erträge aus dem CO₂-Zertifikatehandel, da die Gesamtanlage als CO₂-Senke bilanziert

Mit den bisherigen Annahmen kann eine Kostenschätzung (auf Basis Richtpreisangebote und Erfahrungswerte aus vergleichbaren Projekten) erstellt werden.

Die **Wärmegestehungskosten** berücksichtigen folgende Annahmen:

- 40 % Gesamtförderquote
- Keine Brennstoffkosten (v.a. Stromkosten), da Erträge aus Netzeinspeisung die Kosten des Strombezuges decken
- Betriebskosten für Wartung & Betriebsführung ca. 3 €/MWh
- Kapitalkosten bezogen auf Solarinvestition ca. 6 €/MWh
- Betrachtungsperiode 20 Jahre

Und ergeben unter Berücksichtigung aller aufgezählten Unsicherheiten

47 €/MWh

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

4.1 Schlussfolgerung aus Variantenvergleich

Die behandelten Varianten betreffen im Wesentlichen die Situierung der Flächen der Solarthermieanlage. Da die Gesamtfläche in etwa gleich ist, ergibt sich kein großer Einfluss auf den Solarertrag.

Variante A (Freiflächenanlage) hat eine einfache und erprobte Montagesituation, jedoch muss die Mettersdorfer Landesstraße für die Rohrleitungen gequert werden. Dies ist aber eine übliche Aufgabenstellung im Rohrbau und mittels halbseitiger, wechselnder Straßensperre leicht realisierbar. Die typische Dauer einer Straßenquerung beträgt nur ein bis zwei Tage.

Variante B (Fassadenanlage 10 m hoch) scheidet wegen der zu starken Verschattung der süd/östlichen Gewächshausfassade aus, die Abdunkelung im Gewächshaus ist für den Ernteertrag zu groß.

Variante C (Fassadenanlage 6 m hoch) ist wesentlich niedriger aufgebaut als Variante B und erzeugt daher keine unzulässige Verschattung der Gebäudefassade. Allerdings ist die Kollektorfläche stark reduziert.

Variante D (Fassadenanlage 6 m hoch) ist eine Kombination aus Var. A und B, ergibt jedoch höhere Gesamtkosten bei der Solarthermieanlage, da hier wegen der unterschiedlichen Ausrichtung & Neigung der Solarthermiekollektoren ein dritter Solarkreis installiert werden muss. Der Rohrleitungsbau der Fassadenanlage ist zwar spezifisch etwas günstiger als die erdverlegten Leitungen bei einer Freiflächenanlage, jedoch ist die Stahlkonstruktion und Montage für die geneigte Fassadenanlage wesentlich teurer als bei Var. A.

Variante A (Freifläche) ist somit klar Favorit im Sinne einer kostengünstigen Lösung.

Die Ausführung als „Doppelreihen“ (2 Kollektoren übereinander) und der sich daraus ergebende große Abstand zwischen den Kollektorreihen ermöglichen weiterhin eine landwirtschaftlich Nutzung und Bewirtschaftung mit den üblichen Gerätschaften.

Solare Freiflächenanlagen sind keine Bodenversiegelung, sondern erhöhen die Biodiversität durch höhere Bodenfeuchte (teilweise Abschattung und Windbremse verringern die Bodenverdunstung).

4.2 Empfehlungen für die Projektrealisierung

4.2.1 Kollektortype

Die am europäischen Markt verfügbaren Kollektortypen (nicht evakuierter Großflächenkollektor, evakuierter Modulflächenkollektor, evakuierter Röhrenkollektor) sind prinzipiell alle für diesen Anwendungsfall geeignet. Die wesentlichen Unterschiede liegen in den Bereichen:

- Kollektoraufbau: Flachkollektoren vs. Röhrenkollektoren bzw. Art der Rahmenkonstruktion (hat Auswirkung auf Montagesystem)
- Montagesysteme: Anzahl der Befestigungspunkte je Kollektor (hat Auswirkung auf Aufwand/Dauer/Lärm bei Montage sowie v.a. auf Kontroll-/Wartungsaufwand im Betrieb über 20 Jahre)
- Kollektorhydraulik: Anzahl und Art der Hydraulikverbindungen je Kollektor (hat Auswirkung auf Leckagepotenziale sowie v.a. auf Kontroll-/Wartungsaufwand im Betrieb über 20 Jahre)
- Kollektordurchströmung: max. Volumenstrom je Kollektor bzw. Strang bei vernünftigem Druckverlust (hat Auswirkung auf Kollektorfläche je Strang und somit auf die Anzahl der Stränge/Armaturen und den Verrohrungsaufwand in der Gesamtanlage).
Hinweis: Ein Strang ist eine hydraulisch einstellbare Einheit im Gesamtfeld). Der hydraulische Strangabgleich mit entsprechenden Armaturen (z. B. Strangreguliertventile) hat sich weltweit durchgesetzt und bietet immense Vorteile bei Servicearbeiten im Kollektorstrang.

4.2.2 Solarmedium

Als Solarmedium wird international eine Mischung aus Glykol und Wasser verwendet. Manchmal – v.a. durch einen einzigen Röhrenkollektorhersteller in Deutschland – wird auch reines Wasser als Solarmedium propagiert. Als Begründung für den Einsatz von reinem Wasser werden neben dem Grundwasserschutz auch mehrere negative Eigenschaften von Glykol angeführt (schlechtere physikalische-thermodynamische Stoffwerte, Frostschutz, explosive Gase im Stagnationsfall, Temperaturverlust).

Diese stark negativ gefärbten Argumente eines einzelnen Anbieters gegen Wasser-Glykol sind im realen Betriebszustand großer Solarthermieranlagen jedoch nicht relevant und werden im Folgenden detailliert, auf Basis wissenschaftlicher Fakten und realer Betriebserfahrungen mit Wasser-Glykol Gemischen betrachtet.

4.2.2.1 Gefahrenpotenzial Grundwasserschutz

- Ab einer Beimengung von Zusatzstoffen $> 3 \%$ zu reinem Wasser wechselt die Wassergefährdungsklasse (WGK) von nicht wassergefährdend (früher WGK 0) auf wassergefährdend (WGK1, 2, 3).
- Reines Wasser führt in den im Großanlagenbau üblicherweise verwendeten Stahlrohren zu Korrosion und muss daher – analog zu Fernwärmewasser – mit entsprechenden Korrosionsschutz-Inhibitoren dotiert werden. Die Beimengung und Wartung dieser Inhibitoren liegt üblicherweise bei $< 3 \%$ der Gesamtmenge. Fernwärmewasser ist zwar „nicht wassergefährdend“, aber trotzdem kein Trinkwasser!
- Wasser-Glykol Gemische haben einen typ. Glykolanteil von 25 – 35 % und entsprechen der WGK1. Das Glykol besteht bei Flachkollektoren typischerweise aus Mono-Propylen-Glykol (MPG), auch als 1,2 Propandiol bezeichnet. Bei Vakuumkollektoren wird auf Grund der höheren Stagnationstemperaturen oft auch Dipropylenglykol (DPG) eingesetzt. Aktuelle Produktentwicklungen gehen in Richtung Bio-Glykol, die zu 100 % aus Pflanzen bestehen und somit komplett mineralölfrei sind.
- Die im Solarfeld meist unterirdisch verlegten Stahlrohrleitungen werden üblicherweise als KunststoffMantelRohren (KMR) nach Industriestandard ausgeführt und gelten, wie auch im Fernwärmebau, als Stand der Technik. KMR-Leitungen sind doppelwandig ausgeführt. Das Mediumrohr ist ein Stahlrohr und das Schutzrohr ist ein Kunststoffrohr in PE-HD Qualität. Dazwischen ist die Wärmedämmung samt einem professionellen Leckgewarntsystem, welches Leckagen von Außen (Eindringen von Grundwasser) sowie auch von Innen (Austritt von Solarmedium) sofort anzeigt und auch lokalisiert. Damit können event. Leckagen rasche saniert und eine negative Beeinträchtigung des Bodens gut vermieden werden.
- Empfehlung: Die Verrohrung eines Solarfeldes mit KMR-Leitungen samt Leckwarntsystem und die Verwendung von MPG-Wasser-Gemischen ist weltweit erfolgreich im Einsatz und stellt keine Umweltgefährdung dar.

4.2.2.2 Thermodynamische Stoffdaten:

- Die relevanten Stoffdaten eines Solarmediums sind die Spezifische Wärmekapazität c_p [kJ/kg/K], die Wärmeleitfähigkeit λ [W/m/K], die Viskosität ν [m²/s] sowie die Prandtl Zahl Pr [-]. Dese Stoffdaten sind abhängig von der Medium Temperatur und der Konzentration bzw. dem Mischungsverhältnis mit Wasser (s.a. renommierten VDI-Wärmeatlas). Sie beeinflussen v.a. den Energieaufwand der Umwälzpumpen sowie die Dimensionierung von Rohren, Pumpen und Wärmetauschern.

- Der Vergleich in realen Betriebsbedingungen (ca. 30 % Glykolanteil und ca. 80 °C Mediumtemperatur) zeigt nur eine kleine Abweichung.
- Empfehlung: Die Nutzung von Glykol-Wasser-Gemischen stellt aus Sicht der physikalischen Stoffwerte keine relevante Einschränkung dar. Die propagierten Nachteile (größere Rohr-/Pumpendimensionen, schlechterer Wärmeübergang) können bei ausgeführten Großanlagen nicht nachvollzogen werden. Der etwas größere Pumpenstrombedarf steht in keinem Verhältnis zum Frostschutz-Energiebedarf bei reinen Wasseranlagen. Außerdem wird der Pumpenstrom vermehrt durch eine kleine PV-Anlage am Solarfeld selbst erzeugt.

4.2.2.3 Frostschutz:

- Der wohl wesentlichste Unterschied zwischen reinem Wasser und Glykol-Wasser-Gemischen liegt im eigensicherem Frostschutzbetrieb.
- Reines Wasser gefriert unter 0 °C und erzeugt einen Phasenübergang von Flüssig zu Fest. Dabei entsteht eine Volumenvergrößerung, die in geschlossenen Körpern (Rohre, Armaturen, Absorber) eine entsprechende Sprengwirkung erzeugen. Ein Auffrieren des Solarkreises führt daher unweigerlich zu einem Totalschaden v.a. der Kollektoren, da diese den Frosttemperaturen unisoliert ausgeliefert sind.
Für den sicheren Frostschutz von reinen Wassersystemen muss daher bei einer Mediumtemperatur unter + 5 °C eine unterbrechungsfreie Wärmezufuhr in alle Kollektoren sichergestellt werden. Dazu bedarf es Temperaturmessungen an jedem Strang, Stromversorgung der Pumpen im Solarkreis und im Sekundärkreis bis zur Wärmequelle (Wärmespeicher, FW-Netz oder Kesselanlage) und entsprechende Wärmeenergie.
- Glykol-Wasser-Gemische mit einem typ. Glykolanteil von 30 – 35 % haben einen eigensicheren Frostschutz bis ca. – 20 °C. Bei tieferen Temperaturen entsteht vorerst ein Eisbrei, ab ca. -25 °C kommt es dann zur Sprengwirkung im Absorber. Bei solch tiefen Außentemperaturen gibt es aber trotzdem Tage mit teilweiser oder voller Solarproduktion, wobei Außentemperaturen auch unter 0 °C einen relevanten Wärmeeintrag in den Solarkreis ermöglichen.
- Bei Stromausfall für die Pumpen besteht bei Einsatz Glykol-Wasser-Gemischen wegen dem systembedingten Eigenschutz bis – 20 °C ausreichend Zeit, eine entsprechende Ersatz-Stromversorgung für die Pumpen einzurichten. Bei reinen Wasser-Anlagen besteht jedoch unmittelbarer Handlungsbedarf, weswegen hier oftmals aufwendige und teure USV-Anlagen errichtet werden müssen.

- Empfehlung: Die Verwendung von reinem Wasser als Solarmedium wird wegen der evidenten Gefahr eines frostbedingten Totalschaden dringend abgeraten.

4.2.2.4 Explosive Gase:

- Reines Propylenglykol wird über ca. 180 °C teilweise thermisch zersetzt. Dabei entstehen reizende Substanzen (z. B. Acrolein), sowie brennbares Methan.
- In der Realität von großen Freiflächen-Solarthermieanlagen wird jedoch ein ca. 30 %-iges Glykol-Wasser-Gemisch verwendet.
- Kommt es im Solarkreis zum Stagnationsfall (keine Wärmeabfuhr aus den Solarkollektoren in den Sekundärkreis) steigt der Anlagendruck durch die weitere Medium Erwärmung bis zum Öffnungsdruck der Sicherheitsventile. Dabei entweicht ein Gemisch aus flüssigem Glykol-Wasser und Methan vermischt mit dampfförmigen Wasser und wird in den Solar-Überlaufbehälter geleitet (damit nach Beendigung der Stagnation das aufgefangene Solarmedium wieder in den Solarkreis zurückgepumpt werden kann).
- Die Zündfähigkeit für einen trockenen Glykolnebel wird in der Fachwelt mit ca. 420 °C angegeben. Eine Untersuchung der Zündfähigkeit des nassen Gemisches ist dem Autor trotz Recherche nicht bekannt. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass der feuchte Nebel auch bei sommerlichen Umgebungsbedingungen die Zündfähigkeitsgrenze jemals überschreitet.
- Empfehlung: Die Verwendung von Glykol-Wasser-Gemischen als Solarmedium stellt keine Brand- bzw. Explosionsgefahr dar. Es ist in Europa kein diesbezüglicher Schadensfall evident.

4.2.2.5 Temperaturverlust:

- Die vom einleitend erwähnten, deutschen Röhrenkollektorhersteller propagierte direkte Anbindung der Röhrenkollektoren an das FW-System ist bei großen Solarthermie-Anlagen systembedingt nicht möglich.
- Die Verwendung großer Wärmespeicher von über 10.000 m³ können nur als drucklose Behälter ausgeführt werden. Eine Systemtrennung zwischen Solarkreis und Wärmespeicher ist daher zwingend erforderlich.
- Systemtrennungen erfolgen bei großen Solarthermie-Anlagen typischerweise mit Plattenwärmetauschern, deren Auslegung sich an wirtschaftlichen Kriterien orientiert und die üblicherweise eine Grädigkeit von ca. 3 K aufweisen. Diese Grädigkeit ist in der Wärmespeicherbeladung somit – unabhängig vom Solarmedium – immer zu berücksichtigen.

- Empfehlung: Die Verwendung von Glykol-Wasser-Gemischen als Solarmedium stellt keine Beeinträchtigung des Anlagenkonzeptes bzgl. der notwendigen Systemtrennung bei großen Solarthermie-Anlagen dar.

4.2.3 Solarstation

Die Solarstation dient der Systemtrennung bzw. der Wärmeübertragung zwischen Solarkreis und Sekundärkreis. Sie beinhaltet die dazu relevanten Komponenten (Pumpen, Armaturen, Wärmetauscher, Druckhaltung, Sicherheitsventile) samt der dazu erforderlichen EMSR (Elektro-, Mess- und Regeltechnik). Alle Anbieter haben dazu ihre eigenen Standards und Detaillösungen.

Die Solarstation kann als vormontierte Containerlösung (meist 40´ Seecontainer), in Modulen auf einer Rahmenkonstruktion vormontiert oder als Vorort-Installation geliefert werden.

Jede Form der Vormontage und Vor-Inbetriebnahme erhöht die Sicherheit bzgl. Dichtheit und Funktionsweise. Sie verringert auch die Installationsarbeiten im Technikgebäude und optimiert so die Zusammenarbeit verschiedener Systemlieferanten. Werksfertigungen und -prüfungen sind einer Fertigung und Einzelmontage auf der Baustelle möglichst vorzuziehen.

Die Größe und Funktionalität der Solarstation erfordert eine Konstruktion und Ausführung in „Industrie Standard Qualität“.



Abbildung 15: Vormontierte/-geprüfte Solarstation DN150 in Containerbauweise

C) Projektdetails

5 Umsetzungsplan

5.1 Finalisierung Gesamtsystem

5.1.1 Fixierung Gebäudeabmessung und Wärmebedarf

Abhängig vom Ergebnis der Behördenverfahren kann sich der Gebäude-Grundriss ändern. Außerdem hat die zukünftige Fruchtfolge bzw. der Anbauplan für die nächsten Jahre einen spürbaren Einfluss auf den Wärmebedarf. Aktuelle Entwicklungen der Gewächshaustechnologien beeinflussen ebenfalls den spezifischen Wärmebedarf (Stichwort: zweiter Folienschirm unterm Dach als zusätzliche Konvektionsbremse zur Verringerung der Wärmeverluste nach Oben).

5.1.2 Optimierung Simulationsmodell

Für die Basisauslegung der Hauptkomponenten ist eine Optimierung des Simulationsmodells in Polysun unabdingbar. Im Rahmen der Fachveranstaltung „Polysun Anwendertag 2024“ im Juni d. J. ist seitens des Berichterstellers ein Folgeworkshop mit den Polysun-/eTank-Entwicklern geplant, bei dem die Sensitivität und Analysemöglichkeit des Erdwärmespeichers verbessert wird.

5.1.3 Funktionsschema Gesamtsystem

Für die Finalisierung des Gesamtschemas sind folgende Themen außerhalb der Solaranlage noch zu klären bzw. zu finalisieren:

- Optimierung der Leistungsregelung der Wärmepumpe(n) mit einer drehzahlgeregeltem Einzelanlage oder mit mehreren, kaskadierbaren kleineren Wärmepumpen. Dabei ist auch das Thema Ausfallsicherheit zu berücksichtigen.
- Betriebsdaten bestehender eTank-Lösungen zur Validierung des angedachten Hydraulikkonzeptes

Nach Klärung dieser Themen ist eine möglichst einfache Gesamthydraulik anzustreben, damit die Steuerung und Regelung dieser Gesamtsystemlösung möglichst automatisch (ohne täglicher Bedienung durch Netzwerke) erfolgen kann.

5.2 Ausschreibung Gesamtsystem

5.2.1 Generalplanung Gesamtsystem

Das Zusammenwirken von Solarthermie, saisonaler Erdwärmespeicher, Wärmepumpe und teilw. hoher Lastspitzen der Gewächshausheizung in Verbindung mit den restriktiven Rahmenbedingungen, dass die WP nur mit PV-Eigenstrom betrieben werden soll, erfordert eine komplexe Betriebsführung bzw. Regelstrategie der beteiligten Systeme.

Die Generalplanung muss sich daher nicht nur mit der Komponenten-Auslegung, sondern v.a. auch mit den spezifischen Besonderheiten von witterungsbedingter Solarproduktion, verfügbarem Wärmespeichervolumen, stromgeführten Wärmepumpenbetrieb und lastgeführter Wärmeabgabe an die Gewächshausheizung auseinandersetzen.

5.2.2 Detailplanung Systemintegration

Die Systemintegration der Solarthermie in große Wärmespeicher ist Stand der Technik und wird mittels Schichtladetechnik und quasi-laminarer Einströmung in den wassergefüllte Wärmespeicher realisiert. Im Bereich der Erdwärmespeicher mit Schotter/Sand als Speichermedium sind entsprechende Zonenregelungen für eine exergetisch optimierte Be- und Entladung erforderlich.

Das Systemkonzept sollte daher nach dem Grundsatz „so einfach wie möglich und so komplex wie notwendig“ erfolgen. Dies hat v.a. Auswirkungen auf die Sicherheit der automatischen Betriebsführung der Gesamtanlage.

6 Publikationen und Verbreitungsaktivitäten

Die Produktion von regionalem Obst und Gemüse in Gewächshäusern ist nur oberflächlich betrachtet ein Vorteil für das Klima. Zwar mögen die Lebensmittel besser schmecken als ihre importierten „Verwandten“, doch fällt die CO₂-Bilanz um den Faktor 20 negativer aus (siehe Seite 7), als würde man die selbe Fruchtmenge aus einer Entfernung von rund 1.000 km in unsere Geschäfte „herankarren“.

Zudem wurde im Dezember 2022 in nahezu allen Medien berichtet, dass die Produktion regionaler Lebensmittel in Gewächshäusern oftmals eingestellt wurde, weil die hohen Energiekosten (Erdgas) nicht mehr an die Konsument:innen weitergegeben werden können.

Dementsprechend wird angenommen, dass die Bewerbung des klima- und somit auch energiekostenneutralen Gewächshauses – in der Szene – durchaus auf „fruchtbaren Boden“ fällt. Das Konzept soll dementsprechend bei

- allen kommerziellen Medien (TV, Internet, Printmedien)
- allen einschlägigen Fachmedien (Gewächshaus-Errichter, Gärtner)
- Fachmessen

verbreitet und bekannt gemacht werden.

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.