Aquaponisches Solar Gewächshaus

ein

Integriertes Lebensmittel- und Energiesystem (IFES Typ III)

Endbericht

badenova AG & Co. KG
Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz
Tullastr 61, 79108 Freiburg
als e-mail an: anke.held@badenova.de
Projektnummer: 2012-15

EBF GmbH
Kleine Bach 34
64646 Heppenheim
+49 (0) 6252 128511

franz.schreier@ebf-gmbh.de

7. Februar 2015

Inhaltsverzeichnis

1 Projektüberblick 4

2 Projektmotivation und Hintergrundinformation 6

3 Konzept des Aquaponischen Solar Gewächshauses 9

4 Eingesetzte Schlüssel-Technologien 11

4.1 Gewächshausstruktur 11

4.2 ETFE-Folie 13

4.3 Multifunktionales Photovoltaik-System 14

4.4 Schwefel- Plasma Lampe 16

4.5 PAR-Licht-Folie 17

4.6 Aquaponisches System 18

5 Projektbeschreibung 19

5.1 Grundlegendes 19

5.2 Gebäudestruktur 21

5.3 ETFE-Dach 26

5.3.1 ETFE-Folie und Befestigungssystem 26

5.4 Festdach und Ortgänge 31

5.5 Außenwände 34

5.6 Bodenflächen 36

5.7 Kaltgang 37

5.8 Außen-Anlagen 39

5.9 Aquaponisches System 40

5.9.1 Pflanzenbecken 42

5.9.2 Pflanzenflöße 43

5.9.3 Fischbecken 45

5.9.4 Feststofffilter („Wurmfilter“) 46

5.9.5 Biofilter 48

5.9.6 Kreislaufpumpe und Hydraulik der Aquaponik 50

5.9.7 Sauerstoff-Anreicherung 51

5.9.8 Kompressor 52

5.10 Wasserhaushalt 53

5.10.1 Trinkwasseranschluss 53

5.10.2 Zisterne 53

5.11 Solares Energiesystem 54
5.11.1 Abschattungs-System / PV-Lamelle 54
5.11.2 Thermische PV-Lamelle 57
5.11.3 Lamellen-Antrieb 59
5.11.4 Wärme-Pufferspeicher 61
5.11.5 Laderegler und Wechselrichter 63
5.11.6 Batteriespeicher 63
5.12 Kontrolle von Umweltbedingungen 64
5.12.1 Erd-Wärmetauscher 64
5.12.2 Lüftungsklappen und zweischalige Nordwand 66
5.12.3 Klimagerät mit Wärmepumpe 69
5.12.4 Bodenkanal 71
5.12.5 Wärmeschutz- Rollo 72
5.12.6 Luftbefeuchtung 74
5.12.7 Luftentfeuchtung 75
5.12.8 Rotlicht-Phasen-Verschiebung 75
5.12.9 Schwefel-Plasma-Lampen 76
5.12.10 Kohlenstoffdioxid-Haushalt 77
5.13 Schalt- und Steuerungstechnik 78
5.13.1 Kabelverlegung 78
5.13.2 Schalt- und Steuerschrank 79
5.13.3 Stromversorgung 79
5.13.4 Betriebsbeleuchtung 80
6 Fazit 81
7 Fotodokumentation 83
8 Presse 85

1 Projektüberblick

Mit vorliegendem Endbericht ist die Errichtung und Inbetriebnahme des

Aquaponischen Solar Gewächshauses

in

Neuenburg am Rhein

beschrieben.

Mit diesem, vom Badenova Innovationsfond geförderten Projekt wurde erstmals das Gesamtkonzept des Aquaponische Solar Gewächshauses mit all seinen Komponenten realisiert. Neben den betriebsnotwendigen Einrichtungen ist das Gewächshaus - mit dem Ziel des maximalen Erkenntnisgewinns - mit umfangreicher Sensorik und Technik ausgestattet, um die thermodynamischen und betrieblichen Sachverhalte erfassen und dokumentieren zu können.

Die somit erlangten Daten und Informationen sollen zur weiteren technischen und wirtschaftlichen Optimierung des Konzepts bis zur Marktreife genutzt werden.

Darüber hinaus wird das Aquaponische Solargewächshaus als Beispiel für die Integrierte Lebensmittel- und Energieproduktion der Öffentlichkeit gezeigt und im Rahmen von Führungen und Seminaren erläutert.

Während einer ersten Betriebsphase werden ab Januar 2015 für die Dauer von zwei Jahren die Erträge (solarer Strom, Gemüse und Fische) ermittelt und dem Energieaufwand (für Beheizung, Belüftung und Beleuchtung sowie für die Pumpen und die Sauerstoffversorgung des aquaponischen Systems) sowie den sonstigen Betriebskosten gegenüber gestellt. Nach Abschluss dieser ersten Betriebsphase werden die entsprechenden Ergebnisse in einem separaten Bericht dokumentiert.

Die produzierten Lebensmittel werden der lokalen Gastronomie und den Besuchern des Gewächshauses angeboten.

Bevor in den folgenden Kapiteln das errichtete Gewächshaus in all seinen Komponenten erläutert wird, seien nachfolgend noch einmal die grundlegenden Aspekte aufgezeigt, die verdeutlichen, dass sich verstärkt Integrierte Lebensmittel- und Energiesysteme sowie mehr Eigenverantwortung für die Lebensmittelversorgung in unserer Gesellschaft etablieren müssen. Aus diesen Aspekten erwuchs auch die Motivation, die letztlich zur Entwicklung des Aquaponischen Solar Gewächshauses führte.

Wir danken dem Badenova Innovationsfond für die großzügige und unkomplizierte Unterstützung, womit dieses Projekt erst möglich wurde!

Darüber hinaus danken wir auch der Stadt Neuenburg für deren Unterstützung und das sehr konstruktive politische Umfeld.

Ebenso möchten wir uns bei der Sparkasse Markgräflerland für das entgegengebrachte Vertrauen und die Zwischenfinanzierung des Projekts bedanken.

Weiterhin sei dem Anglerverein, auf dessen Standort wir das Gewächshaus errichten durften, für die praktische und freundliche Unterstützung in allen Belangen gedankt.

Ein herzlicher Dank geht auch an die Firma AGC GREEN-TECH Co. Ltd (www.agc.com) für die längjährige Zusammenarbeit und die Begleitung der Entwicklungen bis zum heutigen Tage.

Dem Architektur-Büro Gothe danke ich für seine freundliche und konstruktive Unterstützung in allen genehmigungsrechtlichen und baulichen Belangen.

Nicht zuletzt gebührt der Familie und der Firma Herbert aus Bensheim (www.herbert.de) ein besonderer Dank für ihre langjährige Unterstützung. Ihr ermutigender Zuspruch gab letztlich den Impuls, die Entwicklung des Aquaponischen Solar Gewächshauses weiter voran zu treiben. Die Firma Herbert hat mit Ingenieurleistungen und der Lieferung der gesamten Versorgungstechnik maßgeblich zum Erfolg des Projekts beigetragen!

Ferner danke ich allen freiwilligen Helfern, Freunden und insbesondere auch meiner Frau und meinen drei Töchtern, die gleichermaßen das Potenzial und den Nutzen des Aquaponischen Solar Gewächshauses sehen und während des gesamten Projekts eine sehr große Unterstützung waren.

Vielen Dank!

Franz Schreier

EBF GmbH

2 Projektmotivation und Hintergrundinformation

Stark wachsende Weltbevölkerung, zur Neige gehende Ressourcen, drohender Kollaps des Weltwirtschaftssystems sowie fortschreitender und sich selbst verstärkender Klimawandel sind Faktoren, die - und auch bereits jeder Einzelne für sich - die zukünftige Sicherung der Grundbedürfnisse unserer Gesellschaft gefährden werden.

Neben der Wasser- und Energieversorgung als Solcher, ist die Bereitstellung ausreichender Mengen an Lebensmittel keineswegs als dauerhaft sicher anzusehen.

Dies ist insbesondere durch

- die zunehmende Industrialisierung der Lebensmittelproduktion,
- die zunehmende Globalisierung, Spezialisierung und Effizienzsteigerung ohne den Blick für kleinräumige Stoff- und Wirtschaftskreisläufe vor Ort sowie
- die dramatische Abhängigkeit der gesamten Versorgungskette von günstigem Erdöl und der Verfügbarkeit von Energie

begründet.

Die derzeitige Lebensmittelversorgung, insbesondere auch die der entwickelten Welt, ist ein sehr fragiles Gebilde.

Alleine die Tatsache abnehmender Erdöl-Produktion (Peak-Oil) sollte zum Anlass genommen werden, das System der Lebensmittelversorgung vom Grundsatz her völlig neu zu überdenken und neu aufzusetzen.

Es ist jedoch kaum eine Regierung oder Organisation motiviert für alternative, ökologisch nachhaltige und stabile Versorgungskonzepte Initiative zu ergreifen – „Der Markt regelt das doch bestens!“.

Doch die großen multinationalen Wirtschaftsunternehmen der Energie- und Nahrungsmittelindustrie sind ausnahmslos gewinnorientiert und haben kein ausdrückliches Mandat der Gesellschaft, die Versorgungssicherheit nachhaltig zu erhalten bzw. zu sichern.

Verschärfend kommt hinzu, dass der Lebensmittelanbau und der Anbau von Energiepflanzen um wertvolle Ackerflächen konkurrieren (Teller oder Tank?).

Einige wenige Länder haben jedoch schon erkannt, dass das Thema „Lebensmittel-Versorgungssicherheit“ (Food Security) in Zukunft von essentieller Bedeutung sein wird und bemühen sich heute bereits ansatzweise um ihre Souveränität bei der Lebensmittelversorgung.

Ein Zusammenbruch der Lebensmittelversorgung oder auch nur der erwartete und bereits einsetzende erhebliche Preisanstieg bei Lebensmitteln wird uns alle betreffen.

Die Anpassungsfähigkeit unserer Gesellschaft an die sich schnell verändernde Situation ist kritisch infrage zu stellen. Zwar haben wir das Wissen über die Technologien für den Paradigmenwechsel in unserer Lebensmittelversorgung verfügbar, jedoch sind die im exponentiellen Anstieg befindlichen kritischen Parameter unseres Gesellschaftssystems und unserer Umwelt derart dynamisch, dass uns nur wenig Zeit bleibt, gegensteuernde Maßnahmen einzuleiten.

Vergleichbare Konstellation hat es in der Menschheitsgeschichte noch nicht gegeben.

Neben den technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Folgen dieses Übergangs von der zu Ende gehenden fossilen zur post-fossilen Gesellschaft, sind die für den einzelnen Menschen zu erwartenden Konsequenzen kaum absehbar.

In den kommenden Jahren wird es diese Verluste in unserer Gesellschaft und für jeden Einzelnen geben.

Der Verlust des Arbeitsplatzes, des Lifestyles, der Verlust des gewohnten Wohlstands, der Verlust von Beziehungen - und durchaus möglich, der Verlust des Lebens -, wenn die Gesellschaft durch die Abschwächung der Wirtschaft und die Knappheit lebensnotwendiger Ressourcen zunehmend traumatisiert wird.

Peak Oil, das Ende der auf Wachstum setzenden Wirtschaft und des Finanzwesens und der eskalierende Klimawandel werden alle Bereiche unseres Lebens verändern. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich ein neues Normal einstellen wird, das voraussichtlich nicht mehr viel mit dem Alten, das wir kennen, zu tun haben wird.

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) schreibt hierzu:

> *„Der WBGU begreift den nachhaltigen weltweiten Umbau von Wirtschaft und Gesellschaft als „Große Transformation". Auf den genannten zentralen Transformationsfeldern müssen Produktion, Konsummuster und Lebensstile so verändert werden, dass die globalen Treibhausgasemissionen im Verlauf der kommenden Dekaden auf ein absolutes Minimum sinken und klimaverträgliche Gesellschaften entstehen können. Das Ausmaß des vor uns liegenden Übergangs ist kaum zu überschätzen. Er ist hinsichtlich der Eingriffstiefe vergleichbar mit den beiden fundamentalen Transformationen der Weltgeschichte: der Neolithischen Revolution, also der Erfindung und Verbreitung von Ackerbau und Viehzucht, sowie der Industriellen Revolution, die von Karl Polanyi (1944) als „Great Transformation" beschrieben wurde und den Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft beschreibt."*

Unsere Weltgesellschaft befindet sich in vielerlei Hinsicht in einer „Großen Transformation" - von der fossilen zur post-fossilen Gesellschaft. Diese Transformation kann mit drastischen Auswirkungen und unabsehbaren Folgen für jeden Einzelnen erfolgen.

Durch den WBGU wird plausibel begründet und dringend empfohlen, weitreichende Vorkehrungen zu treffen, um die Auswirkungen der unausweichlich eintretenden Transformation zu dämpfen. Neben dem konsequenten Übergang zu erneuerbaren Energien und einer Umstellung der Wirtschaft hin zu Stoff- und Energiekreisläufen, wird eine Änderung des Lebensstils eines jeden Einzelnen erforderlich werden.

Fakten und Sachverhalte, die zu diesen Annahmen führen, sind in zwei Schriften bedeutender deutscher Institutionen sachlich dargelegt und müssen an dieser Stelle daher nicht vertieft werden.

Diese Schriften sind

> *„Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation"*
>
> Hauptgutachten 2011
>
> Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)
>
> www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2011-transformation/

und

> *„Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen"*
>
> Zentrum für Transformation der Bundeswehr
>
> Dezernat Zukunftsanalyse
>
> www.bundeswehr.de (Suchbegriff Peakoil eingeben)

Diese Szenarien vor Augen, muss die Gesellschaft dringend nach Lösungen suchen, wie insbesondere die Lebensmittelversorgung alsbald nachhaltig, ökologisch, dezentral, autonom und unabhängig von fossilen Energien gesichert werden kann.

Dabei können *Integrierte Lebensmittel- und Energiesysteme* wie beispielsweise das Aquaponische Solar Gewächshaus eine bedeutende Rolle spielen und einen Beitrag zur Neugestaltung unserer Zukunft leisten.

Das Aquaponische Solar Gewächshaus ermöglicht die gleichzeitige Produktion von Gemüse, Fisch und solarem Strom. Darüber hinaus ist bei erheblich gemindertem Heizenergiebedarf und besten Lichtverhältnissen die Erzeugung hochwertiger Lebensmittel das ganze Jahr über mit hohen Erträgen möglich. Dies bietet nicht nur privaten Betreibern (einzelnen Personen oder Gemeinschaften) die Möglichkeit zur Eigenversorgung mit Lebensmitteln sondern auch dem professionellen Gärtner die Perspektive zur Erschließung neuer Geschäftsfelder.

Die Funktionalität des Aquaponischen Solar Gewächshauses wurde mit einem ersten Pilotprojekt (Grundfläche 50 m²) in der Nähe von Heppenheim/Hessen bereits gezeigt.

In einem nächsten Schritt sollte das Konzept in Neuenburg am Rhein in einer Größe demonstriert werden, die später als Standard eingesetzt werden kann.

Mit diesem Projekt soll gezeigt werden, wie und in welchem Umfang das Konzept eine ernsthafte Komponente zur lokalen Lebensmittelversorgung sein kann.

Darüber hinaus soll das Gewächshaus als Demonstrationsprojekt für ein internationales Publikum dienen. Es sollen einerseits die eingesetzten neuen Technologien gezeigt und begreifbar gemacht und andererseits die damit möglichen Geschäftsmodelle der Erzeugung und der Direktvermarktung von Lebensmitteln gezeigt werden.

Die Technologien des Aquaponischen Solar Gewächshauses können auch sehr gut bei der Sanierung oder auch dem Neubau von Gewächshäusern eingesetzt bzw. angewandt werden.

Im Folgenden ist nun das grundlegende Konzept des Aquaponischen Solar Gewächshauses und seinen Technologien erläutert.

3 Konzept des Aquaponischen Solar Gewächshauses

Mit dem integrierten Ansatz des Aquaponischen Solar Gewächshauses sind zwei, für sich auch jeweils einzeln durchaus relevante, Konzepte miteinander in Verbindung gebracht.

Dies sind zum einen die Aquaponik und zum anderen das modifizierte und mit neuen Technologien ausgestattete chinesische „angelehnte“ Gewächshaus (Lean-to Greenhouse).

Die Aquaponik ist ein Kulturverfahren, das die Techniken der Aquakultur (Aufzucht von Fischen) und der Hydroponik (erdlose Kultivierung von Nutzpflanzen) verbindet.

Der Begriff Aquaponik ergibt sich somit als Wortkreation:

Aquaponik = **Aqua** (kultur) + (Hydro) **ponik**

Es ergibt sich hierbei ein geschlossener Wasser- und Nährstoffkreislauf, der mehr oder minder automatisiert und selbstregelnd betrieben werden kann.

Die Fische liefern die Nährstoffe für die Pflanzen und die Pflanzen reinigen entsprechend das Wasser, das dann wieder zurück ins Fischbecken fließt. Aquaponik ist somit ein geschlossenes rezirkulierendes Kultursystem für die gleichzeitige Produktion von Nutzpflanzen und Fischen.

Aquaponische Systeme benötigen definierte Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Licht, etc.) und können im Freien ganzjährig daher nur in warmen Klimazonen betrieben werden.

Damit ein Betrieb auch in gemäßigten oder kühlen Klimazonen ganzjährig möglich werden kann, ist es erforderlich, die Aquaponik mit einer entsprechenden Schutzhülle (Gewächshaus) zu umgeben. Damit dies, wie bei konventionellen Gewächshäusern der Fall, nicht mit einem hohen Energieverbrauch verbunden ist, wurde beim Aquaponischen Solar Gewächshaus das Grundkonzept des bereits sehr energieeffizienten chinesischen Lean-to Gewächshauses verwendet.

Dies vorausgeschickt, werden nun die Hauptkomponenten des Aquaponischen Solar Gewächshauses funktional beschrieben.

Das in Neuenburg realisierte Aquaponische Solar Gewächshaus nutzt neben etablierten Komponenten und Materialien auch einige neue oder bislang am Markt nicht verfügbare Technologien, mit denen die Wachstumsbedingungen der Pflanzen gegenüber konventionellen Gewächshäusern deutlich verbessert und gleichzeitig der Energieeinsatz erheblich gemindert werden kann.

Die Hauptkomponenten des Gewächshauses sind:

- Gewächshaus-Struktur ähnlich dem chinesischen Lean-To-Greenhouse (angelehntes Gewächshaus, manchmal auch als No-Energy-Greenhouse bezeichnet),
- hochtransparente ETFE-Folie (F-Clean) als Eindeckungsmaterial,
- Multifunktionales Photovoltaik-System (innen liegende mit PV ausgestattete Abschattungslamelle),
- energieeffiziente und Wachstum fördernde Sulphur Plasma Lampe,
- PAR-Licht-Folie zur Verstärkung des photosynthetischen Lichtanteils ohne Energieeinsatz und
- Aquaponisches System.

Diese Elemente des (voll ausgestatteten) Aquaponischen Solar Gewächshauses sind in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

In dieser Vollausstattung ist das Gewächshaus für den Einsatz in mittleren Breiten, sprich in Mitteleuropa oder ähnlichen Klimabedingungen, geeignet. Es kann sowohl bei hohen sommerlichen als auch bei tiefen winterlichen Temperaturen und Einstrahlbedingungen, das Raumklima mit vergleichsweise geringem Aufwand an Zusatzenergie, im Komfortfenster der Pflanzen und Fische gehalten werden.

Um dies zu erreichen, ist das Gewächshaus 2-lagig mit der hochtransparenten ETFE-Folie (F-Clean) eingedeckt, mit einem Abschattungssystem (PV-Lamelle) gegen hohe sommerliche Einstrahlungen und mit Sulphur Plasma Lampen zur Verlängerung der Photoperiode in den kalten und trüben Wintermonaten ausgestattet. Zusätzlich schützt ein temporär geschlossenes Wärmeschutzrollo das Gewächshaus vor zu hohen Wärmeverlusten in winterlichen Nachtstunden und Kälteperioden ohne Sonneneinstrahlung.

Wird das Aquaponische Solar Gewächshaus an anderen Standorten realisiert so kann nun, abhängig von äußeren Klimabedingungen bzw. vom Breitengrad und der Höhe über dem Meeresspiegel, die eine oder andere Komponente weggelassen werden. Das Gewächshaus kann somit bei gleichbleibendem Grundkonzept wirtschaftlich an die jeweiligen klimatischen Rahmenbedingungen oder Pflanzkulturen angepasst werden.

So wird ein Gewächshaus im Norden (beispielsweise Canada oder Skandinavien) nicht mit einer PV-Lamelle ausgestattet sein. Strom kann in diesen Breiten mit Wasserkraft, Wind oder kleinen Biomasse KWK-Einheiten sinnvoller erzeugt werden. Jedoch ist dort aufgrund des geringeren Solardargebots die Sulphur Plasma Lampe von essentieller Bedeutung, um die Wachstumsperiode der Pflanzen zu verlängern und die Photosynthese in den Wintermonaten in ausreichendem Maße zu ermöglichen.

Ein Gewächshaus im südlichen Spanien oder dem Südwesten der USA hat dagegen auch im Winter genug Licht und benötigt daher im Allgemeinen keine künstliche Zusatzbeleuchtung. Jedoch sind dort dann die Abschattung mit der PV-Lamelle sowie die damit verbundene Reduzierung der Kühllasten und Raumlufttemperaturen von besonderer Bedeutung. In diesen heißen Gegenden kann ggf. auch das Wärmeschutzrollo entfallen.

So ist das Aquaponische Solar Gewächshaus mit der Variation seiner Komponenten in allen Klimazonen dieser Welt zur autonomen Lebensmittelerzeugung einsetzbar. Bei hohen solaren Einstrahlwerten wird das Gewächshaus ganzjährig zu einem solaren Kraftwerk.

Grundsätzlich kann das Gewächshaus auch sehr gut mit anderen Kultursystemen als der Aquaponik betrieben werden. Der Vorteil der Aquaponik ist jedoch die hohe thermische Speicherkapazität der umlaufenden Wassermasse. Diese Wassermasse dämpft die Temperaturen im Sommer und stabilisiert sie im Winter.

4 Eingesetzte Schlüssel-Technologien

In diesem Kapitel werden die zuvor benannten Hauptkomponenten des Aquaponischen Solar Gewächshauses vom Grundsatz her erläutert, bevor sie in Kapitel 5 beschrieben sind, wie sie in Neuenburg tatsächlich ausgeführt wurden.

Darüber hinaus wurden in Neuenburg im Detail weitere Neuerungen realisiert, die, ebenfalls in Kapitel 5, beschrieben werden.

4.1 Gewächshausstruktur

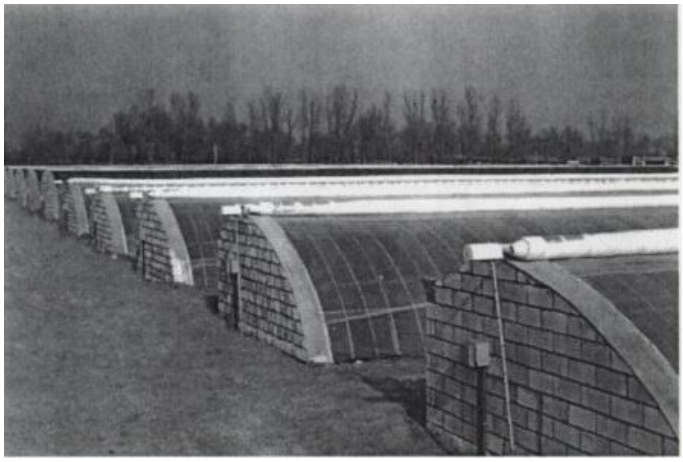
Die Gewächshaus-Grundstruktur als Solche ist, wie bereits erwähnt, in Anlehnung an das chinesische Lean-To - bzw. No-Energy-Greenhouse (angelehntes oder Null-Energie-Gewächshaus) konzipiert.

Dieser Gewächshaustyp ist einer der am häufigsten vorkommenden auf dem Markt. Alleine der Anteil von China wird auf etwa 350.000 ha geschätzt.

Zum Vergleich: In Almeria stehen Foliengewächshäuser mit einer Gesamtfläche von etwa 32.000 ha und in ganz Deutschland hat der gesamte Unterglas-Gartenbau eine Fläche von etwa 3.000 ha, also noch nicht einmal 1% der Fläche des No-Energy-Greenhouses.

Das aus der seinerzeitigen chinesischen Mangelwirtschaft entstandene Gewächshaus entwickelte sich in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts. Es wurde anfangs als ein an einen Erdhügel angelehntes Gewächshaus konzipiert und hat sich im Laufe der Jahrzehnte, auch mit Begleitung durch chinesische Hochschulen zu einem Standard in China entwickelt.

Nachfolgende Bilder zeigen ausgeführte Beispiele.



Das No-Energy-Greenhouse zeichnet sich dadurch aus, dass die Nord-, Ost- und West-Wand nicht transparent und aus schweren Baustoffen gestaltet sind. Darüber hinaus sind die Wände, ebenso wie das Dach, sehr gut gegen Wärmeverluste gedämmt. Einzig die einfach konkav gewölbte Südseite ist mit einer transparenten Folie belegt. Aufgrund dieser einfach gewölbten Form der transparenten Fläche ist es nun leicht möglich, einen - und nur einen - temporären Wärmeschutz anzubringen, um das Gewächshaus vollständig vor zu hohen Wärmeverlusten zu schützen. Dies ist bei den typischen europäischen Gewächshäusern (Venlo-Typ oder Folientunnel) nicht praktikabel und wirtschaftlich nicht möglich.

Durch die schwere Bauweise der Bauteile (Seitenwände, Nordwand und Dach) und deren gute Wärmedämmung sowie durch den temporären Wärmeschutz nutzt das Gewächshaus bestens die tagsüber einfallende Solarenergie. Die Wärme wird in den Bauteilen speichert, wodurch die Klimabedingungen im Gewächshaus - auch ohne Zusatzheizung - in einem für Pflanzen unkritischen Zustand gehalten werden.

Dieses Grundkonzept des No-Energy-Greenhouse wurde nun unter Nutzung von Passivhaus-Elementen mit dem Aquaponischen Solar Gewächshaus konsequent weiterentwickelt.

So sind gegenüber dem chinesischen Vorbild beispielsweise erdberührende Bauteile sehr gut gedämmt, eine Kältesenke integriert, die Nordwand lufttechnisch aktiviert und Ansaugkanäle für den notwendigen Außenluftwechsel in das Erdreich gelegt.

All dies mindert sowohl dessen Heizlast als auch dessen Kühllast.

Das Aquaponische Solar Gewächshaus ist, gegenüber dem chinesischen Lean-to-Greenhouse mit einer qualitativ hochwertigen ETFE-Folie (F-Clean) 2-lagig eingedeckt. Darüber hinaus ist es mit abschattenden und Strom erzeugenden PV-Lamellen sowie der Sulphur Plasma Lampe zur effizienten Erzeugung von Assimilationslicht ausgestattet. Diese Komponenten sind nachfolgend beschrieben.

4.2 ETFE-Folie

ETFE ist ein innovatives Eindeckungsmaterial, mit dem die Lichtverhältnisse innerhalb des Gewächshauses und damit das Pflanzenwachstum gegenüber anderen, üblicherweise im Gartenbau eingesetzten Materialien, deutlich verbessert werden können.

ETFE-Folie ist aufgrund ihrer hohen Zug- und Weiterreißfestigkeit, Anti-Haft-Eigenschaften und ihres Selbstreinigungeffektes sowie ihrer UV-Transparenz und UV-Stabilität, gegenüber Polyethylen (PE), Glas, Polycarbonat oder PMMA ein ideales und langlebiges Eindeckungsmaterial für Gewächshäuser.

Die erwartete Lebensdauer liegt weit über 25 Jahre.

Insbesondere die hohe Transparenz und die UV-Durchlässigkeit begünstigen das Pflanzenwachstum und halten aufgrund der natürlichen Entkeimungsleistung der UV-A Strahlung die Keimbelastung im Gewächshaus auf einem Minimum. Das Vorhandensein von UV-Strahlung hemmt darüber hinaus das Längenwachstum der Pflanzen, wodurch sie stämmiger und widerstandsfähiger werden und keine, wie im Gartenbau ansonsten üblich, Stauchungsmittel eingesetzt werden müssen.

Folgendes Bild zeigt eine Installation mit ETFE-Folie.

Weitere Informationen zu den unter dem Markennamen F-Clean am Markt verfügbaren ETFE-Folien sind unter www.f-clean.nl/index.php?pg=home&id=4&lg=de im Internet zu finden.

Aufgrund der hohen Transparenz des Eindeckungsmaterials ist es nunmehr denkbar, dass die im inneren des Gewächshauses angebrachten Abschattungselemente (Lamellen) zusätzlich mit Photovoltaik-Zellen ausgestattet werden. Durch diese hohe Transparenz des Eindeckungsmaterials ist bei einer im Inneren angebrachten Photovoltaik nur mit geringfügig geminderten Erträgen zu rechnen.

Die PV-Lamellen können nunmehr als Leichtbauten konzipiert werden, da sie, geschützt durch die ETFE-Folie, im Inneren des Gewächshauses installiert sind und somit keine Schneelasten, Starkwinde, Regen oder Hagel auf sie wirken.

Die Besonderheiten der im Aquaponischen Solar Gewächshauses installierten PV-Elemente sind nachfolgend beschrieben.

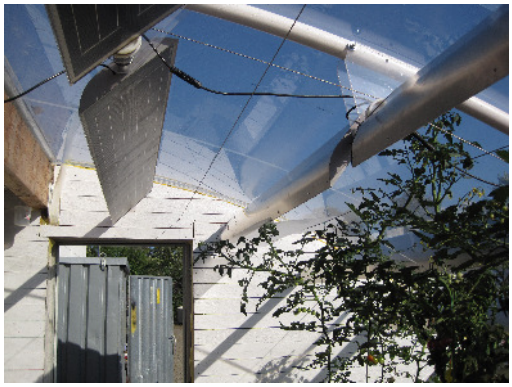
4.3 Multifunktionales Photovoltaik-System

Gewächshäuser benötigen in den meisten Fällen Beschattungssysteme, um die Lichtverhältnisse und die Raumlufttemperaturen unter sommerlichen Bedingungen im Komfortbereich der Pflanzen zu halten.

Zudem sei angemerkt, das die Photosynthese bereits bei solaren Einstrahlwerten von etwa 300 W/m² ihre Sättigung erreicht. Die Sonne liefert im Extremfall aber über 1.000 W/m². Diese hohen Einstrahlwerte würden mindernd auf die Photosynthese-Leistung der Pflanzen wirken. Zuviel Licht reduziert das Pflanzenwachstum. Zusätzlich wirken sich die hohen Raumluft- und damit auch Blatttemperaturen wachstumshemmend aus.

Die multifunktionale Photovoltaik Lamelle wurde nunmehr entwickelt, um genau diesen Sachverhalten gerecht zu werden und primär den Lichtstrom in den Pflanzbereich hinein zu regeln.

Folgende Bilder zeigen die Lamellen, wie sie im Pilot-Gewächshaus installiert waren, jeweils in geschlossenem und in geöffnetem Zustand.



Die Lamellen sind zueinander in einem definierten Abstand installiert, um im Beschattungsfall bei Sonnenhöchststand in jedem Fall noch die Mindestbeleuchtungsstärke für eine vollständige Sättigung der Photosyntheseleistung gewährleisten zu können. Schwächt sich die Solare Einstrahlung ab, so öffnen sich die Lamellen und lassen einen höheren Anteil des auf das Gewächshaus auftreffenden Lichtes passieren.

Das abgeschattete Licht wird auf der Lamelle in Strom und Wärme gewandelt.

Der Strom wird über einen Wechselrichter in das öffentliche Stromnetz eingespeist oder, wie im Falle von Neuenburg, in einer Batteriebank gepuffert und am Standort selbst verbraucht.

Die Lamelle selbst ist optional durchlüftet oder von Wasser durchströmt. Die Luft oder das Wasser werden erwärmt und entsprechend werden die PV-Zellen gekühlt. Die Wärme wird gespeichert und kann später genutzt werden. Durch die Kühlung der Lamelle bzw. der Photovoltaik erhöht sich der deren Wirkungsgrad. Es werden die Leistungsminderungen der PV, die aufgrund deren Installation im Inneren zwangsläufig in Kauf genommen werden müssen, teilweise kompensiert.

Die Abschattung mit einer Lamelle ermöglicht, gegenüber den konventionellen, in Gewächshäusern üblichen Abschattungsschirmen eine kontinuierliche Einstellung des Abschattungsgrades.

Weiterhin wirkt die Lamelle aufgrund ihrer Aluminium-Rückseite als Energie-Schirm, sofern Sie um 180° gedreht mit ihrer PV-Seite ins innere des Gewächshauses gerichtet ist, und mindert somit die thermische Abstrahlung des Gewächshauses im Winterfall (Energieschild).

Darüber hinaus kann die Lamelle in dieser Position optional als Deckenstrahlheizung eingesetzt werden, wenn Sie (optional) mit warmer Luft oder warmem Wasser durchströmt wird. Somit wäre, bei dem ohnehin vergleichsweise geringen Wärmebedarf des Gewächshauses, ein separates Heizungsverteilsystem nicht mehr erforderlich.

Die nominale Leistung einer Lamelle beträgt 110 W_p. 56 solcher Systeme sind in Neuenburg installiert. Hiervon sind 7 Stück mit rückseitiger Wasserkühlung ausgestattet.

Die installiert Gesamtleistung liegt bei etwa 6,2 kW_p.

Zusammenfassend sei gesagt, dass es sich bei der Photovoltaik-Lamelle um ein multifunktionales Abschattungs-System handelt, das im Zusammenwirken mit dem energieoptimierten Gewächshaus seine Vorteile ausspielen kann.

Die Lamelle stellt folgende Funktionen für das Gewächshaus bereit:

- Solare Stromerzeugung
- Solare Wärmeerzeugung (Kühlung der PV)
- Beschattung
- Steuerung der Lichtintensität
- Energie-Schirm
- Deckenstrahlheizung

Mit diesen Funktionen erübrigen sich im Falle des ausgereiften Serien-Gewächshauses die Investitionen z.B. in ein separates Heizungsverteilsystem, ein Abschattungssystem und in einen Energie-Schirm.

4.4 Schwefel- Plasma Lampe

Um das Aquaponische System des Gewächshauses auch im Winter voll leistungsfähig zu halten, ist es besonders in lichtarmen Gebieten erforderlich, eine künstliche Lichtquelle einzusetzen. Idealerweise wird diese Lichtquelle, im Sinne der Autonomie, mit lokal erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energien (Wind, Wasser oder Biomasse) erzeugt.

Die derzeit effizienteste Technologie, die zugleich Licht in einem Spektralbereich liefert, das dem Sonnenlicht am ähnlichsten kommt, ist die Schwefel Plasma Lampe.

Ihre Effizienz ist höher als die aller anderen künstlichen Lichtquellen, LED und die derzeit üblicherweise eingesetzten Natriumdampf-Lampen eingeschlossen.

Die Lebensdauer der Schwefel-Plasma Lampe ist nur durch ihre elektronischen Bauteile limitiert. Es wird eine Lebensdauer von etwa 40.000 Stunden angenommen.

Somit liegen die Energie- und Instandhaltungskosten dieser Lampe deutlich niedriger als bei üblicherweise in Gewächshäusern eingesetzten Systemen.

Darüber hinaus wachsen die Pflanzen im Vergleich zu allen anderen künstlichen Lichtquellen deutlich besser. Wachstumsversuche in den Niederlanden ergaben Ertragssteigerungen von bis zu 50% gegenüber anderen Beleuchtungssystemen.

Weitere Informationen sind unter www.plasma-i.com im Internet zu finden.

4.5 PAR-Licht-Folie

Für das Pflanzenwachstum ist grundsätzlich nicht das gesamte Sonnenspektrum erforderlich. Pflanzen nutzen in nur sehr geringem Maße den grünen Teil des Sonnenspektrums, obgleich Grün den intensivsten Anteil darin darstellt.

Das grüne Licht wird von den Pflanzen reflektiert - daher erscheinen sie grün.

Die PAR-Licht-Folie ist nunmehr eine einfache Methode, den photosynthetisch aktiven Strahlungsanteil (PAR = Photosynthetic Active Radiation) im Gewächshaus zu erhöhen, ohne dafür elektrische Energie einsetzen zu müssen.

Die zwischen die Pflanzen zu hängende PAR-Licht-Folie absorbiert das von den Pflanzen reflektierte/emittierte grüne Licht und emittiert augenblicklich die gleiche Menge roten Lichtes, das dann von der Pflanze für die Photosynthese genutzt werden kann.

Die PAR-Licht-Folie nutzt den Effekt der Fluoreszenz (fluoreszierende Pigmente wurden einer ETFE-Folie beigemischt).

Folgendes Bild zeigt die PAR-Licht-Folie zwischen Tomatenpflanzen, wie sie im Pilot-Gewächshaus seinerzeit installiert wurde.

4.6 Aquaponisches System

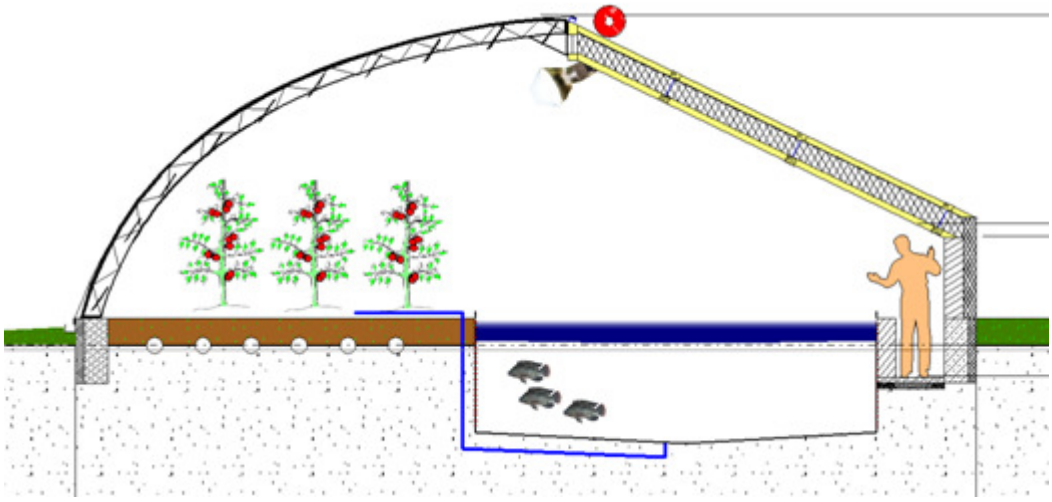
Mit einem Aquaponischen System wird das mit diesem Dokument beschriebene Gewächshaus-Konzept ergänzt und abgerundet.

Letztlich wirkt das Aquaponische System im Gewächshaus als Energiespeicher, als thermische Masse zur Minderung der Heiz- und Kühllasten sowie zur Verteilung von Wärme und Kälte.

Weiterhin ist durch das symbiotische Zusammenwirken von Pflanzen und Fischen eine Belüftung zur Regelung des Gas-Haushaltes innerhalb des Gewächshauses nicht mehr in vollem Umfang erforderlich. Die Fische benötigen O_2 und produzieren CO_2. Bei den Pflanzen ist es genau umgekehrt, sie benötigen CO_2 für ihr Wachstum und geben O_2 ab. In konventionellen Gewächshäusern ist es daher erforderlich, dass an kalten sonnigen Wintertagen kalte Außenluft in das Gewächshaus eingelassen werden muss, um das CO_2-Niveau im Inneren hinreichend hoch zu halten, sofern nicht technisches CO_2 eingegast wird. Dies führt zu einem hohen Heizenergieverbrauch, was beim Aquaponischen Gewächshaus nicht der Fall ist.

Das gleiche gilt für Aquakulturen in umgekehrter Weise, wo es erforderlich ist, die hohen Konzentrationen von CO_2 aus den Räumen zu entfernen.

Der grundsätzliche Aufbau des Aquaponischen Systems im solaren Gewächshaus ist nachfolgend aufgezeigt.



Auf der Seite http://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics sind ausführliche Informationen zur Aquaponik zu finden.

5 Projektbeschreibung

Mit diesem Kapitel ist beschrieben und aufgezeigt, wie die zuvor - eher funktional - beschriebenen Komponenten und Technologien des Aquaponischen Solar Gewächshauses in Neuenburg letztlich umgesetzt wurden.

5.1 Grundlegendes

Das Gewächshaus steht in Neuenburg am Rhein auf dem Gelände des Anglervereins e.V. in der Mülhauser Straße 1a.

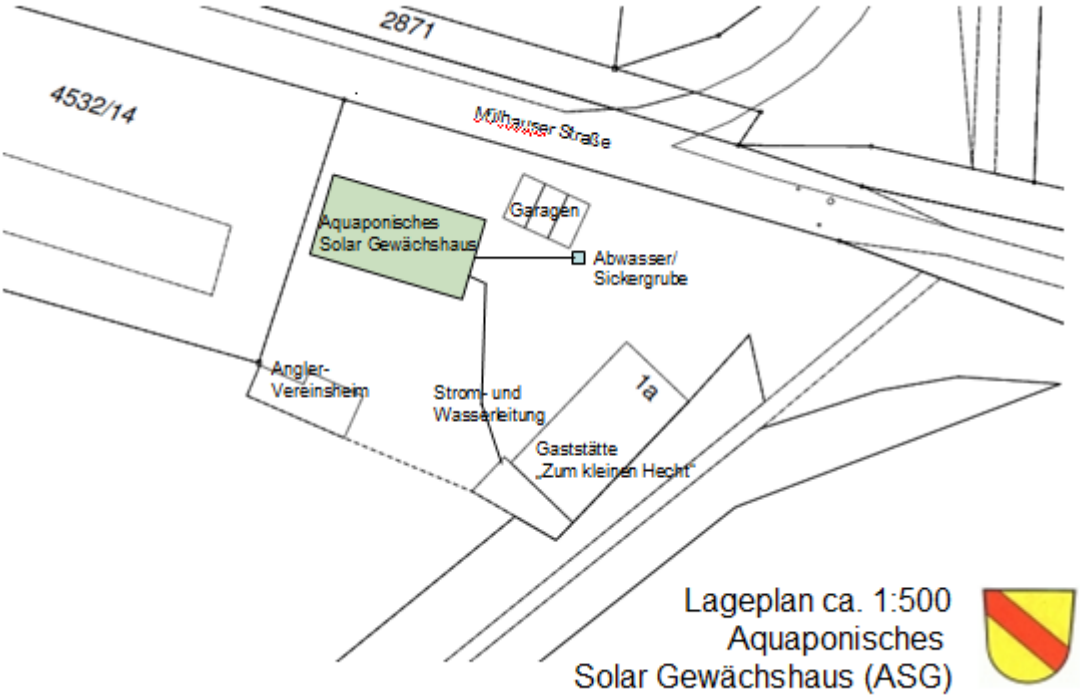
Aufgrund der räumlichen Situation am Standort beträgt die Grundfläche nunmehr 18,5 m x 10,5 m, also etwa 194 m² (BGF).

Bei den Erdarbeiten wurden massiv betonierte Becken einer alten Fisch-Zuchtanlage(!) vorgefunden. Dies machte es nach anfänglichen Versuchen des Abbruchs, erforderlich, das Gewächshaus in seinem Standort und in seiner Höhen-Nivellierung an die Gegebenheiten des Baufeldes anzupassen.

Die infrastrukturelle Anbindung (Strom, Wasser und Abwasser) erfolgte über die benachbarte Gaststätte „Zum kleinen Hecht“. Dort wurden ein neuer Stromzähler und ein neuer Wasserzähler installiert und entsprechende Verbindungsleitungen bis hin zu den Übergabepunkten im Gewächshaus hergestellt. Das Abwasser des Gewächshauses (nur sehr geringe Mengen gartenbaulichen Abwassers) wird in die bereits vorhandene Sickergrube am Standort geleitet.

Nachfolgende Bilder zeigen den Lageplan und eine Außenaufnahme des errichteten Gewächshauses.

Lageplan des Gewächshauses mit seiner infrastrukturellen Anbindung:



Ansicht des errichteten Aquaponischen Solar Gewächshauses während der Bauphase:

Das Gewächshaus als Solches sowie dessen grundlegende Elemente für die Gebäudetechnik und die Energieversorgung wurden im Juni 2014 fertig gestellt, so dass die Aufnahme eines kurzzeitigen (nicht automatisierten) Probebetriebs mit Fischen und Pflanzen erfolgen konnte.

Auf Basis der Erkenntnisse des Probebetriebs wurden die Systeme (insbesondere das Aquaponische System) fein justiert.

Die peripheren Systeme, sowie deren versorgungs- und regelungstechnische Verknüpfung wurden im Dezember 2014 realisiert.

Die Inbetriebnahme des Gewächshauses mit den ersten Pflanzkulturen erfolgte im Dezember 2014. Während der darauf folgenden Wochen wurde der Fischbesatz sukzessive erhöht. Der Erstbesatz der Aquaponik erfolgte mit Stören (Sterlet und Sternhausen, Jungfische, jeweils etwa 300 bis 500 Gramm schwer). Nachdem die Biologie des Systems stabilisiert ist, werden Zander in das System eingesetzt.

Die Feinparametrierung des gesamten Systems sowie die energetische Optimierung der betrieblichen Abläufe erfolgt während des ersten Betriebsjahres (2015) unter den sich mit den Jahreszeiten ändernden äußeren Klimabedingungen.

Die Betriebserfahrungen werden, wie bereits vorangehend erwähnt, in einem separaten Bericht dokumentiert.

Im Folgenden sind nun der Aufbau sowie die technischen Details und Besonderheiten des Gewächshauses erläutert.

5.2 Gebäudestruktur

Die Gebäudestruktur des Gewächshauses wurde nach dem, bereits vorangehend erläuterten, Prinzip des chinesischen Lean-to-Gewächshauses entwickelt und geplant.

Nachfolgende Skizze zeigt das Grundkonzept der Gewächshauskonstruktion.

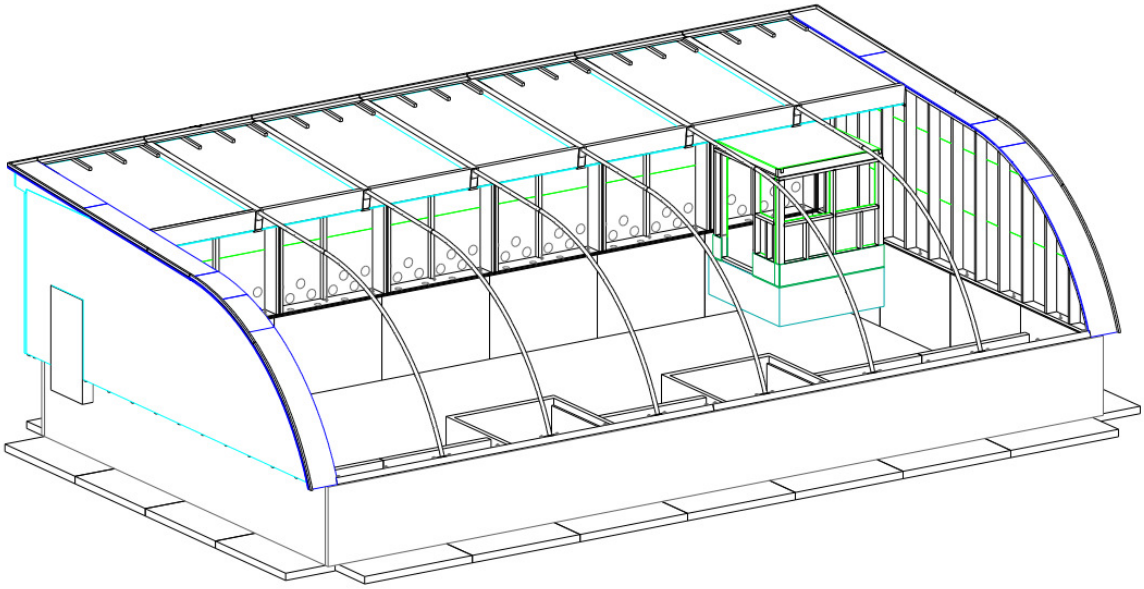
Das Gewächshaus hat nur eine, nach Süden orientierte, transparente Fassade. Die nach Osten, Westen und Norden orientierten Fassaden sowie der nördliche Teil des Dachs sind nicht-transparent und gut gedämmt.

Grundsätzlich besteht die Gewächshausstruktur aus einem Fundament aus Beton-Fertigteilen, auf das die Fassaden aus vorgefertigten Holzelementen aufgesetzt wurden. Nach Süden hin wurden Stahlträger im First mit den Holz-Dachbindern und in der Traufe mit den Betonelementen verschraubt.

Der Eingangsbereich auf der Ost-Seite ist mit einem Windfang versehen, in dem auch die Schaltschränke für die regel- und steuerungstechnischen Anlagen sowie die Solartechnik untergebracht sind. Darüber hinaus befinden sich dort auch die Batterien zur Speicherung des solar erzeugten Stroms. In der gegenüber liegenden Ost-Seite befindet sich eine Fluchttür.

Die Fischbecken sind in die Erde eingelassen und werden vom sogenannten Kaltgang aus bedient. Im Kaltgang, dessen Funktion weiter unten erläutert wird, befinden sich auch technische Einrichtungen sowie Kabel- und Leitungstrassen, die von einem auskragenden „Balkon“ (Erweiterung der Kulturfläche) überdacht werden.

Skizze: Grundkonzept der Gewächshausstruktur



Das Fundament, bestehend aus umlaufenden Beton-Fertigelementen (L-Form), ist gegen die Außenluft und das Erdreich vollständig gedämmt (Perimeterdämmung, 100 mm, WLG 035). In die Oberseite der Betonelemente ist eine sogenannte Halfenschiene eingelassen, an der die aufsetzende Gewächshauskonstruktion befestigt wurde.

Nachfolgende Bilder zeigen das Fundament des Gewächshauses während der Bauphase.

Bild: Fundament/Beton-Fertigteile

Bild: Fundament mit Perimeterdämmung

Entlang der Südseite ist eine zweite Reihe von Beton-Fertigelementen eingebaut. Die somit entstehende Aussparung im Boden wird als „Kaltgang“ bezeichnet. Bei der Planung wurde darüber hinaus auf den Einsatz natürlicher Baustoffe geachtet. Entsprechend sind die Fassaden und das Dach in Holz ausgebildet. Die Dämmung der Bauteile erfolgte mit Holzfasern. In den Wänden beträgt die Dämmstärke 140 mm und im Dach 200 mm.

Die Fassadenelemente wurden im Werk vorgefertigt und vor Ort lediglich miteinander verschraubt und abgedichtet.

Nachfolgende Bilder geben diesbezüglich einen entsprechenden Eindruck.

Bild: Montage der Nordwand

Bild: Abladen der Ostwand

B

Bild: Montage des Dachs und der Stahlträger

Vor Fertigstellung der Gebäudestruktur wurden die beiden Fischbecken eingebracht und positioniert.

Bild: fertig montierte Gebäudestruktur

Die Träger bestehen aus verzinktem Stahl-Rundrohr mit einem Durchmesser von 76 mm. Auf diese Träger wird das Klemmprofil für die 2-lagige ETFE-Folie (F-Clean) aufgebracht.

Der Aufbau des ETFE-Dachs sowie die zum Teil bereits angesprochenen Funktionalitäten und Komponenten sind mit nachfolgenden Kapiteln nochmals ausführlich beschrieben und mit Bildern dokumentiert.

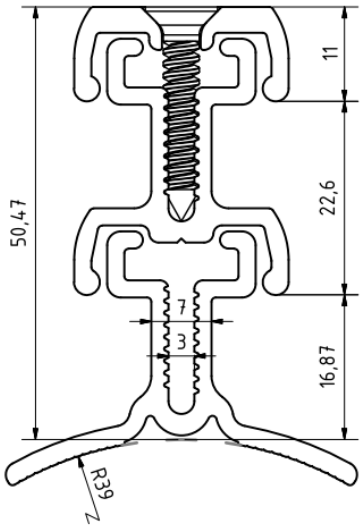
5.3 ETFE-Dach

5.3.1 ETFE-Folie und Befestigungssystem

Erstmals kommt bei diesem Projekt das von EBF neu entwickelte Befestigungssystem für mehrlagig gespannte ETFE-Folien zur Anwendung. Mit diesem Befestigungssystems ist es möglich, ETFE-Folien nunmehr in mehren Lagen zu installieren, ohne dabei, wie sonst üblich, die Folienzwischenräume mit Luft aufzublasen (Luftkissen) zu müssen. Dies reduziert den technischen Aufwand (Luftversorgung) und mindert die Betriebskosten (kein Stromverbrauch und keine Instandhaltung für die Luftversorgung).

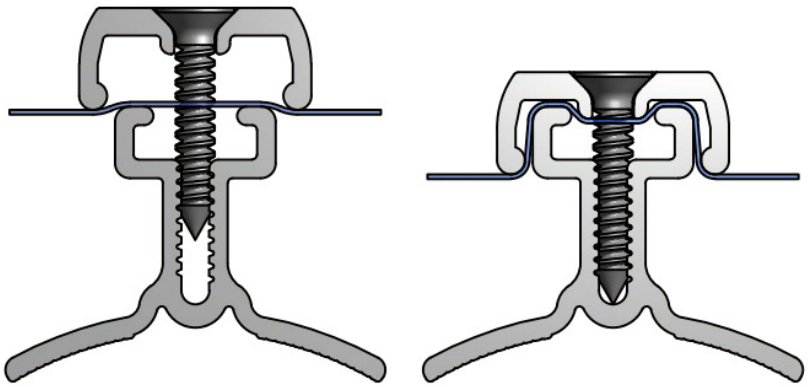
Die Konstruktion und die Abmessungen des Befestigungssystems (bestehend aus drei Alu-Extrusions-Profilen) sind mit nachfolgender Entwurfszeichnung dokumentiert.

Entwurfszeichnung: Tests Befestigungssystem für ETFE-Folie, 2-lagig



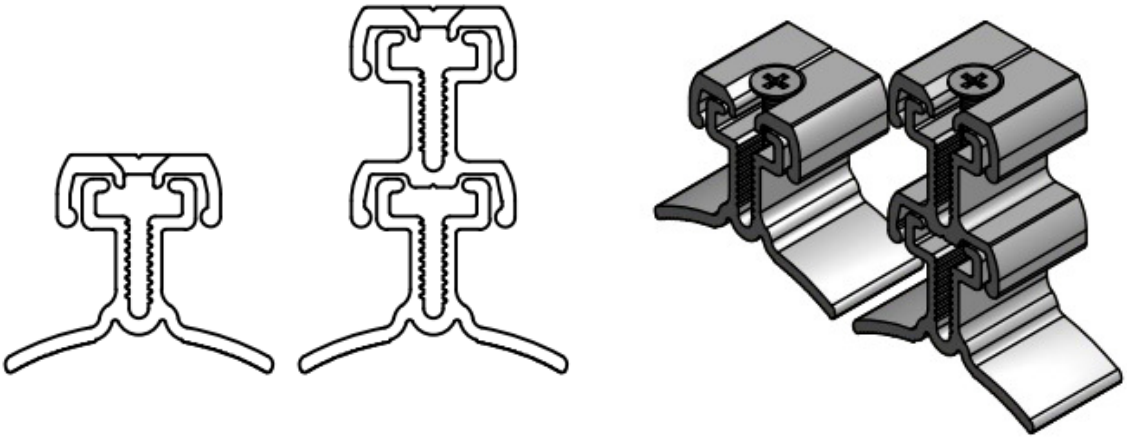
Nachfolgende Skizze zeigt das Grundprinzip des Klemm- und Spannmechanismus des Aluminium-Profils für dessen 1-lagige Anwendung.

Skizze: Spannmechanismus Befestigungssystem für ETFE-Folie, 1-lagig



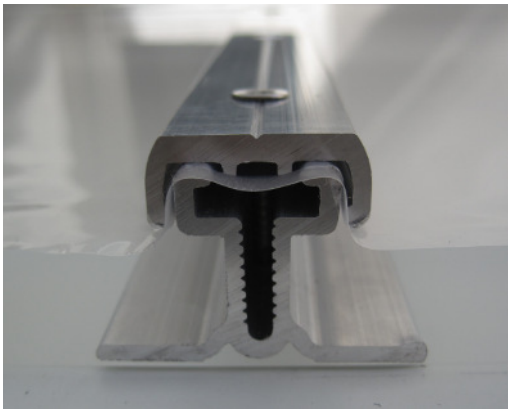
Bei einer 2- oder mehrlagigen Anwendung ist noch ein Zwischenprofil, wie mit nachfolgender Skizze gezeigt, erforderlich.

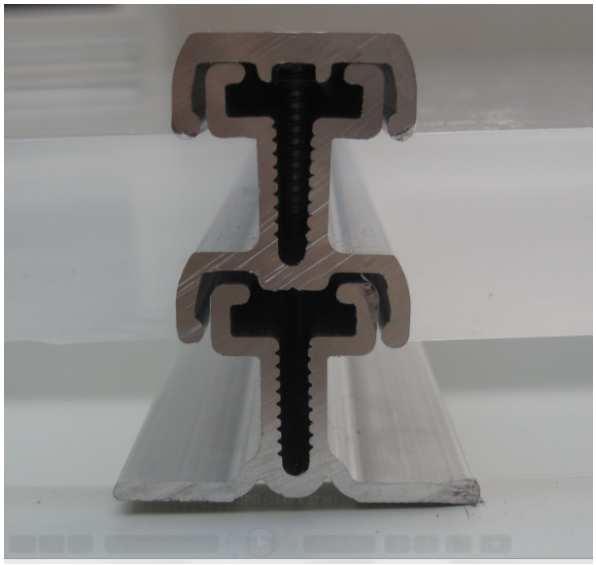
Skizze: Befestigungssystem für ETFE-Folie, 2-lagig



Bevor das Profil erstmals beim Aquaponischen Solar Gewächshaus in Neuenburg zur Anwendung kommen sollte, wurden anhand der ersten Extrusionsmuster entsprechende Tests durchgeführt, die mit nachfolgenden Bildern dokumentiert sind.

Bilder: Tests Klemmprofil 1- und 2-lagig





Für ein 2- oder mehrlagiges Foliendach besteht das Klemmprofil aus einem Basis-, Zwischen- und Deckprofil, die miteinander verschraubt werden. Durch das Verschrauben wird die ETFE-Folie gespannt und fixiert.

Das Basiselement wurde auf den Stahlrohren verklebt und auf den hölzernen Ortgang-Bögen verschraubt.

Bilder: Klemmprofil Basis-Element auf Stahlträgern verklebt

Bilder: Klemmprofil Basis-Element auf Ortgang verschraubt

Der Abstand zwischen der inneren und der äußeren Folien beträgt etwa 22,6 mm.

Als innere Folie wurde die 60 µm (0,06 mm) dicke ETFE-Folie F-Clean der Firma Asahi Glass Green-Tech in diffuser Qualität (milchig-trüb) eingesetzt. Trotz des hohen Anteils diffuser Strahlung ist die Lichttransmission dieser Folie mit über 93% sehr hoch.

Die milchige innere Folie sorgt für eine diffuse gleichmäßige Ausleuchtung des Gewächshausinnenraumes, ohne dass ein Schatten von Dachkonstruktion oder von den unter der Folie installierten PV-Lamellen auf die Kulturebene geworfen wird. Licht, das zwischen den PV-Lamellen ins Gewächshaus gelangt, wird sehr gleichmäßig verteilt. Somit kommt es zu keiner unerwünschten inhomogenen Lichtverteilung im Gewächshaus. Darüber hinaus wird auch der Schattenwurf der Bögen der Tragekonstruktion auf die PV-Lamellen gemindert. Dies macht sich insbesondere in den Morgen- und Abendstunden bei den Solarerträgen bemerkbar.

Die äußere Folie ist 100 µm (0,1 mm) dick und klar, mit einer Lichttransmission von etwa 94%.

Beide Folien sind auch im ultravioletten Spektralbereich des Sonnenlichts hoch transparent, was sich sehr positiv auf das Pflanzenwachstum und die Qualität der Produkte auswirkt.

Nachfolgende Bilder zeigen die Installation der beiden Folien.

Bild: installierte innere Folie (60 µm, diffus), Zwischenprofil klemmt und spannt die innere Folie

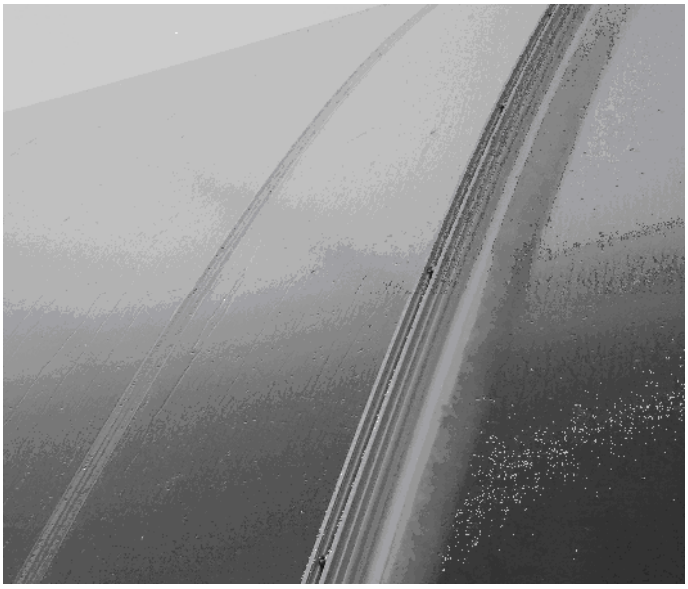


Bild: fertig installiertes Foliendach, innere Folie (60 µm, diffus), äußere Folie (100 µm, klar), Deckelprofil klemmt und spannt die äußere Folie

Entlang der Folien-Firstlinie wurde das Profil von außen gedämmt um den Tauwasseranfall an der Innenseite des Klemmprofils zu minimieren.

Der Folienzwischenraum ist über kleine Bohrungen im Klemmprofil (Zwischenprofil) entlang der Traufe und des Firstes passiv belüftet. Dies ist erforderlich, um Kondensation von Feuchtigkeit im Folienzwischenraum zu vermeiden. Im Bereich des Firstes erfolgte die Entlüftung des Folienzwischenraums mit Hilfe von zusätzlichen dünnen Schläuchen, die durch die Dämmung geführt wurden. Ansonsten würde die Dämmung im First die Bohrungen schließen und die natürliche Konvektion behindern.

In kalten Winternächten hat sich die mit diesem Aufbau beabsichtigte Dämmwirkung bereits qualitativ nachweisen lassen. Auch die passive Lüftung des Systems genügt den Anforderungen an einen ausreichend trockenen Folienzwischenraum.

5.4 Festdach und Ortgänge

Der nördliche Teil des Dachs ist nicht-transparent. Es wurde eine zusätzliche Beplankung mit herkömmlicher Abdichtung aus verklebten Kunststoffbahnen aufgebracht. Eine Unterkonstruktion gewährleistet den nötigen Abstand zur Dämmung und stellt die Belüftung sicher. Nachfolgende Bilder verdeutlichen dies.

Bild: Aufbau des nicht-transparenten nördlichen Dachteils

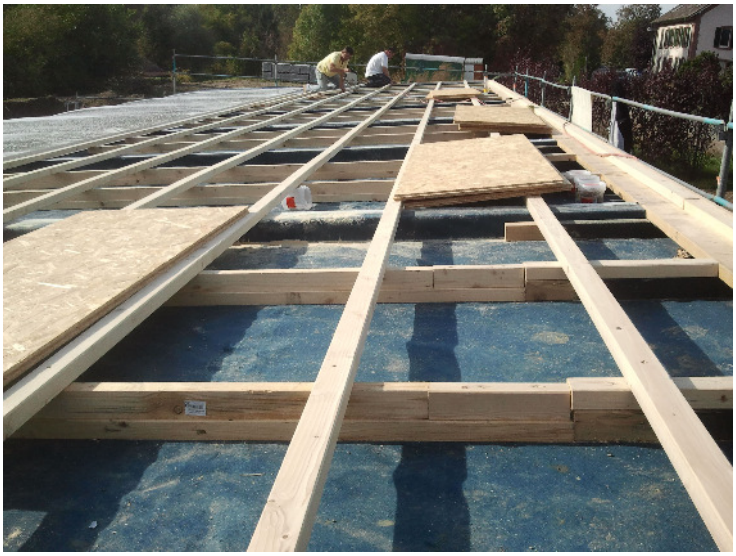
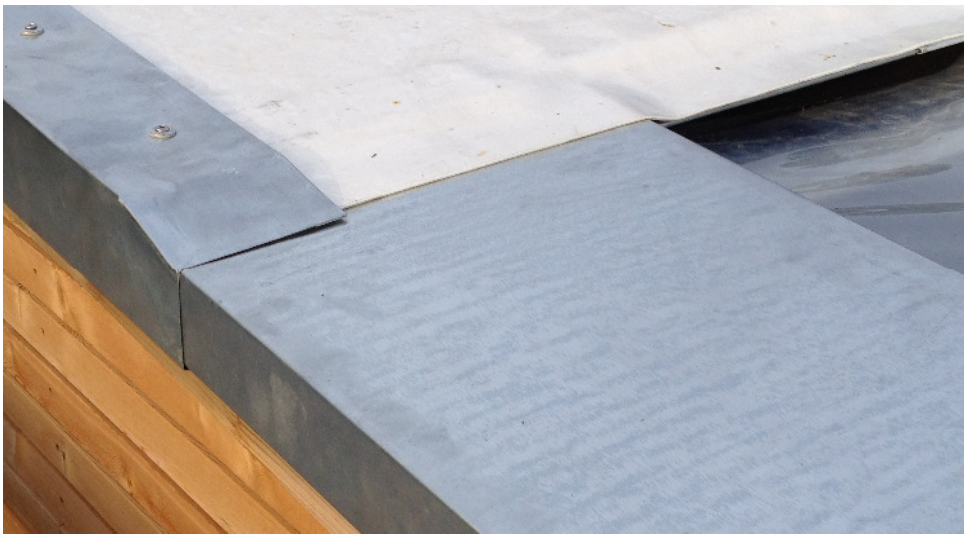


Bild: Dachabdichtung des nicht-transparenten nördlichen Dachteils

Der Übergang zwischen Folien- und Festdach wurde mittels Blechverkleidungen wetterfest ausgeführt worden. Auch die Ortgangbögen und die freien Festdachkanten sind mit verlöteten Randblechen eingefasst (siehe folgende Bilder).

Bild: Bleche auf Ortgang

Bild: Bleche/Einfassung Detail Ortgang/Übergang Folien- zu Festdach (Westseite)



Die Einzel-Elemente der Regenrinne sind untereinander verlötet. Die Regenrinne ist über einen zentralen Ablauf an die Zisterne angeschlossen (siehe folgende Bilder).

Bild: Bleche/Regenrinne Detail Ortgang/Übergang zu Regenrinne (Ostseite)

Bild: Regenrinne zentraler Ablauf zu Zisterne

5.5 Außenwände

Die Außenwände wurden als Fertigteile mit bereits fertig gestalteter Außenfassade angeliefert aufgerichtet und auf den gedämmten Beton-Fertigteilen fixiert.

Die Nordwandelemente waren werkstattseitig bereits mit den erforderlichen Außen-/Umluftklappen versehen.

Die Nordwand ist doppelwandig ausgeführt.

Die im oberen Bereich über die gesamte Länge des Gewächshauses installierten Fortluftklappen öffnen nach innen und verschließen dadurch im Lüftungsfall die oben offene Doppelwand.

Im unteren Bereich sind die Zuluftklappen, ebenfalls über die gesamte Länge des Gewächshauses, installiert. Die Zuluft strömt hierüber von außen in den Hohlraum der Doppelwand und von dort in das unterirdisch im Gewächshaus verlegte Luftkanalsystem in den Kaltkanal.

Die Funktionsweise des Lüftungssystems ist in einem der folgenden Kapitel genauer beschrieben.

Die Klappenantriebe und das Luftleitsystem, sowie der Anschluss an das Erdwärmetauscher-System wurden bauseitig angebaut bzw. hergestellt.

In den Wänden wurden die Datenkabel und Versorgungsleitungen (Strom und Wasser) verdeckt verlegt.

Die Seitenwände (Ost- und Westwand) sind für den Einbau von Lehmsteinen vorbereitet. Der Betrieb des Gewächshauses wird zeigen, ob dies aus thermodynamischen Gründen (Wärmespeicherung) erforderlich sein wird.

Die „Tiefe“ der Wände wird im Betrieb des Gewächshauses für vertikale Kultursysteme verwendet.

Nachfolgende Bilder zeigen die insoweit fertiggetsellten Wände.

Bild: Westwand

Bild: Nordwand

5.6 Bodenflächen

Die Bodenflächen im Gewächshaus wurden nach dem Verfüllen mit „Forstmischung“ verdichtet und mit eine Schicht aus Splittkies abgedeckt. Diese eignet sich gut zum nivellierten Aufbau der Pflanzenbecken und zum Verlegen eines Plattenbelages. Im Technikraum und im viel begangenen Eingangsbereich des Gewächshauses sind Platten verlegt (siehe nachfolgende Bilder).

Bild: Pflanzbecken Splittkies

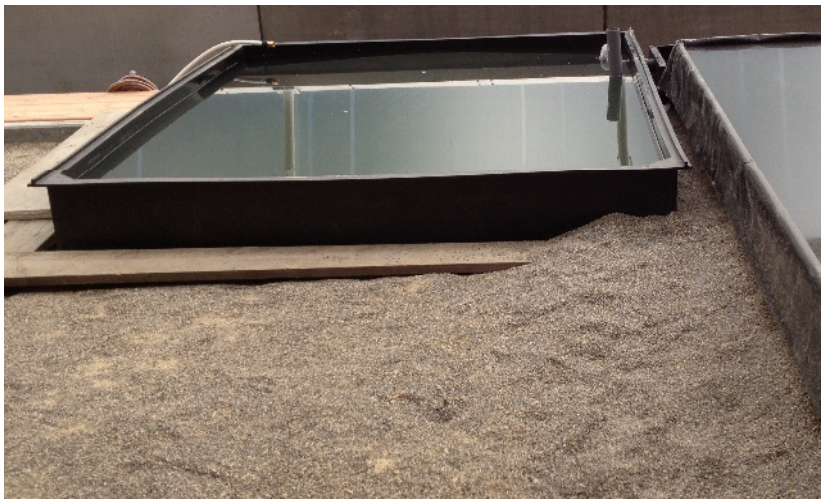


Bild: Eingangsbereich, Bodenplatten in Splittkies verlegt

In den Boden ist ein Luftkanal eingebracht, über den die Belüftung des Gewächshauses in den Wintermonaten erfolgt. Die Position der Luftauslässe kann über perforierte Bodenplatten (gelochte Holzdielen) flexibel gestaltet und so den Kultursystemen angepasst werden. Weiter Erläuterungen hierzu werden im Zusammenhang mit dem versogenden Lüftungssystem in einem der folgenden Kapitel gegeben.

5.7 Kaltgang

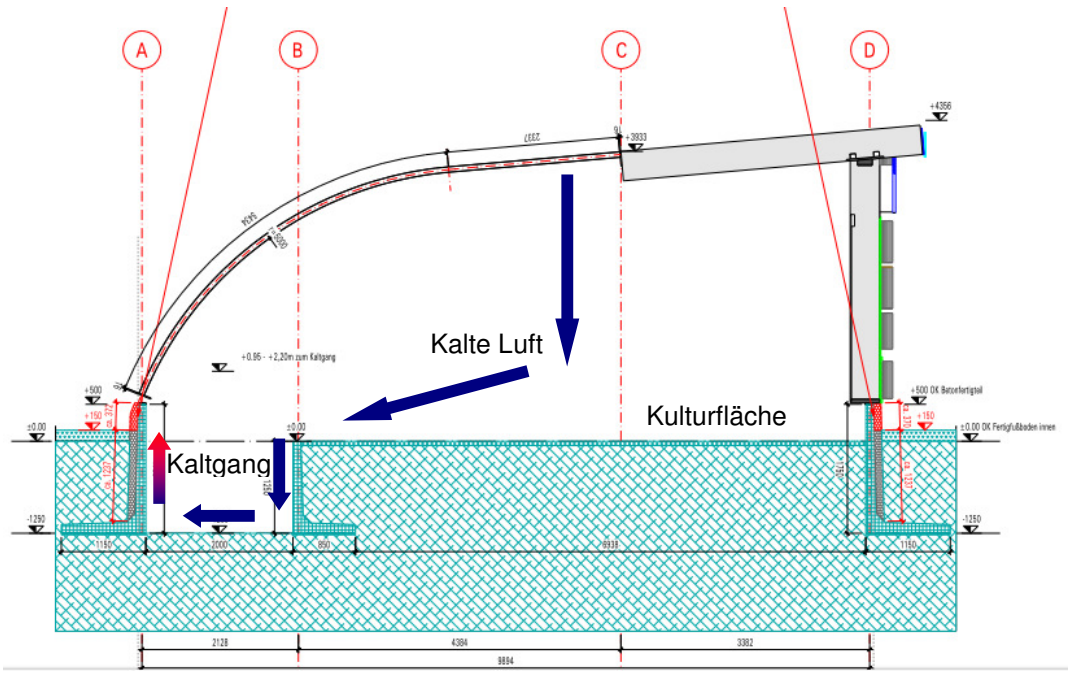
Der Kaltgang dient in erster Linie als Kältesenke, um die Pflanzkulturen vor Kälte zu schützen.

Die Wirkungsweise der Kältesenke ist wie folgt zu verstehen:

Auch wenn das Gewächshaus beheizt ist, kommt es an kalten Wintertagen vor, dass Kältebrücken der transparenten Südfassade die Aluminium-Klemmprofile und die Stahlstruktur deutlich unter die Raumlufttemperatur abkühlen. Dadurch bedingt kühlt sich die auch Raumluft in unmittelbarer Nähe der Kältebrücken ab und hat damit die Tendenz sich abzulösen und nach unten zu sinken. In der Ebene der Pflanzkulturen würde sich somit ein See aus kalter Luft ausbilden, was sehr ungünstig für das Wohlbefinden und damit für das Wachstum der Pflanzen wäre. Durch den Kaltgang steht nun ein Bereich im Gewächshaus zur Verfügung, der deutlich tiefer liegt, als die Kulturfläche. Die kalte und damit dichtere Luft verbleibt nun nicht mehr auf der Kulturfläche sondern sucht sich tendenziell den Bereich des tieferen Kaltgangs. Entsprechend kann sich kein Kaltluftsee in der Kulturfläche ausbilden. Im Kaltgang kann die kühle Luft dann im Kontakt mit den an den Untergrund angrenzenden Beton-Fertigteilen „Wärme“ aus dem Erdreich aufnehmen und ins Gewächshaus aufsteigen.

Nachfolgende Graphik verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Graphik: „Kaltgang“:



Der Boden des Kaltggangs wurde mit ungewaschenem Kies auf das Soll-Niveau gebracht und so weit verdichtet, dass die umgebenden Betonfertigteile lagesicher stehen und die im Graben aufgestellten Bio-Filter-Tanks sicheren Untergrund haben.

Westlich des West-Fischbeckens und in der Mitte zwischen den Fischbecken wurden auf auskragenden Stahlkonsolen Plattformen („Balkon“) angebracht, die auf dem Niveau des Gewächshausbodens um ca. 0,7 m in den Kaltgang hineinreichen. Im östlichen Teil ist diese Fläche durch den Feststoffilter („Wurmfilter“) belegt.

Nach den ersten Betriebserfahrungen mit dem westlichen Aquaponic-System wird über die günstigste Stelle für die feste Zugangsleiter zum Kaltgang entschieden.

In der Mitte des Kaltgamgs ist ein Schacht eingebaut, der als Pumpensumpf dient.

Folgende Bilder zeigen den Kaltgang mit den eingebauten Konsolen für den Feststofffilter.

Bild: Kaltgang

Bild: Feststoffilter auf Konsolen und IBC (Biofilter)

5.8 Außen-Anlagen

Die Außenanlage ist im Hinblick auf die für eine Inbetriebnahme des Gewächshauses wichtigen Bereiche funktional fertig gestellt.

Das Gewächshaus mit den bearbeiteten Flächen im Zugangsbereich und entlang der Südseite mit der dort vergrabenen Zisterne passt sich in das zur Verfügung gestellte Gelände des Anglervereins ein. Die Sickergrube für überschüssiges Regenwasser (Überlauf der Zisterne) ist südwestlich des Gewächshauses untergebracht.

Die weitere Gestaltung des Umfelds bedarf der engeren Abstimmung mit den Vorstellungen des Anglervereins, der Gaststätte „Zum kleinen Hecht“ und den Planungen zur Landesgartenschau.

Bild: Außenanlage

5.9 Aquaponisches System

Es sind zwei unabhängige aquaponische Systeme im Gewächshaus vorgesehen. Mit unterschiedlichen Pflanzen/Fisch-Kulturen und in Bezug auf die im Gewächshaus darstellbaren Umweltbedingungen sollen möglichst viele Erfahrungen gesammelt werden.

Vorläufig wird jedoch nur eines der beiden aquaponischen Systeme betrieben, da in einem ersten Schritt Erfahrungen mit den neu entwickelten Systemkomponenten (Sauerstoffanreicherung mit dem Tiefschacht-System, „Wurmfilter“ und den Bioplastik-Floß-Systemen sowie der gesamten Hydraulik) gesammelt werden sollen.

Das aquaponische System ist so angelegt, dass das Wasser grundsätzlich vom tiefsten Punkt aus, dem Biofilter, in die am höchsten gelegenen Pflanzenbecken gepumpt wird. Von dort folgt das Wasser der Schwerkraft und fließt über einen freien Ablauf in das Fischbecken. Ein Teilstrom des von den Pflanzen gereinigten Wassers wird in den Tiefschacht zur Sauerstoffanreicherung abgezweigt und fließt dann mit Sauerstoff gesättigt in das Fischbecken. Aus dem Fischbecken fließt das Wasser in der Folge, belastet mit Ausscheidungen der Fische, über einen freien Auslauf in den Feststofffilter („Wurmfilter“). Im Wurmfilter befinden sich geschichtete Matten aus grobem Vliesstoff, in denen Rotwürmer leben, deren Nahrungsgrundlage die Ausscheidungen der Fische sind. Die Würmer wandeln die Feststoffe in biologisch stabilisierten Wurmkompost und sogenannten „Wurmtee“ (im Wasser löslichen Mineralien) um. Um die Belüftung der Würmer zu gewährleisten, ist der Wurmfilter mit einem sogenannten Glocken-Siphon ausgestattet, so dass der Wasserspiegel im Wurmfilter im Takt von etwa 7 Minuten zwischen 0 und 100% pendelt. Das von den Feststoffen befreite Wasser fließt dann in den Biofilter, in dem Bakterien das Ammonium im Wasser in Nitrit und Nitrat umwandeln (Nitrifizierung). Erst das Nitrat kann von den Pflanzen als ein notwendiger Nährstoff aufgenommen werden.

Im Folgenden sind die für das aquaponische System relevanten Komponenten im Detail beschrieben und dokumentiert.

Bild: Aquaponisches System mit abgedecktem Fischbecken und zwei Pflanzbecken im westlichen Teil des Gewächshauses

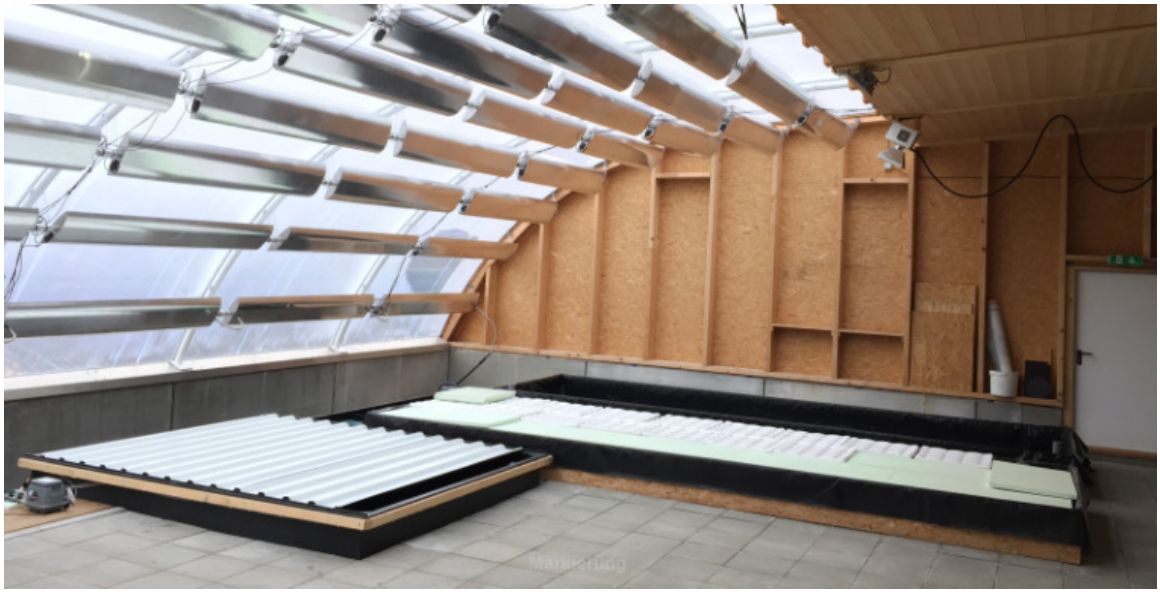
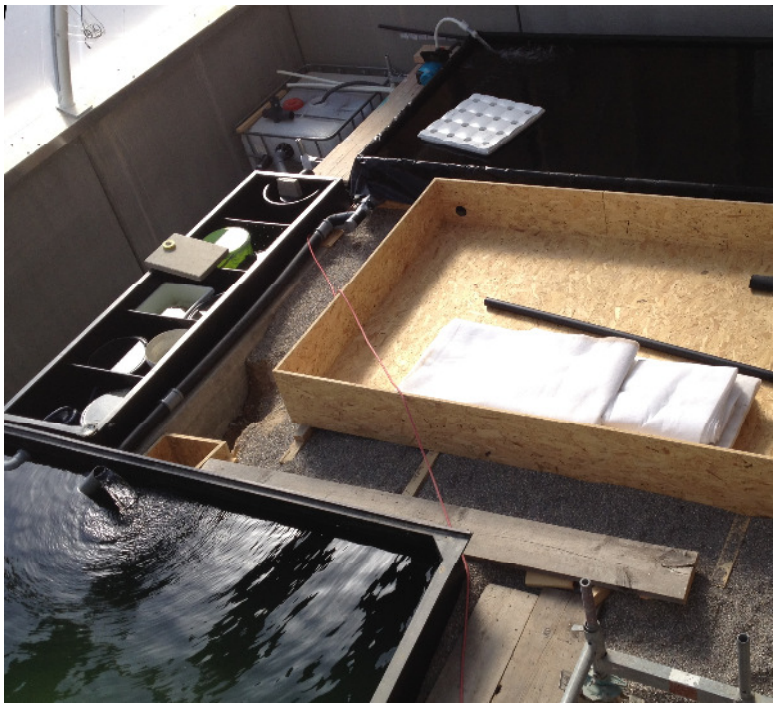


Bild: Aquaponisches System, hydraulischer Kreislauf in Probebetrieb (zweites Pflanzenbecken im Bau)



5.9.1 Pflanzenbecken

Die beiden eingebauten Pflanzenbecken messen 6 m x 1,8 m und sind für eine Wassertiefe von 25 cm mit 5 cm Freibord ausgelegt.

Sie haben damit jeweils ein Wasservolumen von ca. 2,7 m^3.

Sie bestehen aus wetterfest verleimten OSB-Platten auf Holzrähmlingen, die mit einem Vlies und schwarzer ETFE-Folie ausgekleidet wurden.

Zu- und Abläufe wurden so in die Seitenwände eingebaut, dass beide Becken, in hydraulischer Hinsicht gleichwertig, vom Norden nach Süden durchströmt werden.

Der Wasserspiegel der Pflanzenbecken ist der höchste im Gesamtsystem. Die Zu- und Rücklaufleitungen haben einen Durchmesser von 70 mm, der Zulauf erfolgt über eine Pumpe aus dem Biofilter, der Ablauf frei über das Gefälle zum Fischbecken hin.

Bild: Pflanzbecken im Bau

Bild: beide Pflanzbecken mit Anschluss des gemeinsamen Wasserzulaufs

Bild: beide Pflanzbecken mit Wasser gefüllt, eines mit 27 Schwimmflossen bestückt

5.9.2 Pflanzenflöße

Üblicherweise werden in aquaponischen oder auch hydroponischen Systemen Pflanzfloße aus geschäumtem Polystyrol oder Polyurethan verwendet. Dies ist aus lebensmittelhygienischen Gesichtspunkten und aufgrund der Schadstoffbelastung des Wassers und damit der Fische und der Pflanzen nicht akzeptabel.

Aus diesem Grund hat EBF hat Pflanzfloße aus Bio-Kunststoff entwickelt. Die Bio-Pflanzfloße beinhalten keine schädlichen Substanzen und haben eine glatte Oberfläche und sind somit leicht zu reinigen (Hygiene). Sie bestehen aus einer schwimmenden Wanne mit darauf aufgesetzter Abdeckung. Mit einer Abmessung von 60 cm x 60 cm bieten die Floße jeweils 16 Pflanzen Platz. Folgende Bilder zeigen den Aufbau der Bio-Plastik-Schwimmfloße.

Bilder: Bio-Plastik-Schwimmfloß (Markenname „Ownfoods“) mit Kokosfaser Pflanztopf

Damit im Wasser möglichst keine Algen wachsen, sind die Pflanzfloße so konzipiert, dass sie, eng beieinander liegend, kein Licht ins Wasser lassen und auch kein Wasser an der Kontaktstelle zwischen zwei Flossen kapillar aufsteigen kann.

Um die Abschattung des Wassers optimal zu gestalten, wurde die Größe der Pflanzenbecken auf die Floßabmessungen angepasst.

Bild: Pflanzfloß

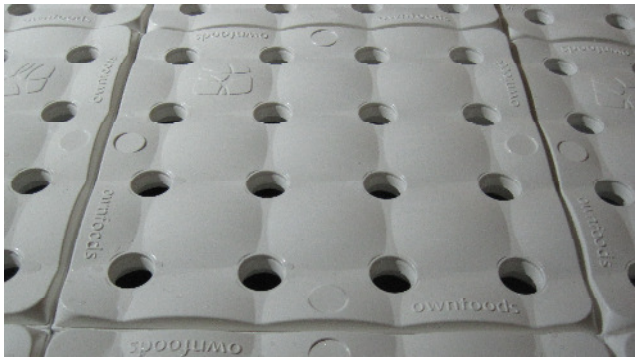
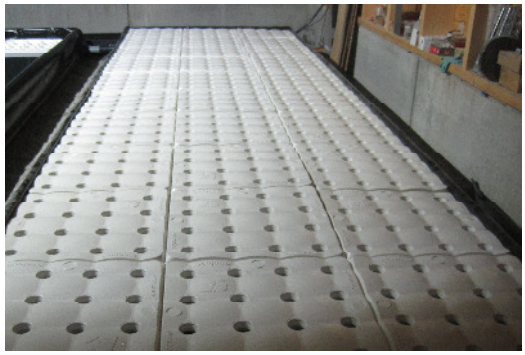


Bild: Pflanzfloße im Becken



Bilder: Pflanzfloße, bestückt mit Salat

5.9.3 Fischbecken

Jedes Fischbecken hat mit einer Grundfläche von ca. 2,5 m x 3 m, einer Wassertiefe von ca. 1,40 m und einem Freibord etwa 10 cm ein Volumen von etwa 10,5 m³.

Das Wasser aus den Pflanzenbecken wird in der Südwest-Ecke des Fischbeckens etwa in halber Beckentiefe zugeführt.

Ein Krümmer am Zulaufstutzen auf der Innenseite der Fischbeckenwand sorgt für ein tangentiales Einströmen und damit zu einer Kreisbewegung des Wassers im Becken.

Der Ablaufstutzen (DN 70 mm) des Fischbeckens ist ebenfalls an der Südwestecke knapp über dem Boden des Fischbeckens angebracht und führt von dort nach oben direkt in das Wurmfilterbecken.

Im Fischbecken selbst ist am Ansaugstutzen ein Rohr (DN 70 mm) mit Saugkorb (gegen das Einsaugen von Fischen) montiert.

Die Kreisbewegung des Wassers sorgt, in Verbindung mit Air-Lift-Pumpen in drei Ecken des Beckens, dafür, dass es zu einer Durchmischung und Belüftung des Beckenwassers kommt.

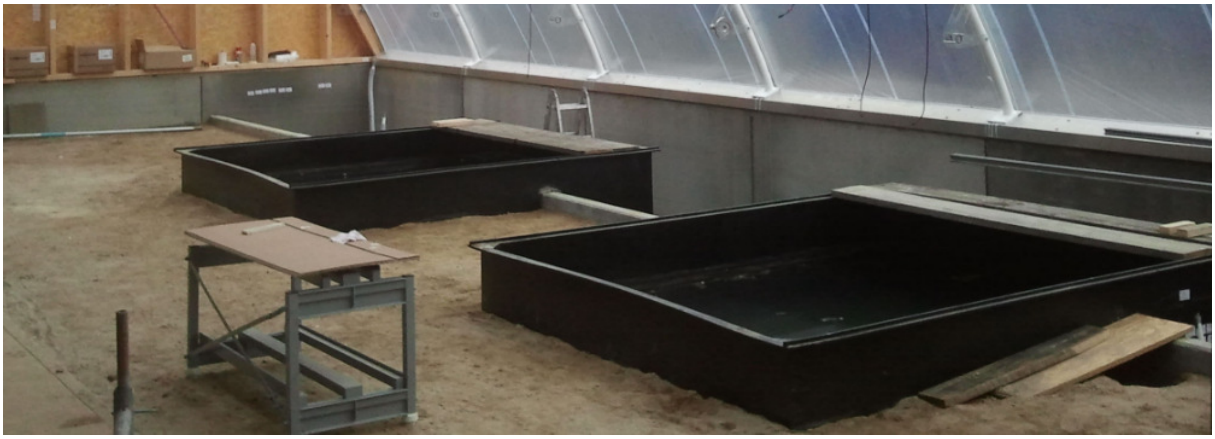
Die Fischbecken haben außerdem einen Grundablass, dessen Ventil die Leitung zum Pumpensumpf absperrt (1 Zoll).

Ein weiterer Zulauf, (1 Zoll) ebenfalls an der Südwestecke und ca. 0,6 m unter dem Wasserspiegel gelegen, dient der Zuführung sauerstoffreichen Wassers aus dem EBF-Tiefschacht-System. Es wird ebenfalls tangential eingeleitet und stützt die Kreisbewegung des Wassers.

Die Fischbecken sind zum Schutz vor zu viel Licht mit weißen Trapezblechplatten abgedeckt. Diese Fläche wird als Kulturfläche für Topfpflanzen und Micro Greens genutzt.

Bild: Einbringen eines der beiden Fischbecken

Bild: beide Fischbecken in eingebautem Zustand



5.9.4 Feststofffilter („Wurmfilter“)

Der Wurmfilter ist ebenfalls eine Entwicklung der EBF GmbH. Er hat die Aufgabe, die aus dem Fischbecken aufgenommenen gröberen Feststoffe in mit Vliesstoff gefüllten Kammern auszufiltern. Im Vliesstoff siedeln Rotwürmer, die die Feststoffe fressen und unter anderem in wasserlösliche Nährstoffe (Wurmtee) umwandeln.

Auf diese Weise kann auf den Einsatz von wartungs- und abfallintensiven Grobfiltermatten weitestgehend verzichtet werden. Die Würmer reduzieren den Reinigungsaufwand des Filtersystems erheblich und wandeln mit ihrem Wachstum den Fischkot und eventuell nicht verwertetes Fischfutter in eiweißhaltige Biomasse um, die wiederum als Fischfutter verwertet werden kann.

Damit die Würmer nicht ertrinken, sorgt ein selbsttätiger Glockensiphon in Verbindung mit einer Bodendrainage unter den Filterkammern dafür, dass der Wasserspiegel im Filterbecken mehrmals je Stunde bis zum Boden absinkt und die Würmer so Sauerstoff erhalten. Gleichzeitig wird damit eine möglichst gleich verteilte Beschickung des Filters mit Feststoffen erzielt.

Das Filterbecken ist 2,5 m lang und 0,7 m breit und hat einen variablen Wasserstand zwischen 2,5 cm und 40 cm. Damit beträgt sein Brutto-Volumen etwa 700 Liter. Die Zuleitung und die Leitung zum Biofilter sind DN 70, eine zusätzliche Ablaufleitung DN 50 umgeht den Siphon und erlaubt es, dessen Aktivierungstakt zu justieren. Beide Leitungen sind absperrbar.

Bild: „Wurmfilter“ (ohne Vliesstoff)

Bild: „Wurmfilter“ (mit Vliesstoff befüllt)

Bild: „Wurmfilter“ (Erstbesatz mit Rotwürmern)

5.9.5 Biofilter

Als Biofilter wurde ein handelsüblicher IBC-Container mit Eignung für Lebensmitteltransport und einem Fassungsvermögen von 1.000 Litern ausgewählt. Die vom Feststofffilter ankommende Zuleitung DN 70 wurde im obersten Viertel an dessen Seitenwand angeflanscht.

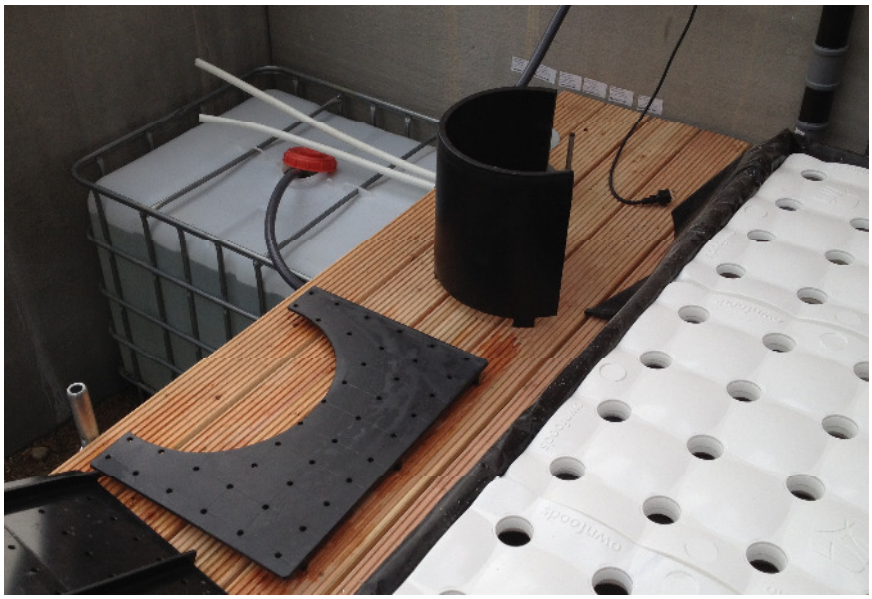
Vom handelsüblichen Stahlgitter wurde der Palettenfuß entfernt, so dass eine geringfügige Auskofferung des Kaltgangbodens ausreichte, um ihn mit genügend Höhenunterschied zum minimalen Wurmfilter-Wasserspiegel in der Südwest-Ecke des Kaltgangs zu positionieren.

Weiterhin wurde der IBC-Container oben ausgeschnitten, um die Einbauten (Pumpe, Belüftung und Rohrwärmetauscher) einbringen zu können.

Im Biofilter befinden sich etwa 200 Liter Kaldnes-Körperchen zur Besiedelung mit Mikro-Organismen (Nitrifikanten).

Bild: Blick in den Biofilter mit Kaldnes-Körperchen zur Besiedlung mit Bakterien, Rohr-Wärmetauscher, Belüftung und Kreislaufpumpe

Bilder: Biofilter (während der Bauphase)



5.9.6 Kreislaufpumpe und Hydraulik der Aquaponik

Im Biofilter ist eine handelsübliche hocheffiziente Teichpumpe installiert.

Der Volumenstrom der Pumpe beträgt etwas über 10 m^3/h. Dieser Volumenstrom kann an die hydraulischen Gegebenheiten des aquaponischen Systems während des Betriebs fein justiert und angepasst werden.

Die Pflanzenbecken mit ihrem Wasserstand sind maßgeblich für alle anderen, der Schwerkraft folgenden, freien Abflüsse im System. Entsprechend waren die Aufstellhöhen und die Wasserspiegeldifferenz der anderen Systemkomponenten festzulegen. Dabei entspricht 1 cm Wasserhöhe in den Pflanzenbecken einem Volumen von etwas über 200 Litern. Daraus ergeben sich etwa 20 cm Wasserspiegelschwankung im Biofilter. Zusätzlich muss der Biofilter die Volumen-Schwankungen des „atmenden“ Wurmfilters von etwa 500 bis 600 Litern abpuffern.

5.9.7 Sauerstoff-Anreicherung

EBF hat das Konzept der Sauerstoff-Anreicherung von Wasser mit der Tiefschacht Methode für den Einsatz in der Aquaponik weiter entwickelt.

Mit der Tiefschacht-Methode ist es möglich, die erforderliche Sauerstoffanreicherung für das Wasser im aquaponischen System energiesparend ohne Luft-Kompressor zu erreichen.

Hierzu wurden zwei Erdbohrung mit einem Durchmesser von etwa 30 cm bis zu einer Tiefe von 8 m platziert. In diese Erdbohrungen wurde, um die Bohrwand zu stützen ein HT Rohr eingeführt. In dieses HT Rohr wurde ein koaxiales Rohr eingebracht. Durch das Innerohr des koaxialen Rohres wird Wasser nach unten gepumpt. Dieses Wasser wird vorher über eine Venturi-Düse mit lokal erzeugtem Sauerstoff angereichert. Die Sauerstoffbläschen werden mit dem Wasserstrom langsam nach unten getragen. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers muss so gewählt werden, dass sie etwas größer ist, als die Steiggeschwindigkeit der Sauerstoffbläschen. Durch die lange Verweildauer der Sauerstoffbläschen im Wasser und durch den mit der Tiefe ansteigenden Druck wird der Sauerstoff vollständig im Wasser gelöst.

Das äußere Rohr des koaxialen Rohrs ist am Ende geschlossen, so dass das aus dem Innenrohr in der Tiefe ausströmende Wasser im äußeren Rohr wieder nach oben strömt und dem Fischbecken zugeführt werden kann.

Die entsprechende Hydraulik, die erforderliche Pumpe und das aus medizinischer Anwendung bewährte Sauerstoffgerät wurden im Kaltgang unter dem Wurmfilter untergebracht.

Für die Dauer der Anlaufphase des aquaponischen Systems wird, bis hinreichend Erfahrungen mit der Tiefschacht-Methode gemacht werden konnten, ein konventioneller Kompressor als redundantes System eingesetzt, um die Fischbecken zu belüften.

Bild: Erdbohrungen für Tiefschacht-System, im Vordergrund bereits fertig gestelltes und gesichertes Bohrloch (orangenes HT-Rohr)

Bild: hydraulische Anbindung an Tiefschacht-System

Bild: Sauerstoff-Erzeuger

5.9.8 Kompressor

Da für das Tiefschacht-System noch keine Betriebserfahrungen vorliegen, wurden die Fischbecken zusätzlich in konventioneller Weise mit einem Kompressor und Sprudelsteinen (Air-Lift-System) ausgestattet. Der Kompressor liefert Luft über Verteiler und Schläuche zu einem Sprudler im Biofilter und zu drei Sprudelsteinen im Fischbecken.

So kann man im laufenden Betrieb allmählich auf das neue System umstellen ohne dabei das Wohlergehen der Fische zu gefährden.

Bild: Kompressor
für Belüftung der Fischbecken

5.10 Wasserhaushalt

Das Gewächshaus hat einen Trinkwasseranschluss vom öffentlichen Netz, eine Regenwasserzisterne, für Abwässer einen Anschluss an die am Standort vorhandene Abwassergrube und für überschüssiges Regenwasser eine Sickergrube im Freien.

5.10.1 Trinkwasseranschluss

Die Übergabestelle des Trinkwassers befindet sich an der Ostwand im Bereich des Kaltgangs. Von dort aus wird das Trinkwasser zu einem Wasserhahn mit Schlauchadapter im Kaltgang und zu einer Waschstelle an der Ostwand geführt.

5.10.2 Zisterne

Die Zisterne wird über das Fallrohr der entlang der südlichen Dachkante verlaufenden Regenrinne gespeist und hat so die Einzugsfläche der vollen Gewächshaus-Dachfläche.

Eine darin befindliche Tauchpumpe liefert über eine Leitung in der Mitte des Kaltgangs das Wasser bei Bedarf ins Gewächshausinnere an eine Hauswasserstation.

Im planierten Außenbereich südlich des Gewächshauses befindet sich der Schachtdeckel für den Zugang zum Zisternentank, der mit ca. 0,6 m Erdreich überschüttet ist. Das Fassungsvermögen der Zisterne beträgt 4 m³.

Bild: Regenrinnen-Ablauf und -Zulauf zu Zisterne

Bild: Schachtdeckel Zisterne (4 m³)

5.11 Solares Energiesystem

5.11.1 Abschattungs-System / PV-Lamelle

Zum Zwecke der Abschattung sind im Gewächshaus, direkt unterhalb des ETFE-Foliendachs, Lamellen installiert. Die Lamellen sind zur Erzeugung elektrischer Energie mit Photovoltaik-Zellen ausgestattet.

Es sind insgesamt 56 dieser Photovoltaik-Lamellen installiert. Hiervon liefern 49 Lamellen „nur“ Strom.

Die 7 Lamellen der unteren Reihe (direkt über dem Kaltgang) sind mit Wärmetauschern ausgestattet und liefern neben solarem Strom auch solare Wärme. Diese Wärme wird zwischengespeichert und zu späteren Zeitpunkten dem aquaponischen System zugeführt.

Die Abmessungen der Lamellen betragen jeweils ca. 2,3 m mal 0,4 m. Die elektrische Peak-Leistung je Lamelle beträgt 110 W_p, in der Summe etwa 6,2 kW_p. Die thermischen Erträge der mit Wärmetauscher ausgestatteten Lamellen sollen im Rahmen dieses Projekts ermittelt werden.

Die Konsolen für ihre Befestigung der Lamellen an den Dachbögen sind transparent, damit möglichst wenig Schlagschatten entsteht.

Alle verwendeten Systemkomponenten des solaren Abschattungssystems wurden von EBF entwickelt und hergestellt, vor Ort eingebaut und in Betrieb genommen.

Bild: PV-Lamellen, fertig zum Transport auf die Baustelle

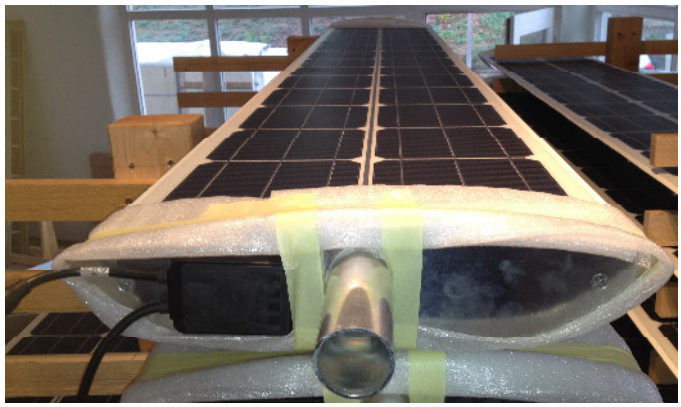


Bild: auf der Baustelle vorbereitete Konsolen für die Aufhängung der PV-Lamellen

Die PV-Elemente sind in 7 Segmenten mit je 8 Reihen unter der Folienfläche des Gewächshauses angeordnet.

Die diffuse innere ETFE-Folie minimiert zusammen mit der transparenten Aufhängung der Elemente aus Polycarbonat die Abschattungen infolge der tragenden Dachkonstruktion und sorgt für die bestmögliche gleichmäßige Ausleuchtung der Photovoltaik-Zellen.

Alle Lamellen sind untereinander verkabelt und an einen Batterieladeregler angeschlossen.

Bild: installierte PV-Lamellen

Die Lamellen werden über eine Seilzugmechanik gesamthaft der Sonnen nachgeführt bzw. den Lichtverhältnissen entsprechend gesteuert.

Bild: PV-Lamellen

5.11.2 Thermische PV-Lamelle

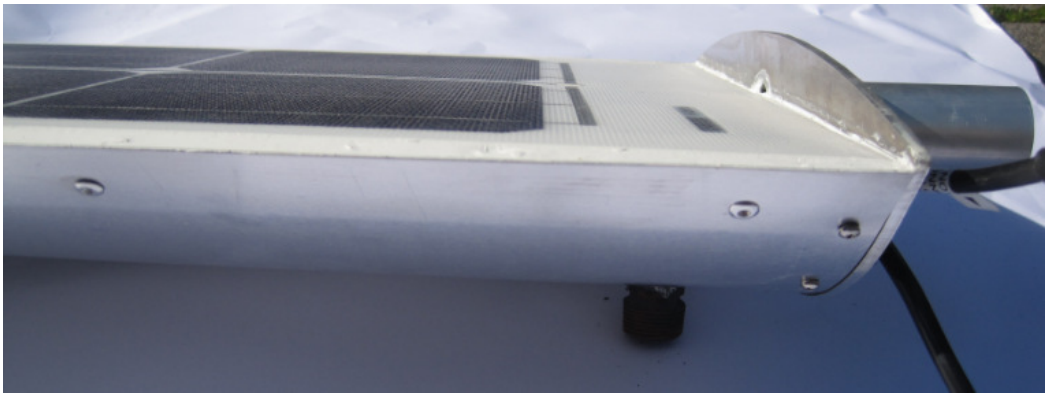
Die in der untersten Reihe installierten thermischen PV-Lamellen haben das gleiche Erscheinungsbild sowie die gleiche Aufhängung und Verkabelung wie die anderen sieben Reihen der reinen PV-Lamellen. Die thermischen PV-Lamellen sind miteinander über flexible Rohrleitungen thermisch in Reihe geschaltet und mit dem Pufferspeicher verbunden.

Der in ihrem Inneren befindliche Wärmetauscher (wärmeleitend auf der Rückseite der PV-Laminate angebracht) ist geeignet, das durchströmende Wasser zu erwärmen und dabei die Photozellen zu kühlen.

Nachfolgende Bilder zeigen die thermische PV-Lamelle und deren hydraulischen Anschluss.

Bild: Rückseite thermische PV-Lamelle mit hydraulischem Anschluss

Bild: Seitenansicht thermische PV-Lamelle mit hydraulischem Anschluss

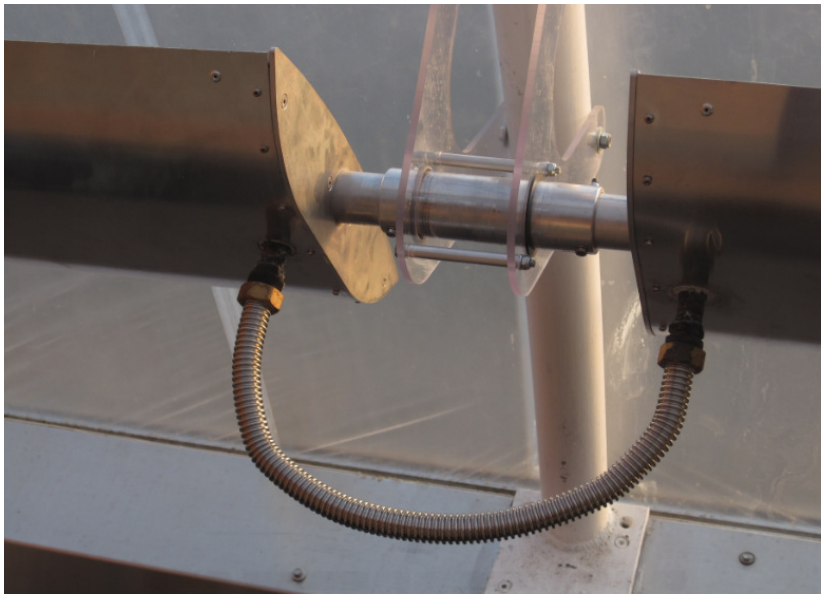


Die Lamellen sind drehbar gelagert, so dass sie zur Abschattungs- bzw. zur Lichtregelung eingesetzt werden können sowie im Falle der solaren Stromerzeugung optimal ausgerichtet werden können.

Die einachsige Lagerung ermöglicht auch, dass die thermischen PV-Lamellen in kalten Nächten mit der wärmesammelnden Seite dem Inneren des Gewächshauses zugewendet werden können. In dieser Position sind die thermischen PV-Lamellen, sobald sie von warmem Wasser durchflossen werden, als Strahlungsheizung nutzbar.

Das dafür erforderliche Warmwasser kann vom der Wärmepumpe oder vom Pufferspeicher zur Verfügung gestellt werden.

Bilder: PV-Lamellen mit Wärmeauskopplung



5.11.3 Lamellen-Antrieb

Die Lamellen sind um ihre Längsachse drehbar, so dass Abschattung, Energieausbeute und Rückstrahlungseffekte der blanken Aluminium-Unterseite je nach Situation frei wählbar sind.

Der Seilantrieb ist eine Entwicklung der EBF GmbH und steuert die gleichförmige Bewegung des gesamten Lamellenfeldes.

Er verwendet je eine Antriebsscheibe pro Lamellenreihe, die entlang des vierten Bogens eingebaut sind. Die thermischen PV-Lamellen werden separat angetrieben.

Bis genügend Klimadaten zur Beurteilung der Steuerungsparameter vorliegen, wird der Antrieb per Hand erfolgen.

Die Nachrüstung eines elektromotorischen Antriebs und seine Einbindung in die Gesamt-Steuerung der Haustechnik erfolgt in der 2-jährigen Betriebsphase. Die entsprechende Verkabelung ist bereits verlegt.

Bilder: Antriebsscheiben der PV-Lamellen

Bild: Seilzugmechanik der PV-Lamellen

5.11.4 Wärme-Pufferspeicher

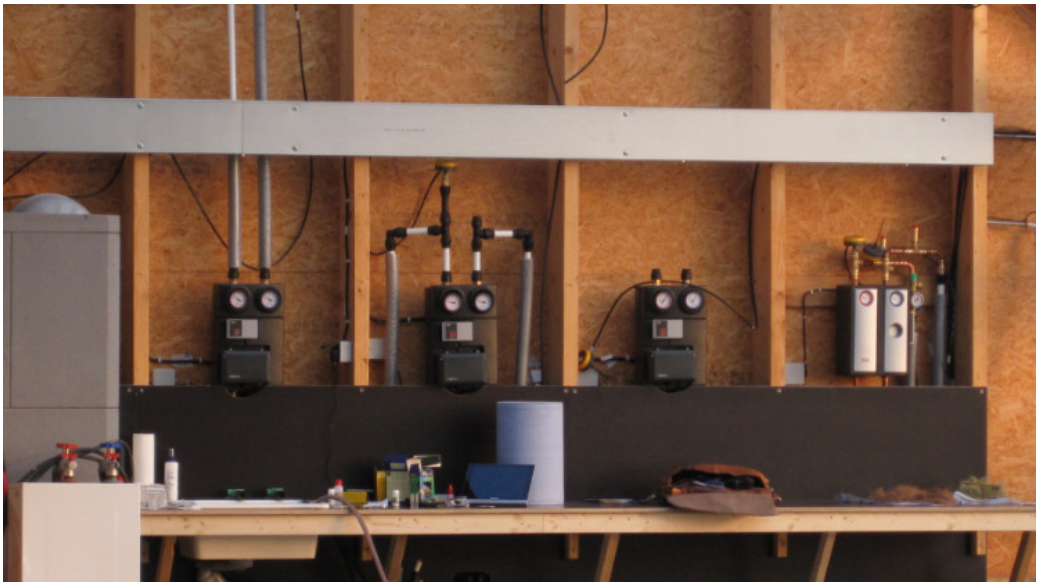
Der Pufferspeicher ist in der Ecke zwischen Technikraum und Ostwand platziert.

Er dient dazu, die aus den thermischen PV-Lamellen gewonnene Wärme zu speichern und bei Bedarf dem aquaponischen System (über Wärmetauscher in den Biofiltern) oder den thermischen PV Lamellen in ihrer Wärmestrahler-Funktion zur Verfügung zu stellen.

Da es sich bei dem gesamten Projekt um ein experimentelles Vorhaben handelt, ist im Pufferspeicher, aus Gründen der Betriebssicherheit, ein elektrischer Heizstab installiert.

Bild: Pufferspeicher, 500 Liter

Bild: Wärmeverteilung (drei Heizkreise) und Solarkreis-Station

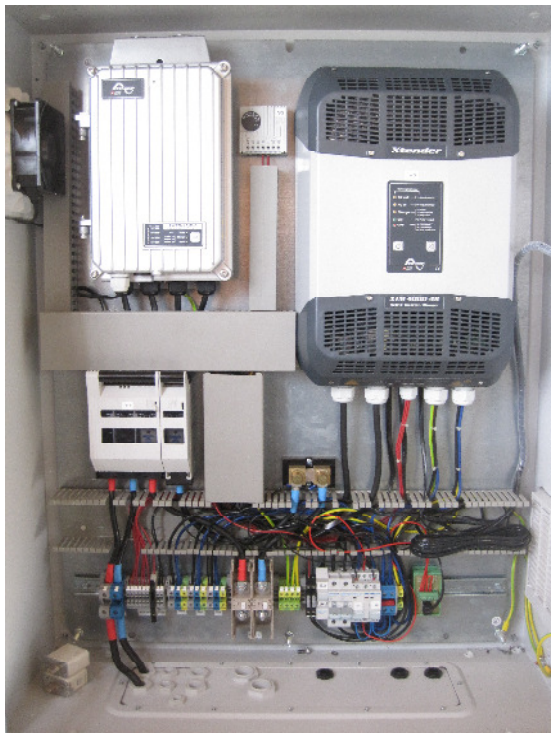


5.11.5 Laderegler und Wechselrichter

Der Laderregler und der Wechselrichter für die Photovoltaikanlage sind in einem separaten Schaltschrank an der Nordwand im Technikraum installiert und vollständig an den Batteriespeicher und die Photovoltaik-Anlage angeschlossen.

Die Anlage ist auch für den Netzersatzbetrieb geeignet.

Bilder: Schaltschrank des PV-Systems



5.11.6 Batteriespeicher

Der Batteriespeicher besteht aus insgesamt *16 Stück* 12 Volt Blei-Akkumulatoren von je *160* Ah Kapazität. Sie sind in einer Bank entlang der Nordwand im Technikraum unter dem Schaltschrank des Batterieladereglers untergebracht. Dies ist der kühlste Ort im Gewächshaus - was grundsätzlich der Lebensdauer der Batterien zuträglich ist.

Bilder: Batterien (vor der Montage) und kaschierte Batteriebank

5.12 Kontrolle von Umweltbedingungen

Die Gebäudestruktur des Aquaponischen Solar Gewächshauses mit den gut gedämmte Bauteilen und der 2-lagigen ETFE-Folien-Eindeckung sowie der Speichermasse des aquaponischen Systems bieten bereits beste Voraussetzungen um ein frostfreies Klima aufrecht erhalten zu können.

Um aber besonders günstige klimatische Bedingungen für das Pflanzen- und Fischwachstum zu schaffen, sollen im Gewächshaus die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Lichtintensität und im aquaponischen System die Wassertemperatur zusätzlich beeinflusst werden können.

Das hier erstmals verwirklichte integrierte Lüftungskonzept mit Erdwärmetauscher und doppelschaligen Wänden als Luftkanäle sowie dem Kaltgang als Kältesenke wurde von der EBF GmbH entwickelt.

Gleichzeitig sollen alle Steuerungsmaßnahmen so erfolgen, dass möglichst wenig Fremdenergie von außen benötigt wird.

Im Folgenden werden alle zur Kontrolle von Umweltbedingungen verwendeten Elemente hinsichtlich Wirkungsweise erläutert.

5.12.1 Erd-Wärmetauscher

Um das Erdreich innerhalb des Gewächshauses als thermische Speichermasse zu aktivieren wurden Lüftungsrohre vom Fuß der Nordwand durch den Erdboden bis in den Kaltgang gelegt. Der Boden steht damit als Wärmespeicher im Winter bzw. als Kältespeicher im Sommer zur Verfügung. Er dient der thermischen Konditionierung und Stabilisierung des Gewächshausklimas.

Die durch das Rohrsystem strömende Luft kommt entweder aus dem Deckenbereich des Gewächshauses (Umluftbetrieb) oder wird über Klappen im unteren Bereich der Nordwand von außen zugeführt (Außenluftbetrieb).

Die Luft tritt im Kaltgang an drei dafür vorgesehenen Öffnungen wieder aus (Durchmesser jeweils 40 cm).

Nachfolgende Bilder zeigen die verlegten Luftleitungen im unbedeckten und in dem mit Erdreich bedeckten Zustand.

Bilder: Luftleitungen im unbedeckten und im mit Erdreich bedeckten Zustand

Vor den drei Öffnungen des Kanalsystems wurden je ein Ventilator montiert.

Es wurden die nach heutigem Stand der Technik effizientesten Hochleistungsventilatoren mit geringer Geräuschentwicklung verwendet. Die Ventilatoren sind mit drehzahlregelbaren EC-Motoren ausgestattet.

Sie sorgen mit ihrem Luftstrom für einen guten Wärmeübergang zwischen dem Erdreich und der Luft.

Bilder: hocheffiziente Ventilatoren mit EC-Motoren und Drehzahlregelung im Kaltgang (http://www.ziehl-abegg.com/de/)

5.12.2 Lüftungsklappen und zweischalige Nordwand

Ob die Bodenspeicher-Ventilatoren Luft vom Deckenraum des Gewächshauses oder Außenluft von der kühlen Nordseite ansaugen, wird über Stellung der Lüftungsklappen in der Nordwand entschieden. Die Steuerung der Klappen erfolgt in Abhängigkeit von den Raumluft- und auch den Außenluftbedingungen.

Die Ventilatoren im Kaltgang saugen die Luft durch die Rohre des Erdwärmetauschers im Fußbereich der Nordwand aus dem Zwischenraum einer hölzernen Doppelwand an, die entlang der gesamten Nordseite des Gewächshauses verläuft.

Die äußere Schale der Doppelwand ist gleichzeitig die gedämmte Außenwand des Gebäudes. Sie besitzt im unteren Bereich über die ganze Gebäudelänge durchgehend eine Serie von kreisförmigen Durchbrüchen durch die Außenbeplankung, die mit zwei außen vorgesetzter und ca. 17 m x 0,6 m langen Klappen verschlossen werden können.

Diese beiden unteren Klappen öffnen sich mit oben liegendem Scharnier nach außen. Die beiden Klappen sind mit jeweils zwei Antriebsmotoren ausgestattet.

Analog besteht auch im obersten Wandbereich, direkt unter der Decke, eine über die ganze Gebäudelänge durchgehende Öffnung von ähnlicher Größe, die feldweise aufgeteilt, mit 7 Klappen verschlossen werden können.

Die sieben oberen Klappen öffnen sich mit unten liegendem Scharnier nach innen. Für jede Klappe ist jeweils ein Antriebsmotor installiert.

Die nachfolgenden Bilder verdeutlichen diese Situation.

Bilder: Klappen im oberen Bereich der Nordwand (Fortluft-/Umluft-Klappen), jeweils geschlossen und geöffnet

Bilder: Klappen im unteren Bereich der Nordwand (Außenluft-Klappen), Ansichten von innen und von außen

Dieses Klappenkonzept wird ergänzt durch die innere Wandschale, die oben so endet, so dass die nach innen geöffnete obere Klappe den Zwischenraum zwischen Außenwand und innerer Wandschale nach oben hin wie ein Deckel verschließt.

In diesem Fall kann oben befindliche, wärmste Luft aus dem Gewächshaus durch die von den nach innen gelegten oberen Klappen freigegebene Wandöffnung nach außen entweichen.

Wenn gleichzeitig die untere Klappe geöffnet ist, strömt von dort Luft in den oben verschlossenen Wandzwischenraum ein und kann mittels der Ventilatoren durch den Erdwärmetauscher in den Kaltgang gesaugt werden. Von dort erwärmt sich die Luft allmählich, steigt auf und wird durch die oberen Klappen entweichen.

Dies ist die Einstellung für heiße Tage. Kühle Außenluft von der Nordseite des Gebäudes wird über den Bodenspeicher weiter abgekühlt und senkt beim Eintritt ins Gebäude am Kaltgang das Temperaturniveau - besonders auf Bodenhöhe, wo sich die Pflanzen befinden.

Bei herrschender Kälte möchte man Wärmeverluste vermeiden. Dann bleiben die oberen Klappen geschlossen und es kann keine warme Luft nach außen entweichen. Außerdem ist damit der mittels innerer Wandschale gebildete Wandzwischenraum über die gesamte Gebäudelänge nach oben offen.

Gleichzeitig bleiben die unteren Klappen geschlossen und es kann keine kalte Außenluft in den Wandzwischenraum gelangen.

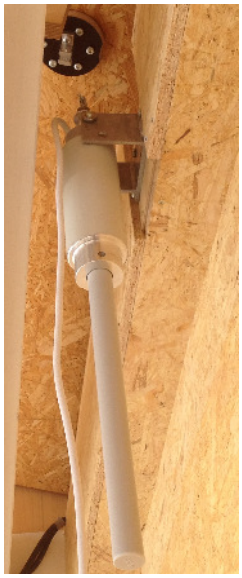
Werden nun die Ventilatoren eingeschaltet, wird der Wandzwischenraum oben Luft ansaugen und durch den Erdspeicher führen. Je nach Temperatur des Erdspeichers kann so die Luft weiter erwärmt werden – oder, wie an klaren Wintertagen möglich, können solare Wärmegewinne zur Verwendung in den Nachtstunden in das Erdreich eingespeichert werden.

Nachfolgende Bilder zeigen den geöffneten Fußpunkt der Nordwand mit dem Anschluss des Erdwärmetauscher-Systems sowie einen Ausschnitt der Nordwand.

Bilder: geöffneter Fußpunkt der Nordwand mit dem Anschluss des Erdwärmetauscher-Systems und Ansicht der Nordwand (während der Bauphase)

Alle Klappen werden mittels elektrischer Spindeln bewegt und sind über Datenleitungen mit der Leitzentrale verbunden. Die sieben oberen Klappen besitzen je einen mittig angeordneten Antrieb, die beiden unteren Klappen jeweils zwei.

Bilder: untere Klappe sowie obere Klappe, ohne und mit innerer Wandschale



5.12.3 Klimagerät mit Wärmepumpe

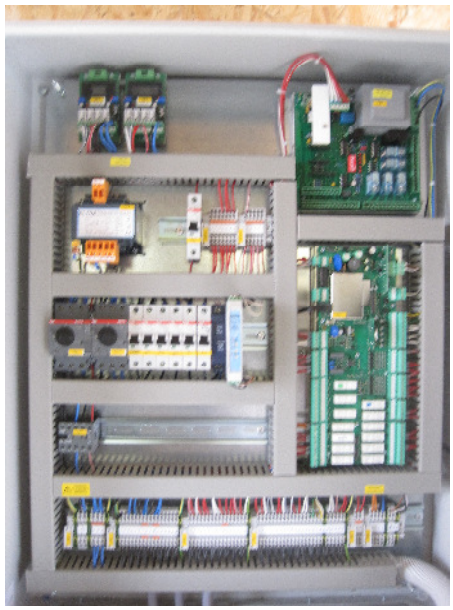
Sollte zusätzliche Wärme benötigt werden, was in unseren Breiten zeitweise der Fall ist, so wird das auf der Decke des Technikraumes aufgestellte Klimagerät mit einer Wärmepumpe in Betrieb genommen. Die von dem Klimagerät erwärmte Luft wird über einen längs durch das Gebäude verlaufenden Bodenkanal verteilt und an ausgewählten Stellen dem Gewächshaus zugeführt. Zusätzlich wird der Pufferspeicher erwärmt.

Die Heizleistung der Wärmepumpe liegt bei etwa 8 kW_{th}.

Das Klimagerät ist mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung ausgerüstet.

Die Wärmepumpe kann an heißen Tagen, falls das Lüftungskonzept über den Erdspeicher sowie die adiabate Kühlung (Nebeldüsen) nicht ausreichen sollten, auch zum Kühlen des Gewächshauses genutzt werden, was voraussichtlich aber nicht erforderlich sein wird.

Bilder: Klimagerät mit integrierter Wärmepumpe und Wärmerückgewinnung auf dem Dach des Technikraums, Steuerschrank im Technikraum geschlossen und offen



Aquaponic
Solar Greenhouse
ebf

5.12.4 Bodenkanal

Der längs im Gewächshaus verlaufende Bodenkanal für die konditionierte Luft aus dem Klimagerät besteht aus Formsteinen, die in Magerbeton verlegt wurden. Der Querschnitt des Kanals misst ca. 0,8 m x 0,25 m. Der Bodenkanal ist unter der Splittschicht unsichtbar mit Bohlen und Folie abgedeckt ist. Je nach Lage der Kultursysteme und Pflanzenbecken können die Luftauslässe in jeweils geeignete Bohlen eingebaut werden.

Im Bodenkanal sind auch Wasserleitungen für die Biofilter-Beheizung sowie viele Strom- und Datenkabel (z.T. mit Stichleitungen Richtung Kaltgang) leicht zugänglich verlegt.

Bilder: Bodenkanal in beide Blickrichtungen

5.12.5 Wärmeschutz- Rollo

Für kalte Winternächte ist es sinnvoll, zusätzlich zur doppelten ETFE-Folie eine temporäre wärmedämmende Abdeckung des transparenten Bereiches der Gebäudehülle vorzusehen.

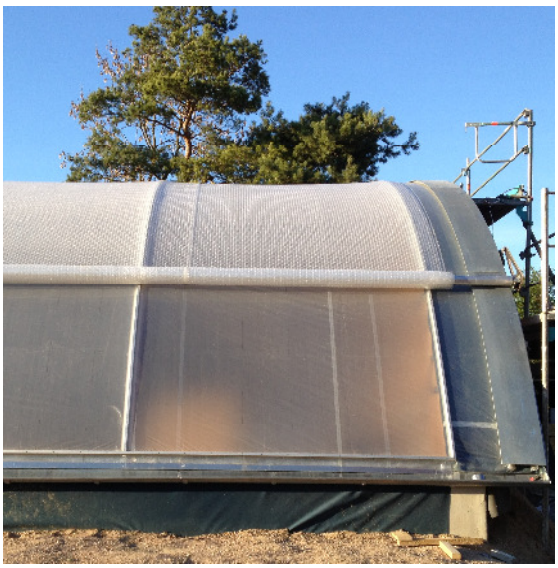
Dafür könnte die in China bekannte, aus in Polyester-Stoff eingenähtem mehrschichtigen Filz bestehende Wärmedecke verwendet werden. Das Zusammenfügen zu der benötigten Flächengröße stößt jedoch auf noch nicht ganz gelöste Schwierigkeiten.

Aus diesem Grund wurde zunächst auf eine für Folien-Gewächshäuser handelsübliche Luftpolsterfolie zurück gegriffen. Sie ist leicht, lässt sich gut zu einer großen Fläche zusammenfügen und besitzt ausreichende Dämmeigenschaften, die auch bei Nässe noch wirken. Darüber hinaus ist sie lichtdurchlässig und kann an besonders kalten, klaren Wintertagen die Wärme im Gebäude halten ohne die Sonnenstrahlung vollständig auszusperren.

Das Antriebssystem verwendet eine entlang des östlichen Ortganges verlaufende Schiene, an der ein kleiner Rollenwagen entlang läuft. Die Wärmedecke ist auf einem Aluminiumrohr Rohr von 90 mm Durchmesser aufgewickelt, dessen Länge über das gesamte Gewächshaus reicht. An seinem Ostende ist ein Rohrmotor eingeschoben, der über einen kleinen Arm sein Drehmoment über den mitfahrenden Rollenwagen an die Schiene abgibt.

So wickelt sich die Welle in dem Teppich ein oder aus und kann so trotz der flachen Dachneigung ohne weitere Hilfsmittel das Bedecken und Aufdecken bewerkstelligen.

Bilder: Wärmeschutz-Rollo und Drehmoment-Übertragung auf Führungsschiene



5.12.6 Luftbefeuchtung

Im Sommer stellen sich im Gewächshaus sehr häufig zu trockene Luftzustände ein.

Bei Raumluftfeuchten unter 30% ist das Risiko von Mehltau sehr groß. Darüber hinaus benötigen die beim biologischen Pflanzenschutz eingesetzten Nutzinsekten auch ein Mindestmaß an Luftfeuchte damit sich stabile Populationen etablieren können.

Weiterhin würden sich in halb geschlossenen Gewächshäusern, wie dem Aquaponischen Solar Gewächshaus, im Sommer zeitweise sehr hohe Raumlufttemperaturen ein stellen, wenn nicht entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

Aus diesen Gründen ist ein System zur Luftbefeuchtung mit Sprüh- bzw. Nebeldüsen installiert.

Bei Bedarf wird Wasser an geeigneten Stellen des Gewächshauses sehr fein zerstäubt. Bevor es auf die Pflanzen niedergeht ist das Wasser vollständig verdunstet. Neben der Luftbefeuchtung als solcher erfolgt dabei auch eine Kühlung der Raumluft (adiabate Kühlung).

Die Luftbefeuchtung erfolgt mit Wasser aus der Zisterne, da dieses bereits demineralisiert ist. Falls sich im Testbetrieb infolgedessen Schwierigkeiten ergeben (z.B. Düsenverstopfungen) kann auf die Verwendung von Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz ausgewichen werden.

5.12.7 Luftentfeuchtung

Im Winter kommt es insbesondere in gut gedämmten Gewächshäusern häufig zu sehr hohen Raumluftfeuchten. Die Raumluftfeuchte sollte im Bereich der Kulturen unter 80% r.F. gehalten werden.

In einfach verglasten Gewächshäusern erfolgt die Entfeuchtung durch die Kondensation an den kalten Scheiben oder durch einen erhöhten Luftwechsel. Beides ist eine sehr energieintensive Art der Entfeuchtung.

Im Aquaponischen Solar Gewächshaus kann die Entfeuchtung auf zwei Weisen erfolgen.

Für diesen Zweck ist das Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe ideal einsetzbar.

Zur Entfeuchtung kann entweder ein entsprechender Außenluftwechsel gefahren werden oder im Umluftbetrieb die Wärmepumpe eingesetzt werden.

Mit einem entsprechenden Außenluftwechsel zu entfeuchten, ist, aufgrund der vorhandenen hocheffizienten Wärmerückgewinnung, mit geringem Energieeinsatz eine voraussichtlich günstige Möglichkeit.

Alternativ könnte die Entfeuchtung, wie zuvor erwähnt, aber auch mit der vorhandenen Wärmepumpe im Umluftbetrieb erfolgen. In diesem Fall würde die Raumluft zuerst gekühlt und dann nacherhitzt werden. Beim Prozessschritt der Kühlung wird der Luft die Feuchtigkeit durch Kondensation am Verdampfer der Wärmepumpe entzogen. Die Kondensationswärme und die eingesetzte elektrische Energie werden anschließend an die Zuluft über die Nacherhitzung mit der Kondensatorwärme der Wärmepumpe abgegeben.

Im Rahmen der 2-jährigen Betriebsphase des Projekts werden beide Entfeuchtungsmethoden untersucht und dokumentiert. Dies ist von besonderem Interesse für den Gartenbau.

5.12.8 Rotlicht-Phasen-Verschiebung

Zur Verbesserung der Photosynthese-Leistung der Pflanzen ist es vorgesehen, mit pigmentierten ETFE-Folien einen Teil des von den Pflanzen nicht verwendeten grünen Lichts ins Rote zu verschieben. Das rote Licht kann für die Photosynthese verwendet werden.

Es ist geplant, diese Folien zwischen den Pflanzkulturen zu platzieren.

Damit ist es möglich, photosynthetisch aktives Licht ohne den Einsatz von künstlichem Licht zu erzeugen. Der Einsatz von Energie verbrauchender Assimilations-Beleuchtung wird dadurch hinaus gezögert.

Eine Dokumentation dieser Anwendung erfolgt mit dem Bericht über die Betriebserfahrungen des Aquaponischen Solar Gewächshauses am Ende der 2-jährigen Betriebsphase.

5.12.9 Schwefel-Plasma-Lampen

An dunklen und kurzen Wintertagen, wenn die Rotlicht-Phasen-Verschiebung nicht mehr ausreicht, ist es erforderlich die Photoperiode für die Pflanzen mit einer Assimilations-Beleuchtung zu verlängern.

Für diesen Zweck werden im Aquaponischen Solar Gewächshaus hocheffiziente Schwefel-Plasma-Lampen eingesetzt.

Diese wurden von der EBF GmbH mit entwickelt und liefern Licht, das in seinem Spektrum dem Sonnenlicht sehr ähnlich und damit ideal für das Pflanzenwachstum ist.

Insgesamt sind drei Schwefel-Plasma-Lampen mit einer Leistung von jeweils 1.300 W im Gewächshaus installiert.

Mit einem Lichtsensor gekoppelt, werden die Lampen den Lichtanforderungen entsprechend automatisch zugeschaltet und gedimmt.

Bild: Plasma Lampen

5.12.10 Kohlenstoffdioxid-Haushalt

Zur Verbesserung der klimatischen Bedingungen im Gewächshaus ist es von besonderer Bedeutung, auch die Zusammensetzung der Luft, vor allem den CO_2-Gehalt, zu kennen.

Insbesondere ein zu geringer Kohlendioxidanteil kann das Pflanzenwachstum hemmen.

Gegenüber normalen Gewächshäusern ist es bereits ein Vorteil, dass die Fische im gleichen Raum gehalten werden wie die Pflanzen. Der Stoffwechsel der Fische setzt das für die Pflanzen benötigte CO_2 frei. Die Balance zwischen Bedarf und Angebot ändert sich jedoch je nach Tageszeit, Sorte und Wachstumsphase der angebauten Pflanzenkultur. Es ist vorgesehen, den CO_2-Gehalt der Gewächshaus-Atmosphäre zu messen, um daraus Erkenntnisse zum Gas-Haushalt der Aquaponik zu gewinnen.

Eine Dokumentation dieser Anwendung erfolgt auch mit dem Bericht über die Betriebserfahrungen des Aquaponischen Solar Gewächshauses am Ende der 2-jährigen Betriebsphase.

5.13 Schalt- und Steuerungstechnik

Im Technikraum am Osteingang laufen alle Daten- und Stromkabel zusammen. Alle installierten Systemkomponenten sind am Steuerschrank angeschlossen.

Er selbst hängt am öffentlichen Stromnetz und liefert neben der Elektrizität für die Systemkomponenten auch über Steckdosen den Strom für Arbeitsgeräte der Baumaßnahmen.

Von hier aus werden alle programmierten Regel- und Steuerungsvorgänge geleitet.

5.13.1 Kabelverlegung

Oberstes Ziel war es, alle erforderlichen Leitungen unsichtbar zwischen den vorgesehenen Endpunkten zu verlegen. Dafür wurden zunächst für alle Kabelenden Klebe-Etiketten gedruckt, die, an den Gewächshausbauteilen angebracht, Beginn, Ende und Art des Kabels Kennzeichneten. Nach dem Legen des Kabels wurden alle Enden mit den entsprechenden Aufklebern gekennzeichnet, damit das Anschließen am Steuerschrank und dem Gerät möglichst einfach gehalten wurde.

Mit etwa 5 km an Kabeln und Datenleitungen verschiedener Querschnitte sind mittlerweile alle vorgesehenen Leitungen verlegt. Die Hauptstränge verlaufen in einem Kabelkanal entlang der Oberkante der Innenschale der Nordwand, entlang des Firstbalkens, im Warmlufttunnel sowie in einem Kabelkanal entlang der Ostwand und in drei Bodenröhren, die Warmluft-Tunnel und Kaltluftgraben verbinden.

Diese Kabelstränge von der Nordwand wurden in einem kurzen Rohrtunnel unter dem Boden zum Steuerschrank geführt, den alle Kabel von unten aus erreichen.

In allen Kabelkanälen und -rohren ist noch genügend Raum um ggf. Stränge zu ergänzen oder die räumliche Lage von Komponenten anzupassen.

Nachfolgende Bilder geben einen Eindruck über die Mengen an verlegten Kabeln.

Bilder: Kabel (insgesamt etwa 4 km)

5.13.2 Schalt- und Steuerschrank

Der Schalt- und Steuerschrank besteht aus zwei Einheiten und ist an der südlichen Technikraum-Wand aufgestellt.

Hier sind alle technischen Einrichtungen des Gewächshauses angeschlossen. Eine Regelung des Fabrikats Saia regelt und steuert alle Prozesse. Darüber hinaus werden alle relevanten Daten aufgezeichnet.

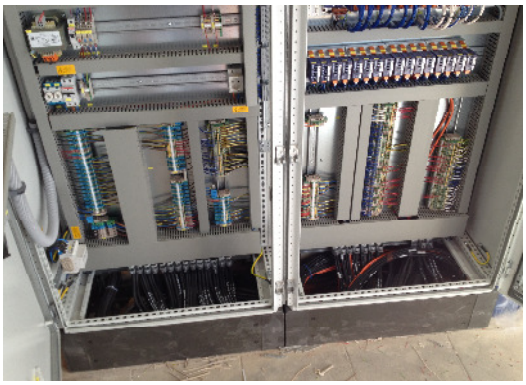
Neben den prozess- und gebäuderelevanten Regelungsaufgaben erfüllt die Regelung auch die sicherheitstechnischen Aufgaben (Stör- und Warnmeldungen, Kameraüberwachung mit entsprechender Weiterleitung der Informationen und Bilder an den Betriebsverantwortlichen).

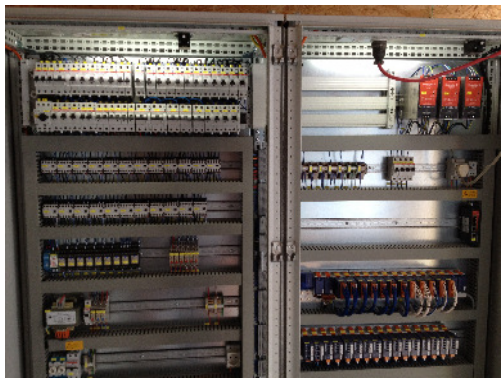
Die Bedienung des Regelungssystems erfolgt im Schaltschrank oder über einen benutzerfreundlichen Touch-Screen.

Für den gesamten Schaltschrank, dessen regelungstechnische Komponenten und die damit ausgeführten Regelungsaufgaben sind in einer umfangreichen Dokumentation separat beschrieben.

Die gesamte Versorgungstechnik inklusive der Mess- Steuer- und Regelungstechnik, der Sicherheits- und Überwachungstechnik sowie der entsprechenden Ingenieurleistungen wurde von der Firma Herbert aus Bensheim/Hessen geliefert (www.herbert.de).

Bilder: Schalt- und Steuerungsschrank (untere und obere Hälfte)





5.13.3 Stromversorgung

Die Stromversorgung erfolgt anteilig vom öffentlichen Netz. Durch die Badenova erfolgt die Belieferung mit Strom aus Erneuerbaren Energien.

Die PV-Anlage versorgt, batteriegepuffert, die essentiellen Systemkomponenten. Diese Komponenten sind die Pumpen und Belüftungseinrichtungen des aquaponischen Systems sowie die Ventilatoren für die sommerliche Kühlung des Gewächshauses.

In Zeiten mit zu geringen Solarerträgen werden die Batterien mit Strom aus dem öffentlichen Netz geladen.

Die jeweiligen Energiemengen werden durch Stromzähler erfasst dokumentiert und bilanziert.

5.13.4 Betriebsbeleuchtung

Die Betriebsbeleuchtung im Innen- und Außenbereich besteht aus modernster LED-Technologie und ist über Bewegungsmelder gesteuert.

6 Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Ergebnis des Projekts die Erwartungen bislang erfüllt oder gar übertroffen hat.

Obgleich die Bauzeit etwas länger und auch die Kosten etwas höher waren als geplant, so konnte doch erstmals ein umfänglich ausgestattetes Aquaponisches Solar Gewächshaus errichtet werden, das, als Integriertes Lebensmittel- und Energiesystem, in sehr vielen Belangen gar ein Unikat ist.

Die bislang wichtigsten Erkenntnisse aus diesem Projekt können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Genehmigungsfähigkeit

   Mit diesem Projekt wurde erstmals in Deutschland eine kommerzielle Aquaponik-Anlage genehmigt und in Betrieb genommen. Während der Genehmigungsphase waren insbesondere die konstruktiv-kritischen Gespräche mit dem Veterinäramt in Freiburg von großem Gewinn für das Projekt. Diese Gespräche führten zu Verbesserungen des hygienischen Konzepts des Gewächshauses und den entsprechenden Einrichtungen. Die so gewonnenen Erfahrungen können bei der weiteren Kommerzialisierung in zukünftige Projekte eingebracht werden. Es konnte mit dem Projekt gezeigt werden, dass kommerzielle Aquaponik-Anlagen unter Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen der Lebensmittelhygiene, des Tierschutzes und des Seuchenschutzes grundsätzlich genehmigungsfähig sind. Ein weiterer Aspekt, auf den seitens des Veterinäramtes Wert gelegt wurde, war die Kompetenz des Betreibers. In diesem Kontext wurde deutlich, dass es das Berufsbild des „Aquaponikers“, mit der Kompetenz des Fischwirts und des Gärtners, noch nicht gibt. Die Kompetenz des Betreibers wird vom Veterinäramt gefordert und entsprechend kritisch hinterfragt.

2. Wirtschaftlichkeit

   In seiner Art und mit seiner Ausstattung kann das Aquaponische Solar Gewächshaus durchaus als ein sogenanntes „halb geschlossenes Gewächshaus-System“ (Semi Closed Environment oder Semi Controlled Environment) bezeichnet werden, in dem die Raumklimabedingungen mit geringst möglichem Energieverbrauch den Bedürfnissen der Pflanz- und Fischkulturen entsprechend angepasst werden können.

   Halb geschlossene Gewächshäuser werden im kommerziellen Gartenbau in einer Größe von mehreren Hektar, zum Beispiel für den ganzjährigen Anbau von Tomaten, eingesetzt. Die Kosten solcher großen Gewächshausanlagen belaufen sich je nach Ausstattung und äußerer Klimabedingungen auf etwa 300,- bis 500,- €/m². Der Energieeinsatz für die Beheizung, Beleuchtung und Belüftung bei derartigen Gewächshäusern ist immens hoch. Zusätzlich, sind bei solchen zentralen Großanlagen auch die Energieaufwände für den Transport der Produkte zum Verbraucher nicht vernachlässigbar.

   Diesen vorgenannten Kostenmaßstab angelegt, dürfte das Aquaponische Solar Gewächshaus bei einer Grundfläche von 190 m² nur etwa 57 bis 95 T€ kosten.

   Die Kosten des mit diesem Projekt realisierten Pilot-Gewächshauses beliefen sich bislang jedoch auf etwa 540 T€ (netto).

   Hierbei ist allerdings zu bedenken, dass ein erheblicher Anteil an den Kosten die Planungs- und Entwicklungskosten ausmachten.

   Darüber hinaus sind alle Komponenten dieses ersten Aquaponischen Solar Gewächshauses einzeln oder per Hand angefertigt. Daher sind dessen spezifische Kosten nicht vergleichbar mit großflächig errichteten Standardhäusern.

Weiterhin ist anzumerken, dass das Niveau der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sehr hoch angesetzt wurde. Hiermit soll in einer 2-jährigen Betriebsphase die Performance des Gewächshauses messtechnisch erfasst, validiert und optimiert werden. Ein solcher Aufwand wird in einer kommerziellen Anwendung des Gewächshauses nicht mehr erforderlich sein.

Die höheren Kosten des Pilotprojektes sind daher durchaus verständlich und begründbar.

Die Analyse der Kosten des Pilotprojektes hat bereits ergeben, dass die Kosten eines serienmäßigen Aquaponische Solar Gewächshaus, in der beabsichtigten Standardgröße von 300 m², bei etwa 150 T€ liegen würden, also bei etwa 500,- €/m².

Die Kosten werden maßgeblich natürlich auch durch den gewünschten Grad an Energie-Autonomie mit bestimmt.

Die bestmögliche Ausnutzung vorhandener Flächen für Photovoltaik oder der Einsatz von kleinen Windkraftanlagen, ggf. verfügbarer Wasserkraft oder der Einsatz kleiner KWK-Anlagen auf der Basis von Biomasse stellen viele Möglichkeiten der Energieerzeugung und -bereitstellung für das Aquaponische Solargewächshaus dar.

Während der 2-jährigen Betriebsphase sollen die Energiebedarfsprofile des Gewächshauses als Ganzes sowie auch im Einzelnen der wesentlichen Komponenten aufgenommen und analysiert werden. Darüber hinaus werden insbesondere die Erträge der mit Photovoltaik belegten Abschattungslamellen aufgezeichnet. Mit den so ermittelten Daten können die Komponenten des zukünftigen serienmäßigen Gewächshauses in ihrer Leistung dem Bedarf angepasst (optimiert) werden und dessen Energieerzeugungssysteme exakt ausgewählt und dimensioniert werden. Dies senkt die Errichtungs- und auch die Betriebskosten.

3. Marktresonanz

Eine weitere Erkenntnis ergab sich in jüngster Zeit hinsichtlich der Marktresonanz des Aquaponischen Solar Gewächshauses.

Seit der Inbetriebnahme des Gewächshauses im Dezember 2014 und insbesondere nach dem Pressetermin Ende Januar 2015 stieg das öffentliche Interesse rapide an. Die Gespräche und die E-Mails mit einer Vielzahl interessierter Menschen unterschiedlichster Berufs- und Lebenserfahrung und jeden Alters gaben uns ein durchweg positives Feedback.

Dadurch bestärkt, haben wir uns entschlossen, das Gewächshaus verstärkt der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Entsprechend beabsichtigen wir nun, Kurse, Seminare und Workshops anzubieten und die Aquaponik, die Gewächshaustechnik sowie die Lebensmittelerzeugung im kleinräumigen Wirtschaftskreislauf erlern- und erlebbar zu machen.

Über Lehr- und Lerneinheiten für Schulen möchten wir hiermit insbesondere auch junge Menschen erreichen.

7 Fotodokumentation

Nachfolgend sind weiter Bilder aus Inbetriebnahmephase des Aquaponischen Solar Gewächshauses dokumentiert.

8 Presse

Nach der Inbetriebnahme wurden Pressevertreter eingeladen, das Konzept des Aquaponischen Solar Gewächshauses kennen zu lernen.

Die entsprechenden Pressemeldungen sind unter www.lugfoto.de zu finden.