

## Klein-Eden - Ein zukunftsweisendes Umweltprojekt

### Anbau tropischer Früchte mittels Abwärme im Niedertemperaturbereich

Sachbericht Projekt Nr. 129: „Klein-Eden“-Tropenhaus am Rennsteig GmbH Europäischer Fonds für regionale Entwicklung /Ziel 3 Freistaat Bayern-Tschechische Republik 2007-2013

#### Inhalt

1	Energieeffiziente Abwärmenutzung für ein tropisches Gewächshaus in Oberfranken (Zusammenfassung) .....	1
2	Sachbericht.....	6
2.1	Aufbau des Tropenhauses .....	6
3	Ausgerechnet Bananen & Co Optimierung des Anbaus tropischer Früchte unter Glas .....	26
3.1	Ausgangssituation: Globale Nachfrage und Energiebilanz .....	26
3.2	Forschung im ÖBG .....	27
4	Finanzierung, Kooperationen und Anschriften der Autoren.....	31
4.1	Projektbeirat.....	32
5	Zitierte Literatur/ Anschrift der Autoren.....	33

## 1 Energieeffiziente Abwärmenutzung für ein tropisches Gewächshaus in Oberfranken (Zusammenfassung)

In Kleintettau in Oberfranken, einer klimatisch eher rauen Region, werden subtropische und tropische Früchte und Süßwasser-Speisefische in Bio-Qualität produziert. Unter dem Namen Klein-Eden entstand dort ab dem Jahre 2011 eine Gewächshausanlage mit ca. 3.500 m<sup>2</sup> Fläche, ein erstes Referenzprojekt für die energieeffiziente industrielle Abwärmenutzung im Niedrigtemperaturbereich ist. Das Tropenhaus, das Mitte 2014 eröffnet wurde, wird mit der Prozesswärme des benachbarten Glasindustriebetriebs Heinz-Glas GmbH beheizt, die bisher ungenutzt entwich. Auch wenn bisher nicht alle Forschungsergebnisse vorliegen, hat das Projekt bereits gezeigt, dass zukünftig tropische Nutzpflanzen und Speisefische unter nachhaltig wirtschaftlichen Bedingungen erzeugt werden können. Lange Transportwege mit hohen Schadstoffemissionen entfallen.



## ***Ausgangssituation***

Am bayerischen Rennsteig in Oberfranken ist seit Generationen die Glasindustrie angesiedelt. Bei der Glasherstellung fällt Abwärme in großer Menge an, die jedoch bisher meist ungenutzt verloren ging. Das galt auch für die Firma Heinz-Glas GmbH in Kleintettau, die in der Glasproduktion und -veredelung tätig ist und hochtransparentes und farbiges Glas als Flakons und Tiegel herstellt. Mittels eines kontinuierlich laufenden Blockheizkraftwerkes und eines angeschlossenen Kälteabsorbers wird dort Druckluft und Kaltwasser für die Glasproduktion erzeugt. Die dabei entstehende Wärme sowie die Wärme aus dem Kühlwasserkreislauf der Glasproduktion wurden bislang über Kühltürme ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Für eine wirtschaftliche Nutzung der Abwärme im Niedertemperaturbereich fehlte eine sinnvolle Anwendung.

## ***Abwärme für ein Tropenhaus***

Erst die Projektidee eines Tropenhauses zur Nutzung der Abwärme im Niedertemperaturbereich war vielversprechend. Ziel war die Erforschung und Kultur von subtropischen und tropischen Früchten und Speisefischen in Bio-Qualität. Anfangs war die Skepsis noch groß, ob bei der vergleichsweise geringen Sonnenausbeute in „Bayerisch Sibirien“ ein quantitativ marktfähiger Anbau von Tropenfrüchten im Gewächshaus überhaupt möglich sei. So kompensieren die exotischen Pflanzen in den Tropen fehlendes Sonnenlicht durch die gleichbleibend optimale Versorgung mit Nährstoffen und fehlenden Stress durch Stürme, Trockenperioden oder Regenzeiten.

In unmittelbarer Nähe zur Produktionsstätte der Firma Heinz-Glas GmbH wurde 2011 das Tropenhaus konzipiert. Die Wärmeenergie aus der Glasproduktion kann zur Beheizung problemlos abgezweigt und ins Tropenhaus transportiert werden und steht rund um die Uhr zur Verfügung. Bei Klein-Eden, wie das oberfränkische Projekt getauft wurde, setzt man auf das Polykultursystem, welches nahezu geschlossene Kreisläufe bildet, indem es Ressourcen wie Energie, Wasser und Nährstoffe mehrfach nutzt. So dient das Abwasser der Fischzucht als Dünger für die Pflanzen.



Abb. 1: Produktionsgewächshaus im Bau, Oktober 2012 © Jana Messinger

## **Technische Ausstattung**

Bis Ende 2013 entstanden zwei Tropenhäuser: ein Besucherhaus mit 800 m<sup>2</sup> Fläche sowie ein angrenzendes Produktions- und Forschungsgewächshaus mit ca. 2.600 m<sup>2</sup>, insgesamt also etwa 3.500 m<sup>2</sup> unter Glas. Aus Sicherheitsgründen ist das Besucherhaus mit Verbundsicherheitsglas ausgestattet, welches bei Glasbruch das Risiko von Schnittverletzungen minimiert und selbst bei Zerstörung der Scheiben eine Resttragfähigkeit behält. Dagegen besteht das Produktions- und Forschungsgewächshaus zum Großteil aus Spezialglas, das zu 99 Prozent UV-durchlässig ist, um eine optimale Versorgung mit UV-Licht für die tropischen Nutzpflanzen zu gewährleisten.

Beide Gewächshäuser enthalten doppelagige Energieschirmsysteme. Diese sind eine Art Klimaanlage im Giebel(Dachfirst) und dienen zum einen ähnlich einer Jalousie der Abschattung der Pflanzen bei zu hoher Sonneneinstrahlung, sie vermindern aber auch die Abstrahlung von Wärme an die Umgebung und isolieren gegen die kühlere Luft im (Dachfirst) Giebelbereich. So helfen sie, Energie einzusparen.

Die Abwärme aus der Glasproduktion für die Wärmeversorgung der Tropenhäuser hat ganzjährig im Vorlauf eine Temperatur von ca.35-38°C. In den Gewächshäusern sorgen etwa 100 Warmluftgebläse für eine Raumlufttemperatur von durchgehend 20 bis 24°C. Durch eine Twin-Roll-Wand lassen sich zwei unterschiedliche Klimazonen anlegen. Für Notfälle steht in beiden Häusern eine Notheizanlage zur Verfügung.

Das Produktions- und Forschungsgewächshaus wurde noch Anfang 2013 mit vorkultivierten Nutzpflanzen bepflanzt. Im Mittelpunkt der Forschungsarbeit stehen tropische Obstsorten wie Naranjilla und Maracuja, des Weiteren werden Banane, Mango, Karambole, Papaya, Cherimoya, Guaven, Sapoten, Avocado und viele andere Exoten erforscht. Das Besucherhaus wurde im Winter 2013 fertiggestellt. Die Eröffnung erfolgte im Mai 2014.

Im Produktions- und Forschungsgewächshaus werden in einem organisch-biologischen Kreislaufsystem (Polykultursystem) neben tropischen Früchten in Bioqualität auch tropische Speisefische wie z.B. der Nilbarsch gezüchtet werden. Die Aquakultur hierfür besteht aus vier Mastbecken mit je 30m<sup>3</sup> sowie fünf Aufzuchtbecken mit insgesamt 18m<sup>3</sup>.

## **Nachhaltigkeit durch Polykultursysteme**

Polykultursysteme sind nachhaltige landwirtschaftliche Produktionsanlagen, die Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe oder Energie quasi in geschlossenen Kreisläufen mehrfach nutzen und so eine hohe Produktivität bei optimaler Nutzung der vorhandenen Ressourcen ermöglichen. In der Tropenhausanlage Klein-Eden sind Pflanzen- und Fischproduktion über Wasser- und Stoffkreisläufe miteinander verbunden. Das mit überschüssigem Futter und den Ausscheidungen der Fische angereicherte Wasser dient als Dünger für die Produktion der tropischen Früchte. Dies ermöglicht eine Steigerung der Ertragswerte ohne Verursachung von Umweltbelastungen, da das „Abfallprodukt Fischwasser“ durch die Bewässerung und Düngung der tropischen Produktionsflächen gereinigt wird. Anders als Hydroponik Systeme puffert der humusreiche Boden die Nährstoffe und die Kaskadennutzung in einem geschlossenen System verringert zudem die Gefahr der Ausbreitung von Krankheitserregern.

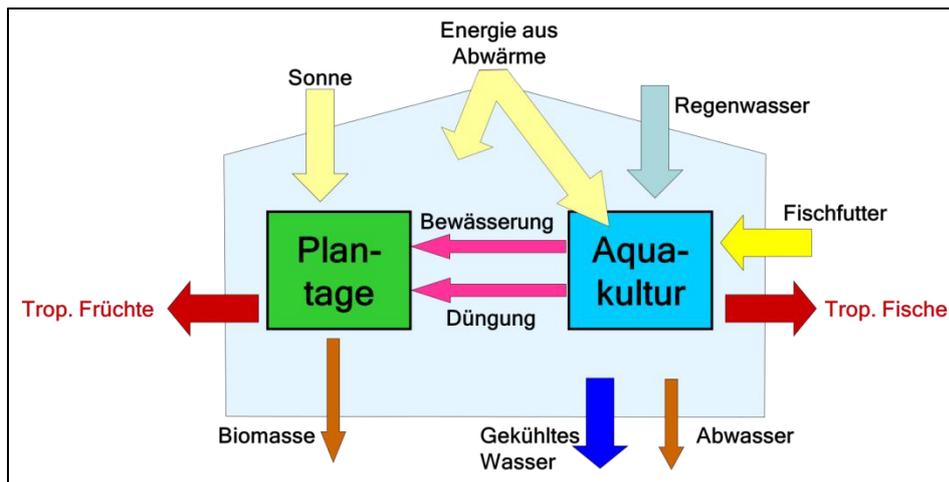


Abb. 2: Schema eines Polykultursystems, wie es in Klein-Eden betrieben wird

### **Demonstrationswert und Übertragbarkeit**

Klein-Eden dient als Demonstrationsobjekt für die Industrie und Betriebe der Region mit ähnlichem Abwärmeaufkommen (z.B. Brauereien, Stahlschmelzen, Großkühlhäuser, Siebdruckereien, Porzellanfabriken etc.). So werden neue zukunftsfähige Energiekonzepte entwickelt, um niederkalorische Abwärme sinnvoll und nachhaltig zu nutzen, statt sie ungenutzt an die Umwelt abzugeben. Allein die in der Region des Rennsteiges zur Verfügung stehende industrielle Abwärme würde nach aktuellen Berechnungen für eine Anbaufläche unter Glas von ca. 75.000 - 100.000 Quadratmetern ausreichen. Ein grenzüberschreitender Projektbeirat aus Universitäten, Kommunen sowie der Glas- und Keramikindustrie der Region stellt deshalb vergleichbar energieintensiven Betrieben der Region die Projektergebnisse zur Verfügung. Er traf sich Ende November 2012 zum ersten Mal und soll sich in Zukunft zwei- bis dreimal im Jahr versammeln.

### **Ziele des Umweltprojekts**

Ziel von Klein-Eden ist es, intelligente ökologische Kreislaufprozesse und nachhaltiges Wirtschaften in der Region erlebbar zu machen. Klein-Eden war bereits vor seiner Eröffnung ein vorbildhaftes Projekt für Umweltschutz, Energieeffizienz sowie grenzüberschreitende Zusammenarbeit und zeigt, dass energieeffizientes und ressourcenschonendes Wirtschaften nicht nur zur CO<sub>2</sub>-Einsparung und zum Klimaschutz beiträgt, sondern auch neue Marktpotenziale und Möglichkeiten der regionalen Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum erschließen und sichern kann.

- **CO<sub>2</sub>-Einsparung und Klimaschutz**

Durch die Nutzung der Abwärme aus der Glashütte können gegenüber einer konventionellen Heizanlage für das Tropenhaus erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub> eingespart werden. So rechnet man durch die Abwärmenutzung mit einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 350t/Jahr. Darüber hinaus werden durch die Vor-Ort-Produktion subtropischer und tropischer Früchte und Speisefische die langen Transportwege und der damit verbundene hohe Energieaufwand sowie die CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen komplett eingespart, die bei einem Import durch Flugzeuge und/oder Schiffe anfallen würden. Das Projekt trägt somit wesentlich zur nachhaltigen CO<sub>2</sub>-Reduzierung und damit zum Klimaschutz bei.

- ***Umweltforschung***

Mit dem Ökologisch Botanischen Garten der Universität Bayreuth/ÖBG konnte ein Kooperationspartner für die anwendungsorientierte Umweltforschung gewonnen werden. Ziel ist die Optimierung des Anbaus tropischer Nutzpflanzen unter nachhaltig wirtschaftlichen Gesichtspunkten unter Glas in Mitteleuropa. Erforscht werden soll, welche Nutzpflanzen sich für den Anbau und die Produktion unter Glas in Mitteleuropa besonders eignen und wie unter den gegebenen Bedingungen Wachstums- und Produktionsprozesse für hochwertige biologische Nahrungsmittel standardisiert und vom Ertrag her gesteigert werden können.

- ***Umweltbildung***

Ziel des Projektes ist es ferner, intelligente ökologische Kreisläufe und nachhaltige Wirtschaft für Erwachsene, Jugendliche und Kinder im bayerisch/tschechischen Grenzraum erlebbar zu machen. Denn nur wer die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen der einzelnen Umweltbereiche ganzheitlich begreift, kann Verantwortungsgefühl entwickeln für das Fortbestehen einer gesunden Natur. Für Schulklassen entsteht ein deutsch-tschechisches Umweltbildungsangebot, um bereits Kinder und Jugendliche für ihre Mitwelt zu sensibilisieren.

Mit dem Projektpartner Universität Bayreuth / Ökologisch Botanischer Garten sollen Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt laufend an naturwissenschaftliche Leistungskurse der gymnasialen Oberstufen aus Bayern und Tschechien kommuniziert werden. Dafür werden Informations- und Unterrichtsmaterialien z.B. Broschüren, Curricula-Begleithefte werden erarbeitet, in Praxistests erprobt und ständig optimiert.

- ***Arbeitsplätze und Stärkung der Region***

Ein weiteres Ziel des Klein-Eden-Projektes war und ist über den Bau des Tropenhauses hinaus, neue Arbeits- und Beschäftigungsmöglichkeiten speziell in der Nutzungsphase in den zukunftsfähigen Arbeits- und Geschäftsfeldern in den Bereichen Anbau, Produktion und Forschung zu schaffen. So ist die Einstellung von einem Geschäftsführer und landwirtschaftlichem Fachpersonal (3 Gärtnerinnen, 1 Fischwirtschaftsmeister) zur Betreuung der Anlage und pädagogisch geschulten Führer/innen (2 Personen) durch die Tropenhaus-Gesellschaft umgesetzt worden.

Zu einem späteren Zeitpunkt sollen auch Jugendliche in den genannten Berufsfeldern ausgebildet werden (ggf. in Kooperation mit ÖBG). Mit Fakultäten (aus Deutschland/Tschechien) besteht ein Austausch von Werkstudenten und es sollen auch zukünftig verstärkt Studenten aus Tschechien Ihre Praktika im Tropenhaus leisten können. Auch landwirtschaftliche Mittelschulen aus Tschechien signalisieren Interesse an mehrwöchigen Projektarbeiten ihrer Schüler.

Es ist geplant das „könnende Wissen“ zu dokumentieren und weiterzugeben (zu beraten), etwa in Form von elektronischen Handlungsanleitungen und (Personal-) Coaching.

Der Leuchtturmcharakter des Tropenhauses wirkt sich durch den Besuch von naturwissenschaftlich interessierten Gästen und Gruppen auch touristisch für die Region aus. Die örtliche/regionale Gastronomie hat auch die Möglichkeit Produkte (Fisch, Frucht, Gemüse, Gewürze, Kräuter) aus dem Tropenhaus zu beziehen und ihren Gästen anzubieten.

Somit entsteht ein hohes Wertschöpfungspotential im ländlichen Raum und wirkt sich positiv für den Tourismus aus.

## 2 Sachbericht

Dass es möglich sei, in Kleintettau in Oberfranken tropische Früchte anzubauen, wurde lange Zeit stark angezweifelt. Das Projekt „Klein Eden“ beweist das Gegenteil. Auf einer Fläche von rund 3500m<sup>2</sup> werden in einem Tropenhaus exotische Früchte und bald auch tropische Speisefische in Bio-Qualität produziert. Um ganzjährig beste Wachstumsbedingungen zu garantieren wird der gesamte Komplex mit der laufend anfallenden Prozessabwärme des benachbarten Glasindustriebetriebs Heinz-Glas GmbH beheizt. Somit stellt das Tropenhaus auch ein Referenzprojekt für energieeffiziente Abwärmennutzung im Niedertemperaturbereich dar.

### 2.1 Aufbau des Tropenhauses

Das Tropenhaus „Klein Eden“ ist in zwei große Bereiche, das Besucherhaus und das Forschungs- und Produktionshaus, aufgeteilt.

**Im Besucherhaus**, welches auf einer Gesamthöhe von bis 10 Metern und einer Fläche von 800 m<sup>2</sup> an einem Hang angelegt wurde, stehen von den meisten Pflanzenarten nur wenige Exemplare. Hier ist es den Besuchern erlaubt, die tropische Pflanzenwelt auf eigene Faust zu erkunden und sich selbstständig einen Einblick in die Vielfalt der exotischen Früchte zu verschaffen.

Durch die Hanglage des Gewächshauses bilden sich verschiedene Temperaturzonen aus, was bei der Standortwahl der einzelnen Pflanzenarten berücksichtigt werden muss. Es herrschen hier exakt umgekehrte Verhältnisse wie in der freien Natur. Da im Gewächshaus die Wärme nach oben steigt, werden in der obersten Zone Pflanzen angebaut welche in den Tropen in Tälern wachsen würden und in der untersten Zone, dem Kalthausbereich, Arten, die in freier Natur höhere und somit kühlere Standorte bevorzugen würden.

Zum Schutz der Besucher sind hier die Gewächshauswände mit einer Doppelverglasung ausgestattet. Diese gewährleisten eine bessere Stabilität und somit auch höhere Bruchsicherheit sowie eine UV-Durchlässigkeit von ca.55 %.

#### **Facts & Figures Besucherhaus:**

- das Besucherhaus ist auf 800m<sup>2</sup> Fläche barrierefrei gestaltet
- Informationstafeln sind für die Besucher klar ersichtlich und behandeln die Themen des Tropenhauses (Pflanzen und deren Verwendung, Energieverbrauch und die Energieeffizienz, Nützlingseinsatz) und globale Umwelt- und Klimaschutzthemen
- es befinden sich derzeit über 230 verschiedene Sorten und Gattungen an subtropischen und tropischen Nutzpflanzen im Besucherhaus
- für die Besucher werden Führungen in beiden Häusern angeboten, wobei im Besucherhaus primär die verschiedenen Nutzpflanzen und deren Verwendung erläutert werden.
- Das Bodensubstrat im Besucherhaus ist der anstehende Boden (erste Humusschicht) der vorherigen Hochlandrinderweide. Die Bodenstruktur ist ähnlich der Struktur in den Tropen und konnte deshalb verwendet werden (pH-Wert etc.)



**Eingang in das Besucherhaus**



**Barrierefreier Rundgang mit pädagogischen Hinweistafeln zum Thema Umwelt- und Klimaschutz und Aufbau des Tropenhauses**



**Besucherhaus (mittlerer Teil der Anlage)**



**Besucherhaus (unterer Teil der Anlage)**

**Im Forschungs- und Produktionshaus**, welches den Besuchern nur bei offiziellen Führungen zugänglich ist, werden Früchte und Fische für den späteren Verkauf angebaut (auch um den Zweckbetrieb zu decken) sowie diverse Forschungsprojekte durchgeführt. Die einzelnen Arten sind hier auf einer Fläche von 2600 m<sup>2</sup> in größerer Anzahl zu finden, u.a. um den Bedarf des späteren Verkaufs decken zu können. Im Mittelpunkt stehen tropische Obstsorten wie Naranjilla, Maracuja, Bananen, Mango, Karambole, Papaya, Cherimoya Guaven, Sapoten, Avocado und viele mehr. Die Anbaufläche ist hier ebenerdig und die Gewächshausverkleidung besteht aus einer dünnen Spezialverglasung, welche für 99 % der UV-Strahlung durchlässig ist.

Beide Gewächshäuser besitzen Seiten- und Dachfenster, die sich computergesteuert bei einer Innentemperatur von ca. 25-30°C automatisch öffnen, um eine Überhitzung zu vermeiden. Je nach Bedarf können diese auch manuell gesteuert werden. Ebenso ist bei beiden Häusern eine Dachschattierung installiert, welche sich entweder bei zu starker Sonneneinstrahlung, um Verbrennungen der Pflanzen zu verhindern, ausfährt bzw. bei nächtlicher Abkühlung um die Wärme im Gewächshaus zu speichern. Das Forschungs- und Produktionshaus besitzt zudem einen ausfahrbaren Energieschirm, der diesen winterlichen Wärmeschutz noch verstärkt. Außerdem ist in diesem Haus eine elektrische Rolltrennwand angebracht, die bei zu starker Auskühlung den wärmsten Bereich mit den kälteempfindlichsten Pflanzen vom Rest des Gewächshauses trennt.

#### ***Facts & Figures Forschungs- und Produktionshaus:***

- das Forschungshaus besitzt eine Fläche von 2.600m<sup>2</sup> und ist für Führungen von wissenschaftlich interessierten Besuchern auf den zugelassenen Wegen barrierefrei
- zur Beheizung werden 101 Warmluftgebläse genutzt
- derzeit werden 51 Nutzpflanzenarten in Kooperation mit dem Ökologisch Botanischer Garten (ÖBG) der Universität Bayreuth erforscht und optimiert
- Regen- und Schichtenwassersammelbecken mit 300 m<sup>3</sup> Volumen
- Fischzucht: 4 Mastbecken mit je 30 m<sup>3</sup> und 5 Aufzuchtbecken mit insgesamt 27 m<sup>3</sup>
- 550 Meter Fernwärmeleitung
- Abwärme im Niedertemperaturbereich mit Vorlauftemperaturen zwischen 35 bis 38°C
- Temperatur im Gewächshaus: 20 bis 34°C und einer Luftfeuchte von ca. 70 %
- Zwei unterschiedliche Klimazonen durch Trennwand ansteuerbar zur besseren Kulturführung

#### ***Erkenntnisse nach dem ersten Betriebsjahr:***

- die Ernten in den Bereichen Chili und Maracuja waren sehr gut im Jahr 2013
- erste Bananenernte 2014 erfolgreich
- Unterbepflanzung mit Chilis, Auberginen, Melonen und Gurken 2014 bisher sehr erfolgreich
- Maracujas und Sternfrüchte im 2. Standjahr (2014) mit großem Blüten- und Fruchtansatz
- Ein verstärktes Wachstum gegenüber 2013 ist seit diesem Jahr durch die Nutzung der Fischabwässer deutlich zu erkennen.
- Ein schnelleres Wachstum ist durch die Installation des Spezialglases gegenüber dem Besucherhaus deutlich sichtbar.
- Die Anlage wird seit Februar durch Bioland und dem EU-Biolabel zertifiziert, Besonderheit: auch das Besucherhaus (somit einzigartig in Europa) und die Aquakulturanlage (gibt es für dieses System ebenfalls kein Vergleichsobjekt)



***Forschungshaus (Hintergrund: Versuchsaufbau Universität Bayreuth 2014)***



***Forschungshaus (Belichtungsversuch Universität Bayreuth Winter 2013/2014)***



***Anbau tropischer Früchte im Forschungshaus (links Papaya; rechts Mischbestand mit Cherimoya und Maracuja)***



***Pflanzenanbau im Forschungshaus (links Papaya; Bildmitte Mango und Sapoten; rechts Bananen)***



***Wirtschaftsweg im mittleren Bereich des Forschungshauses (links abtrennbarer Klimabereich durch eine Twin-Rollwand; rechts Bananenbestand mit Unterbepflanzung aus Chilis, Zitronengras etc.)***



***Bananenbestand im Forschungshaus (die ersten Fruchtansätze sind erfolgreich und mit den Ursprungsländern vergleichbar)***

## 2.2 Fischzucht/Aquakultur

Neben exotischen fruktifizierenden Pflanzen werden im Forschungs- und Produktionshaus Nilbuntbarsche (*Oreochromis* spp.) der Sorten „Red Tilapia“ und „Blue Tilapia“ im gemischten Bestand als tropische Speisefische gezüchtet.

Die Fische werden, nach der Größe alle 6 Wochen sortiert, in fünf kleinen Aufzuchtbecken und vier großen Mastbecken gehalten. Die fünf kleinen Becken besitzen zusammen ein Fassungsvermögen von 18m<sup>3</sup> und die vier großen Mastbecken dagegen ein Volumen von je 30 m<sup>3</sup>. Pro Mastbecken werden ca. 2000 Fische gehalten. Bei je 200 g Zuwachs, werden die Fische in das nächste Becken gegeben, sodass im letzten die größten Exemplare im Gewichtsbereich von 600 – 1000 g zu finden sind. Diese Maßnahme ist notwendig, da größere Fische sonst ihre kleineren Artgenossen auffressen würden.

Das Wasser bewegt sich in einem nicht vollständig geschlossenen Kreislauf. Zuerst wird der Ablauf aus den Mastbecken durch einen Trommelfilter gepumpt, in welchem alle Feststoffe herausgefiltert werden. Anschließend fließt das vorgereinigte Wasser in ein Vorklärbecken, in welches Luftsauerstoff (durch einen Kompressor) eingeleitet wird, was die Bakterienproduktion fördert. Zusätzlich befinden sich in diesem Becken Plastik-Füllkörper, die die Ansiedlungsfläche der Bakterien vergrößern. Die Bakterien sind notwendig um im Wasser angereicherte Eiweißbestandteile zu zersetzen und Ammoniak in Ammoniumnitrit und Ammoniumnitrat umzuwandeln. Der Ammoniakabbau hat höchste Priorität, da Ammoniak bereits ab einer Konzentration von 0,002 mg pro Liter für Fische eine toxische Wirkung hat. Bei diesem Prozess wird auf eine Einleitung von flüssigem Sauerstoff, wie es bei den meisten dieser Aquakulturanlagen üblich ist, verzichtet. Danach fließt das Wasser durch ein ca. 50qm großes Pflanzenbecken und dient neben der Erhöhung der Luftfeuchtigkeit (Verdunstungskühlung) im Gewächshaus somit der Bewässerung, sorgt für weiteren Sauerstoffeintrag und wird gleichzeitig durch die Wurzeltätigkeit der Pflanzen gereinigt. Ein Teilstrom des Wassers wird über eine Ozon-Reinigungsanlage geleitet, wodurch alle Bakterien abgetötet werden, bevor es wieder zurück in die Fischbecken gepumpt wird.

Die Rückführung des Wassers in die Becken erfolgt über ein Rohr, das parallel zum Rand der Mastbecken verläuft. Dies hat den Sinn, dass das Wasser im Becken in eine Drehbewegung versetzt wird, was die Durchmischung und den Abtransport der Schmutzfracht in Richtung Filter verbessert. Das Kreislaufwasser wird durch einen Plattenwärmetauscher immer auf einer Temperatur von 26 – 28°C gehalten. Die Reinigungsanlage befindet sich zweimal auf der Produktionsfläche, da es üblich ist für die empfindlicheren jüngeren Fische eine separate Anlage zu verwenden. Es existiert außerdem ein batteriebetriebenes Notfall-Sauerstoffsystem, welches bei einem Stromausfall automatisch einsetzt und die Fischbecken mit überlebenswichtigem Sauerstoff versorgt.

Bei einem Bewässerungsbedarf von ca. 2 Ltr./m<sup>2</sup> Anbaufläche/Tag (Durchschnittswert über das Jahr betrachtet) benötigen die 3500 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche zusammen mit dem Ergänzungswasserbedarf der Fischzucht insgesamt ca. 1800 m<sup>3</sup> Wasser pro Jahr. Diese Menge entspricht ziemlich genau der jährlich anfallenden Regenwassermenge, die durch die Niederschläge auf der gesamten Dachfläche gesammelt werden kann. Die Regenwassertanks haben ca. ein Zehntel des Volumens des Jahresanfalls (Erfahrungswert). Ein kleines Wasserlabor erlaubt die notwendigen Qualitätskontrollen vor Ort.

Aus diesem Wasserkreislauf entweicht Wasser lediglich durch die Evapotranspiration („Verdunstung“ an der Bodenoberfläche, durch die Pflanzen und von Wasseroberflächen), welches sich vor allem im Winter an den Wänden des Gewächshauses niederschlägt und zurückgewonnen wird (tropft in den Boden). Ein Anschluss an das öffentlichen Schmutzwasserkanal-Kanalisation-/Kläranlagensystem ist somit nicht erforderlich.

### ***Funktionsweise des Polykultursystems/Aquaponicsystems:***

Polykultursysteme sind landwirtschaftliche Produktionsanlagen, die Nährstoffe, Wasser und Energie in Kreisläufen und Kaskaden mehrfach nutzen und dadurch eine hohe Produktivität bei optimaler Nutzung der vorhandenen Ressourcen ermöglichen. Das Klein-Eden-Konzept zur Produktion von tropischen Früchten, Pflanzen und Fischen wurde in Zusammenarbeit mit Schweizer Spezialisten entworfen. Das Alleinstellungsmerkmal der Klein-Eden-Anlage besteht darin: Pflanzen- und Fischproduktion sind über Wasser- und Stoffkreisströme miteinander verbunden. Dies ermöglicht eine Steigerung der Ertragswerte ohne Verursachung von Umweltbelastungen, da das „Abfallprodukt Fischwasser“ durch die Bewässerung, Düngung und Bodenerwärmung der Früchteplantage gereinigt und erneut als Fischwasser verwendet wird.

Die Produktion von tropischen Früchten, insbesondere Bananen, Papayas, Sternfrüchten, Maracujas und Guaven liefert hochwertige Früchte in einer Qualität, die deutlich besser ist als bei Importprodukten. Tropische Jung- und Topfpflanzen, zum Teil ein Nebenprodukt der Früchteproduktion, erweitern das Angebot. Mit weiteren Pflanzen wie Aubergine, Chili und Zitronengras als Unterkulturen, wird der Flächenertrag zusätzlich gesteigert.

Wir versuchen auch derzeit pflegeintensive Kulturen wie Kaffee und Kakao als Unterbepflanzung zu integrieren. Die ersten Versuche seit Oktober 2013 sind sehr vielversprechend.

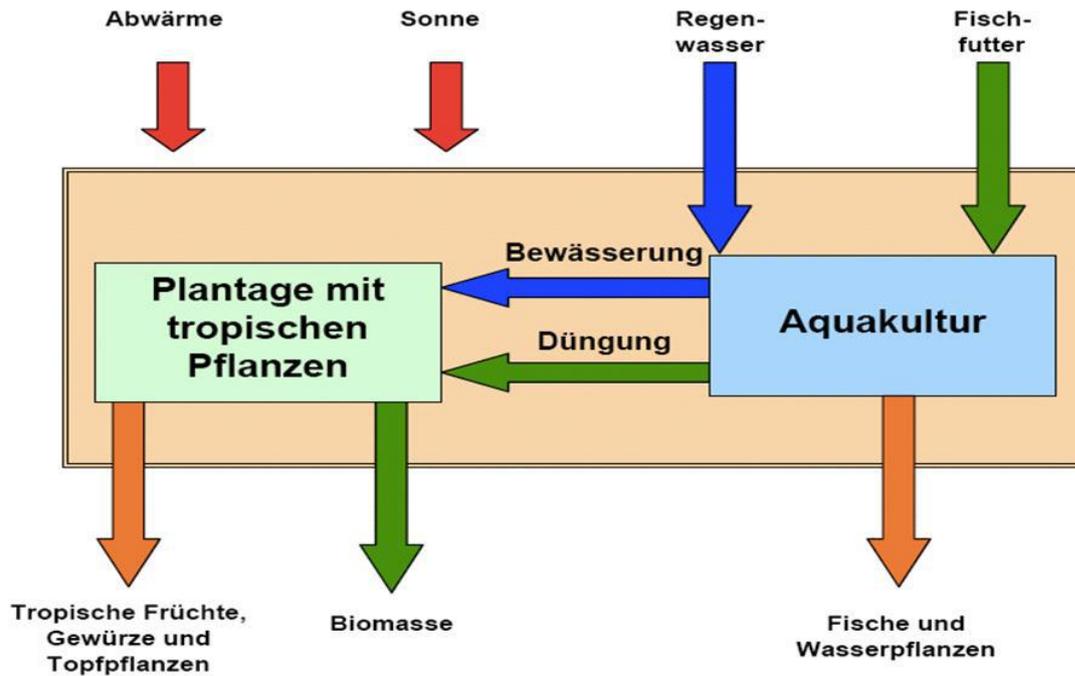
Die integrierte Fischzucht mit den warmwasserliebenden Fischen erweist sich als wichtige Systemkomponente für das Gedeihen der Pflanzen. Tilapia ist ein afrikanischer Buntbarsch, der heute vor allem in tropischen Gebieten gezüchtet wird. Die Nachfrage nach diesem fettarmen und besonders schmackhaften Speisefisch nimmt auch in Europa zu.

Es laufen auch erste Tests und Versuche den Nährstoffentzug der Böden nicht nur durch Fischwasser zu kompensieren, sondern durch eine Herstellung von Terra-Preta nach dem „Bokashi-Prinzip“.

Hier werden pflanzliche und tierische Abfallstoffe in Tonnen vergärt. Der Aufbau erfolgt durch organischen Abfall in Kombination mit Pflanzenkohlen und Mikroorganismen. Dieses Substrat wird später wieder anteilig in die vorhandenen, beanspruchten Pflanzflächen eingearbeitet.

Erste Versuche 2013 mit Unterstützung der Beteiligten am Terra-Boga Projektes in Berlin ([www.terraboga.de](http://www.terraboga.de) / [www.ecosus.de](http://www.ecosus.de) / [www.das-gold-der-erde.de](http://www.das-gold-der-erde.de)) waren sehr vielversprechend, zukünftig auch auf eine torffreie Produktion in solchen Anlagen setzen zu können.

Diese Versuche werden derzeit auch von der Universität Bayreuth mit begleitet und Ende 2014 ausgewertet.



#### **Erläuterung der Grafik:**

Polykultursysteme sind nachhaltige landwirtschaftliche Produktionsanlagen, bei denen Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Energie in geschlossenen Kreisläufen synergetisch genutzt werden können. Auf diese Weise kann eine hohe Produktivität bei einer optimalen Nutzung vorhandener Ressourcen ermöglicht werden. In „Klein Eden“ wird beispielsweise die Pflanzen- und Fischproduktion über Wasser- und Stoffkreisläufe miteinander verbunden. Das Wasser aus der Fischzucht, welches mit Futterresten und Ausscheidungen der Fische angereichert ist, dient somit als Nährstoff für die Fruchteproduktion. Auf diese Weise wird eine Ertragssteigerung möglich, ohne Umweltbelastungen zu verursachen, da das Fischwasser durch die Bewässerung und Düngung der tropischen Produktionsflächen gereinigt wird. Durch die Kaskadennutzung kann zudem die Gefahr der Ausbreitung von Krankheitserregern verhindert werden.

#### **Facts & Figures Polykultursystem/Abwärmenutzung (weist nachweislich folgende Vorteile auf)**

- Nur die Warmwasser-Aquakultur sichert eine ganzjährige Wärmeabnahme und damit einen günstigeren Nahwärme-Tarif
- Die industrielle Abwärme im Niedertemperaturbereich (Vorlauftemperatur 35-38°C) kann produktiv und nachhaltig verwertet werden. Im Jahr 2013 konnte somit ein CO<sup>2</sup>- Ausstoß von 335t vermieden werden (in diesem Zeitraum wurde nur das Produktionshaus und Verwaltungsgebäude beheizt)
- Der Nährstoff für den Betrieb der gesamten Polykulturanlage wird über das Fischfutter zugeführt. Das nährstoffreiche, warme Fischwasser wird zur Düngung der Gewächshauskulturen genutzt und somit für die Wiederverwendung gereinigt.
- Das Wasser wird den Pflanzen händisch über einen Gießschlauch zugeführt. Dies reduziert den Wasserverbrauch auf ein Minimum und verhindert eine Verkrautung und einen Pilzbefall. Auch restliche Schwebstoffe können als Dünger vergossen werden und anders als bei einer automatischen Bewässerung können Sprinkler nicht verstopfen.

- Das warme Bewässerungswasser wärmt den Wurzelbereich der Pflanze und optimiert so wesentlich die Wachstumsbedingungen für die Pflanze.
- Überschüssige Biomasse wird als Kompost (Substratgewinnung) und Fischfutter (frisch, geschnitten oder via Wurmzucht) rezykliert.
- Durch Unterkulturen wird der Flächenertrag gesteigert.
- Bei der Auswahl der Pflanzen werden selbstbefruchtende Arten bevorzugt. Zur Unterstützung der Bestäubung im Gewächshaus werden zusätzlich Hummeln, Goldfliegen und Schwebfliegen eingesetzt.
- Die Fischproduktion orientiert sich an den Produktionsbedingungen anerkannter Label-Organisationen, d.h. geringe Besatzdichte in den Zuchtbecken (25 kg/m<sup>3</sup> Wasser), kein transgenes Zuchtmaterial und Futter, keine Antibiotika und chemische Zusätze etc. Seit Februar 2014, dem Zeitpunkt der Beantragung der „Bio“-Zertifizierung. Gemeinsam mit Bioland wird eine Verbandszertifizierung mit allen Gebäudeteilen angestrebt. (Zertifizierungsdauer bis Feb. 2016)
- Das Schädlingsmanagement erfolgt biologisch: Zur Bekämpfung von Schädlingen (z.B. Schmierläusen, Spinnmilben, Weiße Fliege etc.) werden Nützlinge (Insekten) in der Anlage freigesetzt. – Kein chemischer Herbizid oder Pestizideinsatz noch Kunstdünger.
- Durch eine Begrünung der Böschung, des Bürodaches und der Parkplatzanlage mit einer speziellen Saatgutmischung (Bienen- und Insektenweide) wird auch außerhalb der Gewächshausanlage ein Beitrag zur Biodiversität geleistet.

#### ***Zukünftige Projekte aufgrund der ersten Erfahrungswerte***

- Ausbau der Besatzmöglichkeiten in der Aquakultur; Ergänzung und Versuche mit Raubwelsen als Speisefisch und zur Optimierung der pflanzlichen Biofilter ist ein Einsatz von australischen Rotscherenkrebse angedacht (essbar und kommt ohne zusätzliches Futter aus d.h. ernährt sich von den Filterrückständen und dem anfallenden Pflanzenmaterial)
- Optimierung der Jungfischzucht; die bisherigen Erfolge optimieren (derzeit fast 3.000 St. selbst gezogen), um einen höheren Bruterfolg von männlichen Jungfischen zu erzielen
- Optimierung des Anbaus von subtropischen- und tropischen Früchten, Gemüsen und Gewürzen/Kräuter durch eine Anpassung der Sortenwahl, Selektion der Pflanzengattungen und einer Umstellung der Anbauvarianten
- erste neue, eigene Pflanzenzüchtungen im Versuch; die Naranjilla wurde in Kooperation mit der Gemüseversuchsanstalt in Bamberg erfolgreich veredelt; erste Ergebnisse werden im November 2014 veröffentlicht.
- Es wird auch weiterhin großen Optimierungsbedarf der bepflanzten Aquaponic-Filterkisten geben. Nach derzeitigen Erkenntnissen sind am geeignetsten Galgant, Zitronengras, thailändischer Wasserspinat, Tomaten, Bananen und mit Abstrichen Chilis. Es wird die Anlage aber weiterhin mit neuen Pflanzengattungen bestückt um ein Optimum an Filterleistung zu erhalten.



***Fischzuchtanlage/Mastbecken***



***Jungfischauzuchtstation***



***Blick auf die Anlage***



***Filteranlage der Aquakultur (links Trommelfilter; rechts Protein-Skimmer)***



***Biofilteranlage der Aquakultur (unten Biofilterbecken; oben Pumpensumpf)***



***Aquaponic-Filter (Pflanzenfilter)***



### ***Funktionsprinzip des Aquaponic-Filters***

#### ***2.3 Heizanlage/Wärmeübergabe:***

Die Fischbecken werden ebenso wie die Gewächshäuser und das Verwaltungsgebäude durch die industrielle Prozesswärme (Niedertemperaturbereich) der Firma Heinz-Glas GmbH beheizt.

Bei der Glasherstellung fällt in großen Mengen Abwärme an, die bisher ungenutzt an die Umwelt abgegeben wurde. Da dieser Glasindustriebetrieb direkt neben dem Tropenhaus liegt, kann die Wärmeenergie aus der Glasproduktion problemlos abgezweigt und rund um die Uhr zum Beheizen der Fisch-Gewächshausanlage produktiv verwendet werden. Hierbei handelt es sich um Abwärme im sog. Low-Ex-Bereich mit einer Vorlauftemperatur von ca. 35-38°C. Diese wird über Warmluftgebläse in den beiden Gewächshäusern gleichmäßig verteilt. Eine Vorrangschaltung stellt sicher, dass die Fischzuchtanlage prioritär erwärmt wird. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Vorlauftemperaturen wurden in dem Bürogebäude alle Räume mit Fußbodenheizungen ausgestattet.

Die Heizanlage ist so programmiert, dass das Tropenhaus immer auf einer Minimaltemperatur von 18°C bis 22°C gehalten wird (abhängig von der Kultursteuerung). Heizt sich das Tropenhaus durch einfallende Sonnenstrahlung stärker auf, werden die Lüfter abgeschaltet. Eine zentrale Anschlussbedingung war, die Rücklauftemperatur darf nur maximal 30°C betragen, da sonst der Öl-Durchlaufkühler, der für weiteres Abkühlen zuständig ist, überlastet würde. Dieser Aspekt war einer der wesentlichen Gründe für die Auslegung des Aquakultur-Bereiches, da es alleine in einem Tropenhaus im Sommer nicht gelingen würde, die Wärmeabnahme zuzusichern.

### **Facts & Figures Abwärmenutzung**

- Fernwärmetrasse insgesamt 1.100m lang (550m Distanz zum Industriebetrieb Heinz Glas GmbH)
- Übergabe bei Heinz-Glas GmbH durch einen Wärmetauscher
- Zwei Hocheffizienz Heizungsumwälzpumpen wechseln sich alle 24 Stunden für den Transport des Heizwassers ab, um a) eine gleichmäßige Abnutzung zu erzielen und b) im Notfall (Störung einer Pumpe) wäre die Wärmeversorgung des Tropenhauses dennoch sichergestellt. Sollte im Winter der Volumenstrom bzw. die erforderliche Wärmemenge nicht ausreichend sein, arbeiten beide Pumpen. Die intelligente Regelung der Drehzahl (bei Mehrbedarf an Wärme hohe Drehzahl, bei geringer Anforderung erfolgt eine Reduzierung der Drehzahl) erfolgt über die Klimasteuerung/Computer im Tropenhaus. Somit kann ein unnötiger Stromverbrauch vermieden werden.
- Verteilung in den Gewächshäusern, in die Fischzuchtanlage und das Bürogebäude über eine Fernwärmeweiche und den dazugehörigen Heizkreisen.
- Wärmeverteilung in den Gewächshäusern mit Warmluftgebläsen, in der Fischzuchtanlage mit einer Wärmepumpe/Wärmetauscher und im Bürogebäude über Fußbodenheizung.
- Einsparung 2013 gegenüber konventionellen, fossilen Heizsystemen: 1.200.000 kw/h Abwärme das entspricht 120.000 Liter Heizöl, die benötigt worden wären, um das Produktions- und Forschungshaus zu heizen.
- Ohne den Ergebnissen der noch laufenden Optimierungsphase vorzugreifen, nach den derzeitigen Erkenntnissen könnte mit der zur Verfügung stehenden Wärme ein zusätzliches Flächenpotential von weiteren 2.000-3.000m<sup>2</sup> Gewächshausfläche als Tropenhaus betrieben werden.
- Durch die Abwärmenutzung 2013 wurden ca. 350t CO<sup>2</sup> eingespart und durch den Wegfall der Transportwege mindestens 570 g CO<sup>2</sup> pro Kilogramm Nahrungsmittel eingespart. In Anbetracht der geplanten Mengen von 10 Tonnen Früchten und Gemüse und 10 Tonnen Fisch entsteht nur im Forschungs- und Produktionshaus eine CO<sup>2</sup>-Ersparnis von insgesamt ca. 11.750 Tonnen pro Jahr!



***Fernwärmeweiche und Pumpensteuerung im Forschungshaus***



***Fernwärmeweiche („Rot“ Vorlauf und „Blau“ Rücklauf)***



***Blick aus dem Forschungshaus auf Heinz-Glas GmbH (im Vordergrund befinden sich die 2 Regenwassersammelbecken, im Hintergrund/Bildmitte 30m oberirdische Trasse zu erkennen)***



***Außenansicht der Anlage (vorderer Bereich Besucherhaus; hinterer Bereich Forschungshaus)***



***Eingangs- und Parkplatzbereich der Anlage***



***Blick auf das Forschungsgewächshaus***



**Eingangsbereich und Foyer (links Kassen- und Thekenbereich; im Hintergrund Garderobe; rechts Zugang zu den Toiletten)**



**Im Obergeschoss befindet sich ein Saal(Bild: Saal geteilt), der für Tagungen, Konferenzen, wissenschaftliche Lehrgänge genutzt werden kann. Er ist für bis zu 120 Personen ausgelegt.**

### 3 Ausgerechnet Bananen & Co

#### Optimierung des Anbaus tropischer Früchte unter Glas

Dr. Marianne Lauerer & Jana Messinger

Das Vorhaben, tropische Früchte unter Glas kommerziell zu produzieren, ist neuartig in Deutschland. Der Ökologisch-Botanische Garten (ÖBG) der Universität Bayreuth mit seiner Erfahrung in der Kultur tropischer Pflanzen war von Anfang an in der Planung und Antragstellung sowie in der Startphase des Vorhabens ein wichtiger Projektpartner. Die in Kleintettau (Lkr Kronach, Oberfranken) zur Verfügung stehende Abwärme eignet sich aufgrund ihrer Menge und der räumlichen Nähe von Wärmeproduzenten und –abnehmer und der damit verbundenen geringeren Wärmetransportkosten hervorragend für die Kultur tropischer Arten. Die Effizienz der Nutzung der Abwärme wird dadurch pro Flächeneinheit größer als bei Kalthauskulturen wie Salat oder Tomaten.

#### 3.1 Ausgangssituation: Globale Nachfrage und Energiebilanz

Das beliebteste frische Obst der Deutschen sind Äpfel, Bananen und Orangen, immer beliebter werden Mango, Ananas und Papayas (Quelle FAO, Abb. 1). Etwa 14 kg Bananen und 3 kg Ananas verzehrt, statistisch gesehen, jeder Deutsche pro Jahr. Zur Zeit werden etwa 52 000 Tonnen Mangos (inklusive Guaven) im Jahr nach Deutschland importiert, größte Lieferanten sind Brasilien und Peru. Bananen und Papayas kommen vor allem aus Indien, Südostasien und Brasilien.

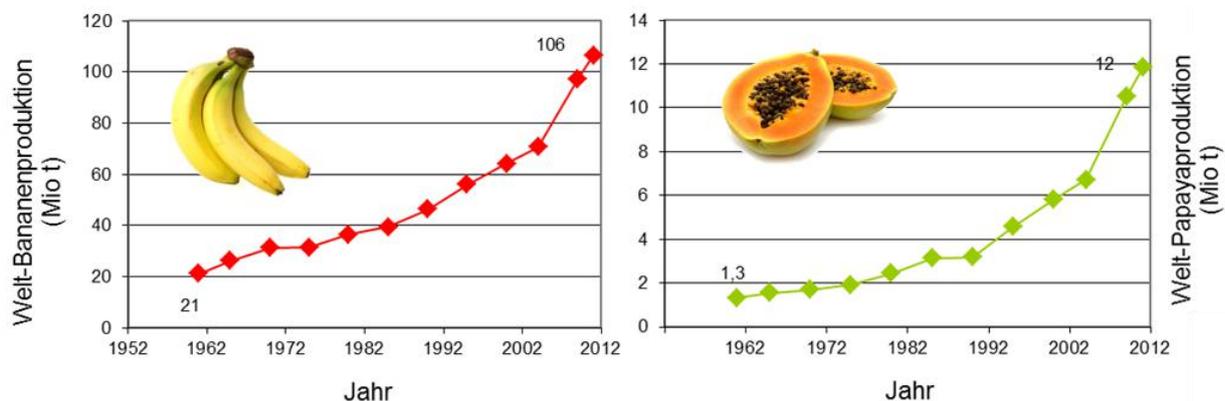


Abb. 1: Entwicklung der globalen Produktion an Bananen und Papayas von 1960 bis 2011 (Datenquelle FAO).

Ökologisch unproblematisch sind tropische Früchte nicht: Die langen Transportwege und die Lagerung (dabei z.T. Behandlung mit Fungiziden) sowie Reifung und Kühlung am Zielort verursachen einen hohen Ausstoß des klimaschädlichen Kohlendioxids. Pro kg Obst, das aus Übersee via Schiff nach Deutschland transportiert wird, sind es 570 g und beim Transport mit dem Flugzeug im Schnitt 11000 g bzw. etwa 1 g CO<sub>2</sub> pro kg Lebensmittel und Flugkilometer. Für den Transport von aus der Region stammendem Obst hingegen wird pro kg nur etwa 230 g CO<sub>2</sub> verbraucht (Quelle: Bundesministerium für Umwelt und Naturschutz). Vollreif geerntete tropische Früchte schmecken am besten, aber sie müssen per Flugzeug transportiert werden. Für Schifffransporte werden Früchte unreif geerntet, müssen nachreifen und haben dann nicht dasselbe Aroma wie reif geerntete. Könnte man also tropische Früchte bei uns produzieren, würde das dem Klima weniger schaden und die Früchte wären schmackhafter, weil diese vollreif geerntet und vermarktet werden können.

Welche Früchte unter dem Glasdach in Klein-Eden eine neue Heimat finden und gewinnbringend in guter Qualität produziert werden können, werden die nächsten Jahre und die Forschungen im Rahmen des Projektes zeigen.

## **3.2 Forschung im ÖBG**

### *3.2.1 Forschungsfragen*

Aufbauend auf den Erfahrungen eines ähnlichen Projektes in der Schweiz (Todt 2003) ist ein wirtschaftlich rentabler Anbau tropischer Früchte unter Glas in Mitteleuropa vor allem für Papaya, Karambolen, Bananen und Guaven zu erwarten. Mango, Avocado oder Cherimoya produzieren ausgesprochen schmackhafte Früchte in der Kultur unter Glas, liefern aber aufgrund notwendiger Ruhephasen in der Entwicklung der Pflanzen nicht ganzjährig gleichmäßig Früchte.

Derzeit wird in Klein-Eden ein umfangreiches Sortiment an Frucht tragenden Pflanzen und Sorten kultiviert, um in den nächsten Jahren Erfahrungen zu sammeln, welche Arten am besten geeignet sind. Im derzeit laufenden Forschungsvorhaben des ÖBG wird an wenigen Modellarten der Fruchtertrag und die Fruchtqualität unter standardisierten experimentellen Bedingungen analysiert. Das Augenmerk liegt hier auf Arten und Sorten, die schnell zur Fruktifikation kommen, einfach zu kultivieren sind, schmackhafte Früchte produzieren und bislang nicht oder nur wenig auf dem deutschen Markt verfügbar sind.

Insbesondere soll das Forschungsvorhaben folgende Fragen klären:

1. Schmecken tropische Früchte, die im Gewächshaus vor Ort produziert werden besser als importierte, im Supermarkt gekaufte?
2. Wie hoch sind die Erträge pro Flächeneinheit und wie kann der Fruchtertrag und die – qualität gesteigert werden (z.B. durch die Wahl der Sorten, den Einsatz geeigneter Insekten als Bestäuber, Rückschnitt der Pflanze)?
3. Kann durch Zusatzbeleuchtung ganzjährig ein qualitativ hochwertiger Fruchtertrag erreicht werden?

### *3.2.2 Lulo – eine Frucht mit Potential*

Die Lulo (*Solanum quitoense*), im Spanischen auch Naranjilla genannt, ist eine südamerikanische Kulturpflanze aus der Familie der Nachtschattengewächse. Der wissenschaftliche Namensbestandteil *quitoense* leitet sich von Quito ab, der Hauptstadt Ecuadors und einem der Hauptanbaugebiete der Lulo. In Ecuador und Kolumbien, zum Teil auch in weiteren Ländern Südamerikas, sind in den Bergregionen der Anden, zwischen etwa 1.000 und 2.400 m Höhe, mehrere Sorten der Lulo im Anbau. Eine Wildform ist nicht (mehr) bekannt. Die reifen Früchte werden dort mit Wasser verdünnt zu einem beliebten und schmackhaften Saft verarbeitet, der in Südamerika oft populärer ist als Orangensaft. Der Saft kann zwar konserviert werden, verliert dann aber sehr an Geschmack (Heiser & Anderson 1999). Lulo-Früchte können auch frisch verzehrt werden. Der Geschmack ist einzigartig und erinnert an eine Mischung aus Erdbeere, Ananas und Banane (Daunay et al. 1995). In Europa sind die Früchte nicht oder kaum bekannt und nicht erhältlich, da die sie vorzeitig geerntet nicht nachreifen und die sehr schnelle Reifung den Transport erschwert. Die Lulo könnte einen neuen tropischen Geschmack auf unseren Speiseplan bringen, v.a. für die Saftproduktion wird ihr ein Potential ähnlich der Maracuja zugetraut (National Research Council 1989).

Die Frucht ist außen orange-gelb, meist dicht behaart und ähnelt einer Tomate, das Fruchtfleisch innen ist grünlich. Die Pflanze wird bis 2 m hoch, ist rasch wüchsig und bildet schon im ersten Jahr Blüten und Früchte und kann daher einjährig oder mehrjährig kultiviert werden. In Mitteleuropa gibt es bislang keine Erfahrungen im kommerziellen Anbau unter Glas – mit ein Grund dafür, diese Pflanze als Modellart und Untersuchungsobjekt in unserem Forschungsvorhaben zu wählen. Mehrere Sorten werden hinsichtlich ihres Fruchtertrages und ihrer –qualität im Jahresverlauf miteinander verglichen und der Bestäubungserfolg durch Erdhummeln quantifiziert.



Abb. 2: Lulo (*Solanum quitoense*, Fotos von links oben nach rechts unten) Pflanzen in Topfkultur im ÖBG; Blüte; quer aufgeschnittene Frucht auf einem Lulo-Blatt liegend sowie vollreife Frucht.

### 3.2.3 Erste Ergebnisse

#### Schmecken vor Ort produzierte Früchte besser?

Sicherlich haben die in Klein-Eden produzierten tropischen Früchte eine bessere Ökobilanz aufgrund eines geringeren CO<sub>2</sub>-Verbrauchs für Transport, Lagerung etc. als die in unseren Supermärkten verkauften. Ob der Verbraucher jedoch auch einen geschmacklichen Unterschied zwischen beiden feststellen kann, wurde in einer sogenannten Dreiecksprüfung (DIN/ ISO 4120) getestet. Dabei wurden zufällig ausgewählten Versuchspersonen immer von einer Frucht jeweils drei Proben von zwei verschiedenen Herkünften zur Degustation angeboten – in unserm Fall von Früchten aus einem Supermarkt und aus der Produktion in einem Gewächshaus in der Schweiz. Die Versuchspersonen mussten angeben, welche der Probe sich geschmacklich von den andern beiden unterscheidet, unabhängig davon, ob diese besser oder schlechter schmeckte. Dabei stellte sich heraus, dass zwischen allen vier getesteten Früchten (Kumquat, Bananen, Papaya „Sunrise“ und Riesenpapaya „Formosa“) deutliche Unterschiede im Geschmack festgestellt werden konnten.

Grundsätzlich haben die Versuchspersonen die getesteten tropischen Früchte geschmacklich gut bewertet, allerdings wurden nicht stets die im Gewächshaus produzierten bevorzugt (Abb. 3). Banane und Papaya „Sunrise“ wurden aus der Produktion vor Ort bevorzugt, bei der Riesenpapaya

eher diejenige aus dem Supermarkt und bei der Kumquat war das Ergebnis nicht eindeutig. Letztere war auch die am wenigsten beliebte Frucht in diesem Test. Bananen und Papayas sind also für die Produktion unter Glas in unseren Breiten zu empfehlen und sollten bei den Verbrauchern gut ankommen.

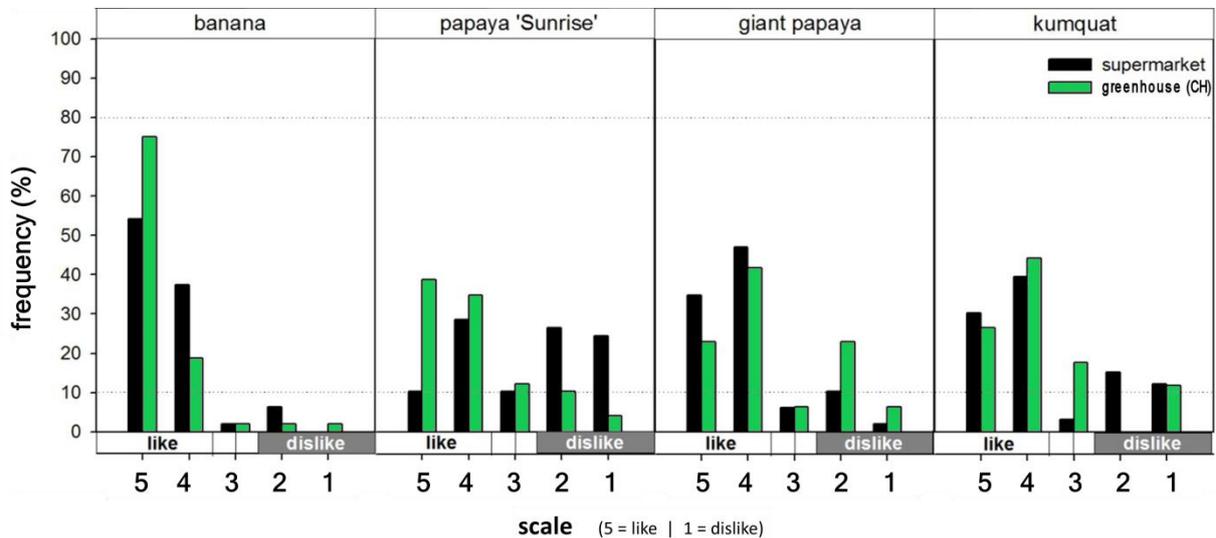


Abb. 3: Ergebnisse des Geschmackstests durch Versuchspersonen. Auf einer neun-stufigen Skala wurden im September 2012 Früchte bewertet, die in einem Gewächshaus in der Schweiz produziert (Greenhouse) bzw. in einem Supermarkt in Bayreuth erworben wurden (Import). n ist die Anzahl der Versuchspersonen, die die jeweilige Frucht getestet haben.

### Wie kann der Fruchtertrag gesteigert werden?

Die Untersuchungen zur Steigerung des Fruchtertrages werden an Lulo (*Solanum quitoense*) durchgeführt.

Der Fruchtansatz der Lulo ist auch im kommerziellen Anbau in den Anden Südamerikas gering (z.B. auf Plantagen in Kolumbien 16 %). Ein Grund hierfür ist, dass die Blüten durch Hummeln (*Bombus atratus*) bestäubt werden, die die Blüten anfliegen und mit ihrem Flügelschlag Frequenzen erzeugen, durch die der Pollen aus den Staubbeuteln herausgeschüttelt wird und die Tiere mit dem nur schwach verklebten Pollen einstäuben (sog. Vibrationsbestäubung). Der Bestäubungserfolg durch *Bombus atratus* liegt bei etwa 75 % (Almanza 2007). Ob auch unsere einheimischen Hummeln, wie die Erdhummel (*Bombus terrestris*) in der Lage sind, die Blüten der Lulo zu bestäuben und mit welchem Erfolg ist noch nicht bekannt, aber wichtig für die Ertragsleistung. Im Sommer 2012 wurde ein Volk von *Bombus terrestris* (Abb. 4) im Gewächshaus ausgebracht und der Bestäubungserfolg bei Lulo erfasst. Dabei lag der mittlere Fruchtansatz bei 58 % (n = 134). Die Erdhummel könnte also beim Anbau der Lulo als Bestäuber erfolgreich eingesetzt werden, aber genauere Untersuchungen hierzu werden noch im Sommer 2013 durchgeführt.

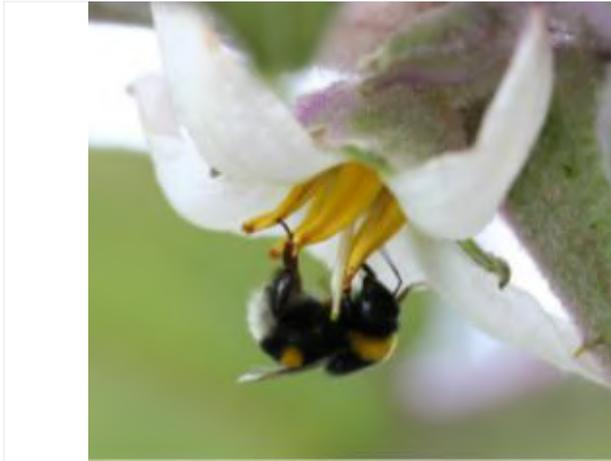


Abb. 4: Erdhummel (*Bombus terrestris*) bei der Bestäubung einer Lulo-Blüte.

### Kann durch Zusatzbeleuchtung im Winter eine ganzjährige Fruchtproduktion erreicht werden?

Exotische Früchte üben gerade im Winter einen Reiz auf uns aus, wenn frisches Obst aus dem eigenen Land Mangelware ist, doch gerade dann müssen sie über große Distanzen, oft vom andern Ende der Welt importiert werden. Für die Produktion in Klein-Eden ist es daher besonders interessant, in den Wintermonaten tropisches Obst zu produzieren.

Lulo's produzieren auch in den Wintermonaten Früchte, wenn auch weniger als im Sommer (Abb. 5; 8 Früchte pro Pflanze gegenüber 13 im Sommer). Jedoch kann durch eine Tagverlängerung mittels Zusatzbeleuchtung (Poot-Leuchten PL 90 N 400, 400 W/H.P.S.) im Gewächshaus die Anzahl der Blüten und der Fruchtansatz auf 16 Früchte pro Pflanze erhöht werden. Der energetische Aufwand hierfür ist aber beträchtlich: bei angenommenen Strompreisen von 20 Cent/kWh und einer Tagverlängerung auf 16 Stunden von Oktober bis März betragen die zusätzlichen Kosten etwa 1 € pro Frucht. Ob sich diese Investition im kommerziellen Anbau lohnen wird und ob die Kosten durch evtl. geringere Zusatzbeleuchtung bei gleicher Ertragssteigerung reduziert werden könnten, ist gegenwärtig noch offen, zumal auch ohne Zusatzbeleuchtung Früchte für den Markt produziert werden können.

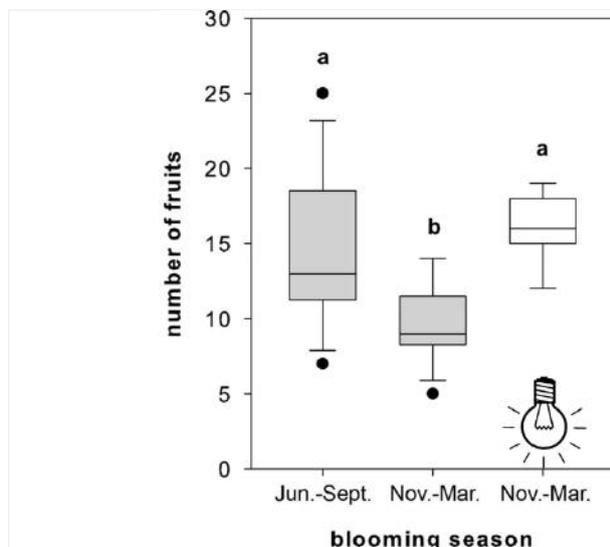


Abb. 5: Anzahl produzierter Früchte pro Pflanze in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Blüte und Fruchtansatz im Sommer-Herbst bzw. im Winter) und in Abhängigkeit von einer zusätzlichen Beleuchtung (Langtag) in den Wintermonaten (Anzahl der Wiederholungen n = 11 bzw. 12).

## 4 Finanzierung, Kooperationen und Anschriften der Autoren

Das Projekt "Klein-Eden" wird gemeinschaftlich von Landkreis, Gemeinden, Unternehmern und Unterstützern der Region getragen. Die voraussichtlichen Projektkosten von fünf Millionen Euro in den ersten drei Jahren werden zum Großteil durch Fördermittel des EU-Programms "Ziel 3 Freistaat Bayern - Tschechische Republik" (3 Mio. €), dem allgemeinen Umweltfonds (500.000 Euro) sowie der Oberfrankenstiftung finanziert. Klein-Eden soll nicht nur als gelungenes Demonstrationsobjekt für die praxisgerechte Nutzung industrieller Abwärme im Niedertemperaturbereich dienen.



beantragter Zuschuss aus Ziel 3 Freistaat Bayern - Tschechische Republik	2.993.100,00 €
Allgemeiner Umweltfonds	497.100,00 €
Oberfrankenstiftung	1.006.200,00 €
Eigenmittel	499.600,00 €
Gesamt	4.996.000,00 €

Das Projekt erhielt somit einen Fördersatz von 90% der sich wie folgt zusammensetzt:

- Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)  
Ziel 3 Freistaat Bayern-Tschechische Republik 2007-2013 59,91 % v.H.
- Allgemeiner Umweltfonds Haushaltsjahr 2011-2014 9,95 % v. H.
- Oberfrankenstiftung 20,00 % v.H.
- Eigenmittel 10,00 % v.H.

Für die Zukunft ist geplant und wird teilweise schon umgesetzt sämtliche die regionalen verfügbaren Energie- und Stoffflüsse zu messen und zu bilanzieren und den Ernteerträgen gegenüber zu stellen.

Dieses Leuchtturm-Projekt (offizielle Auszeichnung des UmweltCluster Bayern 2012) soll als europaweites Modell- und Forschungsprojekt aufzeigen, das mit Niedertemperaturabwärme gerade auch in urbanen Regionen zukünftig wirtschaftlich lukrativ, hochwertige Lebensmittel produziert werden können.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, in dem Betrieb des Tropenhauses steckt noch eine Vielzahl von Potentialen, die in Zukunft gehoben werden können. Das ist zum einen der Bereich der zukunftsfähigen systemischen Forschungen, zum anderen die Allgemeinbildung wie auch zur beruflichen Bildung kann Klein-Eden einen wesentlichen Beitrag leisten.

#### **4.1 Projektbeirat Bayern-Tschechien**

Es war ein Projektbeirat zu gründen und einzuberufen, der sich aus Vertretern der Kommunen, der Wissenschaft (Universitäten und Fachhochschulen), ökologischen Bildungsstätten und Schulen, energieintensiven Unternehmen aus Bayern, Tschechien und sogar Österreich und dem Netzwerkpartner Euregio Egrensis zusammensetzt.

Die Mitglieder des Projektbeirates haben eine beratende und vernetzende Funktion, die „Klein Eden“ Tropenhaus am Rennsteig GmbH bei der Auswahl und Gestaltung der Forschungs- und Bildungsinstrumente und zukünftigen Maßnahmen zu unterstützen.

Die Beiräte arbeiten partnerschaftlich, vertrauensvoll und konstruktiv mit den Geschäftsführern der Sklenik Hranice o.p.s. und der „Klein Eden“ Tropenhaus am Rennsteig GmbH zusammen.

Nach der intensiven Suche nach interessierten Beiräten auf beiden Länderseiten, konnte am 29. November 2012 die erste gemeinsame Sitzung in Kleintettau abgehalten werden.

Vertreter des Projektbeirates sind u.a. die Kommunen Tettau und Hranice, die Universitäten Bayreuth und Suchdol/Prag, die ökolog. Bildungsstätte Mittwitz und die agrarwirtschaftl. Mittelschule Dalovice, die Unternehmen Wiegand-Glas, Heinz-Glas und Stölzle-Oberglas und als Netzwerkpartner für Bayern und Tschechien die Euregio Egrensis.

Mittlerweile konnte für technische/energetische Themen auch die Fachhochschule Hof als neuer Beirat gewonnen werden, die höchstes Interesse zeigen, ein zukünftiges Projekt im grenznahen tschechischen Raum mit Forschungsarbeiten zu betreuen.

Die Beiräte lassen sich bei ihren Vorschlägen und Empfehlungen von der Zielsetzung leiten, das Tropenhaus bei der Aufgabenerledigung zu unterstützen und auf eine sachgerechte und sinnvolle Verwendung der Fördermittel hinzuwirken.

Die mindestens zweimal im Jahr stattfindenden Treffen wurden und werden abwechselnd in jedem Land abgehalten.

Es konnte durch die Vernetzungen der einzelnen Beiräte auch schon ein erstes Interesse in Tschechien verbucht werden, eine ähnliche Anlage wie in Kleintettau durch das Unternehmen Stölzle, die in dem Grenzraum in Nova Huta eine Glashütte betreiben umzusetzen. Das Unternehmen möchte die Forschungsergebnisse der Universitäten und die Erfahrungen der Betreiber in Kleintettau bis Frühjahr 2015 abwarten, um eine Entscheidung zu treffen.

Es wäre nicht nur der Standort in Tschechien interessant, sondern auch Standorte z.B. in Österreich.

Großes gemeinsames Ziel ist es nach wie vor, dass die Sklenik Hranice o.p.s. mit Hilfe des Projektbeirates am Standort der Firma Heinz Decor, Druckerei in Hranice, ein Tropenhaus umsetzen kann und somit auch der Universität in Suchdol die ähnlichen Voraussetzungen zur Verfügung stellt, wie es in Kleintettau der Universität Bayreuth möglich ist.

Ein erneuter Antrag wurde in Absprache und Beratung mit dem Projektbeirat im Frühjahr 2014 gestellt.

Ausschlag gebend waren die Erkenntnisse der Sitzungen im Jahr 2013, in denen die Baufortschritte und Herausforderung verdeutlicht werden konnten.

In der Sitzung am 11. März 2014 konnten dem Projektbeirat exklusiv die ersten ausgewerteten Forschungsergebnisse der Universität Bayreuth im Beobachtungs- und Forschungszeitraum 2012 bis Ende 2013 in den Räumen des ÖBG (Universität Bayreuth) vorgestellt werden.

Diese Ergebnisse und bundesweiten/internationalen Vorträge der Universität und der Geschäftsführung der „Klein Eden“ Tropenhaus am Rennsteig GmbH führten dazu, dass mittlerweile im ganzen Bundesgebiet ein hohes Interesse an einer solchen Anlage besteht; auch durch die entstanden Vernetzung mit dem Bundesumweltministerium.



(Besuch des Bundesumweltministeriums August 2013 mit Netzwerkpartnern des Projektbeirates)

## Kooperationspartner:

- Rennsteigregion im Frankenwald e.V.
- Landkreis Kronach
- Kommunen Steinbach a Wald, Tettau, Ludwigsstadt, Teuschnitz
- Heinz-Glas GmbH
- Universität Bayreuth / Ökologisch Botanischer Garten
- Sklenik Hranice o.p.s.(CZ)
- Stadt Hranice u Aše
- Schottische Hochland-Rinderzucht Frankenwald GmbH
- Chocolate GmbH & Co KG
- Euregio Egrensis
- Universität Suchdol/Prag
- Landwirtschaftliche Mittelschule Dalovice
- Ökologische Bildungsstätte Oberfranken - Wasserschloss Mitwitz e. V
- 

## 5 *Zitierte Literatur*

Almanza MT (2007) Management of *Bombus atratus* bumblebees to pollinate Lulo (*Solanum quitoense*) a native fruit from the Andes of Colombia. Ecology and Development Series No 50, Zentrum für Entwicklungsforschung ZEF Bonn. 132 p.

Daunay M, Rousselle-Bourgeois F, Lester R, Peron J (1995) Known and less known *Solanum* species for fresh market. In: Fernández-Muñoz R, Cuartero J, Gómez-Guillamón ML (eds) First International Symposium on Solanaceae for Fresh Market. Acta Horticulturae 412: 293-305.

Heiser C, Anderson G (1999) "New" *Solanums*. In: Janick J (ed.) Perspectives on new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA. pp 379-384.

National Research Council (ed. 1989) Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. Washington, DC. National Academies Press. 428 p

Morton JF (1987) Passionfruit. In: Morton JF & Dowling FC: Fruits of warm climates. Miami, Creative Resources Systems. p. 320-328.

Todt D (2003) Erobern Tropenfrüchte unsere Gewächshäuser? Der Gartenbau 2: 2-3.

### **Anschriften der Autoren**

Ralf Schmitt (Geschäftsführer)  
Klein-Eden Tropenhaus am Rennsteig GmbH  
Klein Eden 1  
99355 Tettau  
Tel.:09269-77145  
mail: ralf.schmitt@tropenhaus-am-rennsteig.de  
Web: www.tropenhaus-klein-eden.eu

Dr. Marianne Lauerer & Jana Messinger  
Ökologisch-Botanischer Garten  
Universität Bayreuth  
95440 Bayreuth  
Tel. 0921 552972  
Mail: marianne.lauerer@uni-bayreuth.de  
web: www.obg.uni-bayreuth.

Facebook:

[www.facebook.com/KleinEden.Tropenhaus](http://www.facebook.com/KleinEden.Tropenhaus)

Ralf Schmitt

