

# FOOD FROM WOOD

KOMPOSTIERUNG HOLZHALTIGER PFLANZENABFÄLLE  
MIT ESSBAREN INSEKTEN





## IMPRESSUM

Publisher: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, ZHAW  
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, IUNR  
Forschungsgruppe Phytomedizin,  
Prof.Dr. Jürg Grunder  
Grüental, 8810 Wädenswil, Schweiz  
+41 58 934 55 89

Texte Daniel Ambühl, Jürg Grunder

Bilder Daniel Ambühl  
Tom Bischof

Layout: Daniel Ambühl

Auflage: 100 gedruckt

Erstellt mit Scribus 1.4.3 Open Source Desktop Publishing Freeware  
und mit den Freeware-Schriften Linux Biolinum

Copyright: Der Inhalt dieses Handbuchs steht für nicht kommerzielle Zwecke unentgeltlich zur  
Verfügung unter der GNU Open Source Lizenz.

Erstpublikation: 1. Mai 2021

Titelbild: Fermentiertes Holz-Futtersubstrat, Käfer, Larven und Puppen von *Xylotrupes gideon* sowie  
die ausgesiebten Kotpellets der Larven.





# FOOD FROM WOOD

Einführung in das Prozessing von holzhaltigen Pflanzenabfällen  
mit Hilfe von essbaren Käferlarven und zur Herstellung  
organischer Bodensubstanz (OBS) für Substrate und landwirtschaftliche Böden

sowie

## HANDBUCH

der Zucht des Käfers *Trypoxylus dichotomus*

Daniel Ambühl

Pascal Herren

Jürg Grunder



NATUR UND UMWELT



## Essen aus Holz

Pures Holz zu essen, ergibt keinen Sinn. Pilze und Insekten zu essen, die vom Holz leben, dagegen schon. Darauf baut das Schweizer Projekt «Food from Wood» auf. Holzhaltiger Grundstoff für Nahrung herstellen und so den Welt Hunger bekämpfen.

**südostschweiz**

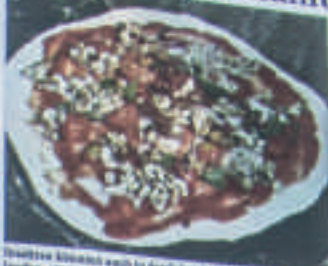
## Die Crevetten und Scampi der nächsten Generationen

In Lördal ist ein Forschungsprojekt mit dem Namen «Food from Wood» gestartet. Das Team entwickelt eine Zucht von essbaren Insekten, die sich von Holzstäben ernähren.



## Schweizer Bauer

### SKYFOOD: 2. Schweizer Pflanztag zu Insekten als Nahrungsmittel «Die Kuh der Zukunft hat sechs Beine»



Quartier Schönenbuch: auch in der Schweiz wird auf der Pflanztag (Bilder: A. Kretschmer)

Paul Vollenweider: Insekten sind endlich als Nahrungsmittel



50 bis 100 Tausend Insekten auf dem Tisch: Schweizer Insekten für die Welt (Bilder: A. Kretschmer)



Ein Insektenprotein kann als Ersatz für Fleisch auf dem Teller landen (Bilder: A. Kretschmer)

Insekten haben ein enormes Potenzial. Nicht nur für die Ernährung, sondern auch für die Umwelt.

#### ANFANGS WARTET

Paul Vollenweider, ein Experte für Insekten als Nahrungsmittel, ist der Meinung, dass Insekten in der Ernährung der Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden.

Wenig wird es werden, sehr wenig. Insekten sind nicht nur als Nahrungsmittel, sondern auch als Rohstoffe für die Industrie wichtig.

Redaktion: Südostschweiz, Postfach 1000, 4600 Olten. Telefon: 031 821 11 11. Fax: 031 821 11 12. E-Mail: redaktion@so.ch

#### Holz macht satt

Das ist ein Projekt, das in der Schweiz gestartet wurde. Es geht darum, Insekten zu züchten, die sich von Holz ernähren. Diese Insekten können dann als Nahrungsmittel verwendet werden.



# INHALT

|               |                                                     |    |
|---------------|-----------------------------------------------------|----|
|               | Glossar                                             | 8  |
| <b>Teil 1</b> | <b>Einführung</b>                                   |    |
| 1.1           | Ausgangslage                                        | 10 |
| 1.2           | Food from Wood                                      | 12 |
| 1.3           | Anwendungsgebiete                                   | 15 |
| 1.4           | Projektgeschichte                                   | 16 |
| 1.5           | Handbuch                                            | 17 |
| <b>Teil 2</b> | <b>Biologie und Zucht von Trypoxylus dichotomus</b> |    |
| 2.1           | Der Gabelhornkäfer Kabutomushi                      | 19 |
| 2.2           | Futter für TDT-Käferlarven                          | 20 |
| 2.3           | Flakesoil                                           | 22 |
| 2.4           | Breeding                                            | 24 |
| 2.5           | Rearing                                             | 26 |
| <b>Teil 3</b> | <b>Betrieb der Insektenzucht</b>                    |    |
| 3.1           | Die vier Geschäftsfelder der Insektenzucht          | 28 |
| 3.2           | Lieferung von Material für die Larvenzucht          | 30 |
| 3.3           | Zubereitung des Futtersubstrates für die Larven     | 32 |
| 3.4           | Mast und Ernte der Insekten                         | 34 |
| 3.5           | Reproduktion und Nachzucht                          | 38 |
| <b>Teil 4</b> | <b>Musteranlage</b>                                 |    |
| 4.1           | Plan einer Musteranlage                             | 42 |
| 4.2           | Stakeholder und Materialfluss                       | 43 |
| 4.3           | Kooperation mehrerer Landwirte                      | 44 |
| 4.4           | Biomasse Zulieferer                                 | 45 |
| 4.5           | Besatzlarven                                        | 46 |
| 4.6           | Produktionsplan Labor                               | 47 |
| 4.7           | Produktionsplan Mastbetrieb                         | 48 |
| 4.8           | Beratung                                            | 49 |
| 4.9           | Abnehmer                                            | 50 |
| 4.10          | Infrastruktur                                       | 51 |
| 4.11          | Maschinen                                           | 52 |
| 4.12          | Produktionsplan Mastbetrieb                         | 54 |
| 4.13          | Material, Gebinde, Infrastruktur                    | 55 |
| <b>Anhang</b> |                                                     |    |
| 1             | Produktionsplan Labor                               | 56 |
| 2             | Eckdaten der Produktion                             | 57 |

## GLOSSAR

Fremdwörter, Abkürzungen und technische Begriffe, die in diesem Handbuch verwendet werden.

### A

Adultes Tier = Erwachsendes, geschlechtsreifes Tier  
 Anaerob = Ohne Sauerstoff  
 Ammoniak = Stickstoffhaltiges Gas, Zellgift aus anaeroben Prozessen stammend

### B

Breeding = Brutherstellung, Nachzucht, Selektion, Paarung, Eiablage  
 Beetle Jelly = Zuckerhaltiger, aromatisierter Pudding als Käferfutter  
 Braunfäule = Durch Abbau von Zellulose braun verfärbtes Holz  
 Black Soil = Feines, schwarzbraunes und stark fermentiertes Eiablagesubstrat  
 Blender = Mixer meist mit drehendem Messer zum Zerkleinern  
 BLW = Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft

### C

Cetoniden = Rosenkäfer  
 CITES = Internationales Abkommen zum Schutz bedrohter Tierarten  
 Citizen Science Ausseruniversitäre Forschung durch Liebhaber und Amateure  
 CNR = Carbon-to-Nitrogen-Ratio. Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N)  
 Coevolution = Weiterentwicklung der Arten in einem gemeinsamen Habitat  
 Corg = Kohlenstoff aus organischen Quellen. Messwert für Humus im Boden

### D

Dynastiden = Riesenkäfer, oder Nashornkäfer

### E

Entomophag = Insekten essend  
 Enzym = Chemisches Werkzeugmolekül

Eutrophierung Überdüngung  
 Exoskelett = Aussenskelett. Bei Insekten die starre Chitinaussenhülle

### F

FAO = Food and Agriculture Organisation der UNO Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen  
 Fermentierung = Ab- und Umbau von Material in einer Sauerstoffumgebung  
 FFW = Food from Wood. Nahrung aus Holz.  
 Kompostierung holzhaltiger Pflanzenabfälle mit Pilzen und Insekten.  
 Flake Soil = Feinkörnige fermentierte holzhaltige Biomasse  
 Forest people = Volksstämme, die Waldgebiete bewohnen

### H

Hammermühle = Maschine zur Zerkleinerung von Materialien auf wählbare Partikelgrößen  
 HACCP = Hazard Analyses and Critical Controlpoints. Gefahrenanalyse und kritische Kontrollpunkte. Prozess zur protokollierten Überwachung von Produktionen  
 Heissrotte = Durch mikrobobielle Tätigkeit stark erhitzter Abbaubvorgang in nährstoffreichen Substraten  
 Hemizellulose = Holzbestandteil aus Kohlehydraten bestehend, ca 20% der Holzmasse  
 Hibernation = Überwinterung, Winterschlaf  
 Holometabol = Insekt, das ein Puppenstadium durchläuft.  
 Holz = Natürlicher Verbundwerkstoff aus Zellulose, Lignin, Hemizellulose  
 Holzmulm = Fein zerkrümelte Hinterlassenschaft holzzersetzender Tiere und Mikroorganismen.  
 Humus = Organische Bodensubstanz (OBS)

### I

Inaktivität = Ruhephase frisch geschlüpfter Käfer bis zur Geschlechtsreife  
 inert = stabil, nicht zersetzbar.



## K

Kabutomushi = Japanischer Name für *Trypoxylus dichotomus*. Wörtlich übersetzt: Samuraihelm (Kabuto) Käfer (Mushi)

Käfer = Grösste Ordnung von Tieren auf Planet Erde

kaskadisch = In Stufen ablaufend

Kotpellets = Zu Tabletten verpresste Exkrementen von Käferlarven.

## L

Larve = Fressphase von Käfern

L1 = Erstes Larvenstadium

L2 = Zweites Larvenstadium

L3 = Drittes Larvenstadium

LCSA = Life Cycle Sustainability Assessment.

Ökobilanz mit erweitertem Betrachtungsrahmen

Lignin = Holzbestandteil (ca 30%) der die Zellulosefasern versteift.

Lucaniden = Hirschkäfer

## M

Mandibeln = Zangenähnlich ausgebildete Fresswerkzeuge von Larven und Käfern.

Mat = Bezeichnung für Futtersubstrate von Käfern

Mating = Paarung

Metabolismus = Stoffwechsel in lebendigen Körpern

Methan = Gas das durch Mikroorganismen bei anaeroben Gärprozessen entsteht (biogas)

Moisture Analyzer = Feuchtigkeits-Messgerät für Substrate

Mortalität = Sterblichkeit

## N

Nitrogenase = Fixierung von Luftstickstoff durch Tätigkeit von Mikroorganismen.

## O

OBS = Organische Bodensubstanz (Humus)

## P

Präpuppe = Eine Larve, die aufgehört hat zu fressen, den Darmtrakt entleert hat, aber noch nicht verpuppt ist.

Proteine = Stickstoffhaltige Baustoffe der Zellen, auch Aminosäuren genannt.

Puppe = Lebensphase zwischen Larve und Käfer

## R

Rearing = Mast, Aufzucht

Resorbieren = Aus der Umgebung aufnehmen

## S

SAK = Standard Arbeits Kraft.

Landwirtschaftlicher Messwert für den Arbeitsbedarf eines Prozesses

Schwefelwasserstoff = Gasförmiges Produkt anaerober Vorgänge

Speisepilze = Pilze, die für den menschlichen Konsum geeignet sind

Insekten, die für den menschlichen Konsum geeignet sind

Spermatothek = Aufbewahrungsbhase für Spermien im weiblichen Körper vieler Insekten

Stakeholder = An einem Prozess beteiligte Partner und Organisationen

Stickstoff = Zentrales chemisches Element von Proteinen

## T

TDT = *Trypoxylus dichotomus tsunobosonus*

Taiwanische Unterart

## W-Z

Weissfäule = Durch Abbau von Lignin weiss verfärbtes Holz

XGS = *Xylotrupes gideon sumatrensis*. Nashornkäfer aus Asien.

Zellulose = Zäh und biegsame Fasern von Holz (ca. 40%)

ZHAW = Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften







## AUSGANGSLAGE

Food from Wood (FFW) ist ein landwirtschaftlicher Prozess, um aus holzhaltigen Pflanzenabfällen Speisepilze und essbare Insekten herzustellen und mit dem Kot der Käferlarven einen Kompost zu erzeugen, der hilft die Humusverluste der Böden auszugleichen. Das Projekt wurde 2014 entwickelt als Reaktion auf den bahnbrechenden Report der Welt Landwirtschafts- und Ernährungsorganisation FAO: "Edible Insects. Future prospects for food and feed security". In diesem Bericht aus dem Forestry Department der FAO wird angemahnt neue und nachhaltigere Ressourcen zu finden für die Herstellung tierischer Proteine. 70% der derzeitigen weltweiten Agrarfläche wird für die Produktion von Futtermitteln verwendet. Während die Bewohner reicher Länder unter dem Überfluss proteinhaltiger Nahrung und unter alarmierender Eutrophierung der Umwelt leiden, mangeln hochwertige Proteine in den armen Ländern. Insekten bieten einen interessanten Weg. Sie können Futter verwerten, das nicht in Nahrungskonkurrenz mit den Menschen steht; giftige Pflanzen beispielsweise oder Holzmulm.

Ein zweites drängendes Problem der globalen Landwirtschaft ist die Degradierungen der Böden durch massive Verluste von Humus und dadurch schwerwiegenden Einbussen der natürlichen Fruchtbarkeit im grössten terrestrischen Habitat des Planeten: dem Boden. Die meisten Ackerböden sind von Wäldern erschaffen worden durch Vermischung der mineralischen Unterlage mit abgestorbener und sich langsam zersetzender Biomasse der Pflanzendecke. Der Humusgehalt des Bodens ist entscheidend für seine Funktion als Grundlage der Nahrungsproduktion. Im umfangreichen Forschungsprojekt NFP68 "Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden" wurden in den vergangenen Jahren in der Schweiz Grundlagen geschaffen für ein Bodenmonitoring. Die Böden erhalten sich nämlich nicht von selber, sondern müssen nachhaltig gepflegt werden vor allem mit dem Ausgleich der Humusverluste. Hier will Food from Wood einen Ansatz bieten um den Transfer von Biomasse aus den Wäldern in die Böden in einem sauberen, sicheren und nachhaltigen Prozessing zu ermöglichen.

Im Grunde genommen ist das Prozessing von Food from Wood eine Kompostierung von holzhaltigen Pflanzenabfällen mit einer Carbon to Nitrogen Ratio (CNR) von 100 und mehr mit Hilfe von Pilzen und Insektenlarven ohne Eintrag von Stickstoff in die Substrate. Bei dieser rein aeroben Kompostierung werden äusserst wenig klimaschädigende Gase produziert und besteht keine Gefahr von Auswaschungen von Nährstoffen in Oberflächengewässer und Grundwasser. Zugleich werden dabei Nahrungsmittel produziert: Pilze und Speiseinsekten.

Der von den Larven pelletierte Käferkot kann direkt auf Äcker und Felder ausgebracht oder als torffreies Pflanzsubstrat verwendet werden. Dabei wird Kohlenstoff aus der Atmosphäre im grössten Kohlenstofflager des Planeten deponiert: Dem Boden.

Der Gehalt von Organischer Bodensubstanz (OBS) im obersten Meter der Schweizer Böden beträgt zwischen 100 - 500 Tonnen pro Hektare. Um die Nahrungsproduktion längerfristig zu ermöglichen, muss ein kluges Bodenmanagement die Fertilität der Pflanzunterlage sicher stellen. Gleichzeitig können dazu riesigen Mengen an ungenutzter Biomasse unserer Schweizer Kulturwälder sinnvoll genutzt werden.

Die Erforschung des Aspektes der Insektenzucht im Projekt Food from Wood wurden 2018 vom Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft unterstützt. Es ist weltweit Pioniergebiet, sowohl was das zirkuläre Prozessing insgesamt als auch was die Nachzucht und Mast von Käferlarven in landwirtschaftlichem Masstab betrifft. Federführend ist die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, ZHAW, in Wädenswil unter Leitung von Prof. Jürg Grunder, Daniel Ambühl und Pascal Herren. Die Forschungsanlage wurde in Linthal GL aufgebaut. Eines der Ziele war die Erarbeitung eines Handbuches mit praktischen Anleitungen für die Umsetzung in Schweizer Landwirtschaftsbetrieben, das Ihnen hiermit vorliegt.

*Links: Der Humus von Ackerböden stammt meist aus der früheren Bewaldung.*

*Rechts: Kotpellets von grossen Käferlarven sind über zehn Millimeter lang und fünf bis acht Millimeter breit. Sie leisten beim Abbau von Biomasse in Wäldern einen wichtigen Beitrag zum Aufbau fruchtbarer, humusreicher Böden.*



# FOOD FROM WOOD

Der Gesamtprozess von FFW ist ein kaskadischer Abbau von holzhaltigen Pflanzenmaterialien mithilfe von Pilzen und Insekten. Solche Abfallstoffe werden bisher in Biomassehöfen verarbeitet mit Zugabe von Stickstoff - meist Gülle oder Mist - und einer Heissrotte unter partiell anaeroben Bedingungen (Gärung). FFW organisiert diesen Prozess aerob, ohne Zugabe von Stickstoff, das heisst als kalten, fermentativen Prozess, nahe am Vorbild der Natur. Die wichtigsten Akteure beim Abbau von Holz sind in der Natur Pilze, Insekten und Mikroorganismen. Mit der Auswahl geeigneter Pilz- und Insektenarten kann damit bei der Kompostierung Nahrung für den Menschen hergestellt werden. Ausserdem hinterlassen die Larven von Insekten einen pelletierten, geruchlosen Kot, der sich als feinkrümeliger Humus für den Pflanzenbau eignet.

Der Abbau von Zellulose, Hemizellulose und Lignin ist ein komplexer biochemischer Vorgang. Der Verbundwerkstoff Holz ist so inert, dass selbst Pflanzen, die ihn herstellen, ihn nicht mehr auflösen und wiederverwerten können. Daher müssen Pflanzen ihre nutzlos gewordenen Blätter, die aus einer Holzmatrix bestehen, abwerfen.

Pilze und andere Mikroorganismen haben in 400 Millionen Jahre langer Coevolution enzymatische Werkzeuge entwickelt, um Holz aufzulösen. Viele unserer Speisepilze sind Spezialisten für den Abbau von Holz, wobei hier vor allem Weissfäulepilze Pionierarbeit geleistet haben, also solche, die das Lignin abbauen können, den aushärtenden Klebstoff, mit welchem die Zellulosefasern versteift werden. Lignin ist stark wasserabweisend und bietet daher wenig Angriffstellen für natürliche, chemische Zersetzungsprozesse.

Das von Pilzen vorverdaute Holz ist Futter für eine immense Zahl von Insektenlarven meist aus der Ordnung der Käfer (Coleoptera) mit bis heute 350'000 bekannten Arten und darin von drei artenreichen Familien: Den Riesenkäfern (Dynastiden) mit 1500 bekannten Arten, den Rosenkäfern (Cetoniden) mit 3000 bekannten Arten und den Hirschkäfern, oder Schröttern (Lucaniden) mit 1300 bekannten Arten.

Die Hirschkäfer sind Spezialisten für die Zerkleinerung des massiven und harten Pilzholzes, weshalb sie auch Schröter genannt werden. Später folgen im kaskadischen Holzabbau Riesenkäfer und Rosenkäfer. Am Recycling von Holz sind in der Natur tausende von Arten von Lebewesen beteiligt. Holz ist mengenmässig das häufigste, natürliche Polymer des

Planeten. Man schätzt, dass alle Pflanzen der Welt zusammen jedes Jahr rund 40 Milliarden Tonnen Holz produzieren, also chemisch als Kohlenhydrate gespeicherte Sonnenenergie mit einem Heizöläquivalent von jährlich rund 10 Milliarden Tonnen. Leider können die meisten Tiere und auch der Mensch die komplex organisierten Glucosen der Holzbaustoffe nicht verdauen und nicht direkt für den eigenen Metabolismus nutzen. Aber mit dem Umweg über Pilze und Insektenlarven können auch Menschen bei der Kompostierung von Holz an diesem grössten Nahrungsangebot der Natur teilnehmen.

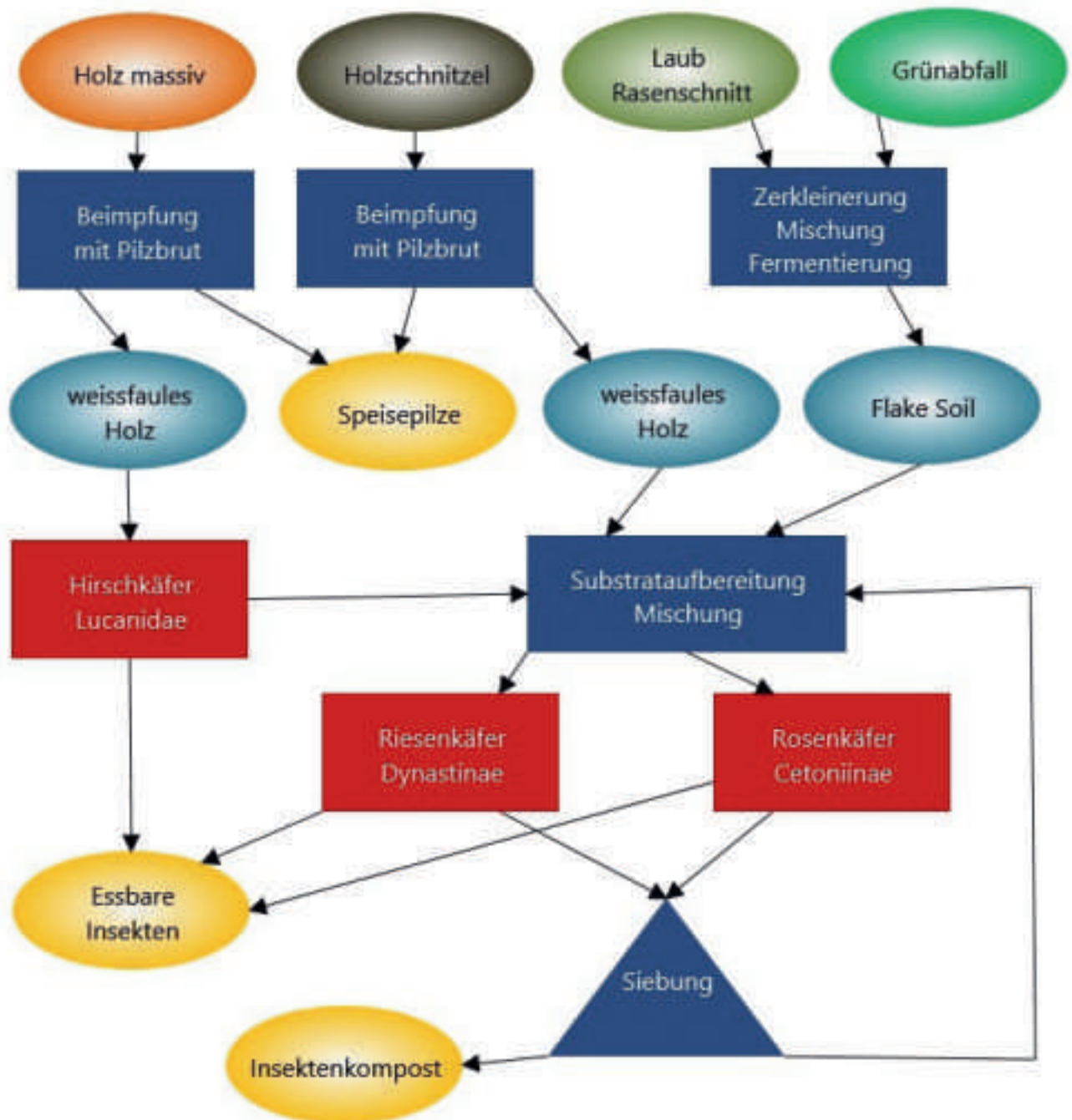
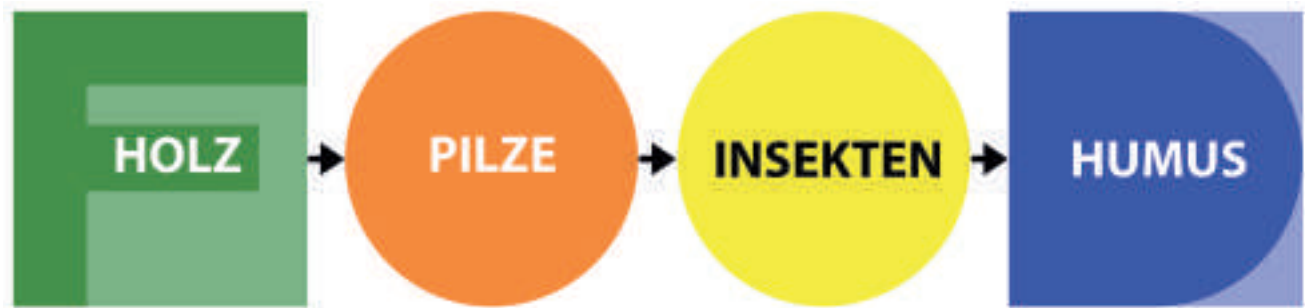
Fast alle unserer begehrten Speisepilze sind sogenannte Erstzersetzer von holzhaltigen Pflanzenabfällen: Shiitake, Enokitake, Shimeji, Seitlinge, Stockschwämme, Hericium, Pioppino und viele mehr. Sie werden grösstenteils industriell Indoor angebaut. Vor kurzem ist jedoch im Kanton Glarus das erste Pionierprojekt für den landwirtschaftlichen Anbau von Freilandpilzen gestartet.

Insekten und also auch Käfer gehören seit Urzeiten zur Nahrung des Menschen. Noch heute werden sie vielerorts als begehrtes Wildbret gesammelt. Die FAO hat in ihrer Liste von historisch dokumentierten Speiseinsekten hunderte von Käferarten verzeichnet. Da die meisten entomophagen Forest People keine Schrift verwenden, ist anzunehmen, dass tausende von Käferarten genutzt werden, darunter praktisch alle Dynastiden, Hirschkäfer und Rosenkäfer. Diese wurden jedoch in der Menschheitsgeschichte noch nie gezüchtet.

Käfer werden vom Menschen als Larven gegessen, als Puppen und als Käfer. Die Zucht dieser Käferarten ist eines der jüngsten Gebiete der Wissenschaft. Während in den vergangenen hundert Jahren die Pilzzucht im Detail erforscht wurde und heute in grossem Massstab betrieben wird, gilt es nun die Prozesse und Bedingungen für die Domestizierung und Zucht von Speiseinsekten mit dem Futtersubstrat Holz zu erforschen. Es geht dabei um neue landwirtschaftliche Nutztiere, um neue Futtermittel und um neue Humussubstrate für die Bodenverbesserung. Das Schweizer FFW-Projekt leistet hier weltweit Pionierarbeit.

*Materialfluss des Gesamtprojektes von Food from Wood. Das vorliegende Handbuch befasst sich im Detail nur mit dem Produktionsstrang, der über die Riesenkäfer läuft. Die Speisepilzproduktion im Freiland ist ein Teil des Prozessings, der gegenwärtig in anderen Projekten erforscht wird. Bei industrieller Verwertung von homogenen Substraten, beispielsweise Mandelschalen, Maisstängeln, und anderen holzhaltigen Abfallsubstraten mit gleichbleibenden Zusammensetzungen, kommen auch Hirschkäfer und Rosenkäfer als Nutztiere in Frage.*











## ANWENDUNGSGEBIETE

Die Schweiz ist seit 1946 Mitglied der FAO. Viele Schweizer Wissenschaftler haben am bahnbrechenden FAO Insekten-Report von 2013 mitgearbeitet. Der Hauptfokus der wissenschaftlichen Studie liegt in der Verbesserung der Ernährungssicherheit in tropischen Gebieten. Während in armen Ländern die immer schwieriger werdende Proteinversorgung zu bedrohlichen Mangelernährungen führt, leiden die reichen industriellen Staaten an einer Überversorgung mit Fleisch.

Als das Projekt FFW 2014 entwickelt wurde, lag die Stoßrichtung - ganz im Sinn des FAO Berichts – auf dem Kampf gegen den Hunger und auf dem Kampf gegen die Verwendung von Grundnahrungsmitteln des Menschen für die Fleischproduktion. Es gilt Alternativen zu finden zur Produktion von tierischen Proteinen und Fetten, die weniger negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt haben. FFW ist ein Versuch, die Erkenntnisse und Vorgaben des FAO-Reports praktisch umzusetzen indem holzhaltige Pflanzenabfälle als Futter verwendet werden.

Weshalb betonen wir das Wort holzhaltig? Weil in Holz keine verdaulichen Kohlenhydrate und nur minim Stickstoff enthalten ist. Im Vergleich zu Holz liegen bei Gemüse- oder Getreideabfällen die Kohlenhydrate nicht nur als Holz vor, sondern auch als Stärken und Zucker. In Pflanzenproteinen sind ausserdem beträchtliche Mengen an Stickstoff vorhanden.

Einen Messwert für das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff und damit ein Wert für den Nährstoffgehalt von Substraten bietet die Carbon to Nitrogen Ratio (CNR). Substrate mit wenig Stickstoff weisen eine hohe CNR aus. Substrate mit viel Stickstoff, oder wenig Kohlehydraten haben eine tiefe CNR, z.B. Harn, Blut, Jauche, Mist usw. Als Dünger eignen sich nur Stoffe mit tiefer CNR < 10, Tierfutter besitzt eine CNR von 20-30, also besteht aus grossen Mengen von stickstoffhaltigen Proteinen. Holz hat einen CNR von 100-400. Mit Holz kann man keine Schweine, Hühner oder Fische füttern. Man kann mit Holz allein keine Kompostierung durchführen und keine Biogasanlagen betreiben; aber Pilze und Insektenlarven eben schon. Und genau dies macht FFW.

*Links: Weissfaules Buchenholz aus einer Freilandproduktion von Speisepilzen. Die Nährstoffe für den darauf gezüchteten Austernseitling sind aufgebraucht. Es haben sich nächste Pilzarten, Pustelpilze und Porlinge eingefunden, die den Abbau des Holzes fortführen. Im Innern des Holzes leben Hirschkäfer und in Randzonen Rosen- und Nashornkäfer. Hier sind es Larven, zwei Männchen und ein Weibchen des Gideonkäfers *Xylotrupes gideon*.*

*Rechts: Gänge von Hirschkäferlarven in weissfaulem Eichenholz.*

Im ursprünglichen Konzept von FFW ist die Grundidee des Recycling von Holz mit Hilfe von Speisepilzen und Speiseinsekten auf drei Anwendungsgebiete ausgerichtet: Notech-Anwendungen für die Subsistenzwirtschaft, Lowtech-Anwendungen für landwirtschaftliche Betriebe und industrielle Anwendungen für die Verarbeitung von Biomasse in Kommunen und der Agroindustrie.

Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) hat 2018 seine Förderung von FFW an die Bedingung geknüpft, dass das Projekt auf die Integration in landwirtschaftliche Betriebe der Schweiz ausgerichtet wird. Einer der Gründe dafür mag sein, dass die Produktion von Pilzen und Speiseinsekten nicht auf Import von Futtermitteln oder Einsatz von Dünger für die Produktion von Futterpflanzen beruhen und also die Eutrophierung reduzieren kann. Im Prozessing von FFW wird Stickstoff eher der Umwelt entzogen. Das heisst, dass Pilz- und Insektenproduktion mit holzhaltigen Substraten die Belastung der Umwelt mit Stickstoff reduzieren. Ausserdem ist die Bodenabhängigkeit der Pilz- und Insektenproduktion viel geringer als bei herkömmlicher Fleischproduktion. Kleinere Flächen können genutzt werden und Ressourcen, die bisher entweder mit viel Aufwand in Biomassehöfen verarbeitet werden, gar ungenutzt bleiben, wie Alt- und Totholz in Wirtschaftswäldern, oder verbrannt werden, obschon es notwendig wäre Kohlenstoff aus der Atmosphäre in langfristige Lager zu bringen.

Für die Landwirtschaft sind Konzepte zum Wiederaufbau und zur langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und damit zur nachhaltigen Sicherung der Nahrungsproduktion für die einheimische Bevölkerung dringend. Hier kann FFW mit dem Produkt der Käferkotpellets als organische Bodensubstanz (OBS) einen massgeblichen Beitrag für Schweizerische Problemlagen und Bedürfnisse der Landwirtschaft, für die Pflege und den Erhalt der Nahrungsgrundlage Boden, sowie zur CO<sub>2</sub>- und Stickstoffthematik leisten.



## PROJEKTGESCHICHTE

Insekten waren in der Schweizer Landwirtschaft als Nutztiere bisher kein Thema. Abgesehen von *Apis mellifera*, den Bienen, und vor 1860 auch von *Bombyx mori*, dem Maulbeerseidenspinner. Evaluation und Zucht von Käferlarven, die Holzabfälle fressen, ist weltweit Neuland. Deshalb entschied das Bundesamt für Landwirtschaft, sich im Gesamtkonzept FFW auf den Aspekt der Insektenzucht zu focussieren. Dennoch wurde die Vorstufe der Pilzzucht nicht ignoriert. Erfolgreich wurden verschiedene Substrate aus der Pilzzucht getestet. Sowohl Restsubstrate aus Indoor Produktionen als auch ausgebrannte Hölzer von Freiland Pilzproduktionen.

Die Beschränkung auf die Erforschung des FFW Prozesses mit Insekten ist folgerichtig: In diesem Forschungsfeld gibt es vor allem Fragen, kaum Antworten. Dennoch konnten sich die FFW-Forscher auf Erfahrungen stützen, die in ausseruniversitären Bereichen gesammelt wurden; in einer immer aktiver werdenden Szene von Hobbyzüchtern und entomologischen Liebhabern von Käfern als Haustiere. Die Grundsubstrate für die Zucht und Haltungsbedingungen waren in praktischen Erfahrungen evaluiert worden. 2011 gründeten Benjamin Harink und Daniel Ambühl den Schweizer "Verein Hirschkäfer". Viel Knowhow aus diesem Citizen Science Bereich floss in das Konzept der FFW Prozessings ein.

Das Forschungsprojekt startete mit der Evaluation von zwei Arten von Rosenkäfern und zwei Arten von Nashornkäfern als FFW-Nutztiere. Zuchtsettings, Erträge und Lebenszyklen wurden erforscht. Dabei zeigte sich rasch, dass für die verwendeten Substrate die beiden Nashornkäferarten geeigneter sind und von diesen der bekannte *Trypoxylus dichotomus* die vielversprechendsten Resultate zeigte.

Im dritten Versuchsjahr beschränkte sich das FFW-Projekt daher auf diese grosse asiatische Nashornkäferart.

Einheimische Arten könnten zwar theoretisch auch verwendet werden für FFW Projekte. Jedoch benötigt unsere einzige grosse europäische Nashornkäferart, *Oryctes nasicornis*, eine zweijährige Entwicklungszeit mit Hibernation. Dasselbe findet man bei einheimischen Rosenkäfern, z.B. *Cetonia aurata*. Auch sie benötigen eine Winterruhe für ihre Entwicklung. Der grösste einheimische Käfer überhaupt, das Flaggschiff der Käfer schlechthin, der Hirschkäfer, *Luvanus cervus*, besitzt durch die Überwinterung ebenfalls längere Lebenszyklen als seine tropischen Verwandten.

Holzfressende Käferlarven besitzen insgesamt im Vergleich mit Insekten, die Proteinfutter fressen, längere Lebenszyklen, weil es schwieriger und umständlicher ist in Futtersubstraten, die kaum Stickstoff enthalten, proteinhaltige Körpermasse aufzubauen. Daher focussiert sich FFW auf tropische Arten und solche, zu denen aus dem Amateurbereich bereits viele Informationen vorliegen. Ausserdem wurden alle zur Auswahl stehenden Arten bereits von Harink/Ambühl und vielen anderen in mehreren Generationen gezüchtet. Auf diese Kompetenzen und empirischen Vorkenntnissen konnte sich FFW abstützen.

Für die Umsetzung in die landwirtschaftliche Praxis sind in Bezug auf die verwendeten Insekten noch mindestens zwei grosse Hürden zu überwinden. Erstens sind die erforschten Insektenarten nicht in der Verordnung der Speiseinsekten im Schweizer Lebensmittelgesetz erwähnt, obwohl sie in der Liste essbarer Insekten der FAO vorkommen. Für das Zulassungsverfahren von TDT als Lebensmittel in der Schweiz konnte FFW jedoch entscheidende Fakten liefern.

Die zweite regulatorische Hürde betrifft das Futtersubstrat der Käfer. Gemäss Landwirtschaftsgesetz müssen Futtermittel für Tiere, die in den Lebensmittelzyklus geraten, vom Bund bewilligt werden. Je nach Insektenart basiert die Zucht und Vermehrung auf unterschiedlichen Futtermitteln. Es gilt zu verhindern, dass Insekten auf der Basis von Pflanzenherkünften gezüchtet werden, welche auch direkt als Lebensmittel für den Menschen verwendet werden können. Das absolut neue Konzept von Food from Wood - die Nutzung von Holz und holzhaltigen Pflanzenteilen als Futtermittel - verfolgt konsequent die Kernziele des FAO Report von 2013.

Vorversuche mit Käferkot als Pflanzsubstrat wurde in Hortikulturprojekten der ZHAW durchgeführt. Die Resultate einer Masterarbeit sind vielversprechend. In Mischverhältnissen bis 20% sind Effekte sichtbar, die die Pflanzenimmunität stärken. Die Eignung von Käferlarvenkot als Humus und torffreies Bodensubstrat ist unbestritten, muss jedoch im Detail noch weiter erforscht werden.

*Rechts oben: Titelseite des wegweisenden Reports der UNO Organisation für Ernährung und Landwirtschaft (FAO) von 2013. Erstmals wird in der westlichen Landwirtschaft das Insekt als Nutztier für die Ernährung des Menschen in den Fokus genommen. Food from Wood ist eines der ersten Projekte zur Realisierung dieser Vision einer nachhaltigen Produktion tierischer Proteine, Fette und Mineralstoffe.*

*Rechts unten: Grafik des thematischen Aufbaus und Ablaufs des vorliegenden Handbuchs*



## DIESES HANDBUCH

Mit Blick auf die Schweizer Landwirtschaft ist dieses Handbuch in funktionelle Teilbereiche unterschieden, die aus anderen Tierproduktionen bekannt sind:

Beschaffung von Grundmaterialien für das Futter.

Mischung von Futtersubstraten.

Mast der Tiere

Reproduktion/Genetik/Nachzucht.

Diese Aufteilung hat sich auch für die Insektenzucht als sinnvoller Ansatz erwiesen. Daher ist dieser kurze Leitfaden entsprechend gegliedert.

Nach einer allgemeinen Einführung zum Projekt schliesst sich eine ausführliche Lebens- und Zuchtbeschreibung von *Trypoxylus dichotomus* an. Danach folgt der praxisbezogene Zuchtprozess gemäss den zuvor aufgelisteten Abschnitten: Ressourcen-Mischungen-Mast-Genetik. Die Betrachtungsgrenzen dieser Anleitung enden nach der Ernte.

Die Verarbeitung und Nutzung der Insekten ist ein noch ungewisses Gebiet; in der Praxis zwar erprobt, aber regulatorisches Neuland, weil im Westen wesentliche Kompetenzen fehlen. Nach und nach werden FFW Prozesse wohl auch in die Ausbildungen für Landwirte einfließen. Dieses Handbuch gibt eine vorläufige Darstellung des Themas und kann als Inspiration für weitere kreative und nachhaltige landwirtschaftliche Innovationen dienen.







## DER GABELHORNKÄFER KABUTOMUSHI

Der stattliche kastanienbraune bis fast schwarze Nashornkäfer mit dem wissenschaftlichen Namen *Trypoxylus dichotomus*, für den wir die Abkürzung TD verwenden, ist in weiten Teilen des tropischen und subtropischen Asiens verbreitet. Man unterscheidet etliche Unterarten deren bekannteste die taiwanesischen und japanischen sind. Kabutomushi, wie das Insekt in Japan heisst, hat einen hohen kulturellen Status, der mit unserem Maikäfer oder Hirschkäfer vergleichbar ist. Müsste man einen deutschen Namen erfinden würde man das Tier wohl Gabelhornkäfer nennen.

Kabutomushi ist ein uraltes Kulturinsekt des Menschen und eng mit seiner Identität und Mythenwelt verbunden. Der Name Kabutomushi bedeutet Samuraihelm (Kabuto) und Käfer (Mushi). Er wird für seine Kraft und seinen Kampfesmut bewundert und geehrt ähnlich wie in Südostasien der Gideonkäfer, *Xylotrupes gideon*.

Mit einer Körperlänge von bis zu acht Zentimetern gehört TD zu den grösseren Vertretern der Nashornkäfer. Seine Larven leben in verrottendem Holz von Laubbäumen. Die Männchen haben ein typisch doppelt gegabeltes Kopfhorn, das ganz ähnlich aussieht wie die Helmzier der Rüstungen von Samuraiskriegeren. Jeder Knabe in Japan kennt diese Tiere. Sie gehören zu den bekanntesten und beliebtesten Haustieren und sind überall in Zoohandlungen zu finden. In der freien Natur leben die Larven rund ein Jahr. Die Käfer können bei kühler Haltung und guter Fütterung drei bis maximal sechs Monate leben. In Asien ist die Zucht der Tiere ein Hobby mit zehntausenden von Amateuren und einem grossen Markt für die dazu benötigten Produkte: Terrarien, Futtersubstrate und Zuckerjellies für die Käfer.

Oben: Lebensphasen des Käfers *Trypoxylus dichotomus*. Vom Ei über drei Larvenstadien zur Präpuppe. Danach Verpuppung und Schlupf der erwachsenen Tiere. Alle Käfer sind holometabole Insekten, die eine Verwandlung über ein Puppenstadium durchlaufen, ähnlich wie Schmetterlinge.

Unten: Gabelhornkäfermännchen, im Moment des Auffliegens. Die Deckflügel (Elytren) sind bereits geöffnet. Darunter erkennt man die Flügel, die noch zusammengeklappt sind. Der Hinterteil des Käfers, das Abdomen, besteht aus mehreren Segmenten. Die Klauen an den Beinen, die Tarsen, sind wie Enterhaken gebaut, damit sich die Käfer an Unterlagen festhalten können.

Habitate von TD sind tropische und subtropische Urwälder mit viel Totholz. Diese Käferart ist beteiligt am Abbau der Biomasse von abgestorbenen Bäumen. *Trypoxylus dichotomus* ist niemals ein Holzschädling und darf nicht mit der grossen Gruppe der Bockkäfer verwechselt werden, die auch lebendiges Holz befallen können und auch nicht mit anderen gefürchteten Nashornkäfern, die sich in Wachstumsherzen von Palmen bohren, und diese zum Absterben bringen können.

Der Samuraihelmkäfer wird in entomophagen Gesellschaften gegessen, sowohl die Käfer als auch die Larven und die Puppen, falls man glücklich genug ist, letztere zu finden. Sie werden auch in der traditionellen Medizin Asiens verwendet. Allerdings haben diese Jahrtausende alten Traditionen im Laufe der Industrialisierung und Verstädterung rasant abgenommen.

Als Nahrung geben diese Insekten etwas her. Die Larven von TD sind bis 25 Gramm, Puppen bis 18 Gramm schwer. Für unser Projekt FFW haben wir die taiwanesischen Unterart verwendet mit dem Namen *Trypoxylus dichotomus tsunobosunus*. Abgekürzt TDT. Die Gründe dafür sind vielfältig: Erstens sind seit Jahrzehnten die Haltungsbedingungen dieser Käfer und Larven bekannt. Zweitens sind in der Käferzuchtsszene Futtersubstrate erprobt und man weiss Drittens von recht hohen Reproduktionszahlen. Ausserdem befindet sich diese Unterart TDT seit Jahrzehnten in Europa in Zucht, auch in der Schweiz. Sie gilt nicht als invasiv, ist kein Pflanzenschädling und besitzt im Tierschutzabkommen CITES keinen Schutzstatus.

Der Lebenszyklus von TDT wurde im Projekt FFW unter verschiedenen Bedingungen erforscht. Der wichtigste Parameter ist die Temperatur. Insekten sind eigenwarme Tiere und ihr Metabolismus ist daher stark von der Aussentemperatur abhängig. Bei einer Temperatur von 26 Grad dauert die Entwicklung der Eier bis zum Schlupf 20 Tage, die Larvenentwicklung über drei Stadien rund 34 Wochen und die Puppenruhe im Durchschnitt 18 Tage. Es scheint, dass die Larven ihre Entwicklung synchronisieren, wenn sie zusammen gehalten werden. Wie bei allen Käfern können nur die Larven wachsen. Sind die Käfer einmal geschlüpft können sie wegen dem starren Exoskelett aus Chitin nicht mehr zunehmen. Die Grösse der Käfer ist damit ein gutes Indiz zur Beurteilung der Haltungs- und Lebensbedingungen der Larven in ihrem Futtersubstrat.

Natürlich Feinde der Käfer sind Vögel, kleine Raubtiere, Reptilien. Die Larven werden gelegentlich von räuberischen Insekten gejagt oder von Spitzmäusen und Schlangen. Bei ungünstigen Lebensbedingungen sind sie anfällig für Pilzkrankheiten.

## FUTTER FÜR KÄFERLARVEN

In freier Natur findet man Larven von TDT unter umgestürzten und von Pilzen bereits teilweise abgebauten Baumstämmen, im Innern hohler stehender Bäume, immer aber in Bodennähe. Eine Spezialisierung auf bestimmte Baumarten ist nicht bekannt, allerdings sind Nadelgehölze wegen ihres Harzes erst nach längerer Verrottung als Käferfutter geeignet, wenn auch nicht gänzlich ausgeschlossen.

Für die Zucht von Käferlarven kommen holzhaltige Substrate in Frage, die sich schon in fortgeschrittenem Verrottungszustand befinden. In der Käferzucht nennt man solchen dunkelbraunen Holzmulm Flakesoil. Er ist meist das Produkt von vorausgegangenem Pilzabbau, mikrobieller Zersetzung und Zerkleinerung durch andere Käfer, vor allem durch die Pioniere des Abbaus weisssaurer Hölzer, die Hirschkäfer. Mit ihren kräftigen Manibeln können Larven von TDT aktiv Gänge in weichere Hölzer bohren, nie aber in frisches, lebendiges Holz.

Weil Holz wenig Stickstoff und daher kaum Nährstoffe für die Bildung von Proteinen enthält, arbeiten die meisten Käferarten dieser Gruppe aktiv mit Mikroorganismen in ihrem Darmtrakt zusammen. Es sind Bakterien, Archaeen und Pilze, die sich von dem Brei aus zerkleinertem, pilzvorverdaulichem Holz ernähren. Die Mikroorganismen können als Verdauungshelfer in einem speziell dafür vorgesehenen Darmsack unter streng kontrollierten Bedingungen teilweise Zellulosen und Holzpartikel in ihre Glucosebausteine aufspalten.

Darmbakterien einiger Käfer besitzen die Eigenschaft, Luftstickstoff zu fixieren. Die Käferlarve ernährt sich also genau genommen nicht vom Holz, sondern von den Bakterien und anderen Mikroorganismen, die sie auf dem zerkleinerten Holzbrei züchten und dann in einem separaten Darmtrakt resorbieren. Am Schluss des Verdauungsvorgangs werden die übrig gebliebenen, feinen Holzmulmpartikel in ein längliches Kotpellet verpresst und ausgeschieden.

Alles Wasser, das die Larven benötigen, entnehmen sie dem Substrat. Sie trinken also nicht. Ausserdem muss man diese Käferlarven nicht füttern, da sie ja in ihrem Futter drin leben und selbst dann nicht leiden, wenn sie ganz von Kotpellets umgeben sind. TDT sind nicht kannibalisch. Man kann sie in Gruppen und Herden zusammen halten. Ist zu wenig Futter vorhanden, dann bleiben die Tiere klein und die Mortalität nimmt zu, vor allem in den ersten beiden Lebensstadien L1 und L2.





Als Ausgangsmaterialien für die Zucht von TDT kommen alle holzhaltigen Pflanzenabfälle in Frage mit einer CNR von über 50. Problematische Stoffe sind frische Rinden, die wegen ihrer aggressiven Polyphenole ja als Schutzschild gegen Frassfeinde wirken. Kaum geeignet sind ausserdem unverrottete Blätter. Substrate mit tieferer CNR also höherem Gehalt an Stickstoff müssen zunächst verrottet werden, damit nicht heisse Kerne und toxische Gärungsgase entstehen. Man kann Larven von Rhinoceroskäfer auch unter Strohhaufen im Freien oder in Abfällen der Maisernte und Haufen von Bananenblättern finden, sowie in verrotteter Gerberlohe, oder gehäckseltem Strauchschnitt.



Links: Der europäische Nashornkäfer, der grösste Vertreter der Dynastiden nördlich der Alpen, *Oryctes nasicornis*, ist eine geschützte Tierart. In der Nähe von Liestal wurden Larven zahlreich in einem alten Haufen einer gehäckselten Fichte gefunden. Die Larven werden bis sechs Zentimeter lang. Die abgebildete weibliche Puppe wog 7,1 Gramm. Die Entwicklung dauert mehr als ein Jahr und muss eine Überwinterung einschliessen.

Oben: Tropische Nashornkäfer sind die grössten und schwersten Insekten der Welt. Eine Larve von *Megasoma gyas porioni* mit 122 Gramm!

Rechts von oben: Puppe von *Dynastes Hercules* mit einer Länge von 120 Millimetern. Darunter eine Puppe von *Megasoma elephas* mit einem Gewicht von 67 Gramm. Die erwachsenen Käfer ernähren sich vor allem von Baumsäften und Früchten. Ihre Larven leben wie diejenigen von TDT von verrottetem Holz. Diese Riesen benötigen jedoch rund zwei Jahre für ihre Entwicklung. Erwachsene Tiere leben 2-4 Monate.







*In der Natur findet man Flakesoil als die verrottete Blätterschicht, die dem Waldboden aufliegt. Nicht nur Blätter sind darin von Pilzen vorverdaut, sondern auch Holzstücke und Äste. Durch Verrottung von Sägemehl und Kleie kann man dieses Käferfuttersubstrat künstlich herstellen.*





## FLAKESOIL

Futtersubstrate für Käferlarven von Dynastiden und Cetoniiden nennt man englisch Flakesoil oder Mat. Diese Begriffe wurden von Hobby-Käferzüchtern geprägt. Unterdessen gibt es eine Reihe von Publikationen über die Zucht und Haltung von Käfern und einen Erfahrungszeitraum von über 50 Jahren. In deutscher Sprache nennt man Flakesoil – wörtlich übersetzt: Flockenboden - auch Waldboden und meint damit die verrottete Blätterschicht, die im Wald dem Erdboden aufliegt, oder Holzmulm, den wir in der Natur im Inneren von stehenden, hohlen Bäumen finden.

Viele Rezepturen von kommerziell hergestelltem Flakesoil für die Käferzucht werden geheim gehalten. Eine simple Standardmischung haben Ambühl/Harink 2012 entwickelt. Sie besteht aus acht Gewichtsteilen Buchensägemehl, zwei Gewichtsteilen Weizenkleie und zehn bis zwölf Gewichtsteilen Wasser. Diese Mischung wird in luftdurchlässige Säcke gepackt und abgedeckt stehen gelassen während zwei bis drei Monaten. Dabei verfärbt sich das Substrat dunkelbraun und riecht danach angenehm nach Waldboden. Als Starter kann in einem Blender feinstens zerhackte Komposterde dem Wasser zugegeben werden. Der Fermentationsvorgang muss aerob stattfinden und mit genügend Feuchtigkeit, da beim Eintrocknen der Verrotzungsprozess zum Stillstand kommt.

In der Natur tendiert TDT dazu in zwei Lebensphasen leicht unterschiedliche Substrate zu nutzen. Für die Aufzucht der Larven ab L2/L3 wird das oben genannte Flakesoil verwendet. Zur Eiablage, zum Schlupf der Larven und zur Entwicklung von L1 und L2 bietet jedoch ein feineres, stärker verrottetes Holzmulmsubstrat Vorteile. Dieses Substrat wird in der Käferzucht Black Soil genannt, wegen seiner dunkleren Farbe aufgrund der stärkeren Fermentierung und der kleineren Partikelgrösse. Auch für Black Soil gibt es verschiedenste Mischungen, die auch kommerziell angeboten werden. Das Grundrezept besteht aus Flake Soil das ein zweites Mal fermentiert wird.

Aufgrund der klar verschiedenen Bedingungen in der Reproduktions- und Aufzuchtphase des Käfers werden sie im FFW-Prozessing thematisch separat dargestellt, da sie unterschiedliche Infrastruktur, Arbeitsvorgänge und Zuchtbehälter benötigen, sowie spezielles Knowhow.

Die Bezeichnung der beiden Phasen heissen: Breeding und Rearing, Nachzucht/Reproduktion und Mast/Aufzucht.

Breeding ist die Lebensphase vom Schlupf der adulten Tiere, der Aufwachzeit und Paarung und Eiablage bis zum Schlupf der L1 Larven und der Entwicklung bis L2/L3.

Rearing ist die Lebensphase der Larven im dritten Stadium (L3) bis zur Verpuppung.



*Einige Beispiele von Flakesoil aus Thailand, und Japan. In Asien ist die Käferzucht aus Liebhaberei ein bedeutender Wirtschaftszweig geworden. Viel Knowhow aus der Haltung von Käfern als Haustiere fliesst nun in die Erforschung von Produktionssystem wie FFW.*

## BREEDING

Unter Breeding versteht man die Nachzucht und Reproduktion der Käfer, die Paarung adulter, aktiver Tiere, Eiablage und Aufzucht bis L2/L3. Selektion und Genetik gehören thematisch ebenfalls in diesen Bereich, das heisst: die gezielte Auswahl der Elterntiere.

Der Lebenszyklus von TDT ist vergleichbar mit verwandten tropischen Arten. Abhängig im Detail von Temperatur und dem Wechsel von Regen- und Trockenzeiten. Unter Laborbedingungen beträgt der gesamte Lebenszyklus Ei zu Ei: 280 Tage

Nach unseren Untersuchungen im Forschungslabor Linthal sind die Lebensphasen von TDT bei einer konstanten Temperatur zwischen 25 und 26 Grad:

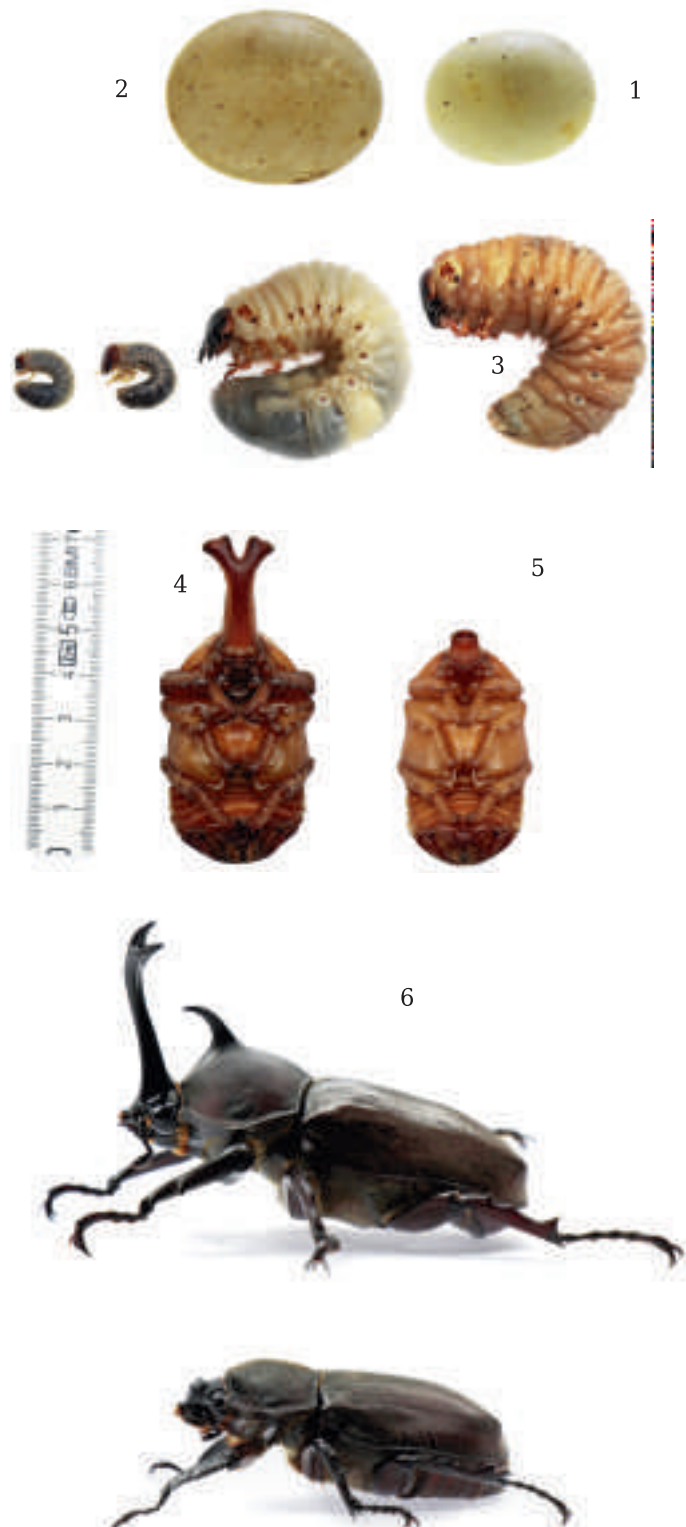
Ei: 2-3 Wochen. L1-L3: 34 Wochen. Präpuppe: 1 Woche. Puppe: 2 Wochen und 1,5 Wochen Inaktivität.

Neben der Entwicklungszeit und der dabei aufgebauten Körpermasse sind für die Evaluierung eines FFW-Nutzinsektes noch zwei weitere Faktoren entscheidend: Die Reproduktionsrate, sprich: die Gesamtzahl der abgelegten Eier, sowie die Geschwindigkeit der Eiablage, also wieviele Eier in einem Tag von einem Käferweibchen abgelegt werden. TDT sind in beider Hinsicht deutlich besser als das Vergleichsinsekt *Xylotrupes gideon* aus Sumatra, XGS. In der Praxis ist die Mortalität für den Erfolg einer Zucht ebenfalls ein zentrales Element. Sie ist stark von Haltungsbedingungen und Substrat abhängig.

Die FFW Forschungen führten zum Ergebnis, dass TDT als unser erstes Insektennutztier für holzhaltige Pflanzenabfälle ausgewählt wurde. Wir sind uns bewusst, dass es eine vorläufige Wahl ist, denn in der Natur gibt es hunderte verwandter Arten, von denen sich vielleicht dereinst erweist, dass sie optimalere Eigenschaften für unsere Zwecke besitzen. Speiseinsekten als landwirtschaftliche Nutztier sind ein Pionierthema. Man darf noch viel Interessantes und Überraschendes erwarten.

Ein kleines, frisch gelegtes (1) und ein zehn Tage altes Ei (2). Der Durchmesser beträgt rund vier Millimeter. Die Larvenentwicklung geht über drei Stadien, die man an der Grösse der Kopfkapsel gut erkennen kann. Die Präpuppe (3) hat das Fressen eingestellt und eine Höhle zur Verpuppung gebaut. Männliche (4) und weibliche (5) Puppen unterscheiden sich deutlich. Das Männchen (6) trägt einen spitzen Dorn auf dem Pronotum und ein doppelt gegabeltes Kopfhorn für Rivalenkämpfe.

Rechts: Pascal Herren (links) und Tom Bischof im Breedingraum der Forschungsanlage von Food from Wood in Linthal.









## REARING

Als Rearing wird in der Käferzucht die Mast der Larven bezeichnet. Käfer besitzen drei Larvenstadien, die mit den Kürzeln L1, L2 und L3 bezeichnet werden. Dazwischen liegen Häutungen, die jeweils ca. zwei Tage dauern während denen die Larven nichts fressen. Für TDT dauern die drei Larvenstadien bei 26 Grad in unserem Standardmedium 34 Wochen:

Die meiste Körpermasse wird in L3 akkumuliert. Daher dauert diese Phase am Längsten. Die L3 Larven nehmen nach der Häutung jeweils rasch zu und danach flacht die Wachstumskurve ab, um sich vor der Verpuppung sogar leicht zu reduzieren.

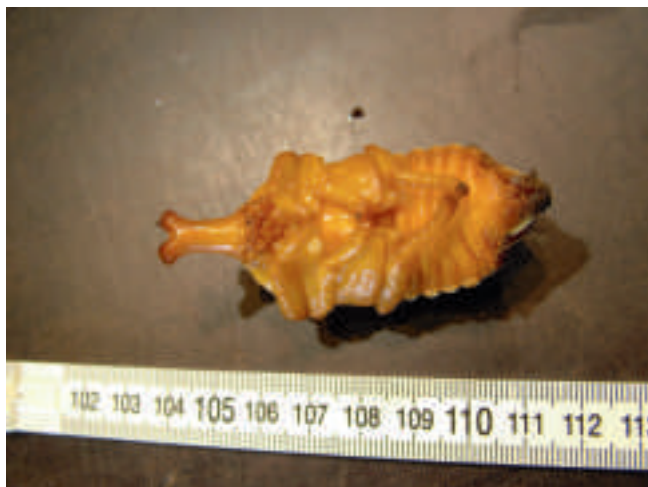
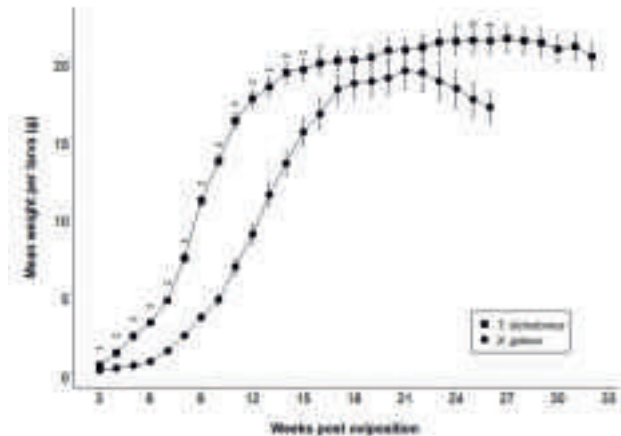
Die Entwicklungszeit der L3 Larven ist mit verbesserter Fütterung nicht zu verkürzen. Die Entwicklungsdauer scheint eine streng fixierte genetische Konstante zu sein. Mangelserscheinungen führen nicht zu frühzeitiger Verpuppung, sondern meist zum Tod der Larven. Nur Larven, die ihre Entwicklungszeit absolvieren können, gelangen zur Verpuppung. Gut genährte Larven ergeben grössere adulte Tiere. An der Körperlänge der adulten Tiere lässt sich also die Qualität des Rearings sehr gut ablesen.

Während der Aufzucht der Larven ist kein Arbeitsgang notwendig. Man kann die Tiere nach Besatz 175 Tage einfach sich selber überlassen. Bei gleichbleibender Temperatur und Umgebungsluft und genügend Futtersubstrat werden keine Arbeitsschritte benötigt, es sei denn zur Kontrolle von Wachstum und Mortalität, sowie für das Monitoring von Krankheiten und Schädlingen. Ein HACCP-Konzept soll das Monitoring der FFW-Insektenzucht erleichtern. Erste Punkte dazu sind eruiert.

Kontrollen der Larven sollen so selten wie möglich stattfinden, da sie für die Tiere ähnlich drastische Wirkungen haben können, wie wenn man Fische aus dem Wasser holt und sie längere Zeit an der Luft manipuliert und untersucht. Die Larven leben in einem besonderen Milieu der Luftzusammensetzung im Boden, mit weniger Sauerstoff und höherem CO<sub>2</sub> Gehalt.

Die kritischste Phase im Zyklus der Käfer ist neben dem Eistadium das Puppenstadium.

*Die Wachstumskurven von Larven von TDT und XGS im Vergleich. TDT Larven brauchen zwar länger für ihren Zyklus, bleiben aber schwerer als XGS. Ausserdem legen TDT Weibchen rund 40% mehr Eier als die Weibchen von XGS. Ziel des Rearings ist es, bei geringster Mortalität und kleinstem Aufwand die grösste Körpermasse an erntefähigen Insekten zu produzieren..*









## GESCHÄFTSFELDER

Die Insektenzucht im FFW-Prozessing kann in vier funktionelle Teilbereiche gegliedert werden, die jeweils eigenständig betrieben werden können. Jeder der Bereiche umfasst Arbeitsvorgänge, die in bestehende Prozessings eingegliedert, oder als neu zu etablierende Produktionen aufgebaut werden können.

Die vier Teilbereiche sind:

1. Lieferung von Rohstoffen für Substrate zur Larvenzucht.
2. Futterherstellung. Verarbeitung, Mischung und Lagerung von Futtersubstraten.
3. Mastbetrieb. Larvenaufzucht.
4. Zuchtlabor. Reproduktion, Brutherstellung und Pflege der Genetik.

Produkte, die dabei entstehen sind:

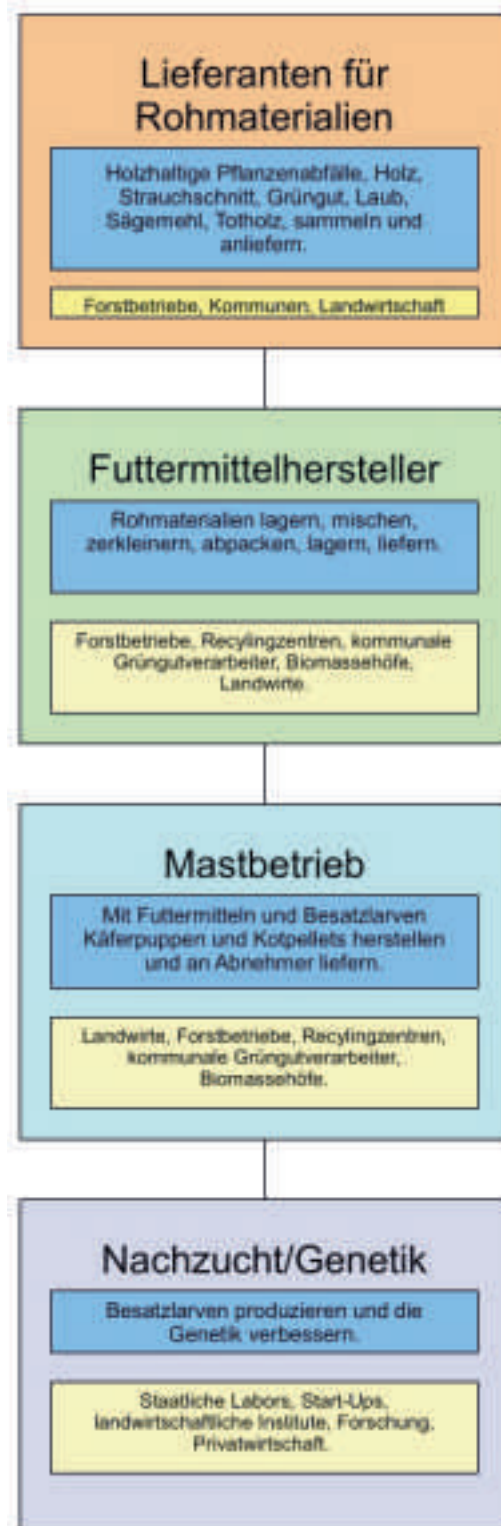
1. Zuchtsubstrate für Käferlarven
2. Käferlarven Puppen und Käfer
3. Käferkot-Pellets

Beim zirkulären Produktionssystem FFW entstehen keine Abfälle. Ungefrissenes Substrat wird ausgesiebt und in den Mastbetrieb zurückgeführt.

In den nachfolgenden Beschreibungen der vier Teilbereiche werden auch Maschinen erwähnt, die für ein Prozessing in landwirtschaftlichen Betrieben der Schweiz sinnvoll und nützlich sind mit Ideen zu deren Dimensionierung.

*Grafik: Zusammenspiel der vier Geschäftsbereiche der Insektenzucht mit holzhaltigen Futtersubstraten. Dabei geht es darum, bestehende Ressourcen und Kompetenzen zu nutzen und in allen Teilbereichen Mehrwerte zu schaffen.*

*Rechte Seite: Auf dem Weg vom zubereiteten Futtersubstrat (links oben) bis zu den geruchsfreien und kompakten Kotpellets (im Sieb rechts) entstehen Insekten mit wertvollen Inhaltstoffen.*













## ROHSTOFFLIEFERANTEN FÜR KÄFERLARVENFUTTER

Food from Wood ist neuartig vor allem wegen der Tatsache, dass holzhaltige Pflanzenabfälle verwendet werden können, die keine andere Verwendung finden als sie unwändig zu kompostieren. Es war ja auch die Grundidee des Konzeptes, dass bei der Insektenzucht Ressourcen genutzt werden sollen, die nicht mit der menschlichen Ernährung in Konkurrenz stehen und nicht andersweitig nachhaltiger und mit besserer Wertschöpfung verarbeitet werden können. Mit Mais, Soja und Fischmehl Insekten zu züchten bietet kaum ökologische Vorteile gegenüber herkömmlicher Tierzucht mit Hühnern, Schweinen, Rindern und Fischen. Schon gar nicht im Blick auf die globale Ernährungssicherheit.

Am ehesten konkurrieren holzhaltige Pflanzenabfälle mit energetischen Nutzungen also Verbrennungsvorgängen, sprich der Fabrikation von Holzpellets, Holzschnitzeln usw. Dafür werden aber meist nur gut getrocknete, unverrotete Holzabfälle verwendet, vor allem Sägemehl, Stammholz, auch grober Strauchschnitt. Solches Holz zu verbrennen bringt die im Holz fixierten Kohlenstoffe wieder als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre, also in den natürlichen Kohlenstoffzyklus zurück.

Mit einer Nutzung solcher Holzabfälle im FFW Prozess könnten die Kohlenstoffe aus Biomasse via Käferkot in ein längerfristiges Lager im Boden verbracht werden als Organische Bodensubstanz (OBS). Dies hätte verschiedene Vorteile: Damit könnten vertraglich vereinbarte Klima-

ziele besser erreicht werden. Gleichzeitig könnten die Böden vor weiteren Humusverlusten verschont werden. Es wird sich zeigen, ob die letztgenannten Nutzungen die Vorteile der Verbrennung überwiegen; nicht nur wirtschaftlich - wegen den ans Erdöl gehefteten Kosten für Brennwerte - sondern vor allem politisch: wegen Kostenersparnissen bei der Verwertung dieser Materialien, wegen Subventionszahlungen des Bundes und den Belohnungen des FFW Prozesses durch Ziehung von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten.

Mit FFW wird es erstmals möglich sein, alte und unbrauchbar gewordene Totholzlager abzutragen und zu nutzen, aber auch Kosten der Kompostierung zu senken. Voraussetzung ist die sichere Herkunft dieser Materialien, auch von Totholz. Da die Holzstoffe später wieder in die Böden gelangen, muss sichergestellt werden, dass ihre Quellen nicht verschmutzt sind; ein schwieriges Thema in unserer hochmechanisierten Land- und Forstwirtschaft. Selbst Behandlungen mit Insektiziden gegen Borkenkäfer z.B. sind heute im Wald zulässig; ein No Go für Produktionen mit Käferlarven. Das sind ja auch Insekten.

Die Grenzen der Nutzung holzhaltiger Pflanzenabfälle für FFW kann mit der CNR am klarsten ausgedrückt werden. In der Trockenmasse gemessen muss sie über 50 liegen. Was bedeutet, dass im Grundmaterial 50 mal mehr Kohlenstoff als Stickstoff vorhanden sein muss. Für Holz ist selbstredend, dass dieser Kohlenstoff nicht aus Kohlenhydraten von Zucker und Stärke besteht, sondern aus den Holzbestandteilen Zellulose, Lignin und Hemizellulose. Der Stickstoff dagegen stammt meist aus grünen Teilen der Pflanzen, Blättern, Rinden und Zellsäften. Stammholz besitzt deutlich weniger als 1% Stickstoff, also eine CNR von 100 und höher.

Als Partner für Ressourcenlieferungen zur Herstellung von Käferlarvenfutter kommen vor allem Forstbetriebe, kommunale Entsorgungsstellen, Sägereien und Grünraumbewirtschaftungen (Laub, Grünschnitt) in Frage, aber auch Landwirte, die Stroh- und Stengelmateriale ihres Ackerbaus mit Insekten verarbeiten möchten, statt sie an Feldrändern zu kompostieren.

Wichtige Lieferanten können Mühlen sein, die verdorbene Kleie oder schimmelige Mehle entsorgen müssen. Speziell geeignet für die Käferlarvenzucht sind selbstredend Abfälle aus der Pilzproduktion, Substratblöcke von Spezialitätenpilzen (Shiitake, Kräuterseitlinge, usw.) und ausgebrannte Hölzer des Freilandanbaus von Pilzen. Diese Substrate wurden in FFW bereits getestet und als geeignet erkannt.

*Ganz links: Das Spektrum der Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Käferlarvenfutter. Von unten nach oben: Pellets von Sägemehl, Laub, Moderholz, Strauchschnitt, pilzbefallenes Holz.*

*Links von oben nach unten: Substratblock aus der Pilzzucht. Ausgebrannte Pilzhölzer einer Freilandpilzzucht in Thun. Kompostierplatz in Mitlödi, GL. Mit viel Maschinenaufwand und Pferdemist werden Grünabfälle kompostiert. Laub und verrottete Blätter.*

## ZUBEREITUNG DER KÄFERLARVENSUBSTRATE

In der Natur wird Holz von Pilzen vorverdaut für die anschliessende Nutzung durch Insektenlarven. Bockkäfer, die lebendiges Holz befallen, nehmen wir hier aus. Um als Futter für TDT geeignet zu sein, müssen Holzabfälle zerkleinert und von Pilzen und Bakterien teilweise aufgeschlossen sein. Die Zerkleinerung übernehmen im Wald meist die Hirschkäfer, weshalb sie auch Schröter heissen. Sie erhöhen durch die Zerkleinerung des pilzvorverdauten Holzes die Oberfläche des Substrates und damit die mikrobielle Aktivität, solange genügend Wasser zur Verfügung steht und zumindest geringe Spuren anderer Nährstoffe wie Phosphor, Kali usw. Einen ernsten Mangel an Stickstoff können einige Arten von Käfern mit Hilfe von stickstofffixierenden Mikroorganismen in ihrem Darmtrakt ausgleichen.

Gärende Substrate können TDT Käferlarven nicht lange überleben. Es entstehen bei solchen anaeroben Umwandlungsprozessen toxische Gase wie Ammoniak, Methan, Schwefelwasserstoff und ähnliches, was an der Geruchsbelastung leicht zu erkennen ist. Ausserdem ist die Zugabe von Stickstoff zu holzhaltigem Pflanzenabfall gefährlich für Käferlarven, weil dabei eine Heissrotte entstehen kann mit Temperaturen deutlich über 40 Grad, die Käferlarven abtötet. Daher verwendet das Prozessing von FFW den Begriff der Fermentierung, um auf das aerobe Milieu hinzuweisen, das im fertigen Futtersubstrat vorhanden sein muss. Je höher die CNR desto länger dauert ein solcher Vorgang. Je höher die CNR eines Ausgangsmaterial, desto eher muss man stickstoffhaltiges Material, oder Zucker zugeben, um den Prozess der Verrottung zu beschleunigen.

Die Zubereitung von Futter für Käferlarven besteht im Grund genommen aus drei Vorgängen: Zerkleinerung, Mischung, Fermentierung. Die Partikelgrösse ist abhängig vom angestrebten Siebvorgang, um später Larven, Puppen, Käfer, Kotpellets und Restsubstrat zu trennen. Die FFW Forschung fand, dass eine Partikelgrösse von 3-5 Millimetern für das Futtersubstrat praktisch ist. Die Käferkotpellets von zehn Millimetern Länge lassen sich damit in einem einzigen Vorgang aus dem Gesamtsubstrat heraus sieben.

Zur Erreichung dieser Partikelgrösse haben wir eine Hammermühle mit entsprechender Siebgrösse verwendet. Je grösser die Partikel, desto geringer ist ausserdem der Energieaufwand für die Hammermühle. Daher ist es vernünftig, eine möglichst grosse Partikelgrösse zu wählen. Die Larven selber werden dann die Partikel noch weiter zerkleinern auf eine Grösse von 0,1 bis 0,5 mm, die dann am Ende Verdauungs-

vorganges zu Pellets verpresst und verklebt werden.

Für die Mischung von Zutaten verwendet man in der Käferzucht sogenannte Fermenter. Es sind in der Regel Trommelkomposter oder Behälter mit im Innern langsam drehenden Schaufeln, die das Substrat stets bewegen und belüften. In der Landwirtschaft sind Futtermischer meist Schrägbehälter mit Schneckenförderung. Man kann auch Betonmischer und ähnliches verwenden.

Das Ziel der Herstellung von Futtersubstrat ist ein richtig eingestellter CNR und ideale Feuchtigkeit. Dies kann durch Zumischung von Substraten geschehen deren CNR bekannt ist. Im Falle des FFW-Standardsubstrates ist die Nährstoffzugabe durch die Kleie bewerkstelligt. Rein rechnerisch entsteht durch die Mischung von Buchensägemehl (CNR 200) und Kleie (CNR 30) daraus ein fermentiertes Käfersubstrat mit CNR 166. Wie Pascal Herren gezeigt hat, können Larven von TDT in diesem frisch angemischtem Substrat sogar überleben, ohne dass es zuvor fermentiert wurde. Allerdings fliehen die Larven dabei in Randzonen der Gefässe, um sich vor der rasch ablaufenden Heissrotte zu schützen.

Flakesoil sollte frei von Würmern sein. Der pH Wert ist sauer. Inwiefern eine Erhöhung des pH-Wertes die Entwicklung der Larven fördern kann, ist derzeit noch unklar. Käferlarven, die in, oder von Holz leben sind sich jedenfalls tiefe pH-Werte gewohnt.

Für das Prozessing ist die Bestimmung des Wassergehaltes entscheidend. Zu nasse Substrate erschweren und verunmöglichen den Siebvorgang bei der Ernte. Resultate von FFW zeigen, dass 50% Wassergehalt für Futtersubstrate ideal ist.

*Linke Reihe: Oben: Schneckenhacker zur Vorzerkleinerung grober Holzstücke.*

*Hammermühle mit 3 Millimeter Siebeinsatz.*

*Zwei Container mit gemahlenem weissfaulem Holz.*

*Unten: Mischer für die Zubereitung des Larvenfutters.*

*Rechte Reihe: Rohsubstrate mit Partikelgrösse 3 Millimeter: Buchensägemehl (1), Buchenblätter (2), Substrat aus der Zucht von Kräuterseitingen (3), Kleie (4). Gemischtes Substrat frischzubereitet (oben), nach einer Lagerung von einem Monat (Mitte) und von zwei Monaten (unten).*





1



2



3



4



## MAST UND ERNTE DER LARVEN

Betrachten wir das Thema der Larvenmast von Käfern zuerst von der Seite des Tierwohls her. Insekten haben als Tiere dieselben Rechte als Nützlinge des Menschen wie Kühe, Pferde und Hühner, auch wenn dies zunächst seltsam klingt, vor allem weil Insekten landläufig als Schädlinge gelten. Wie bei allen Nutztieren ist die Gesundheit und das Gewicht ein zentraler Faktor zur Beurteilung der Haltungsbedingungen. Auslauf wie bei Weidetieren benötigen Käferlarven nicht. Ihr Bewegungsdrang ist bei richtigem Futter minim. Ihre Muskulatur für die Bewegung ist marginal ausgelegt. Der kräftigste Muskel ist wahrscheinlich der Kaumuskel zur Betätigung der Mandibeln.

Käferlarven sind gesellige Tiere. Sie sind jedoch nie Haut an Haut unterwegs, sondern in einem sorgfältig kommunizierten Abstand, den sie in der absoluten Dunkelheit des Substrats feststellen können durch Vibrationen, die sie aussenden und mit ihren Haarsensoren empfangen. Abstandssensoren der Larven.

Ziel der Käfermast ist es, dass man die Tiere in ein Volumen ihres Futters setzt, das so bemessen ist, dass alle Tiere genügend Futter finden vom Besatz bis zum Abschluss ihres Larvenwachstums. Dies sind bei unserem FFW-Standardsubstrat drei bis fünf Liter pro Larve, entsprechend ca. zwei Kilogramm Substrat mit einer Feuchte von 50-60%. Bei einer solchen Besatzdichte muss während der 175 täglichen Mast nie gefüttert, nie gewässert und nicht nachgeschaut werden.

### BATCHGRÖSSE

Für die Effizienz einer Mastanlage ist die Batchgrösse der Zucht von grosser Bedeutung.

Theoretisch könnten die Larven in Substrat gezüchtet werden, das als Schicht in einer Betonwanne deponiert wird. Dabei ist allerdings eine maximale Schichttiefe zu beachten. Je tiefer und kompakter ein Substrat ist, desto schneller erscheinen anaerobe Stellen, die die Käferlarven vertreiben und andere Tiere fördern, vor allem Regenwürmer.

Die Arbeit des Larvenmähers besteht in der Vorbereitung und Reinigung der Zuchtbehälter, dem Einfüllen des Substrates und dem Besatz mit Larven. Danach werden die Behälter während der ganzen Mastzeit in einem Zuchttraum gelagert. Mastbehälter können beliebig gestapelt werden, ohne Licht,

aber mit einer fix eingestellten Prozesstemperatur von 22-26 Grad Celsius und einem geringen und am besten mit einem von einem CO2 Sensor gesteuerten Luftaustausch.

Die Zuchtgefässe bleiben bis zum Erntezeitpunkt unberührt. Für das Monitoring der Entwicklung einer Charge können zwei bis drei kleinere Kontrollbehälter separat aufgestellt und untersucht werden. Temperaturwechsel müssen verhindert werden. Sie führen zu Vernässungen des Substrates.

### ERNTE

Der Zeitpunkt der Ernte ist sorgfältig zu wählen. Ziel ist es möglichst viele Tiere in der Form der Puppe vorzufinden, also in dem Zustand, in welchem sie für den menschlichen Konsum erwünscht sind, weil sie in der Puppenphase keinen aktiven Darmtrakt enthalten. Die Trennung der Tiere von Substrat und Käferkot findet auf einem Rüttelsieb statt. Der Inhalt des Zuchtgefässes wird sorgfältig auf die Siebfläche geschüttet.

Vier verschiedene Phasen des Käfers können geerntet werden: L3-Larven die noch weiter fressen, Präpuppenlarven, die sich bereits vorbereiten auf die Verpuppung, Puppen und eventuell schon adulte Käfer. Die adulten Käfer können für Nachzuchten verwendet werden, Puppen werden separat gesammelt, Präpuppen und noch aktive L3 Larven ebenfalls.

Die Verwertung dieser Insektenprodukte kann ein spezialisiertes Unternehmen übernehmen. Eine Nutzung der Insekten für andere Tierzuchten (Geflügel, Fische) ist theoretisch möglich, aber erst durch die Regulierungsbehörden zu bewilligen.

Das im Siebvorgang anfallende Restsubstrat kann erneut verwendet, oder zusammen mit den adulten Tieren dem Zuchtlabor übergeben werden. Die Kotpellets der Larven können auf Äckern verwendet, oder an ein Erdsubstratunternehmen zum Verkauf als torffreies Pflanzsubstrat abgegeben werden.

Die Arbeitszyklen des Larvenmähers sind von den Lieferanten der Substrate und den Lieferungen der Nachzucht-larven abhängig. Ein Monitoring der Rearingräume kann über Internet erfolgen. Bei Unter-, oder Überschreitung der vorgesehenen Haltungsparameter lösen Sensoren Alarm aus. Käferzuchtträume sind Ställe, die weder täglich besucht, noch in denen täglich gefüttert und gereinigt werden muss. Vom Besatz bis zur Ernte reicht es vollkommen, wenn man die Haltungsparameter ferngesteuert überwacht.





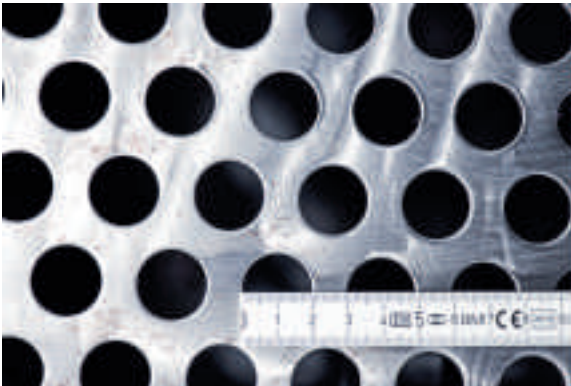
*Der gut isolierte Mastraum besitzt eine Beleuchtung, die nur bei Arbeiten benutzt wird. Ein Heizlüfter stellt die anvisierte Masttemperatur sicher. Ein Lüftungsrohr bringt nach einem wählbaren Rythmus etwas frische Luft in den Raum. Eine Luftbefeuchtung ist nicht nötig, da das Substrat genug Wasser enthält und ein leichtes Eintrocknen während des Mastvorganges sogar vorteilhaft ist. In diesem Raum kann auch Substrat für den Besatz mit Larven vorgewärmt werden. Ansonsten sind Substrate trocken und in leicht luftdurchlässigen Säcken auf Paletten aufzubewahren. TDT verpuppen sich gemeinsam und in grösseren Gruppen. Dabei synchronisieren sie ihre Entwicklung und es verpuppen sich die meisten Larven gleichzeitig, oder mit nur kleinen zeitlichen Unterschieden. Im Bild sind fünf Puppen zu sehen, eine Präpuppe und ein erst vor Minuten verpupptes, noch weisslich durchsichtiges Männchen.*



A



B



C



D



## BESATZ UND ERNTE

Arbeitsabläufe des Mastbetriebs basierend auf einem zweiwöchigen Arbeitsrhythmus, wie er für die Musteranlage (siehe Seite 42) entworfen wurde.

1

Vorgewärmtes Substrat aus dem Rearingraum entnehmen.

2

Besatzlarven (L2/L3) einsetzen.

3

Neu besetzte Container in Rearingraum lagern.

4

Aufbau des Rüttelsiebes (A).

5

Oberes Sieb: 20mm, unteres Sieb: 8 mm (B)

6

Entnehmen der Container mit den erntefähigen Insekten (175 Tage). Siebung. (C)

7

Ausgesiebte, noch ungereinigte Puppen für die Säuberung aufbewahren. (D)

8

Larven zur Wetermast oder als Tierfutter aufbewahren. (G)

10

Präpuppen zur Verpuppung aufbewahren. (J)

11

Ungefressenes Substrat zur Wetermast verwenden.(E)

12

Kotpellets als Pflanzsubstrat absacken.(F)

13

Schon geschlüpfte Käfer für Weiterzucht im Labor aufbewahren. (H)

14

Mastbehälter reinigen. (I)

15

Mastbehälter neu mit Substrat befüllen.

16

Neu befüllte Mastbehälter im Rearingraum anwärmen. Diese Boxen werden erst in zwei Wochen beim nächsten Arbeitszyklus mit Larven besetzt.

17

Wägen der Ernte

18

Kontrollaufgaben, Monitoring, Schädlinge (K), Funktionschecks, Aufräumen, Maschinen reinigen.



E



F



G



H



I



J



K



## REPRODUKTION UND NACHZUCHT

In entwickelten Landwirtschaften ist bei der Tierzucht die Nachzucht und Pflege der Genetik an spezialisierte Unternehmen ausgelagert. So findet man es heute auch bei traditionellen Insektenzuchten wie der Seidenzucht, oder in der Imkerei. Dies macht Sinn wegen fachlich anderen Kompetenzen, erhöhten Hygieneanforderungen, anderen Bedingungen, Behältern und Monitoring in anderer Infrastruktur als bei der Mast. Ein Käfer Nachzuchtlabor muss über Licht verfügen und eine Organisation, die das regelmässige Kontrollieren, Füttern der Käfer, die Entnahmen von Eiern und die Selektion geeigneter Nachzuchttiere erlaubt. Selbstredend ist dabei mehr spezielles entomologisches Fachwissen notwendig.

Käfer bleiben nach dem Schlupf in ihren Puppenwiegen meist eine bestimmte Zeit inaktiv. Diese Inaktivität kann je nach Käferart von einigen Tagen bis mehrere Wochen dauern. Bei TDT dauert sie rund eine Woche. Erst wenn die Käfer an die Oberfläche des Substrates kommen und zu fressen beginnen, werden sie geschlechtsreif. Daher geben wir frischgeschlüpfte Käfer zunächst in ein sogenanntes Mating Cage, eine Paarungsbox, in der mehrere Männchen und Weibchen zusammen gehalten werden. Darin halten sie sich so lange auf, bis alle inaktiven Tiere aktiv geworden sind und sich gepaart haben. Damit die Weibchen nicht sogleich nach der Paarung mit der Eiablage beginnen, wird nur wenig Substrat in die Matingboxe gegeben.

Nach zwei Wochen Aufenthalt in der Mating Box werden die Weibchen zur Eiablage einzeln in Boxen gegeben mit einem Spezialsubstrat. Dieses Substrat darf feiner und stärker fermentiert sein, sogenanntes Black soil, das auch als Eiablagesubstrat bezeichnet wird. Da die durchschnittlichen Eiablagenzahlen aus unserer FFW Forschung bekannt sind, können wir davon ausgehen dass ein Weibchen von TDT in der ersten Woche in sechs Kilogramm Substrat mindestens 30 Eier ablegt in der zweiten Woche mindestens 20 (siehe Grafik). Wöchentlich werden die Eiablagebehälter entleert. Das Substrat mit den Eiern kommt in grössere Behälter, in denen aus den Eiern Larven schlüpfen und sich bis L2/L3 entwickeln können, worauf sie bereit sind für die Mast.

Die Käferweibchen werden zwei Mal einzeln in neues Substrat zur Eiablage gesetzt danach kommen sie mit anderen Weibchen zusammen in eine grössere Eiablagebox, um bis ans Ende ihrer Lebenszeit von maximal acht bis zehn Wochen noch weitere Eier abzulegen, aus denen Larven schlüpfen, die teilweise für die Nachzucht verwendet werden.

Zur Fütterung der Käfer verwendet man sogenannte Bettle Jellies. Dies sind gelierte, aromatisierte, zucker- und proteinhaltige Puddings, die die Käfer mit Nährstoffen und Wasser versorgen. Frisch geschlüpfte Weibchen müssen Eier nicht bilden mit der Nahrung, die sie zu sich nehmen. Sie haben die Eier bereits beim Schlupf bei sich und benötigen Energie fast ausschliesslich für ihre Grabtätigkeit und für den Bau der verfestigten Substratumhüllungen der Eier und für die Eiablage selber. Eine einzige Befruchtung reicht für den ganzen Eivorrat eines TDT Weibchens aus. Dazu besitzt es eine Spermatothek in welcher die Spermien aufbewahrt werden um die Eier nacheinander zu befruchten.

Im Labor für die Nachzucht von Käferlarven werden eigene Larven aufgezogen, um nicht ganz von Rücklieferungen der Mäster angewiesen zu sein. Das Hauptproblem wird sein, kontinuierlich in einem monatlichen Rythmus grössere Lieferungen von L2/L3 Larven zu organisieren. Der Aufbau eines solchen kontinuierlich lieferenden Labors muss zuerst geleistet werden. Jedenfalls wird es im Produktionsablauf so sein, dass der Zeitpunkt für den Beginn einer Mast nicht vom Mäster und dem Substratlieferanten abhängig ist, sondern primär von den Lieferungen der Nachzuchten. Substrate können lange gelagert werden und auch Zuchtboxen können gefüllt gelagert werden bis die Nachzuchten eintreffen.

Das Zusammenspiel der vier Teilbereiche muss erprobt und weiter erforscht werden, um nachhaltige Abläufe zu garantieren. Wir werden in den nachfolgenden Kapiteln eine Anlage skizzieren, um das Zusammenspiel und mögliche Produktionsrythmen aufzuzeigen.

*Blick in das Breeding-Labor des Food from Wood Projektes in Linthal, Gl. Ganz entscheidend ist hier eine ausreichende Lichtversorgung für die Paarungs- und Eiablage-Boxen. Der Beleuchtungsrythmus ist auf Stunden tag und zwölf Stunden Nacht eingestellt. Die Gestelle sind nach den Boxen dimensioniert. Auf dem untersten Tablar herrscht eine Temperatur von 22 Grad auf dem obersten Gestell eine Temperatur von 26 Grad.*

*Ein Heizlüfter reguliert die Temperatur über einen auf 26 Grad Celsius eingestellten Sensor auf dem obersten Tablar. Der sehr gut isolierte und mit einer käfersicheren Netztüre ausgerüstete Breedingraum enthält ausserdem einen Luftbefeuchter und einen Ventilator, der in regelmässigen Abständen frische Aussenluft zuführt.*







A



B



C



D



E



## LARVENPRODUKTION

Arbeitsabläufe im Labor für die Nachzucht von Besatzlarven für Mastbetriebe, basierend auf einem wöchigen Arbeitsrythmus, wie er für die Musteranlage (siehe Seite 42) entworfen wurde.

1

Nachzuchtboxen nach zwei Wochen und Nachzuchtboxen 36 Wochen nach Einsatz der Weibchen durchsuchen. Larven für weitere zwei Wochen in Nachzuchtbox geben. Puppen und Präpuppen in Schlupfbox. Käfer in Mating box.

2

Schlupfbox: Geschlüpfte Käfer in Mating Box (A,B).

3

Mating Box (A,B): Weibchen nach zwei Wochen einzeln in Eiablagebox 1. Woche (C,D). Männchen aussortieren

4

Eiablage nach 1. Woche: Weibchen entnehmen und in Eiablagebox 2. Woche geben (C,D). Eiablagebox mit Eiern in Besatzlarvenkiste.

5

Eiablage nach 2. Woche: Weibchen entnehmen und mit anderen Weibchen in 100l Nachzuchtboxen. Eiablagebox mit Eiern in 100l Besatzlarvenkiste.

6

Nachzuchtboxen im Rearingraum für 36 Wochen aufbewahren.

7

Besatzlarvenkisten in Rearingraum bei 24-26 Grad Celsius acht Wochen aufbewahren.

8

Achtwöchige Besatzlarvenkisten checken und bereit machen für Auslieferung an Mastbetriebe.

9

Zuchtbehälter reinigen.

10

Neue Matingboxen (A,B) anlegen.

11

Neue Eiablageboxen (C,D) befüllen mit 5 kg Substrat und anwärmen im Rearingraum.

12

Substrate herstellen und lagern

13

Kotpellets absacken. Aussortierte, tote und überzählige Käfer entsorgen.

12

Kontrollaufgaben, Monitoring, Schädlinge, Funktionschecks, Aufräumen, Maschinen reinigen, Reporting.





Die sogenannten Beetle Jellies sind Nahrung und Wasser für erwachsene Käfer. Die Wackelpuddings sind eine Erfindung der Hobby Käferzüchter. Sie enthalten in gelierter Form viel Wasser, etwas Zucker, wenig Protein, Aromen und meist einen Stabilisator in Form von Zitronensäure. Sie sind heute in Dutzenden von Aromen, Farben und Grössen auch in europäischen Zoohandlungen erhältlich.

## PLAN EINER MUSTERANLAGE

Für das Pilotprojekt FFW wird eine Anlage konzipiert, die für mehrere Landwirte mit zusammen rund 50 Hektaren Ackerfläche jährlich 100 Tonnen Käferkot dimensioniert ist und jährlich rund 1000 kg Insekten züchtet. Es wird mit zwei Mastgenerationen pro Jahr gerechnet, die je sechs Monate dauern.

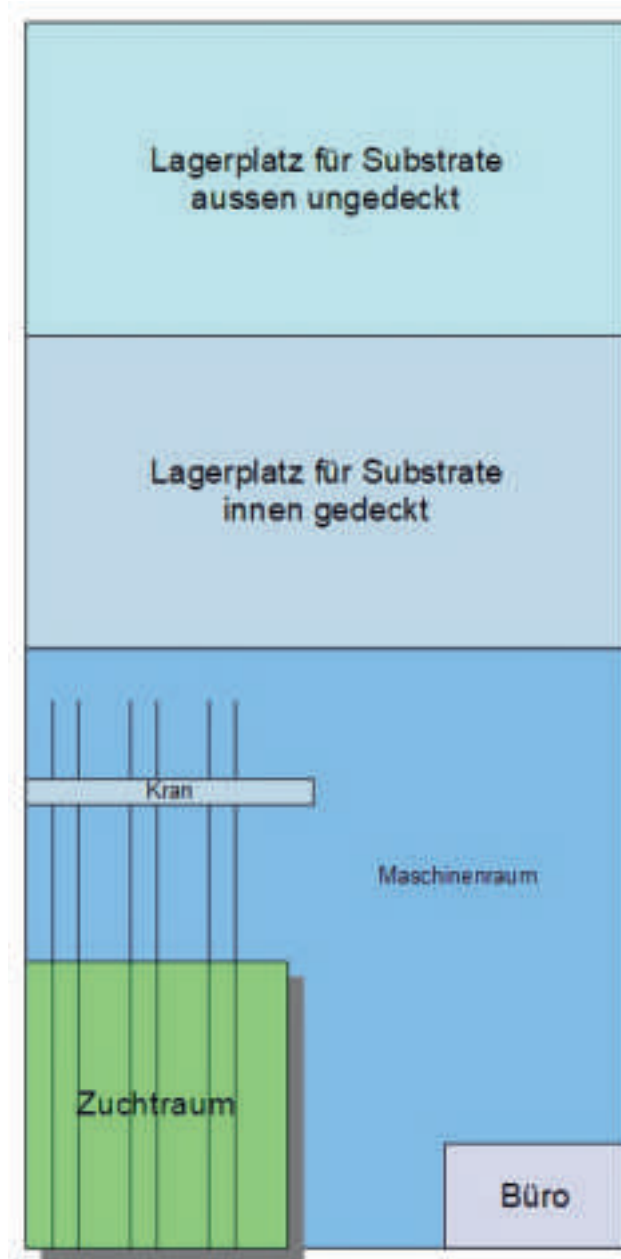
Die für die Pilotanlage benötigte Fläche beträgt rund 400 Quadratmeter, wobei das überdachte Ökonomiegebäude rund 300 Quadratmeter ausmacht. Die für den Betrieb benötigten jährlich 50'000 Larven werden extern von einem Labor angekauft.

Im Mastbetrieb wird mit Arbeitseinsätzen von ca. zwei Tagen in jeder zweiten Woche gerechnet. Dabei wird Substrat zur Fermentierung vorbereitet, abgefüllt und es werden jeweils vier Container mit je einer Tonne Substrat mit jeweils 500 Larven besetzt. Die Container werden gestapelt in einem Zuchtraum bei einer Temperatur von 22-26 Grad Celsius gelagert. Der Zuchtraum hat ein Volumen von ca. 300 m<sup>3</sup>.

Eine Tonne Käferlarvenkot entspricht rund 200 Kilogramm C org. Die mittleren OBS Verluste werden je nach Bodentyp und Bewirtschaftungsweise auf 100kg Corg pro Hektare ausgewiesen. Mit zwei Tonnen Käferhumus pro Jahr und Hektare können die jährlichen Verluste ausgeglichen und aufgelaufenen Verluste mit einem Wiederaufbau der Humusschicht langsam und schrittweise rückgängig gemacht werden.

Der durchschnittliche Gesamt Corg Wert pro Hektare beträgt in der Schweiz zwischen 100-300 Tonnen im obersten Meter der Erdschicht. Um eine Ackerfläche mit 100 Tonnen Corg/ha auf 200 Tonnen Corg/ha zu bringen, müsste man 500 Tonnen Käferlarvenkot in den obersten Meter der Erdschicht einbringen. Bei einem Eintrag von 2 Tonnen Käferlarvenkot pro Jahr und Hektare würde dies 250 Jahre dauern!

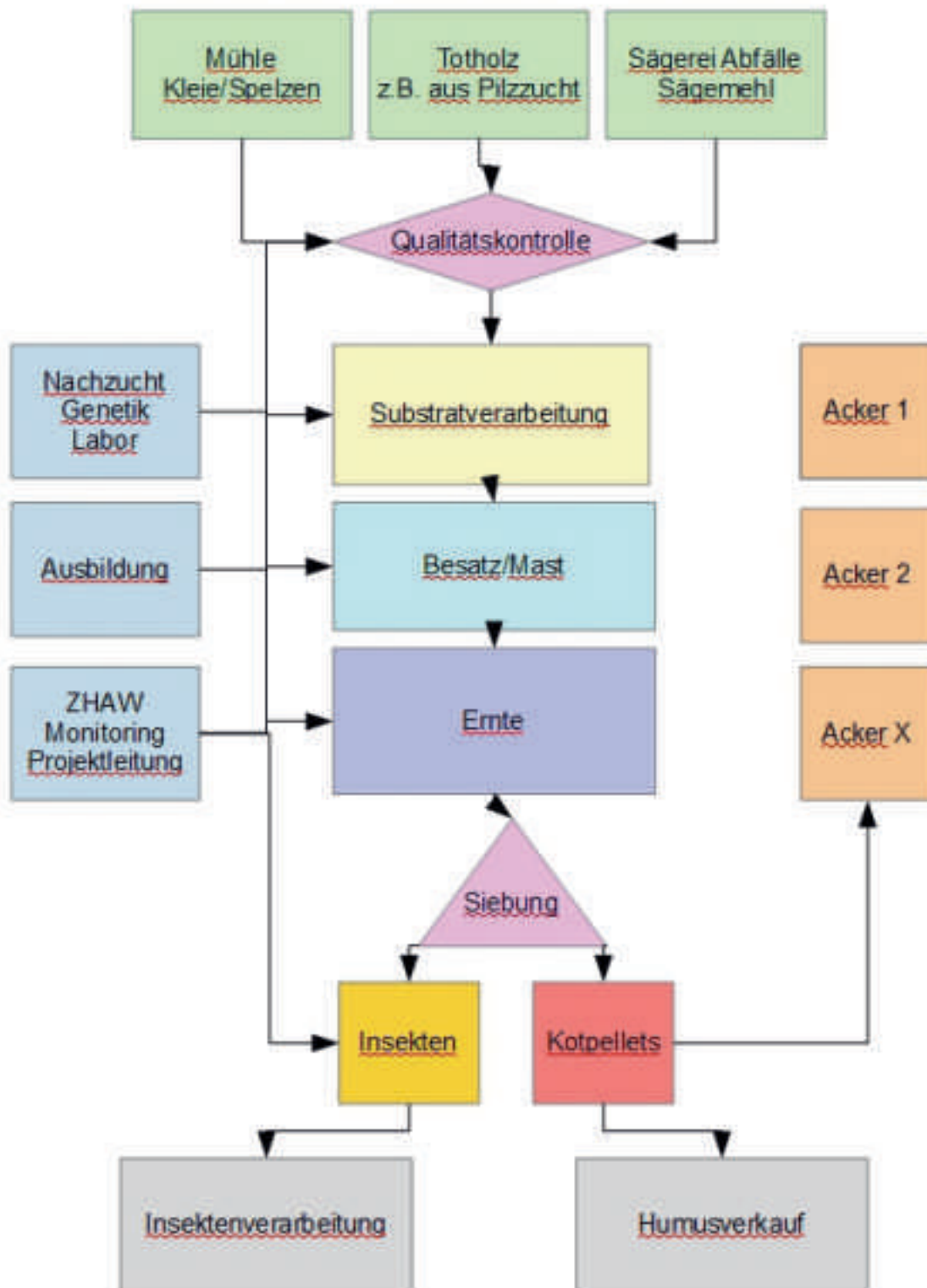
Die so dimensionierte Musteranlage realisiert einen jährlichen Kohlenstofftransfer von zwanzig Tonnen Corg aus Wald/Holz/Biomasse in ein langfristiges Lager im Boden. Damit entzieht sie der Atmosphäre jährlich 50 Tonnen CO<sub>2</sub>.



Skizze einer FFW-Anlage, in welcher die Futtersubstrate für die Larven selber hergestellt werden. Die Zuchtbehälter werden im gut isolierten Zuchtraum gestapelt aufbewahrt und bei Bedarf auf Schienen in den Maschinenraum gefahren, wo sie von einem Kran ab- und aufgeladen werden.



## STAKEHOLDER UND MATERIALFLUSS



## KOOPERATION MEHRERER LANDWIRTE

Für den Betrieb der Musteranlage ist es sinnvoll, dass mehrere Landwirte zusammen arbeiten und gemeinsam für ihre Ackerflächen Humus produzieren sowie die gezüchteten Larven und Puppen der Käfer an externe Unternehmen abgeben. Um Transportwege kurz zu halten ist es nahe liegend eine Community von Landwirten aufzubauen, die in derselben Region leben.

Für das Bodenmonitoring wäre es interessant, wenn die beteiligten Landwirte unterschiedliche Frucht anbauen und eventuell in unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen. Unter der Leitung eines Projektverantwortlichen der ZHAW werden die beteiligten Landwirte soweit instruiert, dass sie die Arbeiten des Mastbetriebes und der Ernte selbständig erledigen können. Die dabei gewonnenen Daten werden für die Berechnung des SAK und der LCSA verwendet. Arbeitspläne für den Betrieb werden von der Projektleitung entworfen. Es sind vierteljährliche Meetings mit allen Projektbeteiligten vorgesehen, die auch zur Weiterbildung genutzt werden.



*Der Erhalt fruchtbarer Böden ist eines der wichtigsten Ziele der Schweizer Agrarpolitik, denn sie bilden die Grundlage für die Ernährung der Bevölkerung. Humusverluste können mit den Käferkotpellets von FFW ausgeglichen werden.*



## BIOMASSE ZULIEFERER

Als Zulieferer von Biomasse kommen Betriebe und Institutionen in Frage, die über die Zusammensetzung und Herkunft des Rohmaterials möglichst genaue Angaben machen können. Im Idealfall ist dies eine Sägerei, die ihre Abfälle bisher in Form von Briketts für die Verbrennung nutzte. Ausserdem Produzenten von Freiland Pilzen, die ihre ausgebrannten, naturbelassenen Holzstämmen zur Verwertung in der FFW-Anlage entsorgen, oder Indoor-Pilzproduzenten, die ihre Abfallsubstrate entsorgen möchten.

Es ist eine Tatsache, dass alle Biomasse auf dem Markt einen Preis erzielt, der mit dem Brennwert korreliert. Dies gilt insbesondere für "saubere" Biomasse, die auch in privaten Öfen und Cheminees verbrennt werden darf. In der Regel darf Asche aus solchen Öfen jedoch nicht im Freiland verwendet werden. Dadurch kommen saubere Aschen in Kehrlichtverbrennungsanlagen in Mischung mit giftigen Aschen, die kostspielig entsorgt werden müssen. Die Wertstoffe in der Asche gehen verloren und werden dem natürlichen Kreislauf entzogen.

Wie kommt man günstig zu sauberer holzhaltiger Biomasse? Meist sind dies verfäule oder verrottete Hölzer, die nicht einmal mehr für die Verbrennung taugen, sogenanntes Totholz, das meist in Wäldern liegen gelassen wird. Oder Strauchhäckselgut das ungenutzt vor Ort liegen gelassen wird. Hier müsste eine Zusammenarbeit mit Forstämtern der Region gesucht werden.

Die Zusammenarbeit mit einer Getreide Mühle ist sinnvoll, weil zur Aufbesserung von Holzsubstraten auch Kleie, Spelzen und andere Müllerei-Byproducts verwendet werden können. Die praktische Arbeit wird erweisen zu welchen Preisen welche Biomassen angeliefert werden, die den Qualitätsvorgaben für die Verwendung in der FFW Anlage entsprechen. Probennahmen und Analysen der Eingangsströme sind sehr wichtig, um zu verhindern, dass problematische Stoffe via Insekten in die Nahrungskette und via Kotpellets in den Boden gelangen. Interessant wäre eine Analyse von Stoffen aus kommunalen Grüngutsammlungen. Die Zusammensetzung dieser Biomasse ist aber leider sehr unterschiedlich und daher nicht unproblematisch für die Aufbereitung.

Ausserdem besteht die Gefahr von Verschmutzungen durch unerwünschte Stoffe (Plastik, Metall, Esswaren usw.). Auch auf Bauernhöfen selbst fällt Biomasse an, die kompostiert werden muss. Hier wird sich zeigen, wie gross der Anteil von Biomasse ist, die aus den Betrieben für FFW genutzt werden kann.

*Verbrennen oder für FFW verwenden? Grosspellets aus Sägemehl können bei der Nutzung mit FFW den CO<sub>2</sub>-Ausstoss in die Atmosphäre reduzieren und mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten gefördert werden.*



## BESATZLARVEN

Die Produktion von Larven und die Pflege der Genetik sind Arbeiten, die sinnvollerweise nicht in der Musteranlage durchgeführt werden. Wie in fast allen Bereichen der Landwirtschaft ist auch hier eine Trennung von Genetik und Mast sinnvoll. Die Besatzlarven werden von einem Labor produziert im Auftrag der Musteranlage.

Ziel ist es eine kontinuierliche Produktion während des ganzen Jahres zu gewährleisten. Bisher existiert aber weltweit kein solches Nachzuchtlabor für TDT, sodass damit gerechnet werden muss, dass zumindest in der Anfangsphase des Aufbaus eines TDT Brutlabors viertel- bis halbjährliche Lieferspitzen auftreten werden. Für die Mast ist dies kein Problem, falls die Substrate vorbereitet sind und die Container für den Besatz bereit stehen.

Aufgrund des geplanten Produktionszyklus im Labor ist von einer Lieferung jeden Monat, oder in jeder zweiten Woche auszugehen. Die Larven von TDT werden idealerweise in der achten bis zehnten Woche nach Eiablage eingesetzt. Wenn die Eiablage im Wochenrhythmus in sechs Kilogramm Substrat erfolgt, verbleiben Eier und Larven acht Wochen in Containern zu je 250 Stücke im Labor.



*Besatzlarven im jungen L3-Stadium sind ideal für den Einsatz in Mastbetrieben. Sie benötigen dann noch rund 25 Wochen für ihre Entwicklung bis zur Puppe, also ziemlich genau ein halbes Jahr. Während der ganze Mastzeit müssen sie weder ausgemistet, gefüttert noch getränkt werden.*



## PRODUKTIONSPLAN LABOR

Der Produktionsrhythmus im Labor ist wöchentlich. Für die Produktion von 5000 Larven pro Monat müssen wöchentlich 15 Weibchen in Eiablagecontainern gesetzt werden. Die Berechnungen dazu ersehen sie aus der Exceltabelle, die im Anhang abgebildet ist. Die Basisdaten stammen aus der Studie von Food from Wood, die unter dem Titel: "Life history traits of two edible scarab beetle species" publiziert wird. Daraus ist ersichtlich, dass mit einer durchschnittlichen Larvenlebenszeit von 33 Wochen und einer Eiablagezahl von rund 50 in den ersten zwei Wochen gerechnet werden kann. Wenn wir die Anzuchtzeit der Larven auf acht bis zehn Wochen festsetzen, verkürzt sich der reine Mastbetrieb auf ziemlich genau ein halbes Jahr (23-25 Wochen). Den detaillierter Produktionsplan sowie die Berechnungen für Material und Infrastruktur für das Labor finden sie im Anhang.



*Das Labor benötigt ein Lichtmanagement. Die grösste Herausforderung wird es sein, grosse Mengen an Besatzlarven möglichst günstige herzustellen. Upscaling und Automatisierung ist dazu unerlässlich sein.*

## PRODUKTIONSPLAN MASTBETRIEB

Der Produktionszyklus des Mastbetriebs ist zweiwöchentlich. Er besteht aus der Zubereitung des Substrates, Besatz und Ernte von Insekten und Kotpellet-Humus. Während der 25-wöchigen Lagerzeit der Container müssen die Insekten weder gefüttert noch gewässert werden. Den detaillierter Produktionsplan sowie die Berechnungen für Material und Infrastruktur für die Pilotanlage finden sie im Anhang.

Arbeitsabläufe sind auf Seite 36 dargestellt.



*Präpuppen (im Vordergrund) und Puppen von Xylotrupes gideon (in den Plastikkisten) im Forschungslabor FFW in Linthal.*



## BERATUNG

Das Ausbildungskonzept für Landwirte, welches von der ZHAW entwickelt wird, beinhaltet mehrere Seminare und einen Workshopteil.

1. Präsentation des Gesamtkonzeptes
2. Insektenzucht / Produktionszyklen
3. Substratzubereitung und Käferlarvenkot
3. HACCP-Konzept



*Drei Larven und eine Puppe des afrikanischen Rosenkäfers Mecynorhina torquata ugandensis. Daten der Lebenszyklen von vier Insekten wurden verglichen, um das geeignetste Tier für FFW zu evaluieren.*

## ABNEHMER

Die geernteten Insekten werden von externen Betrieben und anderen Forschungsprojekten abgenommen, eigenständig weiterverarbeitet und genutzt. Es sind bereits einige interessierte Startups vorhanden.



*Gewaschene, frische Puppen von Xylotrupes gideon. Tiegegefroren angeboten können solche Puppen von Riesenkäfern unsere Vorstellungen von Essbaren Insekten revolutionieren; als Seafood der Zukunft.  
Kotpellets der Käferlarven sind ein vielversprechendes, neues Produkt auf dem Markt mit torffreien Pflanzsubstraten.*



## INFRASTRUKTUR

Der Platzbedarf der FFW-Anlage beträgt mindestens 400 Quadratmeter. Ein Lagerplatz im Freien dient als Depot für Rohmaterialien. Ein überdachter Lagerplatz aussen wird für die Aufbewahrung von Substraten und Containern benutzt. Zuchtraum und Maschinenraum sollen in unmittelbarer Nähe liegen. Maschinenraum überdacht. Der Zuchtraum muss eigens konstruiert und isoliert, sowie mit Lüftungen Licht und Steuerungsanlagen versehen werden. Ein Büro von ca. 15 m<sup>2</sup> dient den Betreibern als Aufenthaltsraum und Office.

Der Zuchtraum soll so konzipiert sein, dass die Container mit Substrat und Larven raumsparend gestapelt und einfach zu den Maschinen geführt werden können, wo sie befüllt, gesiebt, oder gereinigt werden. Als ideale Grösse für die Container wird hier eine Batchgrösse von einer Tonne angenommen. Dies entspricht einem Container mit 2x2 Metern Grundfläche und ca 55cm Höhe.

Es sollen fünf Container übereinander stapelbar sein. Wir gehen in diesem Entwurf von einem System aus, bei welchem der unterste der Container mit Rädern auf Schienen läuft. Bei Öffnung des Zuchtraumes können die Containerstapel auf den Schienen herausgezogen, respektive zurückgeschoben werden. Das Entladen und stapeln findet ausserhalb des Zuchtraumes statt mithilfe eines Krans oder Hubstaplers. Bei zwei Zuchtläufen pro Jahr gehen wir von einem Lagervolumen von 60 Containern und einer Zuchtraumfläche von mindestens 8 X 10 Metern bei einer Höhe von 3 Metern aus.



*Food from Wood ist eine bodenunabhängige landwirtschaftliche Produktion, die ausschliesslich Indoor stattfindet. Damit können auch leerstehende Industrie- und Agrargebäude genutzt werden.*

## MASCHINENBEDARF

Wir unterscheiden nachfolgend fest installiertes Gerät und Maschinen die mobil gepoolt werden können:

### FEST INSTALLIERT:

Schienenkran zum Entladen der Container von den Stapeln

Lüfter zur Belüftung des Zuchtraums

Heizer zur Beheizung des Zuchtraums

Tiefkühltruhe zur Aufbewahrung von geernteten Puppe

Waage bis 2 t

### IM MASCHINENPOOL:

Hammermühle (B) zum Zerkleinern von Substraten

Mischer (A) 2m<sup>3</sup> zur Zubereitung von Substratmischungen

Rüttelsieb (C) für die Trennung von Larven, Kotpellets und Restsubstrat

Schneckenhacker (D) zur Zerkleinerung grober Holzstücke

Häcksler zur Zerkleinerung von Astmaterial

Förderschnecke zur Befüllung von Hammermühle und Containern

Trockner um Kotpellets zu trocknen

Moisture Analyser (E) um die Substratfeuchte zu kontrollieren.



A



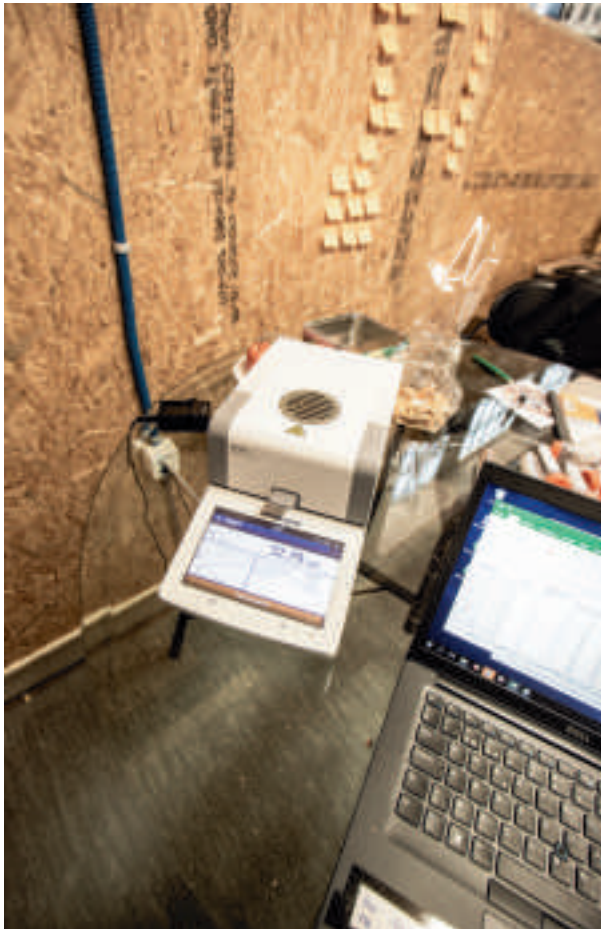
B



C

*Viele der bei FFW verwendeten Maschinen sind gut geeignet für Maschinenpools, da sie nur an wenigen Einzeltagen pro Monat, oder nur bei Bedarf eingesetzt werden müssen.*





## PRODUKTIONSPLAN MASTBETRIEB

Hier sind Arbeitsprotokolle thematisch geordnet. Sie beziehen sich auf einen Mastbetrieb, der jährlich rund 100 Tonnen Futtersubstrat verarbeitet. Die Arbeiten erfolgen alle 14 Tage.

### SUBSTRAT

Substrat herstellen, oder bestellen

Substrat für Fermentierung lagern (2 Monate)

Substratmenge: Mindestens 5 Tonnen

### MASTCONTAINER

Wassergehalt des fermentierten Substrates messen.

Container mit fermentiertem Substrat füllen

Befüllte Container zum Anwärmen in den Rearingraum bringen

### BESATZLARVEN

Besatzlarven in angewärmtes Substrat im Container geben.

Container anschreiben.

Container in Rearingraum bringen.

### ERNTE

Verpuppungsbox Triage:

Tote Tiere entsorgen

Präpuppen in neue Schlupfbox.

Puppen in Erntebox.

Container nach 26 Wochen Mastzeit aus dem Rearingraum holen.

Rüttelsieb bereit stellen

Containerinhalt über Rüttelsieb führen

Aktive Larven in Palettcontainer mit Restsubstrat

Puppen in Erntebox

Präpuppen in Verpuppungsboxen

Käfer in Käferbox

Tote Tiere entsorgen

Kotpellets absacken

Restsubstrat in Bigbags

Ernterapport ausfüllen

Container reinigen

Puppen waschen verpacken

Puppen in Beuteln zu 1kg tiefgefrieren

### LIEFERN

Puppen zu Verbrauchern/Verarbeitern

Käfer zum Nachzuchtlabor

Kotpellets zu Verbrauchern/Verarbeitern

Kotpellets lagern, oder ausbringen

### CHECK

Temperatur

Feuchtigkeit

Krankheiten/Befall

### ARBEITSVOLUMEN

Alle 14 Tage zu verarbeiten

Anzahl Container von 2 x 2 x 0.5 Metern: 5-10

Gewicht eines befüllten Containers: 1,2 Tonnen

Anzahl Besatzlarven: 2500-5000

Kotpellets: 2-4 Tonnen

Restsubstrat: 0,5 bis 1 Tonne

Puppen: 50-100kg in 1kg Gebinde



## MATERIAL, GEBINDE UND INFRASTRUKTUR

Aufgrund der Ergebnisse der Forschungen im Food from Wood Labor sind folgende Materialaufwände berechnet worden.

Pro Larve wird eine Substratmenge von 2 Kilogramm eingesetzt. Dies ist sehr grosszügig und ganz sicher ausreichend. Es wird sich im Verlauf des Betriebs des Pilotprojektes zeigen, wie weit die Substratmenge pro Larve gesenkt werden kann, um eine maximale Effizienz zu erreichen.

Die Containergrösse für den Mastbetrieb wurde hier auf eine Tonne festgelegt. Theoretisch kann die Containergrösse beliebig vergrössert werden, solange die maximale Substrattiefe von 0,5 Metern nicht überschritten wird. Für das Handling der Mastbehälter wird ein Kran benötigt, der die Mastcontainer heben und deren Inhalt ins Rüttelsieb schütten kann. Bei einem Gesamtgewicht von 1,2 Tonnen eines befüllten Containers ist ein solches Handling ohne technische Probleme zu bewerkstelligen. Ausserdem sollen die Container stapelbar sein zu maximal fünf übereinander. Die Stapel werden auf Schienen in den und aus dem Rearingraum bewegt.

Der Rearingraum muss Platz bieten für mindestens 60 Container. Jeder Container beinhaltet eine Tonne Substrat mit 500 Larven. Pro Jahr können darin zwei Generationen von Larven gemästet werden. Dies ergibt eine maximale Verarbeitung von 120 Tonnen Substrat pro Jahr. Für 60 Containern bei einer Stapelhöhe von 5 werden mindestens 12 Abstellflächen von 2x2 Metern benötigt. Mit Umraum für Kontrollen ergibt sich daraus eine Grundfläche des Mastrumes von ca. 8 x 10 Metern bei einer Innenraumhöhe von drei Metern.

Der Bedarf an Gebinden errechnet sich daraus wie folgt:

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| Mastcontainer 2x2x0.5m :    | 60        |
| Vakuumierbeutel für Puppen: | 1500/Jahr |
| Palettcontainer für Larven: | 4         |
| Bigbags für Kotpellets:     | 200/Jahr  |

## PRODUKTIONSPLAN LABOR

Dieser Produktionsplan stellt die Arbeiten des Nachzuchtlabors dar bezogen auf die verwendeten Gebinde. Ein wöchentlicher Arbeitsrhythmus wird vorausgesetzt.

### MATINGBOX (MB)

In diesen transparenten 22l-Boxen können sich aktiv gewordene Käfer paaren. Maximal 10 Weibchen und 4 Männchen pro Box. Pro MB jede Woche 4-8 Beetle Jellies zugeben. Feuchtigkeit hoch halten. Tageslichtrhythmus 12/12h. Tote Käfer entsorgen. Leere MBs reinigen und trocknen.

### SCHLUPFBOX (SB)

In dieser transparenten 11l-Box können sich Präpuppen zu Puppen und Puppen in Käfer verwandeln. Jede Präpuppe/Puppe wird aufrecht in ein Torftöpfchen gesetzt. Geschlüpfte Käfer werden entnommen und in eine Matingbox gegeben. Tote Tiere werden entsorgt. Leere SB reinigen und trocknen.

### EIABLAGEBOX (EB)

In diese transparenten 22l-Boxen werden 5-6 kg Eiablagesubstrat und vier Beetle Jellies gegeben. Nach zwei Wochen in der Matingbox werden Weibchen einzeln in solche Eiablageboxen gegeben. Die im Substrat gelegten Eier werden nach der ersten Woche der Eiablage getrennt vom Weibchen. Dies geschieht indem der Inhalt der Eiablagebox vorsichtig durch ein 25mm Sieb gegeben wird. Jellies werden entnommen. Das Weibchen kommt in eine neue Eiablagebox für die zweite Woche der Eiablage. Eier und Substrat kommen in 100l-Boxen. Die Inhalte von 10 Eiablageboxen kommen zusammen in eine 100l-Box. Dies ergibt eine durchschnittliche Ei/Larvenzahl von 250-300 pro 100l Box. Diese Boxen werden an Mastbetriebe für den Besatz ausgeliefert.

Nach der zweiten Woche werden Weibchen in Gruppen von bis zu 20 Stück in 350l Palettcontainer gegeben um dort noch Eier für die Nachzucht abzulegen. Leere EB reinigen und trocknen.

### BESATZLARVENBOX (BB)

In diesen 100l Containern befinden sich Eier und Eiablagesubstrate von jeweils zehn Eiablageboxen. Im Durchschnitt werden sie 250-300 Eier enthalten. Diese Besatzlarvenboxen werden 8 Wochen in einem rearingraum aufbewahrt bei 26 Grad Celsius und sind dann bereit für die Auslieferung an Mastbetriebe.

### NACHZUCHTBOX (NB)

In diesen 300l Palettcontainern werden bis zu 30 Weibchen zusammen gegeben um noch für den Rest ihres Lebens darin Eier abzulegen. Die Nachzuchtboxen werden in einem Rearingraum aufbewahrt.

Nach 12 Wochen wird das Substrat gesiebt. 200 Larven werden in der Nachzuchtbox belassen. Restliche Larven gezählt und in 100l-Box als besatzlarven ausgeliefert. Noch lebende Weibchen in neue Nachzuchtbox. Tote Tiere und Beetle Jellies entsorgt.

Nach weiteren 28 Wochen wird das Substrat erneut gesiebt. Puppen in Schlupfbox, Käfer in Matingbox. Aktive L3-Larven in 100l Box. Nachzuchtboxen reinigen, trocknen. Nach weiteren 4 Wochen die 100l Nachzuchtboxen checken. Puppen in Schlupfbox, Käfer in Matingbox. Aktive L3 Larven in neue 100l Box. 100l Box reinigen, trocknen.



## ECKDATEN DER PRODUKTION

Die Berechnungen basieren auf der Annahme: 5000

Larven pro Monat = 10 Tonnen Substrat pro Monat.

|              |                                                    |       |
|--------------|----------------------------------------------------|-------|
| Labor        | Monatliche Prod. von 1 und 2. Woche Besatzlarven   | 3000  |
|              | Eiablage pro Weibchen Wo1 und 2 zusammen           | 50    |
|              | Eiablage pro Weibchen Wo3 bis Tod                  | 40    |
|              | Anzahl Weibchen pro Monat                          | 60    |
|              | Anzahl Weibchen pro Woche                          | 15    |
|              | Eiablagesubstratbedarf pro Weibchen (kg)           | 5     |
|              | Eiablagesubstrat pro Woche (kg)                    | 75    |
|              | Eiablagesubstrat pro Monat (kg)                    | 300   |
|              | Eiablagesubstrat pro Jahr                          | 3600  |
|              | Monatlicher Bedarf an Nachzuchtlarven (Faktor3)    | 180   |
|              | Monatliche Produktion von Nachzuchtlarven          | 2400  |
|              | Effektiv produzierte Anzahl Besatzlarven pro Monat | 5220  |
|              |                                                    |       |
| Mast         | Substratbedarf pro Larve im Mastbetrieb (kg)       | 2     |
|              | Substratbedarf pro Monat insgesamt (t)             | 10    |
|              | Containergröße Inhalt in t                         | 1     |
|              | Anzahl Container pro Monat                         | 10    |
|              | Substratbedarf pro Jahr t                          | 120   |
|              |                                                    |       |
| Lager Labor  | Verweilzeit 100l Kisten Besatzlarven in Wochen     | 8     |
|              | Verweilzeit 100l Kisten mit Nachzucht              | 12    |
|              | Verweilzeit Palettboxen 300l mit Nachzucht         | 30    |
|              | Verweilzeit Matingbox 22l in Wochen                | 2     |
|              | Verweilzeit Schlupfbox 11 l in Wochen              | 3     |
|              | Verweilzeit Eiablagebox 22l in Wochen              | 2     |
|              | Gestell Laufmeter pro 22 Liter Box in m            | 0.3   |
|              | Anzahl 100 Liter Boxen pro Palett Höhe 2 Meter     | 20    |
|              | Anzahl Palettboxen übereinander                    | 4     |
|              | Immer belegte Eiablageboxen pro Monat              | 30    |
|              | Immer belegte Matingboxen pro Monat                | 3     |
|              | Anzahl Weibchen pro Matingbox                      | 10    |
|              | Anzahl Puppen pro Schlupfbox                       | 20    |
|              | Immer belegte Schlupfboxen pro Monat               | 1.5   |
|              |                                                    |       |
| Gestell      | Laufmeter Gestell mit Licht m                      | 9     |
|              | Laufmeter Gestell m                                | 1.35  |
|              |                                                    |       |
| Palettplätze | Anzahl 100 Liter Kisten Besatzlarven pro Monat     | 8.57  |
|              | Eiablagefüllung pro 100 Literbox                   | 7     |
|              | Anzahl 100l Kisten Nachzucht pro Monat             | 6     |
|              | Weibchen pro 100l Nachzuchtbox                     | 10    |
|              | Anzahl Palettboxen 300l immer belegt               | 12    |
|              | 100 liter Besatzlarven immer belegt                | 17.14 |
|              | 100 Nachzuchtboxen immer belegt                    | 18    |
|              | Palettplätze total                                 | 4.76  |

## LAGERBERECHNUNGEN



Blick in den Rearingraum des Forschungsprojektes Food from Wood in Linthal. Er umfasst 24 Laufmeter Gestell für 221 Boxen und 8 Palettplätze. Darin könnten die Nachzuchten für rund 10'000 Besatzlarven pro Monat produziert werden.



## BIBLIOGRAPHIE

Van Huis, A. Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO FORESTRY PAPER 171, ISBN 978-92-5-107595-1 (print) E-ISBN 978-92-5-107596-8 (PDF), FAO, 2013

Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68)

Abrufbar unter: [www.snf.ch](http://www.snf.ch), [www.nfp68.ch](http://www.nfp68.ch), Bezug: Schweizerischer Nationalfonds, Bern

TS1 Boden und Nahrungsmittelproduktion, ISBN: 978-3-907087-28-2

TS2 Boden und Umwelt Thematische Synthese, ISBN: 978-3-907087-30-5

TS3 Eine Bodenagenda für die Raumplanung Thematische Synthese, ISBN: 978-3-907087-32-9

TS4 Bodeninformations-Plattform Schweiz (bip-ch) Thematische Synthese, ISBN: 978-3-907087-34-3

TS5 Wege zu einer nachhaltigen Bodenpolitik, ISBN: 978-3-907087-36-7

Ambühl D., 2018. Skyfood - Essbare Insekten. Vom Wildfang zur Landwirtschaft, 250 Seiten, 500 farbige Abbildungen, Hardcover Fadenheftung, Skyfood Verlag 2018, ISBN: 978-3-9524760-1-7

Ambühl D., 2019. Mbinzo - Esskultur und Zucht afrikanischer Speiseraupen, Hardcover, Fadenheftung, 164 Seiten. 250 Abbildungen, Skyfood Verlag, 2019, ISBN: 978-3-9524760-2-4  
Französische Ausgabe: Mbinzo - Vers l'élevage des chenilles comestibles africaines. ISBN: 978-3-9524760-3-1

Ambühl D., 2016. Beezza! - Das Bienenkochbuch, Zweite d. Ausgabe, Hardcover, Fadenheftung, 136 Seiten. 160 Abbildungen, Skyfood Verlag, 2016, ISBN: 978-3-9524760-0-0  
Englische Ausgabe: Beezza! The Honeybee Cook Book. ISBN: 978-3-9524760-3-1

Harink B., 2018. Exotische Käfer, Pflege & Zucht, ISBN: 978-3-89745-294-7

Herren P., Bischof T., Ambühl D., Grunder J., 2021. Life history traits of two edible scarab beetle species reared on lignocellulosic biomass: a comparative study. Journal of Insects as Food and Feed, eingereicht.

Herren P., Bischof T., Ambühl D., Grunder J., 2021. Suitability of temperatures and moisture contents of substrates for the rearing of *Trypoxylus dichotomus*. Journal of Insects as Food and Feed, in prep.

### Studentische Arbeiten

Abplanalp, J.-R., 2019. Ökobilanz Speiseinsektenproduktion Food from Wood. Semesterarbeit 2, ZHAW, Wädenswil.

Imfeld S., 2019. Entwicklung einer Branchenleitlinie für Betriebe, die Insekten zu Lebensmittelzwecken verarbeiten, behandeln, lagern oder abgeben. Masterarbeit. ZHAW, Wädenswil.

Ortner T., 2019. Kulturversuche mit Torfersatzprodukten in der Bio-Pflanzenproduktion, Bacherorarbeit, ZHAW, Wädenswil.

Panov, J., 2021. Pflanzenschutz durch Reste aus der Insektenproduktion (Frass) gegen bodenbürtige Pilzpathogene. Masterarbeit. ZHAW, Wädenswil.

Scanu, S.A., 2021. Ökobilanzierung der Produktion von *Trypoxylus dichotomus* auf Holz-Basis (Bachelorarbeit). ZHAW, Wädenswil.

# DANKE

Team Food from Wood

Pascal Herren, Daniel Ambühl, Tom Bischof, Sheila Hofer, Irmak Bischof und  
Jürg Grunder

Bundesamt für Landwirtschaft

Louis Tamborini, Gilles Rossier, Sabine Vögeli

ZHAW, Wädenswil

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

Forschungsbereich Biologische Landwirtschaft

Team Forschungsgruppe Phytomedizin

Ursula Löffel, Simon Grieder, Esther Fischer,

Studentische Arbeiten

Scanu Savian Aurelio, Aplanalp Jan-Reto, Jovan Panov

Innovationspark – Linthpark, Linthal, Kanton Glarus

Hans-Peter Keller, Sabrina Nef, Richard Dubs, Jacqueline Jenny

Konrad Bischof,

Supporter

Marco Baltensweiler, Leiter Abteilung Landwirtschaft, Kt. Glarus

Christian Zehnder, Leiter Standortpromotion, Kontaktstelle für Wirtschaft, GL

Fritz Waldvogel; Präsident Bauernverband GL

Besucher

Prof. Tomberlin, USA, Prof. Mathys, ETHZ, Forstdirektion ZH, verschiedenen  
Forstkreise, verschiedene Behörden, Hochschulen, interessierte Studierende  
Verein Hirschkäfer, Verein Food from Wood, Fridolin Walcher, Fotograf

Finanzielle Projektunterstützung durch

Bundesamt für Landwirtschaft, Bern

Kanton Glarus