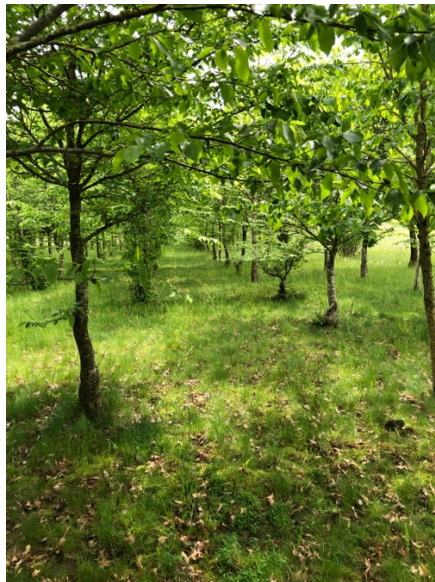


ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Kultivierung von Freiland Speisepilzen in Agroforstsystemen in der Schweiz



Bachelorarbeit

von
Nadine Nitzsche

Bachelorstudiengang 2018

06.07.2023

Umweltingenieurswesen

Fachkorrektorinnen:

Mareike Jäger

Esther Fischer

ZHAW Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Grüentalstrasse 14, 8820 Wädenswil

Impressum

Autorin: Nadine Nitzsche

Titelbild: Trüffelanlage im Frühling 2023, © Nadine Nitzsche

Keywords: Edible fungi, agroforestry, truffle, mycorrhiza, oyster mushroom

Zitiervorschlag: Nadine, N. (2023). Kultivierung von Freiland Speisepilzen in Agroforstsystemen in der Schweiz. Bachelorarbeit, ZHAW LSFM, Wädenswil, unveröffentlicht.

Institution: Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen (IUNR)
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Grüntalstrasse 14
Postfach
CH-8820 Wädenswil

Zusammenfassung

Die Integration von essbaren Pilzen in landwirtschaftliche Systeme wurde bisher wenig untersucht. Die Kombination von Agroforstwirtschaft mit der Kultur von Freiland Speisepilzen birgt jedoch Potenzial - nicht nur zur Erweiterung des Produktangebots sondern auch zur Verbesserung der Ökosystemleistungen und Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft. In dieser Arbeit wurde anhand Experteninterviews untersucht, welche Speisepilze sich für eine Kombination mit Agroforst in der Schweiz eignen, was für einen erfolgreichen Anbau entscheidend ist und inwiefern die Produktdiversität, Wertschöpfung und Resilienz von Agroforst Systemen durch die Kombination mit Speisepilzen erhöht werden kann. Trüffel (*Tuber ssp.*) und Seitlinge (*Pleurotus ssp.*) haben sich für die Kombination mit Agroforst in der Schweiz als geeignet erwiesen, da sie 1. Im Freiland kultivierbar sind, 2. in Symbiose mit oder auf Holz / Schnittgut von einheimischen Gehölzen wachsen und 3. Ein Markt für diese Speisepilze vorhanden ist. Je nach Pilzart ist eine andere Art von Agroforst System geeignet. Für Seitlinge ist die Nordseite einer ein- oder mehrreihigen Hecke ideal, während für Trüffel auch Einzelbaumreihen in Frage kommen. Wichtige Faktoren für einen erfolgreichen Anbau sind das Know How, der Zugang mit Maschinen für Ernte und Unterhalt sowie die Planung der Erntezeitfenster und des Absatzes. Die Mehrfachnutzung von Agroforst hat viele Vorteile, unter anderem die Förderung der Biodiversität (inkl. Korridorfunktion) und weniger Abhängigkeit von einer landwirtschaftlichen Kultur. Andererseits ist ein kombiniertes System komplex, arbeits- und zeitintensiv – insbesondere in den ersten fünf bis zehn Jahren. Diese Arbeit gibt einen Überblick zu den oben genannten Fragestellungen.

Abstract

The integration of edible fungi into agricultural systems has received little attention so far. However, the combination of agroforestry with the cultivation of edible mushrooms has potential - not only to expand the product range but also to improve ecosystem outputs and circular economy in agriculture. In this thesis, expert interviews were used to examine which edible mushrooms are suitable for the combination with agroforestry in Switzerland, what is crucial for successful cultivation and to which extent the product diversity, added value and resilience of agroforestry systems can be increased through the combination with edible mushrooms. Truffles (*Tuber ssp.*) and oyster mushrooms (*Pleurotus ssp.*) have proven to be suitable for the combination with agroforestry in Switzerland, since they 1. can be cultivated outdoors, 2. in symbiosis with or on substrates from native trees and 3 there is an existing market for these edible mushrooms. Depending on the type of fungus, a different type of agroforestry system is required. The north and leeward side of a single or multi-row hedge is ideal for oyster mushrooms, whereas for truffles rows of single trees are also suitable. Important factors for successful cultivation are the know-how, access with machinery for harvesting and maintenance, as well as planning the harvest time windows and sales. The multiple use of agroforestry systems has many advantages, including the promotion of biodiversity (incl. corridor function) and less dependence on one agricultural crop. On the other hand, a combined system is complex, labour-intensive and time-consuming – especially in the first five to ten years. This work gives a review of the above-mentioned research questions.

Abkürzungen

AM	Arbuskuläre Mykorrhiza
CH	Schweiz
EkM	Ektomykorrhiza
PP1	Pilzproduzent:in 1
PP2	Pilzproduzent:in 2
PP3	Pilzproduzent:in 3
PP4	Pilzproduzent:in 4

Inhalt

Einleitung.....	1
1 Das Reich der Pilze.....	3
1.1 Saprobionten.....	4
1.1.1 Seitlinge	4
1.2 Parasiten.....	5
1.3 Mykorrhiza	6
1.3.1 Mykorrhiza Netzwerke.....	8
1.3.2 Essbare Ektomykorrhiza.....	9
1.3.3 Trüffel.....	10
2 Agroforst.....	12
2.1 Mikroklima in Agroforst	12
2.1.1 Strahlungsintensität.....	13
2.1.2 Luftfeuchtigkeit.....	13
2.1.3 Niederschlag	13
2.1.4 Taubildung	13
2.1.5 Windgeschwindigkeit.....	14
3 Material und Methoden	15
3.1 Leitfaden-gestütztes Experteninterview	15
4 Resultate.....	16
4.1 Trüffelskultur	16
4.1.1 Kultur Kombinationen.....	20
4.2 Edelpilze	22
5 Diskussion.....	25
6 Fazit und Ausblick	30
7 Literaturverzeichnis	32
Abbildungsverzeichnis	37
Tabellenverzeichnis	38
Anhang 1.....	39
Anhang 2.....	56

Einleitung

Vor rund 450 bis 600 Mio. Jahren gingen Pilze eine Symbiose mit Pflanzen ein, die im Ur-Ozean lebten - eine Koevolution zwischen den Reichen, lange bevor die ersten terrestrischen Lebensformen die Erde besiedelten (Lelley, 2018; Lutzoni et al., 2018; Redecker et al., 2000). Diese Interaktion zwischen Pilzen und Pflanzen wird als entscheidend für den makroevolutionären Erfolg beider Reiche bezeichnet (Lutzoni et al., 2018). Arbuskuläre Mykorrhiza (AM) begünstigten die erste Ausbreitung von Pflanzen an Land (Humphreys et al., 2010; Lutzoni et al., 2018) und wahrscheinlich erleichterten endomykorrhizale und möglicherweise endophytische Symbiosen die Terrestrialität (Lutzoni et al., 2018).

Pilze sind für den Nährstoffkreislauf essenziell, da sie Zellulose und Lignin abbauen können (Meyer et al., 2020; Pointing et al., 2005; Stamets, 2000). Die rund vier Tonnen Streu, die jährlich in einem Hektar Wald anfallen, werden nach Zerkleinerung durch niedere tierische Lebewesen restlos durch Pilze und Bakterien abgebaut (Winkler, 2013). Selbst schwer anzugreifende Kohlenstoffverbindungen können durch Pilze aufgeschlossen werden – durch die Ausscheidung von Exoenzymen (extrazelluläre Enzyme) nehmen sie diese in Flüssigkeit auf (Meyer et al., 2020; Winkler, 2013).

Ein grosser Teil der mikrobiellen Biomasse wie auch der Nekromasse der Böden in den meisten terrestrischen Ökosystemen besteht aus dem Myzel von Mykorrhizapilzen (Högberg & Högberg, 2002). Van der Heijden et al. (1998) betonen die Wichtigkeit der Mykorrhiza Symbiose als entscheidender Faktor für die Biodiversität der Pflanzen sowie die Variabilität und Produktivität von Ökosystemen. Der Verlust der Biodiversität von AM, wie es in landwirtschaftlichen Systemen der Fall ist, könnte die Produktivität von Ökosystemen verringern und die Instabilität derselben erhöhen (van der Heijden et al., 1998).

Pilze sind die zweitgrösste Gruppe von Organismen auf der Erde – einzig übertroffen durch Insekten. (Hawksworth David L. & Lücking Robert, 2017). Die weltweite Anzahl Pilzarten wird auf 2.2 bis 3.8 Millionen geschätzt, jedoch wurden bisher nur 120'000 Arten beschrieben (Hawksworth & Lücking, 2017; Li et al., 2021). Li et al. (2021) identifizierten 2189 essbare Pilzarten, wovon 2006 bedenkenlos verzehrt werden können.

Obwohl Grosspilze im Vergleich zu anderen Pilzgruppen vermutlich am längsten ihren Platz in Diversitätsstudien haben, sind sie doch in einem Grossteil der Welt wenig erforscht (Mueller et al., 2007). Aus Nordamerika und Europa gibt es mehr Daten als aus irgendeiner anderen Region, aber auch da ist das Wissen über die Vielfalt an Grosspilzen unvollständig (Mueller et al., 2007). Die Kultivierung von

essbaren Pilzen begann in einer sehr rudimentären Weise vor ungefähr 1000 Jahren in Asien, wo der Shiitake-Pilz in Zeiten mit mildem Klima geerntet wurde (Martins, 2016). In Europa kam die Kultivierung vor 300 Jahren in Höhlen in der Nähe von Paris auf und verbreitete sich später in andere Länder wie Deutschland, Ungarn, ua. (Anguix, 2011).

Die Interaktion zwischen Pilzen und Pflanzen ist vermutlich die meistunterschätzte Verknüpfung in landwirtschaftlichen Systemen - selbst solche, die auf Kreislaufwirtschaft setzen (Stamets, 2000). Da Agroforstsysteme auf Inspiration aus natürlichen Ökosystemen beruhen, ist es sinnvoll das Potential von essbaren Pilzen in diesen Systemen zu untersuchen.

Wie könnte eine Landwirtschaft der Zukunft aussehen, in der das Reich der Pilze integriert wird? Die Anwendungen sind so vielseitig wie die Pilze selbst: Die aktuellen Forschungsfelder reichen von Bodensanierung, Nutztierfutter, vitaminreichem Nahrungsmittel und Fleischersatz über Vitalpilz bis zu Mykorrhiza-Beimpfung von Kulturpflanzen (Gehlot & Singh, 2018; Hyde et al., 2019; Meyer et al., 2020).

Die folgende Arbeit fokussiert sich auf die Identifikation von essbaren Pilzarten, die in Agroforstsystemen in der Schweiz kultiviert werden können. Anhand einer Literaturrecherche und Experteninterviews sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Speisepilze eignen sich für die Freilandkultur in Agroforstsystemen in der Schweiz?
- Welche Faktoren sind für einen erfolgreichen Anbau von Edelpilzen und Trüffeln in Agroforst Systemen entscheidend?
- Welche Anbausysteme werden aktuell angewendet?
- Welche Art von Agroforstsystemen eignen sich für die Pilzkultur?
- Ist die Edelpilz- und Trüffel-Kultur eine lukrative Einnahmequelle für Landwirt:innen?
- Kann der Anbau von Edelpilzen und Trüffeln die Ökosystemleistungen von Agroforstsystemen erhöhen?
- Kann die Resilienz landwirtschaftlicher (Öko)systeme durch die Kombination von Pilzkulturen und Agroforst erhöht werden?

1 Das Reich der Pilze

Stamets (2005) teilt die Pilze in vier Kategorien ein: saprophytisch, parasitär, mykorrhizierend und endophytisch. Mykorrhiza und endophytisch lebende Pilze können als Symbionten zusammengefasst werden: Eine Lebensgemeinschaft, von der beide Teile profitieren (Boa, 2004; Lutzoni et al., 2018; Winkler, 2013). Die Saprobionten, auch Fäulnisbewohner genannt, bewohnen totes organisches Material, während die Parasiten sich von der Substanz lebender Organismen ernähren (Boa, 2004; Pérez-Moreno et al., 2021; Winkler, 2013). Einige Pilze verwenden jedoch verschiedene Strategien und lassen sich nicht nur einer Kategorie zuteilen (Stamets, 2005; Winkler, 2013). Zum Beispiel können Seitlinge einen sterbenden Baum besiedeln und lange nach dem Tod des Baumes auf diesem weiterleben (Stamets, 2000).

Die Folgende Tabelle zeigt, auf welchem Substrat welche Ernährungsformen von Pilzen vorkommen, verändert aus Winkler (2013):

+++ bevorzugt

++ gut möglich

+ möglich

kein Zeichen: nicht möglich

Substrat	Fachbegriff	Saprobiont	Symbiont	Parasit
Erde	terricol	+++	++	+
Holz	lignicol	+++		++
Blätter	foliicol	+++		+
Kräuter	herbaecol	++		++
Pilze	fungicol	++		++
Flechten	lichenicol	+		+++
Dung	coprophil	+++		
gedüngte Erde	semicoprophil	+++		
Moos	bryophil	+++	++	+
Brandstellen	anthracophil	+++	+	+

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Substrat und Ernährungsweise der Pilze (Winkler, 2013)

Pilze benötigen Luftfeuchtigkeit von 90 bis 95 Prozent, um das Wachstum aufrechtzuerhalten und das



Abb. 1: Während der Kolonisation breitet sich das Myzel aus, um Nährstoffe aufzunehmen, Bild aus Cotter (2014)

Myzel mit ausreichend Wasser zu versorgen, damit es sich in der Umgebung ausbreiten kann (Cotter, 2014). Sie können Enzyme ausscheiden, die dem sich ausbreitenden Myzel ermöglichen, durch das Wachstumsmedium zu «schwimmen», selbst wenn die Bedingungen relativ trocken sind (Cotter, 2014). Pilze können

feuchte Luft einatmen, die sie im Inneren ihrer Zellen zu Wasser kondensieren. Diese Wasser verteilen sie dorthin, wo der Myzelkörper es am meisten benötigt, sei es zur Nährstoffaufnahme oder zur Pilzproduktion (Cotter, 2014).

1.1 Saprobionten

Die Saprobionten rezyklisieren totes Pflanzenmaterial, Insekten und andere Tiere. Sie scheiden Enzyme und Säuren aus, mit Hilfe derer grosse Moleküle in kleinere Moleküle zerlegt werden (Boa, 2004; Stamets, 2005; Winkler, 2013). Diese Polysaccharide und andere Baustoffe werden anschliessend wieder zu eigenen Zellwänden aufgebaut (Stamets, 2000). Aus totem Pflanzenmaterial rezyklisieren diese Pilze C, H, N, P und andere Minerale zu Nährstoffen für lebende Pflanzen, Insekten und andere Organismen (Stamets, 2000). Die meisten saprobiontischen Edelpilze zersetzen Holz (Stamets, 2000). Saprophytische Pilze können in 3 Untergruppen eingeteilt werden: Primäre, Sekundäre und Tertiäre Zersetzer. Jeder Saprobiont hat sein besonderes Set aus Enzymen, um Lignin und Zellulose zu zersetzen. Wenn eine Art ihr Potential zur Zersetzung des Holzes ausgenutzt hat, kommt der nächste Saprobiont ins Spiel mit einem komplementären Set aus Enzymen und setzt den Abbau fort (Stamets, 2000).

	Eigenschaften	Beispiele
Primäre Zersetzer	• Schnellwachsend • Myzelverbreitung und Abbau von pflanzlichem Material verläuft in Waldgebieten schnell	<i>Pleurotus ssp</i> <i>Lentinula edodes</i>
Sekundäre Zersetzer	• Hängen von Aktivität der Primären Zersetzer ab • Arbeiten mit Actinomyceten und anderen Bakterien und Pilzen (inkl. Hefen) zusammen • In Waldboden oder auch Komposthaufen • Wandlungsfähiger im Umgang mit komplexen Mikroorganismenzusammensetzungen	<i>Agaricus bisporus</i> <i>Stropharia rugoso annulata</i> (Vermittler zwischen Primären und Sekundären Zersetzern)
Tertiäre Zersetzer	• «Bodenbewohner» • Lebensräume, die Primäre und Sekundäre Zersetzer über mehrere Jahre vorbereitet haben • In Böden mit wenig zersetzbarem Material • Brauchen komplexe mikrobielle Milieus	<i>Aleuria aurantia</i>

Tabelle 2: Untergruppen der Saprobionten, zusammengestellt aus Stamets (2005)

1.1.1 Seitlinge

Seitlinge (*Pleurotus ssp*) sind mit Abstand die am einfachsten und kostengünstigsten zu kultivierenden Speisepilze. Für kleine Produzent:innen mit wenig Budget sind sie die beste Wahl für den Einstieg in die Kultivierung von Speisepilzen (Stamets, 2000). Sie sind anpassungsfähig, aggressiv in der Beimpfung

von Material und höchst produktiv (Stamets, 2000). Sie gehören zu den Holz zersetzenden Pilzen (siehe Kapitel 1.1 Saprobionten). Seitlinge können eine grosse Vielfalt an Material aus der Forst- & Landwirtschaft verwerten, darunter Harthölzer, Sägemehl, Stroh und Kaffeesatz (Stamets, 2000). Es gibt Seitlinge in beinahe allen Regenbogenfarben – In weiss, blau, grau, braun, gelb und pink. Der Austernseitling *Pleurotus ostreatus* ist die in den Hartholzwäldern der Welt am meisten verbreitete Seitlingart mit vielen verschiedenen Sortenausprägungen in den gemässigten Klimazonen (Stamets, 2000). Der Austernseitling ist ein omnivorer Pilz, der sich nicht nur von Pflanzen, sondern sogar von Nematoden ernähren kann (Lee et al., 2023).

Der Nachteil von Seitlingen ist, dass sie schnell verderben und nur wenige Tage für den Markt präsentierbar sind (Stamets, 2000). Auf der anderen Seite könnte dies auch zum Verkaufsargument werden für eine regionale Produktion mit lokalen Produzent:innen, die an Hofläden, die Gastronomie und Private in einem kleinen Umkreis liefern. Bei Verwendung von Stroh als Substrat für Seitlinge kann dieses anschliessend für eine zweite Runde zur Kultivierung von Braunkappen (*Stropharia rugosoannulata*) im Freiland verwendet werden, da dieses noch genügend Nährstoffe enthält (Stamets, 2000).

1.2 Parasiten

Parasiten ernähren sich von der Substanz lebender Organismen (Winkler, 2013) und sind meistens Mikropilze (Boa, 2004; Stamets, 2005). Sie stehen symptomatisch für das Ungleichgewicht in einem Ökosystem wie zum Beispiel saurer Regen, Grundwasserverseuchung oder Insektenschaden (Stamets, 2005). Parasitäre Pilze selektieren die stärksten Pflanzen und reparieren beschädigte Lebensräume (Stamets, 2005).

Einige Saprobionten sind fakultativ parasitär. Das heisst sie verhalten sich parasitär, sobald sie günstige Bedingungen vorfinden. Der Austernseitling zum Beispiel kann einen sterbenden Baum befallen und lange nach dessen Tod weiterleben (Stamets, 2005).

1.3 Mykorrhiza

Fast alle Landpflanzen gehen eine Mykorrhiza-Symbiose ein. Diese unterirdischen Pilze spielen eine Schlüsselrolle in Landökosystemen, da sie die Nährstoff- und Kohlenstoffkreisläufe regulieren und die Bodenstruktur und Ökosystem Multifunktionalität beeinflussen (van der Heijden et al., 2015). Bis zu 80% von N und P, das durch die Pflanzen aufgenommen wird, wird durch Mykorrhiza verfügbar gemacht und viele Pflanzen hängen für ihr Wachstum und Überleben von diesen Symbionten ab (van der Heijden et al., 2015). Es wird geschätzt, dass 50 000 Pilzarten mit 250 000 Pflanzenarten Mykorrhiza-Symbiosen bilden (van der Heijden et al., 2015).

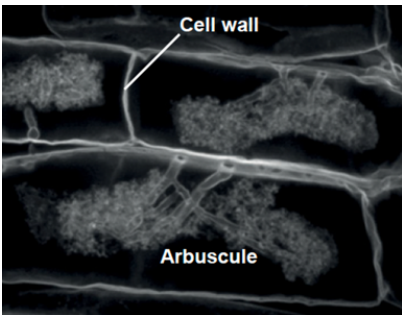
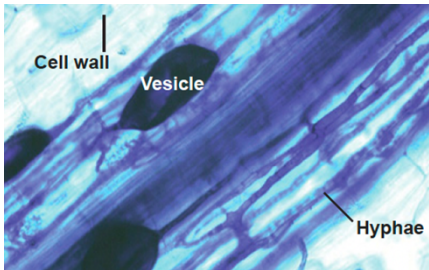
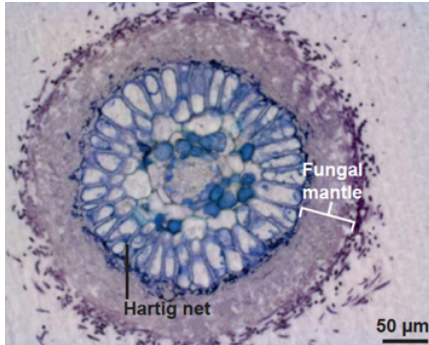
	Eigenschaften	Beispiele
Arbuskuläre Mykorrhiza (AM)	- Formen ausgedehnte Pilzhyphe, die parallel zur Endodermis innerhalb der Wurzelrinde verlaufen - Benannt nach den «Arbuskeln» - Baumförmigen Strukturen, die durch den Pilz innerhalb der Rindenzellen der Wurzeln gebildet werden  Abb. 2: <i>Pisum sativum</i> mit Arbuskeln (van der Heijden et al., 2015)	 Abb. 3: Kleewurzel in Trypanblau, kolonisiert durch <i>Glomus intraradices</i> (van der Heijden et al., 2015)
Ektomykorrhiza (EkM)	- Der grösste Teil des Pilzes bleibt ausserhalb der Wurzel, daher der Name <i>Ekto</i>-Mykorrhiza  Abb. 4: <i>Russula ochroleuca</i> mit <i>Fagus sylvatica</i> (van der Heijden et al., 2015) - Primäre und sekundäre Wurzeln der Pflanzen mit EkM sind oft komplett eingehüllt von einem Pilzmantel	<i>Boletus ssp.</i>, <i>Cantharellus ssp.</i>, <i>Tuber ssp.</i>  Abb. 5: Querschnitt durch eine Wurzel von <i>Populus trichocarpa</i> mit EkM <i>Pisolithus microcarpus</i>: externer Mantel, Hartigsches Netz mit verlängerten Epidermis Wurzelzellen (van der Heijden et al., 2015)

Tabelle 3: Eigenschaften und Beispiele von Arbuskulären Mykorrhiza (AM) und Ektomykorrhiza (EkM)

	Pflanzengruppen	Anzahl Pflanzenarten	Fungal identity	Total geschätzte Anzahl Pilz-Taxa
Arbuskuläre Mykorrhiza (AM)	Kräuter, Gräser, viele Bäume, viele Hornblattgewächse und Lebermoose	200 000	Glomeromyzeten	300 – 1600
Ektomykorrhiza (EkM)	Kieferngewächse und Angiosperme (hauptsächlich Bäume und Sträucher, aus gemässigten Zonen), einige Lebermoose	6000	Basidiomyzeten und Ascomyzeten	20 000
Keine Mykorrhiza Assoziation	<i>Brassicaceae, Crassulaceae, Orchaceae, Proteaceae etc.</i> ¹	51 500	-	-

Tabelle 4: Anzahl der Pflanzen- und Pilzarten, die Mykorrhiza-Assoziationen bilden. Einige Pflanzenarten bilden doppelte Assoziationen sowohl mit AM- als auch mit EkM-Pilzen. ¹Eine Vielzahl von Ruderalpflanzenarten und mehrere Pflanzenarten mit speziellen Wurzelstrukturen assoziieren nicht mit Mykorrhizapilzen. Abgeändert aus van der Heijden et al. (2015)

Mykorrhiza sind sehr alte symbiotische Verbindungen zwischen spezialisierten Pilzen und den feinen Wurzeln von den meisten höheren Pflanzen (Cairney, 2000; Le Page et al., 1997; Redecker et al., 2000; Smith & Read, 2008). Einige Kulturpflanzen aus der Familie der Kreuzblütler (Raps, Senf, Kohlrarten,...) gehen keine Symbiose mit AM ein (siehe Tabelle 4). Durch die Vergrösserung des absorptionsfähigen Bereichs des Wurzelsystems begünstigen Mykorrhiza die Nährstoffaufnahme, insbesondere von Phosphor (Landeweert et al., 2001; Stamets, 2000). Sie richten unterirdische Netzwerke ein, die Bäume und andere Pflanzen miteinander verbinden – das «Wood Wide Web», Internet des Waldes (Pérez-Moreno et al., 2021; Sen, 2000; Stamets, 2005; van der Heijden et al., 2015).

EkM spielen eine Schlüsselrolle in der Struktur und Funktionsfähigkeit von Waldökosystemen (Smith & Read, 2008). Sie sind entscheidend für die Gesundheit des Ökosystems und den Nährstoffkreislauf (Smith & Read, 2008; van der Heijden et al., 2015). Durch die Symbiose mit EkM verbessern Pflanzen ihre Fitness durch die verbesserte Nährstoffaufnahme und ihre erhöhte Resilienz in Stresssituationen, wie Angriffe durch Pathogene, toxische Elemente, Dürre und hohe Temperaturen (Pérez-Moreno et al., 2021; Smith & Read, 2008). Es wird geschätzt, dass 60 Prozent der Bäume weltweit eine Symbiose mit EkM eingehen (Steidinger et al., 2019).

Mykorrhiza haben einen Einfluss auf die Ökosystemleistungen (van der Heijden et al., 2015). Die Schätzungen gehen jedoch weit auseinander und hängen von der Art des Ökosystems ab: In einem Agroforst System, das extensiv bewirtschaftet wird, ist der Einfluss grösser als in einem intensiv bewirtschafteten Agrarökosystem (van der Heijden et al., 2015). Ungefähr 20 % und manchmal bis zu 50 % der Assimilate können EkM und erikoiden Mykorrhiza zugeordnet werden (Hobbie & Hobbie, 2008). Fast alle terrestrischen Ökosysteme und einige landwirtschaftliche Ökosysteme werden durch mit Mykorrhiza assoziierende Bäume, Sträucher und Kräuter dominiert. Dies deutet darauf hin, dass

Mykorrhiza wahrscheinlich eine Schlüsselrolle im globalen C-Zyklus spielen (van der Heijden et al., 2015).

Ökosystemprozess	Mykorrhiza Typ	Beitrag von Mykorrhiza an Ökosystemprozesse
<i>Kohlenstoffkreislauf</i>		
Pflanzenproduktivität	AM, EkM	0 – 80 %
Dekomposition	AM	0 – 10 %
	EkM	0 – 30 %
<i>Stickstoffkreislauf</i>		
Stickstoffaufnahme Pflanzen	AM	0 – 20 %
	EkM	0 – 80 %
Verminderung von N-Verlusten	AM, EkM	0 – 50 % (NO ₃)
<i>Phosphorkreislauf</i>		
Phosphoraufnahme Pflanzen	AM	0 – 90 %
Regulierung der Pflanzenvielfalt	EkM	0 – 70 %
Förderung der Pflanzenvielfalt	AM	0 – 50 %
Reduzierung der Pflanzenvielfalt	AM	- 20 – 0 %

Tabelle 5: Beitrag von Mykorrhiza an Ökosystemprozessen, abgeändert aus van der Heijden et al. (2015)

1.3.1 Mykorrhiza Netzwerke

Die Sicht «Ein Pilz – Eine Pflanze» ist zwar praktisch, um ihre Interaktion zu untersuchen, jedoch hält diese ökologisch nicht Stand: Die meisten Pflanzenwurzeln sind von mehreren Mykorrhiza kolonisiert und die meisten Mykorrhiza sind nicht wirtsspezifisch und besiedeln mehrere Wirtspflanzen gleichzeitig (van der Heijden et al., 2015). Dadurch sind Pflanzen durch das «Wood Wide Web» verbunden (siehe Abb. 6). So sind zum Beispiel in Wäldern der gemässigten Breiten die Bäume durch EkM und die darunterliegenden Sträucher, Gräser und Kräuter durch AM verbunden. In einigen Fällen ist sogar ein drittes und viertes Netzwerk vorhanden, geformt durch erikoide und Orchideen mykorrhizierte Pflanzen (van der Heijden et al., 2015). Einige Bäume bilden sogar doppelte Symbiosen mit AM und EkM (Egerton-Warburton & Allen, 2001; Wagg et al., 2014). Über die Vielfalt und genaue Funktion solcher Hubs wird noch debattiert (van der Heijden et al., 2015).

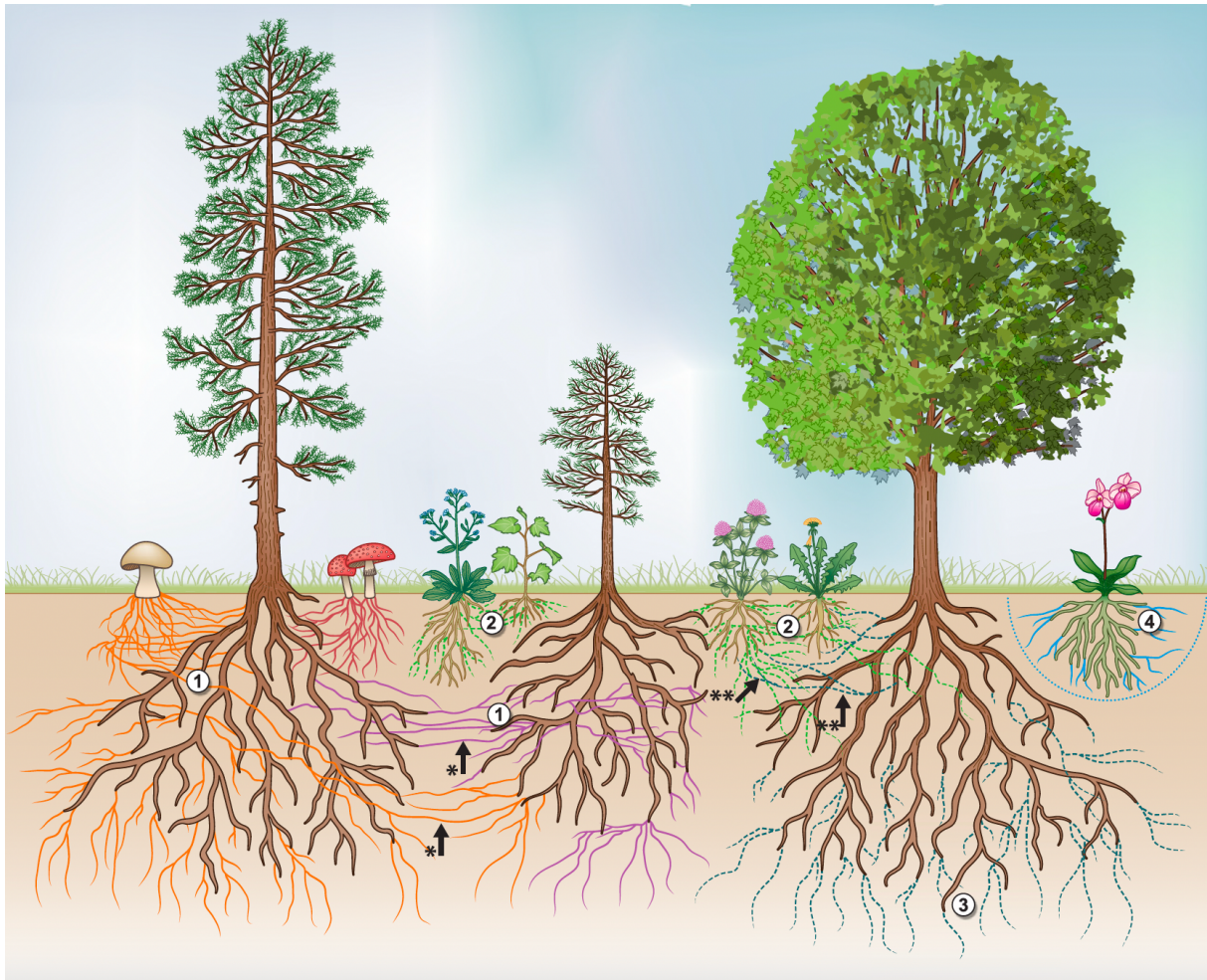


Abb. 6: Verschiedene getrennte unterirdische Netzwerke: 1. Bäume mit EkM (durchgehende Linien) sind untereinander vernetzt *, 2.+ 3. Verschiedene Pflanzen- und Baumarten mit AM (gestrichelte Linie) sind untereinander vernetzt ** 4. Eine Orchidee mit einem weiteren unterirdischen Netzwerk, die verschiedenen Farben stellen verschiedene ekto- und arbuskuläre Mykorrhiza-Arten dar, auch andere Kombinationen sind möglich (Bild von Ursus Kaufmann, Agroscope, aus van der Heijden et al., 2015)

1.3.2 Essbare Ektomykorrhiza

Mindestens seit der Steinzeit werden essbare EkM von Menschen als Nahrungsmittel genutzt (Power et al., 2015). Noch heute sind EkM Pilze eine wichtige Nahrungsquelle für Menschen weltweit (Pérez-Moreno et al., 2021). Essbare EkM Pilze werden bezüglich hochwertigen Proteinen, Mikronährstoffen und Vitaminen im prozentualen Trockengewichtanteil höher als die meisten anderen Nahrungsquellen eingestuft (Pérez-Moreno et al., 2021). Die Spannweite der Nutzung von den EkM Pilzen ist gross: Von Selbstversorgung in sehr armen ländlichen Bevölkerungsschichten über wichtige Einkommensquelle in ländlichen Gebieten bis zu profitablen internationalen Unternehmen – mit teuren Gourmet Lebensmittel wie Trüffel, Matsutake, Steinpilz, Pfifferling und anderen (Guerin-Laguette, 2021; I. R. Hall et al., 2003; I. R. Hall & Zambonelli, 2012).

Die meisten essbaren EkM Pilze sind obligate Symbionten. Sie können ihren Lebenszyklus nur durch die Versorgung des Myzels mit Photosynthaten einer Wirtspflanze abschliessen (Karwa et al., 2011). Aus diesem Grund ist es nicht möglich Fruchtkörper von *Boletus spp.*, *Tuber spp.* oder anderen

essbaren EkM Pilzen auf organischen Substraten zu produzieren, wie dies mit saprophytischen Edelpilzen gemacht wird (Boa, 2004).

1.3.3 Trüffel

Im weitesten Sinne sind Trüffel Pilze, die ihre Sporen in abgegrenzte Fruchtkörper unter dem Boden oder in der Laubschicht absondern (Bonito & Smith, 2016). Hypogäische Pilze (unter der Erdoberfläche, im Boden oder der Streuschicht vorkommend oder lebend), die zum Stamm der Ständerpilze (Basidiomycota) gehören, werden manchmal «Falsche Trüffel» genannt - ein historisch verwendeter Name für die Unterscheidung dieser Trüffel von denjenigen aus dem Stamm der Schlauchpilze (Ascomycota) (Bonito & Smith, 2016). Zu den «Echten Trüffeln» werden die Trüffel aus der Gattung *Tuber* gezählt (Bonito & Smith, 2016). In dieser Arbeit wird der Ausdruck Trüffel in Bezug auf die «Echten Trüffel» verwendet.

Trüffelpilze sind auf eine symbiotische Verbindung angewiesen, um EkM bei spezifischen Wirtspflanzen zu bilden sowie ihren Lebenszyklus mit der Entwicklung von Sporen bildenden

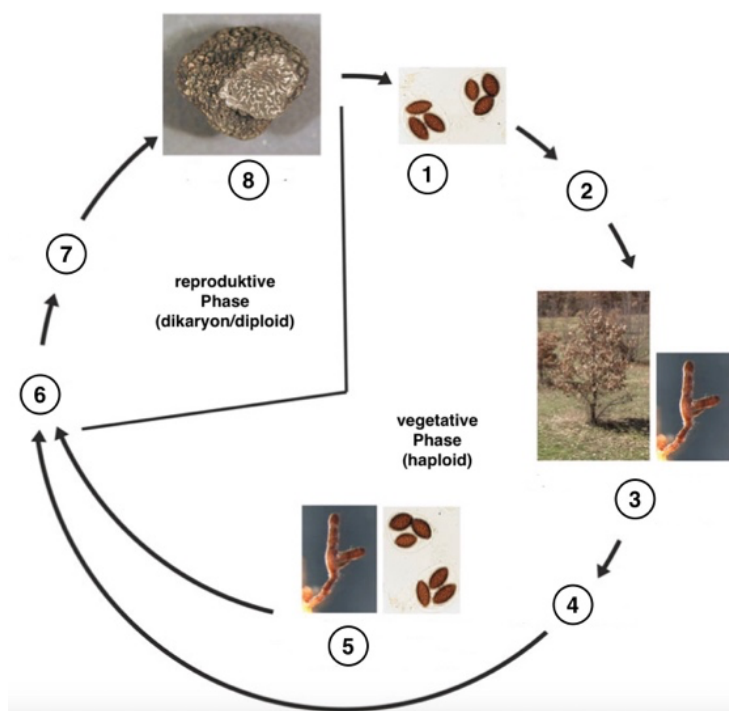


Abb. 7: Lebenszyklus von *Tuber* spp. (abgeändert aus Rubini et al. (2012)). Ascosporen werden vom reifen Ascocarp in den Boden abgegeben (1), keimen und produzieren MAT (+) und MAT () primäres haploides Myzel (2). Das primäre Myzel kolonisiert die Baumwurzeln und formt die EkM (3). Bei günstigen klimatischen Bedingungen beginnt MAT (+) und MAT () Myzel aus den Mykorrhiza zu wachsen (4). Der Kontakt mit Myzel mit entgegengesetztem Paarungstyp (5) aus Ascosporen oder von benachbarten Bäumen wird gebraucht, damit eine Befruchtung stattfindet (6). Daraus entsteht der Ascocarp - Fruchtkörper, Trüffel (7), der aus dikaryotischen Hyphen und dem Gleba (Fruchtmasse) besteht (Rubini et al., 2012)

Fruchtkörpern zu vollenden (Mello et al., 2006). Trüffel fruchten häufig in der Nähe der Wurzelzone von Waldbäumen und zeigen eine Reihe von unterschiedlichen makroskopischen Charakteristiken wie Farbe, Form, Grösse, Textur und Aroma (Bonito & Smith, 2016; Hall, 2007). Auch die mikroskopischen sowie die Genom- und Entwicklungseigenschaften variieren stark zwischen verschiedenen Trüffelarten und -linien (Bonito & Smith, 2016). Viele Details zur natürlichen Ökologie der meisten Trüffelarten sind noch unbekannt (Bonito & Smith, 2016; Hall, 2007). Sehr wahrscheinlich haben Trüffel ihren Ursprung in Eurasien (Lebel & Beever, 2014).

Trüffel haben sich parallel zu Pflanzen und Tieren diversifiziert – die Evolution und Verteilung der Pilz-, Pflanzen- und Tiersymbionten formten ein Netz, das sich in Zeit und Raum überschneidet (Bonito & Smith, 2016). Die Artenbildung und Funktion der Trüffel in Ökosystemen ist eng verbunden mit ihrer ektomykorrhizalen Ökologie und vermutlichen Co-Diversifizierung mit grossen Pflanzenfamilien wie zum Beispiel *Pineaceae*, *Fagaceae* und *Salicaceae*, sowie mit ihrer Anpassung zur Verbreitung mittels Tieren (Bonito & Smith, 2016). Neue «passive» Mechanismen zur Sporenverteilung sind in vielen Trüffellinien aufgetaucht. Diese Pilze haben Mechanismen entwickelt, anhand derer sie Tiere mit der Produktion von olfaktorischen oder visuellen Lockmitteln anziehen (Lebel & Beever, 2014), sodass die Tiere zum Verzehr und zur Verteilung der Trüffelsporen bewegt werden. Auf der Nordhalbkugel wie auch auf der Südhalbkugel finden sich viele Beispiele für die Koevolution von Trüffeln mit Säugetieren, respektive Beuteltieren (Claridge et al., 2014).

Vermutlich finden sich weltweit mehr als 180 Trüffelarten (Bonito et al., 2010), jedoch werden nur einige wenige in der Gastronomie und von Gourmets hochgepriesen für ihren unverwechselbaren kulinarischen Wert (Stobbe et al., 2013). Der internationale Markt wird von drei Hauptarten dominiert. Der exklusivste ist *Tuber magnatum*, gefolgt von *Tuber melanosporum* und *Tuber aestivum* syn. *Tuber uncinatum* (Hall, 2007; Wedén et al., 2005).

Nebst den Ernten aus natürlichen Vorkommen haben in den letzten Jahrzehnten Trüffelplantagen (zum Beispiel in Frankreich, Italien und Spanien) an Bedeutung gewonnen (Bonet et al., 2009). Bereits in den 1970er Jahren wurde eine Technik entwickelt, mit welcher eine künstliche Mykorrhizierung von Wirtspflanzen erreicht werden konnte und bald darauf zum Standard für die Trüffelkultivierung wurde (Hall, 2007). Einige Arten wie *Tuber magnatum* konnten bis jetzt nicht kultiviert werden (Hall et al., 1998), während Plantagen mit *Tuber melanosporum* sich an geeigneten Standorten weltweit als weitgehend erfolgreich erwiesen (Bonet et al., 2009). Die Erfolge in der Kultivierung von Trüffeln macht Trüffelbäume zu interessanten Komponenten in Agroforst Systemen. Verschiedene Baumarten eignen sich für die Trüffelkultur, unter anderem Hasel und Eichen.

2 Agroforst

Agroforst Systeme sind eine Form der Landnutzung, wobei Gehölze (Bäume oder Sträucher) mit Ackerkulturen und/oder Tierhaltung so auf einer Fläche kombiniert werden, dass zwischen den verschiedenen Komponenten ökologische und ökonomische Vorteilswirkungen entstehen (Nair, 1993). Sowohl ökologische (Interaktion zwischen Arten, Artenvielfalt), als auch kulturelle Komponenten (Landschaft, Erholung) werden abgedeckt (Püttsepp et al., 2022). Mit dem Begriff der Agroforstwirtschaft (AF) werden verschiedene alte, in Europa weit verbreitete Landnutzungspraktiken zusammengefasst, bei denen verholzende Stauden, Tiere und/oder Nutzpflanzen in einem kombinierten System bewirtschaftet werden (Püttsepp et al., 2022). Agroforst Systeme bringen Vorteile für die Umwelt: Erhöhte Bodenqualität und Kohlenstoffbindung, Regulierung von Abfluss und Erosion, Schutz der biologischen Vielfalt und verbesserte Lebensräume für Wildtiere (Wilson & Lovell, 2016).

2.1 Mikroklima in Agroforst

Die Schaffung von Strukturen in Agroforst Systemen schafft kleinräumig Veränderungen von Klimaparametern wie Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Strahlungsintensität (Cleugh, 1998; Jose et al., 2004; McNaughton, 1988). Dazu zählen eine reduzierte Windgeschwindigkeit, eine Verringerung der Temperaturextreme und eine höhere Wasserverfügbarkeit (Quinkenstein et al., 2009). Die Intensität des Einflusses auf das Mikroklima hängt wesentlich von der Ausrichtung der Gehölzflächen, ihrer Struktur und Höhe ab (Böhm et al., 2014).

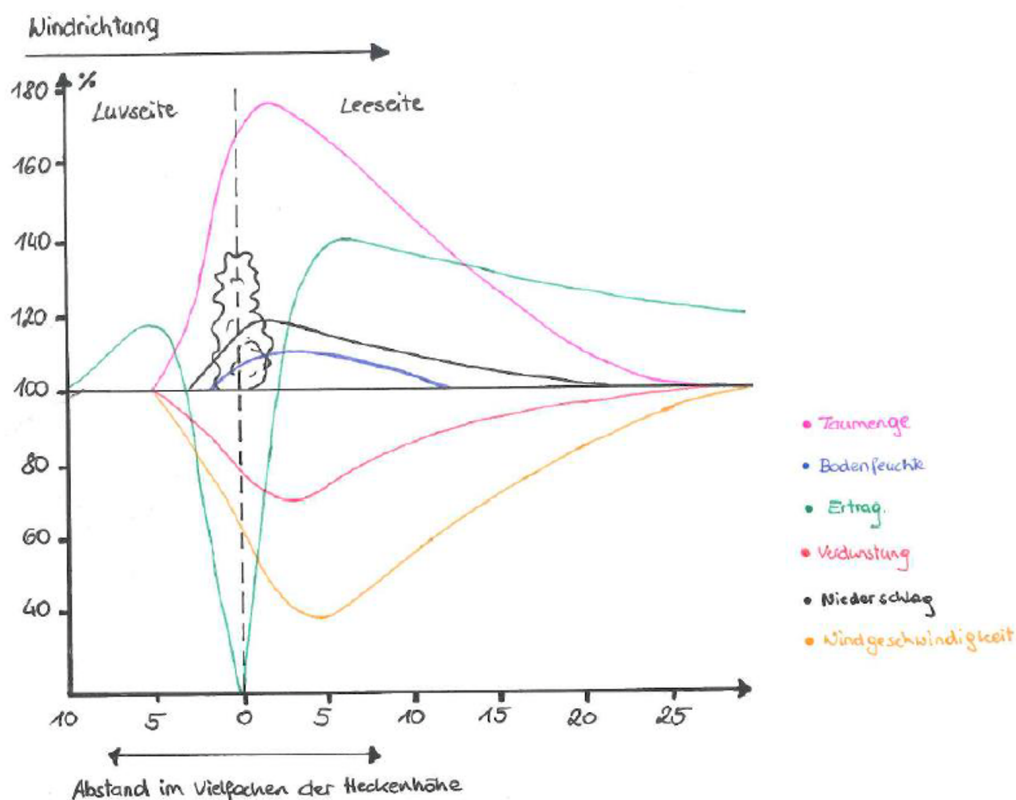


Abb. 8: Mikroklimatische Veränderungen im Nahbereich einer Hecke (aus Ableidinger et al., 2020).

2.1.1 Strahlungsintensität

Bei einer Ost-West Ausrichtung der Hecke/Baumreihe wird die Fläche nördlich des Gehölzstreifens am stärksten beschattet, was bei Ackerkulturen zu einer geringeren Produktivität führen kann (Chalmin, 2009; Sudmeyer & Speijers, 2007), für die Kultivierung von Edelpilzen wie Seitlingsarten jedoch förderlich ist. Nord-Süd ausgerichtete Hecken/Baumreihen verteilen den Schatten gleichmässig und zur Zeit der höchsten Strahlungsintensität fällt der Schatten in die Reihe (Böhm & Tsonkova, 2018).

2.1.2 Luftfeuchtigkeit

Die geringere Windgeschwindigkeit insbesondere während der Vegetationszeit in (mehrreihigen) Hecken und Baumreihen und der damit verbundene gehemmte Luftaustausch führt zu einer höheren Luftfeuchtigkeit (Böhm et al., 2014). Im Jahresverlauf ist der Unterschied zwischen Wald und Feld im Sommer und Herbst am grössten. Im Winter gibt es deutlich geringere Luftfeuchteunterschiede. Die windbremsende Wirkung von Baumreihen und Hecken kann die Luftfeuchtigkeit in angrenzendem Acker- und Grünland beeinflussen (Böhm & Tsonkova, 2018), was für die Kultivierung von Edelpilzen angrenzend zu Hecken und Baumreihen in Agroforst essenziell ist. Die relative Luftfeuchtigkeit hängt jedoch auch stark von der Lufttemperatur ab. So kann diese auf der Südseite von Ost-West orientierten Hecken und Baumreihen auch niedriger sein als im freien Feld (Ableidinger et al., 2020; Böhm & Tsonkova, 2018), das heisst nur auf die nördliche Seite von Ost-West orientierten Reihen eignen sich für die Kultivierung von Edelpilzen. Für die Trüffelpilzkultur ist dies nicht relevant.

2.1.3 Niederschlag

Durch die veränderten Windverhältnisse in Agroforst Systemen kann es auf der windabgewandten Seite zu einer lokalen relativen Erhöhung der Niederschläge kommen, während auf der Leeseite eine Regenschattenzone entstehen kann (siehe Abb. 8) (Böhm & Tsonkova, 2018; Brandle et al., 2004). Diese Zone mit niedriger Strahlungsintensität, Windstille und erhöhten Niederschlägen eignet sich für die Kultivierung von Edelpilzen. Diese Zone betrifft höchstens das Einfache der Gehölzhöhe (Ableidinger et al., 2020; Böhm & Tsonkova, 2018), wird jedoch von der Windrichtung, der Windstärke, der Art des fallenden Niederschlags (Regen oder Schnee), der Stärke und Dauer des Niederschlags und der Kronenoberfläche (bestimmt durch die Bestandesdichte, Baumart und Jahreszeit) beeinflusst (Böhm & Tsonkova, 2018; Herbst et al., 2006). Trüffel wie auch Edelpilze sind auf eine gewisse Menge Niederschlag angewiesen, um wachsen zu können. In Trüffelpilzkulturen wird deshalb oft bewässert.

2.1.4 Taubildung

In den länger beschatteten und stärker windgeschützten Zonen werden die Kulturen länger vom Tau benetzt als im Freiland. Die Taubildung setzt 1–2 h früher ein und bleibt etwa 2–3 h länger erhalten (Spahl & Bönecke, 1990).

2.1.5 Windgeschwindigkeit

Die Dichte der Hecke oder Baumreihe bestimmt die Windreduktion. Je höher die Dichte, desto mehr rückt die am stärksten windgeschützte Zone in die Nähe der Hecke oder Baumreihe und desto niedriger ist die Windgeschwindigkeit in dieser Zone (Cleugh, 1998). Je nach Anordnung der Hecken oder Baumreihen kann auch ein Tunneleffekt mit erhöhten Windgeschwindigkeiten zwischen den Reihen entstehen (Böhm & Tsonkova, 2018), was sowohl für die Edelpilz Kultivierung als auch für die Trüffelskultur nachteilig ist.

3 Material und Methoden

3.1 Leitfaden-gestütztes Experteninterview

Mit dem Ziel der Gewinnung von Fakten, die sich aus anderen Quellen nicht oder nur eingeschränkt ermitteln lassen, wurde ein strukturierter Leitfaden entwickelt für die Befragung von Expert:innen, nach Bogner et al. (2014) und Kaiser (2014). Das Ziel des Interviews ist die Abfrage von spezifischem Wissen, das zur Beantwortung der vorhergehend definierten und theoretisch eingebetteten Forschungsfragen notwendig ist (Kaiser, 2014). Dabei wurden die Forschungsfragen in Interviewfragen übersetzt und in thematische Blöcke gegliedert (siehe Anhang 2).

Als Interviewform wurde das halbstrukturierte Leitfadeninterview nach Döring & Bortz (2016) gewählt. Dabei handelt es sich um eine qualitative Interviewform mit vorher entwickelten Leit- und Unterfragen, welche auf die Befragungsperson abgestimmt werden. Bei dieser Interviewform können auch spontan auftretende neue Fragen integriert und die Reihenfolge der Fragen angepasst werden. Ziel soll es sein, dass die befragte Person möglichst frei und offen antworten kann und der Redefluss möglichst nicht gebrochen wird (Döring & Bortz, 2016).

Die Interviews wurden mit Einverständnis der Expert:innen aufgenommen. Aus den Audioaufnahmen der Interviews wurden Aussagen thematisch vorsortiert und anschliessend inhaltsbezogene Zusammenfassungen erstellt.

4 Resultate

Folgende Pilzarten wurden anhand der Interviews und der Literaturrecherche als geeignet für die Kombination mit Agroforst Systemen in der CH ausgewählt: Trüffel (*Tuber ssp*) und Seitlinge (*Pleurotus ssp*).

Diese Pilzarten eignen sich für die Kombination mit Agroforst in der Schweiz, da sie

1. Im Freiland kultivierbar sind,
2. in Symbiose mit oder auf Holz / Schnittgut von einheimischen Gehölzen wachsen und
3. Ein Markt für diese Pilze vorhanden ist.

In den nächsten Abschnitten wird die Kultur der ausgewählten Pilze erläutert und mögliche Kombinationen mit Agroforst Systemen vorgestellt. Weitere mögliche Pilzarten werden in der Diskussion behandelt.

4.1 Trüffelpultur

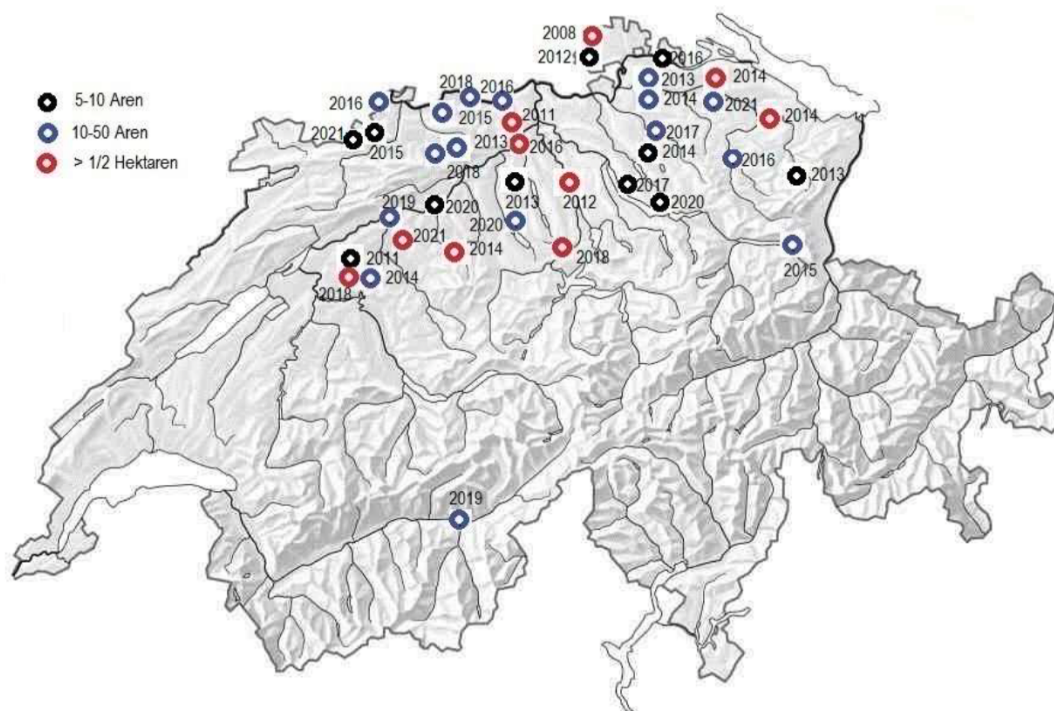


Abb. 9: Betreute Trüffelpplantagen in der Schweiz bis 2021: 11'000 Trüffelpbäume auf 15 ha (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)

PP2 betreut aktuell auf fachlicher Ebene ungefähr 25 ha Fläche von Landwirt:innen mit Trüffelpkulturen. Für einen erfolgreichen Anbau von Trüffeln können drei wichtige Bereiche definiert werden: Die Standortvoraussetzungen, die Fachkompetenz Anbautechnik und die Qualität des Pflanzguts (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023). Die Überlebenschance des Trüffel-Myzels beträgt in idealen Bedingungen 80-90 %, durchschnittlich 20-30 % der Pflanzen (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023). Je nach Trüffelfelart sind die Erntezeiten, Preise, Aromen und Standortansprüche unterschiedlich (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7. Alle interviewten Trüffelproduzent:innen kultivieren Burgundertrüffel, einige auch Wintertrüffel und Gross-Sporige Trüffel (siehe Anhang 1). Bis anhin ist die Kultur von Périgordtrüffeln in der

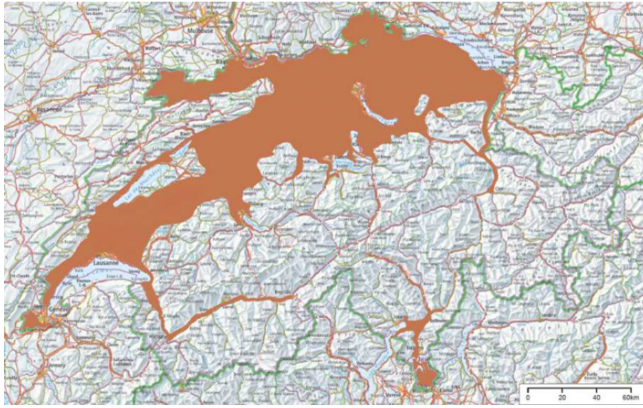


Abb. 10: Anbaupotenzial CH (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)

CH noch nicht gelungen. Einige Produzent:innen haben vor kurzem neue Périgord Plantagen angelegt (siehe Anhang 1).

Die professionelle Trüffelpolitik in der CH ist mit beträchtlichem Aufwand verbunden. Die Zahlen reichen von 80 Stunden bis zu 200 Stunden pro Jahr und ha (siehe Anhang 1). Dazu kommen Erstellungskosten von 25'000.- plus Folgekosten von 5'000.- 10'000.- (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023).

				Preis (CHF / 100g)	
Trüffelart	Saison	Kultur CH	Eigenschaften	1. Qualität / Sélection Cuisine	Import Detailhändler CH
Sommertrüffel <i>Tuber aestivum</i>	Juni – August		- Schwaches Aroma - in CH wenig ausgeprägte Vorkommen		20.- bis 50.-
Burgunder Trüffel <i>Tuber Uncinatum</i>	September – Dezember	✓	- Feines Aroma Haselnuss, Steinpilz, Erde, Moos - Biologische Unterart von <i>Tuber Aestivum</i> - Synonym: Herbsttrüffel, Schweizertrüffel, Graue Trüffel	60.- bis 80.-	
Wintertrüffel <i>Tuber Brumale</i>	Dezember – Februar	✓	- Starkes Aroma Moschus - Günstige Version von <i>Melanosporem</i> - In CH selten - Synonym: Muskatrüffel	100.-	
Frühjahrstrüffel <i>Tuber Borchii</i>	Februar – März	✓	- Starkes Aroma Knoblauch - Günstige Version von <i>Magnatum Pico</i> - Synonym: Marzuolo, Weissliche Trüffel, Bianchetto	80.-	
Gross-Sporige Trüffel <i>Tuber Macrosporum</i>	September – November	✓	- mildes Aroma Knoblauch - Geheimtipp		

Périgordtrüffel <i>Tuber Melanosporum</i>	Januar – Februar	• Edles Aroma Schokolade und Muskat • sehr vielseitig einsetzbar in der Küche • Betrug mit Chinatrüffel • Synonym: Schwarze Trüffel, Französische Trüffel	180.-
Weisse Trüffel <i>Tuber Magnatum Pico</i>	Oktober – Dezember	• Edles Aroma Käse / Knoblauch • Nur rohe Verwendung • Betrug mit Aromen • Synonym: Alba-Trüffel, Piemonttrüffel • Kultur weltweit noch nicht gelungen	200.- bis 900.-

Tabelle 6: Trüffelarten: Erntefenster, Eigenschaften, Preise, zusammengestellt aus Unterlagen von PP2 (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)

Für die Burgundertrüffel Anlagen wurden unter anderem folgende Baumarten verwendet: Buche, Eiche, Hasel, Schwarzkiefer und Hainbuche. Für den Périgordtrüffel hauptsächlich Hasel, Eiche und wenige Hängebirken und Zedern (siehe Anhang 1). Für alle interviewten Trüffelproduzent:innen ist der Trüffelanbau ein Nebenerwerb. Durch die Erweiterung des Angebots mit Trüffelbaum Patenschaften und Events kann der Umsatz gesteigert werden (PP 3, persönliche Kommunikation, 2023). Bis anhin ist der Verkauf von Trüffeln ein Nischenprodukt, das nur wenig Umsatz pro Jahr generiert (siehe Anhang



Abb. 11: Sommertrüffel, gefunden in Trüffelplantage von PP4

1). Die Trüffelanlagen befinden sich zwischen Jahr 5 und 17 (siehe Anhang 1). Der Trüffelanbau ist ein Mehrgenerationen Projekt – Im Hinblick dessen, dass eine Anlage theoretisch über mehrere Generationen produktiv sein kann, ist es durchaus lukrativ (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023). Der Break-even-point ist bei einem Umsatz von 22'500.- pro Jahr (Real-Umsatz)

bei einer voll produktiven Anlage ungefähr 17 Jahre nach der Erstellung erreicht (50.- Stundenlohn) (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023). Sourzat (2020) beschreibt verschiedene Typen von Trüffelproduzent:innen in Frankreich: Einerseits solche, die durch den Trüffelanbau ein Nebeneinkommen generieren. Sie produzieren Nüsse, Wein, Schafprodukte oder Anderes und haben mehrere Hektaren



Abb. 12: Dunkle Oberfläche eines Sommertrüffels

Trüffelskultur als wichtigen Betriebszweig (Ziel von PP3). Kennzeichnend ist hier eine Bewässerungsanlage, um die Ernte von Trüffeln in jedem Jahr zu garantieren. Andererseits gibt es Trüffelproduzent:innen, die eine oder mehrere Trüffelplantagen haben, womit sie eine Familientradition aufrechterhalten wollen. Dies ist die häufigste Art von Trüffelproduzent:innen. Sie sind zufrieden, wenn sie in günstigen Sommern mit Gewittern ein Einkommen aus der Trüffelskultur erhalten und sind nicht davon abhängig (vergleichbar mit PP4).

Trüffelart	pH	Bodenfeuchte	Exposition	Vegetationsstruktur	Pflanzdichte (Bäume / ha)	Klima
Burgunder Trüffel <i>Tuber Uncinatum</i>	(6,5) 7 – 8,5	Frisch, nicht staunass	unterhalb 800 m.ü.M.	Offen bis geschlossen, optimal halbgeschlossen	800 - 1250	Gemässigtetes Klima
Wintertrüffel <i>Tuber Brumale</i>	6,5 – 7,5 (8,5)	Feucht, nicht staunass	unterhalb 800 m.ü.M.	Halb geschlossen bis geschlossen	800 - 1250	Gemässigtetes bis submediterranes Klima
Frühjahrstrüffel <i>Tuber Borchii</i>	6,5 – 8,5	Frisch, nicht staunass, tolerant gegenüber Trockenheit im Sommer	unter 1000 m.ü.M.	Offen bis geschlossen	600 - 800	Mediterran bis kontinental
Périgordtrüffel <i>Tuber Melanosporum</i>	7,5 – 8,5	Frisch, nicht staunass	unterhalb 500 m.ü.M.	Offen, sonnig	300 – 600	Submediterranes Klima

Tabelle 7: Voraussetzungen für natürliche Vorkommen von Trüffeln (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)

Die Burgundertrüffel werden in der Schweiz bereits an mehreren Standorten kultiviert. Davon gibt es erste Daten zur Entwicklung der Burgundertrüffel in der Schweiz im Jahresverlauf (siehe Abb. 13). Je nach Standort kann dies jedoch variieren. Für den Verkauf eignen sich nur Trüffel 1. Qualität. Diese müssen kompakt sein, keine Frassspuren und Verwachsungen aufweisen, siehe Abb. 12 (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023). Die Trüffel 2. Qualität können zu Trüffelprodukten wie Trüffelbutter und Trüffelpfunden verarbeitet werden. Wobei die Erhaltung der Aromen ohne künstliche Aromen bei Würsten schwierig ist (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023).

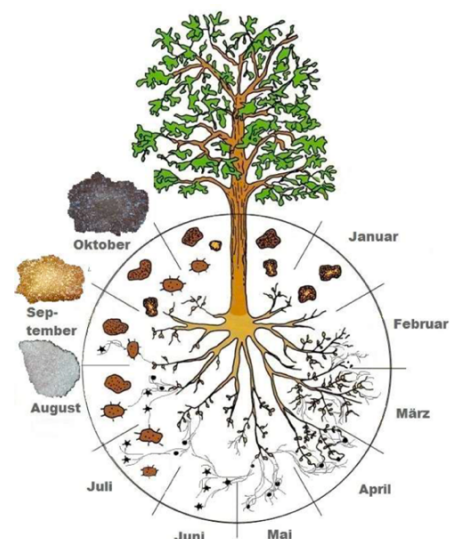


Abb. 13: Die Entwicklung der Burgundertrüffel (*Tuber Uncinatum*) im Jahresablauf, Erfahrungswerte (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023))



Abb. 14: Absatzkanäle (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)

hang 1).

Alle interviewten Produzent:innen geben ihre Trüffel zuerst an Private ab. Weiter werden die Trüffel direkt an die Gastronomie, über Hofläden, den «Trüffel vom Hof» Online Shop oder an kleine Läden verkauft (siehe Abb. 14). **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und An-

Die Bodeneigenschaften sind ein entscheidender Faktor bei der Trüffelskultur. Auch Chevalier & Sourzat (2012) betonen die Wichtigkeit der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens: Selbst wenn eine Pflanze gut mykorrhisiert ist und das Klima günstig ist, kann der Trüffel keine Fruchtkörper bilden, wenn bestimmte Bodeneigenschaften ungeeignet sind. Zu den wichtigsten Bodeneigenschaften gehören: Gute Krümelstruktur, gute Zirkulation von Wasser und Gasen im gesamten Profil, ausreichend organische Substanz, C/N Verhältnis von ungefähr 10, Widerstand gegen Oberflächenerosion, ausgewogene Textur (Ton-Schluff-Sand) und eine mineralische Zusammensetzung, in der kein wesentliches Element mangelhaft oder im Übermass vorhanden ist (Chevalier & Sourzat, 2012). Die alleinige Bodenanalyse von Oberboden ist unzureichend für die Einschätzung, ob ein Boden für die Trüffelskultur geeignet ist (Chevalier & Sourzat, 2012).

4.1.1 Kultur Kombinationen

Bei der Kombination von Trüffelsbäumen mit anderen mehrjährigen Kulturen wie Obst- und Nussbäumen, ist darauf zu achten, dass keine Konkurrenz durch andere EkM auftritt (Hall, 2007; PP 2, persönliche Kommunikation, 2023). Auch nahegelegene Windschutz-Hecken können diese Probleme verursachen, indem der Trüffelpilz verdrängt wird (Hall, 2007). Es gibt jedoch viele mögliche Kultur-Kombinationen mit Pflanzen, die eine Symbiose mit AM bilden (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9).

Kultur-Konkurrenz Ektomykorrhiza

Walnuss
Kastanie
Haselnuss
Kirsche

Wald bäume: Rot-/Weisstanne, Erle, Birke, Buchen, Zeder, Weissdorn, Kiefern, Pappeln, Eichen, Weiden, Linden.

Diese Bäume bergen die Gefahr eine Kontamination mit anderen Pilzen, welche die Trüffel verdrängt.

Kultur-Kombination Endomykorrhiza

Birne
Apfel
Kornelkirsche
Schlehe
Holunder

Wald bäume: Ahorn, Rosskastanie, Zypressen, Esche, Wacholder, Maulbeer, Platanen, Rhododendren, Vogelbeere, Mehlbeere, Eibe, Ulmen.

Diese Baumarten bergen keine Gefahr der Kontamination.

Tabelle 8: Kultur Kombinationen und Konkurrenz durch EkM (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)

Konkurrenz		Kombination	
	Botanischer Name		Botanischer Name
Erlen	<i>Alnus</i>	Mandel	<i>Prunus dulcis</i>
Buchen	<i>Fagus</i>	Apfel	<i>Malus</i>
Birken	<i>Betula</i>	Aprikose	<i>Prunus armeniaca</i>
Zedern	<i>Cedrus</i>	Eschen	<i>Fraxinus</i>
Traubenkirsche	<i>Prunus padus</i>	Berberitzen	<i>Berberis</i>
Sauerkirsche	<i>Prunus cerasus</i>	Brombeere	<i>Rubus fruticosus</i>
Vogelkirsche	<i>Prunus avium</i>	Hartriegel	<i>Cornus</i>
Kastanien	<i>Castanea</i>	Feige	<i>Ficus carica</i>
Tannen	<i>Abies</i>	Weinreben	<i>Vitis</i>
Weissdorn	<i>Crataegus</i>	Hibiskus	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>
Haselnuss	<i>Corylus</i>	Wacholder	<i>Juniperus</i>
Pekannuss	<i>Garya illinoensis</i>	Ahorne	<i>Acer</i>
Hainbuchen	<i>Carpinus</i>	Maulbeeren	<i>Morus</i>
Lärchen	<i>Larix</i>	Olive	<i>Olea europaea</i>
Linden	<i>Tilia</i>	Pfirsich	<i>Prunus persica</i>
Eichen	<i>Quercus</i>	Birne	<i>Pyrus communis</i>
Kiefern	<i>Pinus</i>	Kaki	<i>Diospyros kaki</i>
Pappeln	<i>Populus*</i>	Pflaume	<i>Prunus domestica</i>
Fichten	<i>Picea</i>	Schlehe (Schwarzdorn)	<i>Prunus spinosa</i>
Walnuss	<i>Juglans</i>	Liguster	<i>Ligustrum</i>
Zistrosen	<i>Cistus</i>	Mehlbeeren	<i>Sorbus</i>
Wilde Birne	<i>Pyrus pyraeaster</i>	Schneeball	<i>Viburnum</i>
Elsbeere	<i>Sorbus torminalis</i>	Eibe	<i>Taxus baccata</i>
Weiden	<i>Salix*</i>		

* können auch mit AM assoziieren

Tabelle 9: Kultur Konkurrenz und Kultur Kombinationen für Trüffelbäume, angepasst aus Hall (2007) (Auswahl)

Je nach Trüffelart ist eine andere Vegetationsstruktur anzustreben (siehe Tabelle 7). Für eine Kombination mit Agroforst ist die Vegetationsstruktur und Pflanzdichte der Trüffelpflanzen und Kombination mit anderen Bäumen und Sträuchern ausschlaggebend. Zum Beispiel könnte der Périgordtrüffel in weiter auseinanderliegende Baumreihen integriert werden, während der Burgundertrüffel eher für mehrreihige Hecken mit halbgeschlossenen Baumkronen geeignet ist. Aktuell werden Trüffel in «Monokultur» Plantagen angebaut, wobei hier jedoch nicht mit anderen landwirtschaftlichen Monokulturen verglichen werden kann, da oft verschiedene Baum- & Straucharten gemischt verwendet werden. Das Potenzial für Mischkulturen von Trüffeln mit wirtschaftlich interessanten Symbiosepartnern, die für Nahrung, Fasern oder Energie verwendet werden können, ist gross (Benucci et al., 2012). Zum Beispiel gibt es im südlichen Teil Europas natürliche Vorkommen von *T. melanosporum* und *T. brumale* in Haselnussplantagen (Reyna, 2007). Chevalier & Sourzat (2012) erwähnen, dass das Vorhandensein winterharter Pflanzen (wie zum Beispiel Brombeersträucher, Gräser u.a.) für die Trüffel ebenso günstig sein kann wie Weinreben oder Lavendelstängel. Vorallem die Kombination von Trüffelpflanzen mit Beeren und Kräutern ist eine interessante Variante für Agroforst Systeme, wie zum Beispiel Mehrnutzungshecken.

4.2 Edelpilze

Für einen erfolgreichen Anbau von Edelpilzen im Freiland ist die Nähe zum Betriebszentrum essenziell (Ableidinger et al., 2020; PP 1, persönliche Kommunikation, 2023). Bei günstigen Bedingungen wach-



Abb. 15: Eingegrabenes Rundholz am Waldrand (4. April 2023)

sen die Pilze sehr schnell und es ist eine tägliche Ernte notwendig, da sonst ein Grossteil entweder von Schnecken abgefressen oder von Würmern befallen wird (PP 1, persönliche Kommunikation, 2023). PP1 verwendet bis anhin zwei verschiedene Anbaumethoden: Rundholz Stücke (in Boden eingegraben, Abb. 15) und Holzstämme (liegend, Abb. 17). Die Anlage befindet sich auf 620 m.ü.M, östlich vom Waldrand, in Hanglage Richtung Westen (Abb. 16). PP1 hat seine Pilzkultur mit Austern- und Limonenseitlingen am Waldrand angelegt. Die Auf- & Fallwinde während des unbelaubten Zustands des Waldes verhinderten die Bildung von Austernseitlingen im Winter.

Die Limonenseitlinge haben im Sommer einen guten Ertrag ergeben. Um in der Zone der Pilzkultur Windstille

zu haben, müsste eine Hecke so gestalten werden, dass auch in den Wintermonaten der Windschutz

gewährleistet ist. Dies kann anhand einer Verdichtung mit mehreren Reihen und der Mischung von Sträuchern und Bäumen geschehen, um die ganze Zone vom Boden bis zu den Baumkronen abzudecken. Je dichter die Hecke, desto weniger Wind gibt es in der Zone nahe der Hecke (siehe Kapitel Windgeschwindigkeit).



Abb. 16: Luftbild der Pilzanlage unterhalb der Wohngebäude und oberhalb des Waldes (Swisstopo, 2023)

Bei den liegenden Stämmen wurden die Pilze durch zurückspritzende Erde bei Regen verschmutzt, was viel Putzarbeit bedeutet. PP1 hat einige Ideen zur Verbesserung der Pilzkultur im Freiland. Einerseits möchte PP1 mit halbfertigem Kompost arbeiten und die Pilze durch einen mechanischen Schneckenschutz (Metalleingrenzung) schützen. Andererseits hat PP1 die Idee, die Rundholz Stücke nur auf die Erde zu stellen anstatt sie zu vergraben und anschliessend mit Kompost aufzufüllen (ungefähr 5 m³ pro 100 m²). Bei den liegenden Holzstämmen möchte PP1 die Stämme zu zwei Drittel eingraben oder ebenfalls mit Kompost auffüllen und anschliessend Gras einsäen, um dem Verschmutzen der Pilze vorzubeugen.



Abb. 17: Liegende Holzstämmen für die Seitling Kultur von PP1

Ebenfalls eine Idee für die Zukunft sind Holzbeigen mit Stämmen versetzt übereinander gestapelt, damit Nischen für die Pilze entstehen. Dies wäre gut kombinierbar mit Agroforst Systemen, wo der Zugang mit Maschinen möglich ist (zum Aufbeigen der Stämme).

Ein Risiko in Agroforst ist gemäss PP1, dass durch zu dichten Bewuchs kein Gras mehr wachsen kann



Abb. 18: Austernseitling, gewachsen in einer Nischen von versetzt übereinander gestapelten Holzstämmen, 4. April 2023

und somit die Pilze durch Erde verschmutzt werden. Ein weiteres Risiko sieht PP1 in ungenügendem Windschutz und zu wenig Beschattung in Agroforst Systemen. Die Einbringung von viel organischem Material in Form von unfertigem Kompost kann eine Versauerung des Bodens oder eine Schwefelbelastung verursachen (PP 1, persönliche Kommunikation, 2023). Durch eine Fruchtfolge, beispielsweise mit Beeren, bei der die Pilzproduktion alle paar Jahre an einen neuen Ort verlegt wird, könnte diesem Problem entgegengewirkt werden. Schnecken sind im Freiland Anbau von Pilzen ein grosses Risiko. Hier geeignete Lösungen zum Schutz der Pilze zu finden ist unabdingbar.

Die Vorbereitung der Brut, das Beimpfen und Durchwachsen der Stämme nimmt viel Zeit in Anspruch, davon die Herstellung der Brettchen (werden analog zu Pilzdübeln verwendet) und das Beimpfen der Stämme am meisten.

Um 15 Tonnen Holz mit Brettchen zu «beimpfen» braucht PP1 vier Personen für einen Nachmittag (siehe Anhang 1). PP1 produziert pro Jahr 100 kg Limonenseitlinge auf drei Tonnen Holz seit drei Jahren. Theoretisch wäre 20 Prozent vom Holzgewicht möglich (600 kg), das heisst die Holzstämme sind etwa in der «Halbzeit».

Damit die Pilzkultur im Freiland für PP1 zu einem Nebeneinkommen werden kann, braucht es in seiner Region einen Markt dafür. PP1 kennt einige Produzent:innen, die ihre Freiland Pilze direkt über ihre Hofläden verkaufen. Dies muss noch am selben Tag der Ernte geschehen. Einige liefern an die Gastronomie. Damit PP1 seine Produktion ausweiten kann, braucht es ein Verteilzentrum für die Pilze, beziehungsweise einen gesicherten Absatz, da PP1 keinen Hofladen hat. Der Preis für Bio Seitlinge in der CH ist 22.- / kg, gegenüber einem Weltmarktpreis von 4.- bis 8.- / kg (PP 1, persönliche Kommunikation, 2023).

Es ist wichtig, die genetische Vielfalt zwischen Arten und Stämmen eines kommerziellen Pilztyps (z. B. den verschiedenen Pleurotus-Arten) zu verstehen. Anhand dieser Vielfalt können Stämme durch Selektion und Züchtung an Substrate, Umgebungen und Anbaumethoden angepasst werden. Eine grössere genetische Vielfalt bietet mehr Möglichkeiten zur Auswahl nach Pilzertragsmerkmalen wie Pilzgrösse, Farbe, Form und Geschmack, Textur, Fruchtsaison und biologische Effizienz (BE, ein Mass für die Effizienz, mit der eine Sorte Substratmasse in Pilzmasse umwandelt) (Bruhn, 2015). Hier besteht noch viel Forschungsbedarf. Die Auswahl der Pilze für die Kultur in Agroforst Systemen sollte auf Wissen bezüglich der Produktivität eines Pilzstamms auf den verfügbaren Substraten basieren (Bruhn, 2015).

Bei einem Agroforst System mit Hecken in Ost-West-Ausrichtung können Pilze wie der Seitling im Schatten der Hecke kultiviert werden, während auf der Südseite wärmeliebende Kräuter und Anderes angebaut werden kann (Ableidinger et al., 2020). Je nach Hauptwindrichtung muss die Ausrichtung angepasst werden, um auf der windabgewandten Seite der Hecke saprophytische Pilze kultivieren zu können. In diesem Bereich der Hecke herrschen durch die erhöhte Taubildung, Bodenfeuchte und Niederschlagsmenge sowie die Windstille ideale mikroklimatische Bedingungen für die Pilzkultur (siehe Abb. 8). Je nach Pilzart ist die Möglichkeit der Bewässerung durch eine Sprinkleranlage sinnvoll.

5 Diskussion

Die Kultur-Kombinationen lassen sich je nach Erntefenster der Pilze so gestalten, dass sich eine zeitlich günstige Abfolge von Arbeiten auf der Fläche ergibt. Die Erntefenster der Trüffelarten (siehe Tabelle 6) lassen ein breites Spektrum von Kultur-Kombinationen zu, sowohl mit Pflanzen als auch Tieren (siehe Anhang 1: Interview mit PP4). Der Limonenseitling (*Pleurotus citrinopileatus*), die Braunkappe (*Stropharia rugoso-annulata*) und der Parasol (*Macrolepiota procera*) bieten sich für eine Kombination mit Beeren- und Wildobsthecken an, da die Erntezeiten im Sommer zusammenfallen. Hier muss darauf geachtet werden, dass die Erntekapazitäten nicht überschritten werden und der Absatz der Produkte gesichert ist. Sowohl bei den Edelpilzen als auch bei den Beeren sind tägliche Erntedurchgänge nötig und die Produkte werden am besten am selben Tag über einen Hofladen oder direkt an die Gastronomie abgesetzt, auch Online Bestellungen mit Ernte nach Bedarf sind denkbar. Nach Wolfslehner et al. (2019) ist der Online Verkauf von Nischenprodukten in Europa weit verbreitet und vielversprechend, da eine grosse Anzahl Menschen mit E-Marketing erreicht werden kann. Pilzarten mit Erntefenstern im Herbst (Burgundertrüffel, Grosssporiger Trüffel) können mit Nussbäumen kombiniert werden, die entweder AM bilden (Mandeln) oder mit Trüffeln beimpft sind (sonst droht Konkurrenz durch andere EkM), um die regelmässige Ernte beider Kulturen in einem Durchgang erledigen zu können.

Eine Sukzession der Ernten der verschiedenen Kulturen über die Jahre sollte angestrebt werden. Zum Beispiel könnte in den Anfangsjahren einer Mehrnutzungshecke die Produktion von Beeren und Kräutern im Vordergrund stehen, welche dann sukzessive durch Nüsse, saprophytische Pilze und Trüffel abgelöst wird. In Lascabanes (Frankreich) hat sich ein Trüffelpauer auf seinem Bio-Bauernhof dafür entschieden, Getreide (Weizen, Dinkel) zwischen Reihen von Trüffelpflanzen zu säen, bis die Bäume ihr Produktionsalter erreicht haben (Sourzat, 2020). Bei einer bestehenden Hecke mit Wildobst kann die Südseite für den Anbau von Beeren und wärmeliebende Kräutern und die Nordseite für saprophytische Pilze genutzt werden (Ableidinger et al., 2020). Falls möglich, können einzelne Teile der Hecke durch Trüffelpflanzen ersetzt oder eine zweite Heckenreihe mit Trüffelpflanzen hinzugefügt werden, sofern die bereits bestehenden Bäume und Sträucher keine konkurrenzierende EkM bilden. Die optimale Nutzung der vertikalen Schichten eines Agroforst Systems bietet die Möglichkeit, Kulturen anzubauen, die sich gegenseitig nicht um Ressourcen konkurrenzieren, sondern sich ergänzen oder fördern. Der Zugang mit Maschinen und Geräten zur Ernte und für den Unterhalt ist bei der Planung der Systeme einzubeziehen.

Bei in der Schweiz wenig bekannten Pilzen wie der Braunkappe (*Stropharia rugoso-annulata*) und dem Parasol (*Macrolepiota procera*, etwas bekannter) müssen sich Produzent:innen erst vorsichtig heran-tasten, da hier kein Markt vorhanden ist- im Gegensatz zu Trüffeln und Seitlingen.

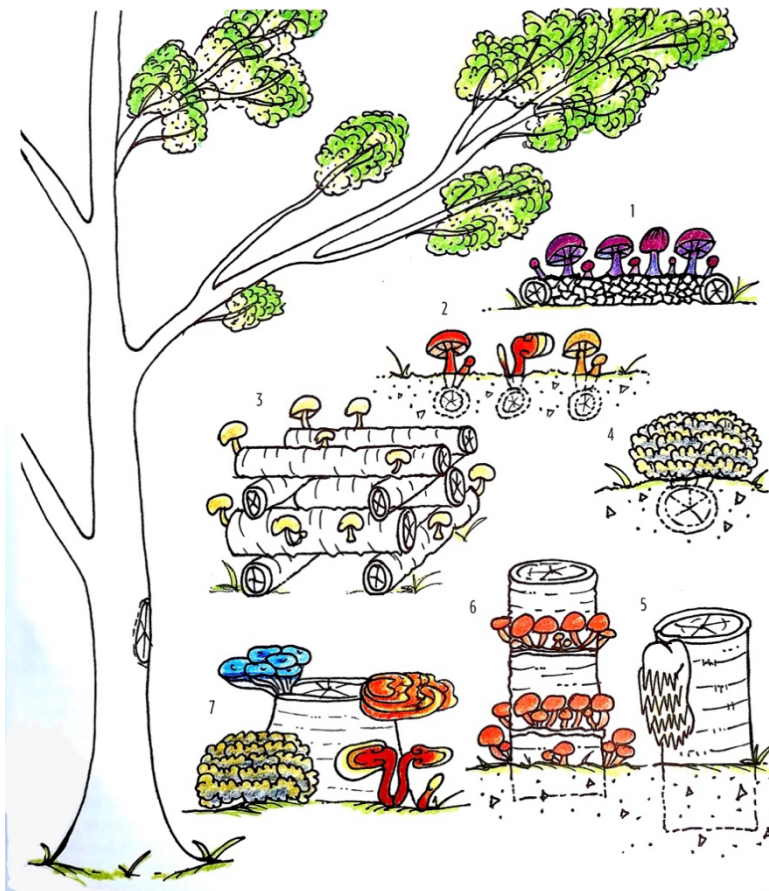


Abb. 19: Weitere Beispiele für die Freiland Pilzkultur: Braunkappen auf Häckselbeet (1), Reishi und Nameko (2), Shiitake (3), Maitake (4), Igel Stachelbart (5), Nameko (6), Austernseitling, Maitake, Schwefelporling und Reishi auf einem Baumstunk (7), abgeändert aus Cotter (2014).

Agroforstsysteme mit Einzelbaumreihen eignen sich nicht für den Anbau von saprophytischen Pilzen, da der Windschutz und die hohe Luftfeuchtigkeit, die diese Pilze brauchen, nicht gewährleistet ist (siehe Mikroklima in Agroforst). Für die Trüffelskultur mit Périgordtrüffeln sind Einzelbaumreihen mit grossem Reihenabstand durchaus denkbar, sofern die Bodeneigenschaften und die klimatischen Verhältnisse stimmen. Was sich hingegen gut für die Pilzkultur von saprophytischen Pilzen eignet sind Heckensysteme (ein- oder mehrreihig, durchmischt mit Bäumen und Sträuchern in ver-

schiedenen Grössen). Trüffel und Edelpilze können auch gemeinsam in einer Hecke angebaut werden. Mehrnutzungshecken wie in Ableidinger et al. (2020) beschrieben bieten nebst dem Anbau von landwirtschaftlichen Produkten auch Habitatfunktion und können als Biodiversitätskorridore genutzt werden.



Abb. 20: Trüffelpflanzung mit Lavendel im Südosten von Frankreich, aus Sourzat (2020)



Abb. 22: Frische Holzhäcksel sind das perfekte Substrat für die Freiland Pilzkultur von Pilzarten wie zum Beispiel der Braunkappe (*Stropharia rugoso-annulata*) oder dem Parasol (*Macrolepiota procera*), Bild aus Cotter (2014)

bäume, Wildobst oder anderen Bäumen und Sträuchern aus einer Hecke bietet sich als Substrat für die Kultur von Pilzen in Holzhäcksel-Beeten an (siehe Abb. 22). Das gebrauchte Substrat kann anschliessend als Nahrung für Regenwürmer in einem Wurmkompost dienen und zum Schluss als Kompost dem Boden zurückgeführt werden (Cotter, 2014).

Aus der natürlichen Assoziation von Bäumen mit Speisepilzen kann ein Vorteil für die Wertschöpfung aus Agroforstsystemen gezogen werden, sodass diese diversifiziert und erhöht werden (Bruhn, 2015). Es können sowohl EkM als auch Saprobionten in Agroforstsysteme integriert werden. So können durch die Pilzproduktion profitable Wege zur Weiterverwertung von Stammholz mit niedrigem Wert, verbliebenen Baumstrünken und Holzhäcksel aus Baumschnitt geschaffen werden (Bruhn, 2015). Die Kombination von Kurzumtriebshecken oder Futterhecken mit Edelpilzen ist grund-



Abb. 21: Anbau von Braunkappen auf Kompostbeeten in China, Bild aus Hu et al. (2021)

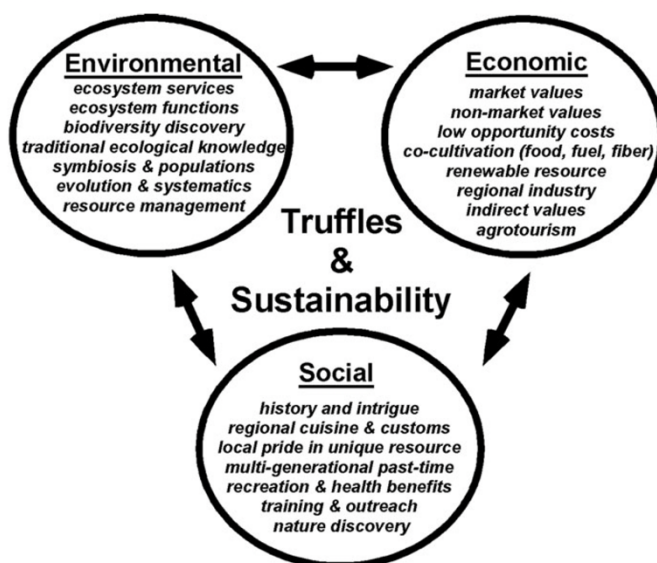


Abb. 23: Trüffelpilzkultur als Treiber der Nachhaltigkeit (ökologisch, sozial und wirtschaftlich), Bild aus Benucci et al. (2012)

sätzlich möglich, falls diese mehrreihig sind, immer nur eine Reihe auf Mal gerodet wird und sich diese in der Nähe des Betriebszentrums befinden.

Der hohe Marktwert und die symbiotische Natur von Trüffeln machen sie zu einem attraktiven Kernstück von resilienten Landnutzungssystemen, (siehe Abb. 23, Benucci et al., 2012). Ökosysteme, die Trüffel produzieren, binden auch Kohlenstoff als

Holzbiomasse und im Boden (Benucci et al., 2012) Durch die Kombination von Trüffeln mit anderen Kulturpflanzen wird nicht nur die Abhängigkeit von einer Kultur abgeschwächt, die Pflanzen profitieren durch die Symbiose (siehe Tabelle 5, van der Heijden et al., 2015). Auch für die Waldnahrungsnetze ist die Trüffelpflanzkultur interessant, da Trüffel für viele Säugetiere Nahrung bieten. Viele Trüffelarten sind zudem eine ruderalen Spezies und störungsangepasst – sie überleben in Habitaten, die für andere Pilze Stress bedeuten (Benucci et al., 2012). *Prunus spinosa* und *Rosa canina* sind Sträucher, aus deren Wurzeln häufig Trüffel geerntet werden, wenn sie in einem Périgordtrüffel „Brûlé“ vorkommen (Sourzat, 2020). Während sich die Trüffelproduktion entwickelt, wird der Strauch nach und nach vernichtet (Sourzat, 2020).

Plant species	Used for			Used in truffle cultivation	Potential multi-cropping
	Fruits	Fuel	Timber		
<i>Quercus ilex</i> L.		×		×	×
<i>Quercus pubescens</i> Willd.		×	×	×	×
<i>Quercus cerris</i> L.		×	×	×	×
<i>Quercus robur</i> L.			×	×	×
<i>Quercus petraea</i> (Mattuschka) Liebl.		×	×		×
<i>Corylus avellana</i> L.	×			×	×
<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.		×		×	×
<i>Carpinus betulus</i> L.			×	×	×
<i>Populus</i> sp.		×	×	×	×
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.			×	×	×
<i>Tilia cordata</i> Mill.			×	×	×
<i>Pinus taeda</i> L.		×	×		×
<i>Pinus pinea</i> L.	×		×	×	×
<i>Pinus halepensis</i> Mill.			×	×	×
<i>Pinus nigra</i> L.			×		×
<i>Cedrus</i> sp.			×	×	×
<i>Carya illinoensis</i> (Wangenh.) K. Koch	×				×
<i>Juglans regia</i> L.	×		×		×
<i>Castanea</i> sp.	×		×		×
<i>Larix</i> sp.			×		×
<i>Pseudotsuga</i> sp.			×		×

Tabelle 10: Baumarten, Nutzungsarten und Potenzial zur Kombination mit Trüffeln, aus Benucci et al. (2012)

Der gemeinsame Anbau von Trüffeln mit anderen Nutzpflanzen ist eine sinnvolle Verbesserung gegenüber dem alten Konzept des Trüffelanbaus, das ausschliesslich auf die Produktion von Trüffeln ausgelegt ist (Benucci et al., 2012). Ernteaussfälle (z. B. bei Nüssen) können durch die Trüffelproduktion ausgeglichen werden. Der Mehrfachanbau von Nutzpflanzen und Trüffel stellt eine gute Alternative zur Förderung von ländlichen Regionen dar, indem er Landwirt:innen eine wertvolle Einkommensquelle bietet (Benucci et al., 2012). Der Anbau von Trüffeln eignet sich insbesondere für die Kombination mit Biolandbau, da in der Trüffelpflanzkultur keine Pestizide verwendet werden, um dem Trüffelmyzel nicht zu schaden (Benucci et al., 2012; PP 2, persönliche Kommunikation, 2023).

Die Mehrfachnutzung von Agroforst hat viele Vorteile, unter anderem die Förderung der Biodiversität (plus Korridorfunktion) und weniger Abhängigkeit von einer landwirtschaftlicher Kultur. Andererseits ist ein kombiniertes System komplex und arbeits- und zeitintensiv – insbesondere in den ersten fünf bis zehn Jahren. Ausserdem kann es für landwirtschaftliche Betriebe schwierig sein, ihre vielfältigen Produkte abzusetzen. Eine Chance könnte hier die zunehmende Nachfrage nach regionalen und Nischenprodukten durch städtische Konsument:innen darstellen, die sich für Natur- und Identitätsprodukte für Gesundheit und Ernährung interessieren – Zielmarkt LOHAS: Lifestyle of Health and Sustainability (Wolfslehner et al., 2019). Eine weitere Entwicklung dieser städtischen Verbrauchernachfrage erfolgt in Form eines erhöhten Interesses an Erlebnisprodukten im Zusammenhang mit Non Wood Forest Products (NWFP's) für den Eigenverbrauch bei Erholungs- und Freizeitaktivitäten (Wolfslehner et al., 2019). Zu den NWFP zählen Beeren, Pilze, aromatische und dekorative Pflanzen, Medizinalpflanzen, Nüsse, Pflanzensäfte und Harze. Per Definition sind dies alle Produkte biologischen Ursprungs (mit Ausnahme von Holz) aus Wäldern, anderen bewaldeten Flächen und Bäumen ausserhalb von Wäldern (FAO, 1999).

PP3 + PP4 bieten beide Angebote in diesem Bereich an, um den tiefen Umsatz der Trüffelskultur in den Anfangsjahren sowie in schlechten Jahren auszugleichen. Viele NWFP's werden in kleinen Mengen aus kleinbäuerlichen Aktivitäten hergestellt, oft unter besonderen oder saisonalen Umweltbedingungen. Alle interviewten Pilzproduzent:innen gehören hier dazu. Diese NWFP's eignen sich für spezialisierte Märkte. Insbesondere Aufgrund der Verbindung, die NWFP's mit Wäldern und traditionellen Aktivitäten haben, haben sie das Potenzial, für den LOHAS-Zielmarkt interessant zu sein (Wolfslehner et al., 2019).

6 Fazit und Ausblick

Die Freiland Pilzkultur ist in der CH noch in den Kinderschuhen. Es gibt nur wenige Produzent:innen, die mehr als im Hobby-Bereich Pilze im Freiland produzieren. Es wird noch viele weitere experimentierfreudige Landwirt:innen brauchen, um das Wissen für diese vielseitigen Systeme zu vertiefen. Standortsspezifische Unterschiede müssen berücksichtigt werden, sowohl im Bezug auf die Kultursysteme als auch die Vermarktung. Es ist wichtig, die Gastronomie und private Konsument:innen abzuholen und diese auf Spezialitäten aufmerksam zu machen (wie das «Terroir» beim Weinbau).

Der prognostizierte Klimawandel wird das Potenzial für den Trüffelanbau in Mitteleuropa erhöhen (Beck et al., 2018; Čejka et al., 2020). Gleichzeitig wird der Effekt von Agroforst Systemen auf das Mikroklima von landwirtschaftlichen Flächen immer wichtiger. Hier die mikroklimatischen Unterschiede je nach Agroforst System optimal auszunutzen, wird die grosse Herausforderung für Landwirt:innen sein.



Abb. 24: Pekannüsse und Pekantrüffel (*T. lyonii*) aus einer kommerziellen Nussplantage, aus Benucci et al. (2012)

Derzeit werden Trüffel mit einer begrenzten Anzahl von Symbiosepartner angebaut. Es gibt jedoch viele unerforschte Möglichkeiten für den Trüffelanbau auf Arten, die für Holz, Biokraftstoffe oder die Nahrungsmittelproduktion (Nüsse) verwendet werden (Benucci et al., 2012). Das Fehlen der Wirtstreue bestimmter Trüffelarten bietet neue Möglichkeiten für deren Kultivierung in Symbiose

mit wirtschaftlich wichtigen Bäumen (Benucci et al., 2012). Es gibt erste Erfolge mit der Beimpfung von Pekannüssen mit *T. aestivum* und *T. borchii* (Benucci et al., 2012). Auch die Walnuss (*Juglans regia*) und die Edelkastanien (*Castanea sativa*) könnten sich potenziell für den Anbau mit Trüffeln eignen, da sich die geeigneten Klima- und Bodeneigenschaften in einigen Fällen mit denen einiger Trüffel überschneiden (Benucci et al., 2012). Auch beim Steinpilz (*Boletus spp*) gibt es erste Kulturerfolge und das Wissen um das Zusammenspiel zwischen Baum, Pilz und anderen Bodelebewesen (Stichwort «Helper Bacteria») vergrössert sich laufend.

Die Trends der „Zurück zur Natur“-Ethik können Teil einer bewussten Lebensstilentscheidung von Menschen sein, die in ländliche Gebiete ziehen und neue NWFP-Unternehmen gründen. Dies vergrössert den Markt für NWFP's, zu dem auch Freilandpilze gehören und den Pool potenzieller Unternehmer (Wolfslehner et al., 2019).

Wie Meyer et al. (2020) treffend formulieren, bietet die Forschung zur Intergration von Pilzen in die Landwirtschaft Lösungen für den Übergang von unserer derzeitigen erdölbasierten Wirtschaft zu einer biobasierten Kreislaufwirtschaft und liefert neue Konzepte, wie wir die Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanze in Zukunft sicherstellen können.

Damit die Kultur von Freiland Pilzen in Agroforst Systemen in der CH erfolgreich sein kann, braucht es sehr viel Know-How seitens der Produzent:innen und eine Stärkung der regionalen Märkte für Nischenprodukte.

7 Literaturverzeichnis

- Ableidinger, C., Erhart, E., Sandler, K., Kromp, B., & Hartl, W. (2020). *Mehrnutzungshecken*. Eigenverlag Bio Forschung Austria, Wien. https://www.bioforschung.at/wp-content/uploads/2020/03/Mehrnutzungshecke_20200321_komprimiert-.pdf.
- Anguix, C. (2011). El cultivo de hongos saprobios. In *Manual para la gestión del recurso micológico forestal en Castilla y León*.
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214.
- Benucci, G. M. N., Bonito, G., Falini, L. B., Bencivenga, M., & Donnini, D. (2012). Truffles, Timber, Food, and Fuel: Sustainable Approaches for Multi-cropping Truffles and Economically Important Plants. In A. Zambonelli & G. M. Bonito (Hrsg.), *Edible Ectomycorrhizal Mushrooms: Current Knowledge and Future Prospects*, S. 265–280. Heidelberg: Springer Berlin.
- Boa, E. (2004). Wild Edible Fungi: A Global Overview of Their Use and Importance to People. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Bogner, A., Littig, B., & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten* (1. Aufl.). Springer VS.
- Böhm, C., Kanzler, M., & Freese, D. (2014). Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry Systems*, 88(4), S. 579–591.
- Böhm, C., & Tsonkova, P. (2018). Effekte des Agrarholzanbaus auf mikroklimatische Kenngrößen. In M. Veste & C. Böhm (Hrsg.), *Agrarholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft: Biologie—Ökologie—Management*, S. 335–389. Heidelberg: Springer Berlin.
- Bonet, J. A., Oliach, D., Fischer, C., Olivera, A., Aragón, J. M. de, Colinas, C., Palahí, M., Birot, Y., Bravo, F., & Górriz, E. (2009). *Cultivation methods of the black truffle, the most profitable mediterranean non-wood forest product; a state of the art review*.
- Bonito, G. M., Gryganski, A. P., TRAPPE, J. M., & VILGALYS, R. (2010). A global meta-analysis of Tuber ITS rDNA sequences: Species diversity, host associations and long-distance dispersal. *Molecular Ecology*, 19(22), S. 4994–5008.
- Bonito, G. M., & Smith, M. E. (2016). General Systematic Position of the Truffles: Evolutionary Theories. In A. Zambonelli, M. Iotti, & C. Murat (Hrsg.), *True Truffle (Tuber spp.) in the World: Soil Ecology, Systematics and Biochemistry* (S. 3–18). Springer International Publishing.
- Bonito, G., Smith, M. E., Nowak, M., Healy, R. A., Guevara, G., Cázares, E., Kinoshita, A., Nouhra, E. R., Domínguez, L. S., Tedersoo, L., Murat, C., Wang, Y., Moreno, B. A., Pfister, D. H., Nara, K., Zambonelli, A., Trappe, J. M., & Vilgalys, R. (2013). Historical Biogeography and Diversification of Truffles in the Tuberaceae and Their Newly Identified Southern Hemisphere Sister Lineage. *PLOS ONE*, 8(1), e52765.
- Brandle, J. R., Hodges, L., & Zhou, X. H. (2004). Windbreaks in North American agricultural systems. *Agroforestry Systems*, 61(1), S. 65–78.
- Bruhn, J. (2015). *What Do We Still Need to Know About Commercial Production of Forest-Grown Specialty Fungi?*
- Cairney, J. W. G. (2000). Evolution of mycorrhiza systems. *Naturwissenschaften*, 87(11), S. 467–475.
- Čejka, T., Trnka, M., Krusic, P. J., Stobbe, U., Oliach, D., Václavík, T., Tegel, W., & Büntgen, U. (2020). Predicted climate change will increase the truffle cultivation potential in central Europe. *Scientific Reports*, 10(1), 21281.
- Chalmin, A. (2009). Produktionsaspekte in Agroforstsystemen mit Werthölzern – landwirtschaftliche Produktion. In *Anbau und Nutzung von Bäumen auf Landwirtschaftlichen Flächen*, S. 275–288.
- Chevalier, G., & Sourzat, P. (2012). Soils and Techniques for Cultivating Tuber melanosporum and Tuber aestivum in Europe. In A. Zambonelli & G. M. Bonito (Hrsg.), *Edible Ectomycorrhizal Mushrooms: Current Knowledge and Future Prospects*, S. 163–189. Heidelberg: Springer Berlin.
- Claridge, A. W., Trappe, J. M., & Paull, D. J. (2014). Ecology and Distribution of Desert Truffles in the

- Australian Outback. In V. Kagan-Zur, N. Roth-Bejerano, Y. Sitrit, & A. Morte (Hrsg.), *Desert Truffles: Phylogeny, Physiology, Distribution and Domestication*, S. 203–214. Heidelberg: Springer Berlin.
- Cleugh, H. A. (1998). Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforestry Systems*, 41(1), S. 55–84.
- Cotter, T. (2014). *Organic mushroom farming and mycoremediation: Simple to advanced and experimental techniques for indoor and outdoor cultivation*. Chelsea Green Publishing.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Springer Berlin.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Springer.
- Egerton-Warburton, L., & Allen, M. F. (2001). Endo- and ectomycorrhizas in *Quercus agrifolia* Nee. (Fagaceae): Patterns of root colonization and effects on seedling growth. *Mycorrhiza*, 11(6), S. 283–290.
- FAO. (1999). *Towards a harmonized definition of non-wood forest products*. *Unasylva*, Vol. 50 (Vol. 50; Unasylva, Vol. 50). Rom: FAO.
- Gehlot, P., & Singh, J. (Hrsg.). (2018). *Fungi and their Role in Sustainable Development: Current Perspectives*. Singapur: Springer.
- Guerin-Laguet, A. (2021). Successes and challenges in the sustainable cultivation of edible mycorrhizal fungi – furthering the dream. *Mycoscience*, 62(1), S. 10–28.
- Hall, I. (2007). *Taming the truffle: The history, lore, and science of the ultimate mushroom*. Timber Press, Inc.
- Hall, I. R., Yun, W., & Amicucci, A. (2003). Cultivation of edible ectomycorrhizal mushrooms. *Trends in Biotechnology*, 21(10), S. 433–438.
- Hall, I. R., & Zambonelli, A. (2012). Laying the Foundations. In A. Zambonelli & G. M. Bonito (Hrsg.), *Edible Ectomycorrhizal Mushrooms: Current Knowledge and Future Prospects* (S. 3–16). Heidelberg: Springer Berlin.
- Hall, I. R., Zambonelli, A., & Primavera, F. (1998). Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies 3. *Tuber magnatum*, tuberaceae. *Economic Botany*, 52(2), S. 192–200.
- Hawksworth David L. & Lücking Robert. (2017). Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiology Spectrum*, 5(4), 5.4.10.
- Herbst, M., Roberts, J. M., Rosier, P. T. W., & Gowing, D. J. (2006). Measuring and modelling the rainfall interception loss by hedgerows in southern England. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141(2), S. 244–256.
- Hobbie, E. A., & Hobbie, J. E. (2008). Natural Abundance of ^{15}N in Nitrogen-Limited Forests and Tundra Can Estimate Nitrogen Cycling Through Mycorrhizal Fungi: A Review. *Ecosystems*, 11(5), S. 815–830.
- Högberg, M. N., & Högberg, P. (2002). Extramatrical ectomycorrhizal mycelium contributes one-third of microbial biomass and produces, together with associated roots, half the dissolved organic carbon in a forest soil. *New Phytologist*, 154(3), S. 791–795.
- Humphreys, C. P., Franks, P. J., Rees, M., Bidartondo, M. I., Leake, J. R., & Beerling, D. J. (2010). Mutualistic mycorrhiza-like symbiosis in the most ancient group of land plants. *Nature Communications*, 1(1), S. 103.
- Hyde, K. D., Xu, J., Rapior, S., Jeewon, R., Lumyong, S., Niego, A. G. T., Abeywickrama, P. D., Aluthmuhandiram, J. V. S., Brahamanage, R. S., Brooks, S., Chaiyasen, A., Chethana, K. W. T., Chomnunti, P., Chepkirui, C., Chuankid, B., de Silva, N. I., Doilom, M., Faulds, C., Gentekaki, E., ... Stadler, M. (2019). The amazing potential of fungi: 50 ways we can exploit fungi industrially. *Fungal Diversity*, 97(1), S. 1–136.
- Jeandroz, S., Murat, C., Wang, Y., Bonfante, P., & Tacon, F. L. (2008). Molecular phylogeny and historical biogeography of the genus *Tuber*, the ‘true truffles’. *Journal of Biogeography*, 35(5), S. 815–829.
- Jose, S., Gillespie, A. R., & Pallardy, S. G. (2004). Interspecific interactions in temperate agroforestry.

- Agroforestry Systems*, 61(1), S. 237–255.
- Kaiser, R. (2014). *Qualitative Experteninterviews* (1. Aufl.). Springer VS.
- Karwa, A., Varma, A., & Rai, M. (2011). Edible Ectomycorrhizal Fungi: Cultivation, Conservation and Challenges. In M. Rai & A. Varma (Hrsg.), *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*, S. 429–453. Heidelberg: Springer Berlin.
- Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R. D., Kuyper, T. W., & van Breemen, N. (2001). Linking plants to rocks: Ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(5), S. 248–254.
- Le Page, B., Currah, R., Stockey, R., & Rothwell, G. W. (1997). Fossil Ectomycorrhizae from the Middle Eocene. *American journal of botany*, 84, S. 410.
- Lebel, T., & Beever, R. (2014). Truffles of New Zealand: A discussion of bird dispersal characteristics of fruit bodies. *Auckland Botanical Society Journal*, 69, S. 170–178.
- Lee, C.-H., Lee, Y.-Y., Chang, Y.-C., Pon, W.-L., Lee, S.-P., Wali, N., Nakazawa, T., Honda, Y., Shie, J.-J., & Hsueh, Y.-P. (2023). A carnivorous mushroom paralyzes and kills nematodes via a volatile ketone. *Science Advances*, 9(3), eade4809.
- Lelley, J. I. (2018). *No fungi no future* (1. Aufl.). Springer-Verlag.
- Li, H., Tian, Y., Menolli Jr, N., Ye, L., Karunarathna, S. C., Perez-Moreno, J., Rahman, M. M., Rashid, M. H., Phengsintham, P., Rizal, L., Kasuya, T., Lim, Y. W., Dutta, A. K., Khalid, A. N., Huyen, L. T., Balolong, M. P., Baruah, G., Madawala, S., Thongklang, N., ... Mortimer, P. E. (2021). Reviewing the world's edible mushroom species: A new evidence-based classification system. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), S. 1982–2014.
- Lutzoni, F., Nowak, M. D., Alfaro, M. E., Reeb, V., Miadlikowska, J., Krug, M., Arnold, A. E., Lewis, L. A., Swofford, D. L., Hibbett, D., Hilu, K., James, T. Y., Quandt, D., & Magallón, S. (2018). Contemporaneous radiations of fungi and plants linked to symbiosis. *Nature Communications*, 9(1), 5451.
- Martins, A. (2016). The Numbers Behind Mushroom Biodiversity. In *Wild Plants, Mushrooms and Nuts*, S. 15–63.
- McNaughton, K. G. (1988). 1. Effects of windbreaks on turbulent transport and microclimate. *Proceedings of an International Symposium on Windbreak Technology*, 22–23, S. 17–39.
- Mello, A., Murat, C., & Bonfante, P. (2006). Truffles: Much more than a prized and local fungal delicacy. *FEMS Microbiology Letters*, 260(1), S. 1–8.
- Meyer, V., Basenko, E. Y., Benz, J. P., Braus, G. H., Caddick, M. X., Csukai, M., de Vries, R. P., Endy, D., Frisvad, J. C., Gunde-Cimerman, N., Haarmann, T., Hadar, Y., Hansen, K., Johnson, R. I., Keller, N. P., Kraševac, N., Mortensen, U. H., Perez, R., Ram, A. F. J., ... Wösten, H. A. B. (2020). Growing a circular economy with fungal biotechnology: A white paper. *Fungal Biology and Biotechnology*, 7(1), 5.
- Mueller, G. M., Schmit, J. P., Leacock, P. R., Buyck, B., Cifuentes, J., Desjardin, D. E., Halling, R. E., Hjortstam, K., Iturriaga, T., Larsson, K.-H., Lodge, D. J., May, T. W., Minter, D., Rajchenberg, M., Redhead, S. A., Ryvarden, L., Trappe, J. M., Watling, R., & Wu, Q. (2007). Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity and Conservation*, 16(1), S. 37–48.
- Nair, P. K. R. (1993). *An Introduction to Agroforestry* (1. Aufl.). Dordrecht: Springer.
- Pérez-Moreno, J., Guerin-Laguette, A., Rinaldi, A. C., Yu, F., Verbeken, A., Hernández-Santiago, F., & Martínez-Reyes, M. (2021). Edible mycorrhizal fungi of the world: What is their role in forest sustainability, food security, biocultural conservation and climate change? *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, 3(5), S. 471–490.
- Pointing, S. B., Pelling, A. L., Smith, G. J. D., Hyde, K. D., & Reddy, C. A. (2005). Screening of basidiomycetes and xylariaceous fungi for lignin peroxidase and laccase gene-specific sequences. *Mycological Research*, 109(1), S. 115–124.
- Power, R. C., Salazar-García, D. C., Straus, L. G., González Morales, M. R., & Henry, A. G. (2015). Microremains from El Mirón Cave human dental calculus suggest a mixed plant–animal subsistence economy during the Magdalenian in Northern Iberia. «The Red Lady of El Mirón Cave»: Lower Magdalenian Human Burial in Cantabrian Spain, 60, S. 39–46.

- Püttsepp, Ü., Schnabel, S., Antichi, D., Chiron, G., Dehnen-Schmutz, Heinsoo, K., Kauer, K., Mele, M., Ots, M., Pechenart, E., Tali, K., Venn, R., & Verstand, D. (2022). *Handbook of resilience and working definitions* [D1.1 of the AGROMIX project funded under the Grant Agreement 862993 of the H2020 EU programme].
- Quinkenstein, A., Wöllecke, J., Böhm, C., Grünewald, H., Freese, D., Schneider, B. U., & Hüttl, R. F. (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Sustainability impact assessment and land-use policies for sensitive regions*, 12(8), S. 1112–1121.
- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean Fungi from the Ordovician. *Science*, 289(5486), S. 1920–1921.
- Reyna Domenech, S. R. (2007). *Truficultura: Fundamentos y técnicas*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Sen, R. (2000). Budgeting for the wood-wide web. *New Phytologist*, 145(2), S. 161–163.
- Smith, S. E., & Read, D. (2008). 1—The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. In S. E. Smith & D. Read (Hrsg.), *Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)*, S. 13–41. Academic Press.
- Sourzat, P. (2020). Truffle Cultivation in the South of France: Socioeconomic Characteristic. In J. Pérez-Moreno, A. Guerin-Laguette, R. Flores Arzú, & F.-Q. Yu (Hrsg.), *Mushrooms, Humans and Nature in a Changing World: Perspectives from Ecological, Agricultural and Social Sciences*, S. 321–339. Springer International Publishing.
- Spahl, H., & Bönecke, G. (1990). *Hecken und Feldgehölze*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg.
- Stamets, P. (2000). *Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms* (3.). Ten Speed Press.
- Stamets, P. (2005). *Mycelium Running*. Ten Speed Press.
- Steidinger, B. S., Crowther, T. W., Liang, J., Van Nuland, M. E., Werner, G. D. A., Reich, P. B., Nabuurs, G. J., de-Miguel, S., Zhou, M., Picard, N., Herault, B., Zhao, X., Zhang, C., Routh, D., Peay, K. G., Abegg, M., Adou Yao, C. Y., Alberti, G., Almeyda Zambrano, A., ... GFBI consortium. (2019). Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses. *Nature*, 569(7756), S. 404–408.
- Stobbe, U., Egli, S., Tegel, W., Peter, M., Sproll, L., & Büntgen, U. (2013). Potential and limitations of Burgundy truffle cultivation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(12), S. 5215–5224.
- Sudmeyer, R. A., & Speijers, J. (2007). Influence of windbreak orientation, shade and rainfall interception on wheat and lupin growth in the absence of below-ground competition. *Agroforestry Systems*, 71(3), S. 201–214.
- van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), S. 69–72.
- van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M.-A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205(4), S. 1406–1423.
- Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & van der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), S. 5266–5270.
- Wedén, C., Danell, E., & Tibell, L. (2005). Species recognition in the truffle genus *Tuber*—the synonyms *Tuber aestivum* and *Tuber uncinatum*. *Environmental Microbiology*, 7(10), S. 1535–1546.
- Wilson, M. H., & Lovell, S. T. (2016). Agroforestry—The Next Step in Sustainable and Resilient Agriculture. *Sustainability*, 8(6).
- Winkler, R. (2013, September). *Pilz und Substrat—Ökologie der Pilze*. <http://pilze.ch/mykologie/pilz.htm>, abgerufen am 15. Mai 2023.
- Wolfslehner, B., Prokofieva, I., Mavsar, R., Asamer-Handler, M., Bonet, J., Bouriaud, L., Cañellas, I., Corradini, G., Da Re, R., Miguel, S. de, Fischer, C., Górriz Mifsud, E., Kouplevatskaya-Buttoud, I., Kurttila, M., Ludvig, A., Lovrić, M., Martínez de Aragón, J., Miina, J., Nichiforel, L., & Živojinović, I. (2019). *Non-wood forest products in Europe: Seeing the forest around the trees—What Science Can Tell Us*.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Während der Kolonisation breitet sich das Myzel aus, um Nährstoffe aufzunehmen, Bild aus Cotter (2014).....	3
Abb. 2: <i>Pisum sativum</i> mit Arbuskeln (van der Heijden et al., 2015).....	6
Abb. 3: Kleewurzel in Trypanblau, kolonisiert durch <i>Glomus intraradices</i> (van der Heijden et al., 2015).....	6
Abb. 4: <i>Russula ochroleuca</i> mit <i>Fagus sylvatica</i> (van der Heijden et al., 2015).....	6
Abb. 5: : Querschnitt durch eine Wurzel von <i>Populus trichocarpa</i> mit EkM <i>Pisolithus microcarpus</i> : externer Mantel, Hartigsches Netz mit verlängerten Epidermis Wurzelzellen (van der Heijden et al., 2015).....	6
Abb. 6: Verschiedene getrennte unterirdische Netzwerke: 1. Bäume mit EkM (durchgehende Linien) sind untereinander vernetzt *, 2.+ 3. Verschiedene Pflanzen- und Baumarten mit AM (gestrichelte Linie) sind untereinander vernetzt ** 4. Eine Orchidee mit einem weiteren unterirdischen Netzwerk, die verschiedenen Farben stellen verschiedene ekto- und arbuskuläre Mykorrhiza-Arten dar, auch andere Kombinationen sind möglich (Bild von Ursus Kaufmann, Agroscope, aus van der Heijden et al., 2015)	9
Abb. 7: Lebenszyklus von <i>Tuber spp.</i> (abgeändert aus Rubini et al. (2012). Ascosporen werden vom reifen Ascocarp in den Boden abgegeben (1), keimen und produzieren MAT (+) und MAT () primäres haploides Myzel (2). Das primäre Myzel kolonisiert die Baumwurzeln und formt die EkM (3). Bei günstigen klimatischen Bedingungen beginnt MAT (+) und MAT () Myzel aus den Mykorrhiza zu wachsen (4). Der Kontakt mit Myzel mit entgegengesetztem Paarungstyp (5) aus Ascosporen oder von benachbarten Bäumen wird gebraucht, damit eine Befruchtung stattfindet (6). Daraus entsteht der Ascocarp - Fruchtkörper, Trüffel (7), der aus dikaryotischen Hyphen und dem Gleba (Fruchtmasse) besteht (Rubini et al., 2012)	10
Abb. 8: Mikroklimatische Veränderungen im Nahbereich einer Hecke (aus Ableidinger et al., 2020).	12
Abb. 9: Betreute Trüffelplantagen in der Schweiz bis 2021: 11'000 Trüffelpflanzen auf 15 ha (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023).....	16
Abb. 10: Anbaupotenzial CH (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023).....	17
Abb. 11: Sommertrüffel, gefunden in Trüffelplantage von PP4.....	18
Abb. 12: Dunkle Oberfläche eines Sommertrüffels.....	18
Abb. 13: Die Entwicklung der Burgundertrüffel (<i>Tuber Uncinatum</i>) im Jahresablauf, Erfahrungswerte (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)).....	19
Abb. 14: Absatzkanäle (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023).....	20
Abb. 15: Eingegrabenes Rundholz am Waldrand (4. April 2023)	22
Abb. 16: Luftbild der Pilzanlage unterhalb der Wohngebäude und oberhalb des Waldes (Swisstopo, 2023)	22
Abb. 17: Liegende Holzstämme für die Seitling Kultur von PP1.....	23
Abb. 18: Austernseitling, gewachsen in einer Nischen von versetzt übereinander gestapelten Holzstämmen, 4. April 2023.....	23
Abb. 19: Weitere Beispiele für die Freiland Pilzkultur: Braunkappen auf Häckselbeet (1), Reishi und Nameko (2), Shiitake (3), Maitake (4), Igel Stachelbart (5), Nameko (6), Austernseitling, , Maitake, Schwefelporling und Reishi auf einem Baumstunk (7), abgeändert aus Cotter (2014).....	26
Abb. 20: Trüffelplantage mit Lavendel im Südosten von Frankreich, aus Sourzat (2020)	26
Abb. 21: Anbau von Braunkappen auf Kompostbeeten in China, Bild aus Hu et al. (2021).....	27
Abb. 22: Frische Holzhäcksels sind das perfekte Substrat für die Freiland Pilzkultur von Pilzarten wie zum Beispiel der Braunkappe (<i>Stropharia rugoso-annulata</i>) oder dem Parasol (<i>Macrolepiota procera</i>), Bild aus Cotter (2014)	27
Abb. 23: Trüffelkultur als Treiber der Nachhaltigkeit (ökologisch, sozial und wirtschaftlich), Bild aus Benucci et al. (2012)	27
Abb. 24: Pekannüsse und Pekantrüffel (<i>T. lyonii</i>) aus einer kommerziellen Nussplantage, aus Benucci et al. (2012).....	30
Abb. 25: Motorsäge zur Beimpfung der Holzrugel	41
Abb. 26: Luftbild der Burgundertrüffel Plantage von PP3 (Swisstopo)	48
Abb. 27: Luftbild der Périgordtrüffel Plantage von PP3 (Swisstopo)	48
Abb. 28: Burgundertrüffel Anlage mit Trüffelfallen von PP3	48
Abb. 29: Tröpfchenbewässerung bei Périgord Anlage von PP3.....	49
Abb. 30: Périgordtrüffel Reihen von PP3	49
Abb. 31: Luftbild der Trüffelplantage von PP4 (Swisstopo)	52
Abb. 32: Randbereich der Trüffelanlage: Gegen innen nimmt der Grasbewuchs stark ab (Einfluss der Trüffel plus Beschattung)	52
Abb. 33: Blick ins Innere der Trüffelplantage von PP4.....	53

Abb. 34: Sommertrüffel-Fund vom 9. Mai 2023	54
Abb. 35: Schäfer von PP4 auf der Suche nach Trüffeln	54
Abb. 36: <i>Hymenogaster luteus</i> , Gelbe Erdnuss, koexistiert mit Trüffel, Hund zeigt sie ebenfalls an	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Substrat und Ernährungsweise der Pilze (Winkler, 2013)	3
Tabelle 2: Untergruppen der Saprobionten, zusammengestellt aus Stamets (2005)	4
Tabelle 3: Eigenschaften und Beispiele von Arbuskulären Mykorrhiza (AM) und Ektomykorrhiza (EkM)	6
Tabelle 4: Anzahl der Pflanzen- und Pilzarten, die Mykorrhiza-Assoziationen bilden. Einige Pflanzenarten bilden doppelte Assoziationen sowohl mit AM- als auch mit EkM-Pilzen. ¹ Eine Vielzahl von Ruderalpflanzenarten und mehrere Pflanzenarten mit speziellen Wurzelstrukturen assoziieren nicht mit Mykorrhizapilzen. Abgeändert aus van der Heijden et al. (2015)	7
Tabelle 5: Beitrag von Mykorrhiza an Ökosystemprozessen, abgeändert aus van der Heijden et al. (2015)	8
Tabelle 6: Trüffelarten: Erntefenster, Eigenschaften, Preise, zusammengestellt aus Unterlagen von PP2 (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)	18
Tabelle 7: Voraussetzungen für natürliche Vorkommen von Trüffeln (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)	19
Tabelle 8: Kultur Kombinationen und Konkurrenz durch EkM (PP 2, persönliche Kommunikation, 2023)	20
Tabelle 9: Kultur Konkurrenz und Kultur Kombinationen für Trüffelpflanzen, angepasst aus Hall (2007) (Auswahl)	21
Tabelle 10: Baumarten, Nutzungsarten und Potenzial zur Kombination mit Trüffeln, aus Benucci et al. (2012) ..	28

Anhang 1

Zusammenfassung Interviews

Pilzproduzent:in 1 – PP1

Einstieg	PP1 ist über Projekt «Food from Wood» zum Pilzanbau gekommen. Das Amt für Landwirtschaft hat einen Kurs organisiert für das Impfen von Dübeln. PP1 bewirtschaftet eigenen Schutzwald mit viel Buchenanteil. Auf Buchenholz wachsen Seitlinge gut. PP1 hat zuerst selbst ausprobiert, Dübel herzustellen und hat dann einen Laborkurs besucht. Das Amt für Landwirtschaft hat PRE entwickelt für Regionale Standortentwicklung: Die Idee war den Pilzanbau zu fördern mit einer Abnahmezentrale. Das Restholz sollte zu Käfern gehen und anschliessend als Dünger für Landwirtschaft verwendet werden. Am meisten an der Pilzkultur im Freiland hat PP1 überzeugt, dass es heisst, es sei schwierig.
Standort	PP1 hat eigenen Schutzwald: ca 8 ha. Dies gibt PP1 grosse Holzmengen. Die Pilzzucht muss mindestens 2 Meter vom Wald entfernt sein, beziehungsweise von einem Baum, der über 20-Jährig ist. Die Anlage ist in der Nähe des Wohnhauses - Dort, wo man viel vorbeiläuft und im Alltag ist. Ansprüche der Pilze: Feucht, schattig, windstill Boden PP1 hat keine Bodenuntersuchungen gemacht. Geodaten: geringes Wasserspeichervermögen, normale Wasserdurchlässigkeit, sehr flachgründig, sehr geringes Nährstoffspeichervermögen, skelettreich (GIS Glarus). Das gebrauchte Substrat war zu lehmig: Dies trocknet eher aus und kann nicht viel Wasser speichern. Bei zu dichtem Substrat entsteht Staunässe. Klimatische Verhältnisse Das Gefälle unterhalb des Wohnhauses Richtung Wald macht Fall- und Aufwind. Es gibt auch etwas Wind von Seite her: Nur im Winter, im unbelaubten Zustand der Bäume.
Mikroklima	Beschattung Die angrenzenden Bäume vom Wald unterhalb der Pilzfläche (Westhang) beschatten zu gewissen Tageszeiten. Die Nachmittagssonne ist vermutlich bereits zu viel Besonnung. PP1 hat 40-50 Weiden gesteckt, um mehr Beschattung zu haben. Leider haben nicht viele überlebt. PP1 vermutet, dass das aufgefüllte Substrat keine gute Qualität hatte und dass das Umbaggern vor der Anlage nicht gut war. Als Alternative sieht PP1 die Holzrugel direkt auf die Erde zu stellen, anstatt zu vergraben und anschliessend mit Kompost aufzufüllen (ca 5 m3 auf 100m2). Somit wäre eine Bepflanzung eher möglich, um mehr Schatten zu erhalten. Windschutz

	Unterhalb der Pilzfläche ist der Waldrand (siehe Fotos). Während des unbelaubten Zustands der Bäume entstehen Fallwinde und Aufwind. Dies hat dazu geführt, dass kaum Austernseitlinge produziert wurden. Nur die Limonenseitlinge im Sommer kamen gut. Besserer Windschutz durch Hecken und andere Bepflanzungen ist dringend nötig, um durchgehend einen guten Ertrag zu haben. Bewässerung 1 Jahr ohne, ein Jahr mit Bewässerung: PP1 hat keinen Unterschied festgestellt. Es wurden Chemiedüsen mit einer Feldspritze verwendet mit einer grossen Menge Wasser. Besser wäre mit noch höherem Druck, um einen «Nieselregen» zu erzeugen. PP1 hat keine Messungen gemacht zur Bodenfeuchte. Niederschlag Keine Abdeckung, keine Messungen. Je nach Wetterlage gab es mehr oder weniger Niederschlag auf der Fläche, abhängig von der Windrichtung.
Anbau-systeme	Methoden ⇒ Holzrugel, eingegraben ⇒ Holzstämme ganz liegend (wegen Bodenerosion dreckige Pilze) Pilzarten ⇒ Limonen- und Austernseitlinge ⇒ Stockschwämmchen: Bis anhin keine Fruchtkörper plus Gifttäublinge dazwischen mit Verwechslungsgefahr. Bei grossen Mengen nicht kontrollierbar. Pflanzabstände Bei gepflanzten Weiden 2m Abstand zwischen Reihen (davon sind nicht viele angewachsen) Abstand zum Wald 2 m Alle Pilzrugel sind noch in Gebrauch, da sie sehr gross sind. Die Idee, die Pilzrugel anschliessend als Futter für Nashornkäfer zu nutzen, ist schwierig umzusetzen wegen der Zulassung als Lebensmittel.
Kultur	Pilzdübel Nach dem ersten Kurs hat PP1 bei Pilzland Pilzdübel bestellt. Nach dem Laborkurs hat PP1 selbst hergestellt: Beimpfte Brettchen anstatt Dübel. PP1 möchte diese in Zukunft für andere Direktvermarkter herstellen. Brettchen: 7cm breit, 20cm lang, 0.5cm dick, werden durchwachsen gelassen Anordnung 5-6 Brettchen pro Laufmeter (50-60cm Durchmesser), spiralförmig an Holzstämmen angeordnet Durchwachsen Für das Durchwachsen der Holzrugel empfiehlt PP1 Abrolltonne (10t Volumen). Es ist schwierig einen Schattenplatz zu finden, wo die Temperatur nicht höher als 30 Grad wird, aber

	mindestens 20 Grad ist. Eventuell wäre eine Lagerhalle an einem Schattenplatz möglich, um so alle beimpften Baumstämme aus der Region gesammelt durchwachsen zu lassen. Ertrag Seit 3 Jahren Ertrag, ähnlich jedes Jahr. Limonenseitlinge 100kg/Jahr auf 3 Tonnen Holz Theoretisch wäre 20% vom Holzgewicht möglich (600kg). Das heisst «Halbzeit» ist vorbei. Konkurrenz ⇒ Schnecken: PP1 hat darum aufgefüllt mit lehmiger Erde und dann Holzschnitzel obendrauf gefüllt.-Trotzdem machen sie Probleme. Bei vielen Pilzen fressen Schnecken jedoch nicht alles. ⇒ Würmer bei älteren Pilzen
Unterhalt	Laufend Gras könnte man mulchen, macht PP1 jedoch nicht. Bei hohem Gras kommen Limonenseitlinge gut im Sommer (schön feucht im hohen Gras). Je nach wird täglich durchlaufen und kontrolliert, nach Gefühl und Wetter. Initialaufwand Die Vorbereitung der Brut, das Beimpfen und Durchwachsen der Stämme nimmt viel Zeit in Anspruch, davon die Herstellung der Brettchen und das Beimpfen der Holzrugel mit «Säge» (spezielle Motorsäge mit Krallen vorne) am meisten.  <i>Abb. 25: Motorsäge zur Beimpfung der Holzrugel</i> Beimpfen 15t Holz mit Brettchen «beimpfen»: 4 Leute ein Nachmittag, 1 Person mit Motorsäge, 2 Personen kehren Stämme und Schlagen Bretter hinein, 1 Person mit Bagger, um Stämme nach hinten zu beigen.
Absatz	Nur Eigengebrauch und Verschenken, kein Direktvermarkter Falls Abnahmezentrale entsteht, würde PP1 mehr anbauen. PP1 kennt drei andere Direktvermarkter: Hofladen & Gastro (Lungen- & Austernseitlinge, ca 200kg pro Jahr) Es gibt nicht viele andere Interessierte, da Absatz fehlt, falls Direktvermarktung nicht vorhanden. Pilze sind 2 Tage haltbar. Für Gastronomie muss nach der Ernte sofort geliefert werden. Im Hofladen müssen die Pilze am selben Tag verkauft werden.

	Einfrieren ist möglich Andere Produzent:innen stellen weitere Produkte her: Durch Trocknen und in Öl einlegen.
Wirtschaftlichkeit	Selbstversorgung & Bekannte PP1 kennt andere Produzent:innen, die Pilze im Freiland als Nebeneinkommen auf einem Betrieb anbauen Weltmarktpreis Seitling 4.- bis 8.-/kg, in CH mit Bio 22.-/kg
Chancen / Risiken	Chance Für PP1 gehört Agroforst und Pilzkultur zusammen. Für die Pilzzucht ist ein gesundes Bodenleben entscheidend. Neue Idee mit Holzbeigen versetzt übereinander (Nischen für Pilze dazwischen): Kombinierbar mit Agroforst, kombiniert mit Schneckenschutz, Zugang mit Maschinen in Agroforst gewährleistet zum Aufbeigen der Hölzer Risiken Bei zu viel Forst im Agroforst gibt es keinen guten Grasbestand und die Pilze werden durch bei Regen zurückspritzende Erde verschmutzt. Bei Einzelbaumreihen gibt es keinen Windschutz und zu wenig Beschattung. Es kann eine Schwefelbelastung durch unfertigen Kompost entstehen oder eine Bodenversauerung. Um dem entgegenzuwirken müsste eine eigene Fruchtfolge zum Beispiel mit Beeren eingeführt werden. Schnecken Anmerkungen PP1 hat das Gefühl, dass Substrat um Holzstämme entscheidend ist: Je mehr Pilzkonkurrenz, desto mehr Fruchtkörper. Aber offenes Substrat/Boden verschmutzt Pilze, was das Putzen sehr aufwändig macht. Neue Ideen ⇒ Halbfertiger Kompost mit mechanischem Schneckenschutz (Metalleingrenzung). ⇒ Holzrugel direkt auf Erde stellen anstatt Vergraben und dann mit Kompost auffüllen (ca 5 m3 auf 100m2) ⇒ Holzstämme liegend, zu 2/3 eingegraben, beziehungsweise mit Kompost aufgefüllt. Dann mit Gras ansäen, damit Pilze nicht dreckig werden. ⇒ Vision: Pilze in Waldgartensystem

Pilzproduzent:in 2 – PP2

Einstieg	PP2 suchte bereits Pilze als Kind. Bei Trüffeln fasziniert die Verbindung zwischen Pilz, Baum, Hund & Mensch. Neben dem Wohnhaus von PP2 lag grössere Parzelle brach. Damit sammelte PP2 erste Erfahrungen in der Pilzkultur.
Standort	Gleich neben Wohnhaus: 15 a Pachtland, seit 12 Jahren

	Dies ist eine Show Parzelle, um verschiedene Anbauformen zu zeigen & neue Kulturtechniken auszuprobieren (offen zugänglich) Exposition 10 % geneigt, gegen Norden. Die Ausrichtung ist für Trüffelpilzkultur nicht relevant, wichtig ist jedoch die Meereshöhe, vor allem aufgrund Bodenzusammensetzung Boden Trüffelpilzgarten (Firma mit Hauptsitz in Österreich, PP2 ist zuständig für Trüffelpilzgarten CH) schickt Proben an spezialisierte Labore für Trüffelpilzanbau und macht Interpretationen zu möglichen Konkurrenzproblemen mit anderen EkM aufgrund der Bodenzusammensetzung. Folgende Bodenwerte werden untersucht: pH, Wasserdurchlässigkeit, Grobskelettgehalt, Nährstoffverfügbarkeit Nach 4-5 Jahren wird überprüft, ob der pH stabil ist und je nachdem nachgekalkt. Boden in Trüffelpilzanlage wird bearbeitet, tiefengelockert und oft gemulcht, so dass keine Wassererosion stattfindet und Trüffel «freilegt» werden, bevor sie reif sind.
Mikroklima	Beschattung Die Pflanzanordnung der Bäume und Schnitthöhe macht das gewünschte Mikroklima am Boden. Die meisten Trüffelpilzarten bevorzugen Halbschatten. Windschutz Der Windschutz ist für den Feuchtigkeitshaushalt vom Boden wichtig. Bei starker Biseexposition zum Beispiel trocknet die Bodenoberfläche schnell aus. Trüffel braucht permanent Feuchtigkeit im Boden, um Fruchtkörper zu bilden. Windschutztechniken: Asthaufen, hoch gestapelt mit Schnittgut von Bäumen. Bewässerung Mikrosprinkler (Reichweite 2-3 m) & Tröpfchenanlage in Baumreihen Für gute Trüffelernte: 100l/m² pro Monat. Das Meteorwasser wird gemessen und dementsprechend ergänzt. Bei fehlender Bewässerung kann mit Mulch etwas ausgeglichen werden. Die Feuchtigkeit im Frühling spielt eine grössere Rolle als gedacht. 2022 war eine sehr schlechte Saison trotz Bewässerung im Sommer. Die Primordienbildung der Trüffel findet im Frühling statt. Im Winter 2022/23 gab es eine sehr späte Burgundertrüffelernte, möglicherweise aufgrund der Kompensation für den trockenen Frühling. PP2 empfiehlt Messungen der Bodenfeuchtigkeit bereits ab März. Mulch Holzhäcksels ohne Nadelholz, zum Beispiel direkt aus Plantage, keine gelagerten Holzschnitzel (Pilzsporen), Stroh (in Säcke abgefüllt) auf Baumscheibe, gebrauchtes Pilzsubstrat von Saprobionten

Anbau-systeme	Allgemein Baumreihen Achtet auf Begleitvegetation in Trüffelanlagen ⇒ hohe Biodiversität ⇒ Zeiger für basischen Boden: Waldmeister ⇒ Efeu (auf dem Boden wachsend) macht gedeckte Blattschicht auf dem Boden und führt so zu gebremster Verdunstung und positivem Effekt auf den Wasserhaushalt im Boden ⇒ Nässezeiger: Waldsegge, sammelt Regenwasser ins Zentrum des Büschels, Fruchtkörper oft gleich neben Wurzelraum von Waldsegge (nicht an staunassen Standorten) PP2 macht experimentelle Beobachtungen in der Natur. Burgundertrüffel ca 3x3m, Schnitthöhe 3-4m Reihenabstand 4m, Abstand in Reihe 2m ⇒ Halbschatten Klima ⇒ ergibt beste Ausssschöpfung/m2 Wintertrüffel Die Fruchtkörper befinden sich oft weit weg von mykorrhizierter Pflanze. Es besteht die Möglichkeit, zum Beispiel mit Hainbuchen eine Hecken zu pflanzen (1.5m hoch, 1m breit), die mit Heckenschere geschnitten werden können (viel weniger Aufwand). Der Abstand zwischen den Hecken sollte 3m betragen. Dies ergibt Fruchtkörper auf der ganzen Fläche zwischen den Hecken. Périgordtrüffel Diese Trüffel ist ein Pionierpilz, der freie Flächen besiedelt, wo vorher nichts war. Er braucht volle Besonnung. Pflanzabstand:4x4 oder 5x5m Es werden Bäume genutzt, die eher wenig hoch werden, wie zum Beispiel die Steineiche als Solitärbaum mit Freiraum dazwischen. Kombinationen PP2 mischt selbst nicht, es gibt jedoch Möglichkeiten. ⇒ In mediterranem Klima wird häufig mit Reben kombiniert. Abwechselnde Reihen mit Beeren oder Kräutern zwischen Trüffelbaumreihen wären denkbar. Auch Holunder ist eine gute Kombination. ⇒ Inokulierte Pekannussbäume (PP2 produziert Pekannüsse). Der Baum darf jedoch für Nussproduktion nicht zurückgeschnitten werden. Die Pflanzabstände betragen 8-10m. Eine Mischung mit anderen Baum- & Straucharten ist möglich. ⇒ Veredelter Baumhasel mit Edelhaselnuss
----------------------	---

	⇒ Edelkastanie mit Trüffeln (In der Natur zu finden im Tessin) ⇒ Anbau von Saprobionten in Anlage möglich, keine Konkurrenz. Zwischen Trüffelpflanzen werden in gewissen Trüffelanlagen bereits beimpfte Pilzrugen eingegraben, um Doppelertrag zu erhalten von Shiitake, Seitlingen, etc. Limitation: Trüffel wollen basischen pH, der Nährstoffverfügbarkeit herabsetzt -> schwierig für andere Kulturen Ein zu hoher Gehalt an organischer Substanz im Boden ist gefährlich, da andere EkM gefördert werden könnten.
Kultur	Beimpfte Pflanzen Bezieht die mykorrhizierten Pflanzen von Trüffelpflanzen in Wien. Diese produzieren ca 50'000 Bäume pro Jahr. Den Betrieb gibt es seit 15 Jahren, arbeitet im professionellen Stil. Laubbäume werden 2-jährig geliefert, Nadelbäume 2-3-jährig, in 100ml Töpfen. Kontrolle Es wird eine Endkontrolle pro Charge durchgeführt: Die Wurzeln werden abgewaschen und unter dem Mikroskop untersucht, ob vollständige Mykorrhizierung stattgefunden hat. Wenn Konkurrenzpilze vorhanden sind, wird die ganze Charge vernichtet. Ertrag Sehr unterschiedlicher Ertrag. Die ältesten Bäume in der Plantage sind 13 Jahre alt. Vor Anlage wurde nicht aufgekalkt, da an unterer Grenze (pH 7.2). Nach 5 Jahren wurde eine Kontamination durch andere Mykorrhiza an Wurzeln festgestellt. Die Hälfte der Fläche wurde gerodet und die Wurzelstöcke entfernt. Danach wurde stark aufgekalkt auf pH 7.7. Die andere Hälfte wurde belassen. Resultat: Belassene Fläche: Burgundertrüffel: Produktion im 7. Standjahr, von 10 Bäumen 1 produktiver Wintertrüffel (1 Reihe): alle produktiv Neu angepflanzte Fläche: Burgundertrüffel: noch nichts, rechnet damit, dass es dieses Jahr losgeht Macrosporium: ab 3. Jahr Frühlingstrüffel: nie produktiv -> gerodet Wintertrüffel: ab 4. Jahr, jetzt im 7. Jahr alle Bäume produktiv Der Burgundertrüffel im Vergleich zu Wintertrüffel und grosssporigem Trüffel (Macrosporium) am schwierigsten von Ansprüchen her. Für Périgord stimmt der Boden nicht. In CH findet man sehr selten günstige Böden. 40-50 kg/ha ist ein guter Ertrag. In der CH sind durchschnittlich 30 % der Bäume produktiv. Für einen guten Ertrag ist eine Bewässerung notwendig, Mulch reicht nicht.

	Bei absolut perfekten Bedingungen mit Hygienemassnahmen zur Verhinderung von Sporeneintrag (Eintrittschleusen) bis 100kg/ha möglich (Bsp Neuseeland). In CH ist die Trüffelskultur eine landwirtschaftliche Nische und es wird eher mit der Natur gearbeitet, sodass die Erträge tiefer sind. Konkurrenz Die Distanz zum nächsten Wald sollte möglichst gross sein wegen Konkurrenz von anderen EkM. Dies ist abhängig von den Tieren, die zirkulieren und Sporen mittragen. Schädlinge sind gleichzeitig Nützlinge, da sie die Sporen verteilen. Der Schwammkugelkäfer kann ganze Ernten zerstören bei Périgord Plantagen. Dagegen werden Fallen mit chemischen Lockstoffen eingesetzt. Wühlmäuse sind in der CH ein grosses Problem. Sie fressen die Baumwurzeln und fällen kleine Bäume. Sie sind jedoch auch nützlich: Oft findet sich unter Trüffel Fruchtkörper ein Mausloch. Es werden keine reine Strauchhasel Bepflanzungen gemacht, da die herabfallenden Nüsse Mäuse anlocken.
Unterhalt	Bodenvorbereitung Tiefengrubber bis auf 30-50cm Die Bodenbearbeitung in ersten Jahren ist wichtig und eine Chance, Einiges zu steuern. In den ersten 5-6 Jahren (bis zur ersten Fruchtkörperbildung) werden Wurzeln gezielt gestört bis in 20-30 cm Tiefe, damit das Wurzelwachstum des Baums und das Mykorrhizawachstum angeregt wird. Der Boden wird gelockert durch das Nachinokulieren ab dem 4./5. Jahr: Keimfähige Sporen werden in den Boden gegeben (mit Wasser oder Substrat). Dies erhöht die Fruchtbarkeit der Plantage durch mehr Genvielfalt der Sporen. Baumschnitt grosser Aufwand, da Kronendach geschlossen, von Hand 80-120h/ha und Jahr Erstellungskosten 25'000.- /ha (Pflanzen, Einzäunung, Bodenvorbereitung) In ersten 5-10 Jahren Folgekosten von 5000.- -10'000.-/ha für Geräte etc Pflegekalender Am Anfang Bodenbearbeitung und Mähen, später Baumschnitt (Stamm & Krone), in produktiver Anlage fast nur noch Baumschnitt Trüffelsuche Für 1 kg Trüffel braucht es ungefähr 15 Minuten mit einem trainierten Hund.
Absatz	Verkaufsplattform Vom Verband Schweizer Trüffel Produzent:innen: «Trüffel vom Hof». Ohne Zwischenhändler und durch ein Verteilsystem werden die Trüffel direkt von den Produzent:innen an die Konsument:innen verkauft (bis jetzt ist die Nachfrage viel grösser als das Angebot, das heisst es gibt

	keine Konkurrenz zwischen Produzent:innen). Es wird ein einheitliches Versand- & Verpackungssystem verwendet. Dient als Ergänzung zur Direktvermarktung. Verarbeitung Die 2. Qualität wird für Produkte verwendet: Trüffelbutter und Einfrieren. Einige Produzent:innen sind am Experimentieren mit neuen Produkten ⇒ FeinesvomWald.ch Der Abfall wird verwendet für das Inokulieren. Es gibt Konkurrenz durch wild gesammelte Burgundertrüffel, jedoch haben diese oft weniger gute Qualität.
Wirtschaftlichkeit	Nebeneinkommen, mit Seminaren und Trüffelgarten Beratungen und Produkten
Chancen / Risiken	Risiken: Aufforstungen auf ehemaligem Waldgebiet oder Christbaumkulturen nicht möglich, da diese «kontaminiert» sind durch andere EkM. Die Sporen überleben Jahrzehnte lang. Bei Einzelbäume (zum Beispiel Nussbaum) muss eine Einzelbaumhöhe Abstand eingehalten werden. Oder der Baum kann mit Wurzeln entfernt und danach aufgekalkt werden, um Konkurrenz zu mindern. Trüffelanbau: keine Wissenschaft, bis jetzt experimentell, viele offene Fragen, gibt keine Garantie Chance: Erlebnisangebote, wie Trüffelpatenschaften etc, Events (zum Beispiel mit Trüffelprodukten)

Pilzproduzent:in 3 – PP3

Einstieg	PP3 führt Kleinbetrieb und ist immer auf der Suche nach Produktenischen. Die Idee zum Trüffelanbau ist in den Ferien mit Freunden beim Fischen entstanden. PP3 hat vorher Einiges über Trüffel gelesen und den anderen davon erzählt, worauf alle begeistert waren. Danach absolvierte PP3 einen Kurs bei Trüffelgarten (vor 9 Jahren). Faszination: PP3 mag Trüffel. Trüffel haben etwas Mystisches. Die Suche nach ihnen ist wie Gold suchen.
Standort	Boden Ausschlaggebende Faktoren bei Auswahl Parzelle: pH, kiesige Fläche, viel Steine Bodenanalyse über Trüffelgarten, verschiedene Proben über die Fläche verteilt

	Ausrichtung Parzelle Südost Grösse ⇒ Burgundertrüffel 70 Aren (Ertrag seit 6. Jahr) ⇒ Périgord 1.5 ha (3 Jahre alt, noch kein Ertrag) ⇒ Fläche in Eigenbesitz  <i>Abb. 26: Luftbild der Burgundertrüffel Plantage von PP3 (Swisstopo)</i> Geodaten Burgundertrüffel-Fläche: Braunerde, Boden aus Moräne & Molasse, Senkrecht durchwaschene Böden, Normal durchlässig, tiefgründig (GIS Thurgau)  <i>Abb. 27: Luftbild der Périgordtrüffel Plantage von PP3 (Swisstopo)</i> Klima Die Region ist windig. Bei der Burgundertrüffelfläche steht eine Hecke, die etwas Windschutz bietet. Es ist eine weitere Hecke geplant, eventuell sogar 2-reihig. Wasser Wasser läuft gut ab, keine Verdichtungen
Mikroklima	Burgundertrüffel Die Baumkronen berühren sich fast, damit Halbschatten erreicht wird. Die Bäume werden stark geschnitten: Seitliche Äste Richtung Zwischenreihe werden auf 2-3 m geschnitten. Der Astschnitt wird abgeführt. Périgordtrüffel Offen bis halbschattig, Reihen weit auseinander Bewässerung Beide Anlagen werden bewässert. Burgunder: Sprinklerbewässerung  <i>Abb. 28: Burgundertrüffel Anlage mit Trüffelfallen von PP3</i>

	 Letztes Jahr musste aufgrund der Trockenheit sehr viel bewässert werden (in der Natur wurden kaum Trüffel gefunden) Ziel: 100-120 mm /Monat, 30-40l/m² aufs Mal (Gewitter nachahmen) Perigord: Tröpfchenbewässerung Ansonsten wird das Wasser knapp, wenn für die Erdbeeren viel gebraucht wird. <i>Abb. 30: Périgordtrüffel Reihen von PP3</i> Dank neuer Wasserquelle wird die Bewässerung ab dem ersten Trüffelertrag umgebaut zu einer Sprinklerbewässerung. Da die Plantage noch im Anfangsstadium ist, wird nur 2-3 mal im Jahr bewässert, damit Wurzeln tief gehen. Gemäss Literatur soll Bewässerung breitflächig sein.  <i>Abb. 29: Tröpfchenbewässerung bei Périgord Anlage von PP3</i>
Anbau-systeme	Baumarten Burgunder: Buche, Eiche, Hasel, Schwarzkiefer Périgord: hauptsächlich Hasel, Eiche. Einzelne: Hängebirke, Zeder und andere Mulch Mulchfolie in Baumreihen: 1.60m breit, dunkel, mit Kokosmatte obendrauf Noch besser wären Kartoffelsäcke mit Stroh befüllt (4 Stk pro Baum). Dies ist wirkungsvoll, jedoch zeitintensiv und sie halten nicht so lange. Einige Trüffelproduzent:innen arbeiten mit Kalkschotter. Pflanzabstand Burgunder: 4 m zwischen Reihen, 4 m in Reihe Périgord: 6 m zwischen Reihen, 4 m in Reihe Nutzung Burgundertrüffel: Am Anfang wurde der Grasschnitt zwischen den Reihen genutzt, mittlerweile nicht mehr. Jetzt wächst das Gras nicht mehr, da die Kronen der Bäume weit in die Zwischenreihen hinausreichen. Périgord: Artenreiche extensive Wiese in Zwischenreihen (auch als solche angemeldet), Mahd zweimal/Jahr, Material wird abtransportiert
Kultur	Herkunft Trüffelpflanzen Burgunder: Trüffelpflanzen Périgord: 3 verschiedene Anbieter: 1. Trüffelpflanzen DE 2. Anbieter aus Frankreich 3. Firma «Mycraft», kennengelernt über Trüffelverband

	PP3 verwendet nur Pflanzmaterial von zertifizierten Produzent:innen, die Mykorrhizierung des Pflanzguts überprüfen. Trüffelmanzyl kann vorhanden sein und es gibt trotzdem keine Trüffel. Vorhandenes Trüffelmanzyl ist keine Garantie für einen Trüffelertrag. Ertrag Burgundertrüffel: im 6. Jahr 5-6 Trüffel (200-300g Total), im 7. Jahr 2 kg, im 8. Jahr 12 kg Ziel: 30-40 kg, Erntefenster: Aug-Dez Wintertrüffel Erntefenster: Dez-Jan Der Teil bei der Waldseite bringt keinen Ertrag (erste 5-6m) wegen Konkurrenz durch andere EkM. Es hätte aber logistisch keinen Sinn gemacht, Fläche nicht zu bepflanzen. Eventuell gibt es doch noch späteren Ertrag. Konkurrenz ⇒ Burgunder Trüffel findet PP3 teilweise 40-50m von Bäumen entfernt in benachbarten Feldern. In der Nähe von Périgord-Anlagen wäre dies ein Problem. ⇒ Wühlmäuse: Greifvogelstangen installiert, bei erster Anlage mulcht PP3 regelmässig, damit es kein hohes Gras gibt ⇒ Wild: Zaun um Anlage
Unterhalt	Die Trüffekultur ist sehr zeitaufwändig, vorallem bei professionellem Anbau. Am Anfang nimmt Hacken und bedecken mit Mulch/Mulchfolie viel Zeit in Anspruch. Initialaufwand Pflanzung: einige Wochen Arbeit. PP3 hat komplette Fläche vorher tief gespatet (1m), dann geeggt, Pflanzlöcher ca 25cm gross Einzäunung: 1-2 Wochen Périgord: PP3 hat 120 m3 Kalk auf die gesamte Fläche und Trüffeltorf on Granofor in die Pflanzlöcher v ausgebracht Baumschnitt 2 Wochen Vollzeit für Burgundertrüffel Anlage (70 aren, ergibt 3 Wochen Arbeit/ha pro Jahr) Trüffelfallen 2 Wochen/Jahr Hacken mit Handgerät 1 Tag/Jahr Total Insgesamt mindestens 5 Wochen / Jahr. Suche ist hier noch nicht dabei. Trüffelernte 2 x wöchentlich 1 Halbtage während Saison, damit Trüffel frisch sind Plus Vermarktung
Absatz	Private

	Trüffelpatenschaften Die Leute erhalten Trüffel von einem Baum. Die Menge ist der Durchschnitt aller Bäume auf der Fläche. Plus einer Spielerei: Die Leute wählen am Anfang einen Baum aus. Wenn dieser unter dem Durchschnitt liegt kriegen sie 10% weniger, wenn er darüber liegt, bekommen sie 10% mehr. Farmy.ch Comestible Schaffhausen Noch keine grossen Mengen Produkte PP3 stellt Trüffelpasteten mit eigenem Rindfleisch und Trüffelbutter her.
Wirtschaftlichkeit	Nebeneinkommen nebst Erdbeeren (1ha), Kirschen (1.2ha), Futterbau und wenigen Mutterkühen Umsatz 5000 - 6000.- Plus Baumpatenschaften: 200.- pro Burgunder und 250.- pro Périgord Trüffelbaum Bis erste Ernte kommt gibt es pro Jahr 2-mal ein gemeinsames Essen mit Trüffeln.
Chancen / Risiken	Chancen Kombi mit Kulturen im Biolandbau möglich oder andere extensive Kulturen ohne Pflanzenschutz Risiken Bäume in Kombination mit Weiden führen zu einer Verdichtung des Bodens, ausser mit sehr kleinen Tieren, wie zum Beispiel Gänsen (siehe PP4) Pflanzenschutz: Eine Kombination mit Erdbeeren zwischen Trüffelbaumreihen oder Hecken ist schwierig, da viel Pflanzenschutz eingesetzt wird (Bio wäre möglich) Anmerkungen PP3 plant einen Versuch für nächstes Jahr bei Burgundertrüffeln: Abwechselnd werden die Reihen entweder gehackt, mit gehäckseltem Geäst bedeckt oder kein Eingriff wird gemacht. Trüffelverband: mehrere Infoveranstaltungen pro Jahr, Deutschschweiz: 30-40 Leute

Pilzproduzent:in 4 – PP4

Einstieg	PP4 hat im Jahr 2006 mit ihrem Partner den Landwirtschaftsbetrieb von seinen Eltern übernommen. Dazu gehören 20 ha, plus 2.5 ha Pachtland und 3.5 ha Reben. Sie haben zuerst konventionell gestartet und ihr Partner hat die Ausbildung zum Landwirt gemacht. PP4 wollten noch nie nach Vorgaben arbeiten. PP4's Partner schaut gerne Kochsendungen und hat sich immer mehr zum Thema Trüffelanbau informiert. Der erste wilde Trüffelfund leitete den Startschuss zur Anlage einer Trüffelpflanzung ein. Sie gehörten zu den Ersten, die in der Schweiz Trüffel angebaut haben. Umstieg auf Bio im Jahr 2016. Sie sind ein Kleinbetrieb und mussten innovativ sein.
-----------------	---

Standort	Fläche Möglichst nahe am Betriebszentrum/Dorf. Dreispeitz: Bewirtschaftung schwierig Zuerst gepachtet mit mündlicher Abmachung zum Kauf, bei Pflanzung noch in Pacht (grosses Risiko)  Grösse Eingezäunte Fläche: knapp 1ha Davon bepflanzt: 0.5 ha 483 Bäume Boden pH und Bodenfeuchte Bodenproben eingeschickt <i>Abb. 31: Luftbild der Trüffelpflanzung von PP4 (Swisstopo)</i>
Mikroklima	Bewässerung Am Anfang haben sie von Hand bewässert, später nicht mehr. Sie haben sich gegen eine Bewässerung entschieden, auch nach sehr trockenen Jahren. Wegen den Weidegänsen müssten Sie die Bewässerung in die Anlage hineinhängen. Dann wäre es wiederum mühsam mit dem Mähwerk durchzufahren. Kein Windschutz  <i>Abb. 32: Randbereich der Trüffelanlage: Gegen innen nimmt der Grasbewuchs stark ab (Einfluss der Trüffel plus Beschattung)</i>
Anbau-systeme	Baumarten Hainbuche, Haselnuss und Zerreiche gemischt. Beimpft mit Burgunder / Périgord. Total 483 Bäume: Eine Teilfläche wurde im Jahr 2008 bepflanzt und die andere im Jahr 2009 Mittlerweile wurden die Zerreichen entfernt (keine Trüffel und darum Gefahr der Kontamination mit anderen Mykorrhiza). Mulch Am Anfang wurde mit Stroh gemulcht. Dieses haben sie dann aber wieder entfernt wegen Wühlmäusen.

	Pflanzabstand 3 x 3m Weidegänse 50 - 80 Tiere pro Saison Ab Federwechsel bis Mitte November auf der Fläche Im Jahr 2013 haben sie mit Weidegänsen angefangen. Studenten der HAFL hatten dazu ein Abschluss Projekt auf ihrem Hof gemacht. Die Gänse scharren den Boden nicht auf, sondern weiden nur das Gras ab. Ab diesem Zeitpunkt war nur noch ein Grasschnitt pro Jahr notwendig. Die Gänse können sich frei auf der ganzen Trüffelplantage bewegen, in der Nacht werden sie eingestallt - In einen mobilen Stallwagen, wo sie morgens und abends Futter bekommen. Der Futtermais für die Gänse wird auf eigenem Land angebaut (ungefähr 1300 m²). Am Anfang bekommen die Gänse spezielles Kükenfutter und nach einem Monat (nach dem Federwechsel) können sie auch im Regen draussen sein. Gegen Ende der Mast wird mehr Futter zur Verfügung gestellt (ab Ende September). Die Gänse lieben den Schatten, insbesondere an heissen Tagen. Am Anfang mussten die Bäume geschützt werden, da die Gänse an die Rinde gehen (bis zum 10. Standjahr der Bäume). Die Fläche kann sich aufgrund der Halbjahres Pause gut erholen (keine Dauerbeweidung). Gras darf beim Start der Beweidung mit den Gänsen nicht zu hoch sein (aktuell muss zuerst noch einmal gemäht werden, da sie aufgrund der Vogelgrippe noch zugewartet haben).
	 <i>Abb. 33: Blick ins Innere der Trüffelplantage von PP4</i>
Kultur	Herkunft Trüffelbäume Trüffelparten Ertrag Erster Trüffelfund von 300g noch acht Jahren. 2018 sehr gutes Jahr: 30 kg

	Der Périgordtrüffel hat sich bis heute nicht durchgesetzt, vermutlich da Boden zu schwer. Ein einziger Périgordtrüffel mit 160 g haben sie im Jahr 2018 gefunden bei einer Hainbuche neben dem Bach. Konkurrenz ⇒ Wühlmäuse: Fallen, den Rest erledigt der Fuchs ⇒ Wild: Zaun um Anlage ⇒ Würmer, Schnecken	 Abb. 34: Sommertrüffel-Fund vom 9. Mai 2023
Unterhalt	Initialaufwand ⇒ Bodenbearbeitung & Aufkalkung ⇒ Pflanzung mit Ökohum Pflanzenhumus ⇒ Einzäunung Die ersten Jahre waren sehr arbeitsintensiv: Bewässerung der Jungbäume von Hand! Kosten: 30'000.- (ohne Arbeitsstunden) Mähen In den ersten drei Jahren wurde regelmässig gemäht. Danach nur noch zweimal im Jahr und Schnittgut wurde liegen gelassen. Seit Weidegänsen: 1x pro Jahr, Aufwand 1 Tag Alle 2 Jahre Säuberungsschnitt: Aufwand 1 Woche mit 2 Personen Baumschnitt Alle 2-3 Jahre: Höhe begrenzen, Aufasten Aufwand total Normales Jahr: 3 - 4 Tage Zweite Aufkalkung Vor 2 Jahren Trüffelsuche Nur an Tagen, an denen der Boden nicht zu feucht oder zu trocken ist. Nimmt nicht viel Zeit in Anspruch. PP4 macht dies gerne. Es ist angenehm in der Trüffelplantage zu spazieren.	 Abb. 35: Schäfer von PP4 auf der Suche nach Trüffeln  Abb. 36: Hymenogaster luteus, Gelbe Erdnuss, koexistiert mit Trüffel, Hund zeigt sie ebenfalls an

	Überreife oder angefressene Trüffel werden manchmal bei Bäumen verteilt, wo noch keine Trüffel kommen.
Absatz	Gastronomie Private Geschmack Eine wichtige Erkenntnis für PP4 war, dass Trüffel, die in der Schweiz wachsen, nicht den gleichen Geschmack haben, wie Trüffel aus zum Beispiel Italien und Frankreich. Auch das Aussehen der Trüffel ist anders. Sommertrüffel, die um diese Zeit reif sind (Mai), sind im Geschmack sehr fein. Später im Jahr, gegen Herbst, werden die Trüffel dunkler und geschmackvoller. Qualität Der Trüffel soll schön rund sein und keine Löcher haben. Der Trüffel ist jedoch ein Produkt, in das man nicht hineinsehen kann. Für jeden Trüffel 1. Qualität, gibt es 5-10 Andere. Ihre privaten Kontakte, auch aus der Gastronomie, nehmen auch Trüffel 2. Klasse an und verwerten diese. Events Führungen mit 40-50 Personen inklusive Abendessen Weidegänse Vermarkten sie selbst im November: Online und an private Kontakte.
Wirtschaftlichkeit	Die Trüffelpolitik ist ein Erwerbszweig, der für sie nicht viel abwirft. Trüffel sind ein Nischenprodukt und werden es auch bleiben. Für Sie passt es jedoch, da sie dies auch leben und mit den Weidegänsen kombinieren.
Chancen / Risiken	Chancen Regionale Produkte, Förderung der lokalen Produktion ohne weite Transportwege Risiken Wasserhaushalt Boden Trockenheit und Hitze: Weniger Ertrag, bei Trockenheit ist es schwierig, die Trüffel aus dem lehmigen Boden zu bekommen. Die Entwicklung, dass immer mehr Leute ihre Hunde in Wäldern (und potenziell auch Agroforst) frei herumlaufen lassen bei der Trüffelsuche und die Löcher offenlassen, was Myzel schädigt.

Anhang 2

Leitfaden Interview

Forschungsfrage: Welche Faktoren müssen für einen erfolgreichen Anbau von Edelpilzen/Trüffeln in Agroforstsystemen in der Schweiz gegeben sein?

Interviewpartner:

Vorstellung und Einleitung: *Ziel: vertrauensvolle Atmosphäre schaffen, Eis brechen*

Begrüssung: Bedanken für Teilnahme an Interview

Vorstellung: Abschlussarbeit Studium Umweltingenieurwesen der ZHAW

Ziel der Arbeit ist es Pilzarten für den Freiland Anbau in Kombination mit Agroforstsystemen in der Schweiz zu untersuchen und mittels dem Experteninterview Wissenslücken aus der Literatur zu füllen.

Das Interview dauert ca. 45min, kann freiwillig natürlich auch verlängert werden.

Einverständnis der Aufnahme. Daten werden anonymisiert. Angebot Ergebnisse zu teilen

Thema	Leitfrage	Unterfrage	Bemerkung/Checkliste
Vorstellung / Einstieg	1. Wie sind sie zum Anbau von Pilzen im Freiland gekommen?	1.1. Was fasziniert sie an Pilzen am meisten?	- Eisbrecher, möglichst viel erzählen lassen - Vorgeschichte
	2. Welcher Aspekt der Pilzzucht im Freiland hat sie am meisten überzeugt?		
Standort	3. Aufgrund welcher Faktoren haben sie die Fläche ausgewählt?	3.1. Wie ist die Ausrichtung/Grösse der Fläche? 3.2. Besitzen sie die Fläche oder ist sie gepachtet?	
	4. Wurden vor der Anlage der Pilzzucht Bodenuntersuchungen gemacht?	4.1. Wenn ja, welche?	mit genauem Standort und Geodaten abgleichen
	5. Wie sind die klimatischen Verhältnisse am Standort?	5.1. Wie ist die allgemeine Windrichtung? Gibt es hohe Windstärken? 5.2. Was haben sie bei Starkniederschlägen auf der Fläche beobachtet? 5.3. Wie verläuft der Wasser(ab)fluss auf dem Gelände?	„
Mikroklima	6. Wie hoch ist der Beschattungsgrad der Pilzzucht durch Hecken/Bäume?	6.1. Werden die Pilze durch Netze zusätzlich beschattet?	Sommer vs Winter
	7. Wie wird der Windschutz für die Pilzzucht gewährleistet?	7.1. Welche Praktiken werden verwendet? 7.2. Wie schätzen sie deren Einfluss ein?	Auflistung Praktiken mit Einfluss auf Windschutz, bei Trüffel ProduzentInnen weglassen
	8. Wie wird die Feuchtigkeit im Boden/Substrat/Holz gewährleistet?	8.1. Wird bewässert? 8.2. Wenn ja: Wie viel, wie oft, wie? 8.3. Wie hoch ist die Feuchtigkeit im Substrat/Boden über das Jahr? 8.4. Wurden Messungen gemacht?	

	9. Wieviel Niederschlag fällt bis auf den Boden/Pilzsubstrat?	9.1. Wird die Pilzkultur abgedeckt? Wenn ja, mit was?	
Anbau-systeme	10. Wie werden die Pilze angebaut?	10.1. Werden Beete, Kisten, Holzstämme oder Säcke verwendet? 10.2. Bei Trüffeln: Welche Baumarten wurden verwendet?	
	11. Wie gross ist der Abstand zwischen den Bäumen/Hecken?	11.1. Bei mehreren Reihen: Wie gross ist der Abstand zwischen den Reihen?	Bei Edelpilzzucht Abstand der Pilzzucht zu Bäumen/Hecken abfragen
	12. Werden Pilzsubstrate mehrfach genutzt?	12.1. Wird das Pilzsubstrat anschliessend als Dünger weiterverwendet?	
	13. Wird ein Agroforstsystem für die Pilzzucht genutzt?	13.1. Welche Art von System? 13.2. Falls nein: Welcher Art von Agroforstsystem ist es am ähnlichsten?	Beispiele AF bereithalten
	14. Wird die Fläche mehrfach landwirtschaftlich genutzt?		Beispiele: Nüsse, Früchte, Weide, Kräuter, Wertholz
Kultur	15. Woher wird das Pilzmyzel beschafft?	15.1. Stellen sie die Dübel-/Körnerbrut selbst her? Wenn ja, mit welcher Infrastruktur und Methode?	
	16. Woher werden die mykorrhizierten Pflanzen bezogen?	16.1. Beimpfen sie ihre Pflanzen selbst mit (Trüffel)-Mykorrhiza?	Nur für TrüffelproduzentInnen
	17. Wird die Mykorrhiza anhand von mikroskopischen Untersuchungen überprüft?		„
	18. Wie lange produzieren ihre angebauten Pilzarten (bereits) Fruchtkörper?		
	19. Wie hoch ist der durchschnittliche Ertrag pro Jahr?	19.1. Über wieviele Monate?	
	20. Gibt es Probleme mit Konkurrenz?		Andere Pilzarten, Schimmelpilze, Bakterien, Schnecken, Würmer, ...
Unterhalt	21. Wie hoch ist der Aufwand für den Unterhalt?		Bewässerung, Substrat, Pflege, Mähen, Bodenbearbeitung
	22. Ist der Unterhalt im 1. Jahr höher als in den weiteren Jahren?	22.1. Gibt es Schwankungen im Unterhalt je nach Jahr? 22.1. Wenn ja, wie gross sind diese Schwankungen?	
Absatz	23. Über welchen Kanal werden die Pilze verkauft?		Hofladen, Markt, Händler, Online shop?
	24. Wie lange sind die Pilze haltbar?	24.1. Haben sie einen eigenen Kühlraum?	
	25. Werden die Pilze weiterverarbeitet?	25.1. Verarbeiten sie die Pilze selbst weiter?	Trocknen Fermentieren Einfrieren

Wirtschaftlichkeit	26. Ist die Pilzzucht ein Haupt- oder Nebeneinkommen?		
	27. Haben Sie Zahlen zu den aufgewendeten Arbeits- und Materialstunden?		
	28. Wie hoch ist ihr jährlicher Umsatz?		
Abschluss	29. Welche Chancen und Risiken sehen sie bei der Kombination von Agroforst und Freilandpilzen?		Zusammenhang evt erklären, wenn zb Pilzzucht am Waldrand
	30. Letzte Frage: Haben wir noch etwas vergessen? Haben sie noch Punkte, die sie noch gerne ansprechen möchten?	30.1. Was sind ihre Zukunftspläne und/oder -visionen?	

Bedanken für Auskunft und Teilnahmebereitschaft

Nochmals anbieten die Arbeit / Ergebnisse am Schluss zu teilen