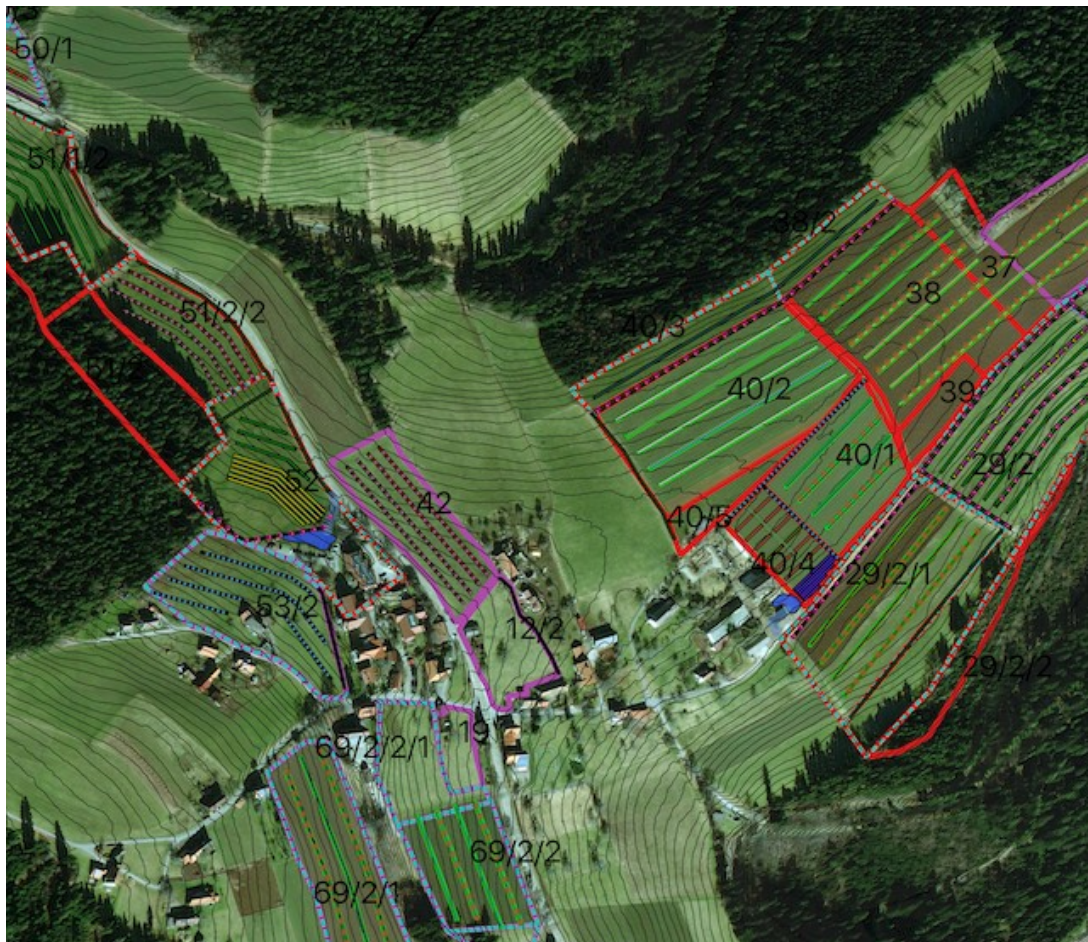


Entwicklung multifunktionaler Agroforstsysteme für die gemäßigten Breitengrade

Integration von agrarökologischen Prinzipien, Sukzessionsdynamiken
und Keyline-Design am Beispiel "Hof Sonnenwald"



Paul Hofmann

(Matrikelnummer 13208698; Studiengang MA Ökoagrarmanagement)

Betreuer: Prof. Dr. Jan-Peter Mund und Dr. Christopher Morhart
Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde,

17.06.2019

“On my mission for syntropy¹ - personally I learned to promote disturbancy”

Ernst Götsch 2016



Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung multifunktionaler Agroforstsysteme zur Förderung von Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Produktivität für die gemäßigten Breitengrade. Dies erfordert ein tiefgehendes Studium natürlicher Ökosystemdynamiken sowie die Integration von traditionellem land- und forstwirtschaftlichem Wissen. Zusätzlich erscheint eine Integration von Prinzipien und Best-practice Ansätzen aus Agrarökologie, sukzessionalen Agroforstsystemen und Keyline-Design vielversprechend. Daher wurde ein Verfahren für flächenspezifische Entscheidungen über die Ausrichtung von Baumreihen nach Keyline-Design entwickelt. Außerdem werden mechanisierbare Managementtechniken beschrieben, mittels derer auch bei sehr dichten Pflanzungen ein mittel-frühes Sukzessionsstadium mit einem halboffenen, mosaikartigen Landschaftscharakter aufrecht erhalten werden kann. Dies fördert die Maximierung der Nettoprimärproduktion von Biomasse, den Aufbau von Bodenfruchtbarkeit und die Biodiversität. Sinnvoll erscheint hierzu die Integration von Kopfbäumen, welche zahlreiche ökologische Vorteile gegenüber Kurzumtrieb besitzen. Durch die Kombination verschiedener funktioneller Gruppen (z.B. Biomasse- und Bodenfruchtbarkeitsbäumen, Futterbäumen, Wertholz, Biodiversitäts-Stauden, Fruchtertragskomponenten) wurden großflächig umsetzbare, multifunktionale, silvoarable Agroforstsysteme und intensive silvopastorale Systeme für die Beweidung mit Rindern sowie ein spezielles System zur Nahrungsergänzung für Hühner in Mobilstallhaltung am Beispiel des “Hof Sonnenwaldes” entwickelt. Im Kontext globaler Herausforderungen, wie den planetaren Belastungsgrenzen, erscheint die Weiterentwicklung derart multifunktionaler Agroforstsysteme ein vielversprechender Lösungsansatz.

¹Fuller et al. (1970) entwickelten eine Definition für Syntropie: als die Tendenz ganzer (lebendiger) Systeme sich durch evolutionäre Kooperation ihrer Teile zu immer komplexeren, vielschichtigen Mustern mit neuen, synergistisch emergierenden Eigenschaften und zunehmender Stabilität fortzuentwickeln. Damit beschreiben sie eine gegenläufige Bewegung zur Theorie der Entropie.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
Danksagung.....	3
1 Einleitung.....	5
2 Zielsetzung, Fragestellungen und Aufbau.....	6
3 Forschungs und Wissensstand.....	7
3.1 Methodik.....	7
3.2 Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und Resilienz – Prinzipien nachhaltiger Landwirtschaft...8	
3.2.1 Biodiversität.....	10
3.2.2 Bodenfruchtbarkeit.....	11
3.3 Multifunktionale Agroforstsysteme.....	13
3.3.1 Sukzessionale Agroforstsysteme (SAFS).....	15
3.4 Sukzession und Disturbancy-Management.....	16
3.4.1 Sukzessionstheorien.....	17
3.4.2 Photosyntheseflächenleistung, Nettoprimärproduktion und Biodiversität verschiedener Sukzessionsstadien.....	19
3.5 Keyline-Design.....	20
3.5.1 Vereinfachung und Weiterentwicklung des Keyline-Designs.....	21
4 Betriebs- Standort und Stakeholderanalyse.....	24
4.1 Methodik.....	24
4.2 Ökologische Standortcharakterisierung.....	26
4.3 Der Kontext: Konzeption des Gesamtbetriebes.....	30
4.4 Betrieb und Standort im Kontext aktueller sozio-ökologischer Herausforderungen.....	32
5 Zusammenführung und Designentwicklung.....	33
5.1 Methodik des gesamten Designprozesses.....	33
5.2 Designziele.....	35
5.3 Theorie trifft Praxis.....	36
5.3.1 Entscheidung über die Anlage von AFS auf spezifischen Flurstücken und Entwicklung einer Methodik für die Entscheidung über die Ausrichtung von Baumreihen nach Keyline-Design.....	36
5.3.2 Designelemente und Maßnahmen zur Maximierung der Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und Produktivität.....	41
5.3.2.1 Wasser.....	41
5.3.2.2 Licht und Kopfbäume.....	41
5.3.2.3 Boden und Wurzelraum.....	43
5.3.2.4 Nährstoffe.....	44
5.3.2.5 Baumreihenabstände und Design.....	46
5.3.2.6 Zentrale Aspekte der Pflanzung.....	49
5.3.3 Ansätze zur Mechanisierbarkeit multifunktionaler AFS.....	49
5.3.3.1 Kopfbaumschnitt.....	50
5.3.3.2 Ernte der (Wild-)Obststreifen.....	50
5.3.3.3 Tiefenlockerer.....	51
5.3.4 Skizzierung der Anlage von Teichen und Wasserretentionsbecken.....	52
6 Artenverteilung.....	53
6.1 Ackerflächendesign.....	53
6.1.1 Wertholzbaumreihen.....	53
6.1.2 Kopfbaumreihen.....	56
6.1.3 Wildobststrauchreihen.....	59
6.1.4 Staudenstreifen.....	62

6.1.5 Gemüsebaudesign.....	63
6.2 Grünlanddesign.....	64
6.2.1 Futterkopfbaumreihen.....	64
6.2.2 Zaunkopfbäume.....	65
6.2.3 Hühnermobil-Flächendesign.....	65
6.2.4 Integration von Nussbäumen und -sträuchern.....	66
6.2.5 Streuobst.....	68
6.3 Flächenvorstellungen.....	69
7 Diskussion.....	75
8 Ausblick.....	82
Abkürzungs-Verzeichnis.....	84
Quellenverzeichnis.....	85
Abbildungsverzeichnis.....	92
Anhang.....	93
Selbstständigkeitserklärung.....	100

Danksagung

Ich möchte meinen beiden Betreuern Prof. Dr. Jan-Peter Mund und Dr. Christopher Morhart an erster Stelle für die Begleitung dieses Masterarbeitsthemas danken. So konnte ich mich mitten im Hofübernahme- und Gemeinschaftsgründungsprozess mittels meiner Masterarbeit tiefgehend mit der (Weiter-)Entwicklung multifunktionaler Agroforstsysteme und damit mit einer langfristigen Vision für den Ort beschäftigen.

Ich danke meiner tollen Gemeinschaft für ihre Unterstützung in der herausfordernden Zeit der Masterarbeitserstellung, in der ich in den letzten drei Wochen fast vollkommen abgetaucht war und kaum noch Aufgaben wie Essenszubereitung, Abwaschdienste, Plena und Gemeinschaftsbildungsprozesse wahrgenommen habe - Ein dickes Danke: an all die Menschen, mit denen ich mich in den kurzen Pausen zwischen den stundenlangen Computersessions beim Frisbee-Spielen, Akroyoga, Tanzen oder einfach nur kuschelnd Rumhängen erholen konnte.

Insbesondere Waltraut und Mona danke ich für ihre Zeitmanagement-Beratungssessions und liebevollen morgendlichen Telegram-Nachrichten, die mich sehr dabei unterstützen, mich direkt nach dem Aufstehen und meiner morgendlichen Meditation fokussiert an die Arbeit zu setzen.

Meinem alten Freund Luka möchte ich vielmals dafür danken, dass er sich viel Zeit nahm, mich bei der Einarbeitung in die Benutzung von QGIS zu unterstützen und mir bei all den Fragen und mich teils fast zur Verzweiflung bringenden technischen Herausforderungen auf der Reise zur Erstellung der in dieser Arbeit vorliegenden Karten stets mit Tipps, Rat und großer Gelassenheit zur Seite stand.

Dem Ökopionierbauer Thomas Häcker danke ich für seine Nachsicht angesichts meiner besonders in den letzten Wochen vor der Abgabe der Arbeit sehr geringen Präsenz auf dem Hof und für seine

Geduld in dem für ihn herausfordernden Prozess der Hofübergabe vor dem Hintergrund meiner teils überwältigenden und fern von seiner Realität liegenden (Agroforst-)Visionen für den Hof. Danke auch, dass du den Hof die letzten 30 Jahre biologisch bewirtschaftet hast, und das anfangs in einer Zeit als man dafür sicherlich noch ziemlich schräg angeguckt wurde!

Die Diskussionen über erste Entwürfe dieser Arbeit mit der Agroforstberater*innen-Selbstausbildungsgruppe verhalfen mir zu einem tiefergehenden Verständnis von multifunktionalen Agroforstsystemen. Der gemeinsamen Auseinandersetzung in Theorie und Praxis mit dieser Gruppe über einen Zeitraum von eineinhalb Jahren hat mir viel Freude bereitet und einige in diese Arbeit mit eingeflossenen Erkenntnisse erbracht.

Einen großen Dank möchte ich auch an all die Korrekturleser*innen auf den letzten Drücker vor Abgabe der Arbeit senden.

Zuletzt möchte ich mich bei der Bewusstseinskraft an sich bedanken, von der ich mich immer wieder intuitiv geführt fühle und die mir in den herausfordernden Phasen meiner Arbeit Vertrauen, Kraft und innere Zuversicht spendete.

1 Einleitung

Viele globale Herausforderungen unserer Zeit (Klimawandel, Landnutzungsänderung, Bodenerosion, Biodiversitätsverlust, Nahrungssicherheit, biogeochemische Kreisläufe wie die Endlichkeit der Phosphorreserven sowie der Stickstoffbelastung des Grundwassers) sind eng mit der Landbewirtschaftung verbunden (Rockström et al., 2009, 2017; Springmann et al., 2018; Steffen et al., 2015) (s.a. Abb. 1).

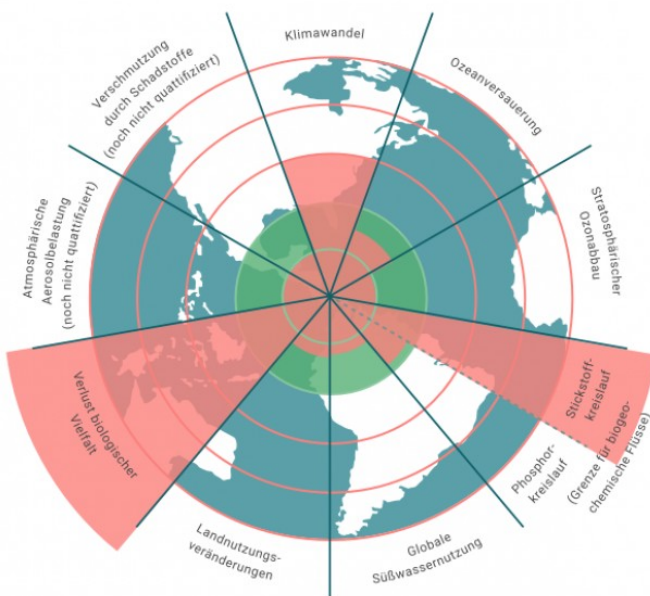


Abbildung 1: Planetare Belastungsgrenzen (die grüne Fläche repräsentiert den sicheren Handlungsraum, die roten Keile zeigen den Grad der Gefährdung verschiedener Aspekte) nach Rockström et al. (2009)

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (2011) fordert angesichts der Gefährdung unserer natürlichen Lebensgrundlagen eine große Transformation, zu der eine zukunftsfähige Landbewirtschaftung einen entscheidenden Beitrag leisten könne.

Hierfür bedarf es einer Weiterentwicklung von Agrarökosystemen, die resilienter, diverser und ressourceneffizienter sind sowie mehrjährige Kulturen stärker integrieren (Altieri et al., 2017). Derzeitige Bemühungen, die einjährigen Agrarsysteme zu optimieren, reichen nicht aus, um den Trend der Degeneration und Übernutzung der von Rockström et al. (2009) und Springmann et al. (2018) dargestellten Überlastungsgrenzen des Erdsystems

umzukehren (UN, 2013; Crews & Rumsey, 2017; Rockström et al., 2017).

Pretty et al. (2018) beschreiben im Angesicht der aktuellen Herausforderungen drei Stufen nachhaltiger Intensivierung: (1) Effizienzsteigerung, (2) Substitution, (3) Redesign. Auch wenn die ersten beiden Stufen von Bedeutung sind, vertreten ebd. die These, dass nur ein fundamentales "Redesign", welches sowohl agrarökologische als auch soziokulturelle Dimensionen integriert, die benötigte Transformation in der Landwirtschaft hervorrufen könne.

Dabei spielt die Integration einer hohen Biodiversität vermutlich eine herausragende Rolle. Eine Vielzahl funktioneller Reaktionsmechanismen unterschiedlicher Arten auf bevorstehende Umweltveränderungen in einem Ökosystem hält die Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen aufrecht. Infolgedessen sind Ökosysteme mit einer geringen (Reaktions-)Vielfalt innerhalb der Funktionsgruppen besonders anfällig für Störungen. (Altieri, 1999)

Zu einem „Redesign“ könnten auch multifunktionale Agroforstsysteme² (AFS) beitragen, indem sie so umgesetzt werden, dass durch sie im Vergleich zu herkömmlichen Agrarsystemen mehr (1)

2 Entsprechend der recht umfassenden USDA-Definition (in Elevitch, Mazaroli, & Ragone, 2018) sind Agroforstsysteme „die absichtliche Integration von Bäumen und Sträuchern in Pflanzen- und Tierhaltungssystemen zur Schaffung von ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Vorteilen“.

Kohlenstoff sequestriert wird, (2) Biodiversität gefördert wird, (3) Bodenfruchtbarkeit aufgebaut und (4) Luft- und Wasserqualität verbessert werden (Shibu Jose, 2009; Lovell et al., 2018; Nair, Nair, Kumar, & Showalter, 2010).

In dieser Arbeit wird die Weiterentwicklung von multifunktionalen und sukzessionalen Agroforstsystemen (AFS) unter Integration aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse und best-practice Ansätze für die gemäßigten Breitengrade behandelt.

Das Vorgehen wird exemplarisch anhand der Planung des landwirtschaftlichen Betriebs "Hof Sonnenwald" verdeutlicht.

2 Zielsetzung, Fragestellungen und Aufbau

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines multifunktionellen Agroforstsystems (AFS) mit starker Orientierung an agrarökologischen Prinzipien und aktuellen zukunftsweisenden Erkenntnissen am Beispiel des "Hof Sonnenwald".

In einem ersten Schritt dieser Arbeit sollen durch ein Literaturstudium grundlegende Prinzipien und neueste Erkenntnisse aus der Forschung zu nachhaltigen Landnutzungssystemen (insbesondere regenerative Landwirtschaft, Agrarökologie und Permakultur) (s.a. Kap. 3.2) und in einem weiteren Schritt mit spezifischerem Fokus erste Forschungsergebnisse und Entwicklungstrends von multifunktionalen AFS analysiert werden (s.a. Kap. 3.3).

In einem weiteren Schritt soll ebenfalls mittels Literatursauswertung ein Überblick über die Faktoren und Dynamiken von Sukzessionsprozessen (s.a. Kap. 3.4) gewonnen werden, da diese die Entwicklung von (Agrar-)Ökosystemen stark beeinflussen, jedoch bisher nur geringfügige Beachtung in der Forschung zu Agrarökosystemen gefunden haben (Young, 2017). Insbesondere soll in diesem Zusammenhang untersucht werden, wie diese Dynamiken sich im Kontext von AFS auf Produktivität, Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität auswirken (s.a. Kap. 3.4.2).

Darüber hinaus soll das Keyline-Design als ein aus der Praxis stammender methodischer Designansatz mit potentiell wertvollen, jedoch bisher kaum berücksichtigten Implikationen für die Entwicklung multifunktionaler AFS dargestellt werden (s.a. Kap 3.5).

Weiterhin sollen die ökologischen Standorteigenschaften des "Hof Sonnenwald" analysiert werden (s.a. Kap. 4.2). Anschließend werden relevante Ergebnisse für die Etablierung von multifunktionalen AFS aus einem Tages-Workshop zur Erstellung eines holistischen Kontextes extrahiert und der Betrieb selbst dargestellt (s.a. Kap. 4.3). Abschließend wird der gesamte Betriebskontext in Zusammenhang mit aktuellen sozio-ökologischen Herausforderungen betrachtet (s.a. Kap. 4.4).

Aufbauend auf diesem theoretischen Fundament und dem konkreten Kontext des Hofes, sollen spezifische Ziele des Designs definiert werden (s.a. Kap. 5.2).

Im Folgenden findet eine weitere Annäherung an das Design statt, indem folgende Elemente für die Umsetzung der Theorie in die Praxis entwickelt werden: (1) Analysemethodik für die Flurstück-spezifischen Entscheidung über die Ausrichtung von Baumreihen und zur Prüfung der Eignung für

Keyline-orientierte AFS-Baumreihen (s.a. Kap. 5.3.1), (2) Darstellung der zentralen Designelemente und konkreter Maßnahmen für die Förderung von Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit (s.a. Kap. 5.3.2), (3) Ansätze für die Mechanisierbarkeit multifunktionaler AFS (s.a. Kap. 5.3.3) und (4) eine Skizzierung der Anlage von Teichen und Wasserretentionsbecken (s.a. Kap. 5.3.4).

Schließlich erfolgt eine exemplarische Anwendung mit der Auswahl von Gehölzarten und detaillierten Vorstellung der Designs einzelner Flächen für den "Hof Sonnenwald" (s.a. Kap. 6).

Anschließend werden die Ergebnisse der Arbeit vor dem Hintergrund weiterer Literatur diskutiert (s.a. Kap. 7). Bei den vorhergehenden Kapiteln zur Erarbeitung des Designs mussten Forschungsergebnisse im Kontext des Hofes bereits immer wieder diskursiv abgewogen werden, um daraus konkrete Maßnahmen abzuleiten. Daher werden in der Diskussion nicht alle Aspekte der Arbeit nochmals aufgegriffen, sondern vielmehr einzelne, kritische Punkte Schlaglichtartig beleuchtet.

Zuletzt werden im Ausblick weitere relevante Themen im Zusammenhang mit dieser Arbeit aufgezeigt, deren tiefgreifendere Betrachtung jedoch den Umfang dieser Arbeit sprengen würde (s.a. Kap. 8).

Aufgrund der Vielzahl von in dieser Arbeit zusammenfließenden Themensträngen wurde der Übersichtlichkeit halber anstelle eines einzigen der Arbeit vorangestellten Methodikkapitels jedem Oberkapitel des Ergebnisteils ein Methodenabschnitt vorangestellt.

3 Forschungs und Wissensstand

3.1 Methodik

Die Ergebnisse dieses Kapitels basieren auf einer Literaturschau wissenschaftlicher Publikationen über "Google scholar", allesamt mit der speziellen Sucheinschränkungsoption „im Titel auftauchend“ und ohne Auflistung der „reinen Zitat-Ergebnisse“. Dabei wurden folgende Begriffe analysiert: „agroecology design“ (9 Studien), „regenerative agriculture“ (28), „carbon farming“ (116). Mit weiterer Einschränkung: „exakte Wortfolge“(eW.), „permaculture design“ (78 mit eW.), „succession dynamics“ (76 mit eW.), „disturbance regime“ (138 mit eW.), „multifunctional agroforestry“ (15 mit eW.), „successional agroforestry“ (13), „Keyline design“ (5).

Eindeutig nicht wissenschaftlich erscheinende Publikationen wurden nicht berücksichtigt. Die letztendliche Auswahl der tiefergehend zu analysierenden Studien aus den gesamten Suchergebnissen geschah überwiegend anhand der Überschriften, teilweise mittels kurzer Analyse des Abstracts und aufgrund subjektiver Einschätzung des Autors über die Relevanz der Studie für diese Arbeit.

Aufbauend auf die Quellenangaben in den tiefergehend analysierten Studien wurden weitere Publikationen und Bücher, die teilweise auch als "graue Literatur" einzustufen sind, für eine

tiefergehende Analyse ausgewählt (ebenfalls mittels subjektiver Einschätzung der Relevanz durch den Autor).

Aufgrund der geringen Zahl von Suchergebnissen zu „keyline design“ wurde Literatur aus den angrenzenden Themenfeldern „contour farming“ (23), „subsoiling water“ (44) „subsoiling root“ (25) mittels gleicher Suchmethodik wie oben beschrieben ausgewertet. Außerdem diene das Literaturverzeichnis der Bachelorarbeit von Kullik (2016) als Quelle für weitere Literatur.

3.2 Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und Resilienz – Prinzipien nachhaltiger Landwirtschaft

Es existieren derzeit mehrere konkurrierende Konzepte und Begriffe im Bereich der nachhaltigen Landwirtschaft. Insbesondere sind diese: Ökologische Landwirtschaft, Biodynamische Landwirtschaft, Carbon-Farming, Regenerative Landwirtschaft, Ökologische Intensivierung, Permakultur und Agrarökologie. Zwar unterscheiden sich die Ansätze in Details ihrer Ausrichtung (Ferguson & Lovell, 2013; Keeney, 1990; LaCanne & Lundgren, 2018), eine derartige Differenzierung wie sie bereits vor einiger Zeit in anderen Arbeiten versucht wurde (Keeney, 1990), ist jedoch nicht Ziel dieser Arbeit. Vielmehr wurden die Ansätze unabhängig von ihrem Namen anhand der folgenden Prinzipien auf Gemeinsamkeiten hin analysiert:

1. Förderung der genetischen Vielfalt: Unter anderem durch Nutzung und Entwicklung standortangepasster Pflanzensorten und Nutztierassen sowie Anbau in Mischkulturen. So wird eine Anpassung und Resilienz gegenüber sich ändernden biotischen und abiotischen Umweltbedingungen / Störungen gewährleistet (Altieri, Nicholls, Henao, & Lana, 2015; Ferguson & Lovell, 2013; Perkins, 2016; Swift, Izac, & van Noordwijk, 2004).
2. Integration von Pflanzen- und Tierproduktion (Schließung von Nährstoffkreisläufen) und nachhaltige Optimierung von Grünlandbeweidungsmanagement (Koochkan, Altieri & Gimenez, 2012; Mollison, 1988; Perkins, 2016; Regenerative Agriculture Initiative & Carbon Underground, 2017).
3. Weitestgehende Vermeidung des Einsatzes von Agrochemikalien und anderen Technologien, die sich nachteilig auf die Umwelt und auf die menschliche Gesundheit auswirken (z.B. schwere Maschinen, transgene Pflanzen, etc.) (Altieri, Letourneau, & Davis, 1983; Lichtfouse et al., 2009).
4. Stattdessen Ökosystem-Mimikry und ökologische Systemoptimierung: Nährstoffkreisläufe, biologische Stickstofffixierung, Allelopathie, biologisches Gesundheitsmanagement durch Förderung von diversifizierten Anbausystemen und Integration funktioneller Biodiversität (Altieri, 1999; Ferguson & Lovell, 2013; Jacke & Toensmeier, 2006; Mollison, 1988).
5. Effiziente Nutzung von Ressourcen (Nährstoffe, Wasser, Energie), reduzierter Einsatz von nicht erneuerbaren Energien und eine geringere Abhängigkeit der Landwirte von externen Importen (z.B. Futter und Düngemittel) (Altieri et al., 1983; Koochkan et al., 2012).
6. Förderung von Praktiken zur Regeneration von sauberem Wasser sowie Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Kohlenstoffsequestrierung (Crews & Rumsey, 2017;

Edwards, Groveb, & Harwoodc, 1993; Koohafkan et al., 2012).

7. Stärkung der Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit landwirtschaftlicher Systeme durch Wahrung vielfältiger Agrarökosysteme (Gleichgewicht zwischen langfristiger Anpassungsfähigkeit und kurzfristiger Effizienz) und tiefgreifender Wertschöpfung durch Produktveredelung im Betrieb, wodurch nicht nur flexiblere Reaktionen auf Veränderungen möglich sind, sondern auch Schlüsselfunktionen trotz fortwährendem Wandel der Umwelt sichergestellt werden (Holt-Giménez & Altieri, 2012; LaCanne & Lundgren, 2018; Wilson et al., 2018).
8. Weiterentwicklung von landwirtschaftlichen Erbschaftssystemen, Eigentumsverhältnissen und ökonomischen Betriebsmodellen, die partizipative Beteiligungs-Methoden des Hofumfeldes, kulturelle Identität und Verbindung mit bäuerlichen Betrieben fördern. Nutzung von traditionellen und modernen wissenschaftlichen Erkenntnissen und Förderung des Austausches und der Kooperation unter Landwirt*innen bzgl. Innovationen und Technologien (Soloviev & Landua, 2016; Gastó, Vera, Vieli, & Montalba, 2009; Holt-Giménez & Altieri, 2012; Lichtfouse et al., 2009; Pretty et al., 2018; Wezel et al., 2009).

Ergänzend zu den hier vorgestellten 8 Prinzipien sollen im folgenden einige Hintergründe beleuchtet werden, insbesondere zu den Bereichen Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit, die beide maßgeblich zur Resilienz eines Gesamtsystems beitragen (Koohafkan et al., 2012).

Exkurs Resilienz

Resilienz ist definiert als die Fähigkeit eines Ökosystems, sich selbst zu reorganisieren und nach einer Störung seine ursprüngliche Struktur und Funktion wiederherzustellen (Malézieux, 2012). Da Schocks meist zu einem Verlust von Biodiversität führen, hängt die Resilienz stark von der Fähigkeit der Organismen ab, die gestörte Fläche aus der Nachbarschaft zu rekolonialisieren und somit auch von der jeweiligen Entfernung zum nächstgelegenen geeigneten Lebensraum sowie der Verbreitungsfähigkeit der Organismen (Swift et al., 2004).

Exkurs Klimaplastizität

In Abgrenzung zur Resilienz wird unter Klimaplastizität die Fähigkeit eines ökologischen Systems zu einer dauerhaften Anpassung seiner Strukturen (im Sinne der "Verformung") an einen Wandel des Klimas verstanden. Klimaplastizität wird vor allem durch Pflanzenartenmischungen und deren ökologische Interaktionen erzeugt. Ein Waldbestand kann sich beispielsweise durch Veränderung der Mengenanteile der Baumarten an das sich wandelnde Klima anpassen. Ziel des Konzepts der Klimaplastizität ist es, insbesondere wirtschaftlich genutzte Ökosysteme mit der Fähigkeit zu struktureller Selbstorganisation in Anpassung an veränderliche Umweltbedingungen zu entwickeln. Es erscheint daher sinnvoll nicht einseitig auf bestimmte Baumarten zu setzen, sondern auf eine große Amplitude unterschiedlicher Arten, von denen einige ihre optimale Nische teilweise noch am Rande oder sogar fast außerhalb der derzeitigen Standortbedingungen haben. So können durch eine vielfältige Artenwahl unterschiedliche Bereiche möglicher Klimaszenarien abgedeckt werden. (Reif, Bauhaus, Brucker, Kratzer, & Schmiedinger, 2009)

3.2.1 Biodiversität

Die Verursachung des Verlustes der biologische Vielfalt ist einer der zentralen Bereiche, in denen die Menschheit droht die planetaren Belastungsgrenzen zu überschreiten (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Die Biodiversitäts-Schadschwelle interagiert mit allen anderen Grenzen und kann explizit als Kontrollvariable für Änderungen in anderen Belastungsbereichen definiert werden. Wenn der Verlust der Biodiversität zunimmt, wird auch die Fähigkeit des Erdsystems andere Schadschwellen zu kompensieren verringert, was wiederum ein negatives Feedback auf die Biodiversität erzeugt (Mace et al., 2014). Da die Landbewirtschaftung einen großen Einfluss auf die Biodiversität hat, ist hier die Dringlichkeit einer Transformation sehr hoch (s.a. Kap. 4.4). Rockström et al. (2017) empfehlen die Verbindung von Forschung zu Ökologie, Agrarwissenschaften und nachhaltigen Wirtschaftsmodellen in Praxisforschungsbetrieben mit dem Ziel die Hypothese zu testen, ob eine nachhaltige Intensivierung der Landbewirtschaftung innerhalb des „Earth’s safe operating space“ geschehen könne.

Scholes & Biggs (2005) konstatieren, dass der Verlust von Lebensräumen und die Verringerung der Qualität und Quantität geeigneter Habitate Hauptfaktoren für den Rückgang biologischer Vielfalt seien.

In diesem Zusammenhang können Agrarökosysteme durch die Schaffung von Habitaten die biologische Vielfalt fördern und lassen dadurch potenziell niedrigere Schädlingspotentiale erwarten. Hierzu eignen sich folgende Maßnahmen:

1. Hohe Pflanzenvielfalt durch zeitliche und räumliche Mischungen unter der Verwendung von Sortengemengen oder Multiline-Züchtungen, Mischkulturen und Fruchtfolgen (Altieri, 1999).
2. Kleine, verstreute Felder, die ein strukturelles Mosaik aus angrenzenden Anbauflächen und angrenzenden Strukturen (Hecken, Staudensäumen, Gehölzen, Wildnis) bilden, die potenziell Schutz und Nahrung für natürliche Schädlingsfeinde bieten. Das vermehrte Auftreten von Schädlingsprädatoren ist mit vielfältigen Mikrohabitaten, alternativen Wirten, Brut und Eiablageplätzen, die von heckenartigen Strukturen bereitgestellt werden, zu erklären, und zwar insbesondere wenn die Vielfalt der Unterholz-Flora gefördert wird. (Jose, 2009; Swift et al., 2004)
3. Hohe Bodendeckungsgrade mit Ertragspflanzen oder das Vorhandensein tolerierbarer Mengen von Unkrautarten (Altieri, 1999).

Es wird mittlerweile allgemein anerkannt, dass in Ökosystemen trotz der hohen Komplexität der Prozesse ein allgemein positiver Zusammenhang zwischen Vielfalt und Stabilität sowie zwischen Vielfalt und Produktivität besteht (Altieri, 1999; Altieri et al., 1983; Collinge, 1998; Shibu Jose, 2009; Malézieux, 2012; Swift et al., 2004).

Die Mischung komplementärer, funktioneller Lebensformen mit einem bestimmten Redundanzgrad - nicht die Anzahl verschiedener Arten - beeinflusst die Funktionsfähigkeit des Ökosystems

(Malézieux et al., 2009). Wenn sich nämlich die Umweltveränderungen wandeln, kann eine Komponente, die zuvor nur ein Nischendasein hatte, wichtige Funktionen übernehmen (Ebeling et al., 2014). In Systemen, die eine große Anzahl von Arten enthalten, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Arten enthalten, die gut an begrenzende oder gefährdende Faktoren angepasst sind, welche in einem System auftreten können. Indem die verschiedenen Arten asynchron auf Umweltschwankungen reagieren, trägt die Artenvielfalt zur Stabilität des Gesamtsystems bei (Malézieux, 2012).

Eine „**funktionelle Gruppe**“ kann definiert werden als „eine Gruppe von Arten, die ähnliche Auswirkungen auf einen bestimmten biogeochemischen Prozess auf Ökosystemebene haben“ und daher zumeist auch ähnliche Nischen nutzen. Die erforderliche Gesamtdiversität hängt dann von der Anzahl der erkannten Funktionen und dem Grad der Überlappung in „Funktionsgruppen“ zwischen diesen verschiedenen Funktionen ab. (Swift et al., 2004)

Es ist anzumerken, dass selbst wenn die Diskussion über Funktions-Diversitäts-Beziehungen auf die Betrachtung rein funktioneller Gruppen reduziert wird, das damit verbundene minimale Ausmaß an notwendiger Diversität immer noch sehr hoch ist (Swift et al., 2004).

3.2.2 Bodenfruchtbarkeit

Die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit führt zu einer höheren Resilienz von Agrarökosystemen gegenüber Störungen (Trockenstress, Erosion, Krankheiten etc.), indem sie u.a. die Nährstoff- und Wasserversorgung verbessert. Außerdem kann sie in Form von Kohlenstoffsequestrierung auch als Klimaschutzmaßnahme betrachtet werden (Crews & Rumsey, 2017; Janzen, 2015; Swift et al., 2004). Die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist besonders wichtig, da der Boden das größte organische Kohlenstoffreservoir in terrestrischen Ökosystemen darstellt und dreimal mehr Kohlenstoff enthält als die von ihm unterstützte Vegetation. Daher stellt er eine potenzielle Senke für die anthropogenen Kohlendioxidemissionen dar. (Rasse et al., 2005)

Darüber hinaus sind auch der N- und P-Kreislauf zwei Bereiche, in denen die planetaren Belastungsgrenzen überschritten zu werden drohen. Beide hängen eng mit dem landwirtschaftlichen Düngerregime zusammen (Steffen et al., 2015) und können daher durch ein erfolgreiches Bodenfruchtbarkeitsmanagement weitgehend ersetzt werden (Kempf, 2011; Marschner & Marschner, 2012).

Für den Aufbau von Bodenfruchtbarkeit braucht es grundsätzlich drei Elemente, die sich gegenseitig beeinflussen (Janzen, 2015; Marschner & Marschner, 2012; Ottow, 2011; Rasse, Rumpel, & Dignac, 2005): (1) geeignete Bodenphysik – ausreichend lockerer Boden für die Durchwurzelung, Wasserinfiltration und Gasaustausch (was unter anderem durch Pflanzenwurzeln und Tiefenlockerung optimiert werden kann); (2) gute Bodenbiologie – diese trägt zum Lebendverbau der Bodenpartikel, zur Umsetzung organischer Reststoffe und zum Verfügbarmachen von im Ausgangsgestein und den Bodenpartikeln gebundenen mineralischen Nährstoffen bei und kann insbesondere durch die Wurzeln gesunder vielfältiger Pflanzenbestände (s.a. unten), ein feuchtes Mikroklima und durch Auflage organischer Masse gefördert werden; (3) geeignete Bodenchemie - diese kann, solange die Bodenbiologie noch nicht aktiv genug ist oder

es starke Ungleichgewichte gibt, z.B. über gezielte Mikronährstoffdüngungen oder Gesteinsmehlgaben verbessert werden.

Ein Schlüsselfaktor für die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit besteht darin, möglichst viel Zucker und Aminosäuren³ aus den Assimilationsprozessen des Sonnenlichts über Pflanzenwurzeln in die Nährstoffkreisläufe und Nahrungsnetze des Bodens zu leiten (Farrar et al., 2003; Janzen, 2015; Jones, 2015; Kempf, 2011; Rasse et al., 2005; Zhalnina et al., 2018). Daher ist es erstrebenswert die Dichte und Oberfläche⁴ der Blattbiomasse auf dem Feld über den gesamten Jahresverlauf zu maximieren. Ebensovichtig ist eine größtmögliche Bodendurchwurzelung mit Pflanzen unterschiedlicher Arten, da diese in Assoziation mit unterschiedlich befähigten Mikroorganismen leben (Albrecht et al., 2018; Kempf, 2011; Rasse et al., 2005). Eine höhere Biodiversität hat daher tendenziell auch positive Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit (s.a. Jena-Experiment Kap. 3.4.2).

Allgemein geben Pflanzen über die Wurzeln eine variable, aber beträchtliche Menge (11–40%) Kohlenstoff aus der Photosynthese ab, wodurch ein vielfältiges chemisches Milieu entsteht. (Farrar et al., 2003; Zhalnina et al., 2018). Generell scheint die Menge der Wurzelexudate in der vegetativen Phase deutlich höher, da Pflanzen hier das Bodenleben aufbauen, mit deren Hilfe sie Nährstoffe pflanzenverfügbar machen können, die sie dann samt höherkettiger Nährstoffverbindungen in Form von Zell- und Metabolitrückständen der Bodenorganismen während der Abreife aufnehmen (Kempf, 2011; Marschner & Marschner, 2012; Zhalnina et al., 2018).

Marschner & Marschner (2012) geben an, dass 20-60% des photosynthetischen C von höheren Pflanzen unter die Erde verlagert wird. In Abhängigkeit von der Wurzelaktivität wird davon 15 - 60% als Wurzelatmung in Form von CO₂ abgegeben. Bis zu 70% des unterirdisch verlagerten C bei mehrjährigen und bis zu 40% bei einjährigen Pflanzen wird als Rhizodeposition in Form von organischem C an den Boden abgegeben. (Marschner & Marschner, 2012). Diese Erkenntnis spricht für eine intensivere Integration von mehrjährigen Pflanzen in Agrarökosysteme. Rasse et al. (2005) schätzen außerdem, dass die durchschnittliche Verweilzeit von C in Böden aus Wurzeln das 2,4-fache der von C aus dem Spross beträgt. Dies liegt vermutlich daran, dass diese teilweise lignifiziert sind und daher auch von Pilzen nur langsam in Huminstoffe umgewandelt werden können (Ottow, 2011): Bei einer bakteriell dominierten Rhizosphäre, werden die Bakterien die Pflanzenausscheidungen als Nahrung und Energiequelle nutzen. Die Bakterien werden dann wiederum von anderen Mikroben wie Nematoden und Actinomyceten als primäre Nahrungsquelle verwendet. Die zurückbleibenden mikrobiellen Zellrückstände können von Pflanzen als Energiequelle genutzt werden. Dieser Verdauungszyklus wird als Mineralisierung bezeichnet und durch die Dominanz der Bakterien in Gang gesetzt. Wenn ein Boden jedoch ein von Pilzen dominiertes Verdauungssystem hat, sind die Pilze die primären Verwerter der Pflanzenwurzel-Exudate. Sie verdauen diese über einen gewissen Zeitraum langsam und

³Zu den abgesonderten Verbindungen zählen Zucker, Aminosäuren, organische Säuren, Fettsäuren und sekundäre Metabolite (Marschner & Marschner, 2012). Die Zusammensetzung der Wurzelexudate ist keine einheitliche oder statische Eigenschaft und hängt unter anderem von der Pflanzenart, dem Entwicklungsstadium, den Wurzelmerkmalen, den Umweltbedingungen, der Ernährung und dem Bodentyp ab (Zhalnina et al., 2018).

⁴Es ist logisch herleitbar, dass die Menge Photosynthese-betreibender Blattwerke in AFS deutlich höher ist, da diese durch die Baumreihen und die dazwischenliegenden ebenfalls bewachsenen Wiesen oder Ackerflächen eine Oberflächen-Struktur ähnlich der einer kompakt gefalteten Darmwand besitzen.

kombinieren sie zu komplexen und amorphen, langkettigen Kohlenstoffverbindungen. Dieser Verdauungszyklus wird als Humifizierung bezeichnet und ist ein kritischer Teil der Kohlenstoffbindung. (Kempf, 2011)

3.3 Multifunktionale Agroforstsysteme

Lovell et al. (2018) teilten AFS hinsichtlich ihrer Komplexität und Multifunktionalität in drei Stufen ein: (1) Das Basisdesign umfasst für den Standort geeignete Gehölze, die in eine Agrarlandschaft integriert werden (Grunddefinition der Agroforstwirtschaft). (2) Die nächste Komplexitätsstufe wählt Baumkulturen so aus, dass dabei Wertholz, Nüsse, Früchte oder andere Produkte entstehen. (3) Beim nächsten Komplexitätsgrad, der noch kaum erforscht ist, wird ein Polykultursystem entwickelt, in dem mehrere Baumkulturen auf der Grundlage von Kompatibilitäts-, Reifungs- und Managementanforderungen zusammen angebaut werden und auf diese Weise ein natürliches Ökosystem imitieren. Die Kulturen werden so kombiniert, dass sie unterschiedliche Nischen von der Baumkrone bis zur untersten Wurzelzone besetzen; in einem derartigen vielschichtigen System wird die Lichtaufnahme und der effiziente Einsatz von Nährstoffen und Wasser optimiert.

Dieser dritte Komplexitätsgrad ähnelt der von Elevitch, Mazaroli, & Ragone (2018) aufgestellten Definition für regenerative AFS: Es sollen Agroforstsysteme dicht bepflanzt (Maximierung der Nettoprimärproduktion und Aufbau organischer Bodensubstanz) und mehrstöckig aufgebaut sein (verschiedene Habitate, bessere Nischenausnutzung) sowie eine große Artenvielfalt enthalten.

Folgende grundlegende Prinzipien für das an natürlichen Ökosystemen orientierte Design von AFS lassen sich zusammenfassen (Jose & Gordon, 2008; Malézieux, 2012):

1. Ökosysteme bestehen in der Regel aus einer mosaikartigen Flickenteppichstruktur unterschiedlicher Komponenten. Die Randzonen zwischen verschiedenen Lebensräumen sind häufig Orte erhöhter Umsatzraten wie Nährstoff- und Energieaustausch, Wettbewerb, Facilitation und Diversität.
2. Störungen sind eine Hauptdeterminante von Ökosystemen: Natürliche Systeme sind dynamische Systeme, die sich aufgrund von Sukzessionskräften, langfristigen Klimaschwankungen und den unmittelbaren Auswirkungen natürlicher Störungen fortwährend verändern. Daher scheint es sinnvoll, Prinzipien der Störungsökologie in das Design von Agroforstsystemen zu integrieren.
3. Mehrjährige Pflanzen in Mischungen dominieren in natürlichen Ökosystemen, während einjährige Pflanzen in der Regel nur zu Beginn des Sukzessionsprozesses dominieren.
4. Wenn Ökosysteme aus Arten bestehen, die strukturelle und funktionelle Vielfalt erzeugen, indem sie ergänzende Nischen besiedeln und zueinander in trophischen Beziehungen stehen (Bsp. N-Düngebaum und Fruchtstrauch), wird die Effizienz der Ressourcennutzung und die Systemproduktivität meist gesteigert.
5. In einem biologischen Kontext hängt der Erfolg eines solch komplexen Systems von der Minimierung der negativen und Steigerung der synergistischen Wechselwirkungen zwischen Systemkomponenten ab. Durch „Störungs“-Eingriffe kann es gelingen, dass

Pflanzen eng beieinander in nur leicht unterschiedlichen Nischen koexistieren können.

Im Allgemeinen können AFS die biologische Vielfalt durch folgende Funktionen fördern (Jose, 2009):

1. AFS können Lebensraum für Arten bieten, die ein gewisses Maß an Störung tolerieren können.
2. AFS können zur Erhaltung von genetischer Vielfalt durch die Integration seltener und gefährdeter Pflanzenarten beitragen.
3. AFS können durch ihre höhere Flächenproduktivität dazu beitragen, dass weniger natürliche Ökosysteme und Habitate für die Ausweitung konventioneller Agrarsysteme zerstört werden müssen.
4. Durch die Schaffung von Wanderkorridoren entlang von AFS-Streifen kann der Biotopverbund in einer Landschaft mit isolierten Lebensräumen gefördert werden.
5. Indem durch AFS Ökosystemdienstleistungen wie Erosionskontrolle und Wasserregeneration erbracht werden, kann wertvoller Lebensraum erhalten werden.

AFS mit hoher struktureller Komplexität konnten z.B. durch Klimawandel bedingte Temperaturschwankungen (s.a. Kap. 4.4) besser abpuffern und dadurch die Nutzpflanzen näher an ihrem Temperaturoptimum halten (Altieri et al., 2015).

Das Potenzial, Kohlenstoff im Boden zu binden, nimmt mit Artenreichtum und Baumdichte in AFS tendenziell zu (Nair et al., 2010). Besonders hoch ist dieses Potential daher in sukzessionalen AFS (s.a. Kap. 3.3.1), aber auch in anderen Systemen, wie in folgendem Beispiel:

Besonders intensive silvopastorale AFS (ISS) in Kolumbien und Mexiko werden bei Murgueitio, Calle, Uribe, Calle, & Solorio (2011) beschrieben. Dort stehen Reihen mit niedrigen Dünge- und Futterkopfbäumen (vor allem: *Leucaena*) auf ca. 10.000 ha Landfläche. Sie sind mit verschiedenen größeren Wertholzbäumen in weiterem Abstand assoziiert, darunter wächst Weidegras. Die Rinder werden mit Elektrozäunen nach den Prinzipien des Mob-Grazing umzäunt (Elizondo, Varvaro, & Gras, 2019) und in einem Kurzumtriebsweidesystem darauf geweidet.

Auf zwei Betrieben, die ein derartiges System praktizieren, konnte der Hitzestress bei Tieren deutlich gesenkt werden und die Milch- und Fleisch-Produktivität /ha konnte um ca. 130% und die Bestandesdichte sogar um 200-500% auf bis zu 4.3 Großvieheinheiten /ha gesteigert werden, ohne externen Dünge- und Futtermittelimport erforderlich zu machen. Außerdem konnten zahlreiche Ökosystemdienstleistungen (u.a. geringere Bodenerosion und Verdichtung, Kohlenstoffspeicherung, Steigerung der Infiltration und Biodiversität) beobachtet werden. (Murgueitio et al., 2011)

Die Leistungssteigerungen können damit erklärt werden, dass Baumpflanzungen auf Weideflächen helfen können, den Stress der Tiere durch extreme Hitze, starken Wind und Kälte zu verringern, indem der Energiebedarf für die Regulierung der Körpertemperatur gesenkt wird. Dadurch kommt

es zu einer höheren Futterverwertung, was zu höherer Milchleistung und Tageszunahmen führen kann (Elizondo et al., 2019; Smith et al., 2012).

3.3.1 Sukzessionale Agroforstsysteme (SAFS)

SAFS nutzen den natürlichen Prozess der Sukzession und wurden insbesondere von dem Schweizer Ernst Götsch seit den 1980er Jahren in Brasilien entwickelt. Unter Einbeziehung von mit starkem Rückschnitt gemanagten Pionierpflanzen werden dynamisch-komplexe und vielfältige „Multistrada-Agroforstsysteme“ angelegt, die große Potentiale für die Baumwachstums-, Produktivitäts-, Biodiversitäts- und Bodenfruchtbarkeitssteigerung sowie Wasserspeicherung aufweisen (Cezar et al., 2015; Young, 2017; Götsch, 1994).

Ernst Götsch (1994) beschrieb für den brasilianischen Kontext, wie invasive Pionierpflanzen für das System von großem Nutzen sein können, da sie eine wichtige Rolle bei der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit spielen. Götsch (1994) beobachtete, wie sich Arten höherer Sukzessionsstadien unter Pionierarten gut entwickelten, aber nicht umgekehrt - und kommt zu dem Schluss, dass die Produktivität eines Systems von seiner Sukzessions-Dynamik stark beeinflusst wird und dass diese durch Rückschnitt stimuliert werden kann (Götsch 1994).

Die Hauptmerkmale von SAFS sind (Götsch, 1994; Young, 2017): (1) Hohe Pflanzdichten und -vielfalt in einer stockwerkartigen Schichtung zur optimalen Ausnutzung aller verfügbaren Nischen und ein daraus resultierender hoher Energiefluss in der Regel ohne Verwendung externer Inputs; (2) Managementpraktiken, insbesondere verschiedene Arten von Rückschnittinterventionen. Overstory-Arten werden jährlich kurz vor Ausreife der darunter stehenden Cashcrops zur Anregung und Düngung des Systems intensiv beschnitten (bis zu 95% der Blattmasse). Außerdem findet selektives Jäten zur Auswahl von gesundem, produktivem Pflanzmaterial statt. (3) Wie bei der natürlichen Sukzession werden die Pflanzen nach ihrer Lebensdauer in Pionier-, Sekundär- und Primärarten eingeteilt. Alle Arten werden gleichzeitig gepflanzt oder ausgesät. Pflanzen, die in Fruchtreife gehen, werden bevor sie zu starke Alterserscheinungen zeigen entweder abgeerntet und abgeschnitten, oder durch Rückschnitt stark verjüngt. Die dabei entstehende Biomasse wird gehackt und bleibt auf dem Feld, um die Bodenfruchtbarkeit zu fördern, wobei größere Zweige entlang der Höhenlinien abgelegt werden, um Erosion zu verhindern. Die natürliche Regeneration wird dann entweder als langfristige Wertholz-Investition in das System integriert oder in das Regime des intensiven Schnittes einbezogen. (4) In diesem Zusammenhang wird eine Art allelopathischer Effekt beschrieben: Bei der Reifung von Pflanzen sei zu beobachten, dass dies das Wachstum ihrer Nachbarpflanzen verringert und im Gegensatz dazu sollen junge oder verjüngte Pflanzen einen wachstumsstimulierenden Effekt auf Nachbarpflanzen ausüben. (Götsch, 1994)

(5) Der gesamte Prozess führt zu einer Kulturpflanzensukzession (Götsch, 1994). Siminski et al. (2016) fassen diese Prinzipien zusammen und beschreiben die erste Phase als „Kolonisationssystem“. Im weiteren Verlauf tauchen Arten auf, die Kohlenstoff anreichern. Diese Phase wird als „Akkumulationssystem“ bezeichnet. Das „Abundanz-System“ ist die letzte Stufe. Aufgrund der erzeugten Energiemenge ist es möglich, Produkte aus diesem System zu exportieren, ohne dessen Integrität zu beeinträchtigen (ebd.).

Seit 2016 fanden in Europa vermehrt Workshops zur Übertragung des Ansatzes auf die temperierte Klimazone statt.

Die meisten Studien über SAFS sind ausschließlich konzeptueller Art oder beschreibende Fallstudien ohne Replikation sowie überwiegend dem Bereich der "grauen Literatur" zuzuordnen (Young, 2017). Seit 2014 erschienen jedoch auch einige peer-reviewte Artikel, die sich allerdings ausschließlich mit SAFS der Tropen beschäftigten: Andres et al. (2016) zitieren mehrere Studien, in denen positive Auswirkungen von SAFS festgestellt wurden. Im Wesentlichen sind dies die Zunahme des Ah-Bodenhorizonts (größere Humusaufgaben mit mehr Kohlenstoffspeicherung (Jacobi et al., 2014) und sinkender Schädlings- und Krankheitsdruck in SAFS .

Um die Prinzipien von SAFS auf temperierte Klimazonen zu übertragen, können die oben extrahierten Prinzipien als Orientierung dienen. Darüber hinaus soll im Folgenden eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den Dynamiken natürlicher Sukzession stattfinden, die von SAFS intensiv genutzt werden.

3.4 Sukzession und Disturbancy-Management

Um die Struktur und Funktion natürlicher sukzessiver Ökosysteme für den Aufbau von Agrarökosystemen nachzuahmen, ist es wichtig, die Dynamiken, die Produktivität, Artenzusammensetzung, Ressourcennutzung und Blattflächenverteilung in natürlichen Pflanzengemeinschaften im Laufe der Sukzession zu studieren (Altieri et al., 1983).

Die Primären Gründe für Sukzession sind (Pickett, Collins, & Armesto, 1987):

(1) Lokale Nischenverfügbarkeit nach einer Störung; (2) die Verfügbarkeit von Vermehrungsmaterial unterschiedlicher Arten; (3) die unterschiedliche Performance bei den gegebenen Standortbedingungen und der Konkurrenzkraft der Arten.

Zwei zentrale Pflanzengruppen früher Sukzessionsarten sind:

Ruderales Pflanzen, die einen schnellen Aufwuchs haben und vorübergehend die nach einer Störung freiwerdenden Nährstoffe binden. Sie sind in der Regel Erstbesiedler und zeichnen sich durch schnelle und umfangreiche Vermehrung und intensive Samenproduktion, sowie durch Kurzlebigkeit aus. Viele Ackerkulturen und Zwischenfrüchte sind ruderales Arten - deswegen brauchen diese so viele Nährstoffe und ein ständiges Zurücksetzen der Sukzession.

Kompetitor-Pflanzen, die durch schnelles Wachstum Ressourcen sammeln. Vermehrung ist bei ihnen zunächst zweitrangig. Sie nehmen soviel Raum wie möglich ein, um sich erst später zu vermehren (vegetativ durch Wurzelschösser, Wind- und Samenabwurf).

Dadurch wird zunehmend mehr organisches Material aufgebaut und freie Nährstoffe eingebunden. Wenn die Ressourcen zunehmend knapper werden, können sich langlebigere Stress-tolerantere Pflanzen durchsetzen und die Kompetitor-Pflanzen ausschalten. (Jacke & Toensmeier, 2006)

3.4.1 Sukzessionstheorien

Ein zentrales Element bzw. Ausgangspunkt aller Sukzession ist das Konzept der „Störungen“ (Disturbancy): Eine Störung ist jedes zeitlich diskrete Ereignis, welches das Ökosystem bzw. die darin enthaltenen Lebensgemeinschaftsstrukturen stört und die Ressourcen, die Substratverfügbarkeit oder die physische Umgebung verändert. Meist geschieht dies in Form von Freisetzung solcher Ressourcen, die entweder von denjenigen Organismen verwendet werden können, die die Störung überleben, oder aber von Organismen, die neu in das System gelangen. (Maarel, 1993)

Es existieren mehrere Sukzessionstheorien, die nicht unbedingt als konkurrierend anzusehen sind, sondern eher je nach Kontext als passende Beschreibung herangezogen werden können (Bormann & Likens, 1994):

Die Theorie **linearer Sukzession** besagt, dass mehrere Sukzessionsstadien nacheinander durchlaufen werden (Bormann & Likens, 1994; Jacke & Toensmeier, 2006) (s.a. Abb. 2 Biomassezuwachs im Verhältnis zum Sukzessionsstadium, s.a Kap. 3.4.2):

1. Bodenbildung (primäre Sukzession): 150 - 500 Jahre Dauer vom initialen Ausgangszeitpunkt (a), vor allem Moose und Flechten, Pilz- zu Bakterienmasse-Verhältnis im Boden (P:B) ändert sich mit der zunehmend verholzenden Vegetation (P:B=1:1000) (s.a. Abb. 2)
2. Oldfield (sekundäre Sukzession Phase 1, Reorganisation - Verzögerung des Wiederbewuchses führt zum Verlust u.a. durch Auswaschen von Nährstoffen): ca. 200 - 600a, einjährige Kräuter und Gräser - krautige Mehrjährige (P:B= 1:50)
3. Oldfield Mosaik (sekundäre Sukzession Phase 1-2, Reorganisation - Ansammlung: Aufbau von biologischer Komplexität, Abundanz, Bodenfruchtbarkeit): 250 - 650a, erste Sträucherbesiedlung mit teils mehrjährigem, krautigem Unterwuchs, Fixierung und Ansammlung von Stickstoff und Phosphor in der oberen Bodenschicht (P:B=1:1)
4. Bestockung (sekundäre Sukzession Phase 2, Ansammlung: Aufbau von biologischer Komplexität, Abundanz, Bodenfruchtbarkeit): ca. 300 - 700a, lichtliebende Pioniergehölze (P:B=2:1)
5. Unterdrückung des Unterwuchses (Sekundäre Sukzession Phase 2 - 3, Ansammlung – Transition): ca. 350 - 850a (P:B= 5:1)
6. Standveränderung und Neueinführung des Schattenunterwuchses: ca. 400 - 900a , schattentolerante Bäume, Sträucher und Krautige (P:B=10:1)
7. Klimax, Dynamisches Equilibrium (Sekundäre Sukzession Phase 3 - 4, Transition – Stabilisierung): ca. 500 - 1000a (sekundäre Sukzession Phase 4: Stabilisierung), Wald mit ausgewachsenen Klimaxbäumen (P:B=100:1 bis 1000:1)

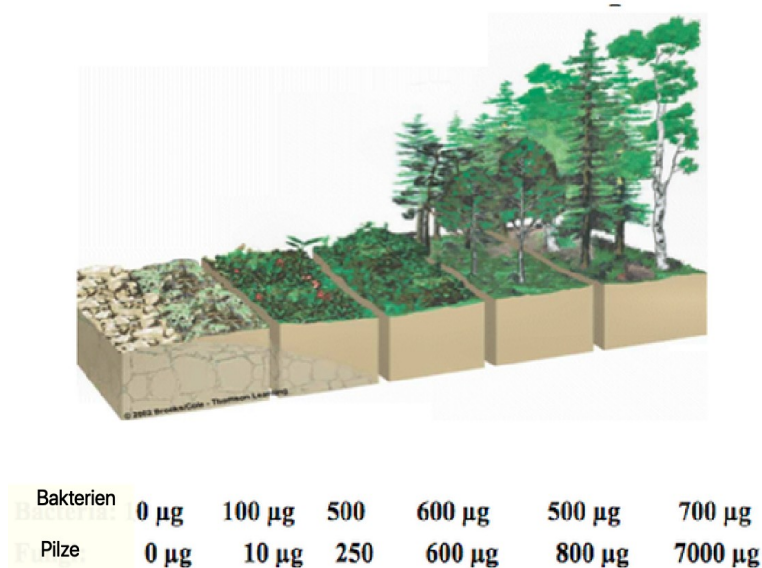


Abbildung 2: Bakterien : Pilz-Verhältnis im Laufe der Sukzession, Modifizierte Darstellung nach Jacke & Toensmeier (2006)

Dabei existiert die Hypothese, dass Sukzessions-Pionierarten die Umweltbedingungen des Standortes so verändern, dass dieser förderlicher für Arten der späteren Sukzessionsstufen wird (Denslow, 1980). Pionierpflanzen sind dabei die Arten, die eine neue Sukzessionsebene einführen (Bormann & Likens, 1994).

Als primäre Sukzession wird ausschließlich die Besiedlung von mineralischem Ausgangsgestein (durch Erdbeben,

Gletscherschmelze, sehr starke Erosionen oder intensives Feuer) durch Flechten, Bakterien, Algen und Moose verstanden. Von sekundärer Sukzession wird gesprochen, wenn noch angehäuften Ressourcen wie Diasporenvorrat oder organische Substanzen vorhanden sind. Hier können direkt höhere Pflanzen die Fläche besiedeln. (Jacke & Toensmeier, 2006)

Die Theorie **Initial Floristic Composition** geht davon aus, dass die ursprüngliche Flora mittels eines dormant im Boden verfügbaren Samenpotentials weitgehend den auf eine Störung folgenden Sukzessionsverlauf determiniert. Das bedeutet, dass auf eine Störung folgend alle Pflanzengemeinschaften relativ unmittelbar gemeinsam wiederbesiedeln und sich die Verteilung des Deckungsgrades der verschiedenen Gruppen über die Zeit hinweg verändert. Der Grund dafür ist die sich verändernde Ressourcenverfügbarkeit und die unterschiedlichen Fähigkeiten einzelner Arten diese auszunutzen (Verbreitungs-, Konkurrenzfähigkeit und Wachstumsgeschwindigkeit, sowie Lebensdauer) (Pickett et al., 1987). In SAFS wird der natürliche Samenvorrat gezielt um ausgewählte Arten ergänzt (Young, 2017).

Bormann & Likens (1994) führen mehrere Sukzessionstheorien zusammen (diese bleiben partiell gültig, werden jedoch in ein komplexeres Gesamtgefüge eingebunden). Ebd. definieren drei Sukzessionsursachen:

1. Flächen oder Nischenverfügbarkeit (Zeitpunkt, Ausmaß, Ort einer Störung);
2. Verfügbarkeit von unterschiedlichen Spezies (Diasporenvorrat, Verbreitung und Erhalt der Keimfähigkeit);
3. unterschiedliche Spezies-Performance (Kolonisation, Vigorität, Persistenz, Reproduktion). Zwischen den Arten kann es entweder zu gegenseitiger „Fazilitation“ (z.B. Aufbau von Bodenfruchtbarkeit durch krautige Pflanzen oder Pioniergehölze) oder zur „Inhibition“ (z.B.

Hemmung des Wachstums von Bäumen durch Ausscheidungen der Gräser⁵) kommen. Diese beiden Möglichkeiten zeigen auch Parallelen zu der Hypothese des (4) Prinzips von SAFS (s.a. Kap. 3.3.1)

Shifting-Mosaic Steady State-Theorie

Diese Theorie besagt, dass es kein statisches Klimaxequilibrium gibt, sondern fortwährend dynamisch entstehende kleinere Kreisläufe von Störungen in unterschiedlichen Frequenzen (umfallende Bäume, Feuer, Wind, Eiswurf, Schädlingsattacken oder Klimawandel), sodass vielfältige Mosaik-flickerartige Sukzessionsstadien nebeneinander existieren (Malézieux, 2012).

In temperierten Wäldern entstehen jährlich im Durchschnitt zwischen 0,5 und 2% Lücken für neue Sukzession. In Wäldern der gemäßigten Breitengrade sind ca. 10% der Fläche frühe Sukzessionsstadien, 60% mittlere und 30% Klimaxvegetation. (Jacke & Toensmeier, 2006)

3.4.2 Photosyntheseflächenleistung, Nettoprimärproduktion und Biodiversität verschiedener Sukzessionsstadien

Die höchste Nettoprimärproduktion findet nicht im Klimax-Wald sondern in den mittleren Sukzessionsstadien statt. Dies ist eines der Ergebnisse einer Metastudie zu Wiederbesiedlung und Sukzessionsdynamiken nach Kahlschlag (Swank & Crossley 1988 in: Röhrig, Bartsch, & Lüpke, 2006; Bohrmann & Likens, 1994) (s.a. Abb. 3). Ebenso ist in mittleren Sukzessionsstadien die Biodiversität am höchsten (Denslow, 1980).

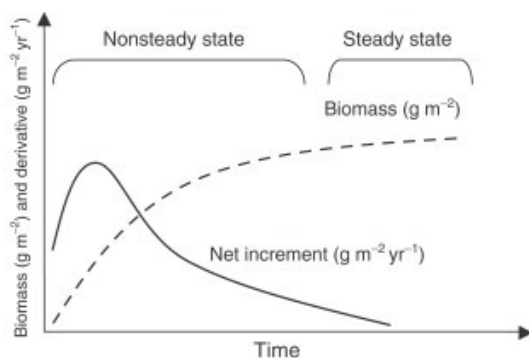


Abbildung 3: Biomassezuwachs im Verhältnis zum Sukzessionsstadium, nach Bohrmann & Likens (1994)

Um maximale Biodiversität zu gewährleisten, sollte die Sukzession in einer mosaikartigen Struktur durch regelmäßige Störungseingriffe fortwährend lokal zu früheren Stadien zurückversetzt werden. Idealerweise können so nah beieinander verschiedene Sukzessions-

stadien existieren (Denslow, 1980; Maarel, 1993).

Auch zwischen Biodiversität und Biomasseproduktivität von Systemen gibt es eine positive Korrelation, wie das „Jena-Experiment“ zu Pflanzenvielfalt auf dem Grünland zeigt. Hier erhöhte sich die Spross-Biomasse mit zunehmender Pflanzenvielfalt, ebenso die Wurzel-Biomasse, die Menge der Wurzelausscheidungen, die Bakterien-Biomasse und die Pilz-Biomasse signifikant. Pilz-Biomasse nahm mit zunehmender Pflanzenvielfalt am stärksten zu, was zu einer signifikanten Verschiebung des Verhältnisses von pilzlicher zu bakterieller Biomasse bei hoher Pflanzenvielfalt führte. (Eisenhauer et al., 2017)

5 Stauden, Gräser oder Büsche können das Fortschreiten der Sukzession durch Ausschattung, Nährstoffkonkurrenz und allelopathische Ausscheidungen zur Hemmung von Baumwachstum aufhalten (Jacke & Toensmeier, 2006).

Da Stickstoff besonders im ökologischen Landbau häufig der primäre wachstumslimitierende Nährstoff ist, ist es sinnvoll stickstofffixierende Bäume und Sträucher in das AFS zu integrieren (Jacke & Toensmeier, 2006).

Dies entspricht dem Sukzessionsprinzip „Faszilitation“, welches besagt, dass einige z.B. stickstofffixierende Arten das Wachstum anderer Arten (bzw. das Gesamtsystem) fördern (Malézieux et al., 2009) (s.a. Kap. 5.3.2.4).

In den ersten Jahren der Entwicklung von Ökosystemen ist die jährliche Stickstofffixierung höher und nimmt in der Regel ab einem Ökosystem-Alter von 20 Jahren ab (Cleve et al., 1971 in (Jose, Gillespie, & Pallardy, 2004).

Um die Produktivität, den Nährstofffluß, die Bodenfruchtbarkeit und die Biodiversität – also die Gesamtstabilität eines Ökosystems zu maximieren, braucht es regelmäßige Störungen mittlerer Stärke (s.a. oben; Maarel, 1993). Diese regelmäßigen Störungen können durch Managementeingriffe (z.B. Rückschnitt) initiiert werden (Maarel, 1993).

3.5 Keyline-Design

Keyline Design ist ein Konzept zur ganzheitlichen Gestaltung von landwirtschaftlichen Betrieben, welches in den 1950er Jahren von dem Australier P.-A. Yeomans entwickelt wurde. Es basiert auf topographischen Eigenschaften von Landschaften und auf dem natürlichen Verhalten von Wasser (Yeomans 1973). Nach Kullik (2016) und Duncan & Krawczyk (2017) können durch Keyline-Design insbesondere folgende Ziele erreicht werden:

1. Unterbodenerschließung: Verbesserung der Lebensbedingungen von aeroben Bodenorganismen und Wurzeln durch Aufbruch von Verdichtungen, Verbesserung der Bodenfeuchtigkeit und des Bodenlufthaushalts im Unterboden durch spezielle Verfahren der Unterbodenlockerung.
2. Optimale Verteilung von Niederschlagswasser und Verhinderung von Erosion: Keyline-Kultivierungsmuster reduzieren die Wassermenge in den sonst meist feuchten Tälern und erhöhen die Feuchtheitsaufnahme auf den Hügelkämmen.
3. Hangbewässerung: Kostengünstige Bewässerung von hügeligen Landschaften durch Keyline-Kultivierungsmuster, Stauteiche und Bewässerungskanäle.
4. Ästhetik: Jeder Keyline Plan ist abhängig von der jeweiligen Topographie und fügt sich somit in die jeweilige Landschaft ein. Dadurch können die Potenziale einer Landschaft genutzt und Besonderheiten hervorgehoben werden.
5. Reduzierte Nährstoffauswaschung und vorbeugender Gewässerschutz.

Das Keyline-Kultivierungsmuster kann als Leitmuster für die Baumreihenpflanzung in Agroforstsystemen und für die Nutzung des Keyline Tiefenlockerers, sowie als generelles Muster für die maschinelle Landnutzung dienen. In einem Muster werden die positiven Effekte von (1) fahrspurparallelen, einheitlich breiten Ackerstreifen, (2) optimaler Wasserverteilung auf dem Gelände und (3) Erosionskontrolle verbunden (Pavlov 2015, Kullik 2016).

Zu Beginn der Erstellung von Keyline-Kultivierungsmustern werden Täler und Kuppen auf den Höhenlinienkarten nachgezeichnet und die Keypoints markiert. Keypoints liegen in den Tälern knapp unterhalb der Stelle, wo die Landschaftsform von konkav zu konvex wechselt. Dies ist einerseits der Punkt, an dem sich natürlicherweise Sedimente mit feineren Bodenpartikeln bilden und daher relativ leicht dichte Teiche und Wasserretentionsbecken gebaut werden können (s.a. Kap. 5.3.4). Andererseits kann die Höhenlinie, welche durch einen Keypoint verläuft, in der Regel als "zentrale" Keyline parallel nach oben und unten versetzt werden. Durch die natürliche

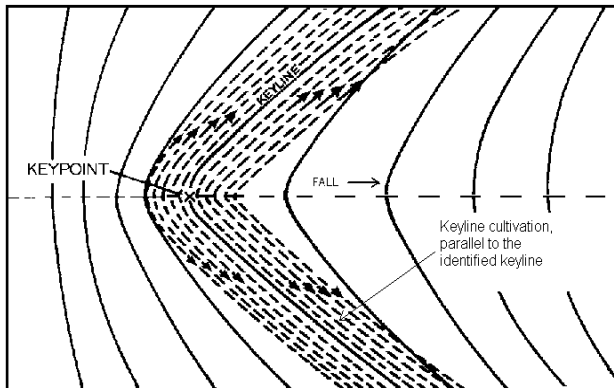


Abbildung 4: Keyline-Kultivierung (gestrichelt) ausgehend von der Keyline in einem Tal. Nach Yeomans (1973)

Landschaftsgeometrie fallen diese parallelen Versatzlinien in der Regel sowohl unterhalb als auch oberhalb der Keyline leicht zu den Kuppen hin ab (s.a. Abb. 4). (Yeomans, 1973; Perkins, 2016)

Das Muster für die Kultivierung auf den Kuppen ist parallel aufwärts von einer beliebigen Höhenlinie der Kuppe ausgehend - die höher liegenden parallelen Linien fallen durch die Landschaftsgeometrie automatisch zum (trockenen) Zentrum der Kuppe hin ab (Yeomans, 1973).

3.5.1 Vereinfachung und Weiterentwicklung des Keyline-Designs

Das klassische Keyline-Design wurde von Pavlov (2015) weiterentwickelt, vereinfacht und wie folgt an die modernen digitalen Möglichkeiten angepasst:

Eine Kurve besteht aus einer Vielzahl von miteinander verbundenen geraden Linien. Er empfiehlt nicht zwangsläufig exakt mit der Keyline durch den Keypoint zu beginnen sondern die Umrisse der Hauptlandschaftsformen mit einfachen dreieckigen Linien nachzuzeichnen, bis sich diese gut über das gesamte Flst. versetzen lassen. Bei Bedarf können die Linien nach Abschluss des Designs abgerundet werden. Vor allem sollte dabei das grundlegende Prinzip beachtet werden, dass das Wasser überwiegend von feuchteren Tälern hin zu den trockeneren Kuppen geleitet wird.

Das Design ist vollständig, wenn es nicht weiter vereinfacht werden kann, ohne seine Funktionalität zu beeinträchtigen. Ein gutes Layout ist komfortabel und praktisch für diejenigen, die damit arbeiten müssen. Reihen sind so lang und gerade wie möglich mit wenigen Winkeln und ohne steilere Hänge oder Kurven. Immer wieder kann es jedoch zu kleineren Anomalien zwischen der Keyline-Geometrie und der Landschaftsform kommen. Solange dies jedoch auf wenige Stellen beschränkt bleibt, kann dies zugunsten der Einfachheit und Zweckmäßigkeit des Gesamtdesigns außer Acht gelassen werden. Wenn sich jedoch die Richtung der Hauptlandschaftsform erheblich ändert, ist es häufig erforderlich, eine neues Muster zu beginnen. (Pavlov, 2015)

Glätten scharfer Winkel

Parallele Linien sind in den Winkelspitzen nicht exakt gleich weit voneinander entfernt. Der Abstand zwischen den Winkeln paralleler Linien ist immer größer als der zwischen den Linien dazwischen. Dieses Phänomen bietet die Möglichkeit besonders scharfe Winkel im Design zu

glätten, ohne dass die gesamte Fahrspurparallelität des Layouts verändert werden muss. An derartigen Stellen können dann z.B. kleinere Baumgruppen angelegt werden (Yeomans, 1973)(s.a. Anhang: Abb. Flst. 123). Dies zu wissen ist nützlich, da der maximale Wendekreis der meisten Traktoren während Arbeitsgängen zwischen 50° und 55° liegt. Tendenziell sind jedoch bereits weniger scharfe Winkel für landwirtschaftliche Arbeitsgänge von Vorteil (Pavlov, 2015). Eine Anwendung dieser Theorie findet sich weiter unten bei Flst. 123 (s.a. Kap. 6.3). (Pavlov, 2015)

Vorgewände

Das Vorgewände sollte in der Regel 2- bis 4-fach so breit wie das breiteste Gerät sein (Pavlov, 2015).

Keyline-Design-Kultivierung

Yeomans (1973) entwickelte einen speziellen, besonders schonenden Tiefenmeißel, um damit entlang der Keyline-Linien (und Baumreihen) den Boden zu lockern und das Wasser durch die Lockerungskanäle optimaler auf der Fläche zu verteilen (genauere Angaben zum Management finden sich in Kap. 5.3.3).

Außerdem steigert Keyline-Tiefenlockerung nach Yeomans (1973) die biologische Bodenaktivierung. Dadurch können auch zuvor nicht pflanzenverfügbare Nährstoffe aus dem Unterboden erschlossen werden, was die Zufuhr von außerhalb unnötig macht.

Die einzige wissenschaftliche Untersuchung über die Auswirkungen von Keyline-Design, die gefunden werden konnte, ist von Duncan & Krawczyk (2017). Die Ergebnisse sind allerdings nicht eindeutig und die Autoren beanstanden, dass die Dauer der Datenerhebung über lediglich zwei Jahre zu kurz gewesen sei: Es wurde kein signifikanter Anstieg des Wasserspeichervermögens des Unterbodens festgestellt, im Oberboden war dies jedoch der Fall. Die Infiltrationsrate bei Starkregenereignissen konnte um ca. 4mm in 24h erhöht werden. Auch die Menge von organischem Kohlenstoff stieg nur auf einer von drei Versuchsflächen. Im Sommer konnte die Bodenfeuchtigkeit im Mutterboden, nicht jedoch im Unterboden erhöht werden.

In Böden grober Körnung (hoher Sandanteil) konnte der Eindringungswiderstand (Bodendichte) verringert und die Bewurzelungstiefe erhöht werden (dies traf jedoch nicht auf Böden mit mittlerer Körnung zu); Böden mit hohem Tonanteil wurden nicht untersucht. Ebd. schlussfolgern daher, dass die Effektivität der Keyline-Kultivierung stark von der Bodenart abhängt und vermuten, dass die Bodenqualitätsverbesserung durch eine Kombination mit anderen Methoden (z. B. Komposttee-Einspritzung, Aussaat in die Tiefenlockerungsrisse) und ein längerer Zeitraum der Anwendung erhöht werden könne.

Insgesamt ist die wissenschaftliche Datenlage zu Keyline eindeutig als unzureichend zu bewerten. Daher werden im Folgenden Studien aus themenverwandten Bereichen vorgestellt:

Wissenschaftliche Studien zur Beeinflussung des Wasserhaushalts und Wurzelwachstums durch Tiefenlockerung

Die meisten Studien untersuchen die Effekte von Tiefenlockerung über einen Zeitraum von 2 - 3 Jahren. Es wurden sowohl Studien auf Acker- als auch auf Grünlandstandorten mit Lockerungen

bis zwischen 25 und 50cm Tiefe begutachtet. Dabei haben die Schare einen Abstand von 40 - 50cm.

Pikul & Aase (2003) beobachteten eine deutliche Verbesserung der Wasserinfiltration bei einem simulierten Regenereignis direkt im Anschluss an die Tiefenlockerung. 14 Tage später war die Menge an noch im Boden gespeichertem Wasser jedoch nicht mehr höher als in der Vergleichsfläche. Ebd. attestieren daher eine Gefahr von Nährstoffauswaschungen durch Tiefenlockerung.

Vor diesem Hintergrund ist auch die Empfehlung von Yeomans (1973) zu verstehen, dass es wichtig sei die Tiefenlockerung zu einem Zeitpunkt durchzuführen, bei dem anschließend ein Lebendverbau durch Wurzeln stattfinden kann.

McConkey, Ulrich & Dyck (1997) sowie Izumi, Yoshida & Iijima (2009) beobachteten als Effekte der Tiefenlockerung zwar eine bessere Boden-Infiltration und damit auch ein geringeres Erosionsrisiko, die unmittelbaren Ertragsauswirkungen auf Weizen waren jedoch nicht signifikant.

Im Widerspruch dazu stehen die Ergebnisse von XiuZhen & LiChun (2011). Ebd. stellten neben der höheren Infiltrationsrate auch ein besseres Wasserhaltevermögen, sowie signifikant längere Wurzeln und 21% höhere Erträge von Mais fest.

Durch Tiefenlockerung können Pflugsohlen aufgebrochen werden, was das Wachstum von Wurzeln und die Anreicherung von Nährstoffen begünstigt. Zusammen mit einer durch Speicherung im Unterboden verbesserten Wassernutzungseffizienz (geringere Verdunstung) führte dies in Studien von Qin et al. (2008) zu einer Steigerung von 18,29% beim Ertrag und die Wassernutzungseffizienz wurde im Zweijahresdurchschnitt um 16,8% erhöht (Qin et al., 2008).

Auch Drewry, Lowe & Paton (2000) konnten Ertragssteigerungen im Erbsenanbau durch Tiefenlockerung je nach Standort von 18 - 43% nachweisen. Diese Effekte hielten bis zu 3 Jahre nach der Bearbeitung an. Die Effektivität war jedoch stark von der vorhergehenden Dichtelagerung der Versuchsflächen abhängig. Ebd. empfehlen daher Tiefenlockerung nur durchzuführen, wenn eine Pflugsohle besteht oder der Anteil der Makroporen bei <10% liegt.

Harrison, Cameron & McLaren, (1994) führten Tiefenlockerungsversuche auf Grünland durch. Sie stellten eine signifikante Steigerung des Wurzelwachstums (+ 36%) und infolgedessen auch der Grünlandproduktivität - insbesondere im Frühling fest.

Insbesondere vor Trockenheitsperioden kann eine Tiefenlockerung zu Ertragsdepressionen führen, da der Boden unmittelbar danach schneller austrocknet. Es wird generell empfohlen nicht zu ausgetrocknete Böden und nicht zu feuchte Böden zu lockern, da es bei ersteren zu einer zu starken Störung durch Ausbrechen großer Bodenbrocken und bei letzteren zu Verschmierungen kommen kann. (Drewry et al., 2000)

Contourfarming zur Verringerung der Erosion

Elevitch, Mazaroli & Ragone (2018) stellen fest, dass das Pflanzen von Baumreihen entlang von Höhenlinien die Bodenerosion verringern kann.

In einem Literaturreview wurde durch Contour-farming (Haupt-Boden-Bearbeitungsrichtungsrichtung entlang der Höhenlinien) je nach Standort eine Minderung von 30 - 50% der Bodenerosion festgestellt (Farahani, Fard & Asoodar, 2016). Ebd. empfehlen jedoch Contour-farming mit weiteren Erosionsschutzmaßnahmen wie Minimalbodenbearbeitung und

Anlage von Hecken als „beetle-banks“ (Käfer-Habitate) zu kombinieren, um die Erosion optimal einzudämmen.

In den 90er Jahren wurde auf den Philippinen ein groß angelegtes Projekt durchgeführt: Sloping Agricultural Land Technology (SALT). Dieses kombinierte mehrere Bodenschutzmaßnahmen auf Ackerflächen mit stärkerem Gefälle.

Auf den Äckern mit Feldfrüchten oder Dauerkulturen wurden entlang der Höhenlinien 3 bis 5m breite Streifen mit stickstoffbindenden Sträuchern und Bäumen (*Leucaena leucocephala*, *Flemingia macrophylla* und *Desmodium intsonii*) gepflanzt. Diese wurden alle 30-45 Tage zurückgeschnitten und das Schnittgut in den Boden eingearbeitet. Dabei wurde die Erosion in t/ha um den Faktor 20 verringert und die Bodenfruchtbarkeit angehoben sowie das Ertragspotential der Flächen verdoppelt. (Tacio, 1993)

Diese Ergebnisse sind allerdings vor dem Hintergrund der vorhergehenden geringen Ertragslage ohne Düngung auf philippinischen Steilhängen zu betrachten. Auch die Zuwachsraten der stickstofffixierenden Gehölze sind in den Tropen höher, sodass diese ein fast monatliches Rückschnittsmanagement erlaubten. (Ebd.)

Auch in Afrika dokumentierten Mapfumo, Adjei-Nsiah, Mtambanengwe, Chikowo & Giller (2013) wie durch die Kombination mehrerer Techniken (insbesondere Contour-farming und Minimalbodenbearbeitung) die fortschreitende Bodendegradation verhindert und damit die Anpassungsfähigkeit von Landwirtschaftsbetrieben an den Klimawandel erhöht werden konnte.

4 Betriebs- Standort und Stakeholderanalyse

4.1 Methodik

Eine der wichtigsten Aufgaben zur Förderung nachhaltiger Boden- und Landbewirtschaftungspraktiken besteht darin, (1) all den verschiedenen Perspektiven, die eine Rolle spielen, Aufmerksamkeit zu schenken, um (2) anschließend die Implikationen von Handlungs- oder Design-Alternativen abwägen zu können (Albrecht et al., 2018).

Um dies zu berücksichtigen, sollte das methodische Vorgehen bei der Untersuchung spezifischer Kontexte folgende Aspekte berücksichtigen (Albrecht et al., 2018):

1. Eine holistische Perspektive, die das gesamte System mit seinen Abhängigkeiten zwischen Boden und Bodenbiologie, Wasser, Energie, Klima, Vegetation, Tieren und Menschen berücksichtigt.
2. Eine räumliche Skalen-Perspektive, welche die Wechselwirkungen von Landnutzung und natürlichen Systemen auf und zwischen verschiedenen Skalen betrachtet, von lokal über regional-landschaftlich bis hin zu national und global.
3. Eine zeitliche Perspektive, die kurz-, mittel- und langfristige Auswirkungen von Landbewirtschaftungsoptionen betrachtet.
4. Eine Multi-Stakeholder-Perspektive, welche die Interessen aller an der Landbewirtschaftung Beteiligten und von ihr betroffenen Menschen miteinbezieht und in Beziehung zueinander setzt. Hierbei sind die Politik, die öffentliche Verwaltung (Landwirtschaftsamt, Veterinäramt, Naturschutzbehörde), praktische Landnutzer*innen (Landwirt*innen, Forstwirt*innen, etc.), Wissenschaftlicher*innen und Kulturgestaltende

Mittels des folgenden Kapitels soll eine Basis geschaffen werden, auf derer eine Annäherung an diesen Anspruch stattfinden kann.

In einem ersten Teil wurden die ökologischen Standorteigenschaften (Boden, Klima und Höhenlage) beim zuständigen Amt und durch Online-Recherche beschafft.

Außerdem konnte auf Bodenuntersuchungsergebnisse für einige Flurstücke (Flst.) zurückgegriffen werden, die durch den abgebenden Hofbewirtschafter zur Verfügung gestellt wurden.

Da für die Grünlandflurstücke kaum Bodenuntersuchungen vorlagen, wurde hier zusätzlich eine überblicksartige Erhebung aussagekräftiger Indikatorzeigerpflanzen mittels (Licht, 2012) einer Begehung entlang eines Transektes vom höchsten zum tiefsten Punkt der jeweiligen Flurstücke durchgeführt. Dies wurde am 24. und 25.05.2019 durchgeführt. Dabei wurden die beobachteten Indikatorzeigerpflanzen entsprechend Luthardt et al. (2002) in eine 3-stufige Häufigkeitsklassifikation eingeteilt:

- selten (s) (Art auf Monitoringfläche mit 1-2 Fundorten)
- zerstreut (z) (Art auf Monitoringfläche zerstreut, > 2 Fundorte)
- häufig (h) (Art auf Monitoringfläche +/- regelmäßig mit hoher Individuenzahl auftretend)

Der Workshop zur Erstellung eines holistischen Kontexts wurde im September 2018 von dem Autor Paul Hofmann zusammen mit Sarah Schöne vorbereitet und unter der Beteiligung aller wichtigen Stakeholder des Betriebes und der Gemeinschaft am 22.10.2018 durchgeführt. Bei der Erarbeitung des Ablaufs orientierte sich der Autor vor allem an Perkins (2016) und Savory & Butterfield (2016).

Die grundlegende Idee des holistischen Kontexts ist, dass häufige Ursachen des Verfehlens von Zielen darin bestehen, dass der zugrunde liegende Kontext zu eng gefasst war. In einem landwirtschaftlichen Betrieb sind meist viele wichtige Bereiche, wie die Grundwerte, der Lebensunterhalt sowie -qualität der Entscheidungsträger*innen und der Zustand des bewirtschafteten Landes eng und komplex miteinander verflochten. Der holistische Kontext verbindet diese Bereiche nach dem Grundsatz „nature functions in wholes“ zu einem Ganzen. (Perkins, 2016; Savory & Butterfield, 2016)

Ebenfalls im Rahmen dieser Veranstaltung entstand eine Liste der aktuellen Ressourcenbasis des gesamten landwirtschaftlichen Betriebs. Um alle relevanten Bereiche abzudecken und ein möglichst ganzheitliches Bild der verfügbaren Ressourcen zu erhalten, wurden die acht Formen des Kapitals als Rahmenwerk zur Hand genommen (Perkins 2016). Auf Plakaten trugen die Anwesenden am 22.10.2018 die ihnen bekannten Ressourcen zusammen. Die vollständigen Ergebnisse des Workshops⁶ werden aufgrund ihres Umfangs in dieser Arbeit nicht dargestellt, sondern sind auf Relevanz für die Erarbeitung der Ziele dieser Arbeit hin extrahiert worden.

Die Absichtserklärung entstand abschließend durch das Einsammeln von Stichworten aller Anwesenden. Auf dieser Basis erarbeitete eine Kleingruppe unter Mitwirkung des Autors, einen Vorschlag, der wiederum von allen Akteur*innen der Landwirtschaft konsentiert wurde. Darauf und

⁶Ein Ergebnisprotokoll kann bei dem Autor angefragt werden. Seines Umfangs wegen ist es nicht im Anhang.

auf einem vom Autor für das Landwirtschaftsamt zur Berechtigung für den Landkauf erstellten „Betriebs- und Wirtschaftlichkeitskonzept“ (Hofmann, 2018) aufbauend findet eine knappe Betriebsdarstellung statt.

4.2 Ökologische Standortcharakterisierung

Zum Betrieb gehören ca. 70ha teilarrondiertes Land (s.a. Abb 15 & Abb. 16). Davon sind 42ha (6ha Wald, 36ha Acker- und Grünland) Eigentum. Weitere ca. 30ha können voraussichtlich zur Pacht übernommen werden. Die Flächen teilen sich etwa zu gleichen Teilen in Acker- und Grünland auf und liegen auf 680 - 770m (üNN) mit Ausnahme des Flurstückes 1128 (Gemarkung Erzgrube im Nagoldtal) mit 560m üNN.

Boden

Die Böden sind Verwitterungsböden aus „Rotem Buntsandstein“ (Zustandsstufe 3-5). Es handelt sich dabei um sandig-lehmige Fließerden. Der Bodentyp ist Braunerde bzw. als Leitbodenassoziation „Podsolige Braunerde aus basenarmen quarzitischen Sandsteinen und Konglomeraten“. Wechselnde Steinführung über dem Sandstein- und Tonsteinersatz ist für die Gegend typisch. (BGR, 2019)

Darüber hinaus konnte auf Bodenuntersuchungen des abgebenden Hofbewirtschafters Thomas Häcker zurückgegriffen werden.

Bodenarten sind demnach überwiegend stark lehmiger Sand (IS) und teilweise sandiger Lehm (sL). Der pH-Wert der Ackerböden liegt überwiegend im schwachsauren Bereich. Flst. mit den niedrigsten Werten sind

Die höchsten Werte besitzen.

Die Nährstoffversorgung ist überwiegend gut (Versorgungsstufe C). Auf einigen Flst. gibt es leichte Mangelversorgung mit einigen Nährstoffen (Versorgungsstufe B). Auf anderen dagegen eine leichte Überschussversorgung (Versorgungsstufe D).

Flst. Nr.	Bezeichnung	Nutzung	Körnung	Bodenart	Humusgehalt (%)	pH-Wert	Kalkstufe	Kalkbedarf (CaO, dt/ha)	Nährstoffgehalte (mg/100g Boden)					
									P ₂ O ₅	Kla _{sse}	K ₂ O	Kla _{sse}	Mg	Kla _{sse}
40/1	Scheunenacker	A	sL	m		6,0	B	30	21	D	15	C	10	C
168	Hausacker	A	sL	m	2,6	5,5	B	60	9	B	10	B	7	B
69/2 /1	Koch groß	A	IS	m	2,7	5,8	B	25	12	C	13	B	13	C
69/2 /2	Friedhofsacker Schernbach	A	IS	m	2,9	6,1	C	15	12	C	15	C	13	C
123	Kartoffeln Erddeponie	A	IS	m	3,0	6,1	C	15	17	C	25	C	15	D

29/2 /1	Haldenacker	A	IS	m	3,0	5,8	B	25	28	D	21	C	15	D
40/2	Waldacker Getreide	A	IS	m		6,1	C	15	17	C	24	C	12	C
38	Mühlacker	A	IS	m		5,6	B	35	21	C	29	D	10	C
Grünland											Zeigerpflanzen			
29/2	Haldenkoppel 2	G	IS			5,3	B	7	16	C	<i>Taraxacum officinale</i> (h) <i>Alchemilla vulgaris</i> (h) <i>Achillea millefolium</i> (z) <i>Pimpinella major</i> (z) <i>Trisetum flavescens</i> (z) <i>Ranunculus acris</i> (s)			
30	Schn. Heine- koppel	G	IS			4,9	B	20	3	A	<i>Taraxacum officinale</i> (h) <i>Achillea millefolium</i> (h) <i>Alchemilla vulgaris</i> (z) <i>Crepis mollis</i> (s) <i>Crepis capillaris</i> (s) <i>Trisetum flavescens</i> (z) <i>Ranunculus acris</i> (z)			
42	Schn. Säge- acker-koppel	G	IS			4,9	B	20	3	A	<i>Taraxacum officinale</i> (h) <i>Achillea millefolium</i> (h) <i>Phleum pratense</i> (z) <i>Crepis capillaris</i> (s) <i>Ranunculus acris</i> (h)			
53/2	Walzkoppel	G	IS			5,0	B	17	15	C	<i>Alchemilla vulgaris</i> (h) <i>Trisetum flavescens</i> (h) <i>Achillea millefolium</i> (h) <i>Pimpinella major</i> (z) <i>Ranunculus acris</i> (z)			

In der oben stehenden Tabelle sind alle zu beplanenden Flurstücke abgebildet, für die Bodenuntersuchungen vorlagen.

Die Grünlandstandorte sind nach Auswertung der Indikatorzeigerpflanzen mittels Licht (2012) insgesamt eindeutig als Grünland mittlerer Standorte, entweder als intensive Mähwiesen submontaner Höhenlage (Polygono-Trisetion) (Flst. 29/2, 30, 53/2) oder als Fettwiesen (Cynosurion) (Flst. 42) einzuordnen.

Ihr pH-Wert liegt dabei im leicht sauren Milieu zwischen 4,9 und 5,3 (s.a. Tabelle Bodenuntersuchungen), was für leichte lehmige Sandböden gerade noch akzeptabel einzustufen ist (Ottow, 2011) und mit dem niedrigen Kalkgehalt in Verbindung steht, daher besteht dort dementsprechend leichter Kalkbedarf. Hauptursache für den teils sehr niedrigen Phosphorgehalt sind vermutlich ebenfalls die niedrigen pH-Werte (Piotrowski & Rillig, 2008).

Ein Bodentest sagt allerdings nur aus, welche Nährstoffe für die passive Aufnahme durch Pflanzen zur Verfügung stehen. Je nach Bodenfruchtbarkeit wird jedoch ein Großteil, meist über 90 % der Mineralien von Mikroben zur Verfügung gestellt. Diese tauchen jedoch in Standard Bodentests nicht auf. Durch die Förderung der Mikroben im Boden kann also die Verfügbarkeit einer Vielzahl von Mineralien und Spurenelementen stark erhöht werden (Marschner & Marschner, 2012).

Mittels einer Bodensonde konnte auf fast allen Flst., auch dem Grünland, ein eindeutiger Verdichtungshorizont (Flugsole) in der Tiefe von 12 bis 15cm festgestellt werden.

Klima

Eine Nachfrage bei der Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und ländlichen Raum ergab,

dass für Schernbach bislang nur unausgewertete Rohdaten existieren (Fiedler 2018). Darum wurden Daten von der nächstgelegenen Wetterstation in Freudenstadt dargestellt (s.a. Abb. 5). Der Schwarzwald ist klimatisch sehr kleinräumig, was beim Vergleich verschiedener Klimadiagramme benachbarter Ortschaften deutlich wird (Deutscher Wetterdienst, 2019). Freudenstadt ist ca. 10km süd-westlich Luftlinie entfernt und liegt ca. 50m höher als Schernbach, weswegen die Durchschnittstemperatur in Schernbach etwa 0,5 °C höher liegen dürfte (Lenoir et al. , 2008). Hinzu kommt die direkt angrenzende Nagoldtalsperre, die durch die großen Wassermassen als Wärmespeicher Temperaturextreme abpuffern dürfte. Die Niederschläge liegen in allen Monaten durchschnittlich zwischen 100 und 200mm, mit Höchstwerten in den Monaten Oktober bis Januar und im Gesamtjahr zwischen 950 und 2360mm, im Mittel bei 1680mm (Deutscher Wetterdienst, 2019). Die Jahresdurchschnittstemperatur schwankt zwischen 5,2 und 9,0°C und liegt im Mittel bei 7,2°C (Schätzung für Schernbach 7,7°C). Die absolute Minimaltemperatur in den letzten 70 Jahren lag bei - 27 °C (1956) (Ebd.).

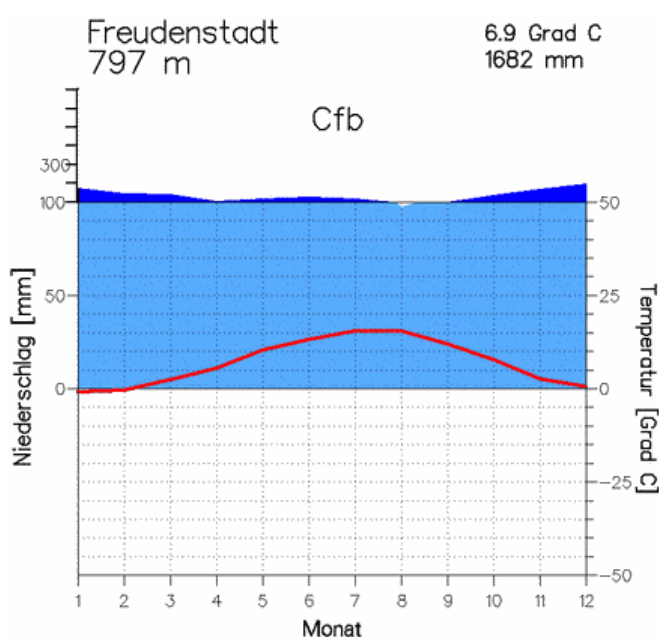


Abbildung 5: Klimadiagramm Freudenstadt

bestimmten Klimazone geeignet sind, eine ca. 80% Überlebenswahrscheinlichkeit in mit weitem Abstand auftretenden Extremwintern (die dann die entsprechende durchschnittliche Minimaltemperatur unterschreiten). Auf mikroklimatisch begünstigten Flächen können auch Gehölze einer wärmeren Winterhärtezone angebaut werden (Ebd.). Südlagen, insbesondere Südhanglagen, sind etwa eine Zone günstiger. Lagen am Ortsrand dagegen, in der Nähe von großen Freiflächen sowie Nordlagen, insbesondere Nordhanglagen, sind eher an der Untergrenze, vielleicht sogar eine Zone ungünstiger.

Zusätzlich spielt das Kleinklima eine Rolle, das durch Hecken und dichte Bepflanzung noch günstiger, bei offener Lage auch ungünstiger sein kann. (Heinze, 1984)

So ist Schernbach durch seine Kuppenlage begünstigt, die größtenteils nach Süd-Ost exponiert ist (s.a. Abb. 8). Durch optimale Nährstoff- und insbesondere Wasserversorgung im Herbst können Gehölze rechtzeitig ihren Trieb abschließen und erreichen eine bessere Winterhärte. Auch

Sonnenscheinstunden liegen im Mittel bei 1680h und damit trotz der hohen Niederschläge gleich hoch wie in vielen anderen Regionen (Ebd.). Daher ist das Klima als ausgesprochen günstig für das Wachstum von Pflanzen anzusehen.

Schernbach ist zwischen den Klimazonen 6b (-17,8 bis -20,5 °C) und 7a (-15 bis -17,7°C)⁷ einzuordnen (s.a. Abb. 6).

Nördlich der Alpen ist bis 1500m ü. NN eine nur sehr geringfügige Abhängigkeit der Klimazonen von der Höhenlage feststellbar (ROLOFF 1996).

Nach Heinze und Schreiber (in: Roloff, 1996) haben Gehölze, die bis zu einer

⁷Winterhärtezonen nach USDA geben die über die Jahre gemittelte Minimaltemperatur an (ROLOFF 1996)

Darüber hinaus sind Indikatorzeigerarten der Klimazone 6 wie Buchsbaum (*Buxus sempervirens*), Efeu (*Hedera helix*) und Walnuss (*Juglans regia*) in verschiedenen Altersstufen in Schernbach anzutreffen (Heinze und Schreiber in: Roloff, 1996).



Biogene

Insgesamt liegt der Standort in einer sehr naturnahen, von Fichtenwäldern dominierten Gegend.

Damit einher geht das Auftreten von Rehwild- (vor allem Damwild aber auch vereinzelt Rotwild), Wildschwein- und Hasenpopulationen. Dies erfordert voraussichtlich Baumschutz bei Neupflanzungen.

4.3 Der Kontext: Konzeption des Gesamtbetriebes

Absichtserklärung des Hofes Sonnenwald

„Als Praxisforschungsbetrieb zu „Regenerativer Agrikultur“ ist es unser Anliegen, nachhaltige und ökonomische Produktivität mit Klima- und Naturschutz sowie mit solidarischer Verantwortung zu verbinden. Die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und biologischen Vielfalt sowie das Schaffen von Kreisläufen sind uns dabei besonders wichtig.

Als Bildungs- und Forschungszentrum ist unser Betrieb ein praktisches Vorbild für eine regenerative Agrikultur, die alte Traditionen und zukunftsweisende Innovationen integriert.

Wir begegnen allem Lebendigen mit Wertschätzung und in demütiger Achtsamkeit. Dies zeigt sich unter anderem in guten Lebensbedingungen für alle: Menschen, Tiere und Pflanzen. Bei der Betriebsentwicklung beziehen wir alle Menschen, die vom Hof ernährt werden, aktiv mit ein, um gemeinsam einen heilsamen und regenerativen Ort zu gestalten.“ (Hofmann, 2018)

Gemeinschaftsgetragene Agrikultur

Der Hof Sonnenwald für regenerative Agrikultur ist eingebettet in den Akademie für angewandtes gutes Leben e.V. und die Gemeinschaft Sonnenwald eG, die im Dezember 2018 das ehemalige Diakoniegelände zusammen mit dem Hof in Schernbach erworben hat, um ein sozial-ökologisches Modellprojekt mit Lebensgemeinschaft und starkem Bildungsfokus zur Förderung von Transformationskompetenzen aufzubauen. Mit Transformationskompetenzen sind die Fähigkeiten gemeint, welche es zu einer aktiven Umgestaltung gesellschaftlicher Strukturen hin zu einem Lebensstil im Sinne einer starken Nachhaltigkeit braucht. Es geht um einen Lebensstil, der möglichst allen Menschen sowie zukünftigen Generationen ein „gutes Leben“ ermöglicht. Der Begriff der (großen) Transformation meint, einen drastischen sozial-ökologisch-kulturellen und wirtschaftlichen Wandel unserer Gesellschaft angesichts der aktuellen ökologischen Herausforderungen unserer Welt, der nach Einschätzung des Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung für globale Umweltveränderungen für die Erhaltung der Zukunftsfähigkeit unserer Welt unumgänglich ist (WBGU, 2011). Ausdruck dessen ist unter anderem, dass die Gemeinschaftsmitglieder großes Interesse an der Förderung eines eigenen regenerativen Agrikulturbetriebes haben. Einerseits, um sich und den Seminarbetrieb mit nahrhaften guten Lebensmitteln zu versorgen und andererseits, um einen Beitrag zu einer nachhaltigen Transformation der Landwirtschaft zu leisten.

Betriebszweige des Hofes

Folgende Betriebskomponenten befinden sich neben dem multifunktionalen AFS in Planung oder am Beginn ihrer Umsetzung: holistisches Weidemanagement mit Zweinutzungsherde (Vogesenrinder und Normande-Rinder mit saisonaler Abkalbung) und mobilem Weide-Melkstand für eine kleine eigene Käserei, Hühnermobilställe (2 x 100 Legehennen der Rasse Sussex), Minimalbodenbearbeitung mit Untersaaten, Flächenrotte und diversifizierter Fruchtfolge mit vielen Gemengen im Ackerbau, kleine eigene Backstube, Gemüsebau im biointensiven Market-Garden

(1ha), eine kleine Baumschule anfangs vor allem für die Vermehrung von Pflanzmaterial für die eigenen AFS-Pflanzungen und eine Imkerei (50 Bienenvölker). Schrittweise wird die Direktvermarktung und Weiterverarbeitung durch andere Gemeinschaftsmitglieder ausgebaut werden.

Weitere Betriebszweige wie Heil- und Gewürzpflanzenanbau, Schweinehaltung, Milchschafe, Pilzanbau, Biomasseproduktion für eine eigene Hackschnitzelheizung werden angestrebt. (Hofmann, 2018)

Finanzielle Ressourcen

Von der Genossenschaft werden dem landwirtschaftlichen Betrieb in den ersten zwei Jahren 330.000€ Startkapital zur Verfügung gestellt. Außerdem besteht in der ersten Saison bereits eine Solidarische Landwirtschaft mit ca. 50 (bisher nur Gemüseboxen-) Ernteanteilen à 80€ / Monat. Es ist geplant, diese auszuweiten und um weitere Produkte (auch aus dem AFS) zu ergänzen.

In Bezug auf die Anlage des AFS fand ein erstes Vorgespräch mit Beamten des Kreises, die für das Flurneuordnungsverfahren zuständig sind, statt. Diese verfügen über umfangreiche Ausgleichsmittel und haben großes Interesse gezeigt, damit die Anlage von AFS auf dem Betrieb inklusive dem Bau von Teichen als Modellprojekt zu finanzieren. Hierfür bedarf es jedoch einer schlüssigen Darlegung über den naturschutzfachlichen Wert, insofern nicht-autochtones Pflanzgut verwendet werden sollte. Grundsätzlich bestand diesbezüglich jedoch große Offenheit von Seiten des zuständigen Beamten der unteren Naturschutzbehörde. Dies würde eine Übernahme von Pflanzkosten, Pflanzenschutz sowie Pflegemaßnahmen über die ersten drei Jahre bedeuten (Baumüller & Latz, 2019).

Materielle Ressourcen

Neben landwirtschaftlichen Scheunen und Geräteschuppen existiert eine große Werkstatt, in der zum Beispiel Prototypen von Maschinen für multifunktionale AFS weiterentwickelt werden können. Außerdem besitzt die Gemeinschaft eine Großküche mit sechs Kühlräumen und mehreren gefliesten Nebenräumen, in denen Produkte aus dem AFS weiterverarbeitet und gelagert werden können.

Darüber hinaus grenzt das Seminarhaus der Gemeinschaft direkt an die landwirtschaftlichen Gebäude an. Hier können Bildungsveranstaltungen und dank der dazugehörigen Turnhalle auch größere Symposien und Events im Kontext von multifunktionalen AFS und Regenerativer Agrikultur stattfinden.

Soziale, kulturelle und spirituelle Ressourcen

In der Gemeinschaft leben unter anderem drei Personen, die ökologische Landwirtschaft studiert haben. Eine Person mit Forstwirtschaft und Naturschutz-Studium und zwei weitere Personen mit einem Ökosystemmanagement-Studium. Des Weiteren gibt es eine Person mit einer gärtnerisch-obstbaulichen Ausbildung und eine mit einer landwirtschaftlichen. Davon haben zwei Personen bereits über 20 Jahre einen eigenen biodynamischen Betrieb geführt. Die meisten davon arbeiten zur Zeit jedoch noch nicht Vollzeit und entlohnt im Betrieb. Dadurch, dass voraussichtlich auch langfristig einige Personen Teilzeit außerhalb des Hofes arbeiten werden, ist es möglich, flexibler auf Arbeitsspitzen am Hof zu reagieren.

Außerdem gibt es in der Gemeinschaft mehrere Personen, die im Bereich von Supervision und

Betriebsberatung tätig sind und den Betrieb in seiner Organisationsstruktur und betriebswirtschaftlich beratend unterstützen können.

Da eine ökologische Landwirtschaft in der aktuell 40-köpfigen und langfristig ca. 80-köpfigen Gemeinschaft generell als kulturelle Praxis einen hohen Stellenwert hat, sind viele Gemeinschaftsmitglieder bereit ca. 1 Tag pro Woche in ihrer Freizeit unentgeltlich bei anstehenden praktischen Arbeiten auf dem Hof mitzuhelfen. Viele sind darüber hinaus interessiert, die moderne Kultur mit alten Traditionen und naturverbundenen Festen neu zusammenzubringen.

So können durch die Gemeinschaft zu einem gewissen Grad auch arbeitsintensivere Anbautechniken und Pflegemaßnahmen oder Pflanzaktionen umgesetzt werden.

Darüber hinaus besitzen die Menschen aus dem Agrikulturteam gute Netzwerke zu anderen innovativen (Jung-)Landwirt*innen, Demeter-Höfen und verschiedenen Universitäten sowie zum Nationalpark Schwarzwald.

4.4 Betrieb und Standort im Kontext aktueller sozio-ökologischer Herausforderungen

Landwirtschaftliche Transformation

Von aktueller Brisanz ist insbesondere die historische Sommerhitze und -trockenheit 2018 (Deutscher Wetterdienst, 2018). Sie führte in weiten Teilen Deutschlands zu landwirtschaftlichen Ertragseinbußen in Milliardenhöhe (FAZ, 2018) und wirft die Frage nach trockenheitsresilienteren landwirtschaftlichen Produktionssystemen für die Zukunft auf.

Es ist zu erwarten, dass derartige Ereignisse keine Einzelereignisse sind, sondern Aspekte eines generellen Trends, der von Klimawandelprognosen für Deutschland beschrieben wird: Zu erwarten sei eine Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur und stärkere klimatische Schwankungen wie eine höhere Frequenz von Extremwetterereignissen (Trockenheiten, Starkniederschlägen und Überflutungen) sowie insbesondere eine Abnahme der durchschnittlichen Sommerniederschlagsmenge (IPCC, 2018).

Auch der Biodiversitätsverlust nimmt ein derartiges Ausmaß an, sodass einige wissenschaftliche Publikationen bereits von einem sechsten globalen Massensterben sprechen. In den letzten drei Jahrzehnten verläuft das Artensterben 100mal so schnell wie im Jahresdurchschnitt der letzten Jahrtausende (Ceballos et al., 2015).

Aktuelle Hochrechnungen kommen zu dem Ergebnis, dass die Umwelteinflüsse des gegenwärtigen Landwirtschaftssystems bereits deutlich die planetaren Belastungsgrenzen überschreiten: für lebensmittelbedingte Treibhausgasemissionen um 110%, für Landnutzungsänderung um 70%, für Frischwasser um 50%, für Stickstoffemissionen um 125% und für Phosphoremissionen um 75% (Springmann et al., 2018). Ebd. stellen fest, dass nur eine synergistische Kombination von vielfältigen Maßnahmen ausreichen könnte, um den projizierten weiteren Anstieg der Umweltbelastungen ausreichend zu mildern.

Für eine umfassende agrarökologische Transformation, wie sie zum Beispiel in der Studie von Poux & Aubert (2018) oder auch von Albrecht et al. (2018) und Pretty et al. (2018) als dringlich dargestellt wurde, braucht es Pionierbetriebe, die wissenschaftliche Praxisforschung betreiben,

ihre Erfahrungen teilen und in Bildungsveranstaltungen weitervermitteln (Altieri et al. 2015). Einen derartigen gemeinschaftlich getragenen Praxisforschungsbetrieb für „Regenerative Landwirtschaft“ (Wilson, Tylor Lovell, & Carter, 2018; Soloviev & Landua, 2016) baut der Autor dieser Arbeit mit der Sonnenwaldgemeinschaft und der Akademie für angewandtes gutes Leben in Schernbach (Nordschwarzwald) gerade auf. Ziel ist es, Klima- und Naturschutz insbesondere durch Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und der Biodiversität mit einer nachhaltigen ökonomischen Produktivität zu verbinden und in eine regenerative-soziale Kultur einzubetten. Zugleich sollen regionale Wirtschaftskreisläufe und Arbeitsplätze geschaffen sowie Nahversorgung, Wertschöpfung durch Weiterverarbeitung und Direktvermarktung gestärkt werden.

Der Schwarzwald - ein Profiteur des Klimawandels?

Die oben beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels dürften etwa ab der Mitte dieses Jahrhunderts in den meisten Regionen der Welt zu erheblichen Ernteverlusten und sozialen Spannungen führen (Altieri et al. 2015). Auch wenn die Region Schwarzwald davon nicht isoliert betrachtet werden kann, sind dennoch Entwicklungen zu beobachten, die förderlich für das Ertragspotential des Betriebsstandortes erscheinen.

Lenoir et al. (2008) untersuchten die Auswirkungen des Klimawandels auf die Veränderung der Verbreitungsobergrenze (m über NN) von verschiedenen Baumarten in Westeuropa über einen Zeitraum von 1905 bis 2005. Sie stellten fest, dass sich alle Baumarten im Durchschnitt etwa 29 Höhenmeter pro Jahrzehnt nach oben ausbreiten. Tendenziell kann durch prognostizierte Klimawandel-Reboundeffekte (IPCC, 2018) damit gerechnet werden, dass sich dieser Trend im Laufe der nächsten Jahrzehnte weiter verstärkt (Lenoir et al., 2008), sodass sich Schernbach z.B. im Bezug auf Nussgehölze von einem Grenzertragsstandort zunehmend zu einem sehr gut geeigneten Anbaugebiet wandeln könnte.

Damit zusammen hängt auch, dass sich vermutlich die Länge der Anbausaison auf Standorten mittlerer und höherer Lagen durch die globale Erwärmung ausdehnt (Altieri et al., 2015).

Außerdem werden auf sandig humosem Boden mit geringem bis mittlerem Tonanteil (wie in Schernbach vorhanden) Temperaturextreme besser abgepuffert. So kommt es dort an sonnigen Tagen im Oberboden zu einem Wärmestau und anschließend zu einer langsamen Abgabe. (Kutschera & Lichtenegger, 2002)

Dennoch sollte versucht werden die oben genannten zu erwartenden negativen Effekte durch ein angepasstes agrarökologisches System abzupuffern (Altieri et al. 2015).

5 Zusammenführung und Designentwicklung

5.1 Methodik des gesamten Designprozesses

In einem ersten Schritt wurden aus den Ergebnissen der Literatursauswertung (s.a. Kap. 3) und dem Kontext (s.a. Kap. 4) Ziele für das Design abgeleitet.

Für das Vorgehen bei der grundlegenden Entscheidung darüber, ob und in welcher Ausrichtung auf spezifischen Flurstücken AFS angelegt werden sollten, konnte in der Literatur kein standardisiertes Verfahren gefunden werden. Daher wurde das in Kap. 5.3.1 dargestellte Verfahren vom Autor selbst entwickelt.

Für die großflächige Planung und Anwendung von Keyline-Design-Kultivierungsmustern (s.a. Kap. 3.5) erscheint es hilfreich mit digitalen Geoinformationssystemen zu arbeiten. Daher wurden von dem Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL-BW) Katasterauszüge als shape-Datei und Digitale-Gelände-Modell-Daten (DGM-Daten) im ACSII Format bezogen. Diese DGM-Daten stammten aus Laserscan-Befliegungen aus den Jahren 2000-2005 und lagen mit einer Gitterweite von einem Meter vor. Die anschließende Datenauswertung wurde hauptsächlich mit der Software QGIS (Version 3.4.2-Madeira) vorgenommen. Mit den DGM-Daten wurde eine Geo TIFF-Datei als Geländehöhen-Raster-Datei mit dem Koordinatenreferenzsystem ETRS89 / UTM zone 32N (EPSG:25832) erstellt. Mit dem GDAL-Befehl: `gdal_contour` wurden daraufhin anhand der Rasterdatei Isolinien (Höhenlinien) im Abstand von einem Meter als shape-Datei erstellt.

Da das LGL-BW ein digitales Orthophoto nur gegen einen Aufpreis von 500€ zur Verfügung gestellt hätte und diese Summe dem Autor nicht verhältnismäßig erschien, wurde mittels der QuickMapServices Erweiterung ein Esri-Satellitenbild als Basiskarte geladen.

Daraufhin wurden aus der Kataster shape-Datei die Flurstücke nach Eigentum und Pacht eingeteilt und als zwei separate shape-Dateien erstellt. Einige Flurstücke mussten nachgemessen oder unterteilt werden, da verschiedene Nutzungsformen (Wald, Grünland und Acker) in demselben Flst. vereint waren.

Da noch keine anwendbare Methodik dazu existiert, nach welchen Kriterien und wie man Entscheidungen darüber trifft, ob es sinnvoll ist auf einer gegebenen Fläche Baumreihen nach einem Keyline-Design-Muster zu pflanzen oder nicht, musste dies in dieser Arbeit erst diskursiv entwickelt werden. Daher ist die Entwicklung der Methodik, für die auch Operationen mit QGIS genutzt wurden, nicht in diesem Methodikteil, sondern als Ergebnisteil auch im Unterkapitel 5.3.1 dargestellt.

Für die Erstellung der Keyline-Kultivierungsmuster wurden zuerst in einem Vectorlayer der Verlauf von Kuppen und Tälern auf den Flächen nachgezeichnet, um einen Überblick über die geographischen Formen auf den Flächen zu erhalten (Perkins, 2016).

Unter Berücksichtigung des Verlaufs der Höhenlinien wurde anschließend versucht eine optimale Orientierungs-Keyline zu finden. Dies war meistens sehr zeitaufwändig, da es eine langsame Annäherung über mehrere "Trial-and-Error-Feedback"-Schleifen erforderte. Denn von dieser Orientierungs-Keyline ausgehend müssen die anderen Reihen so versetzt werden können, dass ein stimmiges Muster für die gesamte Fläche entsteht (s.a. Kap. 3.5).

Die Fahrspur-parallele Verschiebung von Baumreihen fand in QGIS mittels der Advanced-Digitizing-Toolbar statt.

Aus den bereits erstellten Pflanzlinien wurden mittels des QGIS Plugins Qchainage Punktvektor-Layer mit maßstabsgetreuen Pflanzabständen erzeugt. Anschließend wurde auch die Größe der für Bäume, Sträucher oder Kletterpflanzen stehenden Punkte, Rauten oder Dreiecke auf artentypische maßstabsgetreue Durchmesser umgestellt. Da daraufhin die Symbole der Pflanzenarten nicht mehr in der Legende angezeigt wurden, mussten die Layer aller Baumarten für das QGIS-Printlayout dupliziert und auf fixe Milimetergröße eingestellt werden.

Als Vorbereitung für die Auswahl der Pflanzenarten für die AFS-Streifen diente der in Kapitel 3.2.1

beschriebene Ansatz der Funktionellen Gruppen. Für die Einteilung in funktionelle Gruppen (s.a. Kap. 5.3.2) scheint es sinnvoll, Pflanzen entsprechend bestimmter Merkmale einzuteilen, die Auswirkungen auf ihre funktionellen Eigenschaften haben. So, wie dies im Jena-Experiment mit Grünlandarten durchgeführt wurde (s.a. Kap. 3.4.1) (Eisenhauer et al., 2017).

Da für eine exakte derartige Einteilung nicht ausreichend Daten vorliegen, konnte dies im Rahmen dieser Design-Arbeit nur in beschränktem Umfang durchgeführt werden, diente jedoch als Orientierung.

Außerdem wurden ebenfalls aufbauend auf die Literaturlauswertung (s.a. Kap. 3) konkrete Elemente und Maßnahmen bzgl. des Designs und dessen Management unter Heranziehung weiterer Literaturquellen entwickelt.

Anschließend wurden ebenfalls mittels einer Literaturrecherche vor dem Hintergrund des Standortes passende Baumarten und teilweise auch bereits deren Sorten für die verschiedenen Funktionsgruppen ausgewählt.

Bei der Lokation von Teichen und Wasserretentionsbecken wurde wie folgt vorgegangen: Durch ein Gespräch mit dem abgebenden Bewirtschafter wurden Flächen mit Feuchtstellen identifiziert (Häcker, 2019). Auf den genannten Flächen wurden im Umkreis der Feuchtstellen tendenziell aufsteigend entlang von „Tälern“ (Yeomans, 1973; Perkins, 2016) mit einer simplen Metall-Bodensonde⁸ Einstiche vorgenommen und dabei sensorisch der Grad der Wassersättigung bewertet. Dabei war das Ziel eine möglichst hoch gelegene Stelle für den Teichbau zu finden, von dem aus per Gravitation bewässert werden oder Tränken versorgt werden könnten. An den als feuchter bewerteten Stellen wurden anschließend mit einem Spaten testweise Löcher bis auf 1 m Tiefe gegraben. Diese wurden über einen Zeitraum von 2 Wochen beobachtet (24.05.2019 - 07.06.2019), um auszuwerten, wie viel Wasser sich darin sammelt und wie lang es ohne Regen darin stehen bleibt. An den höchsten und feuchtesten Löchern wurden daraufhin die Teiche in QGIS verzeichnet.

5.2 Designziele

Ziel ist es, für die Flurstücke des „Hof Sonnenwald“ standortspezifische multifunktionale AFS zu designen, die möglichst viele agrarökologische Prinzipien (s.a. Kap. 3.2) derart integrieren, dass dadurch zugleich funktionale Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit gefördert werden und die Flächen-Produktivität angehoben wird. Insbesondere liegt ein Fokus auf der Entwicklung von SAFS (s.a. Kap. 3.3.1) für Betriebe in den gemäßigten Breitengraden, die Sukzessionsdynamiken (s.a. Kap. 3.4) so nutzen, dass diese für größere Flächen anwendbar werden. Bei den Designs soll eine zweckmäßige Mechanisierung zur Bewirtschaftung der Flächen und dem Management der AFS-Reihen mit berücksichtigt werden (s.a. Kap. 5.3.3).

Dabei sollen die Designs zu dem speziellen Kontext des Hofes passen (s.a. Kap. 4).

⁸Die gebrauchte Bodensonde ist eigentlich für die Analyse von Bodenverdichtungen konzipiert.

5.3 Theorie trifft Praxis

5.3.1 Entscheidung über die Anlage von AFS auf spezifischen Flurstücken und Entwicklung einer Methodik für die Entscheidung über die Ausrichtung von Baumreihen nach Keyline-Design

Die Entscheidung darüber, ob es sinnvoll ist auf einer spezifischen Fläche multifunktionale AFS anzulegen, ist komplex.

Dabei spielen zahlreiche Faktoren eine Rolle: abiotische (Erosionsgefahr, Flst.-Geometrie in Zusammenhang mit der Baumreihenausrichtung, Bodengefüge etc.), biotische (Konnektivität der Landschaft, Möglichkeit der Förderung von Biodiversität durch Wanderkorridore, Verfügbarkeit von Habitaten und Nahrungsquellen, Bodenfruchtbarkeit, Ertragspotential, mögliche naturschutzfachliche Zielkonflikte (z.B. bei vorkommenden Offenland-Vogelarten etc.) und gesellschaftliche (Interessen und Kapazitäten der Bewirtschafter*innen, Nähe zum Betriebszentrum, Interessen von Anwohner*innen und Verpächter*innen, Landschaftsästhetik, Finanzierungsmöglichkeiten der Anlagekosten, prognostizierte Rentabilität des AFS für den Betrieb, Notwendigkeit der Umsetzung von AFS im Kontext globaler Herausforderungen etc.).

All diese Faktoren in gebührendem Ausmaß zu berücksichtigen würde eine separate umfangreiche Studien-Arbeit erfordern. Daher sollte das folgende Verfahren im Bewusstsein seiner starken Komplexitätsreduzierung betrachtet werden:

Zuerst wird geprüft, welche gepachteten Flurstücke aufgrund anderweitiger Interessen der Verpächter*innen oder der Anwohner*innen sich nicht für die Anlage multifunktionaler AFS eignen. Dies betraf Flst. 12/2, 19 und 69/2/2/1.

In einem zweiten Schritt erscheint es sinnvoll leicht zu ermittelnde abiotische Faktoren zu analysieren. Diese (s.a. oben ausgeführt) stehen überwiegend offensichtlich in starkem Zusammenhang mit der Ausrichtung der Baumreihen. Daher wurde diesbezüglich zuerst geprüft, ob es sinnvoll wäre Baumreihen nach einem Keyline-Muster auszurichten.

Da eine der Hauptfunktionen von Keyline-Mustern die Optimierung der Wasserverteilung und die Verhinderung von Erosion ist und dadurch potentiell auch Nachteile entstehen können (s.a. Kriterien unten), erscheint Keyline-Kultivierung erst ab einem gewissen Grad an Gefälle im Gelände sinnvoll.

Diesbezüglich konnte in der Literatur ausschließlich bei Wilson et al. (2018) eine Empfehlung gefunden werden, dass sich Keyline-Kultivierungsmuster insbesondere für Flächen mit einem Gefälle von 15 - 35% eignen würden.

Für diese Empfehlung von Ebd. wurden jedoch keine wissenschaftlichen Studien als Referenzen angegeben und auch eine zusätzliche diesbezügliche Recherche des Autors brachte keine Ergebnisse. Diese Zahlen passen jedoch recht gut mit Studien zur Wassererosion auf Feldern zusammen: Die Studien von Evans (1990) ergaben, dass Bodenerosion erstmalig ab einem Gefälle von über 3% auf mindestens 50m auftritt. In der Metastudie wurden 16 Erosionsstudien in Verbindung mit dem Gefälle ausgewertet: Ab 6% über mehr als 50m kam es zu stärkeren Erosionsaufkommen mit mehr als 1 m³ / ha.

In einer Folgestudie von Lal (2001) kam es unter unterschiedlichen Managementregimen und Vegetationen je nach Versuchsplot zwischen 10 und 15% Gefälle zu einem deutlich stärkeren Anstieg der Erosion von Bodenpartikeln durch den Oberflächenabfluss. Ebd. benennt folgende Einflussfaktoren für die Stärke der Erosion: (1) Gefälle, (2) Stärke des Niederschlages, (3) Bodenart und Bodenfruchtbarkeit (Perceptionsvermögen und Verschlemmungsneigung des Bodens) und (4) Vegetation (Bodendeckungsgrad und Bewurzelung).

Die Einschätzung von Standorten für ihre Erosionsgefährdung kann somit nicht einfaktoriell betrachtet werden. Mangels von Methodik und Daten zur Gewichtung der verschiedenen Faktoren, findet im folgenden in einem ersten Schritt für die Entscheidungsfindung über die Anwendung von Keyline-Kultivierungsmustern jedoch eine Reduzierung der Komplexität auf den Faktor Gefälle statt:

Da es nur schwer möglich war anhand einer visuellen Beurteilung des Abstandes der Höhenlinien Entscheidungen über die Anwendung von Keyline-orientierten Baumreihen zu treffen, wurde mittels des Neigungs-Werkzeuges (slope-Funktion im DEM Terrain models tool) anhand der Geländehöhen-Raster-Datei ein Rasterlayer mit der Information über das Gefälle erstellt. Durch die Klassifizierung der Gefällesterken und deren Darstellung in verschiedenen Farbklassen, konnte anschließend eine einfache, praktische visuelle Entscheidungshilfe erstellt werden. Die Einteilung der Klassen wurde wie folgt vorgenommen: $\leq 5\%$ (hier ist kaum Erosion zu vermuten); $5\% \leq 10\%$ (leichte Erosionsgefahr, insbesondere bei längeren Strecken); $10\% \leq 15\%$ (mittlere bis starke Erosionsgefahr auch auf kürzeren Strecken); $15\% \leq 35\%$ (sehr starke Erosionsgefahr); $35\% <$ (kaum mehr für landwirtschaftliche Nutzung geeignet).

Die Einteilung in die genannten Klassen fand auf Grundlage der Ergebnisse der Literaturanalyse zu Keyline und Erosionsgefährdung statt (s.a. oben).

Mit der dadurch entstandenen Karte konnte relativ offensichtlich und schnell visuell beurteilt werden, welche Flächen stärker erosionsgefährdet sind. So wurden für einen ersten Überblick eine Auswahl der Flurstücke vorgenommen, bei denen die Erfüllung folgender Kriterien relativ großzügig und schnell eingeschätzt werden konnten: Flurstücke, auf denen mindestens an einer Stelle ein Gefälle von mehr als 10% über eine Länge von mehr als ca. 10 m quer zu den Höhenlinien auftrat oder Flächen, die ein Gefälle von über 5% auf einer Strecke von mehr als ca. 50 m aufwiesen und die zugleich auf über ca. 30% der Fläche ein Gefälle von über 5% hatten. Zur Bildung dieser Einordnung dienten ebenfalls Evans (1990) und Lal (2001) als Orientierung.

Diese Anforderungen erfüllten insgesamt 14 Flst. (s.a. Abb. 8 & 9).

Um die mit diesem Verfahren schnell zu treffende Vorauswahl weiter einzugrenzen, wurden in einem weiteren Schritt folgende Kriterien in der gleichen Entscheidungshierarchie wie Reihenfolge beurteilt (die Beurteilung dabei ist eher eine subjektive Abwägung von Vor- und Nachteilen bezüglich der jeweiligen Fläche und sollte in jedem Fall in enger Absprache mit den künftigen Bewirtschafter*innen stattfinden, da sie z.B. stark von der Art der Nutzung und den Maschinen abhängt):

- (1) Passt die Flächenform und Gefällerrichtung des Flst. zum Verlauf von Keylines, oder würden dadurch die Bearbeitungsgassen zu kurz und das Vorgewände zu groß?

- (a) Wenn die längst mögliche Keyline bereits kürzer als 50% der Länge der derzeitigen Bearbeitungsgassen ist, wurde das entsprechende Flurstück unmittelbar aussortiert. Dies kann ohne Einzeichnung der Keylines relativ schnell anhand von Nachmessen der Höhenlinienlänge im ungefähren Bereich der Keyline erfolgen.

Dies traf auf Flst. 1535, Flst. 98 und Flst. 190 zu (s.a. Abb. 16).

- (b) Es ist sinnvoll, ein Bepflanzungsmuster zu wählen, bei dem die Vorgewändeflächen möglichst klein bleiben. Denn durch große Vorgewändeflächen steigt der Arbeitsaufwand bei der Bearbeitung und es kommt durch die vermehrten Wendemanöver potentiell zu mehr Bereichen mit Bodenverdichtung und daher geringerer Produktivität. Hierfür wurde die benötigte Fläche des Vorgewändes für (1) Keyline-Bepflanzungsmuster, (2) gebogene Fahrspur-parallele Bepflanzungen entlang der Grundstücksgrenze ohne Beachtung der Keylines und (3) gerade Baumreihen mittels QGIS analysiert und verglichen (s.a. Abb 7). Dies ist recht aufwändig, da erst die optimalen Muster der verschiedenen Baumreihen-Ausrichtungen gefunden und eingezeichnet werden mussten. Wenn dies abgeschlossen ist, können darauf aufbauend neue Polygon-Vektor-Shapelayer erstellt werden, um die Vorgewände der verschiedenen Pflanzmuster mit Polygonen zu umzeichnen und deren Flächeninhalt zu analysieren. Dies bietet eine solide Datenbasis, auf deren Grundlage dann letztendlich eine bewusste Entscheidung über die Ausrichtung der Baumreihen durch die Bewirtschafter*innen nach Abwägung der eigenen Präferenzen stattfinden kann (Bereitschaft in einem kurvigen AFS zu arbeiten / ggf. ein etwas größeres Vorgewände für potentielle positive Effekte von Keyline in Kauf zu nehmen).

Flächen aus der Keyline-Vorauswahl wurden aufgrund ihrer Erosionsgefahr als prioritär für die Anlage von AFS betrachtet. Insgesamt wurden die Baumreihen von sieben Flst. (29/2, 50, 51/1/2, 52, 53/2, 123, 146) nach Keyline ausgerichtet.

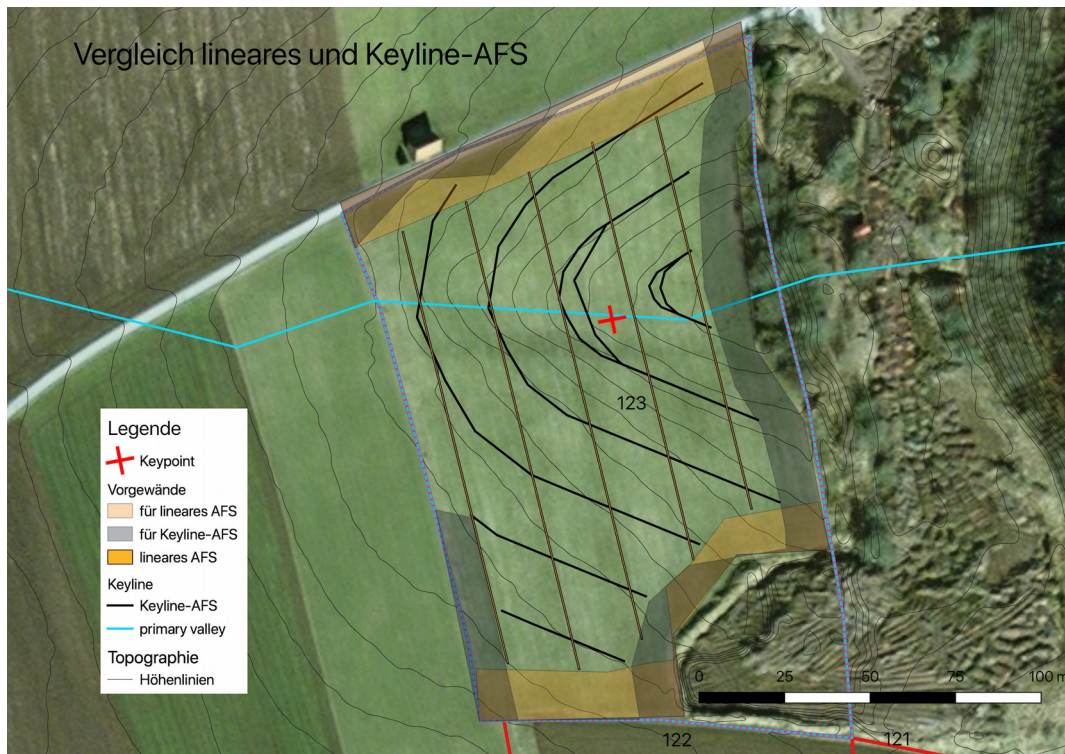


Abbildung 7: Vergleich der Vorgewändeflächen eines linearen und Keyline-orientierten AFS (Flst. 123) (eigene Darstellung mit QGIS)

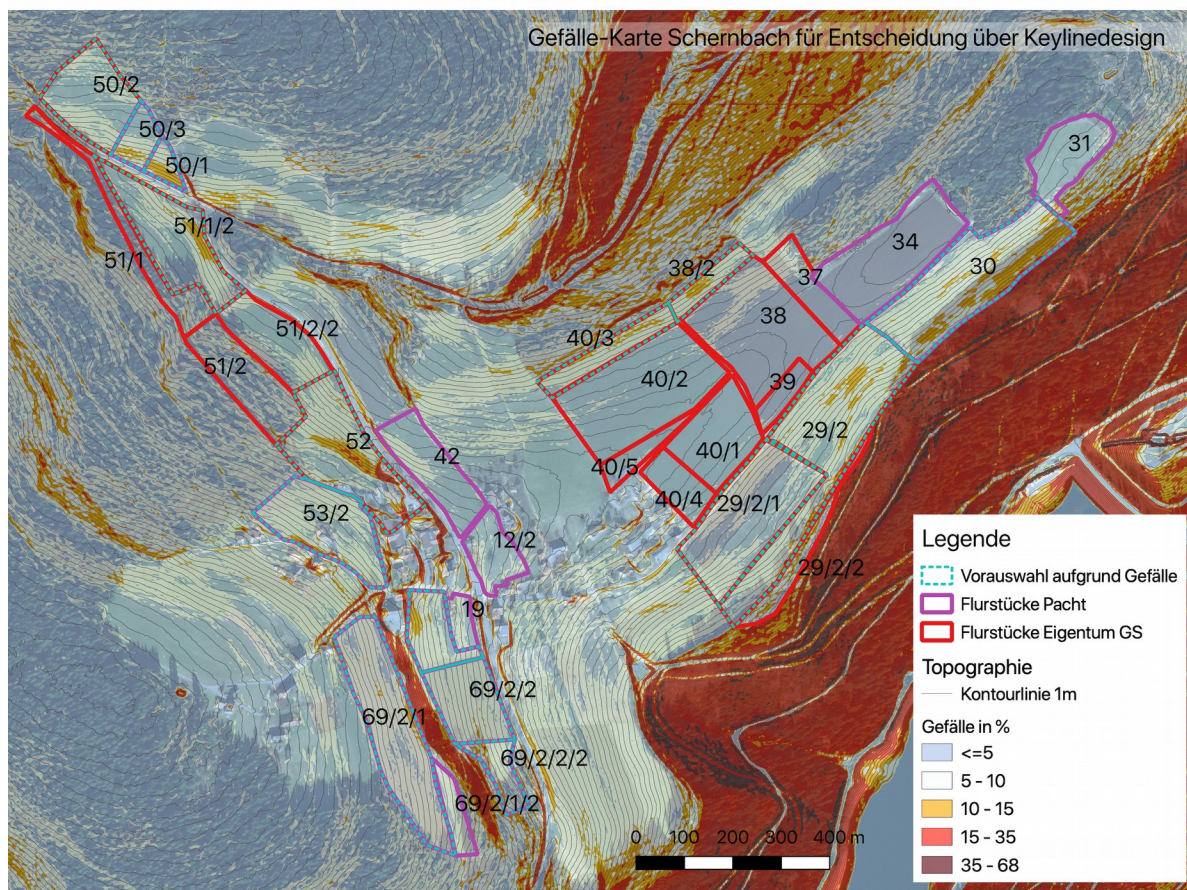


Abbildung 8: Gefälle Karte von Schernbach (eigene Darstellung QGIS)

Die Weiter vom Hof entfernte Flächen, die nicht in dieser Auswahl waren, wurden aufgrund des höheren Management-Aufwandes für Flächen mit multifunktionalen AFS nur in drei Fällen berücksichtigt. Dabei sind diese drei Flächen (die jeweils aus mehreren zusammenhängenden Flurstücken bestehen) zumindest überwiegend in Eigentum und erlauben allesamt eine Baumreihenausrichtung, durch die das Vorgewände nicht vergrößert, in einem Fall sogar verkleinert wird (Fläche mit den Flst. 167, 168, 169, 172/1). Die Fläche der Flst. 303, 304 und 305 eignet sich besonders zum Anbau und der Ernte von Nüssen, da diese ausschließlich als Mähwiese genutzt wird. Außerdem kann dort durch Baumreihen als Wanderkorridore die Landschaftskonnektivität erhöht werden, indem die beiden Waldstücke westlich und östlich der Fläche und das mit einem Haus und vielen jungen Bäumen bestandene Grundstück nordöstlich der Fläche mit dem Wald westlich verbunden werden. Das Flst. 1128 wurde ausgewählt, da es auf nur 560 m ü.NN liegt und daher vermutlich besser für den Anbau wärmebedürftiger Baumarten geeignet ist (Lenoir et al. 2008).

Die Eigentumsflächen in unmittelbarer Nähe des Hofes wurden allesamt mit AFS beplant. Die Planung dient als Diskussionsgrundlage und zur Abwägung der anderen Faktoren (s.a. oben). Sofern es nicht sinnvoll erschien die Baumreihen auf den Flst.nach einem Keyline-Kultivierungsmuster zu beplanen, wurden die Baumreihen in der Regel parallel zu geraden Grundstücksgrenzen angelegt, teilweise auch mit Winkeln in Parallelität zu kurvigen Grenzen, wenn dadurch insgesamt die Vorgewändefläche klein gehalten werden konnte.

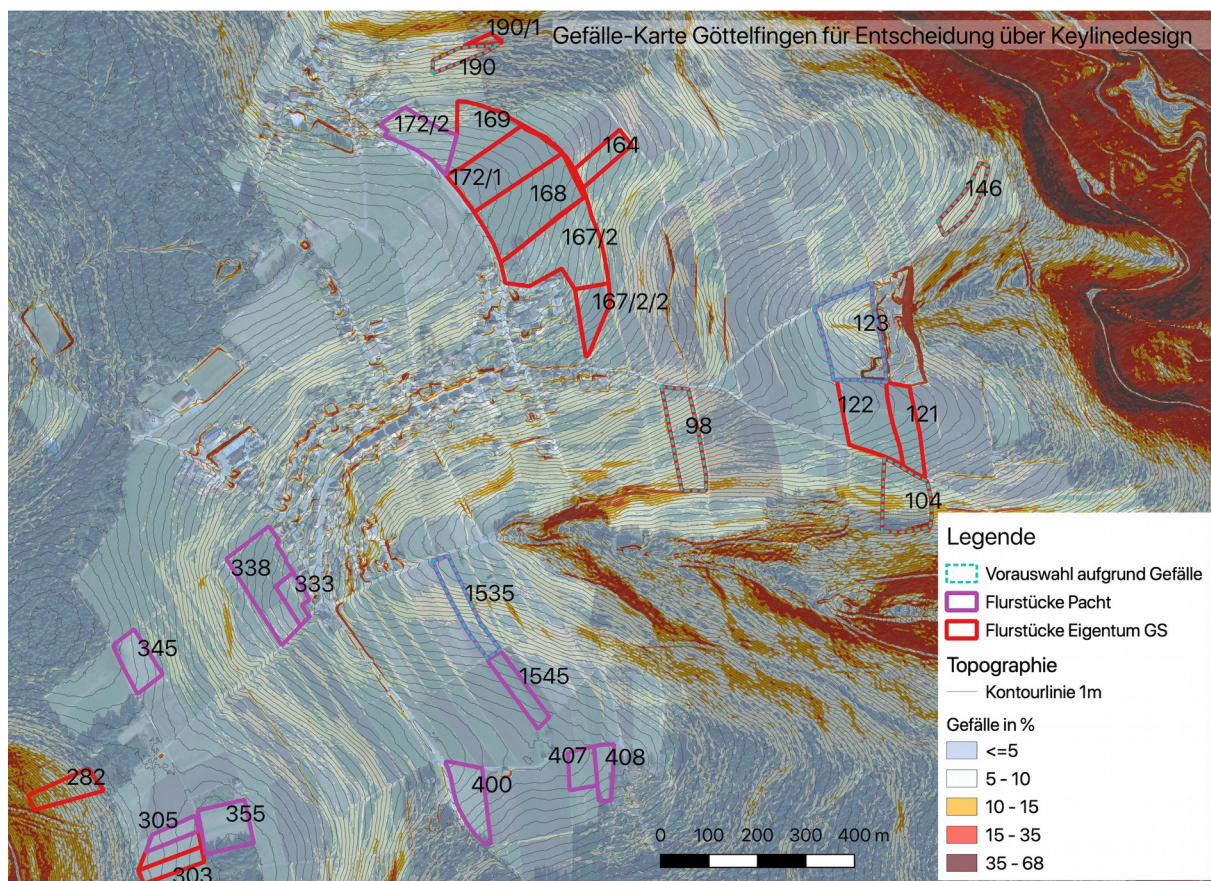


Abbildung 9: Gefälle Karte von Götterfingen (eigene Darstellung QGIS)

5.3.2 Designelemente und Maßnahmen zur Maximierung der Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit und Produktivität

Die Artenauswahl für das AFS-Design orientiert sich am Konzept der funktionalen Biodiversität (s.a. Kap. 3.2.1).

Hierfür werden in einem ersten Schritt Funktionen definiert, die von Arten erfüllt werden sollen:

1. Arten zur Biomasseproduktion und Bodenfruchtbarkeitssteigerung, sowie teilweise zur Futternutzung (s.a. Grünlanddesign) für intensiven Rückschnitt nach Prinzipien von SAFS geeignet (s.a. Kap. 3.3.1);
2. Wertholz mit zusätzlichem Fruchtnutzungspotential;
3. Fruchtertragskomponenten, deren Ernte mechanisierbar ist und deren nicht beerntete Früchte sich als Nahrungsquelle zur Förderung der Fauna eignen.
4. Arten, die sich zur Ergänzung und Sublementierung von klassischem Hühnerfutter für die Flächen der Hühnermobilställe eignen.

Anschließend sollen Arten mit sich ergänzenden Funktionen nach dem Prinzip der Fazilitation (s.a. Kap. 3.4.2) so kombiniert werden, dass sie sich möglichst optimal hinsichtlich der Ausnutzung verschiedene Nischen und der damit verbundenen Ressourcen ergänzen. Wichtige Faktoren sind dabei Licht, Wasser, Wurzelraum, Nährstoffe und mikrobielle Symbionten (Silvertown, 2004). Folgend werden die verschiedenen Faktoren näher beschrieben.

5.3.2.1 Wasser

Als bedeutendster Konkurrenzfaktor zwischen Bäumen wird das Wasser angesehen. Konkurrenz um Nährstoffe oder biologische Abläufe scheinen im Vergleich dazu eher eine untergeordnete Rolle zu spielen (Kutschera & Lichtenegger, 2002).

Von Vorteil sind dichte Durchwurzelung, hohe Saugkräfte und Ausweichvermögen in tiefere Bodenschichten. Erst bei ausreichend Wasser und Nährstoffangebot gewinnt die Lichtkonkurrenz an Bedeutung (Kutschera & Lichtenegger, 2002).

Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Wahl der Baumdichte (neben anderen technischen nicht ökologischen Faktoren) stark von dem mittleren Jahresniederschlag abhängt (Malézieux, 2012). Da diese in Schernbach mit ca. 1680mm (Deutscher Wetterdienst, 2019) vergleichsweise sehr hoch liegt, könnte demnach hier sehr dicht gepflanzt werden.

5.3.2.2 Licht und Kopfbäume

Der Faktor Licht ist insbesondere in Bezug auf die Interaktion von Gehölzen und landwirtschaftlichen Unterkulturen in AFS relevant: Das Ergebnis einer Modellation zur potentiellen Verschattung von Werthölzern im Reihenabstand von 26m zeigt, dass bis zum Alter von 30 Jahren

keine ertragsmindernde Verschattung der Unterkulturen entsteht; ab dem Alter von 30 Jahren ist jedoch mit zunehmenden Ertragseinbußen zu rechnen (Brix 2006).

Eine Möglichkeit den Faktor Licht in AFS gezielt zu regulieren besteht in einem intensiven Rückschnittsmanagement. Dies hat auch Auswirkungen auf andere der oben genannten Faktoren: Durch häufigen Rückschnitt (wie in SAFS, s.a. Kap. 3.3.1) wird der Wurzelumsatz gesteigert. Durch das Absterben und die Neubildung von Wurzeln wird die biologische Aktivität und die Nährstoffaufnahme insbesondere von P und K gefördert (Kutschera & Lichtenegger, 2002).

Eine alte fast verlorengegangene Praxis hierzu ist der Kopfbauumschnitt (Schnaitelung / Pollarding), bei dem Zweige von Bäumen in 1 - 3m Höhe abgeschnitten werden (s.a. Abb. 10). Das Schnittgut wird daraufhin als Viehfutter und Nutzholz verwendet. Archäologische Ausgrabungen haben Kopfbäume aus der Eisenzeit entdeckt. Pollarding wurde in ganz Europa durchgeführt und war besonders in Nordeuropa und in den südlichen Berggebieten verbreitet. Blatttragende Äste von Kopfbäumen wurden im Sommer im Abstand von 2 - 6 Jahren geschnitten, direkt verfüttert oder getrocknet und für die Verwendung als Viehfutter (insbesondere Milchkühe) oder auch als Stalleinstreu im Winter gelagert. (Smith et al., 2012)

Starker Rückschnitt verkürzt das interne Transportsystem und verbessert die Versorgung der Peripherie mit Wasser und Nährstoffen. Dies kann als physiologische Verjüngung angesehen werden. Durch das Beschneiden werden auch ältere Knospen oder Gewebe dazu angeregt, frische Triebe zu bilden, die jünger sind als die zuvor entfernten (Ferrini, 2006).

Die jungen Blätter von Schnaitelbäumen sind nach dem Wiederaustrrieb im Vergleich zu ungeschnittenen Bäumen größer und für Tiere schmackhafter (Ferrini, 2006).



Abbildung 10: Kopfbäume

Darüber hinaus entstehen an Kopfbäumen zwischen den regelmäßig zurückgeschnittenen Ästen kleine Totholzstellen und zahlreiche Mulden. Diese sind von hoher Bedeutung für einige bedrohte Arten (z.B. die Käfer *Osmoderma eremita* und *Rosalia alpina*) und insgesamt für die Biodiversität. Dieser Lebensraum wird in Europa in den letzten Jahrzehnten jedoch immer seltener. So werden für zahlreiche Vögel mit derartigen Nistplatzanforderungen mittlerweile oft Nistkästen aufgestellt (Sebek, Altman, Platek, & Cizek, 2013).

Die optimale Höhe eines Baums, um mit der Schnaitelung zu beginnen, liegt bei 2,3m - 3,5m. Ab dieser Größe ist der Baum der maximalen Erreichbarkeit von Ästen für Tiere entwachsen. Dies ist allerdings ausschließlich für die Kopfbäume auf dem Grünland zu beachten, auf dem Ackerland können die Kopfbäume auch etwas niedriger geschnitten werden, da hier keine regelmäßige Beweidung stattfindet.

Optimal ist, wenn sich beim Rückschnitt noch kein Kernholz gebildet hat, sondern die Äste optimalerweise erst ca. 2 bis maximal 5 cm dick sind und demnach der ganze Ast aus Splintholz besteht. Dann ist gewährleistet, dass eine gute Wundkallusbildung erfolgt, die die Schnittstelle umwallt und vor dem Eindringen von Krankheiten schützt (Machatschek, 2002).

Außerdem können Kopfbäume im Gegensatz zu Bäumen, die im Kurzumtrieb direkt über dem Boden geerntet werden, auch unmittelbar nach dem Rückschnitt weiterhin Photosynthese über Chlorophyll unter der Rinde betreiben (Pfanz & Aschan, 2001). Auch bleibt zugleich ein partieller Windschutz durch die Stämme erhalten.

Der Anteil der Wurzelmasse an der Gesamtbiomasse ist in erster Linie von der Bestandeshöhe der Vegetation abhängig (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Daher ist zu vermuten, dass bei Kopfbäumen die Wurzelmasse höher ist als bei im Kurzumtrieb bodennah abgeschnittenen Gehölzen.

Der Kopfbauumschnitt hat wie hier aufgezeigt zahlreiche Vorteile gegenüber den heutzutage weit verbreiteten Kurzumtriebsplantagen. Der Nachteil ist jedoch sicherlich ein höherer Arbeitsaufwand beim Rückschnitt, daher scheint es notwendig, hierfür eine angepasste Mechanisierung zu entwickeln (s.a. Kap. 5.3.3).

5.3.2.3 Boden und Wurzelraum

Durch den Rückschnitt wird eine vorübergehende Rückbildung der Wurzeln gegen Stamm-Sprossbasis angeregt. In der Nähe der Sprossbasis neigen Wurzeln dazu, eine größere Menge an Feinwurzeln zu bilden, deren unmittelbare Umgebung (1-2mm Rhizosphäre) der wichtigste Nährboden für die meisten Mikroorganismen ist. Dort ist die Besiedlungsdichte mehr als zehnmal so hoch (Kutschera & Lichtenegger, 2002).

Durch starken Rückschnitt wird auch der Hormonhaushalt von Pflanzen verändert. Z.B. wird die Synthese von Auxinen und Gibberlin angeregt, welche Pflanzen in eine vegetative Phase zurückversetzen und damit ihr Wachstum fördern (Ferrini, 2006). Diese führen wiederum zu einer verstärkten Anregung der Abgabe von Wurzelexsudaten, die ebenfalls Pflanzenhormone enthalten können, welche sowohl das Bodenleben in der Rhizosphäre als auch andere Pflanzen beeinflussen können (Marschner & Marschner, 2012) (s.a. Kap. 3.2.2).

Vor diesem Hintergrund scheint auch die (4) Hypothese der Prinzipien (der Hemmung oder Förderung von benachbarten Pflanzen je nach Reifegrad von Pflanzen) (s.a. Kap 3.3.1) von SAFS einleuchtend.

Die Berührung von Pflanzen ist selbst im dichtesten Wald oberirdisch nicht annähernd so stark wie die unterirdische Durchwurzelung in der oberen Bodenschicht (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Bei der Kombination von Bäumen ist daher nicht nur auf sich komplementär ergänzende oberirdische Kronenform und Stratabelegung zu achten, sondern insbesondere auch auf den Aufbau der Wurzeln.

Wie in Kap. 3.3.1 dargestellt, ist es von Vorteil Baumarten mit unterschiedlichen Wurzeltypen zu kombinieren, sodass sich die Baumarten mit ihren Nischen ergänzen und der gesamte Boden dicht durchwurzelt wird.

Folgende Baumarten neigen dazu, im Oberboden eine dichte Feinwurzelmasse auszubilden: Weiden (*Salix*), Erlen (*Alnus*), Eschen (*Fraxinus*), Weißbirke (*Betula pendula*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) sowie viele Sträucher.

Folgende Baumarten neigen eher zur Pfahlwurzelbildung und haben daher tendentiell weniger Feinwurzeln im Spross-nahen Bereich: Eichen (*Quercus*), Walnuß (*Juglans regia*) Wildbirne (*Pyrus pyraeaster*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*).

Das Eindringen in Felsklüfte oder in verhärtete Ausgangsgestein-Sedimente mittels zahlreicher, weitreichender Polwurzeln schaffen u.a. besonders gut die Hainbuche (*Carpinus betulus*) und die Blumen-Esche (*Fraxinus ornus*). (Kutschera & Lichtenegger, 2002)

In wechselfeuchten Lagen mit Perioden abnehmender Oberbodenfeuchte und tiefreichenderer Erwärmung kommt es zur Erweiterung des Wurzelkörpers nach unten. Bei einigen Pfahlwurzlern (insbesondere bei der Stieleiche) kann unter solchen Bedingungen eine Umlagerung von Wasser aus tieferen Bodenschichten in obere Bodenschichten beobachtet werden. (Kutschera & Lichtenegger, 2002)

Eine höhere Pflanzenvielfalt in AFS führt nicht nur zu diverseren Mikrohabitaten (s.a. Kap. 3.2.1), sondern trägt durch heterogene Laubstreu und Wurzelausscheidungen zu einer größeren biologischen Vielfalt im Boden bei und steigert damit dessen Fruchtbarkeit (Jose & Gordon, 2008).

Das Wachstum von Baumwurzeln tritt in der Regel in einem zum Sprosswachstum (und dem Wachstum einjähriger Ackerkulturen) verschobenen Rhythmus auf. Die Wachstumsphasen sind Februar bis April und September bis November mit den Hauptwachstumsphasen März und Oktober (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Somit würden in Kombination mit dem geplanten Staudenunterwuchs (s.a. Kap. 6.1.4) unterschiedliche Nischen besetzt, sodass Bodenorganismen über einen längeren Zeitraum mit wachsenden Wurzeln in Symbiose treten können (Ottow, 2011).

Dabei ist auf die Unterdrückung dichter Grasbestände im Stamm-nahen Bereich von Bäumen zu achten. So stellte Pickering (1917) (in: Kutschera & Lichtenegger, 2002) wuchshemmende Wirkungen der Wurzelausscheidungen von Gräsern auf Obstbäume fest. Die Unterdrückung der Gräser kann durch dicke organische Mulchauflagen gestaltet werden (Jacke & Toensmeier, 2006), die z.B. durch das gehäckselte Astmaterial vom Kopfbaumschnitt produziert werden können (s.a. Kap. 5.3.3).

5.3.2.4 Nährstoffe

Wie oben gezeigt wurde, kann ein gezieltes Rückschnittsmanagement von Kopfbäumen zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit und damit auch zur besseren Nährstoffversorgung anderer Gehölze genutzt werden. Die Kopfbäume werden vor Beginn der Ausreife der angrenzend stehenden Fruchtsträucher zurückgeschnitten. So passt der Mineralisierungszeitpunkt der dabei frei werdenden Nährstoffe optimal zum erhöhten Bedarf der ausreifenden Früchte (Altieri, 1999; s.a. Kap. 3.2.2 & Kap. 3.3.1).

Die frischen Äste des Kopfbaumschnittes eignen sich außerdem um zu Frischzweighäckseln (ramial chipped wood) verarbeitet zu werden, die entweder als Mulch für Gehölze (s.o.) oder auch in einer oberflächlich dünnen Schicht auf dem Acker eine potentiell erhebliche ertragssteigernde⁹

⁹“Selbst nach einer einmaligen Applikation von 200m³ FZH/ha können bei unterschiedlichsten Standortbedingungen noch zehn Jahre später die bodenverbessernden Effekte deutlich erkannt werden”, so fasst Caron (1994) die Ergebnisse zusammen. Dies äußert sich insbesondere in geringerem Auftreten von Pflanzenkrankheiten und einer jährlichen Ertragssteigerung von 30-300 % (Ebd.).

Wirkung haben (Caron, 1994; Lemieux, 2000). Mulch fördert außerdem die Regenwurmabundanz. Bei sinkenden Temperaturen, gefriert der Boden unter Mulch deutlich später und langsamer -, sodass er länger aktiv bleiben und damit Pflanzenwachstum unterstützen kann (Jacke & Toensmeier, 2006).

In der Permakulturdiskussion über die Gestaltung von Polykulturen wird außerdem der Begriff „dynamische Akkumulatoren“ häufig verwendet. Damit werden Pflanzen bezeichnet, die Nährstoffe aus dem Unterboden entnehmen und im Oberboden für andere Pflanzen verfügbar machen (Whitefield, 2002; Crawford, 2010; Jacke & Toensmeier, 2006). Der Begriff taucht in der wissenschaftlichen Literatur nicht auf. Allerdings gibt es zahlreiche Belege für die Bedeutung pflanzlicher Prozesse bei der vertikalen Nährstoffumverteilung in Böden (Jobbágy & Jackson, 2004; Kutschera & Lichtenegger, 2002; Porder & Chadwick, 2009).

Dies betrifft insbesondere hinsichtlich zunehmender Auswaschbarkeit in folgender Reihung: P, K, Na, N, Mg, Ca aber auch weitere Mikronährstoffe (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Welche Gehölze sich besonders für die Akkumulation spezifischer Nährstoffe eignen ist jedoch noch kaum erforscht (Ebd.); daher scheint es sinnvoll, viele verschiedene Arten zu mischen.

Um den Humusgehalt anzuheben und damit Kohlenstoff zu sequestrieren, muss ausreichend organischer Stickstoff aufgebaut werden (Albrecht et al., 2018).

Viele tropische AFS integrieren Stickstoff-fixierende Sträucher und Bäume zu Düngungszwecken. Diese Praktik ist allerdings in temperierten Klimazonen weniger verbreitet (Smith, Pearce, & Wolfe, 2012). Bisher wurden Studien auch im temperierten Klima über die Verwendung von *Robinia*, *Prosopis*, *Eleagnus* und *Alnus* (ebd.) in AFS veröffentlicht (Jose et al., 2004).

Da *Prosopis* nicht gut auf humiden Standorten wächst und auch nur beschränkt bis Zone 6b winterfest ist („PFAF Plant Database“, 2019), wird diese Gattung nicht weiter betrachtet.

Auf einem temperierten Alleycropping-Feld mit *Alnus rubra* demonstrierten Seiter et al. (1995 in Jose et al., 2004), dass 32-58 % des aufgenommenen Stickstoffs der Maispflanzen zuvor über die Fixierungsleistung der Erlen ins System gekommen war. Die Fixierungsleistung von *Alnus* kann die von Ackerleguminosen weit übertreffen. Erhebungen auf temperiertem, silvopastoralem Grünland mit lichtem Erlenbewuchs lagen über 360kg N/ha/a (Sharrow 1999 in Jose, Gillespie, & Pallardy, 2004).

Aufgrund einer generell festgestellten Korrelation kann bei *Robinia*-Genotypen vom Biomassezuwachs auf N-Fixierungsleistung rückgeschlossen werden. Diese beträgt zwischen 23 und 112 kg N/ha/a (Jose et al., 2004; Moshki & Lamersdorf, 2011).

Die N-Fixierungsleistung von *Eleagnus* liegt bei ca. 236 kg N/ha/a (Jose et al., 2004). Daher eignet sich dieser insbesondere als Düngebusch im Unterwuchs für andere Frucht- und Nussbäume (Crawford, 2015).

Bei der auf Störungen folgenden Sukzession steigt die Besiedlung mit besonders Bodenfruchtbarkeits-förderlichen arbuskulären Mykorrhiza (da sie teils nicht wirtsspezifische artenübergreifende Symbiosen eingehen und so z.B. einjährige Kulturpflanzen mit Düngekopfbäumen verbinden können) in den Jahren 0- 20 stark an und sinkt danach wieder ab (Piotrowski & Rillig, 2008).

Mit dem Anstieg der organischen Substanz im Boden ist eine Verschiebung des Mycorrhiza-Spektrums hin zu Ectomycorrhiza zu erwarten, da diese mittels extrazellulären Enzymen in der Lage sind, Nährstoffe aus organischen Rückständen aufzuschließen (Ottow, 2011).

Studien haben gezeigt, dass die positiven Effekte von AMF wie bessere Trockenheitstoleranz, Aufnahmeverbesserung von Phosphor und anderen wichtigen Nährstoffen (Mg, Ca, Fe, Mn, Cu, Br, Zi) höhere Pflanzen-Biomassezuwächse und verbesserte Bildung verschleimmungsstabiler Bodenaggregate sowie Pathogenschutz nicht generell von der Präsenz einzelner AMF, sondern eher von einer vielfältigen Artenzusammensetzung abhängen, die wiederum durch den Bewuchs mit vielfältigen Pflanzenarten begünstigt wird. (Piotrowski & Rillig, 2008).

Daher könnten Mycorrhizapilze in Symbiose mit Futterkopfbaumreihen einen niedrigen P-Gehalt auf Grünlandstandorten (s.a. Kap. 4.2) mittels ihrer Fähigkeit bisher nicht pflanzenverfügbare Phosphorreserven aus dem Boden aufzuschließen anheben.

5.3.2.5 Baumreihenabstände und Design

Entsprechend der „Initial Flora-Theorie“ (s.a. Kap. 3.4.1) können Arten der verschiedenen Sukzessionsstufen gleichzeitig und dicht gepflanzt werden, wenn sie so gemanagt werden, dass sie sich gegenseitig unterstützen und ergänzen (Jacke & Toensmeier, 2006):

Die Baumreihenabstände in modernen AFS betragen klassischerweise ein Vielfaches der Arbeitsbreiten von Technik, die auf den jeweiligen Flst. genutzt wird (BRIX et al., 2009).

Aus oben genannten Gründen wird eine möglichst dichte Baumreihen-Bepflanzung auf den Flächen angestrebt. Auf Ackerland sind dies zurzeit 15m (Mähdrescher 7,5 m, Bodenbearbeitung 3m, Sähgeräte 3, 5 oder 6m).

Wobei die Baumreihen zugleich so angelegt werden, dass es auch langfristig nicht zu einer zu starken Ausschattung der landwirtschaftlichen Unterkulturen kommt. Auch bei den Werthölzern werden maximale Zuwachsleistungen angestrebt, dies erfordert eine höhere Lichtverfügbarkeit und eine weitgehend ungehinderte Ausbreitung der Baumkronen (Brix et al., 2009). Daher werden sowohl im Grünland als auch auf dem Acker nur in jeder zweiten Baumreihe Werthölzer oder Nussbäume integriert (s.a. Abb. 15 & Abb. 16). Abgeleitet aus den hier beschriebenen Maßnahmen zur Erreichung der oben beschriebenen Ziele, setzen sich die AFS-Streifen aus verschiedenen Reihen mit Gehölzen der oben definierten funktionalen Gruppen zusammen. Auf dem Acker alternieren folgende zwei Gehölzstreifen, mit jeweils 15 m breiten Ackerstreifen dazwischen:

1. Streifen (6 m breit): 2 m Bodenfruchtbarkeits-fördernde Stauden, Kopfbaumreihe, 1 m Abstand zur Wertholzbaumreihe, 1,5 m Abstand zu einer (Wild-)Obststrauchreihe, 1,5 m Stauden.
2. Streifen (5 m breit): 2 m Stauden KUP, 1,5 m Fruchtertrag, 1,5 m Stauden.

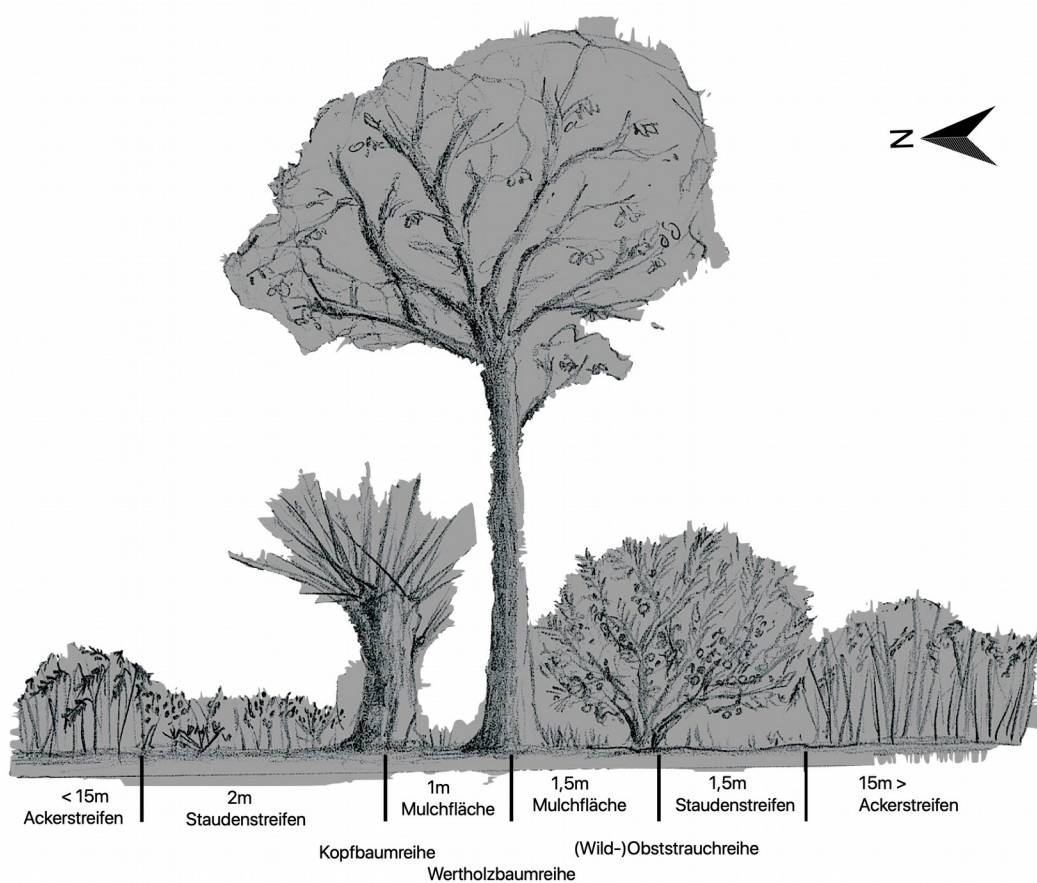


Abbildung 11: Acker-AFS Streifen im Querschnitt

Die Artenzusammensetzung der jeweiligen funktionellen Gruppen wird im folgenden Kap. 6 genauer beschrieben.

Die Kopfbäume werden dabei Richtung Nordseite platziert. Sie werden zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und optimalen Ausreife der angrenzenden Früchte alle 1-2 Jahre geschneitelt (s.a. oben und Kap. 5.3.3), dabei dient der Staudenstreifen als Fahrgasse. Die dabei entstehende Biomasse wird folgenden Zwecken in Rotation zugeführt:

1. Jahr: Mulch für Baumstreifen
2. Jahr:
 - a. Acker: Frisch-Zweighäcksel für den Acker / Pyrolyse Hackschnitzelheizung mit Holzkohleproduktion
 - b. Grünland: Laubfutter + anschließend Stalleinstreu der gehäckselten, verholzten Überreste / Pyrolyse Hackschnitzelheizung mit Holzkohleproduktion

Die Werthölzer werden entsprechend der Empfehlung von Brix et al. (2009) im 3er-Verbund gepflanzt. So können etwaige Ausfälle kompensiert werden und nach ca. 10 Jahren der geradschaftigste Baum selektiert und die anderen beiden vorzeitig gefällt werden¹⁰. In den ersten Jahren ist zu erwarten dass die Kopfbaumreihe und die Fruchtstrauchreihe den langsam

10 Dies ist auch eine Imitierung von Sukzessionsdynamiken (s.a. Kap. 3.4).

wachsenden Werthölzern Schutz bieten und durch den dichteren Unterwuchs die Formierung geradschaftiger Stämme mit wenig Holzfehlern unterstützen (Röhrig et al., 2006). Da die Werthölzer hochstämmig erzogen und entsprechend aufgeastet werden sollen, wird dies bei enger Pflanzung dazu führen, dass sie das System langfristig dominieren würden (s.a. Kap. 3.3.1). Da jedoch ein halboffener, Mosaikartiger Charakter erhalten bleiben soll, wird wie beschrieben nur in jedem zweiten Gehölzstreifen eine Wertholzbaumreihe integriert. Addiert man die Breiten der Acker- und Gehölzstreifen, kommt man auf einen Reihenabstand der Werthölzer von 43m. Innerhalb der Reihe wird im Mittel zwischen den Pflanzungen im von je einer Art im 3er-Verbund ein Abstand von 12m gewählt (Brix et al., 2009). Dies entspricht bei einem Zieldurchmesser von 50-60cm auch in etwa der Empfehlung von Morhart et al. (2015): Zieldurchmesser x 25 = Baumabstand. Wobei dem hinzuzufügen ist, dass durch den weiten Reihenabstand auch bei etwas engerer Pflanzung genug Raum für die Ausbreitung der Baumkronen vorhanden sein sollte. Selbst bei breitkronigen, aufgeasteten Werthölzern sollte so eine sehr lichte Struktur entstehen, die auch langfristig ein gutes Ertragspotential der Fruchtsträucher und Ackerstreifen gewährleisten müsste. Es ist geplant, die Pflanzabstände innerhalb der Reihe zwischen den 3er-Wertholz-Verbünden entsprechend der Empfehlung von Jacke & Toensmeier (2006) teils abweichend vom idealen Pflanzabstand zwischen 8 und 18m zu variieren. So entsteht eine optimale Mosaikstruktur mit lichterem und dichterem Mikrospots (s.a. Kap. 3.2.1; Kap. 3.4.2).

Die Fruchtsträucher werden in artspezifischen, Ertragsanlagen-üblichen Abständen gepflanzt (s.a. Kap. 6). In den ersten Jahren können sie voraussichtlich aufgrund der noch geringen Erntemenge gut von beiden Seiten je 1,5m daneben händisch, später dann mechanisch beerntet werden (s.a. Kap. 5.3.3).

Auf Grünland-Flst. sind die Grünlandstreifen zwischen den Baumstreifen 12m (ein Vielfaches der Grünlandtechnik mit 3m und 6m Arbeitsbreite). Die Futterkopfbaumstreifen sind 1m breit. Wenn vor den Futterkopfbäumen noch Nussbäume stehen wie auf Flst. 50 oder Flst. 29/2 und 30 sind die Baumstreifen 2m breit.

Nussbaumreihen wurden allerdings auch nur alle zwei Reihen, also im Abstand 27m integriert. So kann sichergestellt werden, dass genug direkte Sonneneinstrahlung für eine etwaige Heutrocknung verfügbar wäre.

Die Bepflanzung von beweideten Flächen mit derart dichten Gehölzstreifen wirft die Frage auf, wie darin eine optimale Portionsweideneinteilung für holistisches Mob-Grazing (s.a. Kap. 3.3; Kap. 4.3) mit mobilen Elektrozäunen durchgeführt werden kann. Geplant ist alle 5 Kopfbäume einen Baum auszulassen – bzw. einen doppelten Abstand von 140 cm statt 70 cm einzuhalten. Hier kann dann jeweils ein Stab angebracht werden, mittels dem die Elektrozaunlitze lokal auf knapp unterhalb der Zielhöhe der Zaunkopfbäume z.B. ca. 1,8 m angehoben werden kann, sodass die Tiere durch die Reihe gehen können und die Weide in flexible Größeneinheiten in Abhängigkeit von der Größe der Herde und der Menge des Aufwuchses eingeteilt werden kann (Elizondo et al., 2019).

5.3.2.6 Zentrale Aspekte der Pflanzung

Jungpflanzen von Bäumen weisen im Herbst das stärkste Wurzelwachstum auf (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Daher wird angestrebt, das AFS überwiegend mit Pflanz-Event-Aktionen im Herbst anzulegen.

Bei der Pflanzung können Bäume direkt in eine Tiefenlockerungsspur entlang der künftigen Baumreihen gesteckt werden. (Yeomans, 1973)

Aufgrund des Wilddrucks (s.a. Kap. 4.2) sollten die AFS-Ackerflst. während der ersten ca. 3-5 Jahre idealerweise mit einem 1,60 m hohen Wildschutzzaun komplett umzäunt werden. Alternativ könnte auch ein Einzelbaumschutz der Werthölzer und Fruchtsträucher erfolgen.

Im Grünland werden die Baumstreifen während der Etablierungsphase 3-6 Jahre zu beiden Seiten mit einer Elektrozaunlitze geschützt.

Die Prozesse der aktiven Nährstoffmobilisierung setzen gut entwickelte Pflanzen voraus, die bereits ein ausreichendes Wurzelsystem und einen gut funktionierenden Blattapparat ausgebildet haben, sodass sie Assimilate in ausreichender Menge bilden und in den Boden abgeben können. Günstige Wachstumsbedingungen während der Pflanzenkeimung und Jugendentwicklung ermöglichen die Entwicklung vitaler Pflanzen, die in späteren Phasen ihren Nährstoffbedarf durch Nährstoffmobilisierung in Zusammenarbeit mit Boden-Mikroorganismen decken können. (Friedel, 2008; Kempf, 2011)

Daher scheint es sinnvoll in den ersten Jahren die Etablierung des Systems durch eine Versorgung mit Nährstoffen von außerhalb zu unterstützen. Dies können Kompostgaben, Gesteinsmehl (insbesondere Zeolith, s.o) oder auch entsprechend der Empfehlungen von Jones (2015) und Kempf (2011) Spurenelement-Dünger als Blattapplikation sein. Diese können mit biologisch verträglichen Produkten wie Vermi-Liquid, Komposttee, Milch und Algenextrakt im Tank gemischt werden und sollen dazu beitragen, die Photosyntheseleistung und Gesundheit der Pflanzen so zu verbessern, dass diese durch eine hohe Abgabe von Wurzelexudaten relativ schnell die Bodenfruchtbarkeit aufbauen (s.a. Kap. 3.2.2).

5.3.3 Ansätze zur Mechanisierbarkeit multifunktionaler AFS

In der Permakulturliteratur wird der arbeitswirtschaftliche Aufwand für das Management hochkomplexer Agrarökosysteme häufig heruntergespielt oder ignoriert. Die Permakultur wird daher wegen der erhöhten Erntearbeit im Zusammenhang mit der strukturellen Komplexität kritisiert (Reich, 2010; Ferguson & Lovell, 2013).

Daher sollte bei der Planung multifunktionaler AFS die Mechanisierbarkeit beachtet werden (Wilson et al., 2018).

Regelmäßige Arbeiten, die durch das hier geplante AFS anstehen, sind insbesondere der Rückschnitt der Kopfbäume, die Ernte der Fruchtsträucher, die Ernte bzw. das Aufsammeln der Nüsse, die Ernte der Mittelstammstreuobstbäume, der Rückschnitt der Staudenstreifen, Beikrautmanagement in den Gehölzstreifen, Keyline-Tiefenlockerung und Wurzelraumregulierung entlang der Gehölzstreifen, sowie das Aufasten der Werthölzer und potentiell die Beerntung ihrer

zusätzlichen Fruchtertragskomponenten.

Im folgenden sollen Strategien vorgestellt werden, wie sich einige dieser Arbeiten mechanisieren lassen.

5.3.3.1 Kopfbaumschnitt

Für die Mechanisierung des Kopfbaumschnittes scheinen Geräte aus dem Obst- und Weinbau ideal geeignet. Diese Vorrichtungen bestehen aus einem tragenden Gerüst mit verstellbaren Seiten- und Oberseiten-Leisten. An diesen sind entweder rotierende Messer (bis ca. 5 cm Astdurchmesser), Kreissägeblätter (bis ca. 12 cm Astdurchmesser) oder Messerbalken (bis ca. 4 cm Astdurchmesser) angebracht, die über die Traktorhydraulik angetrieben werden. Die Geräte laufen unter den Namen Laubschneider, Obstbaumschneider oder Hagelnetzscheider (s.a. Abb. 12) (Rueß, 2012; ERO, 2019)¹¹.



Abbildung 12: Laubschneider mit rotierenden Messern im Frontanbau

In der Regel kann damit bis zu einer Höhe von 2,5 m gearbeitet werden (Mosch & Bäcker, 2003). So kann in einem Arbeitsgang mit bis zu 10 km/h eine Schneitelbaumhecke auf den Kopf gesetzt werden. Dabei können auf den Acker-AFS die direkt angrenzenden Staudenstreifen als Fahrgasse genutzt werden.

In einem nächsten Arbeitsgang mit 3-5 km/h wird der Staudenstreifen gemulcht und die daraufliegenden, frisch geschnittenen Äste gehäckselt.



Abbildung 13: Schlegelmäher mit Pickup

Dies könnte mit einem Hammer-Schlägelmulcher mit Pickup erfolgen (z.B. Peruzzo Canguro / Elephant) (s.a. Abb. 13)¹². Schlegelmulcher haben im Vergleich zu klassischen Häckseln einen deutlich geringeren Energiebedarf und können je nach Hammerausstattung Äste bis zu 8 cm Dicke häckseln. Diese sind z.B. mit 1,8 m Arbeitsbreite verfügbar. Die Häcksel im Pickup können dann anschließend entweder als Mulch für die Werthölzer und Fruchtsträucher dienen, zu Holzkohle¹³ pyrolysiert oder auch energetisch genutzt werden.

5.3.3.2 Ernte der (Wild-)Obststreifen

Bei der Auswahl der (Wild-)Obst-Fruchtsträucher wurde darauf geachtet, dass deren Ernte mechanisierbar ist.

¹¹ Laubschneider sind gebraucht ab ca. 2.000 € zu finden (www.agriaffaires.de).

¹² Derartige Schlegelmulcher mit Pickup sind gebraucht ab etwa 3.500 € zu finden (www.technikboerse.com).

¹³ Holzkohle oder "Biochar" hat zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft. Bsp. sind u.a.: Viehzufütterung (Verdauungsoptimierung), Prävention von Fäulnis im Güllefass, Verbesserung der Bodenbiologie, des Nährstoff- und Wasserspeichervermögens von Böden (Sohi et al. 2010).

Für die meisten Traubenvollernter lassen sich mit geringfügigen Modifikationen als Allround-(Wild-)Obststrauchernter verwenden, die die Früchte von den Sträuchern abschlagen (Wilson et al. 2018; Zeitelhöfler 2002). Es gibt sowohl selbstfahrende oder für den Traktor-Heckanbau konzipierte Traubenvollernter (s.a. Abb. 14) ¹⁴. Selbstfahrende Vollernter fahren direkt über den Reihen und sind ab 2,5 m Arbeitsbreite im Handel erhältlich (Ero-Gerätebau, 2015). Da rechts und links der Strauchreihen je 1,5 m (also insgesamt 3 m) Platz ist, wäre diese Arbeitsbreite optimal. So kann auf der hinteren Seite genug Platz für das Wachstum des Wertholzstammes bleiben.



Abbildung 14:
Traubenvollernter für den
Heckanbau

Allerdings müsste nicht zwangsläufig ein eigenes Gerät gekauft werden, da es eine Höhenlage-bedingte Saisonverschiebung zu den Obstanbaugebieten im angrenzenden Rheintal gibt.

Nur bei den Sanddornsträuchern funktioniert die Rüttel-Methode nicht optimal, da die Haltekräfte vieler Beeren zu stark sind (Röcksch, 2005). Daher werden diese entweder händisch am Strauch in Eimer gemolken¹⁵ oder komplette Frucht-tragende Äste werden in Großkisten geschnitten und nach einer Schockfrostung abgeschlagen (Röcksch, 2005).

Die meisten der ausgewählten Arten (s.a. Kap. 6) werden September bis Oktober, also nach der Ernte der Ackerbaukulturen geerntet. Somit könnte die Ernte auch mittels seitlichem Traktor-Heckanbau von der Ackerseite her erfolgen. Wenn dieses Ernteverfahren gewählt wird und die Sträucher und Kopfbäume größer werden (nach ca. 5 - 10 Jahren), könnte der Baumstreifen um insgesamt 3m verbreitert und der Ackerstreifen auf 12 m verkleinert werden. Entsprechend könnten die Staudenstreifen vor den Sträuchern um 2 - 3 m und der Staudenstreifen vor den Kopfbäumen um 0-1 m verbreitert werden¹⁶.

Für das Aufsammeln von Nüssen oder Fallobst von den Werthölzern und Mittelstamm-Streuobststreifen wird mit dem teils händisch (mit Aufbaumotor) geschobenen Obstauflesegeräten (www.feucht-obsttechnik.de) oder mittels eines Rollblitzes (www.rollblitz.eu) vorgegangen.

5.3.3.3 Tiefenlockerer

Entlang der Keyline-Kultivierungsmuster werden Tiefenlockerer am besten nach Beweidung oder Mahd und vor Niederschlägen oder Bewässerung noch zu einer wärmeren Jahreszeit eingesetzt, um den biologischen Lebendverbau des gelockerten Bodens durch neu wachsende Pflanzenwurzeln zu fördern (Jones 2015; Yeomans 1973). Entlang der Baumreihen könnte das entsprechend des Hauptwachstums der Baumwurzeln im Herbst nach der letzten Mahd geschehen (s.a. Kap. 5.3.2.3; Kap. 3.5). Die Tiefe der Bearbeitung nimmt dabei jährlich schrittweise zu, sodass die Wurzeln langsam tiefere Bodenschichten erschließen und stabilisieren

¹⁴ Traubenvollernter sind gebraucht ab ca. 3.000€ (für den Heckanbau) und ca. 6.000€ (selbstfahrend) zu finden (www.agriaffaires.de).

¹⁵ Dabei streift man mit dicken Lederhandschuhen entlang der Äste die Beeren ab, bzw. quetscht diese, wobei der Saft an der Handschuhkrempe herunterläuft und aufgefangen wird (Schade 2013).

¹⁶ Daraufhin müsste auf einen Mähdrescher mit 3, 4 oder 6m Arbeitsbreite umgestiegen werden. Da ohnehin im Ackerbau der Anbau von Gemenge sowie Heil- und Gewürzpflanzen mit ungewöhnlichen Ernteterminen ausgeweitet werden soll, könnte hierfür ein eigener alter, kleinerer Mähdrescher gekauft werden. Diese sind ab ca. 3000€ gebraucht zu finden (www.agriaffaires.de). Das geringere Maschinengewicht wäre darüber hinaus für die Bodenstruktur von Vorteil.

können (Yeomans 1973).

Der Tiefenlockerer kann auch entlang der Baumreihen auf dem Acker genutzt werden, um die Gehölz-Wurzeln zum Wachstum nach unten anzuregen und die Wurzelkonkurrenz mit den Ackerkulturen zu verringern (Morhart et al. 2016).

5.3.4 Skizzierung der Anlage von Teichen und Wasserretensionsbecken

Die Nutzung von Erdarbeiten zur Wassergewinnung und -speicherung ist eine weltweite Praxis (Ferguson & Lovell 2013). Die Produktivität und Multifunktionalität solcher Systeme wurde mehrfach demonstriert (Boyd & Gross, 2000; Bruins, Evenari, & Nessler, 1986).

Wenn der Teich am Keypoint gebaut ist, ist dies oft die Stelle in der Landschaft, an der sich natürlicherweise Feinpartikelablagerungen gebildet haben und somit der Bau eines dichten Teiches durch diese Ablagerungen ermöglicht wird (Yeomans, 1973; Perkins, 2016). Bei Ebd. finden sich genauere Anweisungen zum Teichbau, die hier allerdings nicht in voller Ausführlichkeit dargestellt werden.

So sollen Teiche optimalerweise einen tieferen und einen flacheren Bereich haben, um eine natürliche Wasserbewegung zu begünstigen. Auch sollten sie ein Mönchsrohr enthalten, welches ein Ablassen von der tiefsten Stelle in den Entwässerungsgraben ermöglicht, sodass Krankheitserreger-enhaltende Sedimente abgelassen werden können (Ebd.).

Das zur Findung des Ortes der Teiche verwendete Verfahren ist in der Methodik (s.a. Kap. 5.1) beschrieben.

Ziel war es entsprechend der Empfehlungen von Yeomans (1973) den höchstmöglichen Punkt für die Anlage von Teichen zu finden, um von dort mit der Gravitation Wasser an Viehtränken oder zur Bewässerung zu verteilen.

Eine Ausnahme bildet der Teich unterhalb der Hofstelle angrenzend an das Flst. 40/4. Hier kann das Wasser von den Dachflächen des Hofes eingespeist werden. Dieser dient als Biotop, Lebensraum und ästhetische Komponente auf dem Hofgelände. Außerdem ist geplant, an die Südseite des Gebäudes oberhalb einen Gewächshausanbau für die Jungpflanzenanzucht zu stellen. Der Teich auf der Südseite würde dann als Wärmespeicher zu einer leichten Abpufferung von Kälteeinbrüchen im späten Frühjahr beitragen (Perkins, 2016) und zur Reflektion des einfallenden Sonnenlichtes hin zum Jungpflanzengewächshaus dienen.

Die anderen Teiche liegen auf Flst. 50 und bei Flst. 52. (s.a. Abb. 14)

Da alle Teiche in diesem Design nicht eindeutig auf Keypoints liegen und es sich um lehmigen Sand als Ausgangssubstrat handelt, ist geplant eine geosynthetische Bentonit-Textil-Membran¹⁷ zur Versickerungsprävention einzubauen (Perkins, 2016).

Die Bepflanzung von Uferkorridoren kann Habitate vor negativen landwirtschaftlichen Einflüssen (wie Verhinderung von Nährstoffeinträgen durch Auswaschung) schützen (Jose & Gordon, 2008).

¹⁷Diese sind in der Lage durch die eingebauten Bentonit-Tonschichten sich selbst zu reparieren, falls sich Löcher bilden sollten (Perkins, 2016).

Grundsätzlich wären die Teiche ein optimaler Standort für die Pflanzung von Erlen, allerdings können Baumwurzeln die Bodenversiegelung am Teichgrund aufbrechen, sodass Teiche undicht werden (Perkins, 2016). Daher sollte ein Abstand der Bäume von mindestens 6m zum Teichrand eingehalten werden.

6 Artenverteilung

Im Folgenden werden lediglich die Arten und teilweise Sorten der oben definierten funktionellen Gruppen genannt.

6.1 Ackerflächendesign

6.1.1 Wertholzbaumreihen

Hier wurden Arten ausgewählt, die auch bereits vor ihrer Fällung als Wertholz nach ca. 50 - 70 Jahren (ca. 45 - 60 cm Zieldurchmesser) eine zusätzliche Nutzung ermöglichen. Dies sind bspw. Eignung als Bienenweide oder Fruchtertrag. Grundsätzlich werden immer mehrere Sorten gepflanzt, daher wird nicht extra erwähnt, wenn die Arten innerhalb einzelner Sorten nicht selbstbefruchtend sind.

Zum Zwecke der Wertholzerzeugung werden dabei geradschaftige, hochwüchsige Selektionen ohne Drehwuchs bevorzugt (Bender et al. 2009). Es ist geplant die Werthölzer sukzessiv mittels einer Teleskop-Astschere oder -Säge auf 4 - 6 m Höhe "vorgreifend" aufzuasten (Morhart et al. 2015).

Neben einer Darstellung der Standortansprüche wird auch erwähnt, wenn Exemplare der jeweiligen Art bereits in Schernbach wachsen und daher davon ausgegangen werden kann, dass sie zum Standort passen.

Die Birne (*Pyrus pyrastra*) erstreckt sich auf ganz Mitteleuropa bis nach Vorderasien hinein. Die wärmeliebende Wildbirne bevorzugt basen- und mäßig nährstoffreiche Standorte und ist sehr lichtbedürftig, tendenziell wärmeliebend und wird bis zu 18m hoch (Roloff, 1996; Crawford, 2015).

Sie hat eine tiefwurzelnde Pfahlwurzel (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Mostbirnen scheinen insgesamt wuchsfreudiger als Tafelbirnen zu sein (Jäger, 2017).

Es existieren mehrere große, alte Birnenbäume in Schernbach.

Zusatznutzen: Herstellung von Birnenmost oder Dörrbirnen (Kletzen), sowie gute Bienenweide.

Selektionen und Sorten: Dörrbirne Kletzen (Befruchtungspartner?)

Sorten mit wenig Drehwuchs: Wasserbirne, Egnacher Spitzbirne, Knollbirne, Grünmöstler, Sülbirne, gellerts Butterbirne, Guntershauser Birne (Jäger 2017)

Speierling (*Sorbus domestica*) und **Elsbeere (*Sorbus torminalis*)** (Zone 6) sind in ihrem Verbreitungsgebiet eng miteinander verbunden und kommen schwerpunktmäßig in Süd- und Mitteleuropa vor, vorzugsweise in Südfrankreich. Als ausgesprochene Lichtbaumarten können sie nur durch entsprechende Freistellung überleben und sind daher recht selten geworden. Zwar haben beide ihr Optimum eher im basischen Bereich, wachsen jedoch auch auf mäßig sauren Böden. So kommen sie auch natürlich auf Bundsandstein-Standorten vor. Sie bevorzugen warme trocken bis frische Lagen und sind gelegentlich spätfrostgefährdet („PFAF Plant Database“, 2019; Roloff, 1996).

Zusatznutzen: Ihre Früchte sind bei Vögeln sehr beliebt und sie gelten als gute Bienenweide. Darüber hinaus können die Früchte zu Marmeladen oder Obstbränden weiterverarbeitet werden. (Crawford, 2015; Tatschl, 2015)

Selektionen und Sorten: Elsbeere: Sossenheimer Riese, Rujane jabluzcko, Rosie.

Eberesche (*Sorbus aucuparia*) (Zone 3) ist anspruchslos und kommt gut auf sauren, leichteren und kälteren Standorten zurecht. Sie ist nach der Jugendphase sehr lichtbedürftig, um einen richtigen Stamm auszubilden, und wird ca. 12m hoch („PFAF Plant Database“, 2019; Roloff, 1996). Auf Naturverjüngungsflächen im angrenzenden Wald stehen zahlreiche Ebereschen.

Zusatznutzen: Früchte zum Direktverzehr, zur Weiterverarbeitung und für Wildtiere

Selektionen und Sorten: Es existieren Sorten mit größeren Früchten und ohne Bitterstoffe. Meistens sind dies Kreuzungen (*S. aucuparia* x *S. sicolor* / *prattii*) oder von der Selektion. *aucubaria* var *edulis*: Golden Wonder, Coral Pink, Brilliant Yellow, Copper Glow, Vermiljon; Moravica, Kubovaja, Moravska Urozhajna, Klosterneuburg Klon IV (Tatschl, 2015; Crawford, 2015).

Die Zwetschge (*Prunus domestica* subsp. *domestica*) (Zone 5) bevorzugt feuchte, warme Böden und wird bis zu 12 m hoch. In Schernbach existieren mehrere gut wüchsige und reich tragende Exemplare.

Zusatznutzen: Frische Zwetschgen, Kompott, Dörripflaumen und ideal zur Mischung mit Wildobst bei der Fruchtleatherherstellung, um eine gute Konsistenz zu erlangen (Tatschl, 2015; Crawford 2015)

Sorten mit wenig Drehwuchs: Belles des Paris, Hauszwetschge (Rote Dattelschwetschke, Hartweiß Gelbe, Valjefka)(Tatschl, 2015; Jäger, 2017)

Zuckerahorn (*Acer saccharum*) (Zone 5) (10 m) kommt aus Nordamerika. Er bevorzugt frische gut durchlässige Böden, toleriert auch niedrigere pH-Werte und präferiert kontinentales Klima. (Roloff, 1996; Crawford, 2015)

Zusatznutzen: Hohe Saftausbeute mit großem Zuckeranteil zur Sirup-Herstellung im Frühjahr.

Eichen (*Quercus ssp.*) mit tanninarmen Eicheln. Kommen vor allem aus der Gruppe der Weiseichen mit 0,7 - 2,1 % Tannine im Vergleich zu der Gruppe der Schwarzeichen (6,7 - 8,8 % Tannine) (Crawford 2015). Ihr natürliches Verbreitungsgebiet ist die USA. Die Tannin-armen Eicheln können zu Mehl für Gebäck oder zur Beimengung in Brotteig weiterverarbeitet oder verfüttert werden. Zugleich haben sie auch ein sehr gutes dichtes Holz. Aufgrund ihrer besseren Hitzeverträglichkeit ist sie Klimawandel-geeignet. (Roloff, 1996; Crawford, 2016)

Folgende Arten erscheinen für den Standort geeignet (alle Zone 4):

Q. alba 30 m, frische Standorte, nährstoffreich alkalisch bis sauer,

Q. x bebbiana (alba x macrocarpa) 15 m, ähnlich wie *Q. alba*.

Die Baumhasel / Trazel (*Corylus colurna* / *Corylus colurna x avellana*) (Zone 5) kommt ursprünglich aus der Region des Balkan (Bosnien-Herzegowina, Rumänien), der Türkei und Afghanistan. Sie gilt als lichtbedürftige, raschwüchsige und wärmeliebende Baumart, die auch auf trockenen, mesotrophen Standorten wächst und bis zu 30 m hoch wird. (Roloff 1996)

Es existieren mehrere große Baumhaseln in Schernbach.

Zusatznutzen und Selektionen: Die Selektion "Granat" ist für besonders große Haselnüsse bekannt, sollte jedoch mit anderen für eine bessere Befruchtung gemischt werden (Tatschl 2015). Außerdem gibt es Hybride zwischen *Corylus colurna x avellana*, die deutlich großfrüchtiger sind und Trazel genannt werden (Crawford, 2016): Chinoka, Eastoka, Faroka, Grand traverse, dabei sollte ein hoher Anteil von neueren Sorten mit Resistenz gegen Eastern Filber-blight gepflanzt werden: Grand traverse, Grimo186M, Grimo208D.

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) gilt als ausgesprochen lichtbedürftige Baumart und bevorzugt kontinentale Regionen mit langen, warmen Vegetationsperioden. Da ihre physiologische Standortamplitude sehr weit ist, kommt sie auch auf trockenen, nährstoffarmen Sanden vor. Sie meidet jedoch nasse und anmoorige Standorte. Sie ist eine schnellwüchsige Baumart mit einer tiefreichenden Pfahlwurzel. Die Robinie ist sehr trockenheitstolerant, allerdings spätfrostgefährdet. Ihr Holz ist sehr hart und ohne Imprägnierung witterungsbeständig, daher kann sie gut im Außenbereich und zum Zaunbau auf dem Hof verwendet werden (Roloff, 1996; Crawford, 2015).

Zusatznutzen: Außerdem ermöglichen Robinienwälder ca. 30 % höhere Erträge für Imker, da ihre Blüten sehr reichhaltig sind und wertvolle gesundheitsfördernde Stoffe enthalten (Keresztesi, 1983).

Selektionen und Sorten: „Schiffsmasten-Robinie“ (*Robinia pseudoacacia* var. *rectissima*), deklariertes Saatgut würde sich eignen. Diese Selektion neigt in geringerem Maße zu Stockausschlägen und bildet einen besonders geraden Stamm (Keresztesi, 1983).

Zwischennutzung mit essbaren Stauden

Da zwischen den Werthölzern in den ersten ca. 8 Jahren noch viel Platz und Licht ist, können hier mehrjährige Heil- und Gewürzpflanzen sowie mehrjährige Stauden zur Handernte gepflanzt werden. Eignen würde sich dafür u.a.: Grüner Spargel (*Asparagus officinalis*), Salbei (*Salvia ssp.*), Dill (*Anethum graveolens*), Minzen (*Minthea*), Rhabarber (*Rheum rhabarbarum*), Erdbeeren (*Fragaria × ananassa*) und mit zunehmendem Schatten Bärlauch (*Allium ursinum*) (eine ausführlichere Darstellung mehrjähriger Gemüse und essbarer Stauden findet sich bei Crawford (2012)).

6.1.2 Kopfbaumreihen

Röhrig et al. (2006) nennen folgende lichtbedürftige Frühbesiedler, die sich durch rasches Höhenwachstum (meist nach 5-8 Jahren abnehmend) und starkes vegetatives Regenerationsvermögen auszeichnen und daher gut zur Förderung von Bestandesbegründungen geeignet sind: Sandbirke (*Betula pendula*), Aspe (*Populus tremula*), Salweide (*Salix caprea*), Silberweide (*S. alba*) oder Bruchweide (*S. fragilis*) und Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*).

Brang et al. (2015) werteten Langzeituntersuchungen auf Sturmflächen aus: Am schnellsten wuchsen Pionierarten wie Birke (*Betula*), Grauerle (*Alnus incana*) und Aspe (*Populus tremula*). Auf Lothar-Sturmflächen gehörten auch Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) zu den raschwüchsigen Baumarten. Auf den hoch gelegenen Vivian-Sturmflächen sind Fichten (*Picea abies*), Bergahorne (*Acer pseudoplatanus*) und Vogelbeeren (*Sorbus aucuparia*) am häufigsten.

Kompa & Schmidt (2003 in: Röhrig et al., 2006) untersuchten in einer Studie die Naturverjüngung auf Bundsandstein nach Windwurf, also einem ähnlichen Standort wie Schernbach im Harzer Mittelgebirge. Neben den oben genannten Arten traten hier auch Salweide (*Salix caprea*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), sowie in geringer Anzahl und nur auf größeren Windwurfflächen Stieleiche (*Quercus robur*) auf.

Aufbauend hierauf wurden im Folgenden Arten ausgewählt, die gemischt in der Kopfbaumreihe mit einem Abstand von 0,7m gepflanzt werden sollen. Alle sind nach Angaben von Ferrini (2006) oder Smith et al. (2012) schneitel-verträglich:

Die Erlen (*Alnus*) bilden eine Pflanzengattung mit etwa 35 Arten. In Deutschland sind drei heimisch: die Grün- (*Alnus alnubetula*), die Grau- (*A. incana*) und die Schwarz-Erle (*A. glutinosa*). Allesamt präferieren eher frische bis feuchte Standorte, die jedoch idealerweise leicht und durchlässig sind. Sie wachsen als klassische Pioniergehölze schnell, vertragen windexponierte Lagen gut und bevorzugen lichte Standorte. (Roloff, 1996)

Insbesondere interessant sind die Erlen aufgrund ihrer Fähigkeit in Symbiose mit *Actinomyceten* (Strahlenpilze) atmosphärischen Stickstoff zu fixieren (s.a. Kap 5.3.2.4).

In das AFS sollen folgende Arten integriert werden:

- **Italienische Erle (*Alnus cordata*)** (Zone 6) ist trockenheitsresistenter als die anderen Erlenarten. Sie gilt jedoch besonders mit zunehmendem Alter nur zu einem geringeren Maße als Kopfbaumschnitt-verträglich. (Crawford, 2015; Roloff, 1996). Daher eignet sie sich insbesondere als größerer, aufgeastet stehender Baum (bis zu 25 m) als Windschutz oder Rankerüst für Kletterpflanzen (z.B. Minikiwi und Schisandre) (s.a. Kap. 6.3).
- **Roterle (*Alnus rubra*)** (Zone 6b) könnte eventuell nicht ausreichend winterfest sein, gilt jedoch als besonders schnellwüchsig (Crawford, 2015) und anspruchsloser an den Standort (Röhrig et al., 2006).
- **Schwarzerle (*A. glutinosa*)** (Zone 3) und **Grauerle (*A. incana*)** (Zone 2) gelten ebenfalls als recht wüchsig und produzieren Spitzenleistungen mit bis zu 11,8 t atro Biomasse /a. In den Jugendjahren vertragen sie auch trockenere Standorte. Die Lebensdauer ist auf diesen jedoch deutlich kürzer („PFAF Plant Database“, 2019). *A. incana* bevorzugt darüber hinaus eher basische Standorte (Röhrig et al., 2006).

Pappeln (*Populus*)

Energieholzpappeln (wie die Standardklone: Max 1, Max 3, Max 4 und Hybride 275) sind in der Regel F1-Hybride von ausgewählten Mutterbäumen der Balsampappel (*Populus maximowiczii*; *P. trichocarpa*) (Zone 4) und der Schwarzpappel (*P. nigra*; *P. deltoides*) (Zone 4) (Maurer & Haase, 2009).

Röhrich & Ruscher (2004) empfehlen immer mehrere Sorten zu pflanzen, um eine hohe Ertragssicherheit durch ökologische Vielfalt zu gewährleisten. Insbesondere empfehlen Ebd., Janßen, Grotehusmann, Schuppelius & Hofmann (2014) folgende Sorten:

- Max 1, Max 3, Max 4 (*P. maximowiczii* x *P. nigra*) haben gute Anwuchsquoten mit hohen Zuwächsen und Toleranz bei Trockenheit. Im Vergleich zu den unten genannten Sorten sind die Max-Pappeln anfälliger bei Wind und werden auch eher vom Pappelblatt- / Weidenblattkäfer befallen.
- Hybride 275 (NE42) (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) hat eine langsame Jugendentwicklung, aber ab dem dritten Jahr höchste Zuwachsraten. Sie wird bei einigermaßen guter Wasserversorgung und in höheren oder kälteren Lagen empfohlen.
- Matrix 49, Matrix 24, Matrix 11 (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) eignen sich für bessere, feuchtere Standorte und sind sehr stabil bei Wind, bereits im ersten Umtrieb haben sie über 20 t atro.
- Fritzi Pauley (*P. trichocarpa*) hat etwas niedrigere Anwuchsquoten und ein langsames Jugendwachstum. Nach den ersten Jahren hat sie jedoch ein sehr hohes Ertragspotential. Die Sorte eignet sich auf gut wasserversorgten Standorten und ausschließlich bei längeren Umtriebszeiten. Daher könnte Sie auch als Kopfbaum geeignet sein.

Weiden (*Salix*)

Röhrig et al. (2006) geht bei den Hybrid-Weiden (*Salix viminalis* x *S. aquatica*) (Zone 4) von einer etwas niedrigeren Ertragsleistung von 10-12 t atro/ha/a aus.

Für den Anbau auf dem Standort schienen folgende Sorten interessant (WALD 21, 2018):

- Tordis ist äußerst ertragsstark und auch trockenresistent. Die Hackschnitzel sind in der Ernte in der Regel trockener als bei anderen Sorten.
- Tora unterscheidet sich von anderen Weidensorten durch eine geringere Anzahl von Trieben pro Pflanze und sehr hohe Zuwachsraten, was sie u.U. als Kopfbaum interessant macht. Die Sorte ist weitestgehend Blattrost-resistent und wird selten durch Wildverbiss beeinträchtigt.
- Klara ist sehr frosttolerant und etwas langsamer in der Jugendentwicklung, später aber mit guten Zuwächsen.

Robinie (*Robinia pseudoacacia* (var. *rectissima*)) (Zone 3) trägt aufgrund ihrer Symbiose mit N-fixierenden Knöllchenbakterien im Boden zu einer guten Feinkrümelbildung bei. In der temperierten Klimazone ist sie nach Kutschera & Lichtenegger (2002) der Baum mit dem besten Vermögen zur Verbesserung der Bodenstruktur durch Lockerung, Erhöhung des Porenvolumens und der Luftkapazität.

Robinie eignet sich nicht nur als Waldbaumart zur Lieferung wertvollen Holzes, sondern auch zur Biomasse-Produktion. Ihre Fähigkeit, nach den Beerntungen wiederholt kräftig austreiben zu können, zeichnet sie dafür aus (Wühlisch, 2011). Die Darrdichte von Robinienholz und damit auch der Brennwert ist doppelt so hoch wie die von Pappeln (Engel, 2018).

Da die Robinie nicht durch Steckhölzer vermehrt werden kann und es keine derart überlegenen Hybridsortenzüchtungen wie bei der Weide und Pappel gibt, können durch eine direkte Aussaat die Kosten im Vergleich zur Pflanzung um 75 % gesenkt werden (Wühlisch, 2011). Ausgesäte Bestände verfügen über eine höhere genetische Variabilität, die der leichten Ausbreitung von Krankheiten entgegenwirkt. Die Aussaat führt jedoch im Vergleich zur Pflanzung zu einer Verzögerung bei der Höhenentwicklung von bis zu einem Jahr. Da mit der Saat ein Pflanzschock vermieden wird und sich die Wurzeln ungestört entwickeln können, kann dieser Nachteil allerdings bereits in wenigen Jahren „ausgewachsen“ sein (Wühlisch, 2011).

Auch als Kopfbaum sollte sich die „Schiffsmasten-Robinie“ (*Robinia pseudoacacia* var. *rectissima*) eignen (s.a. Kap. 6.1.1).

Eichen (*Quercus*) ergänzt sich durch das tiefe Pfahlwurzelsystem gut mit den nicht so tief wurzelnden Pioniergehölzen (Kutschera & Lichtenegger, 2002; Crawford, 2015) (s.a. Kap. 5.3.2.3).

- *Q. robur* ssp *robur* - Stiel-Eiche (Zone 5a) breite Standortamplitude, eher nährstoffreichere Böden. Es gibt einige große Exemplare in Schernbach.

- *Q. robur ssp petrea* - Traubeneiche (Zone 5) trocken bis frische Standorte gelegentlich spätfrostgefährdet, leicht saure Böden. Es gibt einige große Exemplare in Schernbach.
- *Q. rubra* - Rot-Eiche (Zone 5b) trocken bis frische Standorte gelegentlich spätfrostgefährdet, leicht saure Böden.

Rotbuche (*Fagus sylvatica*) (Zone 5b) gilt als guter K-Akkumulator (Crowford, 2015) und bevorzugt frische humose Böden (Roloff, 1994).

Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) (Zone 4) hat eine breite Standortamplitude und bevorzugt frischere Standorte (Roloff, 1994).

Hainbuche (*Carpinus betulus*) (Zone 5b) kann mit ihren Poolwurzeln tief ins Ausgangsgestein eindringen (Kutschera & Lichtenegger) und hat kaum besondere Ansprüche (Roloff, 1994).

Entsprechend der unterschiedlichen Wurzelsysteme werden die Eichen und Robinien als Tiefwurzler mit den Flachwurzlern Erlen, Weiden und Eschen kombiniert, dazwischen kommen Rotbuche, Hainbuche, Bergahorn und Pappeln (Kutschera & Lichtenegger, 2002). Dabei werden aufgrund ihrer Stickstofffixierungsleistung doppelt so viele Erlen und Robinien, sowie aufgrund ihres hohen Biomassezuwachses doppelt so viele Pappeln und Weiden wie von den anderen Gehölzen gepflanzt. Eine Ausnahme bilden dabei die AFS mit Ölweidenstrauch- und Sanddornstrauch-Reihen (auf Fls. 167 - 172 und 34, 37, 38). Da diese bereits Stickstoff fixieren, werden hier keine Erlen und Robinien gepflanzt.

6.1.3 Wildobststrauchreihen

Die Beschreibung der folgenden Wildobststräucher ist an dieser Stelle sehr knapp gehalten. Ausführlicheres kann bei den für alle Arten dieses Kapitels verwendeten Quellen (Tatschl, 2015; Crawford, 2015; Schwefler & Schmal, 2014; Zeitelhöfler, 2002) nachgelesen werden.

Die unten stehend aufgelisteten sogenannten Obstbau-Spezialkulturen (auch Wildobst genannt) gelten als sehr pflegeleicht. Sie wurden seit dem Aufkommen des Intensiv-Obstanbaus im 20. Jahrhundert züchterisch vergleichsweise nur wenig bearbeitet. Dies bedingt eine genetisch noch nahe Verwandtschaft mit den ursprünglichen Wildformen. Daher haben diese Kulturen meist sehr wenig phytosanitäre Probleme.

Ein weiterer Vorteil ist der ökologische Mehrwert solcher Kulturen: "Besonders Wildfruchtplantagen [können] so gestaltet werden, daß sie, trotz intensiver Nutzung und damit gegebener Wirtschaftlichkeit, einen wirksamen Beitrag zur ökologischen Aufwertung von Kulturlandschaften und Agrarökosysteme leisten.", so Müller (1997). Der ökologische Mehrwert von Wildobstarten ist bei Schwefler & Schmal (2014) sehr detailliert dargestellt. Zurzeit werden die meisten Wildobstarten jedoch nur in kleinerem Ausmaß angebaut.

Fast alle Wildobstarten enthalten viele wertvolle, gesundheitsfördernde Stoffe (Vitamine, Mineralien, sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe wie Polyphenole und Flavonoide). Geplant ist das

Wildobst in den Räumlichkeiten der Gemeinschafts-Großküche zu regionalen Superfood-Fruchtriegeln und Fruchtaufstrichen weiterzuverarbeiten. Im Zusammenhang mit dem wachsenden Gesundheitsbewusstsein, dem Trend zu mehr Regionalität und Interesse an Ressourcenschonenden Produkten von Konsument*innen (BMEL, 2017) haben regionale, biologische Superfoods ein großes Markt-Potential.

Felsenbirne (*Amelanchier ovalis*) (Zone 5), ***A. alnifolia*** (Zone 2)) Pflanzabstand 1,5m, die genannten Felsenbirnen-Arten werden 2-4 m hoch und wachsen besonders auf schwachsauerem, mäßig trocken bis gelegentlich mäßig feuchten Standorten. Sie vertragen Rückschnitt gut und sind für einen guten Fruchtertrag stark lichtbedürftig.

Ernte: Anfang Juli

Sorten: Besonders empfohlen für den Erwerbsanbau: Blue ray, Forstburg. Weitere interessante Sorten: Bluemoon, Pink fruit, Smoky, Martin, Northline.

Aronia (*Aronia ssp.*) (Zone 4) Pflanzabstand: 1,5m ist selbstbefruchtend und stellt geringe Ansprüche gegenüber Boden und Klima. Für höchste Erträge über 1 t/ha sind jedoch optimale Bedingungen in Form humusreicher Böden mit einem pH-Wert von 6 sowie ausreichender Boden- und Luftfeuchte bei einer Jahresniederschlagsmenge von mindestens 700 mm erforderlich. Der Strauch wird ca. 2,5 m. Die Ernte ist je nach Sorte von August bis Oktober

Sorten: Nero, Aron.

Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*) (Zone 3) Pflanzabstand 1m, der pH-Wert sollte nicht unter 6 liegen. Ansonsten ist die Art recht anspruchslos und trägt durch ihre N-Fixierung zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit bei. Zu Befruchtungszwecken sollten männliche und weibliche Sorten im Verhältnis 1:8 gepflanzt werden.

Sorten: Hergo, Frugana, Habego und Leikora mit den Befruchtern Pollmix 3 und Pollmix 4

Erntetermine der Sorten: Oktober

Korallen-Ölweide (*Elaeagnus umbellata*) Pflanzabstand: 2,5m. Sie stellt keine großen Ansprüche an den Boden, braucht aber für ein gutes Gedeihen einen möglichst sonnigen Standort. Sie wird als frosthart und robust angesehen. *Elaeagnus*-Arten fixieren Stickstoff (s.a. Kap. 5.3.2.4) Sie wird ca. 3 m hoch und hat kugelige, dunkelrote und 5 -7 mm große Früchte, welche reichlich angesetzt werden.

Ernte: September bis Oktober

Vielblütige Ölweide (*Elaeagnus multiflora*) ist ähnlich anspruchslos wie *E. umbellata*. Sie bleibt mit 1-3 m Höhe relativ klein. Die Früchte sind ca. 1,5 cm lang, länglich und rot. Das Aroma der Früchte ist angenehm herb-säuerlich bis süß.

Sie werden Juli bis August reif.

Sorten wie z.B. Sweet Scarlet und letztere mit einem Abstand von 1,5 m in Reihe gepflanzt.

Bei beiden Arten sollten mehrere Sorten gemischt werden, um eine optimale Kreuzbestäubung zu ermöglichen.

Kornellkirsche (*Cornus mas*) (Zone 5) 2,5 m Abstand, stellt keine besonderen Ansprüche, erfordert aber einen pH-Wert über 6. Sie bildet ein dichtes Herzwurzelnetz und ist gut Schnittverträglich.

Ernte: September

Sorten: Jolico (Ende September), Schumener, Kasaniaker (beide Ende August), Titus, Jantanrnyj, Flava (Mitte August)

Vitaminrose / Apfelrose (*Rosa dumalis* x *R. pendulina* / *R. villosa*) (Zone 4) Pflanzabstand: 1,5 m. Sie wird etwa 2 m hoch und ist nahezu stachellos. Sie stellt nur geringe Standortanforderungen und verträgt auch einen sauren pH-Wert.

Sorte: Vitaminrose PiRo3, Apfelrose (beide Ende August bis Mitte September),

Maibeere (*Lonicera caerulea*) (Zone 2) 0,8 m Pflanzabstand

In Asien wird die Blaue Heckenkirsche in manchen Regionen als Obstgehölz kultiviert.

0,5-1,5 m hoher Strauch mit dichter Verzweigung in Erscheinung, blauschwarze, eiförmige Beeren mit hellblauer Bereifung, werden ab Ende Mai bis Anfang Juni reif

Standortansprüche: Diese Wildobstart braucht einen kühlen Standort. Der Boden sollte möglichst feucht und sauer sein,

Lonicera kamtschatika, *L. regeliana* und *L. turczaninowii* deren Beeren recht gut schmecken und in ihrer Heimat bekannte Wildfrüchte darstellen (Albrecht 1996). *L. turczaninowii* könnte für den Anbau in Erwerbsanlagen besonders wertvoll sein, denn die Beeren werden bereits im Juni reif, wenn sonst kaum Früchte zu ernten sind. Die gleiche Reifezeit weisen auch die Beeren von *L. edulis* auf, welche ebenfalls zum Verzehr geeignet sind .

Minikiwi (*Actinida kolomikta* und *A. arguta*) (beide Zone 4) ist ein Flachwurzler, daher soll ein Abstand von 3m eingehalten werden (Jacke & Toensmeier, 2006). Sie ist eine Schlingpflanze und erreicht als solche eine Höhe von 6-8 m. Die Herkunftsregion ist China und das östl. Russland. Leicht saurer lockerer Boden, der Standort kann auch leicht halbschattig sein, sonnig ist jedoch besser. Sie enthalten deutlich mehr Vitamin C als die echten "Kiwis" (*A. chinensis*).

Die meisten Sorten sind zweihäusig. Eine männliche Sorte reicht für ca. 5 weibliche zur Befruchtung: Kruplopodnaja (großfrüchtig), Aromatnaja (Anna) (*kolomikta* x *arguta*) (ertragsreich),

Anniki (selbstfruchtbar). Bei den Ende September bis Mitte Oktober reifenden Mini-Kiwis sind Ernten von 10 bis 25 kg pro Pflanze möglich.

Schisandre (*Schisandra chinensis*) Pflanzabstand: 1,5 m. Sie braucht als Schlingpflanze eine Kletterhilfe und wird daran bis zu 10m hoch. Sie bevorzugt einen halbschattigen bis sonnigen Standort und einen frischen, nährstoffreichen und durchlässigen Boden. Auch auf leichteren, sandigen Böden mit dünner Humusschicht ist noch ein gutes Wachstum möglich. Sie ist spätfrostgefährdet. Da sie zweihäusig ist, müssen auch männliche Pflanzen zur Befruchtung gepflanzt werden. In den Wäldern Koreas und Japans, aber auch vom russischen Amurgebiet bis nach Nordchina vorkommend. Einzelfrüchte sind scharlachrot, rundlich und in ährenartigen Fruchtständen zusammengefaßt. Sie werden von August bis September reif. Das Aroma ist sehr markant und wird als gleichzeitig sauer, bitter, süß, salzig und scharf beschrieben. Enthält Schisandrin, eine gesundheitlich sehr wirksame Substanz. Deshalb werden in Asien aus den Früchten oft Tee oder Sirup hergestellt; dieser soll auf eine gesundheitsförderliche Art und Weise wach machen, sowie bei der Linderung von Magenschmerzen und Herzkranzgefäßerkrankungen helfen.

6.1.4 Staudenstreifen

Da eine hohe Pflanzen-Artenvielfalt einerseits die Bodenfruchtbarkeit fördert und andererseits blühende Stauden wertvoll für Insekten sind (s.a. Kap. 3.2), werden diverse Staudenstreifen entlang der Kopfbaumreihen gepflanzt. Insbesondere fördern *Umbelliferae*, *Asteraceae* und *Fabaceae* viele Nützlinge wie z.B. Schwebfliegen (*Syrphidae*), Florfliegen (*Chrysopidae*), Schlupfwespen (*Ichneumonidae*) (Finckh, et al., 2017).

Geplant sind folgende Stauden, die allesamt hohe Biomassezuwächse verzeichnen:

Durchwachsende Silphie (*Silphium perfoliatum*)(*Asteraceae*), Miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) (*Poaceae*), Luzerne (*Medicago sativa*)(*Fabaceae*), Lupine (*Lupinus*)(*Fabaceae*), Beinwell (*Symphytum*)(*Boraginaceae*), Riesenfenchel (*Ferula communis*)(*Umbelliferae*)

So haben Miscanthus und die Silphie neben Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit schnellwüchsigen Pappel- und Weiden-Arten die größte Bedeutung für eine energetische Nutzung in Deutschland (Maurer & Haase, 2009). Die mit dem Kopfbaumschnitt gemulchte Biomasse der Stauden trägt so zu einem engeren C:N-Verhältnis für die anschließende Verwendung als Mulch bei.

Die reduzierte bis nicht vorhandene Bodenbearbeitung in den breiteren AFS-Streifen fördert stabilere trophische Netze und damit ein diverseres Bodenleben, sowie ein höheres Pilz/Bakterien-Verhältnis, das auch auf den angrenzenden Acker übersiedeln kann. (Altieri, 1999). So können die Staudenstreifen u.a. als Mykorrhiza-Wiederbesiedlungsreservoir dienen. In klassischen Acker-Fruchtfolgesystemen ohne AFS können Probleme mit der Wiederbesiedlung von Mykorrhiza Ertragsminderungen hervorrufen. So gehen z.B. häufig als Zwischenfrucht genutzte *Brassicaceae* (Kreuzblütler) mit den meisten Mykorrhizen keine Symbiose ein. Mangels Zuckernährstoff-spendender Wirtspflanzen bilden sich AMF während dieser Phase zurück. (Piotrowski & Rillig, 2008)

6.1.5 Gemüsebaudesign

Die Beete für den biointensiven Market Garden (Fortier, 2014)(s.a. Anhang: Abb. Flst. 40/4) liegen quer zum Hang, da dies eine ergonomischere Arbeitsweise ermöglicht. Außerdem soll dadurch die Erosion durch den häufigen Niederschlag gemindert werden. Ebenfalls aus ergonomischen Gründen beträgt die Beetbreite die für das Market Gardening üblichen 75 cm, die Wegbreite 45 cm (Fortier, 2014; Perkins, 2016). Die Länge beträgt 24 m, was es leicht macht Folien und Vliese, die im 100 m Maß geliefert werden, zu zerteilen. Die Beete sind in 14 Zehnerblocks angeordnet.

Streifen mit mehrjährigen Gemüsestauden

Zwischen den Zehnerblocks verlaufen Streifen für mehrjährige Gemüsestauden und Gewürzpflanzen auf je doppelter Beetbreite (2,4 m):

Topinambur (*Helianthus tuberosus*) auf zwei 24 m Streifen; Yams (*Dioscoreaceae japonica / batatas*), Winterheckenzwiebel (*Allium fistulosum*), ewiger Kohl (*Brassica oleracea Ramosa*), Gemüsemalve (*Malva verticillata*) auf jeweils einem Streifen; vier Gewürzpflanzen und selbstaussäende Blütenpflanzen-Streifen: u.a. Thymian (*Thymus*), Rosmarin (*Rosmarinus officinalis*), Yosop (*Hyssopus officinalis*), Salbei (*Salvia*), kleine Bibernelle (*Pimpinella saxifraga*), Liebstöckel (*Levisticum officinale*), Dill (*Anethum graveolens*), Lupinen (*Lupinus*), Beinwell (*Symphytum*). (Crawford, 2012)

Der Gemüsebau findet bei einigen Kulturen (Kartoffeln, Kohl, evt. Lagermöhren) mit dem Fendt-GT-Traktor im südlichen Bereich auf Flst. 40/2 statt.

Salatkopfbäume

Der breite, kreuzförmig angelegte Hauptweg (3 m) ermöglicht eine gute Erreichbarkeit aller Beete, um z.B. die Ernten mit einem Traktor abtransportieren oder größere Mengen an Biomasse zu den Flächen befördern zu können. Entlang des Mittelweges verläuft eine 1 m breite Salatkopfbaum-Reihe: Maulbeere (*Morus alba*), Linde (*Tilia*), Chinesischer Gemüsebaum (*Toona sinensis*).

Beerensträucher

Im unteren Bereich des Marketgardens stehen Beerenstrauchreihen teilweise mit Spalier zur Handernte: Himbeeren (*Rubus idaeus*), japanische Weinbeeren (*Rubus phoenicolasius*), stachellose Kulturbrombeeren (*Rubus fruticosus agg*), Stachelbeeren (*Ribes uva-crispa*), Johannisbeeren (*Ribes rubrum / nigrum*), Jostabeeren (*Ribes × nidigrolaria*),

Die Reihen sind 3 m entfernt. Nach den Empfehlungen der FibL-Broschüre für biologischen Strauchbeerenanbau sind für fast alle Beeren 2,5 m Reihenabstand + ca. 0,5 m gemulchte Reihenbreite optimal. In der Reihe unterscheiden sich die Abstände je nach Erziehung am Spalier

(Brombeere 1 m , jap. Weinbeere 1 m, Himbeere 0,5 m) oder frei stehend (Johannisbeere 1 m, Stachelbeere 1 m, Jostabeere 1,3 m) (Schmid 2002).

6.2 Grünlanddesign

6.2.1 Futterkopfbaumreihen

Bei der traditionellen Schnaitelwirtschaft zu Futterzwecken waren laut Machatschek (2002) neben Eschen, Ulmen und Linden auch Ahorn, Eichen, Erlen, Birken, Edelkastanien und Pappeln von besonderer Bedeutung.

In den Niederlanden begleiteten Bestman et al. (2014) wissenschaftlich ein Projekt zur Integration von Bäumen in Tierhaltungsbetrieben.

Hier wurden auf 4 Milchviehbetrieben erste positive Erfahrungen mit der maschinellen Ernte, direkten Verfütterung und Silageherstellung mit Baumreihen im Kurzumtrieb mit Weiden (*Salix*), Erlen (*Alnus*), Hasel (*Corylus avellana*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) gemacht.

Auf dem Grünland werden ebenfalls die in Kap. 6.1.2 genannten Ackerkopfbäume integriert.

Allerdings wird auf die Integration von *Robinia pseudoacacia* verzichtet, da diese sich über Wurzelbrut im Grünland ausbreiten könnte und insbesondere auf bodensauren Magerrasen, Zwergstrauchheiden und Trockenrasen als invasiver Neophyt gilt (Roloff, 1996). Hier kann *Robinia* das Artenspektrum verschieben, indem es auf Kosten von Magerboden-Arten den N-Gehalt anhebt und damit nitrophilere Arten (z.B. Brennessel (*Urtica dioica*) oder Girsch (*Aegopodium podagraria*)) begünstigt (Kastler & Samimi, 2013).

Da die Grünlandflst. jedoch nicht als Trocken-Magerrasen einzustufen sind (s.a. Kap 4.2), besteht das Risiko einer invasiven Ausbreitung der Robinie wohl kaum.

Hinzu kommen dafür:

Linden (*Tilia cordata*; *T. x europaea*) (Zone 3) tiefes verzweigtes Wurzelwerk, große Standortamplitude, sehr guter Kopfbaum mit schmackhaften Blättern und gutem Regenerationsvermögen. In Schernbach stehen einige große Exemplare.

Weißer Maulbeere (*Morus alba* / *M. alba x rubra*) (Zone 5) das traditionelle Futtermittel für den Seidenwurm wurde über Jhd. züchterisch bearbeitet, um möglichst hohe Blatterträge und -qualitäten zu erreichen. Im Gegensatz zu der schwarzen Maulbeere (*M. nigra*) sind die weiße -und auch neue Hybridzüchtungen aus der weißen und roten- deutlich besser für kühlere und höhere Lagen geeignet (Crawford, 2015). Sie stellt sonst nur geringe Ansprüche an den Standort. Bei hohen Niederschlägen haben sie größere Wachstumsraten. Maulbeerblätter gelten als sehr

schmackhaft und verdaulich (70-90 %) für pflanzenfressende Tiere. Der Proteingehalt in den Blättern und jungen Stängeln liegt bei 15-28 % und enthält ein gutes Profil essentieller Aminosäuren (Carlina et al., 2012). Auch der Mineralgehalt ist hoch. Es wurden keine ernährungshemmenden Faktoren oder toxischen Stoffe identifiziert. In den Anbauregionen werden Gesamtbiomasse von 15,5 - 45,2 t atro/ha/a erzielt. Diese dürften jedoch im hiesigen Klima deutlich geringer ausfallen. (Al-kirshi et al., 2010) (s.a. Kap. 6.2.3). Außerdem sind potentiell auch folgende Varietäten und Arten für kältere Standorte interessant: russische: *M. alba tatarica*, chinesische: *M. alba* var. *multicaulis*, Bergmaulbeere: *M. australis*.

6.2.2 Zaunkopfbäume

Da entlang des Zaunes voraussichtlich nur schwerlich ein mechanisierter Rückschnitt durchführbar ist, werden diese nur alle 3-4 Jahre manuell mit Motorsäge zurückgeschnitten. Die Bäume dienen langfristig als Ersatz für Zaunpfähle, indem der Stromführende Zaundraht mittels eines Langstielisolators (22 cm Gewinde), der sekundäres Dickenwachstum zulässt, daran befestigt wird. Hier werden die gleichen Arten wie in den Futterkopfbaumreihen gepflanzt. Hinzu kommen:

Die Blumen-Esche (*Fraxinus ornus*) gilt als sehr gute Bienenweide (Jacke & Toensmeier, 2006) und kann durch den längeren Umtrieb als Zaunkopfbaum besser blühen. Die Angaben zur Frosthärte sind in der Literatur allerdings nicht einheitlich: Zone 7a (Roloff 1996) und Zone 5-6 („PFAF Plant Database“ 2019). Außerdem ist sie besonders interessant, da sie in der Lage sein soll Ausgangsgesteine intensiv zu durchwurzeln und damit den Unterboden zu erschließen (Kutschera & Lichtenegger, 2002).

Gleditsia triacanthus (Zone 3) hat einen sehr guten Futterwert und ist Stickstoff-fixierend. Sie bildet zuckerhaltige Samenschoten mit eiweißhaltigen Samen, die als Kraftfutter für Vieh nutzbar sind. Hierfür müssen eine männliche Befruchtersorte mit ca. 20 weiblichen angebaut werden. Allerdings können nur Schafe die harte Schale der Samen aufschließen und das Eiweiß direkt nutzen. Für Kühe oder Hühner müssen die Schoten mit Samen aufgesammelt und zermahlen werden (Crawford, 2015).

6.2.3 Hühnermobil-Flächendesign

Die Weidehaltung von Geflügel wirkt sich messbar auf die Qualität von Eiern und Fleisch aus, da diese einen höheren Gehalt an gesunden Fetten und Vitaminen aufweisen als von Hühnern, die in geschlossenen Systemen ohne Zugang zur Weide gehalten werden (Ponte et al., 2008; Wilson et al., 2018). Außerdem konnte bei gleichbleibender Leistung die Getreidezufütterung um bis zu 25% gesenkt werden (Ebd.).

Da die Fütterung der Hühner mit Getreide als direkte Nahrungsmittelkonkurrenz zum Menschen angesehen werden kann, wird das AFS so designed, dass die Hühner neben dem Klee auf der Wiese im AFS weitere Nahrungsmittel zur Kompensation von Getreidefütterung finden.

Folgende Arten werden in das System integriert:

Maulbeere (*Morus alba* / *M alba x rubra*) (s.a. Kap. 6.2.1) Pflanzabstand: 10 m. Aufgrund ihrer hochwertigen Inhaltsstoffe wurden bereits mehrfach Fütterungsversuche mit Legehennen durchgeführt. Die Ergebnisse verschiedener Studien, in denen Legehennen mit unterschiedlichen Prozentanteilen von gemahlenden Maulbeerblättern als Protein-Supplement verfüttert wurden, zeigen, dass Maulbeerblätter 10 - 30% des Futters betragen können, ohne dass es zu nennenswerten Produktivitätseinbußen kommt (Al-kirshi et al., 2010; Carlina et al., 2012). Für den Hühnerauslauf eignen sich besonders Sorten, die ihre Beeren über einen langen Zeitraum von Juni bis August abwerfen: Black Tabor (*alba x rubra*), Capsrum (*alba x rubra*), Illinois Everbearing (*alba x rubra*), Italien (*alba x rubra*), Ivory (*alba x rubra*), Wellington (*alba x rubra*).

Sibirischer Erbsenstrauch (*Caragana aborescens*) (Zone 2) ist sehr anspruchslos. Der Strauch verträgt einen sehr niedrigen pH-Wert und niedrige Temperaturen, braucht allerdings viel Licht. Außerdem fixiert er Stickstoff. Er wird als Selbsternte-Strauch für Hühner empfohlen. Auch interessant ist der kleine, langsam wachsende Strauch *Caragana frutex*. Die Samen fallen im August-September. (Tatschl, 2015; Crawford, 2015)

Sanddorn (*Hippophae ramnoides*) (s.a. Kap. 6.1.3) Biswas et al. (2010) beobachteten in einer Studie eine Steigerung der Legeleistung um 10 - 28 % bei Legehennen, die mit Sanddornblättern sowie Frucht- und Samenrückständen aus der Sanddorn-Saftproduktion zugefüttert wurden. Daher wird auch Sanddorn in das Design integriert. Wenn die Früchte nicht geerntet werden, bleiben sie September - Februar an den Zweigen (Crawford, 2015) und können von den Hühnern abgepickt werden.

Holunder (*Sambucus nigra*) mag feuchte, kühlere Lagen und hat eine gute Halbschatten-Toleranz. Erntefenster: September - Oktober. (Tatschl, 2015; Crawford, 2015)

Korallen-Ölweide (*Elaeagnus umbellata*) (s.a. Kap. 6.1.3). Erntefenster: September - November

Immergrüne Ölweide (*Elaeagnus x ebbingei*) Standortansprüche sehr ähnlich wie die anderen *Elaeagnaceae* (s.a. Kap. 6.1.3). Blüht allerdings über den Winter und behält die Blätter. Erntefenster: April – Mai. Damit die Früchte im Winter darf es nicht dauerhaft zu niedrige Temperaturen geben (Zone 6). (Tatschl, 2015; Crawford, 2015)

6.2.4 Integration von Nussbäumen und -sträuchern

Edelkastanie (*Castanea*)

Die Standortansprüche unterscheiden sich zwischen den Arten. Generell gilt sie als wärmeliebend und präferiert Standorte mit niedrigem pH, guter Fruchtbarkeit und hohen Niederschlägen. Die Kastanie ist außerdem eine wertvolle Bienenattraktion. Die japanische Kastanie (*Castanea crenata*) (Zone 6) ist etwas frostempfindlicher als die chinesische (*C. mollissima*) (Zone 5) und die europäische (*C. sativa*) (Zone 5-6). Die Kältengrenze wird damit in Schernbach eingehalten. Generell ist die Höhenlage in Schernbach aktuell als leicht kritisch zu bewerten. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Langlebigkeit von Esskastanien (ca. 500 Jahre), scheint eine Anpflanzung jedoch sinnvoll.

Die Esskastanien werden in 8 m Abstand gepflanzt und nach ca. 20 Jahren ausgedünnt. So wird

ein früherer und höherer Ertragseintritt möglich.

Bei der Sortenwahl wurden besonders Resistenzen gegen Kastanienrindenkrebs (*Cryphonectria parasitica*, Syn.: *Endothia parasitica*) und Tintenkrankheit (*Phytophthora cambivora*, *P.cinnamomi*) beachtet. Daher werden Kreuzungen aus *Castanea sativa* (europäische Sorte) mit den resistenten Arten *C. mollissima* (chinesische Sorte) und *C. crenata* (japanische Sorte) gepflanzt: Bouche de Betizac, Précoce Migoule, Marigoule, Bournette (Befruchter), Marsol (wurzelecht), Maravale (guter Befruchter), Marlhac.

(Crawford, 2015, 2016; Ecker-Eckhofen, Klement, Rühmer, & Schantl, 2018; Jacke & Toensmeier, 2006; Roloff, 1996; Tatschl, 2015)

Haseln (*Corylus*) (s.a. Kap. 6.1.1) bevorzugen Lagen mit kühlen und feuchten Sommern und kalten Wintern. Sie wachsen lieber etwas geschützt von anderen Bäumen, da sie bereits im Januar blühen. Sie tolerieren einen weiten pH-Bereich mit einem Optimum gegen pH 6. Starkes Aufkommen von Nebel zur Windbestäubungszeit im Januar kann zu starken Ertragseinbußen führen.

Da die Haselsträucher bei Düngung eine deutliche Ertragssteigerung zeigen, werden sie mit kompostierten Fäzes gedüngt.

Bei den Sorten wird insbesondere auf Filberblight-Resistenzen und das Vorkommen von geeigneten Bestäubern geachtet: Hallische Riesen, Butler, Kent Cob, Emoa 1,2 und 3, Tonda di Giffoni.

Diese werden auf Flst. 52 gepflanzt.

Auf dem Flst. 104 werden Neohybridhaseln gepflanzt - Züchtungen des Badgersett-Centers gepflanzt (Rutter & Wiegrefe, 2015). Diese sind Kreuzungen aus *Corylus americana* x *C. colurna* x *Corylus avellana* - also aus amerikanischer x europäischer Strauch- x türkischer Baumhasel. Durch die Hybridisierung entstehen eine sehr hohe genetische Diversität und ertragssteigernde Heterosiseffekte.

(Crawford, 2015, 2016; Jacke & Toensmeier, 2006; Rutter & Wiegrefe, 2015; Tatschl, 2015)

Walnuss (*Juglans regia*) (Zone 4-5) bevorzugt warme Lagen. Am besten Süd-Ost-Hänge. Sie ist winterhart, jedoch nach Austrieb spätfrostgefährdet. Feuchte und humose Böden sind optimal. Die meisten Sorten brauchen zur Kreuzbefruchtung andere Sorten in der Nähe. Es existieren mehrere große, tragende Walnüsse in Schernbach.

Ponder & Tadros (1985) untersuchten die Auswirkungen der Unterpflanzung von Schwarznuss (*Juglans nigra*) mit Stickstofffixierenden Gehölzen. Dabei stellten sich die Erlen (*Alnus*) als nur unzureichend Juglon¹⁸-verträglich heraus. Sie gingen häufig im Alter von 8 - 13 Jahren relativ plötzlich ein. Ölweiden (*Elaeagnaceae*) erschienen als sehr geeignet als Unterpflanzung für die

18 Gerbstoffausscheidung der Walnuss, mehr Infos bei Ponder & Tadros (1985)

Schwarznuß. Der Schatten und das geschlossene Laubdach der Ölweide reduzierte den Wasserverlust aufgrund von Transpiration und Verdunstung direkt über dem Boden und hielt die Temperaturen im Sommer etwa 2°C niedriger und im Winter etwa 3°C wärmer. Durch die zusätzliche Stickstofffixierung konnte so das Wachstum der Walnuss gefördert werden. Dieser Effekt trat besonders in feuchteren Jahren auf, vermutlich aufgrund der geringeren Wasserkonkurrenz (Ponder & Tadros 1985). Außerdem scheinen Ölweiden *Juglans nigra* vor Befall mit Walnuss-Anthraknose zu schützen (Scott & Sullivan 2007).

Zu Zwecken der Vermeidung von Spätfrostschäden wurden vor allem spätblühende Walnusssorten ausgewählt: Ferjean, Parisienne, Chandler, Lara Peral, Fernor, Fernette, Ronde de Montinac, Franquett, Fernette, Kardinal, Lake, Mars, Seifersdorfer.

Außerdem sind in kleinerem Umfang für den Standort noch interessant: Butterherznuß (*Juglans x bixbyi* / *Juglans cinerea* x *ailantifolia* var. *cordiformis*) → besonders für feuchte kühlere Standorte geeignet Klimazone 4, Sorten: Mitchell (selbstfruchtbar)

Herznuß (*Juglans ailantifolia* var. *cordiformis*) Sehr früher Ertrageintritt, für Vermarktung attraktive herzförmige Nüsse, Sorten: Campbell CW 1, CW 3, Grimo Manchurian, Kalmar

(Böllersen, 2019; Crawford, 2015, 2016; Roloff, 1996; Tatschl, 2015)

6.2.5 Streuobst

Die Streuobstreihen sollen mit alten auf Mittelstammunterlagen veredelten Obst-Sorten aus der Region bepflanzt und in kleinerem Umfang durch einige ungewöhnliche Obstsorten ergänzt werden. Diese dienen bis auf die Pflaumen (s.a. unten) nicht zur Vermarktung, sondern ausschließlich zur Selbstversorgung der Gemeinschaft. Dabei wird die Pflanzung folgender Arten angestrebt (artenspezifische Details und Sorten finden sich bei Tatschl (2015) und Crawford (2015)):

Mispel (*Mespilus germanica*) (Zone 6)

Pawpaw (*Asimina triloba*) (Zone 5)

Sauerkirsche (*Prunus cerasus*) (Zone 3)

Süßkirsche (*Prunus avium* subsp. *duracina*) (Zone 6)

Apfel (*Malus domestica*) (Zone 3)

Tafelbirne (*Pyrus pyrausta*) (Zone 4)

Pflaumen (*Prunus domestica*) (Zone 5)

Großfrüchtige Weißdorne (*Crataegus macrocarpa* / *C. x anomala*) (Zone 5) eignet sich besonders als Geliemittel für Marmeladen anderer Früchte

Insbesondere soll ein hoher Anteil von Pflaumen (*Prunus domestica*) integriert werden, da diese als Zutat optimal geeignet sind, um bei der Herstellung von Fruchtschnitten mit Wildobst eine gute

Konsistenz und Bindung zu erreichen.

Sorten *subsp. Domestica*: Gelbe Hauszwetschge, Wangenheims Frühzwetschge, Valjevka, Rote Dattelpflaume; *subsp. Italica* (Reneklode): Quillins Ringlotte (August) Unika Blutpflaume

6.3 Flächenvorstellungen

Die Werthölzer und Kopfbäume werden, sofern nicht anders vermerkt, gemischt auf alle Flächen verteilt. Insgesamt soll versucht werden AFS-Streifen strategisch so zu positionieren, dass dadurch die Landschaftskonnektivität verbessert wird, indem Habitatsfragmente durch Wanderkorridore verbunden werden (Jose & Gordon, 2008). Dies ist über Flst. 40/1, 38 und 37 hinweg (Hofstelle mit Wald) sowie auf Flst. 51/1/2; 52; 53/2; Flst. 69/2/1; Flst. 146; Flst 167 - 172 und Flst. 303 - 305 der Fall (s.a. Abb. 14 & 15).

Im folgenden wird die Aufteilung der Baumarten und aller Flst. knapp beschrieben. Da sich die Bodenarten und Nährstoffgehaltsklassen der Flst. nur sehr geringfügig unterscheiden, sowie die meisten (Wild-)Obststräucher vergleichbar geringe Anforderungen an den Standort stellen, spielte teilweise die Größe der Flst. und die gewünschte Menge der jeweiligen Früchte eine übergeordnete Rolle für die Zuordnung der Flst.. Ausführlicheres zum Aufbau der AFS-Streifen und den gewählten Abständen findet sich in Kap. 5.3.2.5. Auch auf die Wahl der Ausrichtung der Baumreihen wird hier nicht näher eingegangen, da sich diese aus der in Kap. 5.3.1 entwickelten Methodik ergibt. In der auf die Flst.-Auflistung folgenden Tabelle sind die Pflanzstückzahlen aller Flächen aufgelistet:

Auf **Flst. 29/2/1** wurden aufgrund des etwas höheren pHs Kornellkirschen gepflanzt. Die Reihen entlang der Grundstücksgrenzen verlaufen zwar nicht nach Keyline-Design sind jedoch angesichts des stärkeren Gefälles ungefähr Höhenlinienparallel. Am oberen Bereich des Flst. verläuft ein etwa 8m breiter Viehtreibeweg an dessen Rand Walnüsse mit Korallen-Ölweiden gepflanzt werden. (s.a. Anhang Abb. Flst. 29/2/1)

Auf das von den Nährstoffgehaltsklassen her recht gut versorgte **Flst. 40/1** wird ein AFS mit der etwas anspruchsvolleren Aronia gepflanzt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 40/1)

Auf die **Flst. 29/2** und **Flst. 30** wird je ein System mit Zaunkopfbäumen am Rand und Futterkopfbäumen in der Fläche gepflanzt, wobei jeder zweiten Reihe eine Reihe mit Walnüssen und Korallen-Ölweiden vorgelagert ist. Die Walnussanlage wird durch das wärmere Mikroklima am Süd-Ost-Hang begünstigt. Die Reihen auf Flst. 29/2 verlaufen außerdem nach Keyline-Design. (s.a. Anhang Abb. Flst. 29/2 & 30)

Auf **Flst. 34, 37** und **38** werden Sanddornstrauchreihen und im nördlichen Bereich drei Reihen mit Fruchtrosen angelegt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 34)

Auf **Flst. 40/2** wird eine Reihe Minikiwis (*Actinidia arguta* und *A. kolomikta*) zusammen mit Erlen gepflanzt. Das System ähnelt dem historischen Weinbau in Italien. Dort wurden in der

Vergangenheit hauptsächlich Kopf-Bäume als lebendes Klettergerüst für die Weinreben verwendet. Hier werden auch Schisandren ebenfalls mit Erlen (alle 3m) als Rankgerüst im gleichen Design gepflanzt. In den Reihen dazwischen stehen die lichtbedürftigen Felsenbirnen. (s.a. Anhang Abb. Flst. 40/2)

Fst. **40/3** war aufgrund des Gefälles in der Keyline-Vorauswahl, hier eignet sich aufgrund der länglichen Form jedoch kein exaktes Keyline-Muster. Stattdessen wird eine Kopfbaumreihe relativ Höhenlinienparallel und parallel zum Zaun über die gesamte Fläche gelegt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 40/2 & 40/3)

Das Gemüsebaudesign auf **Flst. 40/4** ist bereits ausführlich in Kap. 6.1.5 beschrieben. (s.a. Anhang Abb. Flst. 40/1 & 40/4)

Die **Flst. 42 und 51/2/2** mit den AFS-Systemen zur Nahrungsergänzung für Hühner in Mobilstallhaltung liegen möglichst nah an den Häusern der Gemeinschaft, sodass der Weg für das Eierabholen und zum Verstellen der Mobilställe kurz ist und dies von Mitgliedern der Gemeinschaft übernommen werden kann. Außerdem sind dies zwei Grünlandflächen mit überwiegend geringem Gefälle, was ein einfaches Verstellen von Hühnermobilen begünstigt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 42 & 51)

Durch die Baumreihe am Rand von **Flst. 12/2** könnten unangenehme Gerüche für Anwohner*innen eingedämmt werden (Elevitch et al., 2018). Die Anwohner*innen im Osten der Fläche beschwerten sich regelmäßig über "Gestank und Fliegen" die mit der Rinderbeweidung einhergehen (mdl. Aussage, 2019). (s.a. Anhang Abb. Flst. 12/2)

Die Baumreihen auf **Flst. 50** sind entsprechend des Keyline-Designs leicht abfallend zu den Kuppen hin angelegt. Dadurch wird potentiell der Kaltluftstrom (von z.B. Spätfrösten) entlang der Baumreihen zu den Kuppen geleitet. Auf der Kuppe befindet sich jedoch ein Weg, bzw. das Vorgewände, indem die Kaltluft abfließen kann. Dies entspricht in optimaler Weise der Keyline-Theorie (Pavlov, 2015; Yeomans, 1973). Die südliche Ausrichtung begünstigt die Pflanzung der wärmeliebenden Esskastanie sowie einiger Walnüsse im oberen Bereich. Die Anlage des Teiches ist am höchstmöglichen Punkt (s.a. Kap. 5.3.4) und kann zur Versorgung der Viehtränken sowie ggf. zur Bewässerung der Esskastanien in Trockenphasen genutzt werden (s.a. Anhang Abb. Flst. 50)

Die Futterkopfbäumreihen auf **Flst. 51/1/2** sind nach Keyline-Muster angelegt. Die erste anschließend parallel versetzte Linie wurde so gewählt, dass sie relativ parallel zu den Flst. Grenzen verläuft und zugleich leicht zur Kuppe hin abfällt. Das Flst wäre durch den leichten Nordhang und den Schatten-werfenden Wald auf der Südseite mikroklimatisch für die Pflanzung von Fruchtertragskomponenten eher ungeeignet. (s.a. Anhang Abb. Flst. 51)

Auf **Flst. 52** wird im oberen Bereich eine ca. 0,4ha große Wiesenfläche freigelassen. Dort könnte eine Naherholungsfläche für die Gemeinschaft entstehen. Im hinteren Bereich am Wald werden evt. Tinyhäuser und Bauwägen aufgestellt werden. Zugleich liegt hier eine der größten Stellen mit starkem Gefälle (s.a. Abb. 8). Zur Erosionsprävention werden hier nach Keyline-Muster die dichteste Bepflanzung des gesamten Hofes mit Haselsträucher im Abstand von 5m angelegt. Nach Kutschera & Lichtenegger (2002) ist

die Strauchhasel eine der am dichtesten flächig und zugleich tiefgreifend bewurzelten Sträuchern, daher sollte sie optimal zur Erosionsprävention geeignet sein. (s.a. Anhang Abb. Flst. 42 & 52)

Die Mittelstamm-Streuobststreifen auf **Flst. 53/2** sind nach Keyline-Design so angelegt, dass bereits bestehende Streuobstbäume auf der Fläche integriert werden (mit einer Ausnahme). Da das Streuobst insbesondere zur Selbstverpflegung der Gemeinschaft ist, eignet sich diese Fläche direkt nördlich des Gemeinschaftszentrums. (s.a. Anhang Abb. Flst. 42 & 53/2)

Auf **Flst 69/2/1** und **69/2/2** werden Maibeeren- und ebenfalls Aronia-AFS gepflanzt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 69)

Flst. 104 wird zur Erosionsprävention Höhenlinienparallel mit Strauchhaseln bepflanzt. die Haseln werden durch die Südhanglage optimal mit Licht versorgt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 104)

Flst. 123: Um für den Hof Robinien-Zaunpfosten und Bauholz zu produzieren, werden Flst. 123 und 146 verwendet. In den Kurven der Keyline-Baumreihen auf Flst. 123, die aufgrund des zu eng werdenden Wendewinkels für Traktorenbewirtschaftung abgeflacht (s.a. Kap. 3.5) und daher breiter sind, werden Robinien im 1,5 m Abstand in einem ca. 5 - 8-jährigen Umtrieb für Zaunpfosten angebaut. In den normalen AFS-Streifen auf Flst. 123 werden außerdem Maibeeren gepflanzt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 123)

Flst. 146 liegt sehr weit vom Hof entfernt und ist darüber hinaus so schmal, dass die breiteren Acker-Agroforst-Streifen des Designs hier keinen Platz finden würden. Daher werden hier nur 2 m breite Streifen mit 152 Schiffsmast-Robinien ebenfalls im Abstand von 1,5 m für einen ca. 20-jährigen Umtrieb angelegt. Die Robinien können nach ca. 8 Jahren um 50 — 80 % auf die gradschaftigsten Stämme selektiert werden. Die entnommenen Stämme können dabei ebenfalls als Zaunpfosten dienen. Die Flst-Form ist so zugeschnitten, dass die zwei Baumstreifen darauf nach Keyline-Design ausgerichtet werden konnten. (s.a. Abb. 16)

Flst. 167 - 172: Durch das Anlegen der Baumreihen parallel zur Außengrenze, können mehrere Flst. miteinander verbunden werden, sodass insgesamt die Vorgewändefläche stark reduziert wurde. Die Baumreihen verlaufen so relativ Höhenlinien-parallel. Dies ist einer der Standorte mit den niedrigsten pH-Werten, daher werden hier die Werthölzer Speierling und Elsbeere nicht gepflanzt. Die lichtbedürftigen Felsenbirnen stehen überwiegend in AFS-Streifen ohne Wertholz Überhälter-Bäume. In den anderen Reihen stehen Ölweiden. (s.a. Anhang Abb. Flst. 167)

Flst. 303 - 305: Die Trazeln werden zusammen mit alle 12m einer *Elaeagnus umbellata* als Düngestrauch auf den Fls. 303 -305 und einem Reihenabstand von 19m (18m Mähwiese) gepflanzt. (s.a. Anhang Abb. Flst. 303)

Das **Flst. 1128** ist aufgrund der niedrigen Höhenlage ideal für wärmebedürftigere Kulturen wie die Esskastanie geeignet. Die Baumreihen sind so angelegt, dass die Kaltluft entlang des Tales gut abfließen kann. (s.a. Anhang Abb. Flst. 1128)

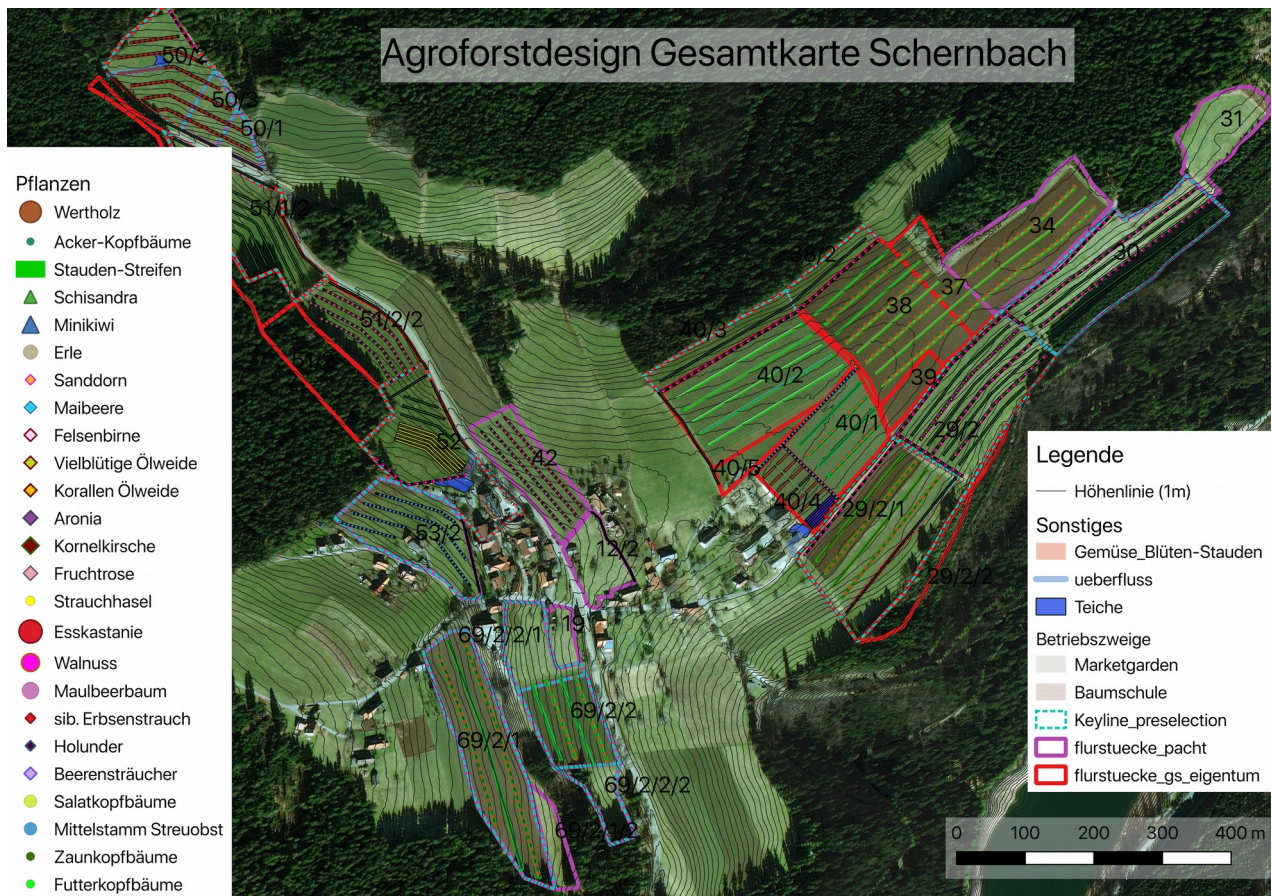


Abbildung 15: Agroforstdesigns Gesamtkarte Schernbach (eigene Darstellung mit QGIS)

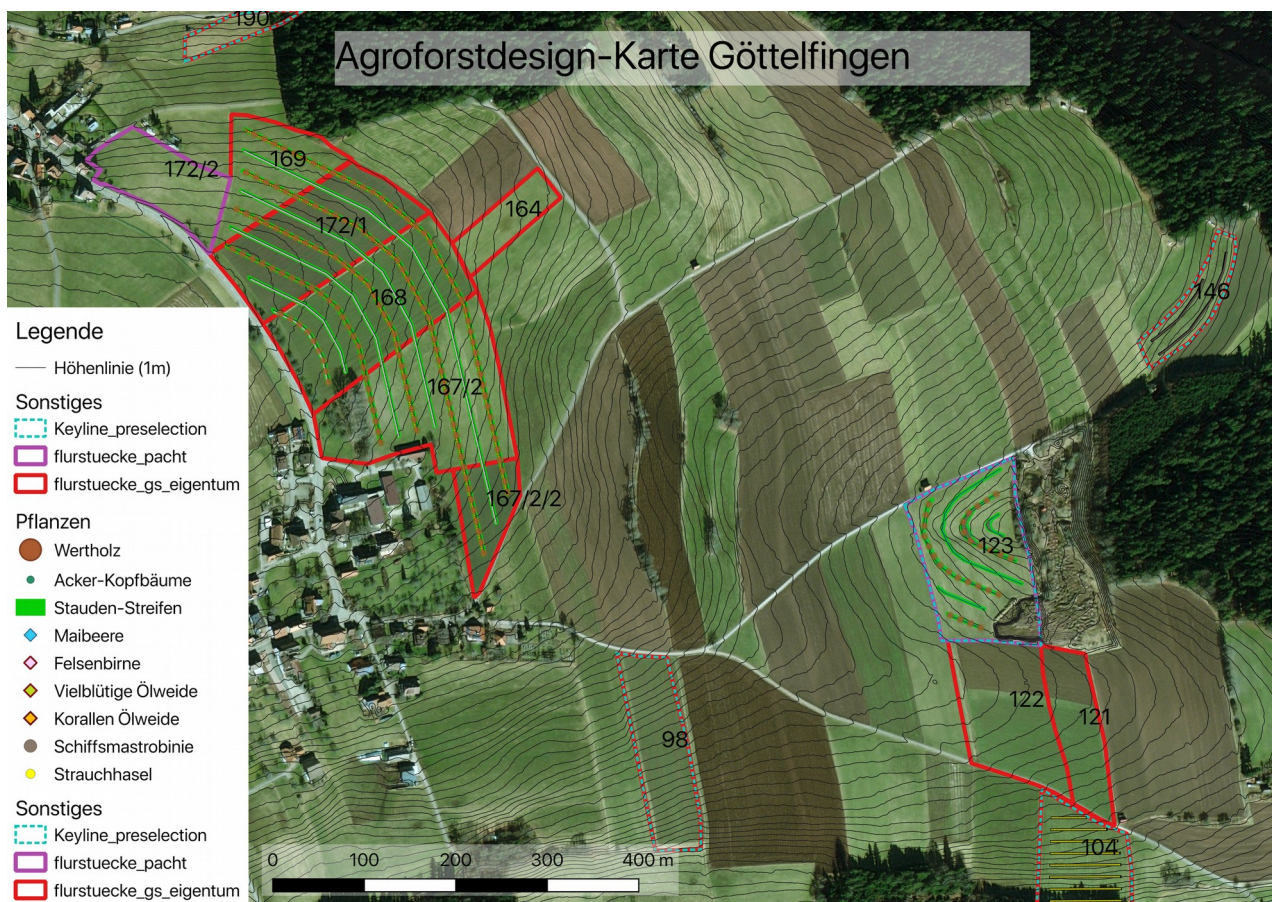


Abbildung 16: Agroforstdesigns Gesamtkarte Göttelfingen (eigene Darstellung mit QGIS)

Flst. Nr.	Pflanze	Abstand in m	Menge	ggf. Ziel-Menge
12/2 Grünland (G), Pacht (P)	Mittelstamm Streuobst	6	21	
29/2 G, Eigentum (E)	Walnuss Futterkopfbäume Zaunkopfbäume Korallen-Ölweide	12 0,7* 3 12	85 1420 204 85	
29/2/1 Acker (A), E	Walnuss Korallen-Ölweide Zaunkopfbäume Wertholz Ackerkopfbäume Kornellkirsche	12 12 3 12 (innerh. 3er Verbund 1m) 0,7 2,5	18 18 103 111 1216 342	37
30 G, P	Walnuss Korallen-Ölweide Futterkopfbäume	12 12 0,7	70 70 1467	
34+37+38 A, E+P	Wertholz Ackerkopfbäume Sanddorn Fruchtdorn	12 0,7 1 1,5	288 384 1522 314	96
38/2+40/3 G, E	Walnuss Korallen-Ölweide Futterkopfbäume Zaunkopfbäume	12 12 0,7 3	33 33 521 129	
40/1 A, E	Wertholz Ackerkopfbäume Aronia Mittelstamm Streuobst	12 0,7 1,5 6	60 679 318 26	20
40/2 A, E	Erle Schisandra Minikiwi Ackerkopfbäume Felsenbirne Zaunkopfbäume	3 1,5 3 0,7 1,5 3	150 144 74 1564 439 64	
40/4 A, E	Salatkopfbäume Beerenstauden	2 1	21 260	

	Gemüsestauden Mittelstamm Streuobst	2,4 x 24 6	10 27	
42 A, P	Holunder ½ Korallen-Ölweide, ½ Vielblütige- Ölweide ½ sib. Erbsenstrauch, ½ Sanddorn Maulbeere	6 12 3 8	93 93 (46+47) 178 93	
50/ 1+2+3 G, E+P	Walnuss Korallen-Ölweide Esskastanie Futterkopfbäume Zaunkopfbäume	12 12 8 0,7 3	6 6 104 1144 91	52
51/1/2 G, E	Futterkopfbäume Zaunkopfbäume	0,7 3	1129 88	
51/2/2 A, E	Holunder ½ Korallen-Ölweide, ½ Vielblütige- Ölweide sib. Erbsenstrauch Maulbeere Zaunkopfbäume	6 12 3 8 3	83 83 (41+42) 181 88 65	
52 G, E	Walnuss Korallen-Ölweide Strauchhasel Futterkopfbäume Zaunkopfbäume	12 12 1,5 x 5 0,7 3	14 14 431 282 61	
53/2 G, P	Mittelstamm Streuobst	6	93	
69/2/1 A, P	Wertholz Ackerkopfbäume Aronia	12 0,7 1,5	162 1407 657	54
69/2/2 A, P	Wertholz Ackerkopfbäume Maibeere	12 0,7 0,8	69 732 641	23
104 G, E	Strauchhasel	13 x 1,5	369	
123 A, P	Wertholz Schiffsmastrobinie Ackerkopfbäume Maibeere	12 1,5 0,7 0,8	84 84 895 761	28

146 A, E	Schiffsmastrobinie	1,5 x 17	152	
167+168+169+172A, E	Wertholz Ackerkopfbäume Felsenbirne Korallen-Ölweide Vielblütige-Ölweide	12 0,7 1,5 2,5 1,5	153 4530 978 561 198	459
303+304+305 G, E+P	Baumhasel Korallen-Ölweide	19x5 12	240 51	120
1128 (auf nur 560 mNN) G, E	Esskastanie Korallen-Ölweide	8 8	72 72	36

*= s.a. alle 5 Kopfbäume wird hier ein Baum ausgelassen – bzw. einen doppelten Abstand von 140 cm statt 70 cm (s.a. Kap. 5.3.2.5)

Gesamtmenngen

Im Folgenden Findet sich ein Überblick über die addierten Mengen aller Gehölzgruppen:

Alle Gehölze	33500 auf ca. 55ha (ca. 600 Gehölze /ha)
Futterkopfbäume	7487
Ackerkopfbäume	13868
Zaunkopfbäume	795
Salatkopfbäume	21
Wertholz	1233 > Zielmenge: 411
Walnuss	226
Baumhasel	240
Strauchhasel	800
Maulbeere	480
Esskastanie	176 > Zielmenge: 88
Mittelstamm Streuobst	167
Fruchtsträucher	7680
Einzel-Erlenpflanzungen	150
Einzel-Robinienpflanz.	236

7 Diskussion

Im Folgenden werden einzelne kritische Punkte der Arbeit schlaglichtartig beleuchtet:

Kritische Betrachtung der dargestellten und angewendeten Methodik

Letztendlich ist der Aufbau und die Kombination der verschiedenen AFS-Komponenten des Designs nicht auf die hier vorgestellte Methodik reduzierbar, sondern basiert maßgeblich auf einer

intensiven Auseinandersetzung des Autors mit multifunktionalen AFS über die letzten 6 Jahre hinweg. Dies beinhaltete neben einem tieferen Studium von Ökosystemen zahlreiche Studienreisen und Praktika auf AFS-Pionierbetrieben, den Besuch von Konferenzen und vertiefenden Workshops, die Diskussion von AFS und Weiterentwicklungs-Ideen mit zahlreichen Praktikern und Wissenschaftlern, sowie den Austausch innerhalb einer selbstorganisierten Agroforstberater*innen-Ausbildungsgruppe im deutschsprachigen Raum.

Methodik zur Imitation natürlicher Agrarökosysteme

Entsprechend der Empfehlungen aus der Literatur wäre der erste Schritt eines Designs mit den oben genannten Zielen, die natürlichen Ökosysteme in der unmittelbaren Umgebung zu beobachten, um nicht nur die Arten, sondern auch die funktionellen Merkmale der nachzuahmenden Vegetation und die wichtigsten biologischen Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Tieren in diesen Ökosystemen zu identifizieren. (Jose & Gordon 2008; Malézieux 2012)

Allerdings finden sich in der unmittelbaren Umgebung von Schernbach - außer entlang des speziellen Biotops am Bachlauf der Nagold - so gut wie keine natürlichen Ökosysteme mehr, welche nicht durch wirtschaftliche Nutzung stark beeinflusst wären. Daher schien eine strukturierte methodische Erhebung dieser Daten angesichts des dafür erforderlichen Aufwandes nicht zielführend. Dennoch sind Beobachtungen des Autors, z.B. über das Vorkommen bestimmter Arten, in den Designprozess eingeflossen.

Zweckmäßigkeit des Designs

Insgesamt ist mit durchschnittlich 600 Gehölzen /ha (s.a. Kap. 6.3) ein relativ dicht bepflanztes Design entwickelt worden, entsprechend den Empfehlungen aus der aktuellen Wissenschaft zur Weiterentwicklung und nachhaltigen Intensivierung von AFS (Elevitch et al., 2018; Lovell et al., 2018; Wilson et al., 2018).

Insbesondere die Variation der Artenanzahl und die Pflanzdichte des Layouts kann die Produktivität und Rentabilität von AFS stark beeinflussen (Lovell et al., 2018). In einem dicht gepflanzten Design kann durch Managementmaßnahmen wie Rückschnitt, Mulchen und Fräsen im Nachhinein ausgedünnt werden. Dies entspricht auch der Dynamik natürlicher Ökosysteme. So ist in den ersten 12 - 22 Jahren der Wiederbesiedlung von Wald-Sturmflächen eine Dichtbesiedlung mit Gehölzen von bis zu 50.000 Individuen/ha zu beobachten (Brang et al., 2015). Jedoch nimmt diese durch natürliche Selektions- und Störungs-Dynamiken in den darauffolgenden Jahren ab (Röhrig et al., 2006).

Da viele verwendete Bäume und Sträucher erst vor relativ kurzer Zeit domestiziert wurden, ist ihre genetische Ausstattung wahrscheinlich noch sehr heterogen. Mit diesem reichen Genpool könnten für AFS erhebliche Produktivitätsgewinne erzielt werden, indem genetisches Material mit höheren Erträgen und besseren Produkteigenschaften gezielt identifiziert und selektiert werden würde (Scherr, 1991). Diesbezüglich lohnt sich eine dichtere Bepflanzung mit großer Sortenvielfalt und anschließender Selektion.

Der Versuch, natürliche Ökosysteme durch diverse, dichte Pflanzungen nachzubilden, könnte jedoch unter Umständen zu Ertragseinbußen führen, da die mit der generativen Phase zusammenhängende Fruchtentwicklung möglicherweise durch stärkeres vegetatives Wachstum und/oder Abwehr- und Anpassungsmechanismen geschwächt werden könnte (Lovell et al., 2018). Durch ein jährliches Rückschnittsmanagement der anderen Bäume entsprechend der SAFS-Prinzipien zu Beginn der generativen Phase der Fruchtertragskomponenten (Young, 2017), könnte dieser Effekt jedoch kompensiert bzw. sogar in einen synergetischen Vorteil umgewandelt werden.

Längere Rückschnitts-Rotation und insgesamt minimale Eingriffe sind aus Perspektive der Biodiversitätsförderung nach Jose & Gordon (2008) wünschenswert.

Unter Umständen ist diese Empfehlung eher auf klassische zweidimensionale AFS zu beziehen, in denen beispielsweise eine Kurzumtriebsplantage neben Ackerland vollständig abgeholzt wird.

Durch das 1-2-jährige Rückschnittsmanagement der Kopfbaumreihen wird jedoch ein halboffener Charakter der Landschaft gewährleistet. Zugleich bleiben andere Strukturen erhalten, wie Werthölzer und Fruchtsträucher, die als Rückzugshabitate dienen. Der Eingriff beim Rückschnitt von Kopfbäumen ist deutlich geringer als bei dem von KUPs (s.a. Kap. 5.3.2.2). Der Lebensraum würde sich bei einer längeren Rotation von höherem Deckungsgrad hin zu starker Durchlichtung sehr drastisch ändern, was sicherlich ein Schock für einige Arten bedeuten würde. Häufigere Management-Eingriffe können somit auch zur Stabilität beitragen. Dies bestätigen auch Erkenntnisse aus der Sukzessionsforschung, die einen systemstabilisierenden Charakter von Störungseingriffen mittleren Niveaus belegen (s.a. Kap. 3.4.2).

Wenn große Gebiete selten gestört werden, entsteht eine größere Vielfalt durch die unterschiedlichen Lebensräume entlang des Gradienten von der Randzone bis zum Zentrum der Störung (Malanson, 1984). Bei häufigen Störungen hingegen führt ein geringeres Ausmaß zu mehr einzelnen mosaikartigen Flecken in verschiedenen Sukzessionsphasen, während häufige größere Störungen die gesamte Lebensgemeinschaft stark beschädigen würden (Malanson, 1984). Es ist schwierig einzuschätzen, wie die geplanten Eingriffe in das Design (wie z.B. der regelmäßige Rückschnitt der Kopfbäume oder das Aufasten der Werthölzer) in diesem Zusammenhang einzuschätzen sind. Es scheint sinnvoll, diese Störungen so kleinräumig wie möglich durchzuführen (z.B. bei zweijähriger Umtriebszeit das jährliche Zurückzuschneiden der Bäume auf jede zweite Kopfbaumreihe zu beschränken). Dementsprechend könnten die Eingriffe sogar eher als System- und Biodiversitäts-stabilisierend eingeordnet werden. Die Tiere könnten dabei über das zu einer Seite zugängliche Vorgewende zwischen eingezäunten Baumstreifen wechseln.

Ein eindeutiger Nachteil des AFS-Grünland Designs mit Futterkopfbäumen ist die sich aufwendiger gestaltende flexible Unterteilung der Flst. mit Hilfe mobiler Elektrozäune für das Mobgrazing (Elizondo et al., 2019). Eine Alternative zu der in Kap. 5.3.2.5 vorgestellten Lösung, nach jedem fünften Kopfbaum einen doppelten Abstand Platz zu lassen, wäre das Einziehen eines weiteren mobilen semipermanenten Zwischenzauns (der vor einer Bearbeitung der Flächen mit Maschinen schnell abgebaut werden kann) quer zu den AFS-Streifen. Die Einteilung der täglichen Portionsweideflächen könnte dann in beliebigem Abstand parallel zu den Baumreihen vorgenommen werden.

Ebenfalls kritisch zu bewerten ist die Gefahr der Bildung von Windkanälen entlang der Baumreihen übergehend von Flst. 40 auf 38 bis 34. Entsprechend der synthetischen Winddaten des LUBW (2019) verlaufen die Baumreihen hier parallel zur Hauptwindrichtung. Dadurch könnte es zu Wind-Tunneleffekten kommen, bei denen sich der Wind zwischen den Baumreihen sogar noch zusätzlich beschleunigt (Miller & Davenport, 1998). Daher wäre zu erwägen, zusätzlich zu der Zaunkopfbaumreihe am westlichen Rand von Flst. 40/2 entlang des Weges östlich von Flst. 40/2 und westlich von Flst. 38 eine weitere Gehölzreihe quer zur Hauptwindrichtung zu pflanzen. Bei einem optimalerweise zu 40% durchströmbaren lichten Bewuchs kann die Windgeschwindigkeit in der 25-fachen Höhe der Hecke um bis zu 80% abnehmen (Possit, 2012). So wäre bei der Existenz der beiden oben genannten Gehölzstreifen mit je 10 m Höhe ein Windschutz auf nahezu der gesamten Fläche gegeben. Durch die weitere Gehölzpflanzung würde jedoch eine Nutzung des Weges als Vorgewende von den Ackerflächen beider Seiten her unmöglich werden. Sollten nach Etablierung des Systems stark negative Windeffekte auftreten, könnte dies auch nachträglich in Erwägung gezogen werden.

Fragwürdig ist außerdem, ob es finanziell zu rechtfertigen ist, teure Wertholz-Fruchtsorten im 3er Verband mit 1m Abstand zu pflanzen, obwohl sie bereits nach 10 Jahren und damit unter Umständen vor Ertrageintritt ausselektiert werden (s.a. Kap. 5.3.2.5). Viele Fruchtselektionen haben außerdem ein etwas geringeres Höhenwachstum (Tatschel, 2015; Crawford, 2015). Daher sollten Fruchtselektionen nicht als Werthölzer verwendet werden. Anbieten würde sich alternativ günstige Forstbaumschulware.

Standardisierung der flächenspezifischen Entscheidungen über die Pflanzung von AFS

Es ist fragwürdig, inwieweit es sinnvoll ist, eine entsprechende Entscheidung zu standardisieren. Die in Kap. 5.3.1 dargestellte Komplexität würde so zwangsläufig reduziert. Dabei sind Entscheidungen über die Anlage und Ausrichtung von Keyline-Kultivierungsmustern immer nur vor dem Hintergrund des jeweiligen Kontextes zu treffen (Yeomans, 1973; Perkins, 2016). Zwar wird bei dem entwickelten Verfahren der Kontext mit betrachtet, dennoch birgt eine Standardisierung die Gefahr, dass dadurch die Vielfalt möglicher Systeme stark eingeschränkt würde.

Das entwickelte Vorgehen zur Analyse der Eignung von Flächen für die Pflanzung der Baumreihen nach Keyline-Design (s.a. Kap. 5.3.1) könnte dagegen sehr gut auf andere Kontexte übertragen werden und wäre ein wertvolles Handwerkszeug für mit QGIS arbeitende Agroforst-Berater*innen.

Generalisierbarkeit des entwickelten Designs

Koohafkan et al. (2012) benennen als zentrale Herausforderung für die Zukunft von Agrarökosystemen die Steigerung der Effizienz von Ressourcennutzung, um eine erhöhte Produktion und Erhaltung der biologischen Vielfalt und der knappen natürlichen Ressourcen zu gewährleisten sowie gleichzeitig die Widerstandsfähigkeit von Agrarökosystemen gegenüber der Zunahme Klimawandel-bedingter Gefährdungen, biotischem Schädlingsdruck und wirtschaftlicher Schocks zu stärken.

Wie in den vorangehenden Kap. 5 und Kap. 6 gezeigt wurde, adressiert das entwickelte Design die

genannten Herausforderungen. Sollten sich die erwarteten positiven Auswirkungen bewahrheiten, scheint eine Verbreitung der Ansätze geboten und wünschenswert.

Edwardsa et al. (1993) gehen davon aus, dass agrarökologische Systeme zwar nicht eins zu eins auf verschiedene Standorte und Klimazonen übertragen werden können, dass sich jedoch bei tiefergehender Analyse ähnliche Prinzipien herauskristallisieren lassen.

Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die in Kap. 5.3 entwickelten Designelemente mit Modifikationen (z.B. andere Reihenabstände und Artenwahl) auch auf andere Kontexte übertragen werden können. Letztendlich hängt die Generalisierbarkeit auch stark davon ab, inwieweit sich der mit der Umsetzung verbundene Managementaufwand in bestehende Abläufe landwirtschaftlicher Betriebe integrieren lässt.

Managementaufwand

Die in Kap. 5.3.3 entwickelten Ansätze zur Mechanisierung scheinen derzeit für eine großflächige Verbreitung derartiger Ansätze unerlässlich. Dennoch ist mit einem erheblichen Mehraufwand sowie höheren Anforderungen an die Kompetenz von Landwirt*innen im Umgang mit Gehölzkulturen zu rechnen. Diese könnte sicherlich einfacher von Hofgemeinschaften und diversifizierten Betrieben mit einem aktiv-unterstützenden Konsumentenkreis umgesetzt werden, wie z.B. im Fall von Solidarischer Landwirtschaft (Boddenberg et al., 2017). Nach Ebd. und Albrecht et al., (2018) erscheint es grundsätzlich fragwürdig, inwiefern klassische landwirtschaftliche Betriebsstrukturen für die Lösung der aktuellen Herausforderungen (s.a. Kap. 4.4) überhaupt geeignet sind.

Die Komplexität und Diversität des Designs könnte als nachteilig für den Managementaufwand beurteilt werden. Allerdings haben derartige Systeme auch arbeitswirtschaftliche und ökonomische Vorteile: (1) Der ökonomische Return verschiedener Arten verteilt sich zeitlich über mehrere Jahre, sodass ein durchgehender Cashflow entsteht (Bsp. Die Beerensträucher kommen früher in den Ertrag, der zu Beginn der Hauptertragsphase der Walnüsse bereits wieder abnimmt. Wenn der Ertrag der Walnüsse abnimmt, wird von da an Einkommen durch den Verkauf von Wertholz generiert). (2) Durch die Kultivierung verschiedener Produkte können Preisschwankungen am Markt und klimatisch bedingte Ertragsausfälle besser kompensiert werden. (3) Ökosystemdienstleistungen werden erbracht. Teilweise können diese sogar innerhalb des Betriebes in anderen Bereichen liegen (höherer Pollenertrag für die Imkerei, attraktive Landschaft für das Seminar- und Gästehaus). Teilweise haben sie aber auch systemübergreifenden Charakter (Biodiversitätsförderung, Kohlenstoffsequestrierung, Klima- und Wasserschutz). Die Honorierung derartiger Dienstleistungen gewinnt zunehmend an Bedeutung (Malézieux et al., 2009). Bzw. diese werden zunehmend als Qualitätsstandard von den Verbraucher*innen eingefordert (BMEL, 2017). Es kann somit vermutet werden, dass sich dadurch in zunehmendem Ausmaß zusätzliches Betriebs-Einkommen generieren lässt oder eine Anhebung von Qualitätsstandards vom Betrieb mit geringerem zusätzlichem Aufwand umgesetzt werden kann. (4) Durch vielfältige Komponenten verteilen sich Arbeitsspitzen besser auf das Jahr (Wilson et al., 2018). Grundsätzlich ist jedoch zu erwarten, dass es bei dem hier entwickelten Design im September - Oktober durch die anstehende Ernte der (Wild-)Obstfruchtsträucher zusammen mit der Aussaat der Acker-Winterkulturen zu einer

Arbeitsspitze kommt. Diese kann auf dem Hof Sonnenwald voraussichtlich durch eine verstärkte Einbindung der "Ökodorf-Gemeinschaft" abgepuffert werden (s.a. Kap. 4.3)

Biodiversität

Im Design wurde die Rolle der Biodiversität auf ihre Funktionalität reduziert. Biodiversität hat jedoch darüber hinaus auch einen intrinsischen Wert „für sich“ und als bisher unbekanntes „serendipisches Kapital“ für künftige Generationen (Swift et al., 2004).

Grundsätzlich ist anzunehmen, dass eine durch AFS-Wanderkorridore vernetzte Landschaft die Biodiversität fördert. Allerdings kann diese auch mit zunehmender Konnektivität abnehmen, wenn ein überlegener Konkurrent immer mehr zuvor isolierte Biotope erreichen kann und dort andere Arten verdrängt. Derartige Prozesse können jedoch durch regelmäßige und gezielte Störungseingriffe unterbunden werden (Denslow, 1980).

Die sehr breiten (5 - 6m) und vielschichtig strukturierten AFS-Streifen auf dem Acker sind aus naturschutzfachlicher Sicht als sehr wertvoll zu bewerten. Ab einer Minimalbreite von 3 - 4m könne die Fläche von Baumstreifen als naturnahes Biotop fungieren (Reeg et al., 2009). Die Breite der Streifen sei letztendlich für den naturschutzfachlichen Wert von größerer Bedeutung als die Gehölzwahl (Ebd.).

Integration von nicht einheimischen Arten

In dem vorliegenden Design wurden nicht einheimische Arten aufgrund ihrer Multifunktionalität (Kombination mehrerer gewünschter Eigenschaften) und dem Nicht-Vorhandensein vergleichbarer heimischer Arten integriert. Insbesondere *Robinia pseudoacacia* wurde aufgrund ihrer Invasivität (s.a. Kap. 6.1.1; Kap. 6.2.1) nicht auf Grünlandstandorten integriert. Invasive Arten belegen in der Regel nicht besetzte ökologische Nischen. Historisch haben sich die meisten Pflanzen über längere Zeiträume mit evolutionärer Entwicklung und je nach Vermehrungsstrategie in zuvor nicht heimische Regionen ausgebreitet. Meist pendelt sich nach einer anfänglich starken Ausbreitung ein neues ökologisches Gleichgewicht ein (Davis, 2009). Eine durch glaziale Pollenanalysen gestützte Theorie besagt, dass auch in Europa vor den letzten Eiszeiten eine höhere Diversität von Gehölzarten existierte. Im Gegensatz zu Nordamerika, wo die Gebirgsketten Nord-Süd verlaufen, konnten diese Arten mit dem Einbruch der Eiszeit allerdings nicht über die Ost-West verlaufenden Gebirge wandern und starben aus (Jacke & Toensmeier, 2006). Angesichts des Klimawandels besteht seit längerem eine Diskussion über die Ausweitung des Anbauspektrums von Waldgehölzen zu Zwecken der Klimaanpassung (Klimaplastizität s.a. Kap. 3.2) (Reif et al., 2009). Es ist wohl auf ein geringeres wirtschaftliches Interesse zurückzuführen, dass diese Diskussion bisher nicht ernstzunehmend auf nicht-forstlich genutzte Gehölze ausgeweitet wurde. In einer sich verändernden Umwelt braucht es jedoch eine hohe Diversität, um die vielfältigen ökologischen Funktionen gewährleisten zu können (Mace et al., 2014). Darüber hinaus ist es natürlich, dass sich die Rollen und die Dominanzen von Arten im Laufe der Zeit ändern. Die Erfüllung von ökologischen Funktionen wird tendenziell verbessert, wenn sie Arten mit komplementärer Funktionen umfasst.

In einem gemanagten System mit regelmäßiger Überprüfung etwaig ungeplanter invasiver Ausbreitung von Arten und diesbezüglich präventivem Eingreifen, kann die gezielte Integration von Neophyten mit belegter positiver Multifunktionalität durchaus als ökologisch vertretbar eingeschätzt werden (Davis, 2009).

Darüber hinaus ist eine schnelle Verbreitung invasiver Arten in ariden Regionen deutlich wahrscheinlicher als in humiden - wie dem hier behandelten Standort. Denn auf ariden Standorten ähneln die frühen Sukzessionsstadien den späteren oft mehr – daher finden invasive Arten dort ein breiteres Ausbreitungsspektrum (Denslow, 1980).

Ackerbau im AFS

Die Dimension der ackerbaulichen Unternutzung in multifunktionalen AFS wurde in dieser Arbeit unterbelichtet. Eine Möglichkeit sind die Nutzung von Composite-Cross-Populations-Sorten (CCP) von Getreidepflanzen. Diese wurden als Alternative zu klassischen Stammbaumlinien durch eine Hybridisierung diverser Sorten erstellt. Dies führt zu einem sehr heterogenen dynamischen Genpool, der sich an die lokalen Umweltbedingungen flexibel anpassen kann und widerstandsfähiger gegenüber einem sich ändernden Klima ist. Gleichzeitig reift jedoch das Getreide ab. In AFS können sich CCP gut an die unterschiedlichen abiotischen Mikroklimata (z. B. Schatten und Wasserstress) und biotischen (Konkurrenz und Allelopathie) Bedingungen innerhalb des Systems anpassen. (Döring et al., 2015; Smith et al., 2012)

Praktikabilität der Integration von Praxisforschung

Edwardsa et al. (1993) entwickelten einen konzeptionellen Ansatz für interdisziplinäre-systemische Praxisforschung für alternative und nachhaltige Landwirtschaftssysteme. Sie erhoffen sich davon eine vollständigere Betrachtung von Interdependenzen in Agrarökosystemen und weniger reduktionistische Betrachtungen einzelner, isolierter Faktoren. Ein zentrales Element ihres Ansatzes ist die Designphase, in der klare Ziele festgelegt und Hypothesen aufgestellt werden, über welche Maßnahmen und Interventionen diese erreicht werden könnten. Anschließend wird die Effektivität der Maßnahmen „on-farm“ evaluiert und falls notwendig werden das Design und die Interventionen entsprechend angepasst und weiterentwickelt.

Dieser Ansatz entspricht im Wesentlichen dem hier vorgenommenen Design Prozess.

Ziel des „Hof Sonnenwald“ ist dezidiert die Integration von Praxisforschung (s.a. Kap. 4.3). Aufbauend auf diese Arbeit kann konzipiert werden, wie die Auswirkungen des hier vorgestellten multifunktionalen AFS wissenschaftlich untersucht werden könnten (s.a. Kap. 8).

Klassische Forschungsanforderungen eignen sich hierzu jedoch kaum: Designs, die sich daran orientieren, führen meist zu Systemen, die für die Landwirte entweder umständlich sind (z. B. komplexes Design mit vielen Replikationen, um die Wechselwirkungen mehrerer Arten untereinander betrachten zu können) oder zu Teilsystemen, die negative Auswirkungen haben (z.B. die Einbeziehung von Extrembehandlungen für Regressionsanalysen). Daher hat die Kombination von Forschungs- und Demonstrationszielen innerhalb eines einzelnen Betriebs viele Nachteile. Lovell et al. (2018) empfehlen daher, dass eines der beiden Ziele Vorrang haben sollte.

Beim “Hof Sonnenwald” ist dies eindeutig das Demonstrationsziel.

Eine Möglichkeit den Aspekt der Praxisforschung dennoch zu berücksichtigen wäre, die AFS wie natürliche Ökosysteme zu behandeln und die Performance von ganzen Flst. anhand einer Vielzahl von Variablen zu bewerten. Dabei könnten Multivarianz-Analysen auf den verschiedenen Flst. durchgeführt und ein Systemvergleich mit anderen Anbausystemen durchgeführt werden. Allerdings wären so Aussagen über den Einfluss einzelner Faktoren nur schwer möglich (Beer, 1991; Lovell et al., 2018). Eine Alternative wäre, lediglich vergleichende Erhebungen (z.B. zu Bodenerosion, Nährstoffauswaschungen, Bodenfruchtbarkeit, Produktivität und Nahrungsmittelqualität) vor und nach der Etablierung von AFS zu machen (Young, 2017).

Es ist grundsätzlich fragwürdig inwieweit derzeitig gängige Forschungsansätze tatsächlich für die Beforschung komplexer Agrarökosysteme geeignet sind. Die aus dieser Fragestellung ableitbare Hypothese ist, dass durch die den meisten wissenschaftlichen Studien zugrunde liegende typische Isolation und Segregation von Einflussfaktoren wichtige Wirkmechanismen von Agro-Ökosystemen strukturell unberücksichtigt bleiben. Denn aus Systemtheorie und Agrarökologie kann abgeleitet werden (Holt-Giménez & Altieri, 2012; Wu & David, 2002), dass synergetische Effekte agrar-ökologischer Systeme erst durch die (intelligente) Kombination in einem komplexen Gesamtsystem auftreten und daher nicht durch Isolation einzelner kausaler Wirkzusammenhänge analysiert werden können.

8 Ausblick

Man sollte sich der potenziellen (Kenntnis bedingten) Grenzen des Designs von AFS bewusst sein. Daher braucht es ein adaptives Management. Teil dessen ist intensive Beobachtung, um ein besseres Verständnis der Auto-Ökologie einzelner Arten und ihrer Wechselwirkungen untereinander (Gemeinschaftsökologie) und im Gesamtsystem (Ökosystemökologie) zu gewinnen (Jose & Gordon, 2008). Taktische Entscheidungen in Managementfragen können so durch ein solides ökologisches Verständnis des Gesamtsystems erleichtert werden.

Im Folgenden sind einige auf diese Arbeit aufbauende Aspekte dargestellt:

Kosten Anpflanzung

Die Kosten für die Anlage des Systems sollen aufbauend auf dieser Arbeit kalkuliert werden. Hierfür können Angebote von mehreren Baumschulen für die in Kap. 6.3 genannten Stückzahlen eingeholt werden. Insbesondere teure oder leicht zu vermehrende Pflanzen können in der eigenen Baumschule vorvermehrt werden.

Außerdem sind Kosten für die Anlage von Zäunen bzw. Baumschutz und Teichbau, sowie der insgesamt damit verbundene Arbeitsaufwand zu kalkulieren.

Davon ausgehend ist ein Antrag an die zuständigen Behörden der Flurneuordnungsverfahrens-Ausgleichszahlungen bzgl. der Förderung der Anpflanzungen und der ersten beiden Jahre Pflege zu stellen.

Sollte dieser nicht im gewünschten Ausmaß genehmigt werden, wären alternative Finanzierungsmöglichkeiten (Crowdfunding, Stiftungsgelder, Ökopunktekonto-Maßnahmen etc.) zu erörtern.

Daraufhin ist geplant, Pflanz-Event-Aktionen in Verbindung mit Bildungsveranstaltungen zu AFS zu organisieren.

Kosten Management

Der übers Jahr verteilte Arbeitskräftebedarf für die Ernte und das Management sollte vor Umsetzung der Pflanzung erfolgen (Wilson et al., 2018). Ertragsschätzungen von speziellen Baum- und Strauchsorten, die in Ertragsanlagen angebaut werden, können eine Basis für die Ernteprognose darstellen. Daten für die von Interdependenzen in komplexen, multifunktionalen Agroforstsystemen abhängigen Sorten-spezifischen Ertragsauswirkungen existieren jedoch noch nicht (Lovell et al., 2018).

Aspekte einer systemischen Komplexitäts- und Lebendigkeitsorientierten Praxisforschung

Wie in der Diskussion angeschnitten, besteht Bedarf für die Entwicklung neuer Ansätze zur wissenschaftlichen Untersuchung multifunktionaler AFS, um der Komplexität und den Interdependenzen von Agrarökosystemen gerecht zu werden (Albrecht et al., 2018).

Hierfür braucht es beispielsweise auch neue Finanzierungsmodelle für langfristige Datenerhebungen und Auswertungen.

Ein erster Schritt zur Etablierung von Praxisforschung auf dem Betrieb wäre sicherlich eine umfangreiche Datenerhebung des Zustandes vor der Pflanzung des AFS. So sollten folgende Aspekte erhoben werden: Bodenfruchtbarkeit (Humusgehalt, Tiefgründigkeit des Oberbodens, Bodenstruktur, Auftreten von Erosion, Pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte - am besten inkl. aller essentiellen Mikronährstoffe, wie es im Rahmen der Kinsey-Bodenanalyse durchgeführt wird (Kinsey & Walters, 2013)), sowie u.U. auch Biodiversitätserhebungen zur Vegetation, den Insekten und Vögeln auf den Flst..

In einem weiteren Schritt sollten dann Versuchskonzipierungen entwickelt werden, um die in dieser Arbeit entwickelten Hypothesen (s.a. Kap. 5.3) zu überprüfen.

Weiterverarbeitung und Vermarktung

Mittelfristig sind für die Produkte aus dem AFS Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsanlagen vor Ort einzurichten und Vermarktungswege zu erschließen

Weitergehende Diversifizierung

Wie auf den Karten zu erkennen ist, gehören auch mehrere Waldstücke zum Hof. In der amerikanischen Agroforst-Szene findet Forest Farming zunehmend Verbreitung. Dies bezeichnet

die Praxis des Anbaus hochwertiger, schattentoleranter Sonderkulturen unter dem Schutz eines Waldes, der ein günstiges Mikroklima für Unterkulturen wie Pilze und Heilkräuter bietet. Produkte des Forest-Farming werden in der Regel als Non-timber-forest-products (NTFPs) bezeichnet. (Elevitch et al., 2018)

Durch eine Erschließung des Forest Farming Potentials könnte eine weitere Einkommensquelle für den "Hof Sonnenwald" generiert werden.

Übertragung der Ergebnisse auf andere Standorte

Mittel- bis langfristig möchte der Autor Strategien entwickelt, wie die gesammelten Erfahrungen und Ergebnisse etwaiger wissenschaftlicher Untersuchungen durch Bildung und Beratung auf andere Betriebe übertragen werden können.

Abkürzungs-Verzeichnis

A	→ Acker
a	→ Jahr
Abb.	→ Abbildung
AFS	→ Agroforstsystem(e)
AMF	→ Arbuskuläre Mykorrhiza Pilze
CCP	→ Composite-Cross-Populations-Sorten
DGM	→ Digitales-Gelände-Modell
ebd.	→ Ebenderselbe / Ebendieselben
ew.	→ googleschoolar Einschränkung: "exakte Wortfolge" ("with exact phrase")
Flst.	→ Flurstück
G	→ Grünland
ha	→ Hektar
Jhd.	→ Jahrhundert
Kap.	→ Kapitel
N	→ Stickstoff
P	→ Phosphor
P:B	→ Pilz zu Bakterien-Masse-Verhältnis
SAFS	→ Sukzessionales Agroforstsystem
s.a.	→ siehe auch
u.a.	→ unter anderem
üNN	→ über Normal Null (Über dem Meeresspiegel)
z.B.	→ zum Beispiel

Quellenverzeichnis

- Albrecht, S. M., Fuchs, N., Hoffmann, U., Hollenstein, M., Mathias, E., Rundgren, G., & Körber, H. (2018). *Agricultural Transformation Review*. Vereinigung Deutscher Wissenschaftler.
- Al-kirshi, R., Alimon, A. R., Zulkifli, I., Sazili, A., Zahari, M. W., & Ivan, M. (2010). Utilization of mulberry leaf meal (*Morus alba*) as protein supplement in diets for laying hens. *Italian Journal of Animal Science*, 9(3), e51. <https://doi.org/10.4081/ijas.2010.e51>
- Altieri, M. A. (1999). *The ecological role of biodiversity in agroecosystems*. 13.
- Altieri, M. A., Letourneau, D. K., & Davis, J. R. (1983). Developing Sustainable Agroecosystems. *BioScience*, 33(1), 45–49. <https://doi.org/10.2307/1309244>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Andres, C., Comoé, H., Beerli, A., Schneider, M., Rist, S., & Jacobi, J. (2016). Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. In E. Lichtfouse (Hrsg.), *Sustainable Agriculture Reviews* (Bd. 19, S. 121–153). https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_3
- Baumüller & Latz (2019): Gespräch zur Finanzierung von AFS Pflanzungen auf dem Betrieb über Ausgleichsmittel des Flurneuordnungsverfahrens. (Am 09.04.2019 geführt mit Paul Hofmann)
- Beer, J. (1991). Implementing on-farm agroforestry research: Lessons learned in Talamanca, Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 15(2–3), 229–243. <https://doi.org/10.1007/BF00120190>
- Bestman, M., Eekeren, N. V., Luske, B., Vonk, M., Ansems, E., Boosten, M., & Bree, M. V. (2014). *Introducing trees in dairy and poultry farms. Experiences dairy and poultry farmers' networks in The Netherlands*. 4.
- BGR, B. für G. und R. (2019). Geoviewer. Abgerufen 14. Juni 2019, von <https://geoviewer.bgr.de/mapapps4/resources/apps/geoviewer/index.html?lang=de>
- Biswas, A., Bharti, V. K., Acharya, S., Pawar, D. D., & Singh, S. B. (2010). Sea buckthorn: New feed opportunity for poultry in cold arid Ladakh region of India. *World's Poultry Science Journal*, 66(4), 707–714. <https://doi.org/10.1017/S004393391000067X>
- BMEL, B. für E. und L. (2017). *Deutschland, wie es isst – Der BMEL-Ernährungsreport 2018*. 28.
- Boddenberg, M., Frauenlob, M. H., Gunkel, L., Schmitz, S., Vaessen, F., & Blätzel-Mink, B. (2017). Solidarische Landwirtschaft als innovative Praxis – Potenziale für einen sozial-ökologischen Wandel. In M. Jaeger-Erben, J. Rückert-John, & M. Schäfer (Hrsg.), *Soziale Innovationen für nachhaltigen Konsum: Wissenschaftliche Perspektiven, Strategien der Förderung und gelebte Praxis* (S. 125–148). https://doi.org/10.1007/978-3-658-16545-1_6
- Böllersen, V. (2019). *Revival der Walnuss: Neues und altes Wissen zum Walnussanbau in Deutschland* (2. Auflage 2019). Kevelaer: OLV Organischer Landbau.
- Bormann, F. H., & Likens, G. (1994). *Pattern and Process in a Forested Ecosystem: Disturbance, Development and the Steady State Based on the Hubbard Brook Ecosystem Study*. Abgerufen von <https://www.springer.com/de/book/9780387943442>
- Boyd, C. E., & Gross, A. (2000). Water use and conservation for inland aquaculture ponds. *Fisheries Management and Ecology*, 7(1–2), 55–63. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2400.2000.00181.x>
- Brang, P., Hilfiker, S., Wasem, U., Schwyzer, A., & Wohlgemuth, T. (2015). Langzeitforschung auf Sturmflächen zeigt Potenzial und Grenzen der Naturverjüngung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 166, 147–158. <https://doi.org/10.3188/szf.2015.0147>
- Brix, M. (2006): Produktion in Agroforstsystemen- Lichtökologie. Online verfügbar: <http://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/brix.pdf>
- Brix, M., Bender, B., Spiecker, H. (2009). Wertholzproduktion in Agroforstsystemen. S. 251-262 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim.
- Bruins, H. J., Evenari, M., & Nessler, U. (1986). Rainwater-harvesting agriculture for food production in arid zones: The challenge of the African famine. *Applied Geography*, 6(1), 13–32. [https://doi.org/10.1016/0143-6228\(86\)90026-3](https://doi.org/10.1016/0143-6228(86)90026-3)
- Carlina, F. S., rew, A. T., Humrawali, H. A. K., John, K. C., Patricia, J. H. K., & Kian, H. O. (2012). Performance of chicken broilers fed with diets substituted with mulberry leaf powder. *African Journal of Biotechnology*, 11(94), 16106–16111. <https://doi.org/10.5897/AJB12.1622>
- Caron, C. (1994): Ramial Chipped Wood a basic tool for Regenerating Soils; groupe de coordination sur les bois rameaux, Université Laval, Québec.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5), e1400253. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>

- Cezar, R. M., Vezzani, F. M., Schwiderke, D. K., Gaiad, S., Brown, G. G., Seoane, C. E. S., & Froufe, L. C. M. (2015). Soil biological properties in multistrata successional agroforestry systems and in natural regeneration. *Agroforestry Systems*, 89(6), 1035–1047. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9833-7>
- Collinge, S. K. (1998). Spatial arrangement of habitat patches and corridors: Clues from ecological field experiments. *Landscape and Urban Planning*, 42(2–4), 157–168. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00085-1](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00085-1)
- Crawford, M. (2010). *Creating a Forest Garden: Working with nature to grow edible crops*. Green Books, Cambridge.
- Crawford, M. (2015). *Trees for Gardens, Orchards, and Permaculture*. Abgerufen von <https://www.chelseagreen.com/product/trees-for-gardens-orchards-and-permaculture/>
- Crawford, M. (2016). *How to Grow Your Own Nuts: Choosing, cultivating and harvesting nuts in your garden*. Green Books.
- Crews, T., & Rumsey, B. (2017). What Agriculture Can Learn from Native Ecosystems in Building Soil Organic Matter: A Review. *Sustainability*, 9(4), 578. <https://doi.org/10.3390/su9040578>
- Davis, M. A. (2009). *Invasion Biology*. OUP Oxford.
- Denslow, J. S. (1980). Patterns of plant species diversity during succession under different disturbance regimes. *Oecologia*, 46(1), 18–21. <https://doi.org/10.1007/BF00346960>
- Deutscher Wetterdienst (2018): Deutschlandwetter im Jahr 2018 - Pressemitteilung. Abgerufen unter https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschlandwetter_jahr2018_news.html?nn=16210
- Deutscher Wetterdienst. (2019). Wetter und Klima Freudenstadt. Abgerufen 14. Juni 2019, von https://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/baden-wuerttemberg/freudenstadt/_node.html
- Döring, T. F., Annicchiarico, P., Clarke, S., Haigh, Z., Jones, H. E., Pearce, H., ... Wolfe, M. S. (2015). Comparative analysis of performance and stability among composite cross populations, variety mixtures and pure lines of winter wheat in organic and conventional cropping systems. *Field Crops Research*, 183, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.08.009>
- Drewry, J. J., Lowe, J. A. H., & Paton, R. J. (2000). Effect of subsoiling on soil physical properties and pasture production on a Pallic Soil in Southland, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(2), 269–277. <https://doi.org/10.1080/00288233.2000.9513427>
- Duncan, S.; Krawczyk, T. (2017): Keyline Water Management: Field Research & Education in the Capital Region Soil Indicators Monitoring Program
abgerufen unter : <https://www.bcagclimateaction.ca/wp/wp-content/media/FI09-Keyline-Water-Management-CRD-2018-report.pdf>
- Ebeling, A., Pompe, S., Baade, J., Eisenhauer, N., Hillebrand, H., Proulx, R., ... Weisser, W. W. (2014). A trait-based experimental approach to understand the mechanisms underlying biodiversity–ecosystem functioning relationships. *Basic and Applied Ecology*, 15(3), 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.02.003>
- Ecker-Eckhofen, H., Klement, J., Rühmer, T., & Schantl, J. (2018). *Die Edelkastanie - Waldbaum und Obstgehölz - Sorten, Anbau, Pflege und Verarbeitung*. Graz: ARGE Zukunft Edelkastanie.
- Edwardsa, C. A., Groveb, T. L., & Harwoodc, R. R. (1993). The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 46, 23.
- Eisenhauer, N., Lanoue, A., Strecker, T., Scheu, S., Steinauer, K., Thakur, M. P., & Mommer, L. (2017). Root biomass and exudates link plant diversity with soil bacterial and fungal biomass. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep44641>
- Elevitch, C., Mazaroli, D. N., & Ragone, D. (2018). *Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture*. <https://doi.org/10.20944/preprints201808.0094.v1>
- Elizondo, J., Varvaro, G., & Gras, G. (2019). *Regenerative Ranching: Maximum sustainable profit by ranching in nature's image*.
- Engel, J. (2018). Energie aus dem Stock: Robinie im Schnellumtrieb. Abgerufen 4. Juni 2019, von LFE Waldwissen website: https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/energie/lfe_robinie_energieholz/index_DE
- Ero-Gerätebau (2015): Ero-Grapeliner - Datenblatt, abgerufen am 10.07.2019 unter <http://www.fuhrmann.at/files/weinbauprojekte/ERO%20Grapeliner%206000.pdf>
- Ero-Gerätebau (2019): Binger Seilzug Laubschneider, abgerufen am 10.07.2019 unter <http://www.binger-seilzug.de>
- Evans, R. (1990). Water erosion in British farmers' fields- some causes, impacts, predictions. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 14(2), 199–219. <https://doi.org/10.1177/030913339001400203>
- Farahani, S. S., Fard, F. S., & Asoodar, M. A. (2016). *Effects of Contour Farming on Runoff and Soil Erosion Reduction: A Review Study*. 6.
- Farrar, J., Hawes, M., Jones, D., & Lindow, S. (2003). HOW ROOTS CONTROL THE FLUX OF CARBON TO THE RHIZOSPHERE. *Ecology*, 84(4), 827–837. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[0827:HRCTFQ\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[0827:HRCTFQ]2.0.CO;2)

- FAZ 2018: Mehr als eine Milliarde Euro Dürreschäden gemeldet; FAZ.net vom 12. August 2018 abgerufen unter: <https://web.archive.org/web/20180812161627/http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/mehr-als-eine-milliarde-euro-duerreschaeden-gemeldet-15734404.html>
- Ferguson, R. S., & Lovell, S. T. (2013). *Permaculture for Agroecology: Design, Practice, Movement, and Worldview. A Review*. 39.
- Ferrini, F. (2006). *Pollarding and its effects on tree physiology: a look to mature and senescent tree management in Italy*. 8.
- Fiedler, A. (LEL) (2018): Klimadaten. Schwäbisch Gmünd, mdl. Mitteilung, 28.10.2018. Telefonat
- Finckh, M. R., van Bruggen, A. H. C., & Tamm, L. (2017). *Plant Diseases and Their Management in Organic Agriculture*. <https://doi.org/10.1094/9780890544785>
- Fortier, J. M. (2014). *the market gardener - a successful grower's handook for small-scal organic farming*. Canada: New Society Publishers.
- Friedel, J. (2008). Aktive Nährstoffmobilisierung und ihre Bedeutung für die Düngungspraxis im Biologischen Landbau. *Umweltökologisches Symposium des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein*.
- Fuller, R. B., Walker, E. A., Killian, J. R., & Auburn University. (1970). *Approaching the benign environment*. University, Ala.: Published for Auburn University by University of Alabama Press.
- Gastó, J., Vera, L., Vieli, L., & Montalba, R. (2009). Sustainable Agriculture: Unifying Concepts. *Ciencia e investigación agraria*, 36(1), 5–26. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202009000100001>
- Götsch, E. (1992): Natural Succession of Species in Agroforestry and Soil Recovery; Fazenda Tres Colinas, Bahia.
- Götsch, E. (1994): Breack-Through in Agriculture; Fazenda Tres Colinas, Bahia.
- Häcker, T. (2019): mdl. Mitteilung zu Feuchtstellen Flächen des Hofes. Gespräch wurde durch Hofmann P. am 12.04.2019 geführt.
- Harrison, D. F., Cameron, K. C., & McLaren, R. G. (1994). Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 37(4), 559–567. <https://doi.org/10.1080/00288233.1994.9513095>
- Heinze, W. (1984). *Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Europa*. Ulmer.
- Hofmann, P. (2018): Betriebs- und Wirtschaftlichkeitskonzept alter Diakoniehof Schernbach - neuer Hof Sonnenwald, Gemeinschaft Sonnenwald eG, Schernbach
- Holt-Giménez, E., & Altieri, M. A. (2012). Agroecology, Food Sovereignty and the New Green Revolution. *Journal of Sustainable Agriculture*, 120904081412003. <https://doi.org/10.1080/10440046.2012.716388>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global warming of 1.5°C*. Abgerufen von <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- Izumi, Y., Yoshida, T., & Iijima, M. (2009). Effects of Subsoiling to the Non-tilled Field of Wheat-Soybean Rotation on the Root System Development, Water Uptake, and Yield. *Plant Production Science*, 12(3), 327–335. <https://doi.org/10.1626/pps.12.327>
- Jacke, D., & Toensmeier, E. (2006). *Edible Forest Gardens Vol. 2: Ecological Design and Practice for Temperate-Climate Permaculture: Ecological Vision and Theory for Temperate-climate Permaculture*. White River Junction, Vt: Chelsea Green Publishing Co.
- Jacobi, J., Andres, C., Schneider, M., Pillco, M., Calizaya, P., & Rist, S. (2014). Carbon stocks, tree diversity, and the role of organic certification in different cocoa production systems in Alto Beni, Bolivia. *Agroforestry Systems*, 88(6), 1117–1132. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9643-8>
- Jäger, M. (2017). *Agroforstsysteme - Hochstamm-, Wildobst- und Laubbäume mit Kulturpflanzen kombinieren*. Lindau: Agridea.
- Janßen, A., Grotehusmann, H., Schuppelius, T., & Hofmann, M. (2014). *FastWOOD: 'Matrix'-Pappelklone in Vergleichsprüfung überlegen*. 1.
- Janzen, H. H. (2015). Beyond carbon sequestration: Soil as conduit of solar energy: Soil carbon and energy. *European Journal of Soil Science*, 66(1), 19–32. <https://doi.org/10.1111/ejss.12194>
- Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2004). THE UPLIFT OF SOIL NUTRIENTS BY PLANTS: BIOGEOCHEMICAL CONSEQUENCES ACROSS SCALES. *Ecology*, 85(9), 2380–2389. <https://doi.org/10.1890/03-0245>
- Jones, C. (2015). life giving link between carbon and healthy topsoil. *Acres - Eco-Agriculture*, 45(3).
- Jose, S., Gillespie, A. R., & Pallardy, S. G. (2004). Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, 61–62(1–3), 237–255. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b>
- Jose, S., & Gordon, A. M. (2008). Ecological Knowledge and Agroforestry Design: An Introduction. In Shibu Jose & A. M. Gordon (Hrsg.), *Toward Agroforestry Design* (Bd. 4, S. 3–9). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6572-9_1

- Jose, Shibu. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Kastler, B., & Samimi, C. (2013). The Impact of Robinia pseudoacacia on Ground Vegetation and Plant Nutrient Matter in Donau-Auen National Park. *Th Symposium for Research in Protected Areas, Conference Volume*, 8.
- Keeney, D. (1990). Sustainable Agriculture: Definition and Concepts. *Journal of Production Agriculture*, 3(3), 281–285. <https://doi.org/10.2134/jpa1990.0281>
- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z., & Cerdà, A. (2018). The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 610–611, 997–1009. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077>
- Kempf, J. (2011). *Carbon Building. Carbon Cycling*. 41(10), 2.
- Keresztesi, B. (1983). Breeding and cultivation of black locust, Robinia pseudoacacia, in Hungary. *Forest Ecology and Management*, 6(3), 217–244. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(83\)80004-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(83)80004-8)
- Kinsey, N.; Walters, C. (2013): Hands-on agronomy - Understanding Soil Fertility & Fertilizer Use; 3. Aufl., Acres U.S.A., Austin.
- Koohafkan, P., Altieri, M. A., & Gimenez, E. H. (2012). Green Agriculture: Foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 10(1), 61–75. <https://doi.org/10.1080/14735903.2011.610206>
- Kullik, N. (2016): Entwicklungsszenario der landwirtschaftlichen Flächennutzung durch ein Keyline Kultivierungsmuster: Die Gemeinschaft Schloss Tempelhof in Deutschland. Abschlussarbeit im Studiengang Umweltwissenschaften zur Erlangung des Akademischen Grades „Bachelor of Science“ (B.Sc.) der Leuphana Universität Lüneburg.
- Kutschera, L., & Lichtenegger, E. (2002). *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*. Frankfurt, M: Stocker.
- LaCanne, C. E., & Lundgren, J. G. (2018). Regenerative agriculture: Merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ*, 6, e4428. <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Lemieux, G. & Germain D. (2000): Ramial chipped wood - the clue to a sustainable fertile soil; Université Laval, Quebec.
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Marquet, P. A., Ruffray, P. de, & Brisse, H. (2008). A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science*, 320(5884), 1768–1771. <https://doi.org/10.1126/science.1156831>
- Licht, W. (2012). *Zeigerpflanzen: Erkennen und Bestimmen* (1.,). Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., & Ménassieu, J. (2009). Agronomy for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 1–6. <https://doi.org/10.1051/agro:2008054>
- Lovell, S. T., Dupraz, C., Gold, M., Jose, S., Revord, R., Stanek, E., & Wolz, K. J. (2018). Temperate agroforestry research: Considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*, 92(5), 1397–1415. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0087-4>
- LUBW, L. für U. B.-W. (2019). Daten- und Kartendienst der LUBW - Synthetische Wind- und Ausbreitungsklassenstatistiken. Abgerufen 18. Juni 2019, von <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>
- Luthardt, V., Brauner, O., Dreger, F., Friedrich, S., Garbe, H., Hirsch, A.-K., Kabus, T., Krüger, G., Mauersberger, H., Meisel, J., Schmidt, D. †, Täuscher, L., Vahrson, W.-G., Witt, B. & M., Zeidler (2002). Methodenkatalog zum Monitoring- Programm der Ökosystemaren Umweltbeobachtung in den Biosphärenreservaten Brandenburgs für die Ökosystemtypen Acker, Grasland, Moor, Seen und Fließgewässer. 2. überarbeitete und ergänzte Ausgabe im Auftrag der LAGS Brandenburg
- Maarel, E. (1993). Some remarks on disturbance and its relations to diversity and stability. *Journal of Vegetation Science*, 4(6), 733–736. <https://doi.org/10.2307/3235608>
- Mace, G. M., Reyers, B., Alkemade, R., Biggs, R., Chapin, F. S., Cornell, S. E., ... Woodward, G. (2014). Approaches to defining a planetary boundary for biodiversity. *Global Environmental Change*, 28, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.07.009>
- Machatschek, M. (2002). *Laubgeschichten: Gebrauchswissen einer alten Baumwirtschaft, Speise- und Futterlaubkultur* (Reprint). Wien: Böhlau Wien.
- Malanson, G. P. (1984). Intensity as a Third Factor of Disturbance Regime and Its Effect on Species Diversity. *Oikos*, 43(3), 411. <https://doi.org/10.2307/3544165>
- Malézieux, E. (2012). Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 15–29. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., ... Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 43–62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>

- Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Mtambanengwe, F., Chikowo, R., & Giller, K. E. (2013). Participatory action research (PAR) as an entry point for supporting climate change adaptation by smallholder farmers in Africa. *Environmental Development*, 5, 6–22. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2012.11.001>
- Marschner, H., & Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Abgerufen von <https://rds-hoh.ibs-bw.de/link?kid=1652219692>
- Maurer, W. D., & Haase, B. (2009). HOLZPRODUKTION AUF FORSTGENETISCHER GRUNDLAGE IM HINBLICK AUF KLIMAWANDEL UND ROHSTOFFVERKNAPPUNG. *Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz*, 241.
- McConkey, B. G., Ulrich, D. J., & Dyck, F. B. (1997). Slope position and subsoiling effects on soil water and spring wheat yield. *Canadian Journal of Soil Science*, 77(1), 83–90. <https://doi.org/10.4141/S95-067>
- Miller, C. A., & Davenport, A. G. (1998). Guidelines for the calculation of wind speed-ups in complex terrain. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74–76, 189–197. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(98\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(98)00016-6)
- Mollison, B. (1988). *Permaculture: A Designers' Manual*. Tagari Publications.
- Mosch, G., & Bäcker, G. (2003). *Laubschneider für den Weinbau*. Abgerufen von <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/4686.pdf>
- Morhart, C.; Springmann, S.; Spiecker, H. (2015): Leitfaden zur Ästung von Edellaubbaumarten; IWW, Uni Freiburg.
- Morhart, C. et al. (2016): Wertholzproduktion in Agroforst-Systemen - Ein Leitfaden für die Praxis; IWW Freiburg.
- Moshki, A., & Lamersdorf, N. P. (2011). Symbiotic nitrogen fixation in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) seedlings from four seed sources. *Journal of Forestry Research*, 22(4), 689–692. <https://doi.org/10.1007/s11676-011-0212-6>
- Müller, D.-K. (1997): Wildfruchtarten für Biotopverbundsysteme. S. 177–182 in: Schriftenreihe des Fachgebietes
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654–1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Nair, P., Nair, V., Mohan Kumar, B., & Showalter, J. (2010). Carbon Sequestration in Agroforestry Systems. *Advances in Agronomy*, 108, 237–307. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08005-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08005-3)
- Ottow, J. C. G. (2011). *Mikrobiologie von Böden: Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik* (2011. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer.
- Pavlov, G. (2015). *Understanding the Application of Keyline Geometry*. Abgerufen von http://permatronc.ressources-permaculture.fr/Ajoute-des-fichiers-ici/EBOOK_Understanding_the_Application_of_Keyline_Geometry_%5bENGLISH%5d.pdf
- Perkins, R. (2016). *Making Small Farms Work - a pragmatic whole system approach to profitable regenerative agriculture*. ridgedale permaculture.
- Peruzzi (2019): Schlegelmäher und Rebholzhäcksler, abgerufen am 10.07.19 um: <http://peruzzo-deutschland.de/content.html?page=schlegelmaeher&sessID=&login=>
- PFAF Plant Database. (2019). Abgerufen 4. Juni 2019, von <https://pfaf.org>
- Pfanz, H., & Aschan, G. (2001). The Existence of Bark and Stem Photosynthesis in Woody Plants and Its Significance for the Overall Carbon Gain. An Eco-Physiological and Ecological Approach. In K. Esser, U. Lüttge, J. W. Kadereit, & W. Beyschlag (Hrsg.), *Progress in Botany: Genetics Physiology Systematics Ecology* (S. 477–510). https://doi.org/10.1007/978-3-642-56849-7_19
- Pickett, S. T. A., Collins, S. L., & Armesto, J. J. (1987). Models, mechanisms and pathways of succession. *The Botanical Review*, 53(3), 335–371. <https://doi.org/10.1007/BF02858321>
- Pikul, J. L., & Aase, J. K. (2003). Water Infiltration and Storage affected by Subsoiling and Subsequent Tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 67(3), 859–866. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.8590>
- Piotrowski, J. S., & Rillig, M. C. (2008). Succession of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Patterns, Causes, and Considerations for Organic Agriculture. In *Advances in Agronomy* (Bd. 97, S. 111–130). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)00003-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00003-X)
- Ponder, F., & Tadros, S. H. (1985). Juglone concentration in soil beneath black walnut interplanted with nitrogen-fixing species. *Journal of Chemical Ecology*, 11(7), 937–942. <https://doi.org/10.1007/BF01012079>
- Ponte, P. I. P., Prates, J. A. M., Crespo, J. P., Crespo, D. G., Mourao, J. L., Alves, S. P., ... Fontes, C. M. G. A. (2008). Restricting the Intake of a Cereal-Based Feed in Free-Range-Pastured Poultry: Effects on Performance and Meat Quality. *Poultry Science*, 87(10), 2032–2042. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00522>
- Porder, S., & Chadwick, O. A. (2009). Climate and soil-age constraints on nutrient uplift and retention by plants. *Ecology*, 90(3), 623–636. <https://doi.org/10.1890/07-1739.1>

- Possit, K. (2012). Bachelorarbeit: Auswirkungen von Windschutzhecken auf Bodenfeuchte und Evaporation sowie auf Biomasseertrag und Bestockungsgrad landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.
- Poux, X., & Aubert, P.-M. (2018). *Une Europe agroécologique en 2050: une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine* (S. 78). l'Institut du développement durable et des relations internationales.
- Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441–446. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0114-0>
- Qin, H., Gao, W., Ma, Y., Ma, L., Yin, C., Chen, Z., & Chen, C. (2008). Effects of Subsoiling on Soil Moisture Under No-Tillage for Two Years. *Agricultural Sciences in China*, 7(1), 88–95. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60026-7](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60026-7)
- Rasse, D. P., Rumpel, C., & Dignac, M.-F. (2005). Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil*, 269(1–2), 341–356. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0907-y>
- Reeg, T., Hampel J., Hohlfeld, F., Mathiak, G., Rusdea, E. (2009). Agroforstsysteme aus Sicht des Naturschutzes. S. : 301- 312 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch-Verlag, Weinheim.
- Regenerative Agriculture Initiative, & Carbon Underground. (2017, Februar 24). *What is Regenerative Agriculture?* Abgerufen von <https://regenerationinternational.org/2017/02/24/what-is-regenerative-agriculture/>
- Reich L (2010) Why I'm not a Permaculturist. In: Gard. Rant. abgerufen am 10.07.19 unter <https://www.gardenrant.com/2010/03/why-im-not-a-permaculturist.html>
- Reif, A., Bauhaus, J., Brucker, U., Kratzer, R., & Schmiedinger, A. (2009). Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes. *Bundesumweltministerium (BMU)*, 128.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S. I., Lambin, E., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <https://doi.org/10.5751/ES-03180-140232>
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., ... Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1), 4–17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
- Röcksch, T. (2005): Internationaler Stand der Erntetechnologie bei Sanddorn, HU-Berlin, Institut für Gartenbauwissenschaft, online verfügbar: http://www.sanddorn.net/Stand_Erntetechnologie.pdf
- Röhricht, Ch., & Ruscher, K. (2004). *Anbauempfehlungen für schnellwachsende Baumarten*. Abgerufen von http://www.schnepf-pro-lignum.de/uploads/pdf/Anbauempfehlungen_f%C3%BCr_schnellwachsende_Baumarten.pdf
- Röhrig, E., Bartsch, N., & Lüpke, B. (2006). *Waldbau auf ökologischer Grundlage: 91 Tabellen* (7., vollst. aktual. Aufl.). Stuttgart: UTB.
- Roloff, A. (1996). *Gehölze: Bestimmung, Herkunft und Lebensbereiche, Eigenschaften und Verwendung / Andreas Roloff; Andreas Bärtels*. Stuttgart: Ulmer.
- Rueß, F. (2012). Überlegungen zu den technischen Anforderungen an eine Baumschnittmaschine für den Einsatz im Obstbau [Html]. Abgerufen 16. Juni 2019, von Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt Wein- und Obstbau Weinsberg website: <http://www.lvwo-bw.de/pb/Lde/Startseite/Fachinformationen/Ueberlegungen+zu+den+technischen+Anforderungen+an+eine+Baumschnittmaschine+fuer+den+Einsatz+im+Obstbau>
- Rutter, P., & Wiegrefe, S. (2015). *Growing Hybrid Hazelnuts: The New Resilient Crop for a Changing Climate*. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing Co.
- Savory, A., & Butterfield, J. (2016). *Holistic Management, Third Edition: A Commonsense Revolution to Restore Our Environment*. Island Press.
- Schade, J. (2013): Pionier im märkischen Sand - Auf den Spuren des Sanddorns in Brandenburg; Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Potsdam.
- Scherr, S. J. (1991). On-farm research: The challenges of agroforestry. *Agroforestry Systems*, 15(2–3), 95–110. <https://doi.org/10.1007/BF00120183>
- Schmid, A. (2002). Biologischer Anbau von Strauchbeeren. *Forschungsinstitut für biologischenLandbau FiBL*, 28.
- Scholes, R. J., & Biggs, R. (2005). A biodiversity intactness index. *Nature*, 434(7029), 45–49. <https://doi.org/10.1038/nature03289>
- Schoop, G. (2015). Kiwanbau im Hausgarten. *AG Fruchtpflanzen*, 3.
- Schweffler, J., Schmal, A. (2014): Wildobst im Raum Berlin-Brandenburg zwischen Ökonomie und Ökologie: Forschungsgegenstand, Nischenprodukt, Trendsetter oder Naturschutzobjekt?; Bachelorarbeit Hochschule Neubrandenburg.
- Scott, R., & Sullivan, W. C. (2007). A review of suitable companion crops for black walnut. *Agroforestry Systems*, 71(3), 185–193. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9071-8>

- Sebek, P., Altman, J., Platek, M., & Cizek, L. (2013). Is Active Management the Key to the Conservation of Saproxyl Biodiversity? Pollarding Promotes the Formation of Tree Hollows. *PLOS ONE*, 8(3), e60456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060456>
- Silvertown, J. (2004). Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(11), 605–611. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.003>
- Siminski, A., dos Santos, K. L., & Wendt, J. G. N. (2016). Rescuing agroforestry as strategy for agriculture in Southern Brazil. *Journal of Forestry Research*, 27(4), 739–746. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0232-3>
- Smith, J., Pearce, B. D., & Wolfe, M. S. (2012). A European perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(04), 323–332. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000597>
- Sohi, S.T. et al. (2010): A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil; S. 47–82 in *Advances in Agronomy* Vol. 105.
- Soloviev, E.; Landau, G. (2016): Levels of Regenerative Agriculture. URL: <http://www.terra-genesis.com/regenerative-agriculture/> (Zugriff am 23.09.2016)
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855–1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Swift, M. J., Izac, A.-M. N., & van Noordwijk, M. (2004). Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 113–134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>
- Tacio, H. D. (1993). Sloping Agricultural Land Technology (SALT): A sustainable agroforestry scheme for the uplands. *Agroforestry Systems*, 22(2), 145–152. <https://doi.org/10.1007/BF00705143>
- Tatschl, S. (2015). *555 Obstsorten für den Permakulturgarten und -balkon: Planen, auswählen, ernten, genießen* (1. Aufl.). Innsbruck: Löwenzahn.
- Umweltministerium Baden-Württemberg. (2018). *Förderung von Präventionsmaßnahmen zum Schutz vor Schäden durch den Wolf*. Abgerufen von https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Naturschutz/Biologische_Vielfalt/180525_Erlass_Praeventionsmassnahmen_Wolf.pdf
- UN (2013): The Millennium Development Goals Report. New York. 59 S.
- WALD 21. (2018). *Sortenbeschreibung Weide*. Abgerufen von https://www.wald21.com/media/wald21_sortenliste_weide_download.pdf
- WBGU (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation ; [Hauptgutachten. 2., veränd. Aufl. Berlin: Wiss. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). Online verfügbar unter <http://www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2011-transformation/>.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503–515. <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>
- Whitefield, P. (2002): How to make a forest garden; Permanent Publications, Hampshire
- Wilson, M., Tylor Lovell, S., & Carter, T. (2018). *Perennial Pathways - Planting Tree Crops - DESIGNING & INSTALLING FARM-SCALE EDIBLE AGROFORESTRY*. Abgerufen von <https://www.northcentralsare.org/Educational-Resources/SARE-Project-Products/Perennial-Pathways-Planting-Tree-Crops>
- Wu, J., & David, J. L. (2002). A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: Theory and applications. *Ecological Modelling*, 153(1–2), 7–26. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(01\)00499-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(01)00499-9)
- Wühlisch, G. (2011). Kosten sparen gegenüber der Pflanzung Anlage von Kurzumtriebsplantagen mit Robinie durch Aussaat. *AFZ der Wald*, 18/2011.
- XiuZhen, W., & LiChun, Q. (2011). Influence of subsoiling to moisture of soil and root growth of maize. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 42(5), 630–633.
- Yeomans, P. A. (1973). *Water for every Farm: A Practical Irrigation Plan for Every Australian Property*. K.G. Murray Publishing Company Pty Ltd, Sydney, Australia.
- Young, K. J. (2017). Mimicking Nature: A Review of Successional Agroforestry Systems as an Analogue to Natural Regeneration of Secondary Forest Stands. In F. Montagnini (Hrsg.), *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (Bd. 12, S. 179–209). https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_8
- Zhalnina, K., Louie, K. B., Hao, Z., Mansoori, N., da Rocha, U. N., Shi, S., ... Brodie, E. L. (2018). Dynamic root exudate chemistry and microbial substrate preferences drive patterns in rhizosphere microbial community assembly. *Nature Microbiology*, 3(4), 470–480. <https://doi.org/10.1038/s41564-018-0129-3>

Abbildungsverzeichnis

Titelbild QGIS Printlayout-Karte (eigene Darstellung 2019)

Kopfbau bild 1. Seite, abgerufen am 10..07.19 unter:
<http://tbh-kleve.eu/typisch-niederrhein-kopfbaeume/>

Abb. 1 *Planetare Belastungsgrenzen (die grüne Fläche repräsentiert den sicheren Handlungsraum, die roten Keile zeigen den Grad der Gefährdung verschiedener Aspekte) nach Rockström et al. (2009)*- eigene Darstellung auf Basis von Abgerufen am 10.06.2019 unter: <http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/anthropozoen/248882/planetare-grenzen>

Abb. 2 Pilz : Bakterienverhältnis. Eigene Überarbeitung auf der Grundlage: Abgerufen am 10.06.2019 unter:
<https://www.pinterest.de/pin/345440233901913666/>

Abb. 3 *Biomassezuwachs im Verhältnis zum Sukzessionsstadium, nach Bohrmann & Likens (1994)*-> Ordner nach (Bohrmann & Likens, 1994)

Abb. 4 *Keyline-Kultivierung (gestrichelt) ausgehend von der Keyline in einem Tal. Nach Yeomans (1973)* Abgerufen am 10.06.2019 unter: <http://www.keyline.com.au/liqasset.htm>

Abb. 5 Klimadiagramm Freudenstadt von 1961-1991 gemittelt, von Bernhard Mühr (2007), Abgerufen am 10.6.2019 unter:
<http://www.klimadiagramme.de/Deutschland/freudenstadt2.html>

Abb. 6 Standort: Winterhärtezonen in Mitteleuropa (Schernbach ist rot markiert). Eigene Überarbeitung auf der Grundlage: HEINZE und SCHREIBER 1984: Mitteilungen der Deutschen-Dendrologischen-Gesellschaft, abgerufen am 10..07.19 unter: http://www.deutsches-pflanzen-forum.de/images/klima_karte_gross.jpg

Abb. 7 *Vergleich der Vorgewändeflächen eines linearen und Keyline-orientierten AFS (Flst. 123) (eigene Darstellung mit QGIS)*

Abb.8 Gefälle Karte von Schernbach (eigene Darstellung QGIS)

Abb. 9 Gefälle Karte von Göttelfinden (eigene Darstellung QGIS)

Abb. 10 Kopfbäume <https://gerhardlaukoetter.wordpress.com/2014/01/23/kopfbaume/>

Abb. 11 *Acker-AFS Streifen im Querschnitt. Eigene Darstellung 2019*

Abb. 12: *Laubschneider mit rotierenden Messern im Frontanbau*, abgerufen am 10..07.19 unter:
<http://www.binger-seilzug.de/index.php?id=17>

Abb. 13: *Schlegelmäher mit Pickup*, abgerufen am 10..07.19 unter:
https://www.peruzzo.it/en/green_pro/trincia-con-raccolta-mod-canguro-normal-super/

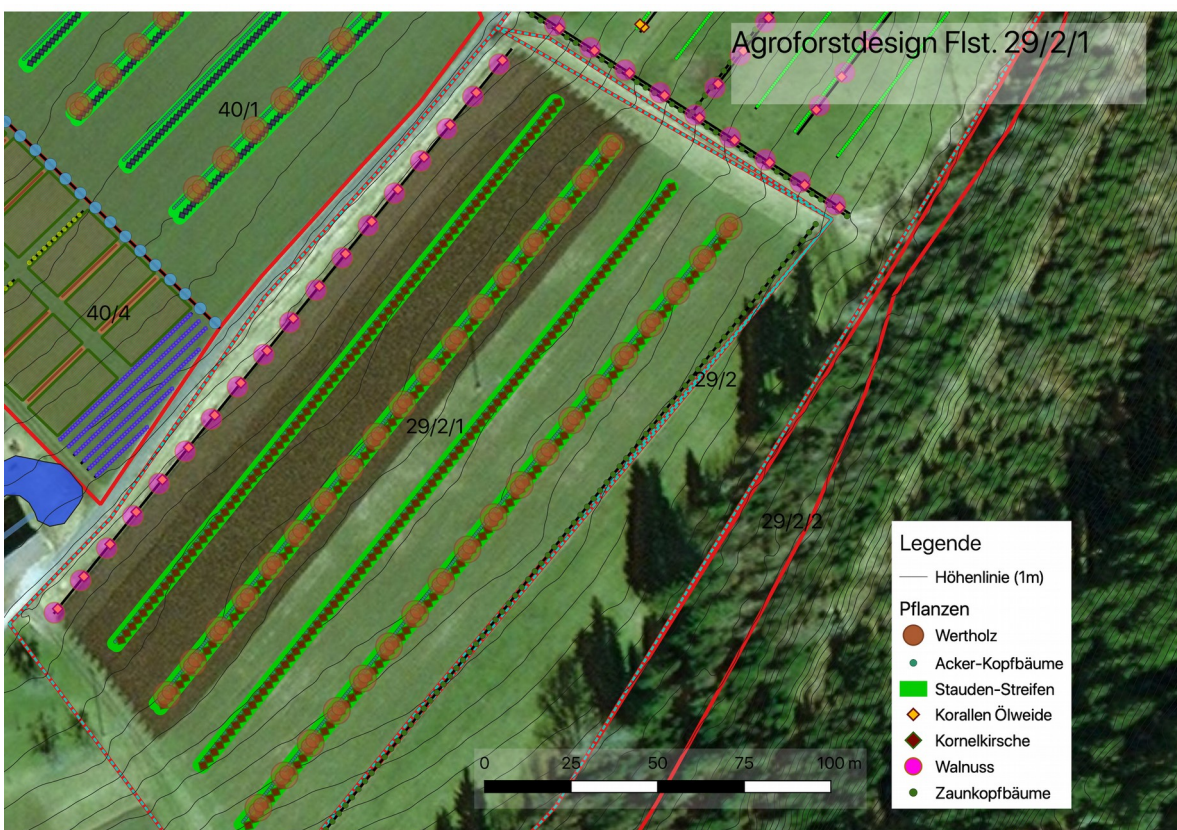
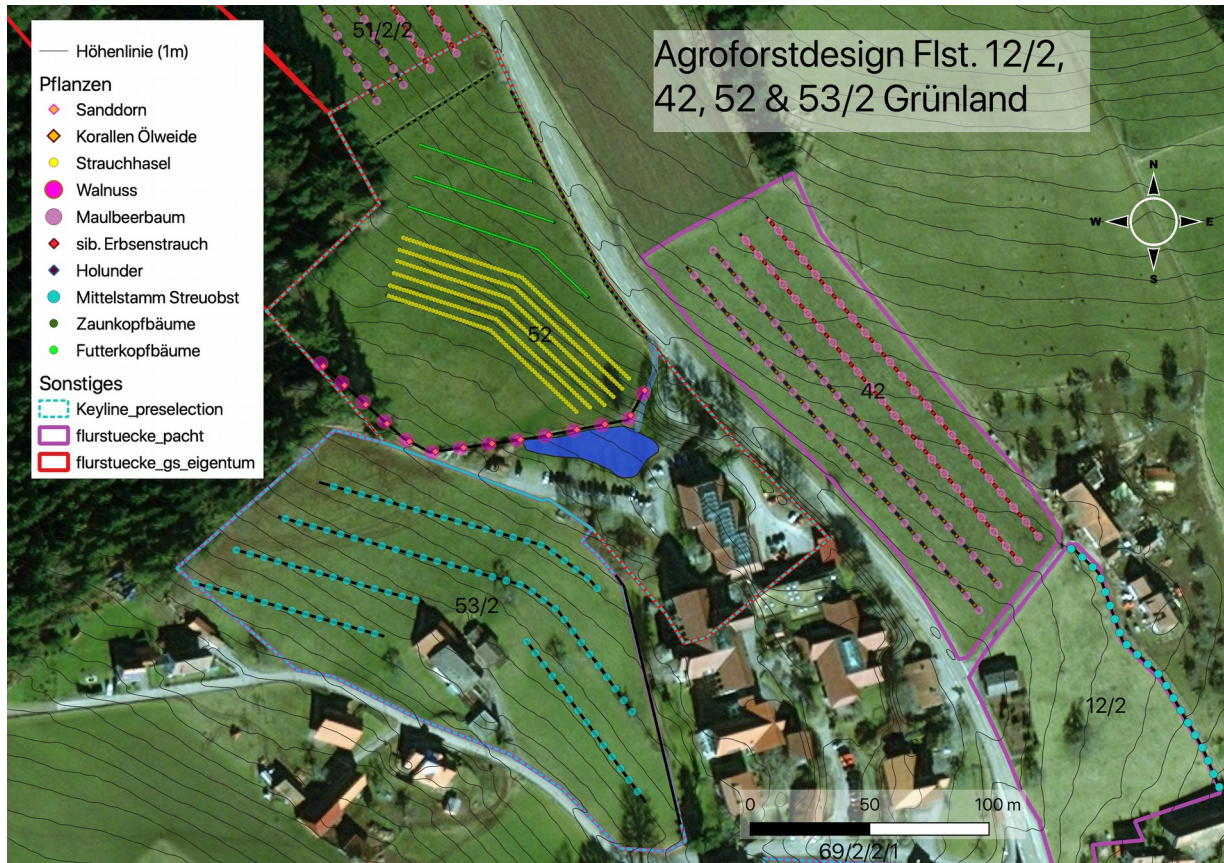
Abb. 14: *Traubenvollernter für den Heckanbau*, abgerufen am 10..07.19 unter:
https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&biw=1440&bih=804&tbm=isch&sa=1&ei=2owKXfn_NYueUITmo9AH&q=Gregoire+PMM+in+action&oq=Gregoire+PMM+in+action&gs_l=img.3...12563.14952..15237...0.0..0.143.1319.0j10.....0....1..gws-wiz-img.IMYnTVPUmtM#imgsrc=hZKvJWF3NuB8IM:

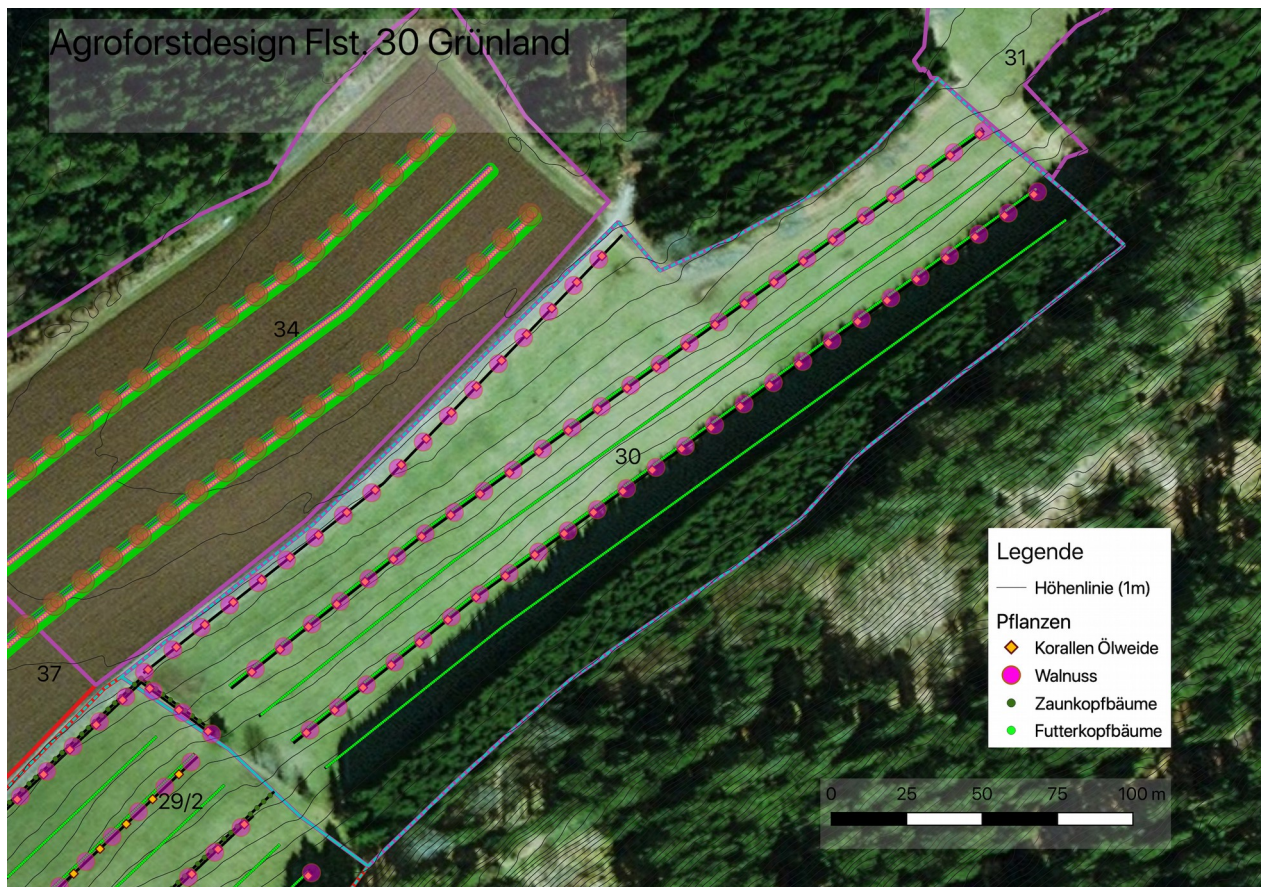
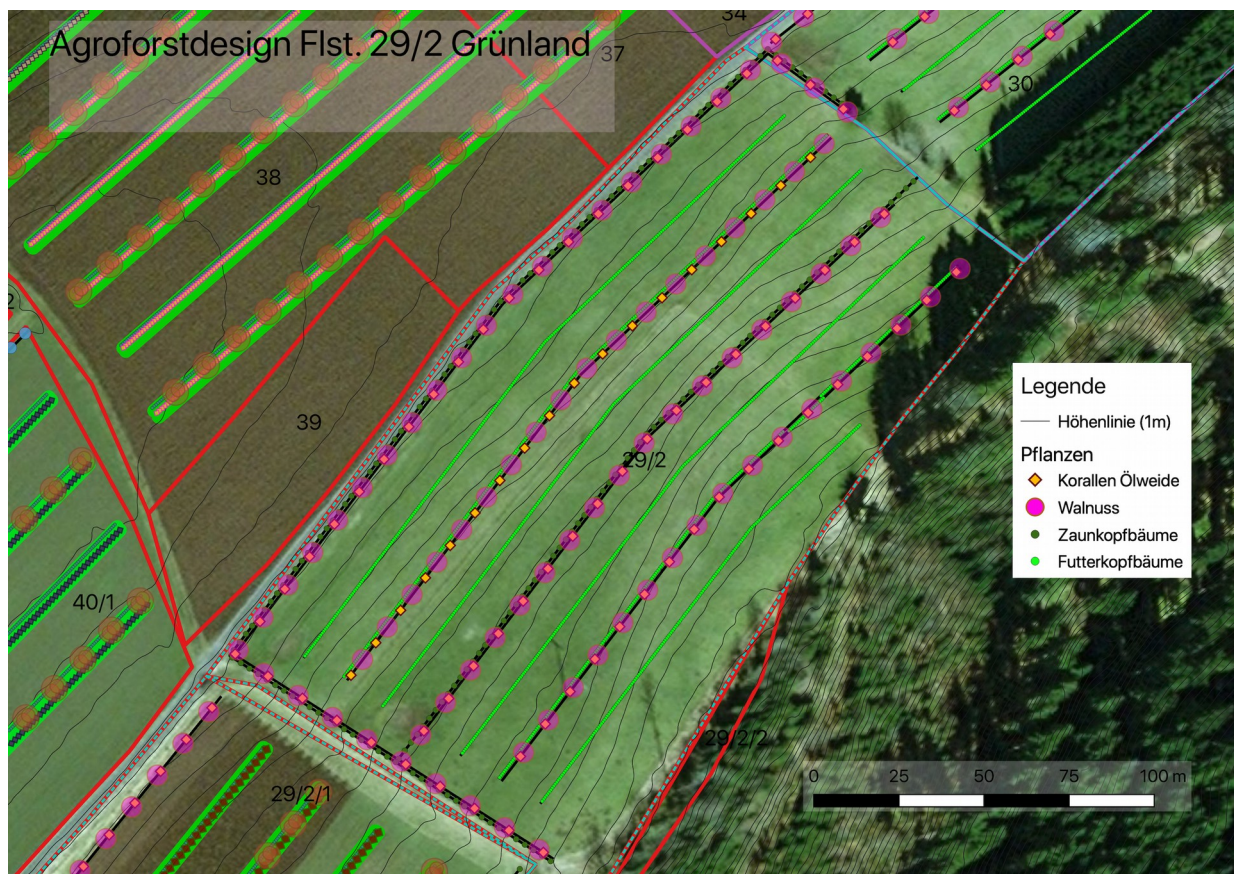
Abb. 15 *Agroforstdesigns Gesamtkarte Schernbach (eigene Darstellung mit QGIS)*

Abb. 16: *Agroforstdesigns Gesamtkarte Göttelfingen (eigene Darstellung mit QGIS)*

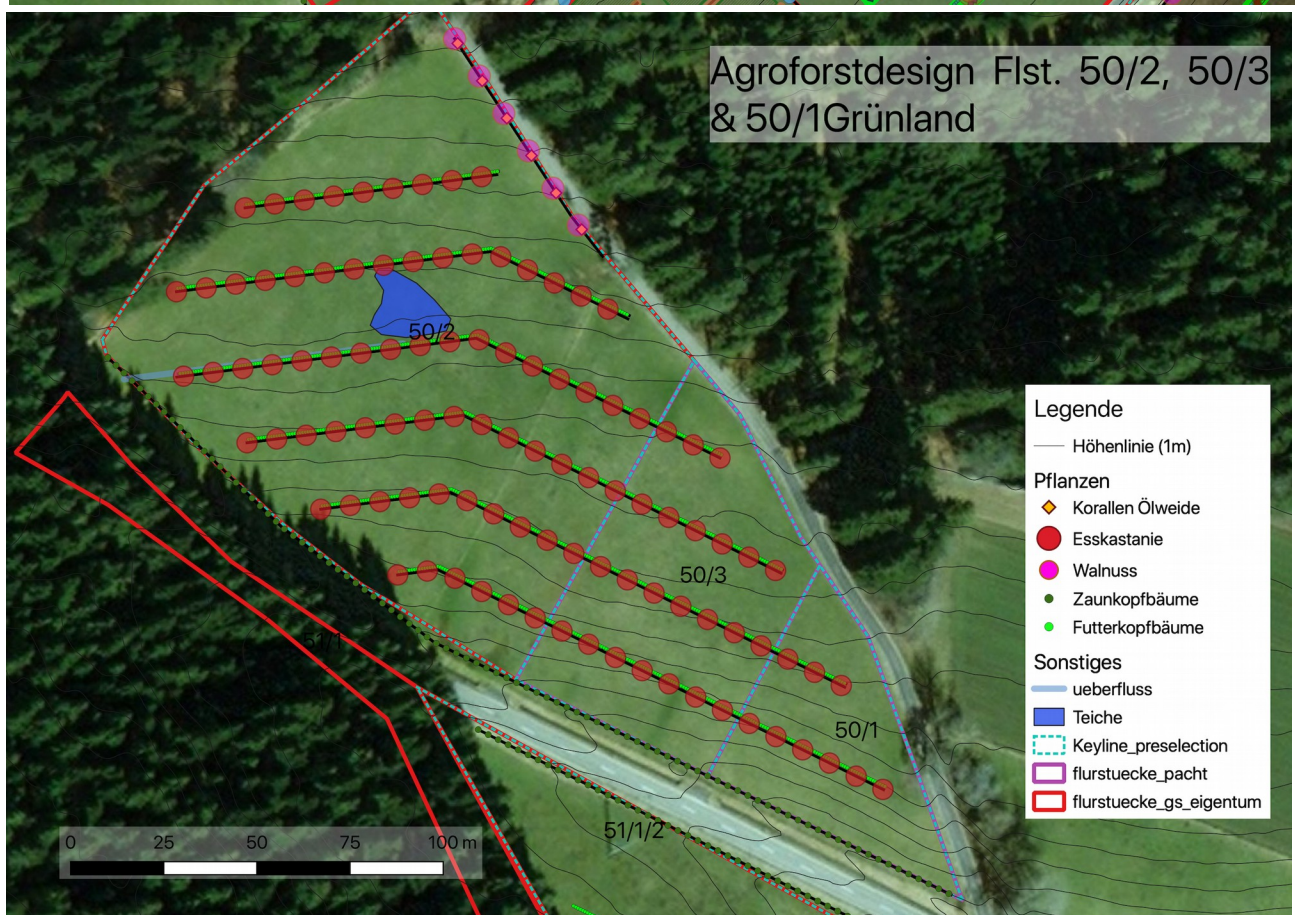
Anhang

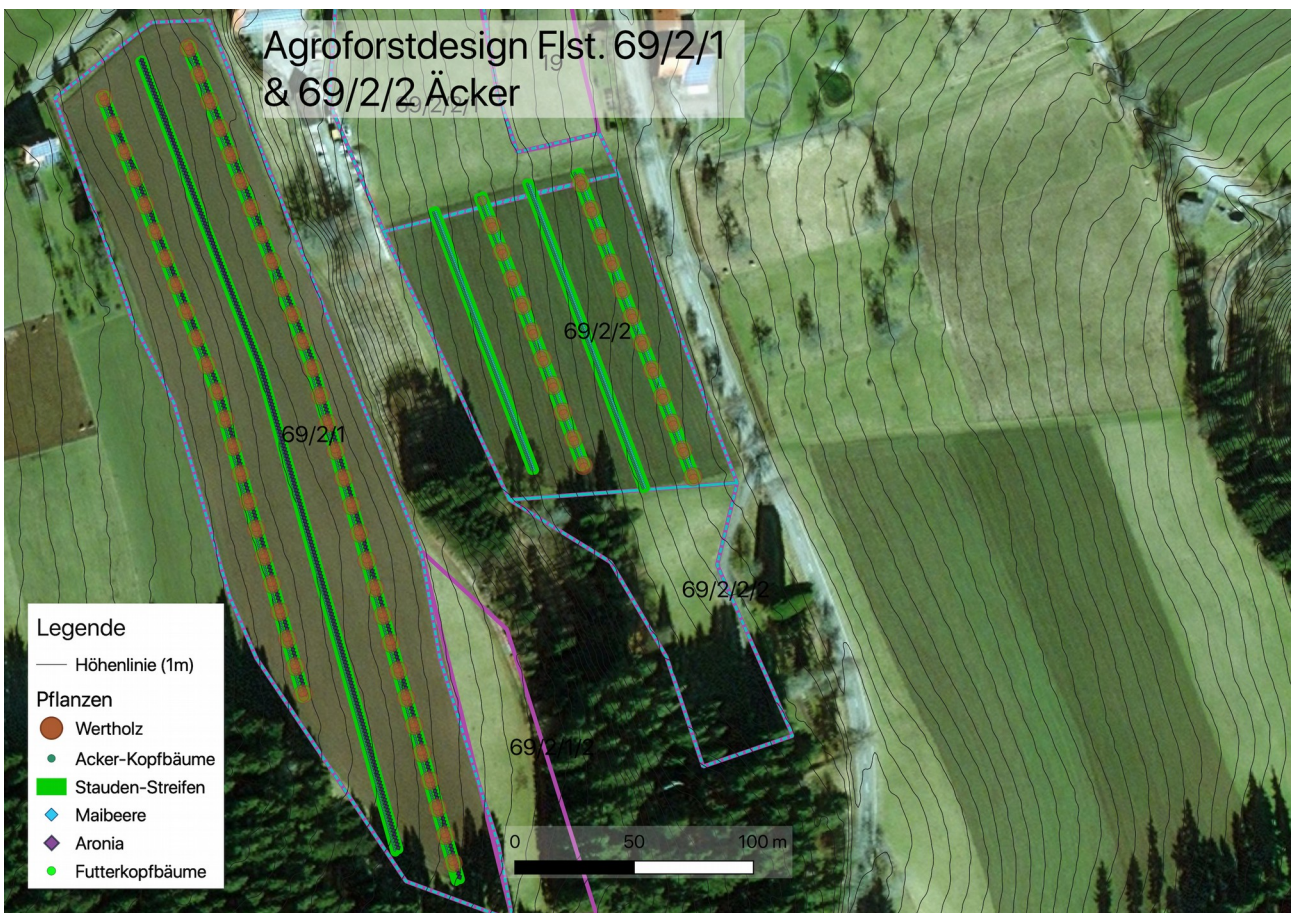
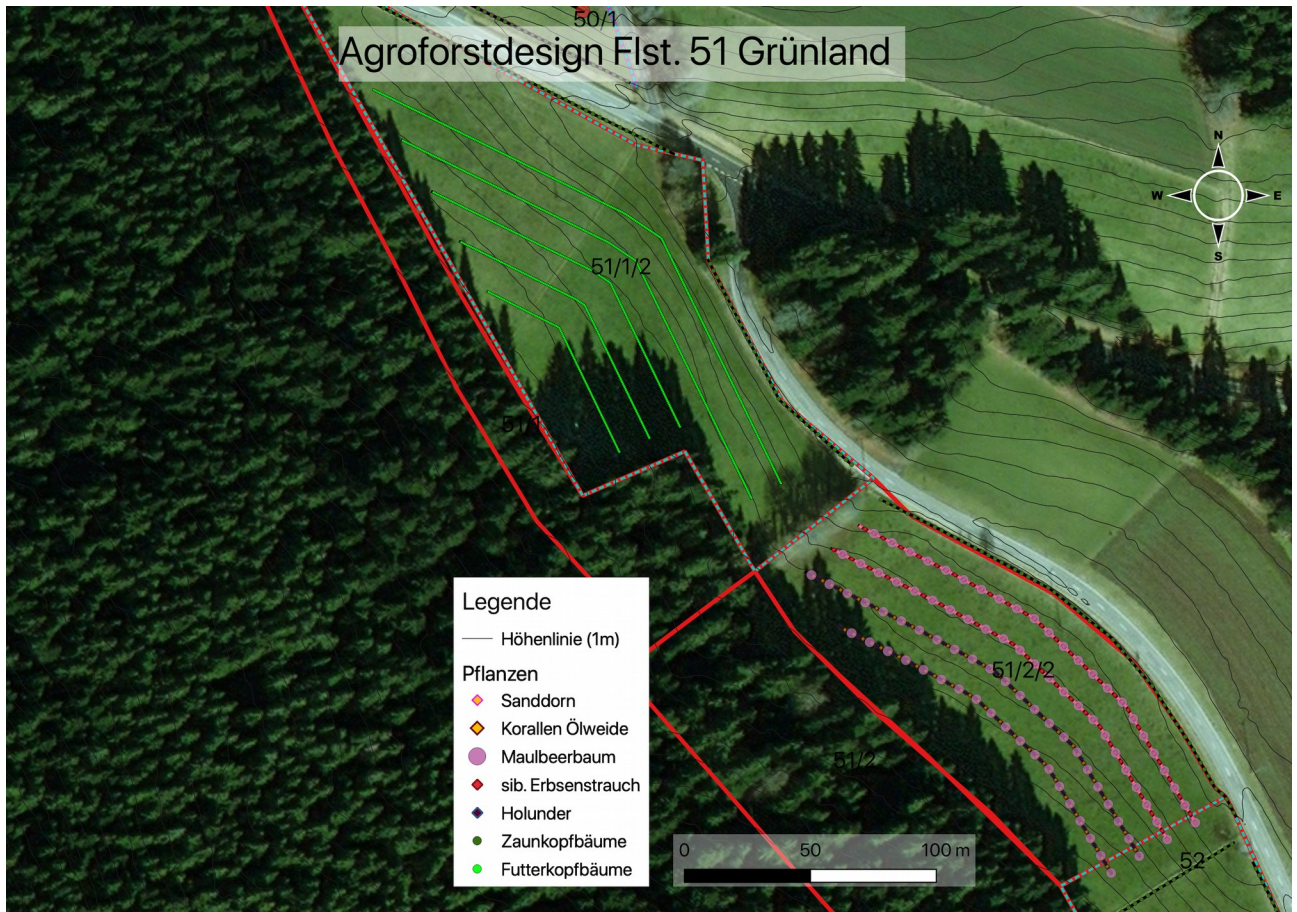
Die Karten der AFS-Designs einzelner Flst. sind von Paul Hofmann mit QGIS erstellt worden. Alle Karten sind exakt Nord-Südausgerichtet.

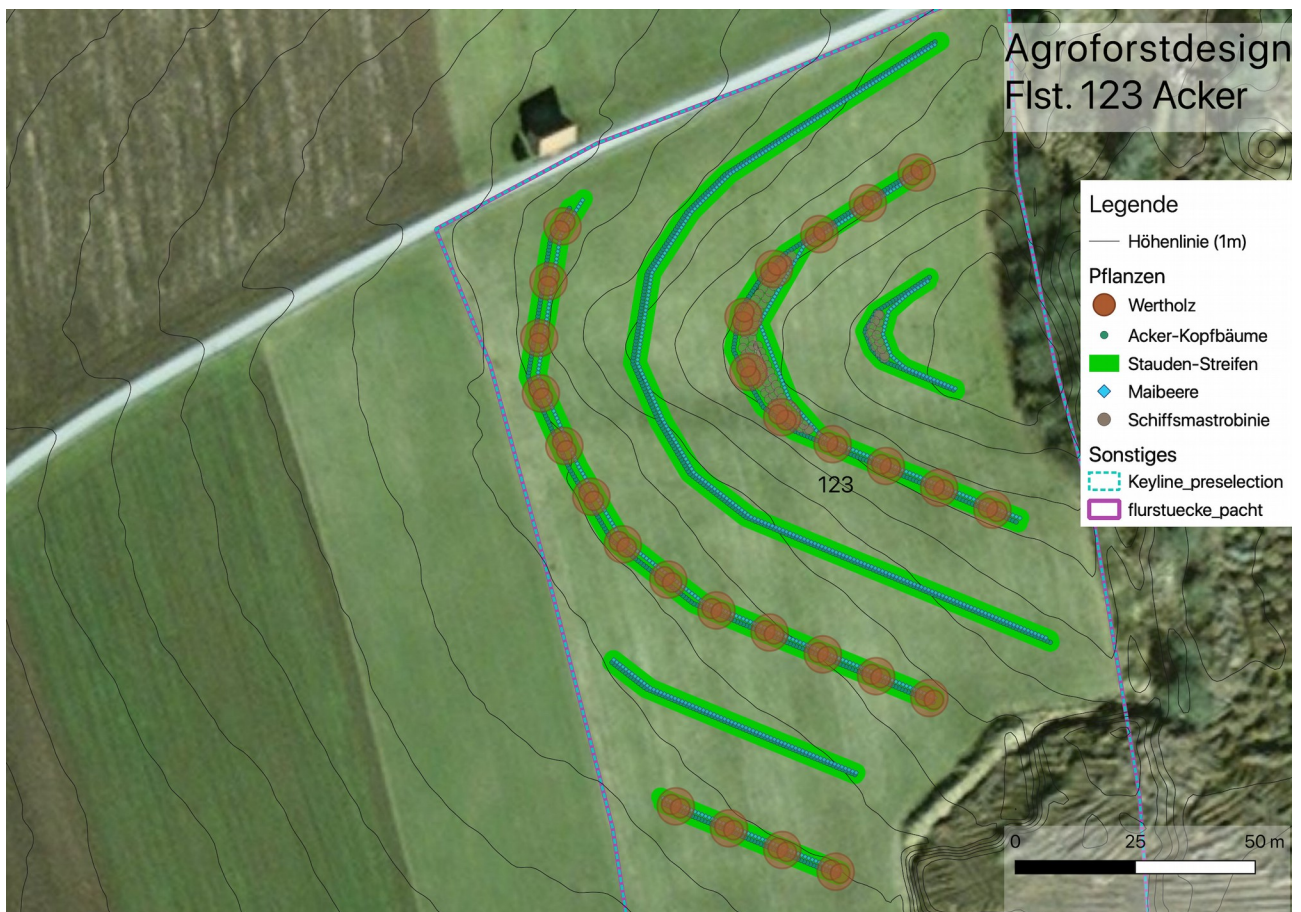
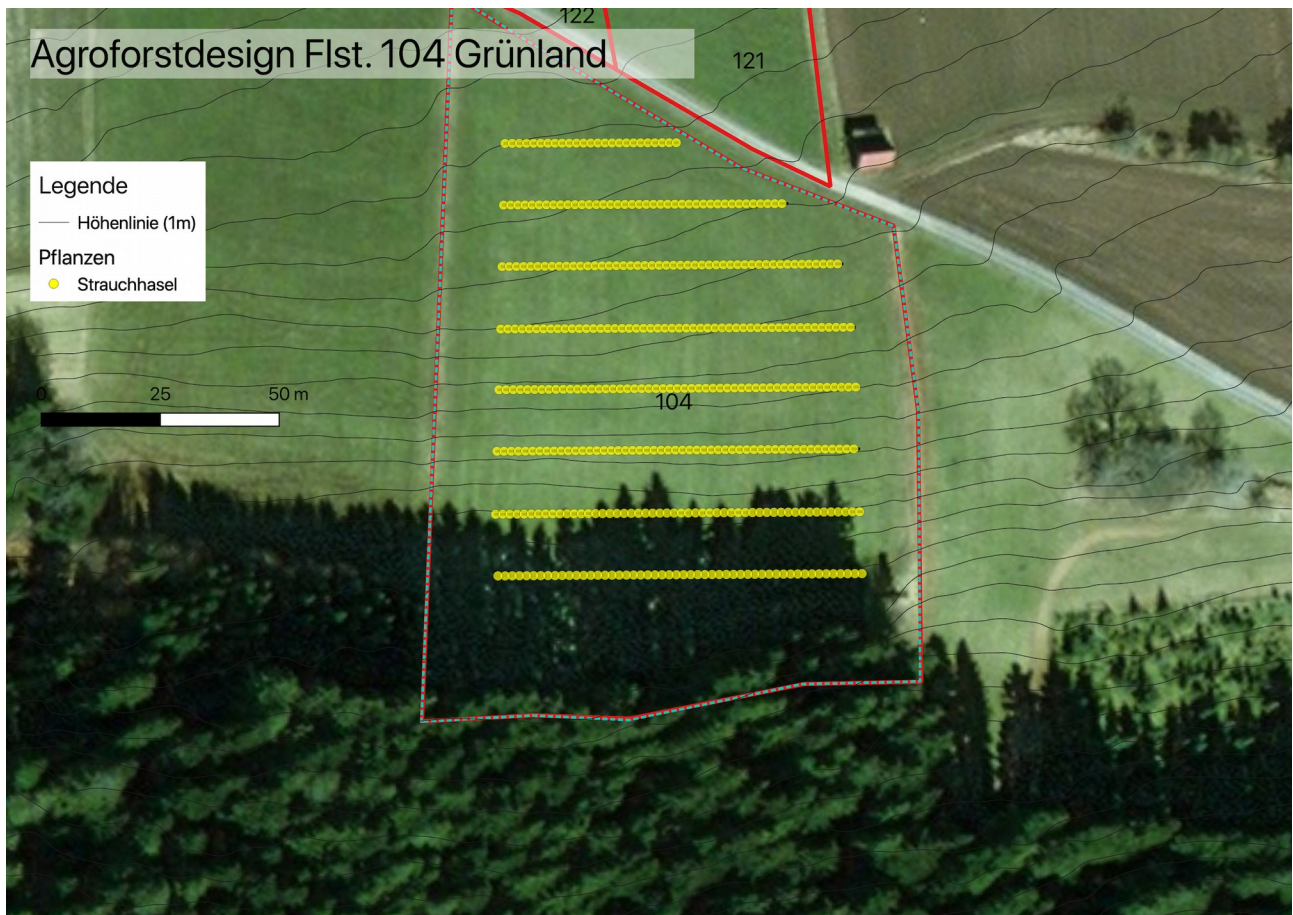


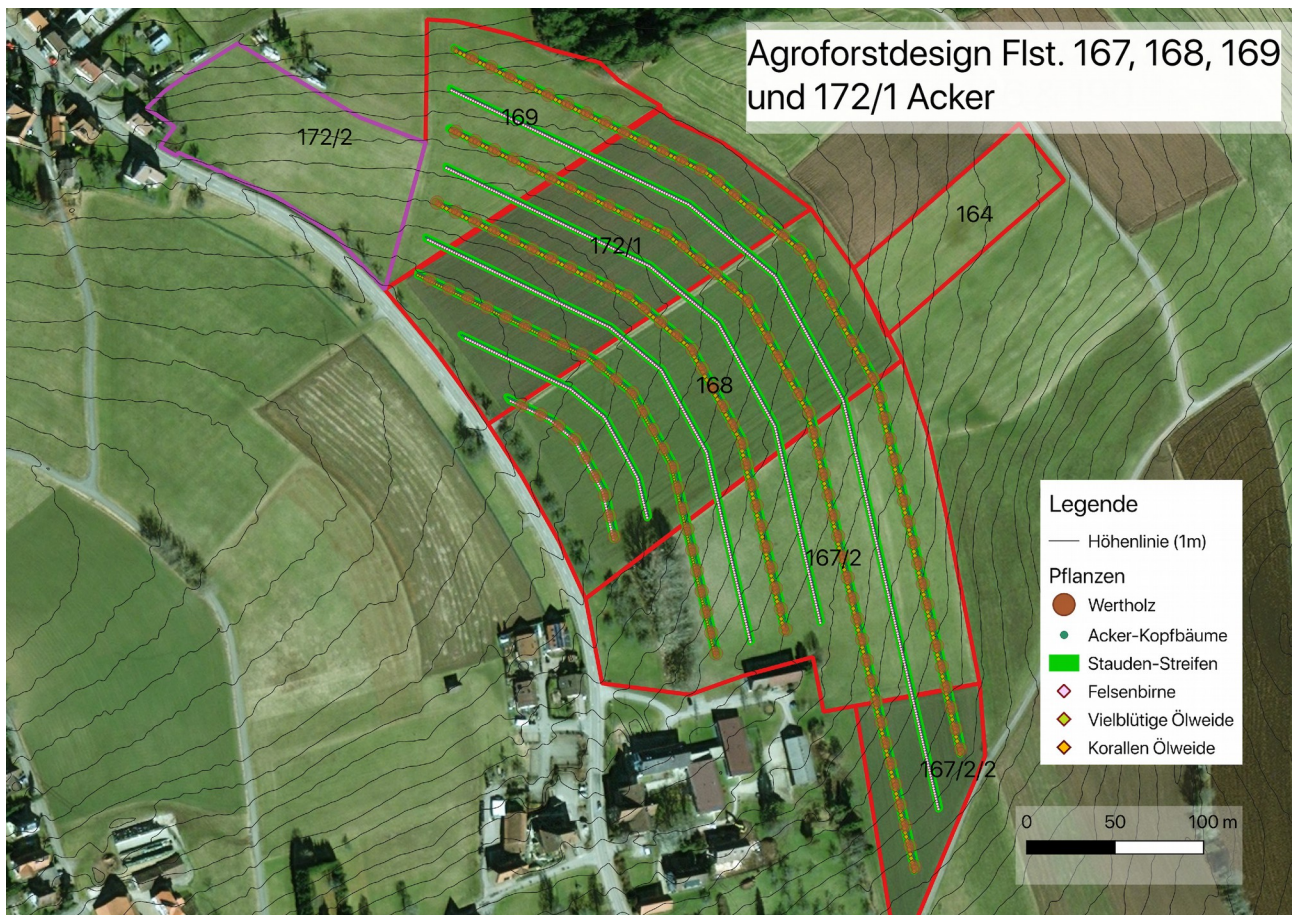


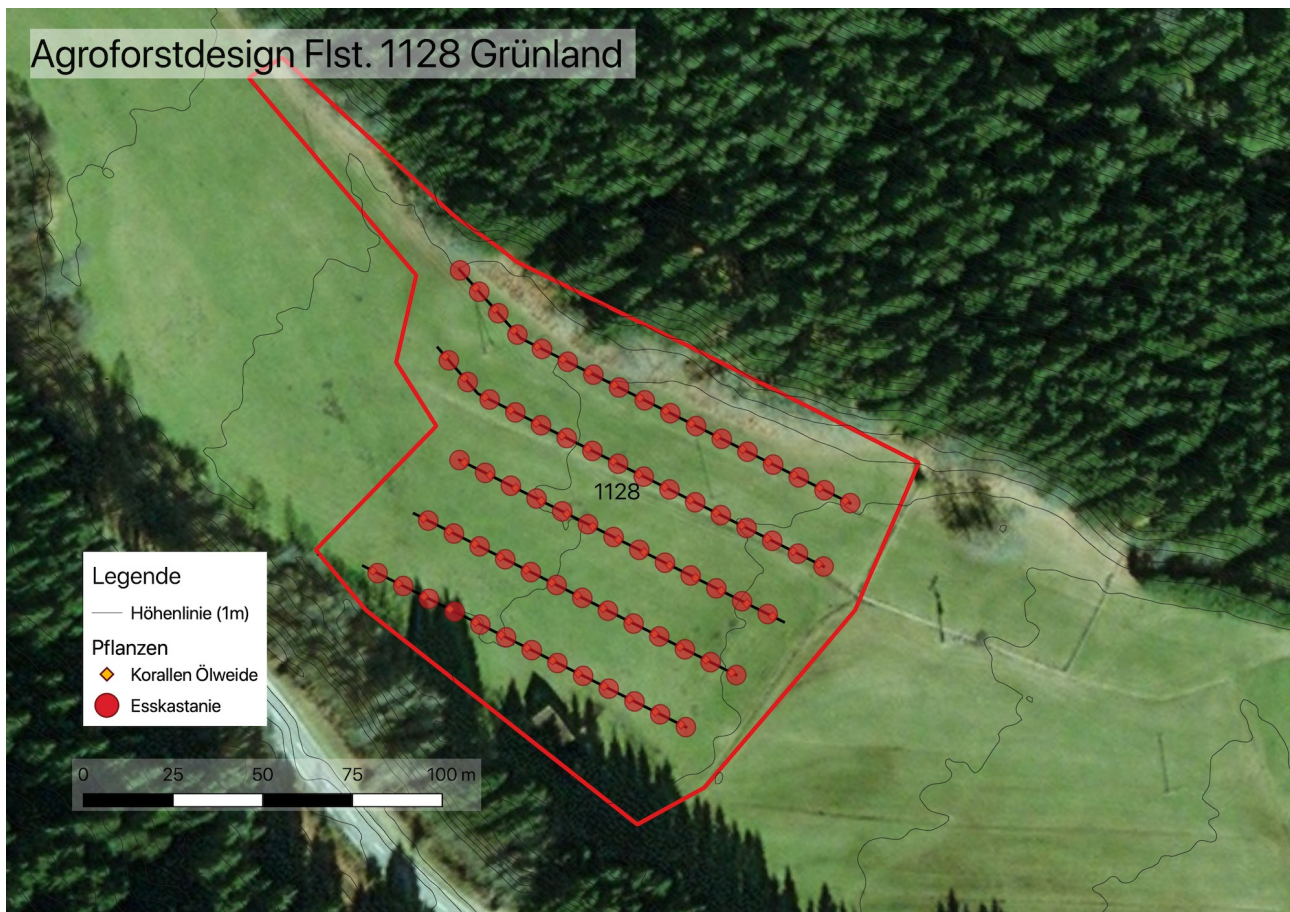












Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Entwicklung multifunktionaler Agroforstsysteme für die gemäßigten Breitengrade - Integration von agrarökologischen Prinzipien, Sukzessionsdynamiken und Keyline-Design am Beispiel “Hof Sonnenwald”“

selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt, sowie keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und die den verwendeten Quellen und Hilfsmitteln entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum, Unterschrift