

RHEINISCHE FRIEDRICH – WILHELMS – UNIVERSITÄT BONN

Landwirtschaftliche Fakultät

BACHELORARBEIT

im Rahmen des Bachelorstudiengangs

Agrarwissenschaften

zur Erlangung des Grades

„Bachelor of Science“

**Auswahl von Gehölzarten für ein multifunktionales silvopastorales
Agroforstsystem im Grafschafter Lösshügelland**

vorgelegt von

Caroline Lawnik

Matrikelnummer: 2863996

am: 24.11.2020

1. Prüfer: Prof. Dr. Thomas Döring
2. Prüfer: Dr. Martin Berg

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	3
Abbildungs- & Tabellenverzeichnis	3
1. Einleitung.....	4
2. Literaturoauswertung	5
2.1 Begriffsdefinition	5
2.2 SPS: Wissensstand & Eigenschaften	6
3. Zielsetzung und Fragestellung	11
4. Material und Methoden	11
5. Beschreibung des Fallbeispiels	13
5.1 Standorteigenschaften	13
5.2 Betriebsstruktur	14
5.3 Ziele des Betreibers.....	14
6. Auswahl der Gehölzarten	15
6.1 Salix sp.	15
6.2 Corylus sp.....	19
6.3 Morus sp.	23
6.4 Robinia pseudoacacia	26
6.5 Juglans sp.....	29
7. Pflanzmuster	33
8. Diskussion.....	37
8.1 Auswahl der Arten	37
8.2 Eignung der Arten.....	38
8.3 Wahl des Pflanzmusters.....	38
9. Schlussfolgerung	39
9.1 SPS als Werkzeug kleinbäuerlicher Betriebe?	39
9.2 Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf	40
10. Zusammenfassung.....	41
11. Literaturverzeichnis	43
12. Anhang	57
13. Eidesstattliche Erklärung.....	62

Abkürzungsverzeichnis

SPS	Silvopastorales Agroforstsystem
AFW	Agroforstwirtschaft. Hier gleichzusetzen mit AFS (Agroforstsysteme)
BD	Biodiversität
C	Kohlenstoff
N	Stickstoff
KT	kondensierte Tannine
L	Lignin
TM	Trockenmasse
RP	Rohprotein
LER	Land Equivalent Ratio = Landäquivalentverhältnis
PAR	photosynthetisch aktive Strahlung
bspw.	beispielsweise
u.a.	unter anderem
ggf.	gegebenenfalls
z.B.	zum Beispiel
ca.	circa

Abbildungs- & Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Veranschaulichung des Prozesses der Artenwahl.....	12
Abbildung 2: Luftbild der Beispielfläche (GeoBasisViewer RLP, 2012).....	13
Abbildung 3: Erosionsgefährdung nach Cross Compliance (geoflo RLP, 2020).....	14
Abbildung 4: Skizze des Pflanzmusters.....	36
Abbildung 5: Schaubild Gehölze, deren Funktionen und Eigenschaften.....	61
Tabelle 1: Wichtige Merkmale der Gehölzarten.....	58

1. Einleitung

Landwirte des 21. Jahrhunderts stehen vielen Herausforderungen gegenüber: Klimawandel und zunehmende Häufigkeit von Extremwetterereignissen, Flächenknappheit und der globale Druck zur Produktivitätssteigerung erschweren die Produktion nach den bisher gängigen Mustern (Easterling et al., 2000; Schwerin, 2012; Jose & Dollinger, 2019). Gleichzeitig findet ein gesellschaftlicher Wandel statt und das Konsumverhalten der deutschen Bevölkerung verändert sich. So stellt der BMEL-Ernährungsreport 2020 fest, dass 66% der Befragten Wert auf artgerechte Tierhaltung legen und der Grund für Fleischverzicht bei knapp über 40% in Sorge um Tierwohl und Klimawandel liegen. Doch neben den Forderungen nach Eingrenzung des Klimawandels, Konservierung der Biodiversität und Steigerung des Tierwohls, gibt oft auch die finanzielle Situation der Landwirte Anlass, über betriebliche Innovationen nachzudenken. So werden in Deutschland laut BMEL (2019b) 2019 über die Hälfte der Betriebe im Nebenerwerb bewirtschaftet und das Einkommen der Landwirte unterliegt oft marktbedingten Schwankungen. Überdies haben die finanziellen Förderungen der EU und zusätzliche betriebliche Diversifizierungsmaßnahmen wie die Direktvermarktung oder Erzeugung erneuerbarer Energien meist einen wesentlichen Anteil am Einkommen.

Die Agroforstwirtschaft (AFW) wird von einer Reihe von Autoren als eine Möglichkeit für Landwirte gesehen, sich der beschriebenen Situation anzupassen (Alavalapati & Nair, 2001; Tsonkova et al., 2012; Torralba et al., 2016; Kremen & Merenlender, 2018; Mosquera-Losada et al., 2018; Nyaruai et al., 2018). Insbesondere silvopastorale Agroforstsysteme (SPS), bei denen Tierhaltung und Gehölze auf einer Fläche kombiniert werden, bieten potentiell sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile und zeigen, dass die gezielte Kombination von Tieren und Pflanzen in der Landwirtschaft auch ein Werkzeug zur Minderung der klimatischen Veränderungen und des Artensterbens sein kann (Grado et al., 2001; Jose & Dollinger, 2019; Orefice et al., 2019). Die von Diversität und Multifunktionalität gekennzeichneten SPS zeigen das Potenzial, die mikroklimatischen Bedingungen des Standorts zu verändern und bieten Vorteile für Umwelt, Wasserqualität und die Rentabilität kleinbäuerlicher Betriebe (Jose et al., 2017; Nyaruai et al., 2018). Zudem besteht im Bereich des Tierwohls deutliches Potenzial zur Steigerung (Karki & Goodman, 2010). Darüber hinaus lässt sich eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, -kohlenstoffbindung, Nährstoffdynamiken und Feldkapazität, sowie Erosionsminderung und die Eindämmung evaporativer Verluste belegen (Hancock et al., 2020; Dold et al., 2019). Weiterhin zeigen untersuchte SPS häufig eine höhere Flächenproduktivität als konventionell bewirtschaftete Ackerflächen, da bspw. Licht besser genutzt wird (Zhang et al., 2018a).

Die vielen potenziellen Vorteile der Etablierung eines SPS machen das System attraktiv, aber die große Komplexität, hohe Ansprüche an den Bewirtschaftenden, wenig Forschungsergebnisse, die rechtlichen Rahmenbedingungen und die große Individualität der Systeme bergen für viele Landwirte Risiken und machen eine sorgfältige Planung notwendig (Workman et al., 2003; García de Jalón et al., 2018; Tsonkova et al., 2018).

Die Wahl der Gehölzarten ist hierbei ein entscheidender Erfolgsfaktor, da die Anlage eines SPS für einen langen Zeitraum erfolgt und sich diverse Arten sowohl aus ökologischen als auch ökonomischen Gründen nicht für jedes Vorhaben eignen. Zu geeigneten Arten für SPS in Deutschland gibt es bisher kaum Daten, daher soll im Rahmen dieser Arbeit anhand eines Fallbeispiels die Auswahl von Gehölzarten für ein multifunktionales, silvopastorales Agroforstsystem durchgeführt werden. Die Arten sollen dabei an die betrieblichen Bedürfnisse und Standorteigenschaften angepasst sein. In dieser Arbeit wird eine Methode für den Auswahlprozess vorgeschlagen.

2. Literaturlauswertung

2.1 Begriffsdefinition

Die Agroforstwirtschaft (AFW) ist eine multifunktionale Form der Landnutzung. Leakey (2017) definiert AFW im Allgemeinen als eine Form der Bewirtschaftung einer Fläche, bei der Gehölze mit Pflanzenproduktion oder Tierhaltung kombiniert werden. Gleichzeitig erweitert Leakey die Definition jedoch als ein dynamisches, ökologisch basiertes System, welches natürliche Ressourcen verwaltet, indem Bäume auf Acker- und Weidefläche integriert werden und so die kleinbäuerliche Produktion zum Vorteil von sozialen, ökonomischen und ökologischen Aspekten diversifiziert und erhält. Dies deckt sich mit der Definition von Jose et al. (2017), welche SPS als ein dauerfähiges ("sustainable") System charakterisieren, in dem Nutztiere gezielt mit Gehölzen und Weide auf einem Schlag zum wechselseitigen Vorteil kombiniert werden.

Die Überschneidung der Begriffsdefinitionen von AFW und SPS sowie die Tatsache, dass es diverse Kombinationen von pflanzlichen und tierischen Spezies mit- und untereinander gibt und auch der Ort und die Funktionsweise des Systems bedeutende Unterschiede in der Bezeichnung und Umsetzung ergeben, machen deutlich, dass derartige landwirtschaftliche Praktiken sich nicht ohne weiteres simplifizieren oder gar verallgemeinern lassen (Payne, 1985; Dupraz, 2005; Mosquera-Losada et al., 2009). Aufgrund dessen werden für diese Arbeit wissenschaftliche Veröffentlichungen zu beiden Themengebieten berücksichtigt.

Während man unter silvoarablen Systemen die Kombination von perennierenden Forstkulturen mit annualen Pflanzen im Acker- oder Futterbau versteht, bezeichnen

agrosilvopastorale Systeme, die Kombination von Tierproduktion und Ackerbau mit Gehölzen (Böhm & Hübner, 2020). Kurzumtriebsplantagen bezeichnen eine Pflanzung von Gehölzen oder Energiepflanzen zur baldigen Gewinnung von Biomasse beziehungsweise nachwachsenden Rohstoffen (Bundestag, 2017). Neben der Bewirtschaftung lässt auch die Funktion der Gehölzstreifen weitere Begriffsunterscheidungen zu wie beispielsweise Windschutzstreifen und Gewässerrandstreifen (Böhm & Hübner, 2020). Alley Cropping Systeme bezeichnen eine Praktik, bei der schnell wachsende holzige Pflanzen als Gehölzstreifen in der landwirtschaftlichen Kultur angelegt werden. Dies geschieht häufig, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, zur Schaffung von Nahrungs-, Nist-, Versteck- und Überwinterungsmöglichkeiten, Erosionskontrolle, Kohlenstoffbindung im Boden oder Verbesserung der Wasserqualität (Tsonkova et al., 2014; Wolz et al., 2018; Becker et al., 2019; Hancock et al., 2020).

2.2 SPS: Wissensstand & Eigenschaften

In verschiedenen Veröffentlichungen werden gemeinsame Eigenschaften von SPS herausgearbeitet. Diese Eigenschaften sollen im Folgenden genauer beleuchtet werden, da sie für diese Arbeit eine Orientierung bieten. In diesem Zusammenhang wird der aktuelle Wissensstand kurz dargestellt.

1. Eigenschaft: hohe biologische Diversität

Die Relevanz der Biodiversität (BD) für die Funktion und Resilienz von Ökosystemen, besonders unter umweltbedingten Stresssituationen, wurde bereits mehrfach bestätigt (Vogel et al., 2012; Baert et al., 2018; Barry et al., 2019; Guerrero-Ramírez et al., 2019). Auch die ökologische Stabilität und Nachhaltigkeit von Forstkulturen wird durch Widerstandsfähigkeit und Resilienz (vom Autor gleichgesetzt mit Wiederherstellbarkeit) geprägt (Larsen, 1995). Ob eine Vielfalt an Sträuchern und Bäumen genauso auf Weideflächen von Rindern die BD erhalten und sogar fördern kann, wurde für eine Fläche mit "lebenden Zäunen" aus heimischen, exotischen und spontan entstehenden Gehölzstreifen bestätigt (Pulido-Santacruz & Renjifo, 2010). So ergab auch der Vergleich von Bestäubungsvorgängen in Monokulturen mit denen in Agroforstsysteme (AFS) in der kühl-gemäßigten Zone, dass bspw. dem Verlust bestäubender Insekten durch agroforstwirtschaftliche Praktiken entgegengewirkt werden kann (Varah et al., 2020).

Nach Analyse der intra- und interspezifischen genetischen Diversität und der biogeochemischen Kreisläufe einer Fläche, ergeben sich standortspezifische Handlungsmöglichkeiten und Limitationen, welche anschließend in Management und Design einfließen sollen (Larsen, 1995). Dieses Vorgehen könnte auch auf die Gehölzstreifen in SPS übertragen werden. Auch Stinner et al. (1997) betrachten BD als Organisationsprinzip im

Management von Agrarökosystemen. Nach der Definition von AFS von Gold & Garrett (2009), muss die Landnutzung zusätzlich neben der biologischen auch strukturelle und funktionale Diversität aufweisen.

2. Eigenschaft: Zeitliche, funktionale und räumliche (strukturelle) Heterogenität

SPS sind nicht nur Systeme mit hoher räumlicher, zeitlicher und physikalischer Heterogenität, sondern die Komponenten werden auch gezielt in dem System integriert, um Synergieeffekte zu nutzen und negative Wechselwirkungen zu minimieren (Klopfenstein et al., 1997; Olson et al., 2000; Gold & Garrett, 2009; Jose et al., 2017). Weiterhin betonen die Autoren, dass das System als Gesamtheit betrachtet und bewirtschaftet wird und auch unter diesem Gesichtspunkt erstellt werden sollte (Klopfenstein et al., 1997; Gold & Garrett, 2009).

Die Integration verschiedener, dem Standort angepasster Pflanzen (und Tiere) in einem mehrschichtigen, mehrdimensionalen und interaktiven System ermöglicht die Produktion mehrerer Güter aus demselben System - unter Umständen also eine Erhöhung der Flächenproduktivität - und bietet gleichzeitig ökologische Vorteile (Klopfenstein et al., 1997; Gold & Garrett, 2009; Torralba et al., 2016; Becker et al., 2019). Weiterhin kommen Jose et al. (2017) zu dem Schluss, dass nur so eine optimierte Ressourcennutzung möglich ist. Als Beispiel kann hier die gesteigerte Ausnutzung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) angeführt werden: Laut einer Untersuchung liegt die gesamte Lichtinterzeption in SPS 54% über der von reinen Baumkulturen und 23% über der von reinen Ackerkulturen (Zhang et al. 2018a). Olson et al. (2000) weisen auch auf die vor Ort vorkommenden hierarchischen Beziehungen der Komponenten im Ökosystem hin. Dieser hohe Grad an Komplexität bedeutet jedoch meist, dass es eines intensiven Managements bedarf.

3. Eigenschaft: Intensives Management und intensiv betreute Beweidung

Die Integration von Tieren in ein landwirtschaftliches System mit Gehölzen und Weidefläche birgt unter anderem die Gefahr für Bodenverdichtung, Beschädigung der Wurzeln oder Bäume und der Überweidung (Jose et al., 2017). Beweidung kann das Arteninventar und die Bodeneigenschaften eines Standortes positiv als auch negativ verändern (Ayorlo et al., 2011; Olden et al., 2017). Somit verlangt ein SPS nach intensiver Betreuung und bedeutet oft besonders anfänglich einen Mehraufwand für den Betreiber. Nach Badgery et al. (2017) ist die Tierproduktion pro Hektar in intensiven, schnellen Weiderotationen bei hoher Besatzdichte am größten, wobei die kontinuierliche Beweidung gleichwertige Ergebnisse erzielte (hier 56 Tage Regenerationszeit und 13,6 Schafe/Hektar). In einer weiteren Veröffentlichung wurden jedoch für Bodenbedeckung und Krautmasse, insbesondere in trockenen Herbst, bei Rotationssystemen mit 20 Weideflächen höhere Werte festgestellt als unter kontinuierlicher Beweidung (Badgery et al., 2012). So weisen auch Oates & Jackson (2015) auf potenziell

höhere Quantität und Qualität der Futterpflanzen und ein größeres Potenzial zur Kohlenstoffbindung in intensiv gemanagten Rotationsweiden hin (hier im Vergleich mit kontinuierlicher Weide und zwei weiteren Beweidungssystemen). Veröffentlichungen unterschiedlicher Autoren bestätigen ebenfalls das Kohlenstoffbindungspotential von SPS (Montagnini & Nair, 2004; Beckert et al., 2016; Dold et al., 2019; Minasny et al., 2018). Ergänzend dazu kommen andere Untersuchungen zu dem Schluss, dass intensive Rotationsbeweidung im SPS eine Praktik ist, die helfen kann, Bodenverdichtung und negative Einflüsse auf den Porenanteil des Bodens zu minimieren, da nicht beweidete Teile des Systems eine Chance zur Regeneration haben (Southorn & Cattle, 2004; Jose et al., 2017). Sharrow (2007) weist jedoch darauf hin, dass die durch Beweidung herbeigeführten Veränderungen der Bodeneigenschaften mit dem Alter der Bäume und der Intensität der Beweidung variieren können. Dies verdeutlicht erneut, wie dynamisch das System und wie essenziell dessen intensive Betreuung ist. Eine Befragung von 20 Landwirten, die SPS bewirtschaften hat ergeben, dass es in intensiv betreuten Systemen nicht zum Entrinden der Bäume durch Tiere kommt, was verdeutlicht, dass sorgfältiges Management potenzielle negative Wechselwirkungen der Komponenten minimieren oder ausschließen kann (Orefice et al., 2017). Auch Badgery et al. (2012) weisen darauf hin, dass unzureichend betreute Beweidung Nachteile mit sich bringen kann.

4. Eigenschaft: Tiere im System

Tiere sind natürlicher Bestandteil eines jeden Ökosystems. Die Integration von Tieren in eine landwirtschaftliche Praktik, die nicht primär der Tierproduktion dient, ermöglicht Kreisläufe (z.B. Wasser, Nährstoffe) innerhalb des Betriebs zu schließen und die Abhängigkeit von externen Produkten und Dienstleistungen zu verringern.

Besonders die Aussicht auf eine Steigerung des Tierwohls und damit gesteigerte Tiergesundheit und -produktivität in SPS kann für Landwirte wichtig sein, da sich das Konsumverhalten der deutschen Bevölkerung verändert (BMEL, 2019b). In Anbetracht des Klimawandels scheinen SPS zusätzlich an Attraktivität zu gewinnen, da die Qualität und Biomasseproduktion der Futterpflanzen - insbesondere C3-Gräser der kühl-gemäßigten Zone - in SPS im Vergleich zu offenen Weidelandschaften in Dürrezeiten häufig größer ist (Badgery et al., 2012; Clavijo et al., 2017; Ford et al. 2017; Orefice et al., 2019). In Dürrezeiten werden hier zusätzlich alternative Futterquellen wie Blätter oder Früchte der Baum- und Strauchschicht geboten, die so auch das Nährstoffangebot für die Tiere erweitern (Jose & Dollinger, 2019).

Nach Clason & Sharrow (2000) und Kallenbach (2009) bieten Rinder in SPS außerdem eine Möglichkeit auf schnelle Kapitalerträge. Neben den ökologischen Vorteilen der Integration von Tieren in ein System, das durch lange Kapitalbindung und hohe Anfangsinvestitionen

gekennzeichnet ist, scheinen SPS also auch profitabel sein zu können (Grado et al., 2001; Badgery et al., 2012).

Höhere Nährwerte und Biomasseproduktion der Futterpflanzen in SPS im Vergleich zur offenen Weide konnten mehrfach nachgewiesen werden (Buergler et al., 2006; Pang et al., 2017; Orefice et al., 2019). Orefice et al. untersuchten 2019 in diesem Kontext insbesondere die Futterpflanzenproduktion in SPS mit 40% Beschattung durch Bäume und 60% verfügbarer PAR und kamen zu dem Schluss, dass mit Ausnahme des ersten Jahres frisch etablierte SPS mit offenen Weiden mithalten können. Dabei wird die Aussaat geeigneter Futterpflanzen zu Beginn der Etablierung des Systems von den Autoren empfohlen.

Auch die mikroklimatischen Bedingungen können durch silvopastorale Praktiken zum Vorteil der Tiere beeinflusst werden (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Karki & Goodman, 2010; Karki & Goodman, 2014; Pang et al., 2017). Dazu wird eine Ausdehnung der Weidesaison in temperierten Zonen vermutet (Feldhake, 2002; Kallenbach et al., 2006; Jose et al., 2017). Überdies nutzen die Tiere in SPS die zur Verfügung stehende Weidefläche laut Karki & Goodman (2010) gleichmäßiger.

Weiterhin wird den Herbivoren in SPS bei großer Pflanzenvielfalt und bewusster Integration von Pflanzen mit entsprechenden Inhaltsstoffen die Möglichkeit zur Selbstmedikation gegeben, was Tiergesundheit und Tierwohl zusätzlich steigern kann (Villalba & Provenza, 2007; Sanga et al., 2011).

Allerdings haben SPS nicht nur das Potenzial, Ökosystemdienstleistungen für die heimische Flora und Fauna zu erbringen, sondern auch Nutztieren Schutz vor Wind, Regen, Schnee und Sonne zu bieten (Karki & Goodman, 2010; Alemu, 2016; Hancock et al., 2020). Kallenbach (2009) weist in seiner Untersuchung zudem geringere Gewichtsverluste von Kälbern in SPS im Winter, höhere Gewichte beim Absetzen und weniger Komplikationen beim Kalben im Vergleich zur offenen Weide nach. Weiterhin stellt der Autor geringere Winterfutterkosten und höhere Geburtsgewichte in Aussicht.

Die Multifunktionalität der Komponenten des Systems wird erneut deutlich, wenn man bedenkt, dass Herbivoren oder Omnivoren nicht nur tierische Produkte beitragen, sondern auch düngen, Unkraut und Schädlinge bekämpfen oder beispielsweise Hecken zurückstutzen können (Jose & Dollinger, 2019). Beweidung und Niedertrampeln (in Rotationsweidesystemen) trägt nach Yoshihara et al. (2014) zudem zu einer Erhöhung der BD bei.

5. Eigenschaft: Perennierende Pflanzen dominieren

Perennierende Pflanzen sind in natürlichen Ökosystemen die dominanten Komponenten (Olson et al., 2000). Kemp & Dowling (2000) identifizieren die Abnahme von perennierenden Gräsern auf Weiden als Grund für den Rückgang der Produktivität und Nachhaltigkeit des

Ökosystems Weide, da diese Gräser Bodenversauerung mindern, mehr Bodenwasser nutzen und das Risiko von Bodenerosion reduzieren können. Vor diesem Hintergrund - und auch dem der Lebensfähigkeit und der Interaktionen von Bäumen, Krautschicht und Tieren - sollte die Artenwahl im SPS erfolgen. Weiterhin ist beim Designprozess zu bedenken, dass Bäume und übrige Pflanzen in Konkurrenz um Licht, Wasser, Nährstoffe und Wurzelraum stehen (Jose et al., 2017). Im Zusammenhang mit SPS wird hierzu von verschiedenen Autoren beschrieben, dass C3-Pflanzen bis zu 50% Beschattung vertragen, ohne dass Ertragseinbußen zu verzeichnen sind (Solárová et al., 1985; Garrett et al., 2004). Kallenbach et al. (2006) stellen sogar fest, dass Beschattung die Qualität der Futterpflanzen in SPS verbessern kann und die Tageszunahmen der Färsen im SPS im Vergleich mit der offenen Weide ebenbürtig sind, obwohl die Biomasseproduktion insgesamt durch Beschattung reduziert sein sollte.

6. Eigenschaft: Störung als wichtige Determinante

Störungen sind die primäre Determinante von Ökosystemstrukturen und -funktionen (Olson et al., 2000). Feuer, Stürme, Starkregenereignisse oder Fluten, Dürren, Pathogene oder auch Neobiota können eine solche Störung darstellen und beispielsweise das Arteninventar und die Eigenschaften eines Standorts verändern. Strukturelle und zeitliche Diversität innerhalb des SPS kommt so teilweise erst zustande, macht die Adaptation des gesamten Systems an einen neuen Zustand erst möglich. Hier wird die Bedeutung der strukturellen und funktionalen, aber auch zeitlichen Diversität eines SPS deutlich: je heterogener das System und unterschiedlicher das Stadium der einzelnen Organismen in der natürlichen Entwicklung, desto vielfältiger die Habitatstrukturen und Lebensräume.

Anthropogene Einflüsse wie gesteuerte Beweidung, (Brand-)Rodung oder Baumschnitt, gezieltes Entfernen einzelner Spezies oder das Umbrechen des Bodens können Störung imitieren, um die Sukzession zum eigenen Vorteil zu manipulieren (Olson et al., 2000; Jose & Dollinger, 2019).

7. Eigenschaft: standortbedingte Individualität

Das Management von Boden, Wasser- und Nährstoffkreislauf, Spezies und betrieblichen Abläufen ist u.a. abhängig vom Standort und dessen ökologischen Prozessen, rechtlichen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen der Wirtschaftenden (Lal, 2010). SPS werden meist mit der Intention angelegt, für viele Jahre zu existieren. Die Antizipation der Entwicklungen einzelner Komponenten und der Wechselwirkungen zwischen ihnen ist von großer Bedeutung, aber auch durch außerordentliche Komplexität charakterisiert (Jose et al., 2017; Jose & Dollinger, 2019).

Aus diesem Grund sollten SPS immer an den Standort angepasst werden, da bereits existierende Konzepte sich nicht einfach übernehmen lassen.

3. Zielsetzung und Fragestellung

Silvopastorale Systeme bieten eine Vielzahl von Möglichkeiten für Landwirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Dennoch ist, bedingt durch die aktuellen gesetzlichen Auflagen, den hohen Aufwand der Etablierung und der geringen Zahl an wissenschaftlichen Arbeiten zu SPS in der EU und Deutschland, die Zahl der silvopastoral bewirtschafteten Flächen gering (Böhm & Hübner, 2020).

SPS werden für eine lange Zeit angelegt und die Zusammensetzung der Arten variiert individuell in Standort, betrieblichen Kapazitäten und Zielsetzungen. Um Praktiker bei der Erstellung eines SPS auf offener Weidelandschaft zu unterstützen, soll im Folgenden beispielhaft ein SPS erstellt werden. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Auswahl und Analyse von fünf geeigneten Gehölzarten für ein multifunktionales, silvopastorales AFS im Grafschafter Lösshügelland, welches mit Rindern beweidet und in einen kleinbäuerlichen Betrieb integriert werden soll. Die Möglichkeit für ganzheitliches Weidemanagement und damit Rotationsbeweidung soll im System gegeben sein.

Auf Aspekte der Ökonomie, Vermarktung, Verarbeitung und Pathogene sowie genaue betriebliche Ausstattung wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Etablierung eines SPS in eine offene Weidefläche, nicht in bestehenden Wald.

4. Material und Methoden

Die Literatursuche hat zwischen März und August 2020 stattgefunden, wobei hauptsächlich die Schlagworte "agroforestry", "silvopasture", "grazing", "cattle" "forage" und "fodder" sowie die wissenschaftlichen und deutschen Namen der Gehölze einzeln und in Kombination in den Datenbanken ISI Web of Science, ResearchGate und SpringerLink eingegeben wurden. Die nähere Auswahl der Veröffentlichungen erfolgte anhand der Abstracts. Die Quellen aktueller Reviews und anderer Veröffentlichungen zu den Themen wurden anschließend betrachtet.

Der Prozess der Artenwahl ist in Abbildung 1 dargestellt. Um die Anzahl der Gehölzarten auf wenige geeignete zu reduzieren, wurde zunächst eine Liste mit Gattungen und Arten erstellt, die im silvopastoralen und agroforstwirtschaftlichen Kontext in wissenschaftlichen Veröffentlichungen, auf Agroforst-Konferenzen und in Sekundärliteratur von Praktikern genannt werden oder dem Landwirt 'interessant' erscheinen.

Klimatische Anforderungen der Gattungen und Arten, Eignung in Bezug auf den Standort, die Ergebnisse der Bodenanalyse (Anhang 1), die Zielsetzung des Betreibers und der zu erwartende (Arbeits-) Aufwand (z.B. Schnitt, Ernte oder Bedarf neuer Maschinerie) waren zunächst Hauptausschlusskriterien. Die verbleibenden Arten wurden dann im Kontext

erwarteter klimatischer Veränderungen, Multifunktionalität und der Eignung zur Nahrung für Wiederkäuer beurteilt und die Liste entsprechend angepasst.

Schließlich erfolgte die genaue Untersuchung auf die in Tabelle 1 (siehe Anhang) aufgeführten Kriterien und die Wahl geeigneter Arten mithilfe der in der Literatursuche ausgemachten wissenschaftlichen Arbeiten. Es wird darauf hingewiesen, dass auf die genaue Sortenwahl nicht näher eingegangen wird, da diese in der Praxis vom Sortiment regionaler Baumschulen abhängt, wenn man dem Standort angepasste Sorten verwenden möchte.

Für das Fallbeispiel gesteckte Ziele wurden in einem Gespräch mit dem Landwirt ermittelt. Das Gespräch fand im Rahmen einer Führung über Betrieb und Gelände im Mai 2020 statt. Karten und Daten zum Standort wurden online bei entsprechenden landwirtschaftlichen Behörden für Rheinland-Pfalz eingesehen.

Um die Anordnung der gewählten Gehölze auf der Fläche zu erleichtern, wurde ein Schaubild erstellt (siehe Anhang 3, Abbildung 5), welches gemeinsame Funktionen und besondere Eigenschaften der Arten veranschaulicht und dadurch eine Gruppierung nach bestimmten Funktion ermöglicht. Zusammen mit den Limitationen und Anforderungen, die in Tabelle 1 (siehe Anhang) genannt werden, kann das Pflanzmuster nun entsprechend der Prioritäten des Betreibers und den Herausforderungen des Standorts und der Arten gewählt werden.

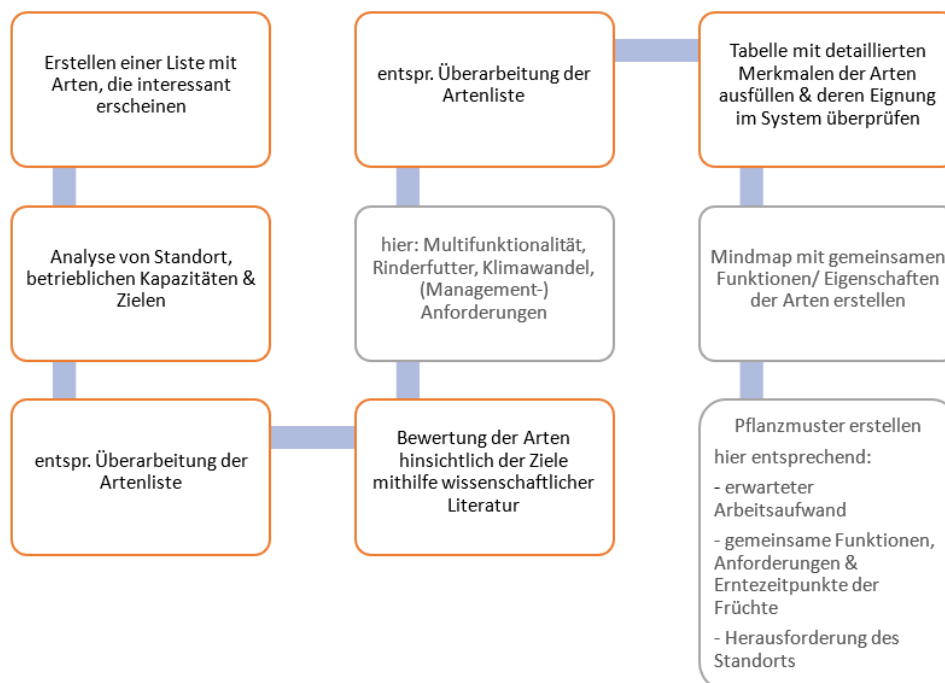


Abbildung 1: Veranschaulichung des Prozesses der Artenwahl. Orangene Kästchen stellen empfohlene Vorgehensweise dar, graue Kästchen ergänzen diese Angaben um die Kriterien und Vorgehensweise für das hier behandelte Fallbeispiel.

5. Beschreibung des Fallbeispiels

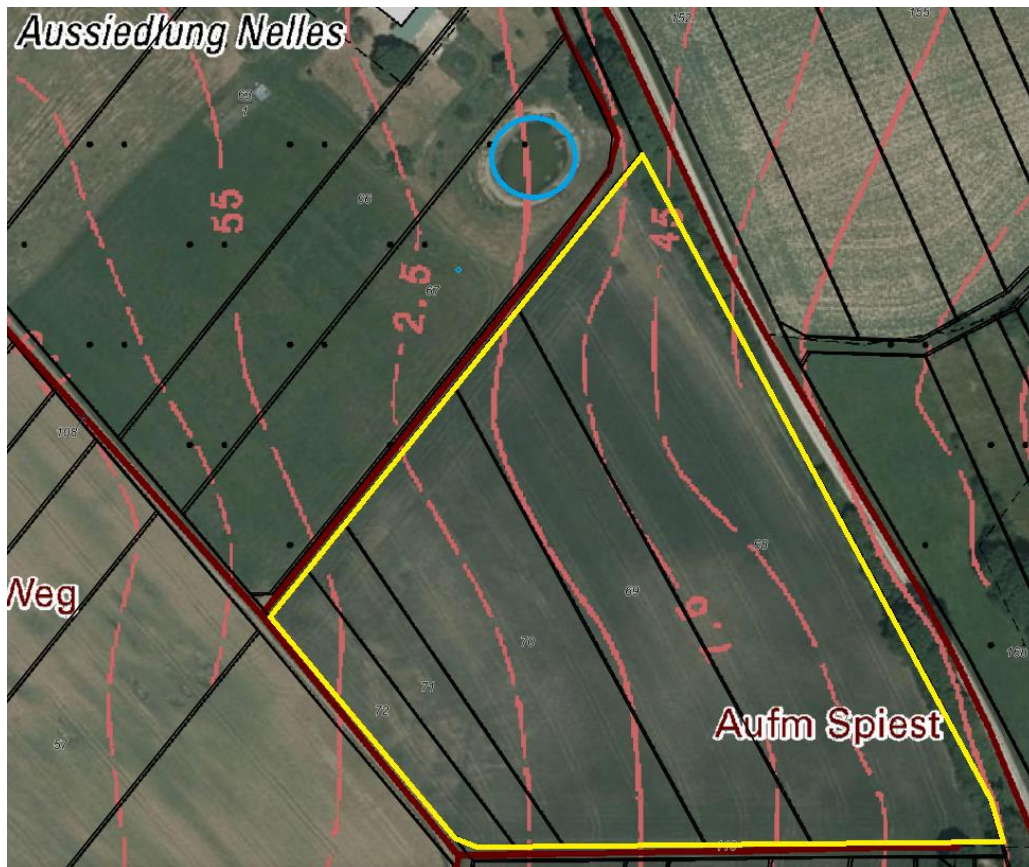


Abbildung 2: Die Beispielfläche von 1,7 ha ist gelb gekennzeichnet, blau markiert ist ein Teich auf dem Hofgelände, rot dargestellt ist das öffentliche Wegenetz. Neben den Flurstücken (schwarz) sind auch die Höhenlinien (rosa) eingezeichnet (Luftbild, GeoBasisViewer RLP, 2012).

5.1 Standorteigenschaften

Die Beispielfläche von 1,7 ha liegt im Grafschafter Lösshügelland (BfN, 2020) nahe der Eifel in Rheinland Pfalz und befindet sich nach Pfadenhauer und Klötzli (2014) in der kühl gemäßigten Zone der laubabwerfenden Wälder und im Cfb Klima nach Köppen (1918). Der Schlag liegt in der Winterhärtezone 8, was Frosthärtewerten zwischen $-12,2$ und $-6,7^{\circ}\text{C}$ entspricht (USDA, 2012). Die Fläche befindet sich auf ca. 150 m NN und weist einen durchschnittlichen Jahresniederschlag von 661 mm auf (DLR, 2020).

Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, wird der Schlag mehrheitlich in die Erosionsgefährdungsklasse CCW2 eingestuft und ist charakterisiert durch eine Hangneigungen nach Osten (geoflo RLP, 2020; LGB RLP, 2020). Der Wind kommt vornehmlich aus Nordwesten. Der Boden ist lehmig (L). Die Ergebnisse der Bodenanalyse finden sich in Anhang 1.

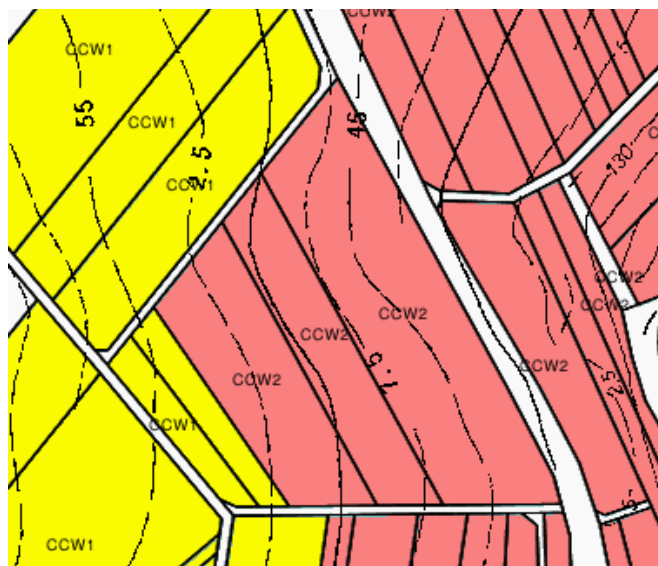


Abbildung 3: Erosionsgefährdung nach Cross Compliance (geoflo RLP, 2020)

Die Landschaft ist geprägt von Ackerbau und Weideflächen mit vereinzelten Feldhecken und Waldflächen. Da die Fläche bis 2019 konventionell beackert wurde, wird die Pflanzengesellschaft von der 2019 ausgesäten Saatmischung für Rinderweiden dominiert. Die Durchwurzelbarkeit liegt bei $>1,2$ m und die Ackerzahl zwischen 60 und 80 (LGB RLP, 2020; Geoservice RLP, 2020). Die Fläche befindet sich nicht in einem Naturschutzgebiet und ist im Besitz des Landwirts. Die im Nordosten angrenzende Feldhecke setzt sich mehrheitlich aus Eiche, Schwarzdorn, Hasel, Esche, Pfaffenhütchen, Hartriegel, Vogelkirsche, Waldrebe und Brombeere zusammen.

5.2 Betriebsstruktur

Der Familienbetrieb ist von 4 ha Weidefläche umgeben, darin sind auch die in dieser Arbeit behandelten 1,7 ha enthalten. Im Nebenerwerb bewirtschaftet, generiert der Betrieb Einkommen durch die Direktvermarktung der Eier von 1000 Legehennen in Bodenhaltung mit wechselnden Ausläufen. Auch saisonale Überschüsse an Obst werden über den Hofladen abgegeben. Vier Rinder und unregelmäßig Schweine in Freilandhaltung oder Masthähnchen in Mobilställen dienen der Selbstversorgung, dem Fleischverkauf und Demonstrationszwecken im Rahmen von Bildungs- und Freizeitangeboten für Schulkinder und Erwachsene. Das Angebot wird ergänzt durch eine Kindertagespflege auf dem Bauernhof.

5.3 Ziele des Betreibers

Das SPS soll zur Adaptation an den Klimawandel dienen, indem z.B. das Mikroklima zum Vorteil der Tiere verändert und Futter für Dürrezeiten etabliert wird. Überdies sieht der Landwirt die Chance für erweiterte Interaktionsmöglichkeiten mit dem Kunden. So könnte im Rahmen

einer Hofführung dem Verbraucher landwirtschaftliche Abläufe näher erklärt und das Image der Landwirtschaft verbessert werden, indem ein Beispiel für Landwirtschaft bei gleichzeitigem Naturschutz geboten wird. Kleinbäuerliche Betriebe können mit zukunftsorientierten Praktiken ihren Wert für die Gesellschaft und die regionale und 'enkeltaugliche' Nahrungsproduktion hervorheben. Durch die Gestaltung eines multifunktionalen, von Diversität geprägten, resilienten Systems soll gleichzeitig auch die Produktpalette erweitert werden, damit das Einkommen diversifiziert und das Risiko für den Landwirt reduziert wird.

Bedingt durch die Größe und Kapazität des Betriebs und dem Wunsch des Landwirts, die Rinder nach ganzheitlichen Weidemanagementprinzipien in Rotation weiden zu lassen und diese fast täglich zu verstellen, ergeben sich Anforderungen an das Design. Um überdies die Fläche nicht für die landwirtschaftliche Produktion zu verlieren, die Heumahd zu ermöglichen und Pflege- und Managementarbeiten zu erleichtern, sollten die Gehölze in Reihen mit ausreichenden Abständen angeordnet werden. Fruchterträge sollen über den Hofladen vermarktet werden können.

6. Auswahl der Gehölzarten

Der Auswahlprozess der Gehölzarten ist in Kapitel 4 beschrieben.

Da das Land in Besitz des Betreibers ist, entfallen eventuelle Änderungen von Pachtverträgen oder zeitliche Limitationen, die bei der Artenwahl eine Rolle spielen könnten. Die Auswahl der Gehölzarten basiert zum einen auf den Ergebnissen der Bodenanalyse (siehe Anhang 1) und den Standorteigenschaften sowie den Betriebseigenschaften- und Zielen (Kapitel 5). Zum anderen wird berücksichtigt, ob die Art bereits in SPS weltweit Anwendung findet.

Der tabellarische Überblick über Kriterien und diesbezügliche Eigenschaften in Tabelle 1 (siehe Anhang 2) könnte als Orientierung für den Designprozess anderer SPS in Deutschland dienen.

So wurde für das Fallbeispiel die folgende Auswahl getroffen: *Salix sp.*, *Corylus avellana*, *Morus sp.*, *Robinia pseudoacacia* und *Juglans regia*.

6.1 *Salix sp.*

Da es besonders im silvopastoralen Kontext kaum Veröffentlichungen zu einzelnen *Salix* Arten oder Sorten gibt, werden im Folgenden Arbeiten berücksichtigt, die *S. viminalis*, *S. kinuyanagi* und den Hybrid *S. matsudana x alba* ('Tangoio') behandeln, deren Ergebnisse für die Planung eines SPS von Bedeutung erscheinen.

Die Gattung der Weiden (*Salix*) gehört - wie auch die der Pappeln (*Populus*) - zur Familie der *Salicaceae*. Mitglieder der Gattung sind diözisch und viele Arten sind in Mitteleuropa heimisch. Die Weiden werden obligat fremdbestäubt, häufig von Insekten, die mit Nektar belohnt werden (Bioflor, 2020). Blühbeginn der Weide ist meist zu Beginn des Erstfrühlings im März/April und

dauert bis in den Mai hinein, womit ihr große Bedeutung als erste Bienennahrung zukommt. Selbst unter dem Stress regelmäßiger Ernte in Kurzumtriebsplantagen, wird *Salix* eine mögliche Relevanz als Ressource für Bienen zugesprochen (Reddersen, 2001). In Mitteleuropa stellen die Weiden außerdem eine Futterpflanze für 21 Schmetterlingsarten dar - sowohl für Raupen als auch Imagi (Floraweb, 2020). Die Gattung wird heute als wertvoller Ersatzlebensraum für Vögel und Insekten gesehen. Dabei werden insbesondere Kopfweiden, die spätestens alle zehn Jahre bis auf 1 m über dem Boden zurückgeschnitten werden, hervorgehoben (Becker et al., 2019). Der Gattung wird bspw. für verschiedene Waldvögel Bedeutung zugesprochen, da das früh morschende Kernholz häufig Nistgelegenheiten bietet (Neumann, 1981). In Kurzumtriebsplantagen von *S. viminalis* mit zweijährigem Ernterhythmus konnte außerdem eine leichte Erhöhung der Diversität der umgebenden Gefäßpflanzen im Vergleich mit dem gängigen Feldfrüchtebau gezeigt werden (Janicka et al., 2020).

Natürlicherweise kommen sie häufig in Bruch- und Auenwäldern vor. Bezogen auf die Planung eines SPS ist es von Relevanz, dass diese Pioniergehölze überdies oft an Waldbegründungen beteiligt sind, durch hohes Lichtbedürfnis meist jedoch schnell verdrängt werden. Die verschiedenen Arten können Sträucher, aber auch bis zu 10 m hohe Bäume sein (Neumann, 1981). Neben den beschriebenen Ökosystemdienstleistungen ist die Weide in AFS aber auch in weiteren Aspekten interessant: Neumann (1981) beschreibt nicht nur ein hohes Wurzelbildungsvermögen, sondern auch eine Verbesserung der Bodenverhältnisse durch den Laubfall. Diese Eigenschaften haben vermutlich dazu geführt, dass die Weiden häufig als Windschutz und zur Uferbefestigung angepflanzt wurden. Nach Raj & Lal (2014) herrscht eine verminderte Erosionsgefahr in *Salix* Anpflanzungen und durch ihr aerenchymatisches Gewebe sind die *Salix*arten an Staunässe oder wechselfeuchte Bedingungen angepasst und können überdies Nährstoffe aus tieferen Bodenhorizonten nach oben befördern. Allerdings variiert die Nährstoffaufnahme mit zunehmender Trockenmasse, Sorte und Standort (Larsen et al., 2018). Zudem versorgen Weiden bei entsprechendem Licht auch den umliegenden Oberboden mit Sauerstoff (Randerson et al., 2011).

In Zeiten des Klimawandels erhält *Salix sp.* jedoch auch neue Aufmerksamkeit als Kohlenstoffsenke, Futterquelle in Dürrezeiten und im Bereich der erneuerbaren Energien. Nach Rytter et al. (2015) erreicht man 5 Jahre nach der Anpflanzung von Weiden unter regelmäßigem Stutzen signifikante Kohlenstoffbindung, wobei Wurzelstock, größere Wurzeln und Stumpf etwa 20% des gesamten Kohlenstoffs (C) speichern.

Sucht man nach der geeigneten Spezies für ein SPS mit hoher Biomasseproduktion auch unter regelmäßigem Schnitt oder Fraß, stößt man vermehrt auf die Arten *S. viminalis* (Korb- oder Hanfweide), *S. purpurea* (Purpur-Weide), *S. schwerinii* (auch bekannt als *S. kinuyanagi* oder Japanese Fodder Willow) und den Hybrid *S. matsudana x alba* ('Tangoio'), die sich durch

hohe Produktivität und schnelles Wachstum auszeichnen (Douglas et al., 1996; Griu & Lunguleasa, 2013; Bubner et al., 2018).

Salix viminalis zeigt sich in verschiedenen Studien in Biomasseproduktivität und Energieeffizienz anderen überlegen und ist somit auch als nachwachsender Rohstoff von Interesse (Griu & Lunguleasa, 2013; Algirdas et al., 2017; Bubner et al., 2018). Weitere Einsatzmöglichkeiten im Rahmen landwirtschaftlichen Handelns sind außerdem im Bereich der Phytoremediation gegeben (Rendal et al., 2011; Mleczek et al., 2018; Lebrun et al., 2020).

Auf der Nordinsel Neuseelands kommt es besonders häufig zu Dürreereignissen. Das meist von wiederkäuenden Nutztieren beweidete Land ist jedoch gleichzeitig sehr hügelig und entsprechend erosionsgefährdet, weshalb die Produktion von Heu oder Silage nicht möglich ist. Landwirte haben dort vermehrt Pappeln und Weiden angepflanzt und es existieren verschiedene wissenschaftliche Arbeiten zu *Salix sp.* als Dürrefutter aus dieser Gegend (Moore et al., 2003; Kemp et al., 2001; Douglas et al., 1996; McCabe & Barry, 1988). Diese Ergebnisse sind für diese Arbeit von Bedeutung, da der Südteil der Nordinsel Neuseelands sich wie Deutschland in einer gemäßigten Klimazone befindet.

McCabe & Barry untersuchten 1988 die freiwillige Aufnahme und Verdaulichkeit von *S. matsudana x alba* und der etwas belaubteren *S. viminalis* bei Wiederkäuern (hier Schafen, Ziegen und Hirschen). Sie folgern, dass die Nährwerte von *Salix sp.* vergleichbar mit vielen getrockneten Futterpflanzen sind, die normalerweise als Ergänzung gefüttert werden, obwohl das Verhältnis gärungsfähiger Kohlenhydrate zu strukturierten Kohlenhydraten und die Gesamtstickstoffkonzentration im primären Wuchs der Weiden geringer ist als das, was man typischerweise in qualitativen Rinderweiden der gemäßigten Zone findet. Spätere Untersuchungen stufen den Nährwert von Weiden und Pappeln sogar höher als den von hügeligem Weideland in trockenen Sommern ein (Kemp et al., 2001; Moore et al., 2003).

Generell bevorzugten Schafe und Ziegen *S. matsudana x alba* gegenüber *S. viminalis*. Der Grund darin wird in den höheren Konzentrationen von Lignin (L) und kondensierten Tanninen (KT) in der *S. viminalis* vermutet. Verdaulichkeit und freiwillige Einnahme von sekundärem Wuchs der Weide waren geringer. Es wird geschlussfolgert, dass Weiden in Dürren im Frühling und Sommer zur Futterergänzung verwendet werden können, wobei die Eignung bei verschiedenen Wiederkäuern unterschiedlich ausfällt. Weiterhin wird im Rahmen der Arbeit von Barry & McNabb Sumpf-Hornklee (*Lotus pedunculatus*) als Futterpflanze berücksichtigt und dessen hohe Gehalte an L und KT, welche biochemisch auf gleichem Wege entstehen, scheinen den Nährwert der Korbweide zu limitieren (Barry & McNabb, 1999).

Auch Moore et al. (2003) kommen zu dem Ergebnis, dass Futterergänzung durch *Tangoio* in Dürresommern die Gewichtsverluste bei Rindern in Rotationsweidesystemen mindern kann. Voraussetzung dafür ist laut den Autoren, dass die Supplementation mit *Salix sp.* möglichst

früh begonnen wird. Zum einen, da die Dauer der Verfügbarkeit der sommergrünen Bäume limitiert ist, zum anderen müssen sich die Tiere den Geschmack erst aneignen, weswegen eine Fütterperiode von mindestens 55 Tagen empfohlen wird. Da die Weidenzweige nur abgeschnitten werden müssen und sonst nicht weiter zu bearbeiten sind, empfehlen die Autoren, um den Arbeitsaufwand weiter zu minimieren, die Weiden so anzulegen, dass die Tiere sie auch selbst ernten können (Moore et al., 2003). Rinder können Weidensträucher oder -bäume bis in 2 m Höhe beweidet und Äste bis 7 mm Durchmesser verzehren. Auch die Rinde von *Tangoio* weist Nährwerte auf, die das Abschälen dieser durch die Tiere erklären (Kemp et al., 2001).

Tangoio und *S. viminalis* (getrocknet oder siliert) weisen prozentual an der Trockenmasse 16,7 - 21,9 % RP und 4,7 - 10,3 % KT auf (Smith et al., 2014). Weiterhin kann bei fünf bis zehn Jahre alten *Tangoio* Weiden von einer Futtermenge von bis zu 22 kg Trockenmasse pro Baum ausgegangen werden, wobei zwischen den untersuchten Weidensorten *Tangoio*, *Matsudana* und *Moutere* keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Verdaulichkeit, Rohprotein und verwertbarer Energie festgestellt werden konnten. Einzelne Sorten unterscheiden sich jedoch in Bezug auf KT.

Kinuyanagi Weiden werden von Rindern vor *Tangoio* bevorzugt, wobei der Grund dafür auch in der Futterhöhe vermutet wird (Kemp et al., 2001). Ergänzt werden diese Befunde von Barry & McNabb (1999): Konzentrationen von bis zu 3,5% KT können die Effizienz der Proteinverdauung bei Wiederkäuern und damit die Produktivität erhöhen. Denn der KT-Gehalt von *Salix sp.* trägt zu einem erhöhten Anteil an Aminosäuren bei, der den Dünndarm erreicht, wodurch die Proteinabsorption des Wiederkäuers effizienter wird. Die Autoren weisen weiter darauf hin, dass diese Ergebnisse die ökologische Nachhaltigkeit von Beweidungssystemen verbessern können, besonders im Lichte dessen, dass Wiederkäuer auf Diäten mit KT-haltigen Leguminosen höhere Toleranzen gegenüber Endoparasiten zeigen als die, deren Diät keine KT enthält (Barry & McNabb, 1999). Die antiparasitäre Wirkung von *Salix sp.* in Kombination mit Luzerne konnte 2011 von Mupeyo et al. bestätigt werden. Die Fähigkeit zur Selbstmedikation von Wiederkäuern belegen die Arbeiten von Sanga et al. (2011) und Villalba & Provenza (2007).

Bezüglich der Futteraufnahme scheinen Rinderherden mit Tieren unterschiedlichen Alters effektiver. Jüngere Tiere scheinen hier von den Erfahrungen älterer Tiere zu profitieren (Kemp et al., 2001).

Doch nicht nur die Tierproduktivität kann durch die tanninhaltigen Weidenblätter verbessert werden, auch die Stickstoffemissionen der Rinder können gesenkt werden:

Wie bereits beschrieben, kann die Stickstoffverdauung durch Tannine gesteigert werden. So wird bei einer KT-Konzentration von mindestens 5 g/kg Trockenmasse mehr Stickstoff in Proteine verbaut, wodurch die Ammoniakemissionen reduziert werden und zudem Milchproteinsekretion, Wollproduktion und Fruchtbarkeit (bei Schafen) verbessert werden können (Ulyatt et al., 1975; Barry & McNabb, 1999; Martello et al., 2020; Sepperer et al., 2020).

Abschließend lässt sich im Hinblick auf die Planung eines SPS das Folgende festhalten: Weiden bieten bei geeigneter Integration in die Weidelandschaft Ökosystemdienstleistungen, Wind- und Erosionsschutz, können Kohlenstoff binden und Stickstoffemissionen der Wiederkäuer senken, deren Proteinverdauung und damit Produktivität, aber auch Gesundheit fördern und besonders in Dürrezeiten eine wichtige Rolle in der Tierernährung spielen. Die Gattung eignet sich somit gut im Rahmen der Zielsetzungen für diese Arbeit.

Wiederkäuer scheinen *S. kinuyanagi* gegenüber Tangoio (*S. matsudana x alba*) und diese wiederum gegenüber *S. viminalis* zu bevorzugen, fressen jedoch alle Arten und Sorten bereitwillig (eventuell nach Gewöhnungszeit). Um die genetische Diversität des Systems zu erhöhen, empfiehlt sich der Einsatz verschiedener Weidenarten oder -sorten. Da Licht, pH-Wert, Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit im Boden die Entwicklung von *Salix sp.* stark beeinflussen, ist auf entsprechende Abstände zwischen den Reihen und zu anderen Gehölzen zu achten (Verwijst, 1996). Diesbezügliche Empfehlungen finden sich in Tabelle 1, die eine Übersicht der bedeutsamen Merkmale von *Salix sp.* bietet und welche bei Design und praktischer Umsetzung des SPS unterstützen soll.

6.2 *Corylus sp.*

Die Gattung der Haseln (*Corylus*) gehört zur Familie der Birkengewächse (*Betulaceae*). Mitglieder der Gattung sind in Deutschland weit verbreitet, monözisch, selbst-inkompatibel und werden windbestäubt (Thompson, 1979; Rothmaler, 2017).

Da die bei uns heimischen Haseln sowohl als Tierfutter geeignet sind, als auch dem Menschen Nüsse und Holz bieten, sind die Vertreter dieser Gattung im Rahmen eines multifunktionalen AFS interessant. Im Folgenden wird aufgrund der geringen Zahl der Veröffentlichungen zu *Corylus sp.* im silvopastoralen Kontext besonders *C. avellana* (Gemeine Haselnuss) auf geeignete Eigenschaften für ein SPS geprüft.

Die Blüte von *C. avellana* erfolgt vor dem Laubaustrieb, meist ab Februar und stellt damit eine wichtige Pollenquelle für frühe Insekten dar. Individuen dieser Art werden in der Regel bis zu 5 m hoch, sind ursprünglich vor allem auf frischen, kalkreichen, mäßig feuchten und nährstoffreichen Böden zu finden und sind im Allgemeinen recht schnellwüchsig. Häufig findet man die Hasel an Waldrändern und im Unterholz lichter Wälder (Buch et al., 2016; Rothmaler,

2017), womit diese Art sich besonders für Gehölzstreifen in AFS eignet. *C. avellana* weist nach Ellenberg & Leuschner (2010) eine Lichtzahl von 6 auf, verträgt also teilweise Beschattung und eignet sich so auch für ein mehrschichtiges System unter einem größeren Gehölz, das einen lichten Schatten wirft.

Die meist ab September erntereifen Nüsse stellen eine wichtige Nahrungsquelle u.a. für verschiedene Vögel und Nager dar (Laborde & Thompson, 2009; Tekgüler et al., 2015). Da diese die Nüsse teilweise zur Vorratshaltung vergraben, wird die Haselnuss gleichzeitig effektiv verbreitet, weswegen auf die Beweidung als wichtiges Instrument gegen die Verbuschung hingewiesen wird (Laborde & Thompson, 2009).

Auch zur Diversifizierung der Produktpalette eines Betriebs eignet sich die Hasel, deren Nussfrucht mit etwa 60% Fett, 14% Protein und nennenswertem Gehalt der Vitamine A, C, E und Mineralien (u.a. Selen) auch für die menschliche Nahrung von Interesse ist (Venkatachalam & Sathe, 2006; Alasalvar & Shahidi, 2009; Tas & Gökmen, 2018). Neben *C. avellana* spielt hier vor allem die etwas größere Lambertnuss *C. maxima* eine wichtige Rolle, deren Nüsse bis zu 2,5 cm Länge erreichen und welche im Handel oft als Haselnuss erhältlich ist (Buch et al., 2016). Die Haselnussproduktion weltweit hat über die letzten Jahre zugenommen, wobei die Türkei mit ca. 70% der größte Produzent ist und Deutschland schon länger den größten Importeur von Nüssen ohne Schale weltweit darstellt (FAOSTAT, 2018). Auch in Anbetracht der Tatsache, dass einer Befragung zufolge 83% der Deutschen Produkte regionaler Herkunft bevorzugen (BMEL, 2020), scheint die Vermarktung regional produzierter Nüsse attraktiv (Nitsch, 2015; Möhler, 2017).

Carola Nitsch leitete 2014/15 ein Forschungsprojekt zur Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Haselnüssen zur Fruchtgewinnung in Bayern und kam zu dem Schluss, dass "Haselnussanbau bei sorgfältiger Sorten- und Standortwahl eine wirtschaftlich interessante Kultur sein [kann], die sich in einen landwirtschaftlich geprägten Betriebsanlauf [sic!] gut eingliedern lässt". Empfohlen für die Vermarktung mit Schale werden hier Sorten, die große und aromatische, leicht zu knackende, rundliche Nüsse haben -wie "*Hallesche Riesen*", "*Corabel*", "*Emoa-1*", "*Ennis*", "*Butler*" und "*Katalonsk*". In neunjährigen Beständen konnten bei *Katalonsk* und *Butler* 1700 - 2200 kg/ha trockene Nüsse geerntet werden (Zahl der Sträucher pro Hektar nicht angegeben). Weiterhin ergab das Forschungsprojekt, dass verschiedene tierische und pilzliche Schaderreger auftraten, wie beispielsweise der Haselnussbohrer (*Curculio nucum*), verschiedene Frostspanner, Raupen, Wanzen und Läuse, Spechte und Rabenvögel, wobei "die Anzahl der Schädlinge [...] allgemein in einem niedrigen Bereich [lag]" und insgesamt in der Anlage "mehr Nützlinge und Indifferente gefunden [wurden] als Schädlinge". Weiterhin beschreibt Nitsch, dass ein natürliches Gleichgewicht aus Pathogenen

und Gegenspielern entstünde, was "den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht unbedingt notwendig macht". Nach Nitsch ist bei der Sortenwahl besonders auf Blühtermine und Bestäubungspartner zu achten (Nitsch, 2015).

Insbesondere geeignet für Haselnusskulturen scheinen wärmere Standorte mit milderen Wintern, die frisch-feuchte Böden mit guter Nährstoffversorgung und ohne extreme Trockenheit, Staunässe oder Windexposition, sowie ein günstiges Kleinklima zur Zeit der Bestäubung aufweisen (Möhler, 2017).

Betrachtet man *C. avellana* mit Blick auf den Klimawandel, scheint die Temperatur die entscheidende Variable zu sein, was Ertragsschwankungen betrifft (Ustaoglu, 2012). Fröste, die sich spät im Winter oder Vorfrühling ereignen, können signifikante Ernteauffälle nach sich ziehen, da die Blüten zu diesem Zeitpunkt sehr empfindlich sind (Erdogan & Aygün, 2017). Hier scheint die Eingliederung in ein AFS eine Möglichkeit zu sein, auf diese Anforderungen eingehen zu können. Beim Design eines SPS sind Haseln, die nicht nur zum Zwecke der Fütterung von Rindern, sondern auch der Nussernte dienen sollen, somit entsprechend anzuordnen: auffällig nasse oder trockene Areale sind zu meiden und mit Hilfe der umgebenden Gehölze könnten die Haseln vor extremem Frost und Wind bedingt geschützt werden. Karki & Goodman (2014) untersuchten u.a. relative Feuchte, Windgeschwindigkeit, Gesamtsonneneinstrahlung, PAR, Luft- und Bodentemperatur in SPS im Vergleich zur offenen Weidelandschaft und konnten mildere mikroklimatische Bedingungen in SPS feststellen. Es lässt sich daher vermuten, dass sich die Haselnuss im Rahmen einer agroforstwirtschaftlichen Praxis unter prognostizierten klimatischen Veränderungen auch in Deutschland vielerorts erfolgreich kultivieren lässt.

Noch ist das nötige Verhältnis von Befruchtersorten zur Ertragssorte unzureichend erforscht und so empfiehlt es sich, stets mehrere Sorten zu pflanzen, um eine gute Befruchtung zu sichern und die Kompatibilität der Sorten im Vorhinein abzuklären (Möhler, 2017). Ältere Veröffentlichungen von Oslon et al. (2000) empfehlen 10% Bestäubersorten und einen Abstand von nicht mehr als 20 m zwischen Kultur- und Bestäubersorte.

Weiterhin bietet sich in einem SPS ohne Schweine zudem eine weitere Nutzung für den Menschen: *C. avellana* kann eine Ektomykorrhiza mit verschiedenen Pilzen eingehen: u.a. mit Schwarzen -, Sommer-, und Wintertrüffel (*Tuber sp.*) und Steinpilz (*Boletus edulis*), womit bei gegebenen Ernte- und Vermarktungsmöglichkeiten ein weiteres Produkt denkbar wäre (Ryman & Holmåsén, 1992; Santelices & Palfner, 2010).

Selbst nach starkem Rückschnitt zeigt die Haselnuss ein gutes Ausschlagsvermögen (Hortipendium, 2020). Dies erklärt, weshalb in Europa bereits verschiedene Haselarten in SPS als Rinderfutter genutzt werden (Thenail et al., 2014; Vandermeulen et al., 2016;

Vandermeulen et al., 2018). Dabei wurde festgestellt, dass *C. avellana* hier gegenüber anderen Gehölzen bei der Nahrungsaufnahme sogar bevorzugt wird. Der Grund dafür wird in der höheren Verdaulichkeit des gewählten Futters im AFS im Vergleich zur Weidelgrasweide vermutet (Vandermeulen et al., 2016). Die Autoren stellen die Hypothese auf, dass in Weidesystemen mit Sträuchern und Bäumen Energie effizienter genutzt sein könnte, da mehr des aufgenommenen Futters verdaut wird.

Nach Pasqualotto et al. (2019) alternieren die Haselnusserträge vermutlich u.a. auch abhängig von gespeicherten Ressourcen und der C-Umlagerung aus dem Stamm in fruchttragende Zweige. Der Beweis dafür wird von den Autoren darin gesehen, dass die Nüsse geringelter Zweige, im Gegensatz zu denen entblätterter und der Kontrollgruppe, Gewichtsverluste verzeichnen. Nicht nur unter dem Aspekt der Nussvermarktung und sich durch diese Erkenntnisse ergebenden Konsequenzen für Baumschnitt, Düngung und Irrigation, sondern auch für die Beweidung der Sträucher spielt dies eine Rolle. Sollte der Betreiber eines SPS die Nahrung der Rinder durch Beweidung der Haseln ergänzen wollen, sind demnach möglicherweise keine signifikanten Einbußen im Ertrag die Folge, gesetzt den Fall, dass der Beweidungszeitpunkt und die Dauer und damit verbundene Intensität entsprechend abgestimmt sind. Genauere Daten zu Beweidungspraktiken in multifunktionalen AFS mit Fruchtkomponenten wären hier nützlich, bis dahin gilt es für Betreiber, die Dynamiken zwischen tierischen und pflanzlichen Komponenten genau zu beobachten und die Bewirtschaftungsweise entsprechend zu modifizieren, bis sich eine für Betreiber und System funktionierende Praktik findet.

Futterlaub der *C. avellana* weist Gehalte von ca. 14 g KT/kg TM, 188 g RP/kg TM und 150 g Rohfaser/kg TM auf (Vandermeulen et al., 2016). Ähnlich wie bei *Salix sp.* scheint auch die Haselnuss in der Rinderernährung die Ammoniakemission zu verringern (Grainger et al., 2009). Durch KT gebundene Moleküle sind vor der mikrobiellen Zersetzung im Pansen geschützt und werden erst in Labmagen und Dünndarm hydrolysiert und absorbiert. N verlässt so schließlich vermehrt in weniger volatiler, organischer Bindung über den Kot den Körper (Min et al., 2005; Grainger et al., 2009). Ein weiterer Vorteil bei der Integration von Futterpflanzen, die reich an sekundären Pflanzenstoffen sind - wie die Hasel mit ihren tannin- und phenolhaltigen Blättern - zeigt sich darin, dass Stoffwechsel, aber auch Immunreaktion der Wiederkäuer durch sekundäre Pflanzenstoffe positiv beeinflusst werden kann (Oh et al., 2017; Wang et al., 2019). So beobachten die Autoren, dass die Supplementation bei Schafen mit pelletierten *C. avellana* Blättern oxidativen Stress signifikant mindern könnte (Wang et al., 2019). Die Tannine in den Blättern agieren hier u.a. als natürliche Antioxidantien. Die Gesundheit erhaltenden und fördernden Eigenschaften von Tanninen und deren Einfluss auf die Proteinverdauung wurden auch von Provenza & Villalba (2010) näher untersucht, wobei

die Autoren betonen, dass die beschriebenen positiven Effekte der Tannine mit deren Herkunft, Struktur und Anteil an der Nahrung, sowie der Tierart variieren können.

Zuletzt zieht die Hasel in Zeiten des Klimawandels Aufmerksamkeit auf sich, da die Ausbringung von Pflanzenkohle aus Haselnussschalen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen nach Pyrolyse bei 500°C, großes Potenzial zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung im Boden bietet (Mikula et al., 2020).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Kombination aus *C. avellana* Bestäuber- und Ertragsorten sich für dieses SPS im Rahmen der Zielsetzungen und standörtlichen Gegebenheiten eignet, da sie Nahrung für domestizierte und wild lebende Tiere, sowie den Menschen bietet. Durch Integration der Hasel lassen sich die Emissionen von N senken, sie kann an der langfristigen Kohlenstoffbindung beteiligt sein kann und zudem die Produktivität einer Fläche und der Rinder darauf steigern.

6.3 **Morus sp.**

Die in Deutschland vorkommenden Vertreter der Gattung *Morus* sind die Weiße Maulbeere *Morus alba* und die Schwarze Maulbeere *Morus nigra*. Sie gehören zur Familie der *Moraceae*, können ein- oder zweihäusig sein und werden windbestäubt. Die Verbreitung erfolgt durch Verdauungsausbreitung oder Wurzelsprosse (Rothmaler, 2017). Individuen der Gattung können bis zu 10 m hohe Bäume sowie Sträucher sein und tolerieren auch halbschattige Standorte, idealerweise mittlerer Feuchte und Nährstoffgehalte und bilden ein tiefes Wurzelsystem aus (Landolt et al., 2010; Sharma & Zote, 2010). Die sommergrünen Gehölze blühen in Mitteleuropa im Mai und fruchten ab August (Kasper, 2020). Zwar findet man *Morus sp.* bisher hauptsächlich in Südeuropa (Landolt et al., 2010), doch im Rahmen aktueller und erwarteter klimatischer Erwärmungen mit milderem Wintern und vermehrten Hitzewellen (IPCC, 2014), könnte die Maulbeere in Deutschland zukünftig für menschliche und tierische Nahrungsergänzung eine Rolle spielen. Zhang et al. (2018b) und Sharma & Zote (2010) bestätigen überdies die Eignung von *Morus sp.* auch für gemäßigte Klimate nördlich des Äquators zwischen dem 28. und 55. Breitengrad.

M. alba wird besonders in Asien als Futter für Seidenspinnerraupen kultiviert, doch auch ergänzend in der Fütterung von Wiederkäuern - insbesondere Rindern - werden die Maulbeerblätter schon länger eingesetzt (Sujathamma et al., 2013). Generell kann von 100 t Frischmasse Blattertrag pro Hektar und Jahr ausgegangen werden (Sharma & Zote, 2010). Findet die Ernte der Maulbeerblätter für die Heu- oder Silageproduktion bis Ende Mai statt, können in den Folgemonaten noch genug Blätter gebildet werden, um die Seidenspinner im Herbst zu füttern (Liu et al., 2000). Somit scheint auch eine kontrollierte Beweidung der Maulbeere plausibel, ohne dass die Gehölze dadurch in ihrer Existenz bedroht sind.

Aufgrund geringer Standortansprüche und großer Toleranz gegenüber Fraß, Schnitt, Bodenverhältnissen und Lichtverfügbarkeit, hoher Verdaulichkeit für Wiederkäuer und eines hohen Proteingehalts, eignet sich *M. alba* ausgesprochen für kleinbäuerliche Betriebe mit Viehhaltung (Liu et al., 2000; Landolt et al., 2010; Sujathamma et al., 2013; Simbaya et al., 2020) und somit auch für die silvopastorale Nutzung. In Europa findet *M. alba* so mittlerweile in SPS in pelletierter als auch frischer Form Anwendung (Ginane et al., 2018; Vandermeulen et al., 2018).

Die Verdaulichkeit für Rinder wird auf 70-90% für die Blätter und 60% für die Rinde geschätzt (Sanchez, 2001). Bei der Untersuchung der Nahrungsergänzung von Schafen mit Maulbeere konnte ergänzend zu Sanchez ausgemacht werden, dass die Nährwerte im Frühjahr höher sind als im Herbst. Für Herbstlaub wird die Verdaulichkeit von 70% bestätigt (Liu et al., 2000). Weiterhin konnten Rohaschegehalte von fast 15%, 2,9% Calcium und 0,17% Phosphor für das Laubfutter nachgewiesen werden (Simbaya et al., 2020). Überdies wurden Rohproteingehalte von etwa 21 g/kg TM festgestellt (Liu et al., 2000). Nach Untersuchung des Effekts der Nahrungsergänzung für Rinder mit Maulbeerblättern (pelletiert in Kombination mit Mineralien, Molasse und Salz) folgern die Autoren, dass diese eine gute Proteinquelle zur Verbesserung der Fermentation im Pansen sein können und die Nährstoffverdauung und die Gesamtproduktivität der Wiederkäuer verbessern (Huyen et al., 2012). Auch in Dürrezeiten sei *M. alba* geeignet zur Proteinergänzung des Futters (Kabi & Bareeba, 2008; Simbaya et al., 2020). Ferner wurden positive Effekte für Wiederkäuer und andere Herbivore durch die Fütterung in Gestalt von erhöhter Gesamtfuttermengeaufnahme, Produktionskostensenkung, sowie (Milch-) Leistungssteigerung festgestellt (Liu et al., 2000; Anbarasu et al., 2004; Sujathamma et al., 2013; Simbaya et al., 2020). In Anbetracht dieser Ergebnisse scheint eine Beweidung der Maulbeere im Frühjahr und Sommer im Rahmen der silvopastoralen Nutzung folgerichtig. Wie auch schon bei der Haselnuss ist jedoch auch hier bisher unklar, inwieweit die Fruchtproduktion tatsächlich durch die Beweidung beeinflusst wird.

Bedeutsam für die Futtermittelverwertung sind für den Betreiber des SPS die Ergebnisse von Kabi & Bareeba (2008): Untersucht wurden die Nährwerte nachwachsender Zweige und Blätter nach der Ernte (durch Schnitt). Die Verdaulichkeit des Rohproteins von *M. alba* erwies sich bei einer Erntefrequenz von einem Monat mit 900 g/kg RP am höchsten. Die Autoren empfehlen für die Verfütterung Äste im Alter von zwei bis vier Monaten, da hier das Verhältnis von Blatt zu Zweig am geeignetsten ist und die RP-Gehalte innerhalb der ersten sechs Monate des Wachstums abnehmen.

Ergänzend ist hier zu erwähnen, dass jüngere Blätter außerdem höhere KT-Werte und höhere Polyphenolgehalte zeigen als ältere (Simbaya et al., 2020).

Doch nicht nur bei Wiederkäuern, auch bei Omnivoren wie Schweinen oder Geflügel scheint die Maulbeere als Bestandteil der Nahrung positive Effekte zu haben: Beschleunigte Gewichtszunahmen und verbesserte Fleischqualität bei Schweinen wurden von Ye & Ye (2001) und Fan et al. (2020) beschrieben und auch für Geflügelhalter scheinen Vorteile möglich (Sujathamma et al., 2013). Für den Menschen ergeben sich verschiedene Nutzungsmöglichkeiten: Pulver aus getrockneten Maulbeerblättern ist in Asien sowohl 'Superfood' als auch in der Medizin gebräuchlich, weiterhin sind auch die Früchte beliebt und die Pilzkultivierung auf Maulbeerstämmen ist möglich (Sujathamma et al., 2013). Neben den Blättern zeigen auch die Maulbeerfrüchte (Scheinbeeren) diverse Eigenschaften, die der menschlichen Gesundheit zuträglich sind (Ramappa et al., 2020).

Da *Morus sp.* selbst keinen Stickstoff fixieren kann, empfiehlt es sich, Mitglieder der Fabaceae in ihrer Nähe zu pflanzen. In diesem SPS eignet sich dafür beispielsweise Alfalfa (*Medicago sativa*) oder die Robinie (*Robinia pseudoacacia*). Zhang et al. (2018b) haben mittels Vergleiches von Alfalfa- und Maulbeer-Monokulturen mit Alfalfa-Maulbeer-Mischkulturen nachweisen können, dass die Mischkultur die Diversität und Vorkommen von Bodenbakterien steigert und außerdem Bodenkohlenstoff, Phosphorverfügbarkeit und verfügbares Kalium beeinflusst. Sie schlussfolgern, dass die Mischkultur aus Stickstofffixierer und *M. alba* hier die physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften und die an den Nährstoffkreisläufen beteiligten Bakterien positiv beeinflussen.

Doch nicht nur die Weiße Maulbeere, auch die wohlschmeckende *M. nigra* sollte besonders im Rahmen der Humanernährung in Erwägung gezogen werden: Ramappa et al. (2020) geben einen umfangreichen Überblick über die vielfältigen gesundheitsfördernden und -erhaltenden Eigenschaften der Maulbeerfrüchte. In Asien werden Maulbeerextrakte und -säfte von *M. nigra* bereits aus gesundheitlichen Gründen konsumiert, da diese nicht nur reich an Nährstoffen sind, sondern diese auch eine hohe Bioverfügbarkeit aufweisen (Sujathamma et al., 2013; Ramappa et al., 2020). Da die Maulbeerfrüchte und Produkte aus Früchten oder Blättern auf dem deutschen Markt bisher kaum vertreten und dem Verbraucher häufig unbekannt sind, besteht für den Produzenten ein gewisses Risiko oder zumindest der Bedarf an Bewerbung und Kommunikationsarbeit.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass *M. alba* durch die vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten als Viehfutter, Obst und in der Nahrungsmittelergänzung für Mensch und Tier für dieses SPS geeignet scheint.

Ebenfalls bleibt der Betreiber flexibel in der Ausrichtung seines Betriebs und eine Möglichkeit zur Anpassung an klimatische Veränderungen wird getestet. So ist eine Erweiterung des Produktangebots beispielsweise mit Pilzproduktion nicht nur bei *C. avellana*, sondern auch auf

dem Holz von *Morus sp.* möglich. Nach Provenza & Villalba (2010) stehen unsere Fütterungssysteme vor der Herausforderung, Pflanzen einzubeziehen, die bioaktive Eigenschaften haben, welche die Tiergesundheit fördern, ohne das Tierwohl und die Tierproduktivität zu mindern. Produktionsweisen, die die Fähigkeit der Tiere, vorteilige Effekte verschiedener Futterquellen zu erlernen, mit einbeziehen, könnten hier eine Lösung darstellen und eine Möglichkeit dazu wird in einem System mit Futtergehölzen wie *Salix viminalis* oder *Morus alba* gegeben.

Um die Diversität des Systems zu steigern, ist außerdem die Ergänzung von *Morus nigra* empfehlenswert.

6.4 **Robinia pseudoacacia**

Robinia pseudoacacia - gemeinhin auch als Scheinakazie oder Gewöhnliche Robinie bekannt und im Folgenden Robinie genannt- wird kontrovers diskutiert (Vitkova et al., 2016). Der Baum des Jahres 2020 stammt ursprünglich aus Nordamerika, zeigt ein stark invasives Ausbreitungspotenzial und stellt dadurch besonders für Trockenrasenbiotope eine Bedrohung dar (Böcker & Dirk, 2007; Starfinger et al., 2016). Im Rahmen der agroforstlichen Nutzung bietet die Robinie jedoch auch verschiedenste Vorteile wie beispielsweise Tierfutter für Rehwild, Ziegen, Rinder und andere Wiederkäuer, hochwertiges Holz und Bienennahrung in der Blütezeit, gepaart mit besonderer Trockenheitsresistenz, schnellem Wuchs und geringen Ansprüchen an den Standort (Luske & Van Eekeren, 2014; Vitkova et al., 2016). Besonders in Nordamerika findet die Robinie bereits vermehrt Anwendung in SPS, u.a. auch, weil sie einen lichten Schatten wirft und so besonders in mehrschichtige Systeme gut integriert werden kann (Gabriel, 2018; Silver, 2019). Die Nutzung kann allerdings auch einen erhöhten Managementaufwand für den Betreiber bedeuten und besonders die Entfernung der Art von der Fläche gestaltet sich als langwierig - eine Integration in das System ist also nur bei entsprechendem Verantwortungsbewusstsein auf Seiten des Landwirts empfehlenswert (Vitkova et al., 2016). Überdies ist ggf. eine Genehmigung nach §40 BNatSchG erforderlich. In Anbetracht der Zielsetzungen für die hier behandelte Beispielfläche, überwiegen die Vorteile die Nachteile und so soll der Baum im Folgenden genauer beleuchtet werden.

Robinia pseudoacacia gehört zur Familie der Fabaceae und kann ein bis zu 38 m hoher Baum mit lockerer Krone werden (Starfinger et al., 2016). In den Blütemonaten Mai und Juni stellen die traubigen, zwittrigen Blüten eine ausladende Nahrungsquelle für Bienen und Hummeln dar. Die Verbreitung des humusverbessernden Gehölzes erfolgt über Wurzelsprosse, Verdauungs- und Windausbreitung der langlebigen Samen (Rothmaler, 2017). Auch an kargen, trockenen und steinigen Standorten keimen und gedeihen die Robinien bei genügend Licht (Starfinger et al., 2016). In Deutschland bestehen derzeit ca. 34.000 ha, auf denen die Robinie in

Kurzumtriebsplantagen forstlich genutzt wird (Nicolescu et al., 2020). Forstwirtschaftlich interessante Eigenschaften der Robinie sind das schnelle Wachstum, die Härte, Rotterresistenz und vielseitige Verwendbarkeit des Kernholzes und der hohe Brennwert. Auch lässt sie sich mehrfach zurückschneiden und treibt erneut üppig aus. Infolgedessen spielt sie bereits in mehreren europäischen Ländern eine Bedeutung im Rahmen des Waldbaus und Energieholzstreifen, aber auch in Landschaftsbau und Bodenmelioration (Forest Europe, 2015; Vitkova et al., 2016). Die Nutzung in Kurzumtriebsplantagen hat dabei zuletzt stark zugenommen (Böhm et al., 2011). Zu vermerken ist, dass die Produktivität nach drei Erntegängen nachlässt, sollten keine forstlichen Pflegemaßnahmen erfolgen (Vitkova et al., 2016). Obwohl erste Vermerke über *R. pseudoacacia* in Deutschland aus dem Jahre 1650 stammen und heute die Nutzung in verschiedenen Teilen der EU stattfindet, scheint der Anteil der Robinien in europäischen Wäldern nicht über 0,5% gestiegen zu sein (Forest Europe, 2015; Nicolescu et al., 2020). In ihrer Heimat wird das Pioniergehölz im Laufe der Sukzession nach 20-30 Jahren von anderen heimischen Arten verdrängt. In Europa fehlen jedoch natürliche Antagonisten, weshalb bereits über 70 Jahre alte Bestände existieren und Folgen, wie der potenziell entstehende Managementaufwand einer Anpflanzung, stets bedacht werden sollten (Starfinger et al., 2016; Vitkova et al., 2016).

Für die Nutzung im Rahmen silvopastoraler Systeme ist weiterhin zu bemerken, dass die Aufnahme von Samen für den Menschen und von Rinde und Wurzeln für Pferde toxisch sein sollen (Hui et al., 2004; Vanschandevijl et al., 2010). Trotz dieser toxischen Eigenschaften findet die Robinie auch in europäischen SPS bereits Verwendung (Papanastasis et al., 2009; Luske & Van Eekeren, 2014; Vandermeulen et al., 2018). Die Aufnahme von *R. pseudoacacia* bei Rehwild, Ziegen, Rindern, Hasen und Kaninchen scheint unproblematisch und wird von einigen Autoren sogar als wertvoll für deren Ernährung beschrieben (Laidlaw et al., 2006; Luske & Van Eekeren, 2014; Gabriel, 2018; Vandermeulen et al., 2018). Dabei konnten für das Laub Rohproteingehalte von 17-27% der Trockenmasse und für die verdauliche organische Substanz Werte von 47-56% der Trockenmasse festgestellt werden. Der Rohproteingehalt wird sogar gegenüber Weidelgras als durchschnittlich höher beschrieben, wobei die Autoren betonen, dass die Werte mit Jahreszeit und Bodenzusammensetzung variieren können (Luske & Van Eekeren, 2014; Luske et al., 2017).

Neben der möglichen Nutzung als anspruchslose Quelle für proteinreiches Laubfutter, dass sich problemlos wiederholt ernten lässt, existieren weitere Eigenschaften, die für den Betreiber im Rahmen des SPS vorteilhaft sein können: Die Blüten sind nicht nur für den Menschen essbar - auch von Imkern wird die Robinie geschätzt, da sich ein heller, milder Honig besonderer Qualität gewinnen lässt. Von einem Hektar sollen bis zu 1500 kg Honig gewonnen werden können (Ciuvat et al., 2014; Vitkova et al., 2016; Nicolescu et al., 2020).

Weiterhin konnten im Rahmen einer wissenschaftlichen Untersuchung verschiedene Ökosystemdienstleistungen u.a. für Vögel und kleine Säuger durch Robinien festgestellt werden (Ciuvat et al., 2014). Zusätzlich eignet sich die Robinie durch ihr ausgedehntes Wurzelwerk und ihre Widerstandskraft gegenüber Wind zur Erosionsminderung und bietet Witterungsschutz. Ehemalige Tagebaue oder belastete Standorte werden von der Robinie toleriert und sie kann hier einen Beitrag zur Renaturierung leisten. Außerdem eignet sich die Robinie als Kohlenstoffsенke (Rothmaler, 2017; Nicolescu et al., 2020). Dabei sollen in ein bis zehn Jahre alten Beständen durchschnittlich bis zu 63 t Kohlenstoffdioxid pro Hektar gebunden werden können (Ciuvat et al., 2014).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Robinie als Laubfutter für Wiederkäuer, zur Energie- und Holzgewinnung, im Rahmen der Imkerei, als Erosionsschutz und Kohlenstoffsенke im silvopastoralen Rahmen ein vielseitig nutzbares Element darstellen kann. Die vermehrte Anpflanzung von *R. pseudoacacia* in Europa ist zwar nicht unumstritten, doch gilt es als wahrscheinlich, dass sie sich unter vorhergesagten klimatischen Veränderungen weiter ausbreitet und außerdem an Bedeutung gewinnt, insbesondere in Anbetracht der Dürren und Futterknappheit der letzten Jahre in Teilen Deutschlands (Vitkova et al., 2016; Nicolescu et al., 2020). Verschiedene Autoren vermuten im gezielten Einsatz der Robinie auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen, bei gleichzeitiger konsequenter Eliminierung aus besonders gefährdeten Biotopen, eine erfolgsversprechende und realisierbare Strategie (Vitkova et al., 2016; Nicolescu et al., 2020).

Entscheidet man sich für die Etablierung der Robinie auf einer Fläche, sollte die Invasivität der Art berücksichtigt, eventuell erforderliche Genehmigungen durch Naturschutzbehörden eingeholt und entsprechende Abstände zu gefährdeten Biotopen eingehalten werden. Zu bedenken ist, dass die Robinien auf Stammverletzungen, Rückschnitt bis auf Bodenhöhe (Englisch "coppice") oder Feuer mit Wurzelschösslingen und Stockausschlag reagieren, wobei der ursprüngliche Bestand meist übertroffen wird. Anleitungen und Erfahrungsberichte für ein erfolgreiches Management bieten Böcker & Dirk (2007) und das Bundesamt für Naturschutz (BfN, 2016)¹. Nach Starfinger et al. (2016) muss weiterhin bedacht werden, dass die Effekte der Stickstoffanreicherung auch noch lange nach der Rodung wirken und die Eigenschaften und Artenzusammensetzung des Standorts durch das Einführen der Robinie nachhaltig verändert werden.

¹ Erfolgversprechend scheint die partielle Ringelung im Winter, wobei diese über mindestens vier Jahre fortzuführen ist, bevor der Stamm gefällt wird, da auch in der 4. Vegetationsperiode noch Regenerationspotenzial besteht. Weiterhin sollen Bodenstörungen beim Abtransport der Stämme minimiert werden, da diese eventuell Wurzelsprosse induzieren (Böcker & Dirk, 2007). Auch der Einsatz von Löffelbaggern scheint möglich. Die Entfernung des gerodeten Materials von der Fläche ist essenziell, um erneutes Austreiben zu unterbinden (Starfinger et al., 2016).

Es bleibt zu klären, ob auch die Haltung von Geflügel und Schweinen in SPS mit Robinien bedenkenlos durchführbar ist, sollten diese als zukünftige Komponenten des Systems gewünscht sein. In Deutschland findet die Robinie in AFS mit Geflügel bereits erfolgreich Anwendung (z.B. Domin Hof, Senftenberg). Hinsichtlich der Eignung der einzelnen Teile von *R. pseudoacacia* als Tierfutter besteht weiterer Forschungsbedarf.

6.5 Juglans sp.

In einem SPS mit Rindern und Bäumen, die einen Fruchtertrag produzieren sollen und in dem die Haselnuss bereits eine Komponente darstellt, scheint die Integration einer weiteren Nuss geeignet, da Werkzeugbedarf, Erntezeit, Weiterverarbeitung und Vermarktung sich ähneln. Viele Studien zur Walnuss in AFS behandeln die Schwarzwalnuss *Juglans nigra*, statt *Juglans regia* (Echte Walnuss), da *J. nigra* (in AFS) besonders in den USA sehr verbreitet ist und dort die meisten Forschungsergebnisse publiziert wurden. Um Aussagen in Bezug auf den Einsatz in SPS in Deutschland treffen zu können, werden Ausarbeitungen zu *Juglans sp.*, *Juglans regia* und *Juglans nigra* berücksichtigt. Dies geschieht auch in Anbetracht dessen, dass diese Arten häufig als Unterlage verwendet werden (Rueß, 2019). Im Folgenden steht Walnuss für *J. regia*.

Mitglieder der Gattung *Juglans* gehören zur Familie der *Juglandaceae*. Vertreter dieser Familie sind einhäusige Bäume und sowohl *J. regia* als auch *J. nigra* sind in Mitteleuropa vertreten. Die Walnuss findet man häufig in kalkhaltigen, nährstoffreichen, feuchten Auen- und Hangmischwäldern, aber auch als Forst-, Straßen- und Fruchtbaum (Rothmaler, 2017). Walnüsse tolerieren verschiedene Böden, entwickeln sich auf tiefgründigen, gut drainierten, lehmigen Böden mit einem neutralen oder leicht basischen pH-Wert jedoch am besten (Lopez & Moreno, 2017). Die sommergrünen, bis über 20 Meter hohen Walnussbäume bilden eine breite, lockere Krone und zeigen zur Blütezeit im Mai getrenntgeschlechtliche Blütenstände. Sowohl Fremd- als auch Selbstbefruchtung kommt vor, wobei die Selbstbefruchtung meist erfolgreich zum Samenansatz führt (Floraweb, 2020).

Häufig wird die Walnuss als Beispiel für Allelopathie genannt, da Blätter und andere Organe Juglon enthalten, welches beispielsweise über den Laubfall auf den Boden gelangt und sich dort anreichern und phytotoxisch wirken kann (Scott & Sullivan, 2007; Jilani et al., 2008; Wang et al., 2014). Widersprochen wird dieser Darstellung jedoch von verschiedenen Autoren, nach welchen Juglon sich nicht in phytotoxischen Mengen im Boden anreichern könne, da es von Bodenbakterien oder benachbarten Wurzeln zügig abgebaut oder aufgenommen würde. Gleichzeitig wird die Datengrundlage für gegenteilige Behauptungen methodisch infrage gestellt (Schmidt, 1988; Willis, 2000; Chalker-Scott, 2019). Vertreter beider Thesen sind sich jedoch einig, dass Juglon in gut durchlüfteten Böden schneller abgebaut wird (Willis, 2000;

Scott & Sullivan, 2007). Bemerkenswert ist auch, dass *J. regia* größere Mengen an Juglon zu produzieren scheint als *J. nigra* (Maharjan et al., 2013). Auch Willis (2000) hatte schon intraspezifische Unterschiede in der Juglonproduktion vermutet. Generell zersetzen sich die Blätter von *Juglans sp.* nach dem Laubfall meist langsamer als die anderer Gehölze (Buegler et al., 2005). Da die Phytotoxizität von *Juglans sp.* nicht abschließend geklärt ist, empfiehlt sich eine Orientierung an Angaben zu Arten, die sich unter *Juglans sp.* erfolgreich kultivieren lassen, besonders wenn es auf deren Ertrag ankommt. Außerdem gilt es, auf eine ausgewogene Nährstoffversorgung zu achten und die Bäume in einem Abstand zu pflanzen, bei dem noch ausreichend Licht die tiefer liegenden Schichten des Systems erreicht.

Unabhängig davon wird empfohlen, Wasserhaushalt und Nährstoffgehalte des Bodens genau zu überwachen, da AFS mit Walnuss zwar Flächenproduktivität und Erträge verglichen mit Monokulturen erheblich steigern können, Bodenfeuchte und Nährstoffgehalte jedoch nachteilig für die Kultur auf der Ackerfläche beeinflusst werden. Barrieren für die Baumwurzeln und ausreichende Abstände zwischen Gehölzen und Feldfrüchten werden daher befürwortet (Yun et al., 2012). In diesem Fallbeispiel ist daher das jährliche Einschneiden in den Boden entlang aller Gehölzstreifen mit einem Tiefenmeißel nach Shepard (2013) geplant, um das Wurzelwachstum der Bäume in die Horizontale in den oberen Dezimetern einzudämmen.

Möchte man das AFS beweiden, ist besonders die Artenzusammensetzung der Futterpflanzen auf der Weide und deren Quantität und Qualität im Bereich der Gehölze relevant. Im Rahmen der Untersuchung eines simulierten SPS mit *Juglans nigra* und *Gleditsia triacanthos* in unterschiedlich dichten Abständen stellte sich heraus, dass unter der Schwarzwalnuss 13% mehr Futter erzielt wurde, als unter der stickstofffixierenden *G. triacanthos* (Buegler et al., 2005). Unter *G. triacanthos* konnten mehr Fabaceae gefunden werden, wohingegen unter *J. nigra* weniger Kratzdisteln (*Cirsium vulgare*) vermutet werden. Die Untersuchung fand unter zehn Jahre alten Bäumen im Nordosten der Vereinigten Staaten statt und der Untersuchungszeitraum zeigte Extremwetterereignisse in Form von Dürre und übermäßigem Regenfall. Unter Bäumen im mittleren Abstand von 7,3 m x 7,3 m wurden die höchsten Zunahmen in der Futterbiomasse festgestellt. Die Begründung dafür vermuten die Autoren in der Veränderung des Mikroklimas in SPS mit geeigneten Reihenabständen zugunsten der Futterpflanzen (Buegler et al., 2005). Untersuchungen von Kallenbach et al. (2006) zeigten um 20% verringerte Futterpflanzenproduktion (*Lolium multiflorum* und *Secale cereale*) in einem 6-7 Jahre alten Walnuss-Kiefer SPS verglichen mit offener Weide. Sie konnten jedoch feststellen, dass die Gewichtszunahmen bei Rindern in beiden Systemen gleich hoch waren. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Pent et al. (2019; 2019b), wonach in einem SPS mit Schwarzwalnuss oder *Gleditsia triacanthos* die Gewichtszunahmen von Lämmern sich nicht von denen aus offener Weide unterscheiden, was mit einer veränderter

Artenzusammensetzung und veränderten Nährwerten dieser Futterpflanzen begründet wird. Gleichzeitig wird nach Aussage der Autoren das Wohlbefinden der Tiere im SPS u.a. durch die Beschattung der Bäume gesteigert. Die Autoren schließen, dass silvopastorale Praktiken die Flächenproduktivität steigern können, sofern diese in Weideland mit Kalt-Zonen-Gräsern inkorporiert werden.

Neben der Beweidung kann auch die Heumahd unter Walnussbäumen ein Bewirtschaftungssystem mit ökonomischer Bedeutung darstellen (Rehnus et al., 2012). Die Rinderhaltung unter Walnüssen ist nach Harper (2001) jedoch meist rentabler als die Heumahd. Die Walnussblätter selbst zeigen im August anteilig an der Trockenmasse u.a. 14% Rohprotein, 75% verdauliche Biomasse und 1% KT sowie 9% Lignin (Luske et al., 2017). Harper (2001) berichtet jedoch, dass Rinder die Walnussblätter eher aus Langeweile als aus Appetit zu sich nehmen und der größte Schaden durch das Reiben der Tiere an der Pflanze entstehen kann. Überdies empfiehlt der Autor, die Rinder Anfang August von der Fläche zu entfernen, sodass sich das Gras regenerieren und der Mist entsprechend trocknen oder sich zersetzen kann, damit die Nussqualität zur Erntezeit nicht beeinträchtigt wird.

Weltweit werden Walnussbäume bereits in Plantagen, Alley Cropping Systemen und sogar SPS angebaut, da sie nicht nur ein begehrtes Wertholz darstellen, sondern auch einer der Nussbäume der gemäßigten Zone mit dem höchsten Ertrag sind (Houx et al., 2008; Toensmeier, 2016; Loewe-Munoz et al., 2020). In Reinkulturen liegt der Ertrag von ungetrockneten Nüssen in Schale in guten Jahren bei 6,5 - 7,5 t/ha, was 0,2 - 1,8 t/ha getrockneten Nüssen ohne Schale entspricht (Toensmeier, 2016). Erste Nusserträge stellen sich jedoch frühestens im siebten Jahr ein (Rueß, 2019). Besonders in den ersten Jahren nach der Pflanzung stellen also die Erträge der tierischen Komponente im SPS eine wichtige Rolle für die Wirtschaftlichkeit des Systems dar. Zusätzlich zeigt sich der Vorteil eines SPS auch darin, dass man in Jahren mit Spätfrösten, in denen die empfindlichen Blüten erfrieren und Nüsse ausbleiben können (Rueß, 2019), trotzdem andere Erträge aus dem von Diversität geprägten System erzielen kann. Generell gedeiht die Walnuss besser an wärmeren Orten, was im Rahmen einer globalen Erwärmung einen Vorteil für Anbauer aus Mitteleuropa bedeuten kann. Wie *Juglans sp.* auf klimatische Veränderungen reagiert, wird von Experten jedoch unterschiedlich optimistisch eingeschätzt und so weisen Gauthier & Jacobs (2011) auf eine nicht zu vernachlässigende Ungewissheit hin.

September bis Oktober sind die Walnüsse erntereif, wobei nur die Echten Walnüsse aus ihrer grünen Hülle fallen. Wichtig ist das Waschen und Trocknen der Nüsse nach der Ernte, da sie so 12-15 Monate lagerfähig bleiben. Walnüsse sind reich an Protein, Fetten und Antioxidantien und somit für die menschliche Ernährung interessant. Weiterhin wurden verschiedene gesundheitsfördernde Effekte nachgewiesen und die Nuss wird häufig zum Backen, in

Nussmischen und Müslis eingesetzt (Maharjan et al., 2013; Rueß, 2019). In Nordamerika wird die Walnuss in SPS erfolgreich mit Himbeeren, Pflaumen, Weinreben und Schweinen oder Rindern kombiniert (Shepard, 2013). Eine Liste geeigneter Begleitpflanzen für verschiedene Altersklassen der Walnuss bietet die Veröffentlichung von Scott & Sullivan (2007): Darunter finden sich unter anderem *Morus sp.*, Robinie, Holunder, Johannisbeere, Klee, Pilzzucht auf Stämmen, Himbeere und verschiedene Futterpflanzen. Auch Hühner und Rinder werden hier für unter 15 Jahre alte Walnüsse als geeignete Begleiter genannt.

Für Kulturen, deren Hauptprodukt das Wertholz darstellt, wurde die Mischkultur von Walnuss mit dem Stickstofffixierer Robinie, Erle oder Wildkirsche von Wissenschaftlern und Praktikern als vorteilhaft für das Wachstum der Walnuss und die Stickstoffausnutzung beschrieben. Größere Höhe und Stammdurchmesser, geringerer Schaderregerdruck und verstärkte Ausbildung von Blattbiomasse konnten nachgewiesen werden (Chiffot et al., 2005; Greene, 2016; Loewe-Munoz et al., 2020). Sen et al. (2012) stellen für Systeme aus Walnuss, Weizen und Mungbohnen im Vergleich mit Walnussreinkulturen und Ackerkulturen zwar keine Zunahmen für Stammdurchmesser oder Höhe der Walnuss fest, konnten jedoch verringerte Kohlenstoffdioxidemissionen in der Mischkultur feststellen. Überdies zeigen Untersuchungen von Walnüssen in mediterranen AFS, dass Walnüsse dort tiefer wurzeln und sich die Wurzeln stärker vertikal orientieren, wodurch *Juglans sp.* Wasser verfügbar ist, das Feldfrüchte mit ihren Wurzeln nicht erreichen können (Cardinael et al., 2015).

Die Kombination dieser Ergebnisse mit den Ausarbeitungen von Karki & Goodman (2014) zum Mikroklima in SPS lässt die Vermutung zu, dass die Walnuss im Rahmen von SPS trotz prognostizierter Extremwetterereignisse erfolgreich in Deutschland kultiviert werden kann. Gleichzeitig bieten AFS die Möglichkeit zur Kohlenstoffbindung, da die Gehalte organischen Kohlenstoffs im Boden in agroforstlichen Gehölzstreifen mit Walnuss erhöht sind, verglichen mit der Kontrollgruppe (Cardinael et al., 2018; Pardon et al., 2019). Außerdem vermuten die Autoren, dass tief-wurzelnende Bäume zusätzlich Kohlenstoff im Boden speichern können, da dieser bspw. über Wurzelexsudate an den Boden abgegeben wird, geben aber zu bedenken, dass hier weiterer Forschungsbedarf besteht (Cardinael et al., 2018). Neben den genannten vorteilhaften Effekten konnte auch eine erhöhte Diversität der Arthropoden in AFS mit Walnüssen festgestellt werden (Pardon et al., 2019).

In der Literatur wird auf den Vorteil einer Düngergabe (Stickstoff, Kalium und Phosphor) im März oder April hingewiesen (Rueß, 2019). Hier bietet sich im SPS die Möglichkeit der gezielten Beweidung und damit natürlichen Düngung. Außerdem bewirkt die Rückführung der Nussschalen von *Juglans nigra* in SPS und Alley Cropping Systemen nach Houx et al. (2008) teilweise sogar signifikante Wachstumszunahmen bei Rotklee (*Trifolium pratense*) und Knäuelgras (*Dactylis glomerata*). Zusätzlich bestätigte die Analyse der Zusammensetzung der

Schalen hohe Gehalte an Stickstoff und Kalium. Weiterhin ergab die toxikologische Untersuchung, dass der Oberflächenabfluss bei den hier angewandten Mengen von bis zu 68 t/ha keine nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserqualität hat. Die Autoren schlussfolgern, dass gerade in der Verarbeitungsindustrie große Mengen an Nussschalen anfallen, die ausgebracht in AFS oder SPS, die Systeme mit Mineralien und organischem Material bereichern könnten. Die Häufigkeit und genauere Rahmenbedingungen, unter denen die Ausbringung der Schalen in einem SPS mit Weidetieren durchgeführt werden kann, sind jedoch unzureichend erforscht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in SPS mit *Juglans sp.* das Tierwohl gesteigert werden kann, während gleichzeitig Nuss- oder Holzerträge und positive Auswirkungen auf die Umwelt in Aussicht stehen. Für den Betreiber des SPS mit Walnuss, Haselnuss und Maulbeere ergeben sich hier verschiedene Handlungsmöglichkeiten: Der geringste Aufwand besteht darin, die Früchte vom Kunden ernten zu lassen. Man könnte alle drei Früchte aber auch frisch oder getrocknet abgeben, jeweils einzeln oder in Kombination und deren Regionalität und gesundheitliche Vorteile gemeinsam bewerben, wodurch höhere Preise erzielt werden können. Dafür müssen aber auch Investitionen in Gerätschaften wie Trocknungsanlagen getätigt werden.

Da die Nüsse von *J. regia* bei der Reife selbst aus ihrer grünen Hülle fallen, während diese bei *J. nigra* erst entfernt werden muss, wäre *J. regia* mit geringerem Arbeitsaufwand für den Landwirt verbunden und eine Ertragsorte scheint hier die richtige Wahl.

Der Managementaufwand insgesamt beschränkt sich besonders auf die ersten Jahre nach der Pflanzung, da Schutzvorrichtungen installiert werden müssen und ggf. das Ästen im Spätsommer während der Jungbaumerziehung erfolgen sollte. Ein regelmäßiger Schnitt ist jedoch nicht nötig (Rueß, 2019). Die gezielte Beweidung kann in diesem Zeitraum außerdem die Kosten der Unkrautbekämpfung mindern, somit Kosten einsparen und Wachstumsbedingungen optimieren (Lopez & Moreno, 2017). Das Pflanzgut sollte eine Größe von mindestens 1,50 m haben und der Stamm die ersten 5 Jahre geschützt werden, da Rinder bis auf diese Höhe Fraßschäden verursachen können. Unmittelbar nach der Pflanzung sollte im Abstand von etwa einem Meter auf beiden Seiten der Gehölzreihe elektrische Umzäunung installiert werden (Harper, 2001; Lopez & Moreno, 2017). Für den Abstand zwischen den Bäumen innerhalb der Reihe wird in der Literatur 6 - 7,3 m empfohlen (Buerger et al., 2005; Lopez & Moreno, 2017).

7. Pflanzmuster

Die Anordnung der Gehölze soll in Reihen erfolgen, da so Ernte- und Pflegeprozesse sowie Schutz der Bäume aber auch Zaunbau und die Arbeit mit landwirtschaftlichen Maschinen

zwischen den Gehölzstreifen erleichtert wird. Die Sonnenwanderung soll beim Pflanzmuster nicht besonders berücksichtigt werden, da Sukzession ein nicht-endender Prozess ist und so zwangsläufig bei beispielsweise Ernte- oder Verjüngungsprozessen veränderte Bedingungen für einzelne Bäume absehbar sind. Stattdessen ist Wasser in SPS eine kritische Ressource und der Verbrauch im Vergleich zur offenen Weide höher (Karki & Goodman, 2014). Um also die wertvolle Ressource Wasser effizient auszunutzen, soll die Anordnung der Gehölzstreifen leicht verschoben entlang der Höhenlinien nach dem *Keyline Design* (oft übersetzt als *Schlüssellinienprinzip*) von Ken Yeomans erfolgen (Yeomans, 1954). Yeomans hat seit 1954 verschiedene Bücher zum Keyline Design veröffentlicht. Die Zahl wissenschaftlicher Arbeiten ist noch gering und Autoren beschreiben sowohl positive als auch neutrale Effekte des Keyline Designs auf Boden, Wasserhaushalt und Ökosystem (Hill, 2003; Duncan & Krawczyk, 2016). Yeomans' Arbeiten wurden jedoch u.a. von David Holmgren (Permakultur Mitbegründer) und Darren J. Doherty (Permakultur, ganzheitliches Weidemanagement) aufgegriffen und finden somit heute weltweit Anwendung.

Da die exakte Ausarbeitung eines Keyline Systems für die Fläche den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde und die zur Verfügung stehenden Höhenlinien durch die Beackerung der letzten Jahre und Erdarbeiten im östlichen Teil der Fläche nicht mehr aktuell sind, erfolgt das Design hier nur skizzenhaft anhand der online verfügbaren Daten. Die östlichste durchgehende Höhenlinie bietet dabei Orientierung zur Erstellung der Leitlinie (siehe Abbildung 2 und Abbildung 4). Für die tatsächliche Umsetzung bedarf es hier genauerer Messungen.

Bei der Gestaltung der Fläche sollen besonders Managementanforderungen und gemeinsame Funktionen der Gehölze, Bestäubungspartner, Erntezeit der Früchte, Windanfälligkeit, Ausmaße der Bäume und Beschattung durch diese im ausgewachsenen Zustand, Arbeitsbreite zwischen den Baumreihen und Schutzbedarf der ersten Jahre die Entscheidungsgrundlage darstellen. Weiterhin ist zu bedenken, dass einzelne Bäume oder auch Baumreihen nach der ersten Anpflanzung jederzeit ergänzt oder entfernt werden können. Um das Wurzelwachstum der Bäume in die Tiefe, statt in die Horizontale zu beeinflussen, sollte weiterhin die bereits beschriebene Tiefenlockerung entlang der Gehölzstreifen jährlich durchführbar sein. Auch die Irrigation gestaltet sich einfacher entlang Reihen.

Für den Abstand zwischen den Gehölzstreifen wurden 27 m gewählt, da so selbst zwischen zwei Gehölzstreifen mit *Juglans sp.* noch viele Jahre genug Licht an die Futterpflanzen der Weide zwischen den Streifen gelangt. Eine Beackerung der Fläche selbst zu einem Zeitpunkt, bei dem die Bäume ihre volle Größe erreicht haben, bleibt weiterhin möglich - größeren Ästen, die in die Ackerfläche wachsen, kann so sogar ausgewichen werden. Weitere Gehölzstreifen können zu einem späteren Zeitpunkt stets ergänzt werden. Die Abstände innerhalb der

Baumreihen wurden je nach Art unterschiedlich gewählt und sind in Abbildung 4 dargestellt: Für *Salix sp.* wird eine benötigte Breite des Gehölzes von 4 m angenommen, für *Corylus sp.* 2,5 m, für *Morus sp.* 8 m, für die Robinie 4 m und für die Walnuss 16 m. Diese Maße sind abgeleitet von den Werten in Tabelle 1. Die Ausmaße können bedingt durch Rückschnitt oder Fraß, aber auch mit dem Alter der Gehölze variieren. Solange Walnuss und Maulbeere nicht ausgewachsen sind, bietet sich die Möglichkeit, diesen Raum mit weiteren Pflanzen zu füllen. Mithilfe der Darstellung in Abbildung 5 (siehe Anhang 3) lassen sich (gemeinsame) Eigenschaften und Funktionen der einzelnen Gehölze leicht ausmachen. Basierend darauf und den bisher festgestellten Rahmenbedingungen lassen sich vier Reihen bilden, die sich in Nord-Süd Ausrichtung erstrecken und im Folgenden von Osten nach Westen fortlaufend nummeriert sind. *Salix sp.* ist dabei in allen Reihen vorgesehen, damit die erwähnte Fütterperiode von 55 Tagen gewährleistet werden kann.

Reihe 1 befindet sich im Osten der Fläche und in Nachbarschaft zu einer Feldhecke. Hier sind neben der Weide Arten kombiniert, die Holz- oder Fruchterträge in Aussicht stellen: Maulbeere, Walnuss und Haselnuss. Bedingt durch die Nussernte kann zumindest im September und Oktober hier nicht geweidet werden. Eine ausreichende Zahl Bestäubersorten in entsprechenden Abständen zu den Ertragssorten bei *Corylus avellana*, ist dabei zu gewährleisten.

Reihe 2 besteht aus Weide, Robinie und Walnuss und eignet sich als Wertholzanlage. Durch die Kombination mit Robinie soll die Walnuss nicht nur im geraden Wachstum gestärkt, sondern auch mit Stickstoff versorgt werden. Wie auch in Reihe 1 ist dieser Bereich zur Erntezeit abzugrenzen, sodass die beiden Reihen als Einheit abgezäunt werden können und der Rest weiter zur Beweidung zur Verfügung steht. Das wiederholte Kappen (Englisch "pollarding") der Robinie knapp oberhalb der Fraßhöhe von Rindern (bekannt von den sogenannten "Kopfweiden") und die Verfütterung dieser Zweige ist außerdem denkbar.

Reihe 3 mit Robinie, Maulbeere und Weide kann Fruchterträge oder Tierfutter bereitstellen. Außerdem ist die Integration von Bestäubersorten der Haselnuss denkbar.

Für **Reihe 4** ist eine Kombination von Haseln, Weiden und Maulbeeren angedacht. Besonders im Herbst könnte hier Tierfutter bereitgestellt werden, wenn der östliche Teil der Fläche von der Beweidung ausgeschlossen ist. Wiederholtes Kappen der Gehölze ist hier besonders bei den Weiden ratsam (AgrarNatur-Ratgeber, Maßnahme L3, Becker et al., 2019). Die Robinie findet in diesem Streifen keine Verwendung, um genügend Abstand zu benachbarten Ackerflächen und öffentlichen Wegen zu gewährleisten.

Die gewählte Anordnung auf der Fläche fügt sich zu einem System zusammen, welches als Gesamtheit betrachtet und bewirtschaftet wird und als Einheit der Erfüllung der Ziele des

Landwirts dient. Die ehemalige Ackerfläche weist nun eine höhere biologische Diversität auf und durch unterschiedliche Ausmaße und Wachstumsgeschwindigkeiten der multifunktionalen Gehölze sowie Rückschnitt oder Beweidung dieser, ist das System von großer Heterogenität geprägt. Die Nutzfläche erfordert aber auch durch die Rotationsbeweidung eine intensive Betreuung. Die in Kapitel 2 aufgestellten Eigenschaften silvopastoraler Systeme werden somit erfüllt.

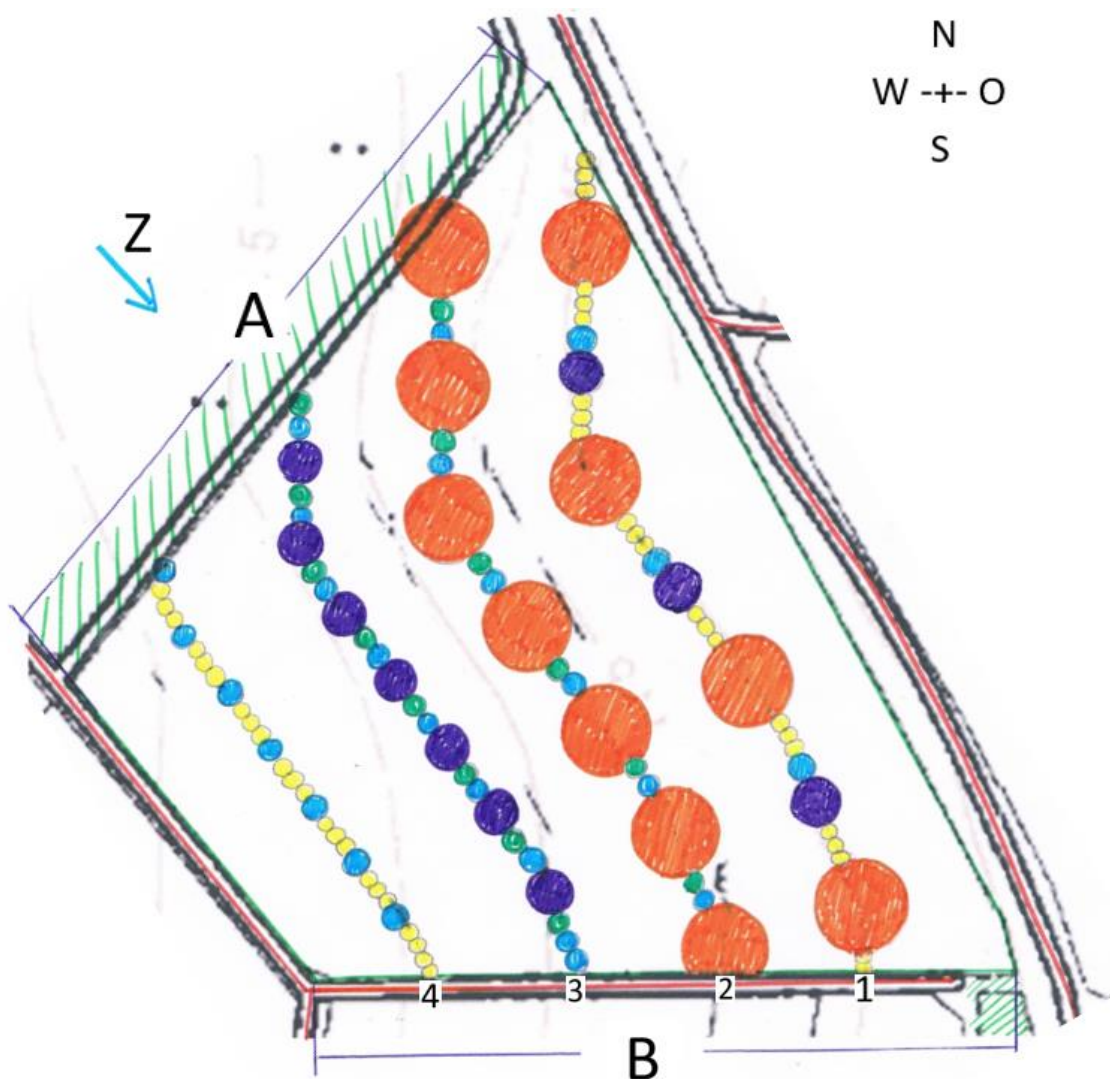


Abbildung 4: Skizze des Pflanzmusters: Z kennzeichnet die Windrichtung. Seite A entspricht einer Länge von 147 m, Seite B entspricht einer Länge von 130 m. Gelb = *C. avellana*, blau = *Salix* sp., orange = *J. regia*, lila = *Morus* sp., grün = *Robinia pseudoacacia*. Rot dargestellt ist das öffentliche Wegenetz, grün schraffiert sind anliegende Landflächen, die ebenfalls im Besitz des Landwirts sind.

8. Diskussion

8.1 Auswahl der Arten

Da diese Arbeit schwerpunktmäßig nur die Gehölzarten behandelt, bleiben vor der tatsächlichen Umsetzung diverse Aspekte zu klären. Zwar existieren teilweise wissenschaftliche Veröffentlichungen zu verschiedenen in der Folge aufgezählten Aspekte, doch sind SPS schon alleine durch ihren Standort von einer solchen Individualität gekennzeichnet, dass sich Aussagen nur begrenzt verallgemeinern lassen. Die Artenwahl für diese Arbeit wurde beispielsweise davon geleitet, ob die fragliche Art bereits im silvopastoralen Kontext angewendet wird. Ein Großteil der zitierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen stammt jedoch nicht aus dem europäischen Raum, weil es zu mitteleuropäischen SPS nur eine geringe Anzahl an Veröffentlichungen gibt. Auch unterliegt der Ausgangspunkt des Prozesses, 'interessante' Arten zu sammeln, einer gewissen Subjektivität. Eine Herangehensweise anhand rein wissenschaftlicher Daten wäre hier alternativ möglich, jedoch nur begrenzt praktikabel, da es an einer einheitlichen Datengrundlage zur Gewichtung der Entscheidungsfaktoren fehlt und die Anzahl der möglichen Gehölze groß ist. Aufgrund der komplexen und multidimensionalen Fragestellungen und Zielsetzungen hat diese Arbeit primär einen explorativen Charakter. Weiterhin stellen die von landwirtschaftlichen Behörden bereitgestellten Daten und Karten nur verallgemeinerte, teilweise seit längerem nicht aktualisierte Daten bereit, die Unregelmäßigkeiten innerhalb der Schläge nicht mit einbeziehen oder nicht mehr richtig widerspiegeln.

Die Auswahl der Gehölzarten wurde im Rahmen dieser Arbeit auf wenige Arten beschränkt. Es kommen selbstverständlich weit mehr Arten infrage. Dabei wurden die Arten hier nur isoliert betrachtet, in der Landschaft vorkommende Pathogene oder ökonomische Aspekte flossen hingegen nicht in den Entscheidungsprozess mit ein. Denkbar wäre auch, die Artenwahl bspw. auf Basis in der Region beheimateter Arten zu treffen, oder den Fokus auf zu erwartende Fruchterträge oder finanzielle Berechnungen zu legen. Die exakte Berechnung und Messung von Fruchterträgen oder auch ökologischen Dienstleistungen bleibt offen.

Trotz der genannten Kritikpunkte eignen sich die hier gewählten Gehölzarten laut Literatur im Rahmen der genannten Ziele für dieses Fallbeispiel, da sie jeweils verschiedene Funktionen erfüllen, Vorteile für Mensch, Tier- und Umwelt bergen und in ihrer Kombination und Anordnung den Landwirt trotz der Etablierung perennierender Pflanzen nicht dauerhaft an eine einzige Produktion binden, sondern Flexibilität bieten. Auch die nachträgliche Eingliederung weiterer Tiere oder Unternehmungen wie der Imkerei, Pilzzucht, Produktion nachwachsender Rohstoffe, von Edelholz oder Energieholzstreifen sowie ackerbauliche Nutzung ist

durchführbar. Überdies ist die gezielte Ergänzung weiterer Pflanzen der Kraut-, Strauchschicht oder Gehölze möglich.

8.2 Eignung der Arten

Während Weiden und Haselsträucher in Deutschland zum bekannten Landschaftsbild zählen, lässt sich besonders die Wahl von Maulbeere, Robinie und Walnuss diskutieren. Da die Maulbeere in Deutschland weder heimisch noch weit verbreitet oder gar bekannt ist, kann der Landwirt sich nicht auf eine erprobte Kultivierung oder Vermarktbarkeit der Früchte verlassen. Geläufigere Obstbäume bieten zwar leichter zu vermarktende Früchte und es existieren diverse Empfehlungen zu ihrer Kultivierung, doch bedarf es meist umfangreicher Pflegearbeiten und die Obstgehölze bieten selten Laubfutter. Die Maulbeere hingegen bietet bei erfolgreicher Etablierung eine Vielfalt an Nutzungsmöglichkeiten und das Schaffen eines Nischenprodukts, sodass der Versuch lohnend erscheint.

Auch die Robinie ist in Europa - wie in Kapitel 6.4 beschrieben - wegen potenzieller Toxizität und Invasivität umstritten. Deren Kultivierung sollte in Absprache mit örtlichen Naturschutzbehörden und Forstwirten jedoch durchführbar sein. Weitere Erfahrungswerte aus der Praxis zeichnen sich in naher Zukunft ab, da die Robinie auch im Rahmen des Waldumbaus aktuell Anwendung findet. Eine intensive Überwachung der Robinie in den ersten Jahren ist bei der Bewirtschaftung eines SPS kein besonderer zusätzlicher Aufwand und so sollte eine verantwortungsvolle Flächenbewirtschaftung möglich sein.

Zuletzt steht die Walnuss durch ihre potenziell allelopathische Wirkung in kritischem Licht. Hier werden in Kapitel 6.5 verschiedene Studien zitiert, die eine Beweidung unter Walnüssen durchaus als praktikabel beschreiben und auch die Beschattung und mikroklimatische Veränderung lassen auf einen großen Mehrwert für SPS schließen. Bei erfolgreicher Kultivierung bietet so auch diese Art relevante Vorteile für die Funktionsweise des Gesamtsystems. Zusätzlich geht mit der Entfernung der Art von der Fläche stets ein Holzertrag einher und so kann das System bei etwaiger Unstimmigkeit modifiziert werden.

8.3 Wahl des Pflanzmusters

Auch die Anordnung der Arten im vorgeschlagenen Pflanzmuster berücksichtigt nur begrenzt wissenschaftliche Ausarbeitungen zu Wechselwirkungen der Gehölzarten, sondern erfolgt primär nach gemeinsamen Funktionen, die die Arbeit des Landwirts erleichtern sollen.

Historisch gesehen war Wasser in Deutschland nie so bedeutend limitiert wie im Ursprungsland des Keyline Designs, daher entspricht die Gestaltung einer Fläche nach diesen Prinzipien nicht der gängigen Ackerbaupraktik, bei welcher die Fahrgassen parallel zur Flächengrenze orientiert werden, um bspw. Fahrwege zu optimieren. Weiterhin entspricht die

hier gewählte Anordnung nicht exakt den Prinzipien dieses Designs, denn dafür bedarf es exakter Daten und Ausarbeitungen. Somit werden auch die diesem Design zugeordneten Eigenschaften (bspw. der Wasserverteilung) nicht unbedingt vollständig erreicht. Für die laut IPCC (2014) prognostizierte Zukunft mit vermehrten Dürren sowie Extremniederschlagsereignissen, könnte ein Landschaftsdesign, welches sich auf die optimale Nutzung und Verteilung der Ressource Wasser fokussiert, jedoch von Vorteil sein.

Neben geschwungenen oder geraden Reihen wäre aber auch eine andere Verteilung der Bäume auf der Fläche denkbar, bei der beispielsweise Sonneneinstrahlung oder Bodeneigenschaften ausschlaggebende Kriterien darstellen.

9. Schlussfolgerung

9.1 SPS als Werkzeug kleinbäuerlicher Betriebe?

Agroforstliche und silvopastorale Systeme werden häufig im Kontext der Steigerung der Flächenproduktivität und des Tierwohls durch Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen sowie des Umweltschutzes durch Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung hervorgehoben (Montagnini & Nair, 2004; Tsonkova et al., 2012; Karki & Goodman, 2012 u. 2014). In einem System, das bedingt durch langsames Wachstum der Gehölze Jahre braucht, bis sich erste Effekte feststellen lassen und zudem fortlaufend Stoffausträge durch Beweidung und Ernte erfolgen, ist die Gültigkeit dieser Aussagen jedoch eingeschränkt und nur begrenzt messbar. Vor diesem Hintergrund lässt sich auch argumentieren, ob angesichts der Problematik des Verlusts landwirtschaftlicher Flächen in Deutschland, eine Fläche wie die hier behandelte mit einer guten Ackerzahl für die silvopastorale Nutzung geeignet ist.

Konfrontiert mit den aktuellen gesellschaftlichen Forderungen und Aufgaben bieten SPS der Landwirtschaft jedoch eine Möglichkeit zur Anpassung. Kremen und Merenlender (2018) postulieren bezüglich der genannten Herausforderungen, dass dem Biodiversitätsverlust nur Einhalt geboten werden kann, indem die statischen Paradigmen ersetzt werden durch solche, die natürliche und ökologische Dynamiken mit einbeziehen. In diesem Sinne sollen dauerfähige, resiliente landwirtschaftliche Systeme gestaltet werden, die nicht nur die Produktivität steigern, sondern auch Existenzgrundlage und natürliche Biodiversität fördern und damit grundlegende Vorteile für die Menschheit bieten. Silvopastorale Systeme zeigen hier deutliches Potenzial.

Aktuelle Veröffentlichungen stützen die Argumentation, dass SPS in gemäßigten Zonen eine Antwort auf diese Herausforderungen darstellen können und deren Flächenproduktivität sogar die der offenen Weide oder Forstkultur mit bis zu 55% übertrifft. Der Land Equivalent Ratio (LER) silvopastoraler Systeme fällt besonders in Systemen mit Rindern und unter

Berücksichtigung der Futterproduktion höher aus (Pent, 2020). Die teilweise Extensivierung der Fläche (innerhalb der Gehölzstreifen) und damit Reduzierung der ackerbaulich nutzbaren Fläche wird so also angeglichen und birgt zusätzlich den Vorteil der Schaffung von Nahrungs-, Nist-, Versteck- und Überwinterungsmöglichkeiten und damit der Konservierung der Biodiversität (vergleiche Maßnahme L1, L3, AgrarNatur-Ratgeber, Becker et al., 2019). Menschliche Nahrungsmittelproduktion und Naturschutz vereinen sich so auf einer Fläche.

Besonders klein skalierte landwirtschaftliche Betriebe können leichter dynamisch auf Veränderungen reagieren und damit für die nachhaltige Produktion regionaler Lebensmittel von Wert sein. Denn gerade kleinbäuerliche Betriebe mit Direktvermarktung haben häufig regelmäßige Interaktionen mit dem Konsumenten und können so über ihr Handeln aufklären und kleinere Mengen zusätzlicher Produkte über bereits existierende Absatzwege mit vermarkten. Dem Druck der Produktivitätssteigerung und dem direkten Einfluss auf landwirtschaftliche Unternehmungen durch Wetter, gesetzliche Rahmenbedingungen, mediale Berichterstattung und dem Auftreten von Krankheiten, Schaderregern und ortsfremder Organismen, kann hier durch die Bewirtschaftung diverser, resilienter und multifunktionaler Systeme entgegengetreten werden.

Die Bewirtschaftung des Landes und die Produktion von Nahrungsmitteln stellt eine gesellschaftliche Leistung dar, die aktuell in Deutschland häufig mehr Kritik als Wertschätzung erfährt (BMEL, 2019b; agrarheute, 2020). SPS bieten nicht nur eine Chance, das Image der Landwirtschaft zu verbessern und aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse anzuwenden, sondern auch eine ästhetische Bereicherung der Landschaft und Befriedigung für den Landwirt (Shrestha et al., 2004b).

Um die Zahl der SPS in Deutschland zu erhöhen, bedarf es jedoch finanzieller Fördermittel, die die hohen Anfangsinvestitionen und langfristige Kapitalbindung ausgleichen. Weiterhin ist eine Vereinfachung des bürokratischen Aufwands nötig und die Schaffung von Beratungsangeboten (Böhm & Hübner, 2020).

9.2 Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf

In Deutschland sind AFS bisher selten und auch die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist gering. Gerade SPS sind vielen Landwirten unbekannt und aufgrund fehlender Erfahrungswerte, Datengrundlagen, Förderung und Beratungsstellen zusätzlich unattraktiv. Genauere Daten zur Ökonomie und dem zu erwartenden Arbeitsaufwand in Verbindung mit verschiedenen Gehölzarten in Deutschland fehlen. Überdies gibt es bisher kaum Empfehlungen zu passenden Futterpflanzen oder Nutzpflanzen der Kraut- und Strauchschicht in einem SPS. Auch die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten sind

bisher noch wenig untersucht. Hilfreich wäre ein Nachschlagewerk, das für AFS in Deutschland geeignete Arten darstellt und einen Überblick über deren Anforderungen, Eigenschaften, Kompatibilität und Potenziale bietet. So könnten interessierte Landwirte ihrem Standort und ihren Zielen entsprechende Arten zügig und adäquat zusammenstellen.

Weiterhin wären Werkzeuge hilfreich, die es dem Landwirt erleichtern, seine Leistungen wie beispielsweise Kohlenstoffbindung, Naturschutz, Steigerung des Tierwohls oder andere Umweltdienste in Zahlen zu fassen. Durch diese ließe sich die Kommunikationsarbeit verbessern, um die Vermarktung der Produkte zu erleichtern und den Wert ihrer Arbeit für die Gesellschaft greifbarer machen.

10. Zusammenfassung

Basierend auf aktuellen wissenschaftlichen Veröffentlichungen bieten silvopastorale Agroforstsysteme (SPS) eine Vielzahl von Möglichkeiten, landwirtschaftliches Handeln mit Klima- und Artenschutz zu vereinen und zudem Flächen- und Tierproduktivität sowie Tierwohl zu steigern. Gleichzeitig wird die Produktpalette eines Betriebes erweitert und damit das Einkommen diversifiziert. Silvopastorale Systeme sind gekennzeichnet durch hohe biologische Diversität, zeitliche, räumliche und funktionale Heterogenität und gezielte Integration der Komponenten in ein Gesamtsystem, welches intensiver Betreuung bedarf. Weiterhin sind Tiere und perennierende Pflanzen dominante Elemente in einer dem Standort angepassten Landnutzung und sollen stets mehrere Funktionen erfüllen. Störungen bspw. in Form von Wetterereignissen oder anthropogenen Eingriffen stellen eine wichtige Determinante dar. Silvopastorale Systeme werden mit Blick auf mehrere Jahrzehnte sowie standortbedingte und betriebliche Herausforderungen und Ziele entwickelt, weshalb der Artenwahl der Gehölze eine große Bedeutung zukommt.

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wird die Artenwahl von Gehölzen für ein multifunktionales, silvopastorales Agroforstsystem in Deutschland anhand eines Fallbeispiels durchgeführt. Nach Analyse von Standort, betrieblichen Zielsetzungen und Rahmenbedingungen wurde dazu eine Liste mit geeignet erscheinenden Gattungen und Arten erstellt und nach Literaturoswertung und wiederholtem Abgleich mit den gesteckten Zielen auf fünf Arten reduziert.

Für ein mit Rindern beweidetes System im Grafschafter Lösshügelland, welches in einen kleinbäuerlichen Betrieb mit Direktvermarktung integriert werden soll, wurde anhand dieser Verfahrensweise folgende Auswahl getroffen: *Salix sp.*, *Corylus avellana*, *Morus alba*, *Robinia pseudoacacia* und *Juglans regia*. Diese Gehölze erfüllen jeweils verschiedene Funktionen und ermöglichen die Zusammenstellung zu einem System, welches in seiner Gesamtheit, die

eingangs genannten Eigenschaften aufweist und den Zielsetzungen entspricht. Hierdurch können Tierfutter, Fruchtproduktion, Holzproduktion und positive Auswirkungen auf die biotische und abiotische Umwelt realisiert werden. Zudem bezieht das erstellte SPS aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse mit ein, wie sich die Landwirtschaft an aktuelle Herausforderungen wie den Klimawandel anpassen könnte.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Merkmale und Potenziale der Arten genauer beleuchtet, diskutiert und zusammengetragen, um dem Bewirtschaftenden der Beispielfläche eine Übersicht zu gewähren und schließlich die Bewirtschaftung des Systems zu vereinfachen. Die entsprechende Gestaltung in Anlehnung an das Keyline Design wird skizzenhaft dargestellt.

Das entworfene SPS zeigt nach Auswertung der wissenschaftlichen Literatur deutliches Potenzial, landwirtschaftliches Handeln im Einklang mit Natur- und Klimaschutz zu ermöglichen, indem auf aktuelle Herausforderungen mit dem zukunftsorientierten Design resilienterer, multifunktionaler, silvopastoraler Systeme geantwortet wird. Trotz des Potenzials ist die Zahl der SPS und die der wissenschaftlichen Arbeiten zu SPS in Deutschland noch gering und es bedarf hier weiterer Erfahrungswerte und Hilfestellungen auf politischer und wissenschaftlicher Ebene.

11. Literaturverzeichnis

- agrarheute (2020): Bauern-Bashing: Französische und deutsche Bauern leiden am meisten. Online Artikel von Dr. Zinke, O. Online verfügbar Stand 01.11.2020: <https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/bauern-bashing-franzoesische-deutsche-bauern-leiden-meisten-570374>
- Ajorlo, M.; Abdullah, R.; Hanif, A.H.M.; Halim, R.A.; Yusoff, M.K. (2011): Impacts of Livestock Grazing on Selected Soil Chemical Properties in Intensively Managed Pastures of Peninsular Malaysia. In: *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.* 34 (1), S.109 - 121, ISSN: 1511-3701
- Alasalvar, C. & Shahidi, F. (2009): Natural antioxidants in tree nuts. In: *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 111, S.1056–1062. DOI: 10.1002/ejlt.200900098
- Alavalapati, J. & Nair, P.K.R. (2001): Socioeconomic and Institutional Perspectives of Agroforestry. In: Palo M., Uusivuori J., Mery G. (eds): *World Forests, Markets and Policies. World Forests 3*, S.52-62 Springer, Dordrecht. DOI:10.1007/978-94-010-0664-4_5
- Alemu, M.M. (2016): Ecological Benefits of Trees as Windbreaks and Shelterbelts. In: *International Journal of Ecosystem* 6, S.10–13. DOI: 10.5923/j.ije.20160601.02
- Algirdas, J.; Siaudinis, G.; Martinkus, M.; Karcauskiene, D.; Repšienė, R.; Pedišius, N.; Vonžodas, T. (2017): Evaluation of common osier (*Salix viminalis* L.) and black poplar (*Populus nigra* L.) biomass productivity and determination of chemical and energetic properties of chopped plants produced for biofuel. In: *Baltic Forestry 2017*: 23. S.666-672
- Anbarasu, C.; Dutta, N.; Sharma, K. & Rawat, M. (2004). Response of goats to partial replacement of dietary protein by a leaf meal mixture containing *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Tectona grandis*. *Small Ruminant Research*, 51(1), S.47–56. DOI:10.1016/s0921-4488(03)00203-7
- Badgery, W.; Cranney, P.; Millar, G.; Mitchell, D.; Behrendt, K. (2012): Intensive rotational grazing can improve profitability and environmental outcomes. Conference Paper: Annual Grasslands Conference 2012, Australien. ISBN 9781742563039
- Badgery, W.; Millar, G.; Broadfoot, K.; Martin, J.; Pottie, D.; Simmons, A.; Cranney, P. (2017): Better management of intensive rotational grazing systems maintains pastures and improves animal performance. *Crop and Pasture Science* 68, S.1131-1140. DOI: 10.1071/CP16396
- Baert, M.; Eisenhauer, N.; Janssen, C.R.; De Laender, F. (2018): Biodiversity effects on ecosystem functioning respond unimodally to environmental stress. In: *Ecology Letters* 21, S.1191–1199. DOI: 10.1111/ele.13088
- Barry, K. E.; de Kroon, H.; Dietrich, P.; Harpole, W. S.; Roeder, A.; Schmid, B. (2019): Linking local species coexistence to ecosystem functioning: a conceptual framework from ecological first principles in grassland ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 61, S.265-296. DOI: 10.1016/bs.aecr.2019.06.007
- Barry, T. N. & McNabb, W. C. (1999): The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. In: *Br J Nutr* 81 (4), S.263–272. DOI: 10.1017/S0007114599000501
- Becker, N.; Muchow, T. & Schmelzer, M. (2019): *AgrarNatur-Ratgeber - Arten erkennen - Maßnahmen umsetzen - Vielfalt bewahren*. Herausgeber Stiftung Rheinische Kulturlandschaft, Bonn, S. 174,178. ISBN: 978-3-00-063718-6
- Beckert, M.R.; Smith, P.; Lilly, A.; Chapman, S.J. (2016): Soil and tree biomass carbon sequestration potential of silvopastoral and woodland-pasture systems in North East Scotland. In: *Agroforest Syst* 90 (3), S.371–383. DOI: 10.1007/s10457-015-9860-4.

- BioFlor (2020): Datenbank biologisch-ökologischer Merkmale der Flora von Deutschland. Datenbank von BfN und Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle. Salix: online verfügbar Stand 16.07.2020 unter: https://www.ufz.de/bioflor/taxonomie/taxonomie.jsp?ID_Taxonomie=3051
- Blackshaw, J.K. & Blackshaw, A.W. (1994): Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. In: Australian Journal of Experimental Agriculture 1994/34, 285-295. DOI:10.1071/ea9940285
- BMEL Ernährungsreport 2019 und 2020: forsa Politik- und Sozialforschung GmbH, Berlin <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/ernaehrungsreport2020.html> (Stand 03.09.2020)
- BMEL 2019b Landwirtschaft verstehen - Fakten und Hintergründe online verfügbar Stand 03.09.2020 <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Landwirtschaft-verstehen.html>
- Böcker, R. & Dirk, M. (2007): Ringelversuch bei *Robinia pseudoacacia* L.: Erste Ergebnisse und Ausblick. - Berichte Institut für Landschafts- u. Pflanzenökologie, Universität Hohenheim 14/15/16: S.127-142
- Böhm, C.; Quinkenstein, A.; Freese, D. (2011): Yield prediction of young black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations for woody biomass production using allometric relations. In: Annals of Forest Research 54 (2), S.215-227
- Böhm, C. & Hübner, R., 2020: Bäume als Bereicherung für landwirtschaftliche Flächen: ein Innovationskonzept für die verstärkte Umsetzung der Agroforstwirtschaft in Deutschland. Cottbus, IG AUFWERTEN. ISBN: 978-3-00-064735-2
- Buch, C.; Kasielke, T.; Mörtl, B. (2016): *Corylus avellana* - gewöhnliche Hasel, Haselstrauch (Betulaceae). In: Jahrbuch Bochumer Bot. Verein, Ausgabe 7, S.197-211
- Bubner, B.; Köhler, A.; Zaspel, I. (2018): Breeding of multipurpose willows on the basis of *Salix daphnoides* Vill., *Salix purpurea* L. and *Salix viminalis* L. In: Landbauforschung 68, 1-2: S.53-66. DOI: 10.3220/LBF1538634874000
- Buergler, A.L.; Fike, J.H.; Burger, J.A.; Feldhake, C.R.; McKenna, J.A.; Teutsch, C.D. (2005): Botanical Composition and Forage Production in an Emulated Silvopasture. In: Agronomy Journal 97 (4). DOI: 10.2134/agronj2004.0308
- Buergler, A.L.; Fike, J.H.; Burger, J.A.; Feldhake, C.M.; McKenna, J.R.; Teutsch, C.D. (2006): Forage Nutritive Value in an Emulated Silvopasture. In: Agron. J. 98 (5), S. 1265–1273. DOI: 10.2134/agronj2005.0199.
- Bundestag 2017: Regelungen zu Kurzumtriebsplantagen, Ausarbeitung WD 5 - 3000 - 087/17 des Fachbereichs: WD 5: Wirtschaft und Verkehr; Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (2016): Eintrag zu *Robinia Pseudoacacia*, online verfügbar Stand 23.09.2020: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/robinia-pseudoacacia.html> siehe auch Starfinger et al. (2016).
- BfN (2020): Landschaftssteckbrief Rhein-Ahr-Terrassen und Linzer Terrasse. Online verfügbar Stand 16.10.2020: https://www.bfn.de/landschaften/steckbriefe/landschaft/show/29201.html?tx_isprofile_pi1%5Bbundesland%5D=11&tx_isprofile_pi1%5BbackPid%5D=13857&cHash=43914b02e432140a3c5b865eca94db8b
- Cardinael, R.; Mao, Z.; Prieto, I.; Stokes, A.; Dupraz, C.; Kim, J.H.; Jourdan, C. (2015): Competition with winter crops induces deeper rooting of walnut trees in a Mediterranean alley cropping agroforestry system. In: Plant and Soil, 391(1-2), S.219–235. DOI:10.1007/s11104-015-2422-8

- Cardinael, R.; Guenet, B.; Chevallier, T.; Dupraz, C.; Cozzi, T.; Chenu, C. (2018): High organic inputs explain shallow and deep SOC storage in a long-term agroforestry system – combining experimental and modeling approaches. In: *Biogeosciences* 15 S.297-317. DOI: 10.5194/bg-15-297-2018
- Chalker-Scott, L. (2019): DO BLACK WALNUT TREES HAVE ALLELOPATHIC EFFECTS ON OTHER PLANTS? (HOME GARDEN SERIES). WSU Puyallup Research and Extension Center, Washington State University online verfügbar Stand 01.11.2020: https://www.researchgate.net/publication/333516407_DO_BLACK_WALNUT_TREES_HAVE_ALL_ELOPATHIC_EFFECTS_ON_OTHER_PLANTS_HOME_GARDEN_SERIES
- Charlton, J.F.L.; Douglas, G.B.; Willis, B.J.; Prebble, J.E. (2003): Farmer experience with tree fodder. In: *Grassland Research and Practice Series No 10: Using Trees on Farms*. Grasslands Research Centre Palmerston North, Neuseeland.
- Chiffot, V.; Bertoni, G.; Gavaland, A. (2005): Beneficial Effects of Intercropping on the Growth and Nitrogen Status of Young Wild Cherry and Hybrid Walnut Trees. In: *Agroforestry Systems* 66, S. 13-21. DOI:10.1007/s10457-005-3650-3
- Ciuvat, A.L.; Blujdea, V.; Nuta, I.S.; Negrutiu, F. (2014): Ecosystem services provided by black locust (*Robinia pseudacacia* L.) plantations in South-Western Romania. In: *International Symposium for Forest and sustainable Development, Rumänien*. Online verfügbar Stand 23.09.2020: <https://www.cabi.org/ISC/abstract/20153392995>
- Clason, T.R. & Sharrow, S.H. 2000. Silvopastoral practices. pp. 119–147. In: Garrett H.E., Rietveld W.J. and Fisher R.F. (eds), *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Clavijo, M. P., Cornaglia, P. S., Batistella, A., & Borodowski, E. (2017). Floristic enrichment of the understory increases forage production and carrying capacity of temperate silvopastoral systems. In: *Agroforestry Systems* 2017. DOI:10.1007/s10457-017-0164-8
- DLR (2020): Dienstleistungszentrum ländlicher Raum, Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz, Wetterstation Leimersdorf-Nierendorf, www.am.rlp.de
- Dold, C.; Thomas, Andrew L.; Ashworth, A. J.; Philipp, D.; Brauer, D. K.; Sauer, T. J. (2019): Carbon sequestration and nitrogen uptake in a temperate silvopasture system. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* 114 (1), S.85–98. DOI: 10.1007/s10705-019-09987-y
- Douglas, G.B., Bulloch, B.T., & Foote, A.G. (1996): Cutting management of willows (*Salix* spp.) and leguminous shrubs for forage during summer. In: *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39(2), 175–184. DOI:10.1080/00288233.1996.9513176
- Duncan, S. & Krawczyk, T. (2016): Keyline Water Management: Field Research & Education in the Capital Region - Soil Indicators Monitoring Program. Online abgerufen am 19.10.2020: http://crkeyline.ca/wp-content/uploads/2018/08/FI09_report_final_March2018_approved.pdf
- Dupraz, C. (2005): From silvopastoral to silvoarable systems in Europe: sharing concepts, unifying policies. In: *Silvopastoralism and sustainable management international congress*, Lugo. INRA, Montpellier, Frankreich
- Easterling, D.R.; Meehl, G.A., Parmesan C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (2000): Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. In: *Science* (289, 2068) DOI: 10.1126/science.289.5487.2068
- Ellenberg, H.; Leuschner, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*, 6. Auflage, Ulmer, ISBN: 9783825281045
- Erdogan, V. & Aygün, A. (2017): Late spring frosts and its impact on Turkish hazelnut production and trade. In: *FAO-CIHEAM - Nucis-Newsletter* 17, S.25-27

- Fan, L., Peng, Y., Wu, D., Hu, J., Shi, X., Yang, G., & Li, X. (2020). *Morus nigra* L. leaves improve the meat quality in finishing pigs. In: *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. DOI:10.1111/jpn.13439
- FAOSTAT (2018): Food and Agriculture Organization of the United Nations: countries by commodity: hazelnuts. Online abgerufen Stand 03.09.2020: http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_imports
- Feldhake, C.M. (2002): Forage frost protection potential of conifer silvopastures. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 112, S.123–130. DOI:10.1016/s0168-1923(02)00058-8
- Floraweb (2020): Datenbank des Bundesamts für Naturschutz, Artensteckbrief *Salix* sp.: [http://www.floraweb.de/pflanzenarten/oekologie.xsql?suchnr=5206&abgerufen am 16.07.2020](http://www.floraweb.de/pflanzenarten/oekologie.xsql?suchnr=5206&abgerufen+am+16.07.2020). *Juglans regia*: [https://www.floraweb.de/pflanzenarten/biologie.xsql?suchnr=3127&abgerufen am 07.10.2020](https://www.floraweb.de/pflanzenarten/biologie.xsql?suchnr=3127&abgerufen+am+07.10.2020)
- Ford, M. M.; Zamora, D. S.; Current, D.; Magner, J.; Wyatt, G.; Walter, W. D. & Vaughan, S. (2017): Impact of managed woodland grazing on forage quantity, quality and livestock performance: the potential for silvopasture in Central Minnesota, USA. *Agroforestry Systems* 2017. DOI:10.1007/s10457-017-0098-1
- Forest Europe (2015): State of Europe's Forests 2015. Veröffentlicht durch Ministerial Conference of the protection of Forests in Europe, Madrid, Spanien. online verfügbar Stand 23.09.2020: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2015-report/#1476293409311-9ee66a45-b35d9acd-b805>
- Gabriel, S. (2018): *Silvopasture. A Guide to Managing Grazing Animals, Forage Crops and Trees in a Temperate Farm Ecosystem*. Chelsea Green Publishing. ISBN: 978-1-60358-731-0
- García de Jalón, S.; Burgess, P.J.; Graves, A.; Moreno, G.; McAdam, J.; Pottier, E. et al. (2018): How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. In: *Agroforest. Syst.* 92 (4), S.829–848. DOI:10.1007/s10457-017-0116-3.
- Garrett, H. E.; Kerley, M. S.; Ladyman, K. P.; Walter, W. D.; Godsey, L. D.; van Sambeek, J. W.; Brauer, D. K. (2004): Hardwood silvopasture management in North America. In: *Agroforestry Systems* 61-62 (1-3), S.21–33. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000028987.09206.6b.
- Gauthier, M. & Jacobs, D.F. (2011): Walnut (*Juglans* spp.) ecophysiology in response to environmental stresses and potential acclimation to climate change. In: *Annals of Forest Science* 68, S.1277–1290. DOI: 10.1007/s13595-011-0135-6
- GeoFlo RLP (2020): Geobasisinformationen der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz: Beurteilung der Erosionsgefährdung im Rahmen von Cross Compliance (CC). geoflo.rlp.de
- Geoservice Rheinland-Pfalz (2020), geoservice.rlp.de; <https://geobox-i.de/GBV-RLP-Pflanzenbau/>
- GeoBasisViewer RLP (2012), <https://maps.rlp.de>
- Ginane, C.; Bernard, M.; Deiss, V.; Andueza, D.; Emile, J.C. et al. (2018): Fodder trees as an alternative resource to feed ruminants: voluntary intake and in vivo digestibility of white mulberry (*Morus alba*) and common ash (*Fraxinus excelsior*) leaves in sheep. 10. International Symposium on the Nutrition of Herbivores (ISNH10), 2018, Cambridge University Press, *Advances in Animal Biosciences*, 9 (3), 2018. Online Stand 17.09.2020: <https://hal.inrae.fr/hal-02738150>
- Gold, M. A. & Garrett, H.E.G. (2009). *Agroforestry Nomenclature, Concepts, and Practices*. ACSESS Publications. DOI:10.2134/2009.northamericanagroforestry.2ed.
- Grainger, C.; Clarke, T.; Auld, M.J.; Beauchemin, K.A.; McGinn, S.M.; Waghorn, G.C.; Eckard, R.J. (2009): Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. In: *Can J Anim Sci* 89:241–251

- Grado, S. C.; Hovermale, C. H.; St. Louis, D. G. (2001): A financial analysis of a silvopasture system in southern Mississippi. In: *Agroforest Syst* 53 (3), S. 313–322. DOI: 10.1023/A:1013375426677
- Greene, H. (2016): Black Locust Silvopasture: 30 Years of experience & 30 Years of Projections. Online Stand 03.10.2020: Propagate Ventures: <https://www.propagateventures.com/blog/2016/11/13/black-locust-silvopasture-30-years-of-experience-30-years-of-projections-1#>
- Griu, T. & Lunguleasa, A. (2013): *Salix viminalis* vs. *Fagus sylvatica* - fight for renewable energy from woody biomass in Romania. In: *Environmental Engineering and Management Journal* February 2016, 15 (2), S.413-420. DOI: 10.30638/eemj.2016.043
- Guerrero-Ramírez, N. R.; Reich, P. B.; Wagg, C.; Ciobanu, M.; Eisenhauer, N. (2019): Diversity-dependent plant-soil feedbacks underlie long-term plant diversity effects on primary productivity. *Ecosphere*, 10(4), e02704. DOI: 10.1002/ecs2.2704
- Hancock, G. R.; Ovenden, M.; Sharma, K.; Rowlands, W.; Gibson, A.; Wells, T. (2020): Soil erosion – The impact of grazing and regrowth trees. In: *Geoderma* 361, 114102. Elsevier B.V. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114102.
- Harper, L. (2001): Grazing cows in a walnut agroforestry practice - Results from on-farm research. In: *Green Horizons* 6 (3). Online Stand 02.10.2020: <http://agebb.missouri.edu/agforest/archives/v6n3/gh2.htm>
- Hill, S.B. (2003): Yeoman's keyline design for sustainable soil, water, agroecosystems & biodiversity conservation: a personal social ecology analysis. In: *Agriculture for the Australian Environment. Proceedings of the 2002 Fenner Conference* S. 34-48
- Hortipendium - das grüne Lexikon (2020): Eintrag *Corylus avellana*, online Stand 08.09.2020 http://www.hortipendium.de/Corylus_avellana
- Houx, J.H.; Garrett, H.E.; McGraw, R.L. (2008): Applications of black walnut husks can improve orchardgrass and red clover yields in silvopasture and alley cropping plantings. In: *Agroforestry Systems* 73 (3) S.181-187. DOI: 10.1007/s10457-008-9147-0
- Hui, A.; Marraffa, J.M.; Stork, C.M. (2004): A rare ingestion of the Black Locust tree. In: *Journal of Toxicology-clinical Toxicology* 42 (1), S.93-95. DOI:10.1081/CLT-120028752
- Huyen, N.T.; Wanapat, M.; Navanukraw, C. (2012): Effect of Mulberry leaf pellet (MUP) supplementation on rumen fermentation and nutrient digestibility in beef cattle fed on rice straw-based diets. In: *Animal Feed Science and Technology* 175, 1-2, S.8-15. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2012.03.020
- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Genf, Schweiz. S.26. online Stand 10.09.2020: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Janicka, M.; Kutkowska, A.; Paderewski, J. (2020): Diversity of vascular flora accompanying *Salix viminalis* L. crops depending on soil conditions. In: *Global Ecology and Conservation*, Volume 23. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01068
- Jilani, G.; Mahmood, S.; Chaudry, A.N.; Hassan, I.; Akram, M. (2008): Allelochemicals: sources, toxicity and microbial transformation in soil - a review. In: *Annals of Microbiology*, 58 (3) S. 351-357. DOI: 10.1007/BF03175528
- Jose, S., Walter, D., Kumar, B.M., (2017): Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. In: *Agroforestry Systems*. DOI 10.1007/s10457-016-0065-2

- Jose, S. & Dollinger, J., (2019): Silvopasture: a sustainable livestock production system. In: *Agroforest Syst* 93 (1), S.1–9. DOI: 10.1007/s10457-019-00366-8
- Kabi, F. & Bareeba, F.B. (2008): Herbage biomass production and nutritive value of mulberry (*Morus alba*) and *Calliandra calothyrsus* harvested at different cutting frequencies. In: *Animal Feed Science and Technology* 140 (1-2): S.178-190. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2007.02.011
- Kallenbach, R.L.; Kerley, M.S.; Bishop-Hurley, G.J. (2006): Cumulative Forage Production, Forage Quality and Livestock Performance from an Annual Ryegrass and Cereal Rye Mixture in a Pine Walnut Silvopasture. In: *Agroforest Syst* 66 (1), S.43–53. DOI: 10.1007/s10457-005-6640-6
- Kallenbach, R.L. (2009): Integrating Silvopastures into current forage-livestock systems. In: Gold, M.A. and M.M. Hall, eds. *Agroforestry Comes of Age: Putting Science into Practice*. Proceedings, 11th North American Agroforestry Conference, Columbia, Mo, 2009.
- Karki, U. & Goodman, M.S. (2010): Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. In: *Agroforest. Syst.* 78 (2), S.159–168. DOI: 10.1007/s10457-009-9250-x
- Karki, U. & Goodman, M.S. (2014): Microclimatic differences between young longleaf -pine silvopasture and open-pasture. *Agroforestry Systems*, 87(2), 303–310. DOI: 10.1007/s10457-012-9551-3
- Kasper, L. (2020): Baumschule für Klimawandelgehölze, Dorfstraße 26, 88527 Unlingen-Möhringen, Deutschland. Online Stand 18.09.2020:
<https://www.klimawandelgehoeelze.de/klimawandelgeh%C3%B6lze/wei%C3%9Fer-maulbeerbaum/>
- Kemp, P.D.; MacKay, A.D.; Matheson, L.A.; Timmins, M.E. (2001): The forage value of poplars and willows. In: *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 63: S.115-119. DOI: 10.33584/jnzg.2001.63.2444
- Kemp, D.R. & Dowling, P.M. (2000): Towards sustainable temperate perennial pastures. In: *Aust. J. Exp. Agric.* 40 (2), S.125. DOI: 10.1071/EA98003
- Kremen, C. & Merenlender, A. M. (2018): Landscapes that work for biodiversity and people. In: *Science (New York, N.Y.)* 362 (6412). DOI: 10.1126/science.aau6020.
- Klopfensteinn N.B.; Rietveld, W. J.; Carman, R. C.; Sharrow, S. H.; Clason, T. R.; Garrett, G.; Anderson, B. (1997): *Silvopasture: An Agroforestry Practice*. In: *Agroforestry Notes, USDA NAC*. National Agroforestry Centre, Nebraska, USA
- Köppen, W (1918): Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag and Jahreslauf. In: *Petermanns Geog. Mitt.*, Band 64, S.193–203 u. 243–248.
- Laborde, J. & Thompson, K. (2009): Post-dispersal fate of hazel (*Corylus avellana*) nuts and consequences for the management and conservation of scrub-grassland mosaics. In: *Biological Conservation* 142, 974-981. DOI:10.1016/j.biocon.2009.01.024
- Laidlaw, A.S.; Nesheim, L.; Frame, J.; Pineiro, J. (2006): Overcoming seasonal constraints to production and utilisation of forage in Europe. In: *Sustainable Grassland Productivity 2006*. ISBN: 84 689 6711 4
- Lal, R. (2010): Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. In: *BioScience* 60 (9), S.708–721. DOI: 10.1525/bio.2010.60.9.8
- Landolt, E., Bäumler, B., Erhardt, A., Hegg, O., Klötzli, F., Lämmli, W., Nobis, M., Rudmann-Maurer, K., Schweingruber, F. H., Theurillat, J. P., Urmi, E., Vust, M., & Wohlgemuth, T. (2010): *Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. Online unter: http://www.wsl.ch/floraindicativa/index_DE Stand 10.09.2020

- Larsen, J.B. (1995): Ecological stability of forests and sustainable silviculture. In: Forest Ecology and Management, 73 (1995) (1-3), S.85–96. DOI: 10.1016/0378-1127(94)03501-M
- Larsen, S.U.; Jørgensen, U. & Lærke, P. E. (2018): Biomass yield, nutrient concentration and nutrient uptake by SRC willow cultivars grown on different sites in Denmark. In: Biomass and Bioenergy, 116, S.161–170. DOI:10.1016/j.biombioe.2018.06.011
- Leakey, R.R.B. (2017): Definition of Agroforestry Revisited. In: Roger R. B. Leakey (Hg.): Multifunctional agriculture. Achieving sustainable development in Africa. London, United Kingdom, San Diego, CA: Academic Press, S.5–6. DOI: 10.1016/B978-0-12-805356-0.00001-5
- Lebrun, M.; De Zio, E.; Miard, F.; Scippa, G.S.; Renzone, G.; Scaloni, A.; Bourgerie, S.; Morabito, D.; Trupiano, D. (2020): Amending an As/Pb contaminated soil with biochar, compost and iron grit: effect on *Salix viminalis* growth, root proteome profiles and metal(loid) accumulation indexes. In: Chemosphere, 244, 125397 DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.125397
- Liu, J.X.; Yao, J.; Yan, B.; Yu, J.Q.; Wang, X.Q. (2000): The nutritional value of mulberry leaves and their use as supplements to growing sheep fed ammoniated rice straw. In: Sanchez M.D. 2001, Mulberry for animal production, animal production and health series #147, FAO, Rom, S.185-198.
- Loewe-Munoz, V.; Balzarini, M.; Gonzalez, M.O. (2020): Pure and mixed plantations of Persian walnut (*Juglans regia* L.) for high quality timber production in Chile, South America. In: Journal of Plant Ecology 13 (1), S.12-19. DOI: 10.1093/jpe/rtz042
- Lopez, M.L. & Moreno, G. (2017): Grazing sheep under walnut trees - producing high Quality Timber while reducing Costs. In: Agroforestry Innovation (16). Agforward.eu, Spanien. Online Stand 30.09.2020 :
file:///C:/Users/ASUSI5~1/AppData/Local/Temp/16_Grazing_sheep_under_walnut_trees.pdf
- Luske, B. & Van Eekeren, N. (2014): Renewed interest for silvopastoral systems in Europe – an inventory of the feeding value of fodder trees. ISOFAR Konferenz 2014: 'Building Organic Bridges', Türkei.
- Luske, B.; van Meir, I.; Altinmazis Kondylis, A.; Roelen S.; van Eekeren, N. (2017): Online fodder tree database for Europe. Louis Bolk Institute und Stichting Duinboeren, Niederlande. Online Stand 23.09.2020: http://www.voederbomen.nl/nutritionalvalues/?soort_lat=12
- LGB RLP (2020): Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, www.lgb-rlp.de
- Maharjan, S.; Paudel, P.; Satyal, P.; Dosoky, N.S. (2013): *Juglans regia* and *J. nigra*, Two Trees Important in Traditional Medicine: A Comparison of Leaf Essential Oil Compositions and Biological Activities. In: Natural product communications 8 (10) S.1481-1486. DOI: 10.1177/1934578X1300801038
- Martello, H.; De Paula N.; Teobaldo, R.; Zervoudakis, J.; Fonseca, M.; Cabral, L.; Rocha, J.; Mundim, A.; Moraes, E. (2020): Interaction between tannin and urea on nitrogen utilization by beef cattle grazing during the dry season. In: Livestock Science Volume 234, 4/2020: 103988. DOI: 10.1016/j.livsci.2020.103988
- McCabe, S. M., & Barry, T. N. (1988). Nutritive value of willow (*Salix* sp.) for sheep, goats and deer. In: The Journal of Agricultural Science, 111 (01), 1 DOI:10.1017/s0021859600082745
- Mikula, K.; Soja, G.; Segura, C.; Berg, A.; Pfeifer, C. (2020): Carbon Sequestration in Support of the "4 per 1000" Initiative Using Compost and Stable Biochar from Hazelnut Shells and Sunflower Husks. Institute of Chemical and Energy Engineering, Wien. DOI: 10.3390/pr8070764
- Minasny, B.; Malone, B.P.; McBratney, A.B.; Angers, D.A.; Arrouays, D.; Chambers, A. et al. (2018): Soil carbon 4 per mille. In: Geoderma 292, S.59–86. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

- Min, B.R.; Attwood, G.T.; McNabb, W.C.; Molan, A.L.; Barry, T.N. (2005): The effect of condensed tannins from *Lotus corniculatus* on the proteolytic activities and growth of rumen bacteria. In: *Anim Feed Sci Technol* 121:45–58. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2005.02.007
- Mleczek, M.; Gąsecka, M.; Waliszewska, B., et al. (2018): *Salix viminalis* L. - A highly effective plant in phytoextraction of elements. In: *Chemosphere* 212, S.67-78. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.08.055
- Möhler, M. (2017): Haselnussanbau als alternative Kultur. Auf: Ökologische Obstbautagung (föko), Januar 2017, Naumburg/Thüringen. Fachbereich Obstbau der LVG Erfurt mon.moehler@lvgerfurt.de
- Montagnini, F. & Nair, P.K.R. (2004): Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In: *Agroforestry Systems* 61, Artikel 281. DOI: 10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79
- Moore, K.M., Barry, T.N., Cameron, P.N., Lopez-Villalobos, N., Cameron, D.J. (2003): Willow (*Salix* sp.) as a supplement for grazing cattle under drought conditions. In: *Animal Feed Science Technology* 104 (2003) S.1-11. DOI: 10.1016/S0377-8401(02)00326-7
- Mosquera-Losada, M. R.; McAdam, J.H.; Romero-Franco, R.; Santiago-Freijanes, J.J.; Rigueiro-Rodríguez, A. (2009): Definitions and Components of Agroforestry Practices in Europe. In: *Agroforestry in Europe* S.3-19
- Mosquera-Losada, M. R.; Santiago-Freijanes, J. J.; Rois-Díaz, M.; Moreno, G.; den Herder, M.; Aldrey-Vázquez, J. A. et al. (2018): Agroforestry in Europe: A land management policy tool to combat climate change. In: *Land Use Policy* 78, S.603–613. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.06.052
- Mupeyo, B.; Barry, T. N.; Pomroy, W. E.; Ramírez-Restrepo, C. A.; López-Villalobos, N.; Pernthaner, A. (2011): Effects of feeding willow (*Salix* spp.) upon death of established parasites and parasite fecundity. In: *Animal Feed Science and Technology* 164 (1-2), S.8–20. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.11.015
- Neumann, A. (1981): Die mitteleuropäischen *Salix*-Arten. In: *Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien*, Heft 134.
- Nicolescu, V-N.; Redei, K.; et al. (2020): Ecology, growth and management of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), a non-native species integrated into European forests. In: *Journal of Forestry Research* 31 (4), S.1081-1101. DOI: 10.1007/s11676-020-01116-8
- Nitsch, C. (2015): Ist der Anbau von Haselnüssen zur Fruchtgewinnung in Bayern wirtschaftlich möglich? Abschlussbericht. Gartenbauzentrum Bayern Mitte am AELF Fürth in Abstimmung mit Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim. Verfügbar Stand 07.09.2020: <https://www.lwg.bayern.de/gartenbau/obstbau/096267/index.php>
- Nyaruai, M.A.; Musingi, J.K.; Wambua, B.N. (2018): The potential of agroforestry as an adaptation strategy to mitigate the impacts of climate change: A case study of Kiine Community, Kenya. In: *Nusantara Biosci* 10 (3), S.170–177. DOI: 10.13057/nusbiosci/n100307
- Oates, L.G.; Jackson, R.D. (2015): Potential carbon sequestration and forage gains with management-intensive rotational grazing. *Cias research brief 95*, Center for Integrated Agricultural Systems, UW Madison 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.1379.6326
- Oh, J.; Wall, E.H.; Bravo, D.M.; Hristov, A.N. (2017): Host-mediated effects of phytonutrients in ruminants: A review. In: *Journal of Dairy Science* 100 (7), S.5974-5983. DOI:10.3168/jds.2016-12341
- Olden, A.; Komonen, A.; Tervonen, K.; Halme, P. (2017): Grazing and abandonment determine different tree dynamics in wood-pastures. DOI 10.1007/s13280-016-0821-6

- Olsen, J.L.; Mehlenbacher, S.A.; Azarenko, A.N. (2000): Hazelnut Pollination. In: HortTechnology 10(1), S.113-115. Oregon State University, Department of Horticulture
- Olson, R.K.; Schoeneberger, M.M.; Aschmann, S.G. (2000): An ecological foundation for temperate agroforestry. In: North American agroforestry: an integrated science and practice. American society of agronomy inc., Madison, S.31-62
- Orefice, J.; Carroll, J.; Conroy, D.; Ketner, L. (2017): Silvopasture practices and perspectives in the Northeastern United States. In: Agroforest Syst 91 (1), S.149–160. DOI: 10.1007/s10457-016-9916-0
- Orefice, J.; Smith, R.G.; Carroll, J.; Asbjornsen, H.; Howard, T., (2019): Forage productivity and profitability in newly-established open pasture, silvopasture, and thinned forest production systems. In: Agroforest Syst 93 (1), S.51–65. DOI: 10.1007/s10457-016-0052-7
- Pang, K., Van Sambeek, J. W., Navarrete-Tindall, N. E., Lin, C.-H., Jose, S., & Garrett, H. E. (2017). Responses of legumes and grasses to non-, moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. In: Agroforestry Systems. DOI:10.1007/s10457-017-0067-8
- Papanastasis, V.P.; Mantzanas, K.; Dini-Papanastasi, O.; Ispikoudis, I. (2009): Traditional Agroforestry Systems and Their Evolution in Greece. In: Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects, Kapitel 5. DOI:10.1007/978-1-4020-8272-6_5
- Pardon, P.; Mertens, J.; Reubens, B.; Reheul, D.; Coussement, T.; Elsen, A.; Nelissen, V.; Verheyen, K. (2019): *Juglans regia* (walnut) in temperate arable agroforestry systems: effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop yield. In: Cambridge University Press, 35 (5) S.533-549. DOI:10.1017/S1742170519000176
- Pasqualotto, G.; Carraro, V.; De Gregorio, T.; Huerta, E. S.; Anfodillo, T. (2019): Girdling of fruit-bearing branches of *Corylus avellana* reduces seed mass while defoliation does not. *Scientia Horticulturae*, 255, 37–43. DOI:10.1016/j.scienta.2019.05.016
- Payne, W.J.A. (1985). A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. DOI: 10.1016/0378-1127(85)90133-1
- Pent, G.J.; Greiner, S.P.; Munsell, J.F.; Tracy, B.F.; Fike, J.H. (2019): Lamb performance in hardwood silvopastures, I: animal behavior in summer. In: *Translational Animal Science* 4 (1) S.385-399. DOI: 10.1093/tas/txz154
- Pent, G.J.; Greiner, S.P.; Munsell, J.F.; Tracy, B.F.; Fike, J.H. (2019b): Lamb performance in hardwood silvopastures, II: animal behavior in summer. In: *Translational Animal Science* 4 (1) S.363-375. DOI:10.1093/tas/txz177
- Pent, G.J. (2020): Over-yielding in temperate silvopastures: a meta-analysis. *Agroforest Syst* (2020). DOI: 10.1007/s10457-020-00494-6
- Pfadenhauer J.S. & Klötzli, F.A. (2014): Die kühl-gemäßigte (nemorale) Zone. In: *Vegetation der Erde*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-41950-8_6
- Provenza, F.D. & Villalba, J.J. (2010). The role of natural plant products in modulating the immune system: An adaptable approach for combating disease in grazing animals. In: *Small Ruminant Research*, 89(2-3), S.131–139. DOI:10.1016/j.smallrumres.2009.12.035
- Pulido-Santacruz, P.; Renjifo, M.L. (2010): Live fences as tools for biodiversity conservation: a study case with birds and plants. In: *Agroforest Syst* (2011) 81:15–30. DOI:10.1007/s10457-010-9331-x
- Raj, A.J. & Lal, S.B. (2014): *Agroforestry Theory and Practices*, S.510. Scientific publishers India, ISBN: 978-81-7233-867-1

- Ramappa, V. K., Srivastava, D., Singh, P., Kumar, U., Kumar, D., Gosipatala, S. B.; Raj, R. (2020): Mulberries: A Promising Fruit for Phytochemicals, Nutraceuticals, and Biological Activities. In: International Journal of Fruit Science, S.1–26. DOI:10.1080/15538362.2020.1784075
- Randerson, P. F., Moran, C., & Bialowiec, A. (2011). Oxygen transfer capacity of willow (*Salix viminalis* L.). In: Biomass and Bioenergy, 35(5), S.2306–2309. DOI:10.1016/j.biombioe.2011.02.018
- Reddersen, J. (2001): [Short Rotation Coppice] SRC-willow (*Salix viminalis*) as a resource for flower-visiting insects. In: Biomass and Bioenergy, 20(3), 171–179. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00082-9
- Rehnus, M.; Mamadzhanov, D.; Venglovsky, B.I.; Sorg, J.-P. (2012): The importance of agroforestry hay and walnut production in the walnut-fruit forests of southern Kyrgyzstan. In: Agroforestry Systems (87) S.1-12. DOI:10.1007/s10457-012-9516-6
- Rendal, C.; Kusk, K.; Trapp, S. (2011): The effect of pH on the uptake and toxicity of the bivalent weak base chloroquine tested on *Salix viminalis* and *Daphnia magna*. Environmental toxicology and chemistry / SETAC. 30. S.354-9. DOI: 10.1002/etc.391.
- RHS (2020): Royal Horticultural Society, 80 Vincent Square, London SW1P 2PE, rhs.org.uk *Corylus* sp.: <https://www.rhs.org.uk/Plants/46790/Morus-alba-Pendula/Details> Stand online 10.09.2020. *Juglans* sp.: [https://www.rhs.org.uk/plants/9504/i-Juglans-regia-i-\(F\)/Details](https://www.rhs.org.uk/plants/9504/i-Juglans-regia-i-(F)/Details)
- Rothmaler (2017): Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen Grundband, 21. Auflage. Herausgeber: Jäger, E.J.; Springer Verlag Berlin, S. 488-490 (*Corylus*), S. 482 (*Morus*), S.390 (*Robinie*), S.487-488 (*Juglans*). DOI: 10.1007/978-3-662-49708-1
- Rueß, F. (2019): Anbau von Walnüssen - was ist zu beachten? In: Fachinformationen der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg. Online Stand 03.10.2020: file:///C:/Users/ASUSI5~1/AppData/Local/Temp/Anbau%20von%20Waln%C3%BCssen_-_was%20ist%20zu%20beachten.pdf
- Ryman, S. & Holmåsen, I. (1992): Pilze. S. 571. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig, ISBN 3-87815-043-1
- Rytter, R.-M.; Rytter, L.; Högbom, L. (2015): Carbon sequestration in willow (*Salix* spp.) plantations on former arable land estimated by repeated field sampling and C budget calculation. In: Biomass and Bioenergy 83, S.483–492. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.10.009
- Sanchez, M.D. (2001): Mulberry as animal feed in the world. In: Mulberry for animal feeding in China. Proceeding of a workshop, May 14-17,2001, Hangzhou, P.R.China: 1-7.
- Sanga, U.; Provenza, F.D.; Villalba, J.J. (2011): Transmission of self-medicative behaviour from mother to offspring in sheep. In: Animal Behaviour 82 (2), S.219–227. DOI: 10.1016/j.anbehav.2011.04.016
- Santelices, R. & Palfner, G. (2010): Controlled Rhizogenesis and Mycorrhization of Hazelnut (*Corylus avellana* L.) Cuttings with Black Truffle (*Tuber melanosporum* Vitt.). In: Chilean journal of agricultural research 70 (2). DOI: 10.4067/S0718-58392010000200003
- Schmidt, S.K. (1988): Degradation of Juglone by soil bacteria. In: Journal of Chemical Ecology, Vol. 14, No. 7, 1988
- Schwerin, M. (2012): Climate change as a challenge for future livestock farming in Germany and Central Europe. Züchtungskunde, S.103-128. Deutsche Gesellschaft Züchtungskunde eV, Bonn
- Scott, R. & Sullivan, W.C. (2007): A review of suitable companion crops for black walnut. In: Agroforestry Systems 71 (3) S.185-193). DOI: 10.1007/s10457-007-9071-8

- Sen, L.; JinSong, Z.; Ping, M.; WenJuan, L. (2012): Soil respiration and its temperature sensitivity for walnut intercropping, walnut orchard and cropland systems in North China. In: *Journal of Food, Agriculture & Environment* 10 (2) S.1204-1208. ISSN: 1459-0255
- Sepperer, T.; Tondi, G.; Petutschnigg, A.; Young, T. M. & Steiner, K. (2020): Mitigation of Ammonia Emissions from Cattle Manure Slurry by Tannins and Tannin-Based Polymers. In: *Biomolecules*, 10(4), 581. DOI:10.3390/biom10040581
- Sharma, S.K. & Zote, K.K. (2010): Mulberry- a multi purpose tree species for varied climate. In: *Range Management and Agroforestry* 31, S.97-101
- Sharrow, S.H. (2007): Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. In: *Agroforest. Syst.* (2007) 71: S.215-223. DOI:10.1007/s10457-007-9083-4
- Shepard, M. (2013): *Restoration Agriculture - Real-World Permaculture for Farmers*. S. 104-106, 191. Acres U.S.A., Colorado, USA. ISBN: 978-1-60173-035-0
- Shrestha, R.K. & Alavalapati, J.R.R, (2004): Valuing environmental benefits of silvopasture practice: a case study of the Lake Okeechobee watershed in Florida. In: *Ecological Economics* 49 (3), S.349–359. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2004.01.015
- Shrestha, Ram K.; Alavalapati, Janaki R.R; Kalmbacher, Robert S. (2004b): Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: an application of SWOT–AHP method. In: *Agricultural Systems* 81 (2004) S.185–199. DOI: 10.1016/j.agsy.2003.09.004
- Silver, A. (2019): *Trees of Power- Ten Essential Arboreal Allies. The Organic Grower's Guide to Planting, Propagation, Culture and Ecology*. Chelsea Green Publishing. ISBN: 978-1-60358-841-6
- Simbaya, J.; Oswin, C.; Salem, A.Z.M. (2020): Nutritional evaluation of selected fodder trees: Mulberry (*Morus alba* Lam.), *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit.) and *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.) as dry season protein supplements for grazing animals. In: *Agroforest. Syst.* DOI: 10.1007/s10457-020-00504-7
- Smith, J.; Kuoppala, K.; Yanez-Ruiz, D.; Leach, K.; Rinne, M. (2014): Nutritional and fermentation quality of ensiled willow from an integrated feed and bioenergy agroforestry system in UK. In 'Maataloustieteen Päivät 2014'. (Eds M Hakojärvi, N Schulman) Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu No. 30. S.1–9. DOI: 10.33354/smst.75342
- Solárová, J. Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L. (1985): Physiology of Crop Plants. In: *Biol Plant* 29, S.21. DOI: 10.1007/BF02902309
- Southorn, N. & Cattle, S. (2004): The dynamics of soil quality in livestock grazing systems. Super Soil 2004 Symposium 14: soil aggregation and structural quality, University of Sydney, NSW, Australia
- Starfinger, U.; Kowarik, I.; Klingenstein, F.; Nehring, S. (2016): *Robinia pseudoacacia* L. (Fabaceae), Robinie. Institut für Ökologie, TU Berlin. Online auf der Seite des BfN Stand 19.09.2020: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/robinia-pseudoacacia.html> siehe auch BfN.
- Stinner, D.H.; Stinner B.R.; Martsof, E. (1997): Biodiversity as an organizing principle in agroecosystem management: Case studies of holistic resource management practitioners in the USA. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 62, S.199-213
- Sujathamma, P.; Savithri, G.; Kavyasudha, K. (2013): Value addition of Mulberry (*Morus* spp.). In: *International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS)* 13-365 (2013), Andhra Pradesh, India. ISSN (online): 2279-005
- Tas, N.G. & Gökmen, V. (2018): Profiling of the Contents of Amino Acids, Water-Soluble Vitamins, Minerals, Sugars and Organic Acids in Turkish Hazelnut Varieties. In: *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2018; 68(3): S.223–234. DOI: 10.1515/pjfn-2018-0002

- Tekgüler, A.; Yildiz, T.; Sauk, H. (2015): Determination of Spring Rigidity and Fruit Detachment force in Yomra Variety Hazelnut Trees. In: Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America 46(2): S.13-16. atekgul@omu.edu.tr
- Thenail, C.; Viaud, V.; Hongtao, H. (2014): Initial Stakeholder Meeting Report: Bocage agroforestry in Brittany, France. Verfügbar online Stand 02.09.2020: <https://www.agforward.eu/index.php/dk/bocage-agroforestry-in-brittany-france.html>
- Thompson, M.M. (1979): Growth and development of the pistillate flower and nut in 'Barcelona' filbert. In: J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104(3):S.427–432.
- Toensmeier, E. (2016): The Carbon Farming Solution- A Global Toolkit of Perennial Crops and Regenerative Agriculture Practices for Climate Change Mitigation and Food Security. S. 244-246, S.186-187 (Walnuss) Chelsea Green Publishing, USA. ISBN: 978-1-60358-571-2
- Torralba, M.; Fagerholm, N.; Burgess, P.J.; Moreno, G.; Plieninger, T. (2016): Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. In: Agriculture, Ecosystems & Environment 230, S.150–161. DOI: 10.1016/j.agee.2016.06.002
- Tsonkova, P.; Böhm, C.; Quinkenstein, A.; Freese, D. (2012): Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. In: Agroforestry Systems 85 (1), S.133–152
- Tsonkova, P.; Quinkenstein, A.; Böhm, C.; Freese, D.; Schaller, E. (2014): Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): An approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems. In: Ecological Indicators. Volume 45, October 2014, S.285-299. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.04.024
- Tsonkova, P.; Mirck, J.; Böhm, C.; Fütz, B. (2018): Addressing farmer-perceptions and legal constraints to promote agroforestry in Germany. In: Agroforestry Systems 92, S. 1091-1103. DOI: 10.1007/s10457-018-0228-4
- Ulyatt, M.J.; MacRae, J.C.; Clarke, R.T.J.; Pearce, P.D. (1975): Quantitative digestion of fresh herbage by sheep. 4. Protein synthesis in the stomach. In: Journal of Agricultural Science, Cambridge 84, S.453–458.
- USDA (2012): United States Department of Agriculture: Plant Hardiness Zone Map. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. Verfügbar online Stand 03.11.2020: <https://planthardiness.ars.usda.gov/>
- Ustaoglu, B. (2012): The effect of climatic conditions on hazelnut (*Corylus avellana*) yield in 707 Giresun. In: Marmara Cog̃rafya Dergisi, 26(2), S.302–323. DOI:10.14781/MCD.23668
- Vanschandevijl, K.; Van Loon, G.; Lefere, L. (2010): Black locust (*Robinia pseudoacacia*) intoxication as a suspected cause of transient hyperammonaemia and enteral encephalopathy in a pony. In: Equine Veterinary Education 22 (7), S.336-339. DOI:10.1111/j.2042-3292.2010.00090.x
- Vandermeulen, S.; Ramírez-Restrepo, C. A.; Marche, C.; Decruyenaere, V.; Beckers, Y., & Bindelle, J. (2016): Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. Agroforestry Systems, 92(3), 705–716. DOI:10.1007/s10457-016-0041-x
- Vandermeulen, S.; Ramírez-Restrepo, C.A.; Beckers, Y.; Claessens, H.; Bindelle, J. (2018): Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. In: Anim. Prod. Sci. 58 (5), S. 767. DOI: 10.1071/AN16434
- Varah, A.; Jones, H.; Smith, J.; Potts, S.G. (2020): Temperate agroforestry systems provide greater pollination service than monoculture. In: AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT, Volume: 301. DOI:10.1016/j.agee.2020.107031

- Venkatachalam, M. & Sathe, S.K. (2006): Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry 2006: 54 (13), S.4705-4714. DOI: 10.1021/jf0606959
- Verwijst, T. (1996): Stool mortality and development of a competitive hierarchy in a *Salix viminalis* coppice system. In: Biomass and Bioenergy, 10(5-6), S.245–250. DOI:10.1016/0961-9534(95)00118-2
- Villalba, J.J. & Provenza, F.D. (2007): Self-medication and homeostatic behaviour in herbivores: learning about the benefits of nature's pharmacy. In: Animal, 1(09). DOI:| 10.1017/S1751731107000134
- Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., & Pyšek, P. (2016). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. Forest Ecology and Management, 384, 287–302. DOI:10.1016/j.foreco.2016.10.057
- Vogel, A.; Scherer-Lorenzen, M.; Weigelt, A. (2012): Grassland Resistance and Resilience after Drought Depends on Management Intensity and Species Richness. DOI: 10.1371/journal.pone.0036992
- Wang, Q.; Xu, Z.; Hu, T.; Rehman, H.; Chen, H.; Li, Z.; Ding, B.; Hu, H. (2014): Allelopathic activity and chemical constituents of walnut (*Juglans regia*) leaf litter in walnut–winter vegetable agroforestry system. In: Natural Product Research, 28 (22). S.2017-2020, DOI: 10.1080/14786419.2014.913245
- Wang, S.; Giller, K.; Hillmann, E.; Marquardt, S.; Schwarm, A. (2019): Effect of supplementation of pelleted hazel (*Corylus avellana*) leaves on blood antioxidant activity, cellular immune response and heart beat parameters in sheep. In: Journal of Animal Science. DOI:10.1093/jas/skz288
- Willis, R.J. (2000): *Juglans* spp., juglone and allelopathy. In: Allelopathy Journal 7 (1) S. 1-55. Online Stand 03.10.2020: [http://www.allelopathyjournal.org/Journal_Articles/AJ%207%20\(1\)%20January,%202000%20\(1-55\).pdf](http://www.allelopathyjournal.org/Journal_Articles/AJ%207%20(1)%20January,%202000%20(1-55).pdf)
- Wolz, K.J.; Lovell, S.T.; Branham, B.E.; Eddy, W.C.; Keeley, K.; Revord, R.S. et al. (2018): Frontiers in alley cropping: Transformative solutions for temperate agriculture. In: Global change biology 24 (3), S.883–894. DOI: 10.1111/gcb.13986.
- Workman, S.W.; Bannister, M.E.; Nair, P.K.R. (2003): Agroforestry potential in the southeastern United States: perceptions of landowners and extension professionals. In: Agroforest Syst 59 (1), S.73–83. DOI: 10.1023/A:1026193204801
- Ye, W. & Ye, C. (2001): Nutritional value of mulberry leaves and perspectives as feed. In: Mulberry for animal feeding in China, proceeding of a workshop, May 14-17,2001, Hangzhou, P.R.China: 29-35.
- Yeomans, P.A. (1954): The Keyline Plan. Kapitel 6. Publiziert vom Autor, Sidney, Australien. Online Stand 19.10.2020 unter: <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010125yeomans/010125toc.html>
- Yoshihara, Y.; Okada, M.; Sasaki, T.; Sato, S. (2014): Plant species diversity and forage quality as affected by pasture management and simulated cattle activities. In: Population Ecology, 56(4), S.633–644. DOI: 10.1007/s10144-014-0443-4
- Yun, L.; Bi, H.; Gao, L.; Zhu, Q.; Ma, W.; Cui, Z.; Wilcox, B.P. (2012): Soil Moisture and Soil Nutrient Content in Walnut-Crop Intercropping Systems in the Loess Plateau of China. In: Arid Land Research and Management 26 (4), S.285-296. DOI: 10.1080/15324982.2012.694394
- Zhang, D.S.; Du, G.J.; Sun, Z.X.; Bai, W.; Wang, Q. et al. (2018a): Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate. In: European Journal of Agronomy (94) S.1-11. DOI:10.1016/j.eja.2018.01.001

Zhang, M.-M., Wang, N., Hu, Y.-B., & Sun, G.-Y. (2018b). Changes in soil physicochemical properties and soil bacterial community in mulberry (*Morus alba* L.)/alfalfa (*Medicago sativa* L.) intercropping system. In: *MicrobiologyOpen*, 7(2), e00555. DOI:10.1002/mbo3.555

12. Anhang

Anhang 1: Bodenanalyse (vom Landwirt zur Verfügung gestellt)

Befund der Bodenanalyse

► Analyse-Nr.:	G 17990	(bei Rückfragen bitte angeben)
Analysedatum:	31.08.20	Konventionell
Bezeichnung:	Aufm Spießt	
Kulturart:	Weide mittel (6 t TM/ha)	
Bodenart:	L (Lehm)	

Hauptnährstoffe (Angaben in mg/100 g Boden)	Meßwert	Versorgungs- stufe	Bewertung	Düngerbedarf
Humusgehalt	1,7%	B	schwach humos	C/N-Verhältnis = 11:1 (eng: optimales C/N-Verhältnis)
Gesamt-Stickstoff	105	B	niedrig	erhöht
Gesamt-Schwefel	14	B	mittel	erhöht
Ammonium-Stickstoff		n. u.		
Nitrat-Stickstoff		n. u.		
Salzgehalt (als KCl)				
Phosphor (P ₂ O ₅)	11	B	mittel	erhöht
Kalium (K ₂ O)	16	B	mittel	erhöht
Magnesium (Mg)	14	C	optimal	mittel
pH-Wert (Säuregrad)	7,3	E	Ziel-pH-Wert: 5,5	kein Kalkbedarf
Carbonatgehalt	1,67%		carbonatarm	
Spurenelemente (pflanzenverfügbar)	Meßwert mg/kg	Versorgungs- stufe	Bewertung	Optimalbereich
Bor	0,22	A	niedrig	0,4 - 1,2
Kupfer	2,0	C	optimal	1 - 3
Mangan	56,9	A	niedrig	80 - 100
Eisen	68,9	C	optimal	60 - 150
Zink	2,7	C	optimal	1,1 - 3
Versorgungsstufen:	n. u. = Dieser Parameter wurde nicht untersucht bzw. war nicht beauftragt.			
A = sehr niedrig	B = niedrig	C = optimale Versorgung		
D = hoch	E = extrem hoch	F = kritische Überversorgung, Schäden möglich		

Anhang 2: Tabelle 1: Wichtige Merkmale der Gehölzarten (Angaben aus Kapitel 6, sofern nicht anders angegeben) Teil 1/3

Art/ Spezies	Salix sp.	Corylus avellana	Morus alba	Robinia pseudoacacia	Juglans sp.
Klima und Boden					
kühl-gemäßigtes Klima	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet
Winterhärte bis -12,2°C	S. kinuyanagi bis -15°C (RHS,2020)	bis -15°C (RHS, 2020)	Winterhärte bis -15°C für M. alba 'Pendula' (RHS)	Winterhärte bis -15°C (RHS)	Winterhärte bis mind. -15°C (RHS, 2020)
Vorkommen	DE, Bruch und Auenwälder, Pioniergehölz. S. viminalis hier heimisch	in großen Teilen Mitteleuropas (Ellenberg & Leuschner, 2010)	hauptsächlich Südeuropa, vereinzelt auch in Parkanlagen in Deutschland	mittlerweile in allen Bundesländern (Rothmaier, 2017)	DE (Rothmaier, 2017)
Bodenkompatibilität	S. kinuyanagi: Lehm, Ton, Sand, kalkige Böden. Staunass und feucht, aber gut drainiert (RHS, 2020)	frisch-feuchter Boden, keine extreme Staunässe oder Kalkgehalte, allgemein anspruchslos	tolerant gegenüber pH und Bodenart (Sharma & Zote, 2010)	anspruchslos	kalkhaltige, nährstoffreiche, feuchte, lehmige Böden. Tolerant, bevorzugt aber leicht basischen pH und gut drainiert
Betrieblicher Rahmen					
Ziele des Betreibers	Dürrfutter, gesteigerte Tiergesundheit und -produktivität. S. viminalis und Tangoio: getrocknet oder siliert: 16,7 -21,9 RP (% TM), 4,7-10,3 KT (%TM) (Smith et al., 2014)	Tierfutter, Nüsse	Früchte, Tierfutter, Holz	proteinreiches Tierfutter, Holz	Nüsse, Beschattung/Schutz und verändertes Mikroklima. Blätter mit 14% RP, 1% KT und 9% Lignin. Wertholz
Vermarktung/ Infrastruktur	Tiere ernten Futter selbst	Verkauf von Nüssen mit Schale erfordert evtl. Ernteilfe & Trocknungsmöglichkeit	Ernte von Hand oder 'zum selber Pflücken'	Tiere ernten Futter selbst	evt. Ernteilfe & Nüsse waschen/trocknen
Holz			hoher BTU (Toensmeier, 2016)	hoher BTU (Toensmeier, 2016)	begehrtes Edelholz
Klimawandel	C-Senke, Futterquelle in Dürre, Minderung der N-Emissionen	Mögliche Senkungen der N-Emissionen und Kohlenstoffbindung	besonders robust, toleriert Trockenheit (Sharma & Zote, 2010)	Trockenheit, schnellwüchsig, C-Senke	bevorzugt durch wärmere Durchschnittstemperaturen, C-Senke
Potenzial	Phytoremediation, nachwachsender Rohstoff	Pilze	könnte unter zukünftigen Klimaszenarios geeignet sein, Obst und Verarbeitungsprodukte für den Menschen, Pilzproduktion, Medizin, Geflügel	Honig, Renaturierung, essbare Blüten, N-Fixierung, Geflügel	Wertholz, könnte unter zukünftigen Klimaszenarios geeignet sein
Umweltdienste	Bienennahrung, Futterpflanze Schmetterlinge, Nistgelegenheit Vögel, Bodenverbesserung,...	Nahrung für Vögel, Nager, Insekten...	Laubfutter, Früchte für Vögel	Bienennahrung, humusverbessernd, Habitat...	Nüsse für Vögel und kleine Säugetiere, Habitat für Arthropoden...

Tabelle 1: Teil 2/3

Art/ Spezies	Salix sp.	Corylus avellana	Morus alba	Robinia pseudoacacia	Juglans sp.
Biologie/ Ökologie					
Ökologische Zeigerwerte	S. viminalis: L7: toleriert bis 30% Schatten, T6: (Mäßig-)Wärmezeiger, K7: (sub-)kontinental, F8: Feuchtezeiger, R7: meist auf Kalk weisend, N x: N indifferent, S0: nicht salzertragend, LF N: Nanophanerophyt = Strauch oder (Klein-) Baum, LF_B S: sommergrün (Ellenberg & Leuschner, 2010)	L6: selten weniger als 20% r. Beleuchtungsstärke, T5: Mäßigwärmezeiger, K3, F x, R x: indifferent gegenüber Feuchte und pH, N5: mäßig N-zeigend, S0: nicht salzertragend, LF N: Strauch oder Kleinbaum, LF_B S: sommergrün (Ellenberg & Leuschner, 2010)	F3: mittlere Feuchte, R4: schwach Basenzeiger, N3: mittlerer Nährstoffzeiger, L3: halbschattig, T5: Hauptverbreitung Südeuropa, K2: subozeanisch, milde Winter, geringere Temperaturschwankungen, hohe Luftfeuchtigkeit (Landolt et al., 2010)	L5: Halbschattenpflanze, T6: eher Wärmezeiger, K4: Schwerpunkt in Mitteleuropa, F4: auf feuchten Böden, R x: indifferent gegenüber pH, N8: Stickstoffzeiger, S0: nicht salzertragend, LF P: Phanerophyt, LF_B S: sommergrün (Ellenberg & Leuschner, 2010)	J. regia: L6: zwischen Halbschatten- und Halblicht, T8: submediterraner Schwerpunkt, K2: ozeanisch, westl. Europa, F6: frische bis feuchte Böden, R7: schwach Säure- bis Schwachbasenzeiger, N7: an N-reichen Standorten häufiger, S0: nicht salzertragend, LF P: Phanerophyt, also bis >5m hoher Baum, LF_B S: sommergrün (Ellenberg & Leuschner, 2010)
Blütenbiologie	diözisch	monözisch	ein- oder zweihäusig (Rothmaler, 2017)	zwittrige Blüten	einhäusig, Spätfrostempfindlichkeit
Bestäubung	entomophil	windbestäubt, selbstinkompatibel	windbestäubt	insektenbestäubt (bioflor, 2020)	Fremd- und Selbstbefruchtung
Blüte	Mär/ Apr - Mai	Februar	Mai	Mai-Juni	Mai
Fruchtreife (Monat im Jahr, Alter des Baums)		September, je nach Art des Pflanzguts ab dem 1.-10. Jahr	Fruchtreife Juni bis September, Fruchtproduktion je nach Art und Pflanzgut in unterschiedlichem Alter	Samen ab dem 6. Lebensjahr (Starfinger et al., 2016)	Nussernte September-Oktober, je nach Pflanzgut frühestens ab dem 7. Jahr
Vermehrung / Verbreitung	vegetativ, Fragmentation oder Samen	hauptsächlich über Nüsse	Verdauungsverbreitung, Wurzelsprosse (Rothmaler, 2017)	Verdaunungs-, Windausbreitung, Wurzelspross und Stockausschlag	Nüsse (über tierische Vektoren)

Tabelle 1: Teil 3/3

Art/ Spezies	Salix sp.	Corylus avellana	Morus alba	Robinia pseudoacacia	Juglans sp.
Design & Management	hier auch Bestäubung besonders beachten				
Wasser	vertragen Staunässe & wechselfeuchte Bedingungen	Stauwasser meiden		trockenheitsvertragend	feuchte Böden optimal, gedeiht aber vornehmlich in Süd Europa
Licht	hohes Lichtbedürfnis	verträgt Beschattung bis über 50% (Ellenberg & Leuschner, 2010)	höchster Fruchttertrag in voller Sonne, toleriert aber auch Halbschatten	gedeiht am besten in voller Sonne	bevorzugt volle Sonne (RHS, 2020)
Wind	Windschutzzeignung bis Kernholz morsch	relativ windresistent (Hortipendium, 2020)	benötigt Schutz (RHS, 2020)	robust (Nicolescu et al., 2020)	relativ robust
Limitationen & Managementansprüche	Nutzung zeitlich auf ca. 40-50 Jahre beschränkt durch morschendes Kernholz (Charlton et al., 2003). Futtersupplementation > 55 Tage	ggf. Stockausschlag entfernen, Verjüngungsschnitt, mehrere (Bestäuber-)Sorten maximal 20m entfernt, Blühterminne und Kompatibilität klären, geschützter Standort ohne extreme Trockenheit oder Nässe	geringe Ansprüche, Kompostgabe im Winter vorteilhaft (Sharma & Zote, 2010)	evtl. toxisch für manche Arten, Ausbreitung intensiv überwachen und ggf beschränken, Kaninchenchutz in den ersten Jahren (Nicolescu et al., 2020)	Juglonakkumulation? Beschattung unter dem Laubdach. Düngung im Mär/Apr. Beweidung zw. August und Oktober pausieren, wegen Nussernte. Schutzvorrichtung in den ersten Jahren
Wurzelwerk/ Werkzeug gegen Erosion	Flachwurzler mit hohem Wurzelbildungsvermögen, Erosionsschutz	dichtes Wurzelsystem, eher horizontal orientiert (Hortipendium, 2020)	tiefes Wurzelsystem	tiefes Wurzelsystem	tiefes Wurzelsystem
Ausmaße	teilw. Sträucher, teilw. Bäume bis 10 m Höhe (Ellenberg & Leuschner, 2010). S. kinuyanagi: 4-8m hoch, 4-8m breit, 10-20 Jahre bis Höhenwuchs stagniert (RHS, 2020) S. viminalis: 4-8 m hoch, bis zu 4 m breit, Höhenwachstum nach ca. 5 Jahren beendet (RHS, 2020)	ca. 5 m Höhe bis zu 4 m Breite, 10-20 Jahre bis zum vollen Ausmaß (RHS, 2020)	Bis 10 m hoher Baum oder Strauch (Landolt et al., 2010), M. alba 4-8 m breit, M. nigra > 8 m breit, Höhenwachstum bei beiden Arten erst nach ca. 20 Jahren beendet (RHS, 2020) 6 Monate nach Pflanzung unter guten Bedingungen etwa 1,5 m Höhenwachstum (Sharma & Zote, 2010)	mind. 12m bis zu 38m hoch, > 8 m breit (RHS, 2020), größtes Wachstum innerhalb der ersten 20 Jahre (Nicolescu et al., 2020)	bis über 20m hoch, bis zu 9m Radius, größtes Wachstum in den ersten 20 Jahren (RHS, 2020)
räumliche Anordnung im SPS laut Literatur	als Futterpflanze alle 3-4m (Charlton et al., 2003). S. kinuyanagi: 3m auseinander (Charlton et al., 2003), Kopfweiden mind. 5 m (Becker et al., 2019).	5 m x 4 m auf guten Böden (Möhler, 2017)			6,7-7,3m innerhalb der Reihe und mind. 6 m zwischen den Reihen

Anhang 3: **Abbildung 5:** Schaubild Gehölze, deren Funktionen und Eigenschaften



13. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Nierendorf, 24.11.2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Lawnik', with a stylized flourish at the end.

Caroline Lawnik