

Agroforst-Modellprojekt im Löwenberger Land

**Eine Konzeption im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher
Aussagekraft, landwirtschaftlicher Praktikabilität und komplexer
Multifunktionalität**



Bachelorarbeit von

Paul Hofmann &

(Matrikelnummer 13208698; Studiengang Ökolandbau und Vermarktung)

Dorina Hübner-Rosenau

(Matrikelnummer 13208519; Studiengang International Forest Ecosystem Management)

Betreuer: Prof. Dr. Tobias Cremer und Dr. Ralf Bloch

Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, 19.12.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Agroforstsysteme- eine Einführung	1
1.2 Warum Agroforstwirtschaft in Brandenburg?.....	2
1.3 Ziel und Inhalt dieser Arbeit	3
1.3.1 Problemstellung.....	3
1.3.2 Fragestellung	4
1.3.3 Zielstellung.....	4
2 Agroforstwirtschaft in Deutschland	6
2.1 Begriffsdefinition anhand aktuell praktizierter Agroforstsysteme	6
2.2 Exkurs: Agroforstwirtschaft in Europa	7
2.3 Interaktionen in Agroforstsystemen- Ökosystemdienstleistungen?	9
2.4 Stand der Forschung.....	10
2.4.1 Mikroklima.....	10
2.4.2 Klimaschutz.....	11
2.4.3 Bodenfruchtbarkeit.....	12
2.4.4 Erosionsschutz und Verhinderung von Stoffausträgen	13
2.4.5 Biodiversität- die Bewertung aus Sicht des Naturschutzes	14
2.5 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	17
2.6 Akzeptanz der Landwirt*innen	19
2.7 Forschungsbedarf	21
3 Methodik	23
4 Spezifischer Kontext des Designs	26
4.1 Standortcharakterisierung.....	26
4.2 Interessen der Stakeholder	28
4.2.1 Der Eigentümer	28

4.2.2	Der Pächter	29
4.2.3	Stellungnahme der Landwirtschaftsbehörde	30
4.2.4	Naturschutz.....	30
4.3	Zusammenfassung des Kontextes	31
5	Wertholzproduktion in Agroforstsystemen	34
5.1	Ziel und Besonderheiten.....	34
5.2	Interaktionen von Bäumen und Ackerkulturen	35
5.3	Standortbedingungen.....	37
5.4	Gehölzwahl	37
5.4.1	Grundsätzliche Überlegungen	37
5.4.2	Vorauswahl möglicher Wertholzarten.....	37
5.4.3	Standortangepasste Baumartenwahl.....	39
5.5	Verbundpflanzung.....	47
5.6	Ausrichtung und Abstände	47
5.7	Vermarktung, Absatzmöglichkeiten.....	48
5.8	Zusammenfassung der Wertholzproduktion	48
5.9	Eine alternative Form der Holzproduktion: Maxi- Rotation	49
5.9.1	Grundsätzliche Überlegungen	49
5.9.2	Gehölzarten für die Maxi-Rotation	51
6	Fruchtertragskomponenten.....	52
6.1	Vorauswahl möglicher Fruchtertragskomponenten	53
6.2	Vertiefte Darstellung ausgewählter Fruchtertragskomponenten	54
6.2.1	Sanddorn (<i>Hippophae rhamnoides</i>)	55
6.2.2	Aroniabeere (<i>Aronia spp.</i>).....	59
6.2.3	Haselnuss (<i>Corylus spp.</i>).....	60
6.3	Abschließende Einschätzung zu den Fruchtertragskomponenten	63
7	Frisch-Zweig-Häcksel zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit	65
7.1	Die Bedeutung von Bodenfruchtbarkeit.....	65
7.2	Bodenfruchtbarkeit durch Frisch-Zweig-Häcksel und Minimalbodenbearbeitung.....	67
7.2.1	Die Rolle der Lignine für die Bildung von Dauerhumus	68

7.2.2	Bodenfruchtbarkeit und Bodenlebewesen.....	70
7.2.3	Frisch-Zweig-Häcksel und Dauerhumus.....	72
7.3	Auswahl der Baumarten und der FZH-Produktionsverfahren.....	73
7.3.1	Planung der Mini-Rotations-KUP.....	74
7.4	Abschließende Überlegungen zur FZH-Produktion.....	77
8	Synthese des Designs: Integration der verschiedenen Komponenten	78
8.1	Flächen des Designs.....	78
8.2	Baumreihen auf der südwestlichen Teilfläche	80
8.2.1	Ausrichtung und Abstände	80
8.2.2	Wertholzkomponente	80
8.2.3	Modellcharakter: Integration von Wildobst und Maxi-Rotations-Bäumen.....	81
8.3	KUP- und FZH-Mulch-Flächen auf dem nördlichen Schlag	82
8.4	Anlage einer Windschutzhecke aus Wildobstgehölzen.....	83
9	Parameter und Erhebungsverfahren (Messtechnik).....	85
9.1	Aufbau der Versuchsfläche	85
9.1.1	Datenerhebung in Transektstreifen	85
9.1.2	Versuchskonzeption der FZH-Mulchflächen	88
9.2	Darstellung der einzelnen Parameter.....	89
9.2.1	Mikroklima.....	89
9.2.2	Abiotische Boden-Parameter.....	92
9.2.3	Biotische Bodenparameter	100
9.2.4	Nährstoffauswaschung und Grundwasserneubildung	103
9.2.5	Erosion	104
9.2.6	Wuchsleistung Bäume und Sträucher.....	105
9.2.7	Erhebungen an den Ackerkulturen.....	106
9.2.8	Biodiversitätsindikatoren: Begleitflora, Begleitfauna	107
9.3	Übersichtstabelle: Arbeitsaufwand und Geräte im Jahresverlauf	109
10	Management	110
10.1	Bestandesbegründung.....	110
10.1.1	Vorbereitung.....	110

10.1.2	Zäunung.....	111
10.1.3	Pflanzung.....	111
10.2	Beikrautregulation.....	113
10.3	Weitergehende Pflegemaßnahmen für die Wertholzbäume	116
10.3.1	Asten	117
10.3.2	Wurzelraumregulation.....	118
10.3.3	Selektion auf Zielbäume.....	118
10.3.4	Ernte	118
10.4	Pflegemaßnahmen Wildobststräucher, Windschutzhecke.....	119
10.4.1	Wildobst	119
10.4.2	Windschutzhecke	119
10.5	Management der KUP- Elemente.....	120
10.6	Ackerbauliche Auswirkungen	122
10.6.1	Empfehlung für die Kulturwahl	122
10.6.2	Minimalbodenbearbeitung mit FZH-Mulch	123
11	Wirtschaftlichkeit.....	127
11.1	Kostenkalkulation Wertholz, Maxi-Rotation	128
11.2	Kosten-Leistungsrechnung KUP, Management	131
11.3	Kosten Heckenanlage, Wildobst	134
12	Diskussion	134
12.1	Diskussion der Ergebnisse	134
12.2	Diskussion der Methoden.....	146
13	Fazit und Ausblick	148
13.1	Nächste Schritte – Projektplan	149
13.2	Gewährleistung von dauerhafter, wissenschaftlicher Begleitung	150
13.3	Offene Fragen und Ausblick	151
13.3.1	Vernetzung und finanzielle Förderungsmöglichkeiten	151
13.3.2	Themen für weitere wissenschaftliche Arbeiten bzgl. des Projektes	152
13.3.3	Zu klärende Fragen.....	154
13.3.4	Gründung einer Stiftung.....	154

13.3.5	Öffentlichkeitsarbeit – Präsentation von Ergebnissen.....	155
14	Zusammenfassung.....	155
	Literaturverzeichnis.....	158
	Anhang.....	i
I.	Aufteilung der Kapitel nach Bearbeiter*in	i
II.	Interview-Leitfaden für Fruchtertrags-Expert*innen	i
III.	Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten.....	ii
IV.	Spatendiagnose nach BESTE	iii
V.	Übersicht über die zu erhebenden Parameter	iv
VI.	Poster für das 5. Agroforstforum am 30.11.-01.12.2016 in Senftenberg	vi
	Selbstständigkeitserklärung.....	vii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung auf Titelseite: Briggs 2012, S.48

Abbildung 1: Agroforstsysteme mit den verschiedenen Komponenten Bäume, Viehhaltung, Ackerfrüchte....	1
Abbildung 2: Erosionsgefährdung in Brandenburg	3
Abbildung 3: Kurzumtriebshecken in Südbrandenburg	7
Abbildung 4: Alley-Cropping in Frankreich	8
Abbildung 5: Übersicht zu Kohlenstoffkomponenten in AFS.....	12
Abbildung 6: Lage der Projektfläche im Löwenberger Land	27
Abbildung 7: BHD-Stärke in Abhängigkeit des Kronendurchmessers	34
Abbildung 8: Tiefwurzelnder Baum.....	36
Abbildung 9: Standortsansprüche ausgewählter Baumarten im Vergleich	38
Abbildung 10: der Zuwachs der Elsbeere (<i>Sorbus torminalis</i>) bei entsprechender Freistellung	45
Abbildung 11: zeitliche Entwicklung der Verbundpflanzung	47
Abbildung 12: Schattenwurf durch unterschiedliche Ausrichtung der Baumreihen	48
Abbildung 13: Mini-, Midi-, und Maxi-Rotation im Vergleich.....	50
Abbildung 14: Sanddornstrauch	55
Abbildung 15: Aronia.....	59
Abbildung 16: Früchte der Strauch- und Baumhaseln im Vergleich.....	61
Abbildung 17: Huminsäurenstruktur	69
Abbildung 18: Hartholzignin.....	69
Abbildung 19: Bakterien-Pilz-Verhältnis	70
Abbildung 20: Design der Projektfläche	79
Abbildung 21: Übersicht über die Gestaltung der Baumreihen	80
Abbildung 22: Mögliche heimische Wildobstarten	84
Abbildung 23: Beprobungs-Transekfläche mit einzelnen Probeflächen zwischen zwei Baumreihen.....	86
Abbildung 24: Gesamtübersicht über die Lage der Transekflächen.....	87
Abbildung 25: Wetterstation auf den Versuchsfeldern der BTU	90
Abbildung 26: Wechselwirkungen der Nährstoffe	98
Abbildung 27: Nährstoffverfügbarkeit und pH-Wert	98
Abbildung 28: Jahresverlauf der anfallenden Arbeiten	116
Abbildung 29: Vergleich Wurzelraum Agroforst und Forst.....	118
Abbildung 30: Anbaumähacker.....	121
Abbildung 31: Garer Boden	124
Abbildung 32: Tiefenlockerung	125
Abbildung 33: Kostenkalkulation Wertholz.....	129
Abbildung 34: Obsthölzer bei der Bopfinger Wertholzsubmission 1998 – 2008.....	130
Abbildung 35: Erlöskalkulation Wertholz.....	130
Abbildung 36: Kostenberechnung KUP	133

Abkürzungsverzeichnis

AGFORWARD	AGroFORestry that Will Advance Rural Development
AFS	Agroforstsystem/e
Akh	zeitlicher Arbeitskraft-Bedarf
AM	Arbuskuläre Mykorrhiza
BB	Brandenburg (Bundesland Deutschlands)
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BHD	Brusthöhendurchmesser
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BTU	Brandenburgische Technische Universität Cottbus- Senftenberg
CC	Cross-Compliance-Bestimmungen
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EM	Ectomykorrhiza
fm	Festmeter (Raummaß für Holz, entspricht 1 m ³ fester Holzmasse)
FZH	Frisch-Zweig-Häcksel (engl. RCW = Ramial-Chipped-Wood)
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
HNEE	Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde
IWW	Institut für Waldwachstum (IWW) der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
K	Kalium
KUP	Kurzumtriebsplantage(n)
LER	Land-Equivalent-Ratio
mdl. Mit.	mündliche Mitteilung
MG	Mega-Gramm = Tonne
MO	Mikroorganismen
N	Stickstoff
NN	Normal-Null
P	Phosphor
schrift. Mit.	schriftliche Mitteilung
Srm	Schüttraummeter
t _{atro}	Tonne Trockenmasse
UAA	Utilised Agricultural Area
wfH	wasserführender Horizont

“Kein Lebewesen kann für sich gedeihen, sondern nur mit anderen zusammen. An einem Standort bilden alle miteinander eine höhere Einheit, aus der das einzelne seine Lebensmöglichkeit bezieht und zugleich auch für andere die Bedingungen des Lebens schafft und dabei auch den Standort selbst verwandelt. Insbesondere der Boden seine Entstehung, Entwicklung und Erhaltung kann nur so verstanden werden. Die Pflanze ist nicht nur ein Ergebnis des Bodens, seine Erhaltung und seine Verbesserung werden durch Lebewesen in ihrer Auseinandersetzung mit dem Gestein hervorgebracht.”

Rudolf Steiner- Landwirtschaftlicher Kurs - 1924

1 Einleitung

1.1 Agroforstsysteme- eine Einführung

“Agroforstsysteme sind eine Form der Landnutzung, bei der [bewusst] der Anbau mehrjähriger verholzender Pflanzen mit dem Anbau von annuellen Pflanzen [...] auf derselben Fläche kombiniert wird” (GRÜNEWALD & REEG 2009, S.233). Eine derartige Verflechtung von Land- und Forstwirtschaft hat in vielen Ländern eine lange Tradition. Auch in Deutschland sind historische Formen von Agroforstsystemen (AFS) bekannt, so z.B. die Streuobstwiese oder Kopfholzkultur, die aber heutzutage nahezu unbedeutend geworden sind. Durch die Technisierung und Intensivierung der Landwirtschaft bedeuten Gehölzstrukturen auf landwirtschaftlichen Flächen heutzutage vor allem einen erhöhten Arbeitsaufwand im Vergleich zu dem Anbau großflächiger Monokulturen (REEG 2010). Außerdem erfolgte zu großen Teilen durch die politisch veranlasste “Flurbereinigung” eine Entfernung dieser Gehölze.

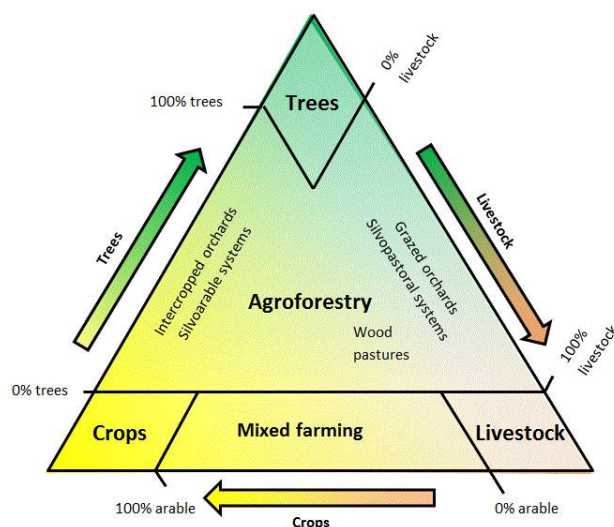


Abbildung 1: Agroforstsysteme mit den verschiedenen Komponenten Bäume, Viehhaltung, Ackerfrüchte (den Herder et al. 2015, S.2)

Bei modernen Agroforstsystemen findet grundsätzlich eine Unterscheidung zwischen silvoarablen und silvopastoralen AFS statt. Bei silvoarablen AFS wird Holznutzung mit dem Anbau von Ackerfrüchten auf derselben Fläche kombiniert; bei silvopastoralen Systemen wird die Weide für Viehhaltung durch eine zusätzliche Holznutzung diversifiziert. Auch eine Kombination von beidem ist möglich (s.a. Abb. 1).

Ein Vorteil von diesen Systemen liegt darin, dass die Flächeneffizienz insgesamt größer ist. Dies kann durch die LER (Land Equivalent Ratio) ausgedrückt werden, welche die Erträge aus Monokulturen mit den Erträgen von Mischkulturen bzw. Agroforstsystemen vergleicht. Bei Untersuchungen für drei verschiedene Agroforstflächen in Großbritannien von 1995 bis 2002 liegt die LER für AFS bei 1.3, sprich durch AFS stiegen die Erträge um 30% im Vergleich zu Monokulturen (DUPRAZ et al. 2004).

AFS haben neben der ertragssteigernden Wirkung zusätzlich weitere Vorteile. Dazu zählen nach GRÜNEWALD & REEG (2009) u.a.

- die Erhöhung der Biodiversität
- Umverteilung von Nährstoffen aus tieferen Bodenschichten
- CO₂-Speicherung in der Biomasse der Pflanzen sowie im Boden
- positive Auswirkungen auf das Mikroklima
- Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Verminderung von Bodenerosion
- stabilere bzw. höhere Erträge.

1.2 Warum Agroforstwirtschaft in Brandenburg?

Weltweit ist die Landwirtschaft vor große Herausforderungen gestellt - so auch in Brandenburg. Im Vergleich mit der durchschnittlichen landwirtschaftlichen Flächenproduktivität anderer deutscher Bundesländer liegt Brandenburg 43% unter dem Durchschnitt. 2009 lag die Flächenproduktivität in Brandenburg bei 607 €/ha (Durchschnitt 1.066€/ha) (KLÜTER 2011). Die geringe Produktivität lässt sich u.a. durch die niedrigen Jahresniederschläge und durchschnittlich geringere Bodenfruchtbarkeit erklären (ebd.). Deutschlandweit betrug der mittlere Jahresniederschlag 2015 688 mm (DWD 2015). Brandenburg steht mit einem Niederschlagsdurchschnitt von 550 mm/a an zweitletzter Stelle (ebd.).

Die geringe Bodenfruchtbarkeit hängt mit den Bodeneigenschaften in Brandenburg zusammen, die maßgeblich durch die drei großen Eiszeiten (Elster-, Saale- und Weichselkaltzeit) bestimmt werden. Die glaziale Serie hat oftmals mit Decksanden, in Endmoränen und trockenen Urstromtälern sandige bis lehmig sandige Böden hinterlassen (HIEROLD 2013). Diese sind vielfach nährstoffarm und besitzen ein geringes Wasserhaltevermögen. Deshalb weisen nach HIEROLD (2013) mehr die Hälfte aller landwirtschaftlichen Flächen in Brandenburg Bodenpunkte von weniger als 30 auf. Dies ist angesichts des Optimums von 100 Bodenpunkten sehr gering (ebd.). Diese schwierigen Boden- und Klimaverhältnisse machen viele Brandenburger Äcker zu Grenzertragsstandorten.

Im Rahmen der Flurbereinigung, deren Ziel die Neuordnung ländlicher Gebiete ist, wurden und werden oftmals Gehölze aus der Landschaft entfernt. In Brandenburg dominieren ausgeräumte Landschaften (BÖRNECKE 2016). Das geringe Strukturangebot bietet vielen Tierarten nur wenig Habitate an (ebd.; s.a. Kap. 2.4) und trägt zur Erosionsgefährdung der Böden bei. Erosion bedeutet die Verlagerung von Bodenmaterial durch Wasser, Wind oder Schwerkraft (ABMANN & OELKE 2010).

Brandenburgs Böden sind durchschnittlich einer mittleren bis hohen Erosionsgefährdung ausgesetzt (s.a. Abb.2). Die Erosionsgefährdung ist so bedeutend, weil davon ausgegangen wird, dass sich der Boden nur um 0,1 mm/ a wieder aufbaut-allerdings um das bis zu dreifache pro Jahr abgetragen wird (ABMANN & OELKE 2010).

Im Zuge des Klimawandels ist eine zunehmende Veränderungen der Umweltbedingungen zu erwarten, deren konkrete Quantifizierung derzeit nicht möglich ist. Jedoch wird angenommen, dass

in Brandenburg die Jahresdurchschnittstemperatur genauso wie die Anzahl von Extremwetterereignissen zunehmen wird bei gleichzeitiger erwartungsgemäßer Abnahme der durchschnittlichen Sommerniederschlagsmenge (ROLOFF & GRUNDMANN 2008).

AFS können potenziell einen Beitrag dazu leisten, Marginalstandorte in Brandenburg aufzuwerten, vor Bodenerosion zu schützen und das Mikroklima so zu regulieren, dass mögliche Folgen des Klimawandels abgeschwächt werden. Die ausgeräumten Landschaften können durch die Etablierung von AFS neu strukturiert und um Lebensräume bereichert werden.

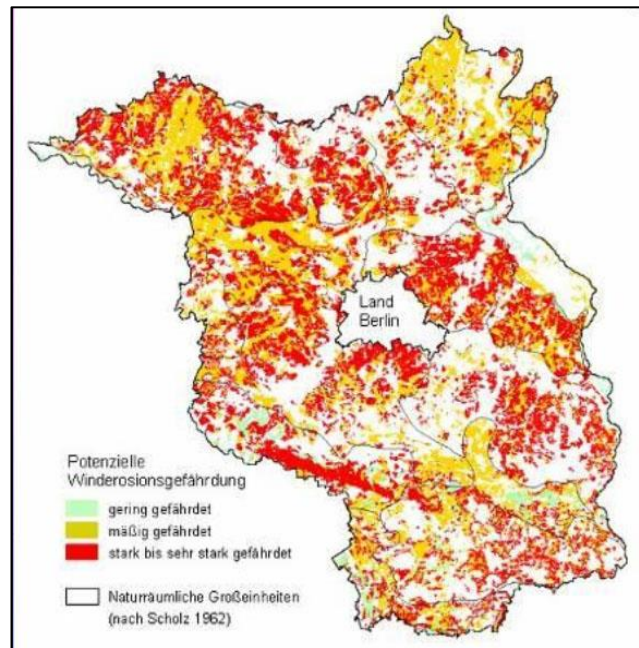


Abbildung 2: Erosionsgefährdung in Brandenburg (Mirck et al. 2016, S.3)

1.3 Ziel und Inhalt dieser Arbeit

1.3.1 Problemstellung

Nach GOODLAND et al. (1994) sollte das allgemeine Ziel sein, die Landnutzung so zu gestalten, dass Belastungen des Naturhaushaltes minimiert werden. Diese Anforderung wird besonders an die landwirtschaftliche Produktion gestellt, die derzeit 51,7% der Fläche in Deutschland nutzt (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015). Auf die Verknappung fossiler Ressourcen reagiert auch Deutschland: Bis 2050 ist geplant, die gesamte benötigte Strommenge 100% aus Erneuerbaren Energien zu gewinnen. Schon derzeit macht die Biomasse 58% der Erneuerbaren Energien aus (STATISTISCHES UMWELTBUNDESAMT 2016). Dadurch wächst der Druck auf die Landwirtschaft, nicht nur ausreichend Lebensmittel, sondern auch genügend Bioenergiemasse zu produzieren. Gleichzeitig sind derzeitigen Agrarsysteme durch ihre hohen

Treibhausgasemissionen¹ und durch den enormen Ressourcen- und Flächenverbrauch nicht zukunftsfähig. Dafür werden integrale Lösungsansätze benötigt, die eine “wissenschaftlich-technische Machbarkeit, ökonomische und ökologische Tragbarkeit und gesellschaftliche Akzeptanz” (BMBF 2016) garantieren. Nachhaltige Agrarsysteme sind möglichst standortangepasst, ressourcen- und flächeneffizient und können auch unter sich ändernden Klima- und Umweltbedingungen bestehen. Dazu ist auch eine Vernetzung aller beteiligten Akteure notwendig sowie fachübergreifende Kooperationen von Wissenschaft und Technik (ebd.).

Der Weltagrarbericht stellt auch mehrfach fest, dass Mischkultursysteme die flächeneffizientesten Agrarsysteme sind, um die Ernährung und die Biodiversität zu sichern. Die Flächeneffizienz ist bedingt durch deren vertikale Strukturvielfalt, die auf gleichem Raum viele Stockwerke nutzen kann. In diesem Zusammenhang werden auch mehrfach Agroforstsysteme angesprochen (IAASTD 2009). Auch ALTERI (1999) führt zahlreiche Studien an, die nahelegen, dass die Fähigkeit von Agrarsystemen, wichtige Funktionen wie die Anpassung an Klimaschwankungen oder die Resistenz gegen Krankheiten selbstständig zu regulieren, mit der Anzahl pflanzlicher und tierischer Arten in einem System steigt.

AFS können also als innovative, flächeneffiziente Landnutzungsvariante verstanden werden und damit eine Antwort auf die hier dargestellten Herausforderungen bieten. Trotz der offensichtlichen Potentiale von Agroforstsystemen gibt es in Deutschland nur ungenügend Praxisbeispiele. Vor diesem Hintergrund stellt der Flächeneigentümer der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) eine Fläche von etwa 30 ha im Löwenberger Land zur Erforschung von Agroforstsystemen auf unbegrenzte Zeit zur Verfügung.

1.3.2 Zielstellung

Ziel dieser Arbeit ist die Designentwicklung für ein komplexes und zugleich einfach zu managendes Agroforst-Modellprojekt mit langfristiger, wissenschaftlicher Begleitung durch die HNEE auf einem Ackerstandort im Löwenberger Land. Dieses Projekt soll langfristig die Potentiale von Agroforstsystemen aufzeigen und andere Landeigentümer*innen, Bäuer*innen und politische Entscheidungsträger*innen zur Nachahmung inspirieren.

Für die Designentwicklung sollen verschiedene Komponenten betrachtet werden und deren Kompatibilität mit dem standortspezifischen Kontext, dem wissenschaftlichen Anspruch sowie ökonomischen und ökologischen Aspekten überprüft werden. Dabei sollen auch die Interessen und Ansprüche aller Stakeholder so weit wie möglich berücksichtigt werden.

In weiteren Schritten sollen wichtige Parameter für die wissenschaftlichen Untersuchungen und anschließend zu beachtende Managementaspekte dargestellt werden, wobei für beides der Aufwand

¹ Nach Kalkulationen des IPCC (2014) stammen etwa 24 % der Treibhausgasemissionen aus der Land- und Forstwirtschaft.

(überschlagsweise) kalkuliert und dargestellt werden soll. Daraufhin soll eine Abschätzung der entstehenden Kosten vorgenommen werden.

1.3.3 Fragestellung

In der Arbeit sollen folgende Fragestellungen bearbeitet und beantwortet werden:

- Welche Agroforstsysteme (AFS) existieren in der EU bzw. in Deutschland?
 - Was sind deren Potentiale?
 - Welche Hemmnisse gibt es?
 - Welcher Forschungsbedarf besteht bezüglich AFS in Deutschland?
- **Welches Agroforstsystem sollte unter Berücksichtigung der ökonomischen, rechtlichen und ökologischen Standort-Anforderungen, sowie unter Einbeziehung der Interessen des Flächeneigentümers und Nutzers angelegt werden?**
 - Was muss beachtet werden, wenn Werholzbäume in ein AFS integriert werden? Welche Bäume eignen sich für den Anbau auf der Projektfläche?
 - Welche Fruchtertragskomponenten lassen sich wie integrieren?
 - Wie können Frisch-Zweig-Häcksel (FZH) zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit auf den ertragsschwachen Böden der Projektfläche beitragen? Und wenn ja wie ließe sich dieses Element integrieren?
 - Wie sollte eine naturschutzfachlich wertvolle Hecke mit Windschutzwirkung gestaltet sein?
 - Wie lassen sich die einzelnen Komponenten in ein stimmiges Gesamtdesign für den Standort überführen?
 - Wo und wie sollten welche Elemente am besten integriert werden?
 - Welche Ausrichtungen und Abstände sollten gewählt werden?
- Wie lässt sich der wissenschaftliche Anspruch an eine Dauerbeobachtungsfläche integrieren und welche Parameter sollten wissenschaftlich erhoben werden?
 - Welche Methoden eignen sich zu deren Erhebung und welche Geräte werden dafür benötigt?
 - Mit welchem zeitlichen Aufwand ist die Erhebung verbunden und in welchem Messintervall sollte diese stattfinden?
- Welche Managementaspekte sind für das zu etablierende AFS zu beachten?
 - Wie sollte die Bestandesbegründung durchgeführt werden und wann werden welche Pflegemaßnahmen und ggf. welche Geräte benötigt?
- Wie hoch werden sich die Gesamtkosten bzw. mögliche Erlöse belaufen?
- Was sind wichtige nächste Schritte bei der Umsetzung des Projektvorhabens nach der Fertigstellung dieser Arbeit?

2 Agroforstwirtschaft in Deutschland

Im Folgenden soll ein Überblick gegeben werden über die Formen aktuell praktizierter AFS in Deutschland und deren mögliche Wechselwirkungen mit ihrer Umwelt. Es soll der Stand der Forschung zur Quantifizierung einzelner Wechselwirkungen abgebildet werden sowie deren Bewertung aus Sicht des Naturschutzes. Weiterhin sollen relevante rechtliche Rahmenbedingungen erläutert sowie die Akzeptanz der Landwirt*innen beleuchtet werden.

2.1 Begriffsdefinition anhand aktuell praktizierter Agroforstsysteme

Zu Agroforstsystemen können in Deutschland beispielsweise die kulturhistorischen Formen der (Windschutz-)Hecken und Streuobstwiesen gezählt werden. Unter Streuobstwiesen wird eine Nutzung von Hochstamm-Obstbäumen auf Weiden oder Wiesen verstanden (KAESER et al. 2011). Diese Formen kombinierter Forst- und Landwirtschaft, die bis ins 19. Jahrhundert üblich waren, werden meist als **traditionelle Agroforstsysteme** bezeichnet (REEG 2010). Daher kann Agroforstwirtschaft nach NAIR (1993) auch als neuer Name für eine Reihe von alten Methoden bezeichnet werden („Agroforestry is a new name for a set of old practices“) (in REEG 2010, S.2). Die positiven, ökologischen Auswirkungen dieser sog. traditionellen Agroforstsysteme auf das Mikroklima, die Bodenfruchtbarkeit, die Biodiversität und das Landschaftsbild sind unbestritten (DEN HERDER et al. 2016, POSSIT 2012). Jedoch sind diese Systeme in den meisten Fällen nicht rentabel genug; im Vergleich mit intensiver bewirtschafteten Niederstamm-Anlagen sind Streuobstwiesen beispielsweise wirtschaftlich nicht attraktiv für Landnutzer*innen. Diese wirtschaftlichen Gründe führten zu einem massiven Rückgang von Hochstamm-Obstbäumen von 15 Millionen im Jahr 1905 auf 2,9 Millionen im Jahr 2001 (SCHÜPBACH et al. 2009).

Seit einigen Jahren interessieren sich die Forschung, die Praxis und auch der Naturschutz für moderne agroforstliche Bewirtschaftungsweisen, welche die landwirtschaftliche Nutzung optimieren sollen (REEG 2010) bzw. an die landwirtschaftliche Produktionstechnik angepasst sind (BENDER et al. 2009). Zur Beantwortung der Frage, wie diese **modernen Agroforstsysteme** gestaltet werden können, werden zurzeit verschiedene Möglichkeiten in kleinem Umfang erprobt.

Ein Ansatz ist beispielsweise die Pflanzung von Wertholzbäumen auf ehemaligen Streuobstwiesen (KAESER et al. 2011). In Baden-Württemberg wird dieser Ansatz seitens der Forschung des IWW in kleinem Umfang vorangetrieben. Diese Neuanlagen sind jedoch noch zu jung, um langfristige Ergebnisse und Wechselwirkungen bewerten zu können (CHALMIN & MASTEL 2009).

Derzeit scheint in Deutschland meist die Anlage von **Kurzumtriebsplantagen** als moderne Form der Agroforstwirtschaft verstanden zu werden. Da KUP als landwirtschaftliche Nutzform anerkannt sind, werden sie jedoch oft nicht als Agroforstsystem gezählt (REEG 2010). Bei dieser Landnutzungsform werden auf Flächen schnell wachsende Gehölze mit hohem Stockausschlagsvermögen angebaut. Dafür werden in der Regel Pappel- und Weidenklone, sowie

in kleinerem Umfang auch Robinie, verwendet (SCHILDBACH et. al 2009). Der Anbau im Einzelreihensystem erfolgt meist für die Nutzung von Energie- und Stammholz; der Anbau im Doppelreihensystem ist für die Produktion von Energieholz geeigneter (ebd.).

Ziel ist es, das so erzeugte Holz in Form von Hackschnitzeln zur energetischen Nutzung verwendbar zu machen. Mit hohen Pflanzdichten (10.000–15.000 Stecklinge/ha) können mit einer jeweiligen Umtriebszeit von meist 3-5 Jahren Erträge von 5-15 TM/ha/a erzielt werden (GALLARDO 2014). Vor dem Hintergrund, dass die Gewinnung von Erneuerbaren Energien größtenteils aus Biomasse geschieht, gewinnt die Biomasseproduktion aus KUP hiermit an zusätzlicher Bedeutung. Für das Jahr 2015 gibt die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe eine deutschlandweite Flächengröße von 6.000 ha KUP an, wovon die Hälfte der Flächen sich in Brandenburg befindet (NABU 2015). Dies kann dadurch erklärt werden, dass oftmals Flächen mit geringer landwirtschaftlicher Produktivität für die Anlage von KUP genutzt werden. MURACH (2008) geht davon aus, dass das Flächenpotenzial für Brandenburg bei 200.000 ha liegt.



Abbildung 3: Kurzumtriebshecken in Südbrandenburg
(online:<http://www.agroforstenergie.de/de/standorte/versuchsstandort-welzow-sued.php>)

Der Anbau schnellwachsender Bäume mit dem Ziel der Energieholzproduktion kann jedoch auch in sog. Alley-Cropping-Systemen erfolgen. Darunter wird ein streifenförmiger Anbau von Hecken verstanden, die in unterschiedlichen Abständen parallel zueinander auf landwirtschaftliche Flächen integriert werden. Synonym werden die Begriffe **Kurzumtriebshecken/ Energieholzstreifen** verwendet (s.a. Abb.3) (GRÜNEWALD & REEG 2009).

2.2 Exkurs: Agroforstwirtschaft in Europa

In Kap. 2.1 wurde ein kurzer Überblick gegeben über die AFS, die in Deutschland existieren. Da die Anwendung von AFS hier noch in einem sehr begrenzten Umfang geschieht und die Vielfalt der Systeme gering ist, soll ein kurzer Exkurs zu AFS in Europa gegeben werden. Dabei werden Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt AGFORWARD (AGroFORestry that Will Advance Rural

Development) vorgestellt. Ziel dieses Projektes ist es u.a. die aktuelle Verbreitung von AFS in Europa und deren Rahmenbedingungen zu erfassen und zu analysieren.

Europaweit weist Spanien nach DEN HERDER et al. (2016) den größten Anteil an AFS auf: Auf 5 Millionen ha werden als AFS genutzt, das sind 23,5% der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche Spaniens (Utilised Agricultural Area, UAA). Auch in Griechenland (1.600.000 ha bzw. 31,2 % der UAA), in Frankreich (1.500.000 ha bzw. 5,6 % der UAA) finden AFS viel Anklang. Dabei fällt insgesamt auf, dass im gesamten mediterranen Bereich große Flächen bzw. ein hoher Flächenanteil der UAA für AFS genutzt werden. Im Vergleich liegt Deutschland weit zurück (260.000 ha bzw. 1,6 % der UAA) (DEN HERDER et al. 2016).

Europäische AFS werden durch die Komponenten "Wertholz" (high value trees), "silvoarable Systeme" und "silvopastorale Systeme" differenziert, wobei in den meisten Fällen trotzdem eine Mischung dieser Komponenten vorliegt. Silvopastorale Systeme weisen laut DEN HERDER et al. (2016) dabei insgesamt europaweit mit 15,1 Mio. ha den höchsten Anteil auf. Silvoarable Systeme werden nur auf einer Fläche von 358.000 ha genutzt. Die Integration von Werthölzern findet auf 1 Mio. ha statt, vorrangig in Spanien, Portugal und Italien (ebd.). In der Kategorie der sog. "high



Abbildung 4: Alley-Cropping in Frankreich (Briggs 2012, S.48)

value trees" machen Obst- und Nussbäume den größten Anteil aus. Dabei fällt auf, dass diese Wertholzbäume nicht nur- wie der deutsche Name vermuten ließe- der Holznutzung dienen, sondern stets mehrere Komponenten eines Baumes genutzt werden, beispielsweise werden von Olivenbäumen die Oliven und das Holz genutzt (DEN HERDER et al. 2015).

Bei allen im Forschungsprojekt AGFORWARD europaweit untersuchten silvoarablen Systemen wird laut MIRCK (2016) ein Alley-Cropping-Design (s.a. Abb. 4) verwendet mit Reihenabständen, die zwischen 6 - 96 m variieren. Diese silvoarablen AFS bestehen aus langsam wachsenden Wertholzbäumen (v.a. Walnuss (*Juglans* spp.), Kirsche (*Prunus* spp.), *Sorbus* spp.) und/oder schnell wachsenden Industrie- oder

Energieholz-Baumarten (v.a. *Populus* spp.) Bei neun von dreizehn europaweit ausgewählten, silvoarablen AFS erfolgt eine Wertholznutzung; bei dreien erfolgt eine Schwachholznutzung. Neben der Holznutzung erfolgt jedoch auch oft eine zusätzliche Nutzungsform, z.B. Holzhackschnitzelproduktion, Nuss-/Obstproduktion, Produktion von Viehfutter oder Feuerholz (MIRCK 2016).

2.3 Interaktionen in Agroforstsystemen- Ökosystemdienstleistungen?

Laut REEG (2010) besteht die wichtigste Eigenschaft von AFS in den Interaktionen der einzelnen Komponenten. Ein AFS ist dann erfolgreich und für die Flächennutzer*innen attraktiv, wenn die positiven Interaktionen maximiert und die negativen Interaktionen minimiert werden (ebd.). Als positive Interaktionen werden eine Reihe von Effekten bezeichnet, die schon in 1.1 übersichtsartig erläutert wurden (u.a. Erhöhung der Biodiversität und Flächenproduktivität, CO₂-Speicherung, Aufbau von Bodenfruchtbarkeit, Erosionsschutz). Zu den negativen Interaktionen zählt vor allem die Konkurrenz zwischen Ackerfrüchten und Gehölzen um Wasser, Licht und Nährstoffe. In der temperierten Zone gilt vor allem die Beschattung durch die Bäume als bedeutender Faktor (REEG 2010). Um die direkte Konkurrenz zu minimieren, sollte sich die Ressourcennutzung von Gehölz und Ackerkultur räumlich oder zeitlich unterscheiden (THEVATHASAN & GORDON 2004). Dass die Flächenproduktivität (vgl. LER, Kap. 1.1) dann auch in AFS gemäßigter Klimazonen zunimmt, zeigen die erfolgreich umgesetzten AFS in Frankreich, Großbritannien und den USA (CHALMIN 2009).

Viele der positiven Interaktionen in AFS können als “Ökosystemdienstleistungen” bezeichnet werden, die nach der TEEB-Studie als direkte und indirekte Beiträge eines Ökosystems zu menschlichem Wohlergehen definiert werden (“the direct and indirect contributions of ecosystems to human well-being” (TEEB 2010, S.19)). Dabei wird nach dem Millenium Ecosystem Assessment in GÖTZL et al. (2011, S.40 f) unterschieden zwischen

- **Versorgungsleistungen** (provisioning services), wie das Zurverfügungstellen von Nahrungsmitteln, Trinkwasser, Holz, Brennstoffen;
- **selbstregulierenden Leistungen** (regulating services), wie Klimaregulierung, Luftreinigung, Verhinderung von Überschwemmungen, Ausgleich bei Schädlingsbefall;
- **kulturellen Leistungen** (cultural services), wie zum Beispiel Erholung, Erleben und Bildung in der Natur, Spiritualität, Befriedigung eines ästhetischen Empfindens;
- **Basisleistungen** (supporting services), wie Photosynthese, Stoffkreisläufe, Bodenbildung.

AFS besitzen das Potential, Ökosystemdienstleistungen in all diesen Kategorien zu erbringen. Da die Interaktionen in AFS jedoch sehr multifaktoriell und standortspezifisch sind, ist eine Voraussage zum Umfang dieser Auswirkungen und möglicherweise erbrachten Ökosystemdienstleistungen in Deutschland derzeit nur schwer möglich. Im Folgenden soll ein Überblick gegeben werden über den Stand der Forschung in Deutschland zu Interaktionen in Agroforstsystemen.

2.4 Stand der Forschung

Bisher liegen nur wenige Forschungsprojekte zum Thema Agroforstwirtschaft in Deutschland vor. Forschungsstudien wurden vor allem durch das IWW und der BTU durchgeführt, die unterschiedliche Schwerpunkte bei der Erforschung setzen.

In derzeitigen Versuchsanlagen der BTU werden Kurzumtriebshecken erforscht. Die Forschung steht vor dem Hintergrund der spezifischen Frage, inwieweit strukturarme Bergbaufolgelandschaften mit marginalen Böden in BB aufgewertet werden können. Für das aktuelle Projekt „agroforstenergie“ der BTU wurden in Kooperation mit drei Partnern im Jahr 2007 fünf Versuchsflächen etabliert. Das Design besteht an allen Standorten aus Energieholzstreifen mit je individueller Anpassung an den Standort.

Das IWW beschäftigt sich hingegen vermehrt mit dem Anbau von Wertholz auf Ackerflächen. Dazu wurden schon mehrere umfassende Forschungsprojekte mit mehreren Kooperationspartnern durchgeführt, hier zu nennen die Studie „Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung“ mit Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) (2005-2008) sowie die Studie „Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen“ mit der Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) von 2009-2010. Einem neuen aktuellen Trend folgt das derzeitige Projekt „Agrowertholz“ (2014-2017) des IWW. Dabei soll untersucht werden, ob Streuobstwiesen als Form der historischen Agroforstwirtschaft durch Wertholzproduktion aufgewertet werden können. Es liegen zum Zeitpunkt der Arbeit noch keine ausgewerteten Ergebnisse online vor.

2.4.1 Mikroklima

Als eine Funktion von AFS kann die Regulation des Mikroklimas verstanden werden, die sich auf die Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und -feuchtigkeit und Verdunstung auswirkt.

Eine deutliche Verringerung der Windgeschwindigkeit konnte im Leebereich der Kurzumtriebshecken bis zum achtfachen Abstand der mittleren Baumhöhe festgestellt werden (VETTER 2012). Im Abstand von bis zu 16 m von den Bäumen wurde eine etwa 20%ige Reduktion der Windgeschwindigkeit festgestellt (ebd.). Mit zunehmender Höhe der Bäume und im Belaubungszustand wird die Windgeschwindigkeit um bis zu 50% reduziert (BÖHM 2012).

Die Gehölzstreifen bewirken vor allem in Sommermonaten eine Absenkung der Lufttemperatur. In den von BÖHM untersuchten Flächen war die Lufttemperatur in der Mitte der Ackerstreifen um 5% (0,6°C) niedriger als auf der vergleichenden Freifläche (BÖHM 2012). Die Luftfeuchtigkeit war um 5% höher, wobei dieser Effekt v.a. bei abnehmender Entfernung vom Gehölzstreifen auftrat (ebd.). Die Verdunstung konnte im Sommer um 23-29% reduziert werden bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Bodenfeuchte um 3% (MIRCK et al. 2016). Eben diese

mikroklimatischen Veränderungen werden als eine der Ursachen für den Mehrertrag auf den Ackerflächen gesehen (BÖHM 2012).

In trockenen Perioden wurde eine signifikante Verringerung der Wasserverfügbarkeit gemessen, die auch ertragsmindernde Effekte auf die Ackerkulturen hatte (VETTER 2012). Die Ertragsminderung konnte besonders im Nahbereich der Gehölzstreifen festgestellt werden, und ist auf die Verschattung zurückzuführen (ebd.).

2.4.2 Klimaschutz

Kohlenstoffdioxidspeicherung

Durch die Diskussion über Klimawandel und die ansteigenden Treibhausgasemissionen wird das Kohlenstoffspeichungsvermögen von Gehölzen zunehmend als bedeutsam eingeschätzt. Im Kyoto-Protokoll (völkerrechtlich bindender, internationaler Vertrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen) wird Agroforstwirtschaft als Strategie zur Kohlenstoffspeicherung anerkannt (NAIR et al. 2009).

Die wachsenden Pflanzen nehmen in ihrer Lebenszeit CO₂ aus der Luft auf und binden dieses durch die Photosynthese in ihre oberirdischen und unterirdischen Pflanzenkompartimente ein. Neben der Speicherung in der oberirdischen Biomasse sollte dabei auch die Kohlenstoffspeicherung im Wurzelraum und in der Streu berücksichtigt werden (QUINKENSTEIN et al. 2009). Um eine dauerhafte Speicherfähigkeit aussagekräftiger beurteilen zu können, muss der Kohlenstoffverlust durch Dekomposition bzw. die nicht respirativen Kohlenstoffverluste (z.B. durch Ernteverfahren) mit betrachtet werden (ebd.).

Mit dem Modellierungsansatz shortcar wurde für eine KUP mit einer Gesamtnutzungsdauer von 20 Jahren in Brandenburg eine Speicherung von 8,6 t C/ha/a ermittelt, d.h. die KUP fungiert in diesem Zeitraum als effektive Kohlenstoffsene (QUINKENSTEIN et al. 2009). Ebd. geben jedoch an, dass das Speichervermögen stark mit dem Ertragspotential des Standorts korrespondiert.

NAIR et al. (2009) gehen in jedem Fall davon aus, dass die CO₂-Speicherung von AFS wesentlich höher ist als auf rein landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen. Bezüglich der Kohlenstoff-Speicherfähigkeit schlagen sie ein Ranking von Wald > Agroforst > KUP > Ackerbau vor (ebd.).

Reduzierung von Lachgas (N₂O- Emissionen)

Lachgas ist ein atmosphärisches Gas, was derzeit weltweit 11 % der anthropogen bedingten Treibhausgasemissionen ausmacht (IPCC 2007). Laut BIELEFELDT et al. (2008) liegen bisher nur wenige Studien zu der Verringerung von Lachgasemissionen vor. Auf einem KUP-Standort in

Potsdam konnte im Vergleich mit einem Raps-Acker eine um 3,5 mal geringere N₂O-Emission gemessen werden (ebd.).

2.4.3 Bodenfruchtbarkeit

Es ist allgemein anerkannt, dass Agroforstsysteme potentiell zur Anhebung von Kohlenstoffvorräten im Boden führen können (HUBER et al. 2013, PETZOLD et al. 2011). Dabei ist eine Kohlenstoffanreicherung nicht nur für den Klimaschutz relevant (s.a. Kap. 2.3.3), sondern auch für den Aufbau von Humus.

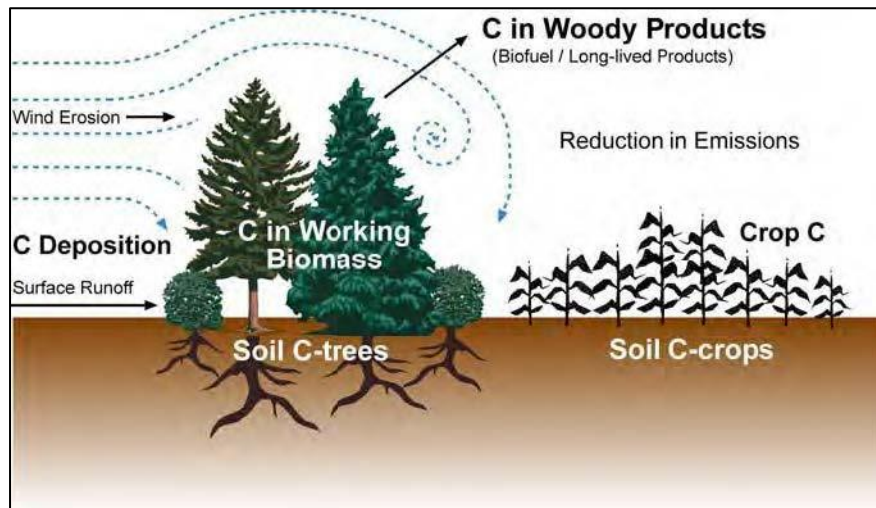


Abbildung 5: Übersicht zu Kohlenstoffkomponenten in AFS (Briggs 2012, S.43)

Baumstreifen in silvoarbalen AFS weisen in der Regel höhere Humusgehalte auf als Böden unter ackerbaulichen Kulturen (SAUER et al. 2007). Durch die auf der Fläche verbleibende Streu der Bäume und die Feinwurzeldynamik kommt es zur Anreicherung von organischem Material im Boden (soil organic matter) (QINKENSTEIN et al. 2011). Dadurch können die Bodenqualität, die Bodenfruchtbarkeit und das Bodenwasserhaltevermögen positiv beeinflusst werden (ebd.). Das Potential von mehrjährigen Gehölzen liegt weiterhin darin, dass sie als “Nährstoffpumpen” durch ihr tiefes Wurzelsystem Nährstoffe aus tieferen Bodenschichten ziehen und an die Ackerkulturen weitergeben können (SEIDL 2010a). Der maßgebliche Faktor für die Nährstoffanreicherung ist laut CHALMIN & MASTEL (2009) jedoch die ständige Feinwurzelerneuerung.

Außerdem wird die Bodenbearbeitung und der Einsatz von Düngemitteln auf der von Gehölzen bewachsenen Fläche reduziert, sodass es zu einer sog. Bodenruhe kommt, die sich positiv auf die Bodenlebewesen auswirken kann (HUBER et al. 2013). Eine signifikante Zunahme von Regenwürmern konnte in mehreren Untersuchungen auf KUP auch schon nach kurzer Zeit bewiesen werden (ebd.).

Laut PETZOLD et al. (2011) beweisen einige Langzeitstudien für KUP, dass eine potentielle Humusanreicherung besonders auf sandigen Standorten möglich ist. Bei Untersuchungen auf einem

KUP-Standort in Mecklenburg-Vorpommern konnten KAHLE & HILDEBRANDT (2006) beispielsweise zeigen, dass der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden nach sechs Jahren von 0,73% auf 1,03% (+41%) anstieg. Auch auf Agroforstdemonstrationsflächen des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg konnte bei Untersuchungen der mit Werthölzern bepflanzten Baumstreifen ein im Vergleich zur Ackerfläche um 3,1% erhöhter Humusgehalt in der obersten Bodenschicht festgestellt werden (SEIDL 2010b).

Jedoch kann eben dieser Effekt nicht in allen Studien nachgewiesen werden. Als Gründe für diese unterschiedlichen Ergebnisse führen PETZOLD et al. (2011) die Art der Vornutzung, die untersuchte Bodentiefe und die Beschaffenheit des Bodensubstrates an. Außerdem gelten zur Erfassung von signifikanten Humus-Gehaltsänderungen laut SPIECKER (2010) zehn Jahre als Minimalzeitraum; auch HÜLSBERGEN & SCHMIDT (2008) sprechen von einer Nachweisbarkeit erst nach Jahrzehnten. So könnte erklärt werden, dass in den sehr umfangreichen Bodenuntersuchungen der BTU im Projekt "agroforstenergie" in Bezug auf den Nährstoffhaushalt und die Bodenfruchtbarkeit nur geringfügige Unterschiede zwischen den Gehölzstreifen und der Ackerfläche festgestellt wurden (BÖHM 2012).

2.4.4 Erosionsschutz und Verhinderung von Stoffausträgen

Etwa 970 Millionen Tonnen fruchtbarer Boden gehen in der EU jedes Jahr durch Erosion verloren (BESTE 2015). 2012 waren es laut einer europaweiten Studie zur Wassererosion in der Landwirtschaft im Durchschnitt 2,76 Tonnen pro Hektar und Jahr (PANAGOS et al. 2015). Dadurch entstehen erhebliche Kosten, welche in Kap. 12 ausführlicher dargestellt sind.

Auch durch natürliche Bedingungen ändern sich Böden fortlaufend, jedoch gibt es besonders erosionsanfällige Regionen. Faktoren, durch die Winderosion begünstigt wird, sind hohe Windgeschwindigkeiten, eine starke windoffene Neigung der Fläche, sandige Böden und ein geringer Anteil an bodenbedeckender Vegetation (LUGV 2014). Wassererosion wird zusätzlich noch durch Niederschläge mit hoher Intensität begünstigt (ebd.). Durch Erosion werden Nährstoffe ausgetragen, vor allem auch Nitrat und Ammonium, die sich im Grundwasser anreichern (AßMANN & OELKE 2010). Durch den Verlust an Humus und organischem Material nimmt die Bodenfruchtbarkeit durch Erosion langfristig ab (KAESER et al. 2011). Außerdem kann es durch die Verletzung der angebauten Kulturpflanzen zu erheblichen Ertragseinbußen kommen.

Agroforstsysteme können laut ASSMANN & OELKE (2010) einen guten Beitrag zur Verhinderung von Erosion leisten. Wenn Baumstreifen senkrecht zur Hangneigung bzw. entlang der Höhenlinien gepflanzt werden, kann die Fließgeschwindigkeit des Wassers reduziert werden (SEIDL 2010c). Damit besteht die Möglichkeit, dass ein Teil des Wassers einsickert und mitgeführtes Sediment dort abgelagert wird. Im DBU-Projekt mit Wertholzanbau konnte durch AFS eine Reduktion des Oberflächenabflusses von bis zu 35% nachgewiesen werden (ebd.).

Dadurch waren die Nährstoffgehalte im Oberflächenabfluss im Vergleich zur benachbarten Ackerfläche um 70% (Stickstoff) bzw. 25 % (Phosphor) reduziert (ebd.).

LAMERSDORF (2016) misst besonders der Verhinderung von Stoffausträgen in AFS eine entscheidende Rolle bei. Am 7.11.2016 wurde bekannt, dass die EU eine Klage gegen Deutschland wegen der hohen Nitratbelastungen im Grundwasser einreichte. Als Hauptursache dafür gilt die Überdüngung der Landwirtschaft (DÖSCHNER 2016). Der festgesetzte Maximalwert von 25 mg/l Nitrat im Trinkwasser wird in Gegenden mit intensiver Landwirtschaft oftmals überschritten (KAESER et al. 2010). Die BTU stellte fest, dass auf der Fläche mit Kurzumtriebshecken die Konzentration von Nitrat (NO₃) im Grundwasser “erheblich niedriger als unter konventioneller Ackerbewirtschaftung” sei (BÖHM et al. 2013, S.181). Laut LAMERSDORF (2016) ist zwar im ersten und zweiten Jahr nach Bestandesbegründung mit einem kurzfristig erhöhten Nitrataustrag zu rechnen, jedoch pendele sich dieser nach einiger Zeit auf einen deutlich niedrigen Wert ein (ebd.).

2.4.5 Biodiversität- die Bewertung aus Sicht des Naturschutzes

Die naturschutzfachliche Bewertung von AFS hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Durch die sehr unterschiedliche Gestaltung eines AFS, seine verschiedenen Entwicklungsstufen und dem variierenden “status quo” der umgebenden Landschaft kann die Bewertung sehr unterschiedlich ausfallen (REEG et al. 2009). Wohingegen der Umbruch von extensiv genutztem Grünland durch die Etablierung von KUP vermieden werden sollte, ist die Pflanzung eines AFS auf intensiv bewirtschafteten, strukturarmen Ackerstandorten durchaus sinnvoll (ebd.). Der Standortwahl für AFS kommt aus naturschutzfachlicher Sicht also eine hohe Bedeutung zu (s.a. Kap. 4.2.4).

Die Schaffung von Habitatstrukturen in ausgeräumten Landschaften begünstigt zwar grundsätzlich die Entwicklung von Artenreichtum (BÖRNECKE 2016; SPIECKER 2010). Dabei ist die Zunahme von Individuenzahlen einer schon bestehenden Art ein Ziel; die Zunahme von Biotopvielfalt und Artenzahlen ein anderes Ziel (UNSELD et al. 2011). Bei Vögeln beispielsweise entstehen allerdings auch Zielartenkonflikte. Beispielhaft sollen hier Ergebnisse zur Analyse der Brutvögelarten auf KUP-Standorten in Brandenburg, Sachsen und Hessen dargestellt werden.

Aus naturschutzfachlicher Sicht sollten laut REEG et al. (2009) heimische und standortangepasste Baumarten gepflanzt werden. Dabei wird die Vielfalt von Lebensräumen durch eine Mischung verschiedener Baumarten begünstigt; durchaus können auch seltene Baumarten wie *Sorbus*-Arten gepflanzt werden (REEG et al. 2009). Klon-Pflanzen sollten aus naturschutzfachlicher Sicht vermieden werden, autochthones Pflanzmaterial ist zu bevorzugen (SPIECKER 2010).

Neben einer entsprechenden Gehölzwahl mit möglichst heimischen Gehölzen (BIELEFELDT et al. 2008) spielt jedoch vor allem die Baumstreifenbreite eine Rolle für die Habitatqualität. Aus naturschutzfachlicher Sicht wird ein Minimum von 3-4 m vorgeschlagen, jedoch ist eine Breite von mind. 10 m wirkungsvoller (REEG et al. 2009). Dadurch würde die Fläche des Baumstreifens als

naturnäheres Biotop fungieren (REEG 2010). Insgesamt gilt, dass eine vertikal gestufte Strukturvielfalt sich besonders gut auf die Biodiversität auswirkt.

Die Artenzusammensetzung der Brutvögel variiert je nach deren Habitatsansprüchen. Laut GRUSS & SCHULZ (2011) dominieren in der Begründungsphase bzw. direkt nach der Ernte (bei einem BHD² von 1 cm und einer Höhe von 1-3 m) vor allem Offenlandarten wie die Feldlerche (*Alauda arvensis*), mit zunehmender Bestandeshöhe und -dichte dominieren Gebüschvögel wie Fitis (*Phylloscopus trochilus*) und Gartengrasmücke (*Sylvia borin*). Bei Beständen mit einem BHD von 10-20 cm und einer Höhe von 10-20 m siedeln sich vor allem solche Brutvögel an, die ältere und höhere Bestände mögen (z.B. Buchfink (*Fringilla coelebs*) und Singdrossel (*Turdus philomelos*)). Arten der Saumbereiche (Ökotone) siedeln sich unabhängig der beschriebenen Phasen an, jedoch meist nur an den Randbereichen.

Insgesamt finden sich auf den KUP jedoch nach GRUSS & SCHULZ (2011) vor allem Ubiquisten ein, wenig spezialisierte Arten, die relativ anspruchslos in ihrer Biotopwahl sind. Gefährdete Arten siedeln sich auf KUP nur selten an und meist nur, wenn in der Umgebung noch ähnliche Habitatmöglichkeiten existieren. Im Vergleich mit anderen Biotopen ähnlichen Habitatangebots gelten die KUP als verarmt. Zwar sind KUP aus tierökologischer Sicht wertvoller als Äcker, jedoch nicht vergleichbar mit Waldhabitaten oder seltenen Biotopen wie Magerrasen und Bachauen (GRUSS & SCHULZ 2011).

KUP können jedoch nicht mit AFS gleichgesetzt werden. Welche Vogelarten durch AFS, also durch die Kombination von offenen Ackerstreifen und Gehölzstrukturen gefördert werden, ist noch wenig untersucht. REEG (2010) erläutert jedoch, dass Agroforstsysteme allgemein besonders Einfluss auf die Fauna der Sträucher und Gehölze haben. Dabei können AFS ähnlich wie Hecken halboffene Habitate bieten. Diese sind besonders wertvoll für anspruchsvolle Saum- und Hochstaudenarten bzw. Arten des Unterholzes und der Waldränder (ebd.). AFS bieten hingegen der Fauna der Wälder nur in geringem Maße Habitatmöglichkeiten; für Offenlandarten stellen die Bäume sogar eine Beeinträchtigung dar (REEG et al. 2009). Potentiell gelten AFS auch als wertvoll für den Biotopverbund, wobei laut REEG et al. (2010) diese Funktion von Agroforstsystemen durch einzelne Gehölzreihen nicht erfüllt werden kann.

Eine deutliche Biodiversitätssteigerung der Begleitfauna und -flora ließ sich bei Untersuchungen der Kurzumtriebshecken nachweisen. Es wurde eine Artendiversifizierung der Begleitvegetation besonders im Saumbereich zwischen Acker und Gehölzen nachgewiesen und eine Artenzunahme von Säugetieren, Tagfaltern und Vogelarten erfasst (VETTER 2012). Bezüglich der floristischen Biodiversität konnte bei BÖHM (2012) kein signifikanter Unterschied zwischen Ackerfläche und Gehölzstreifen festgestellt werden. Jedoch konnte nachgewiesen werden, dass im Vergleich mit der

² BHD= Brusthöhendurchmesser; wird auf 1,3 m Höhe gemessen (KRAMER & ACZA 2008)

Ackerfläche und einer KUP Kurzumtriebshecken die höchste und ausgewogenste Laufkäferdiversität besaß (BÖHM 2012).

Für die Bewirtschaftung empfiehlt sich eine zeitversetzte Ernte einzelner Bäume mit anschließender Nachpflanzung, da Werthölzer besonders in den letzten Jahren vor der Nutzung ein besonders wertvolles Habitat darstellen (SPIECKER 2010). Da auch KUP in unterschiedlichen Stadien sehr verschiedene Habitate bieten (s.a. Kap. 2.4), gilt selbiges auch für KUP (BIELEFELDT et al. 2008).

Sollten Sträucher im Agroforstsystem gepflanzt werden, empfiehlt es sich, bei der Artenwahl die Blühzeiten zu berücksichtigen (GREEF 2012). Eine gute Verteilung von Frühlings- und Sommerblühern ermöglicht ein kontinuierliches Nahrungsangebot für Pollen- und Nektarsuchende Insekten. Bei der Anlage von Hecken sollte beachtet werden, dass Doppelreihen-Hecken und Verzweigungen, besonders T-förmige Einmündungen oder Ecken, das Artenvorkommen fördern (SPIECKER et al. 2009). Zu bevorzugen sind weiterhin Wildobstsorten, die verschiedenen Tieren eine Nahrungsquelle bieten (ebd.).

Für die Pflege der Sträucher wird empfohlen, alle 7-20 Jahre die Hecken im Winter bis auf den Stock zurückzuschneiden. Damit wird eine basitone Verzweigung gefördert. Solche Pflegemaßnahmen sollten zeitlich versetzt erfolgen, damit die Tiere sich in verbleibende Heckenstücke zurückziehen können (SPIECKER 2010).

Aus naturschutzfachlicher Sicht wird eine Ost-West-Ausrichtung für das AFS vorgeschlagen, damit die Besonnung des Baumstreifens maximal ist. Dadurch würde die Insektenpopulation (von z.B. Ameisen und Laufkäfern) ansteigen, was wiederum einige Vogelarten anlocken würde. Für die Erreichung dieses Ziels müsste allerdings die Beschattung der Gräser auf dem Baumstreifen durch regelmäßigen Zurückschnitt vermieden werden (SPIECKER 2010).

Für ein größeres Strukturangebot wird weiterhin nach REEG et al. (2009) angeregt, einige alte Bäume als Biotop-Bäume auf der Fläche zu belassen. Zusätzlich könnten Nistkästen für Höhlenbrüter angebracht werden. Auch das Zulassen von Totholz oder Stubben auf der Fläche würde das Habitatangebot bereichern (REEG et al. 2009). Auch breite Saumstreifen könnten die Wertigkeit von AFS verbessern (BIELEFELDT et al. 2008).

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist eine extensive Bewirtschaftung und der Verzicht auf Dünge- und Pflanzenschutzmittel wünschenswert. BIELEFELDT et al. (2008) stellen dar, dass durch die Herbizidanwendung ein Artenrückgang und eine Veränderung in der Pflanzenartenzusammensetzung bewirkt wird. Außerdem ist eine Minimierung der Befahrungintensität erwünscht (REEG et al. 2009).

2.5 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Agroforstsysteme in Deutschland sind für ihre Umsetzung eher hinderlich. Als AFS werden derzeit nur KUP und Streuobstwiesen anerkannt, andersartige Formen fanden in die Gesetzgebung bisher keinen Eingang (CHALMIN & MÖNDEL 2009). Deshalb ist in jedem Fall vor Anlage des Agroforstsystems Rücksprache mit der zuständigen Landwirtschaftsbehörde zu halten.

Nutzungsstatus

Grundlegend stellt sich laut CHALMIN & MÖNDEL (2009) die Frage, ob sich der Nutzungsstatus der Fläche durch das Anlegen eines Agroforstsystems ändert. Mit einer Änderung des Nutzungsstatus würde für die gesamte Fläche die Förderung der GAP (Gemeinsame Agrarpolitik) wegfallen, was zu finanziellen Einbußen führen würde. Dies ist im Sinne der ökonomischen Rentabilität von Agroforstwirtschaft zu vermeiden.

Da auf der Fläche nun auch „forstliche“ Produkte erzeugt werden, muss überprüft werden, ob die Fläche ihren landwirtschaftlichen Status behalten kann oder nun als Waldfläche betrachtet wird. Das Bundeswaldgesetz (BwaldG) definiert eindeutig, welche „mit Forstpflanzen bestockte Grundflächen“ (BwaldG §2 (1), (2)) nicht als „Wald“ gezählt werden können: Flächen, auf denen Bäume mit einer Umtriebszeit unter 20 Jahren wachsen (KUP), und/oder Flächen, auf denen gleichzeitig eine landwirtschaftliche Nutzung vorliegt (agroforstliche Nutzung) (BwaldG 2015). Daher ist davon auszugehen, dass der landwirtschaftliche Status für AFS erhalten bleibt.

Europäische Agrarförderung

Die GAP hat zum Ziel, Landwirt*innen und die Entwicklung des ländlichen Raumes zu unterstützen. Somit stehen Deutschland von 2014 bis 2020 für die Agrarförderung 6,2 Milliarden Euro EU-Mittel zur Verfügung, die sich auf zwei Säulen aufteilen (BMEL 2015): Die erste Säule beinhaltet neben der Basisprämie Direktzahlungen für Umweltleistungen, kleine bzw. mittlere Betriebe und Junglandwirt*innen (ebd.). Damit soll die gesellschaftliche Leistung der Bäuer*innen anerkannt und eine Einkommensstabilisierung trotz hoher Absatzpreisschwankungen erwirkt werden. Die zweite Säule soll der Förderung des ländlichen Raumes dienen und nennt sich ELER (Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums).

In der Delegierten Verordnung Nr. 640/2014 §9 (3) der Europäischen Kommission wird festgelegt, dass eine landwirtschaftliche Fläche mit Bäumen beihilfefähig bleiben soll, wenn sie folgende Bedingungen erfüllt: Zum einen soll eine Bestandesdichte von 100 Bäumen /ha nicht überschritten werden und zum anderen sollen landwirtschaftliche Tätigkeiten auf der Fläche unter denselben Bedingungen ausgeübt werden können wie auf nicht baumbestanden Flächen (ebd.). Ein Ausnahme bilden dabei KUP mit einer Umtriebszeit von unter 20 Jahren (ebd.). Außerdem spricht

sich die Europäische Kommission klar für die Förderung von AFS aus. In der Verordnung Nr. 1305/2013 (§23) des ELER werden 80% der Anlagekosten von Agroforstsystemen und eine jährliche Hektarprämie bis 5 Jahre als beihilfefähig erklärt.

Die Umsetzung der Verordnung in nationale Gesetzgebungen erfolgt jedoch dezentral durch die Mitgliedstaaten. In Deutschland sind diese Vorgaben deshalb in der Förderperiode 2014-2020 nicht berücksichtigt. In diesem Zusammenhang ist auch zu nennen, dass Agroforstsysteme in anderen Ländern stark gefördert werden, beispielsweise in Frankreich oder der Schweiz (CHALMIN & MASTEL 2009, KAESER et al. 2011).

Nutzungscode

Um Prämien der GAP zu erhalten, müssen Bäuer*innen bei der Antragsstellung einen Nutzungscode angeben, der definiert, welche Kulturen angebaut werden. Beispielsweise wird Streuobst ohne Wiesennutzung mit dem Nutzungscode 812 erfasst, Niederwald mit Kurzumtrieb (KUP) mit dem Code 841 (LELF 2013). Für jeden Nutzungscode muss eine Parzellengröße von 0,3 ha eingehalten werden (ebd.). Für AFS gibt es bisher in Deutschland keinen Nutzungscode, d.h. Bäume, die nicht in die Kategorie KUP oder Dauerkultur (Obst- und Nussbäume) fallen, dürfen nicht Teil der landwirtschaftlichen Fläche sein. Die Innovationsgruppe AUFWERTEN unter Beteiligung der BTU arbeitet derzeit an einer kontrollfähigen Definition für Agroforstschläge, damit auch AFS ein Nutzungscode zugeordnet werden kann (mdl. Mit. BÖHM 2016).

Damit für die mit KUP bestellte Fläche die Basisprämie gezahlt wird, dürfen nur ausgewählte Gehölzarten mit einem maximalen Erntezyklus von 20 Jahren angebaut werden (BLOSSEY 2015, s. Anhang 3). Die Umsetzung der ELER-Verordnung, die Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" fördert ebenfalls die Anlage von KUP (ebd.).

Auch Streuobstwiesen können in fast allen Bundesländern Deutschlands gefördert werden, begründet wird dies mit ihrem naturschutzfachlichen und landschaftsästhetischen Wert (CHALMIN & MASTEL 2009).

Cross-Compliance-Bestimmungen

Des Weiteren muss überprüft werden, ob auf der Fläche trotz der Etablierung von Bäumen die Cross-Compliance-Bestimmungen (CC-Bestimmungen) erfüllt werden können. Die CC-Bestimmungen sind die verpflichtenden Vorgaben an Landwirt*innen, die Zahlungen aus der ersten oder zweiten Säule der GAP erhalten wollen (BMEL 2016). In diesem Zusammenhang wurden sieben Standards zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen (kurz GLÖZ) entwickelt. Der siebte Standard (GLÖZ 7) verbietet damit die Beseitigung von Landschaftselementen, zu denen auch unter bestimmten Bedingungen Baumreihen, Hecken und Feldgehölze zählen (MLUL 2015):

Baumreihen müssen aus mindestens 5 Bäumen bestehen und 50 m lang sein. Hecken müssen eine Mindestlänge von 10 m und eine Durchschnittsbreite von 15 m aufweisen (ebd.).

Bei der Anlage von AFS sollte sorgfältig geprüft werden, ob die Gehölzstrukturen als Landschaftselement erfasst werden könnten, und ob dies erwünscht wird. Sollten die Gehölze als Landschaftselemente anerkannt werden, ist deren Beseitigung verboten, d.h. beispielsweise wäre dadurch die Holznutzung von Bäumen ausgeschlossen. Wenn eine Nutzung erwünscht ist, müssen die baumbestandenen Flächen als Sperrflächen gekennzeichnet werden (mdl. Mit. KAYSER 2016).

Greening

Im Rahmen der GAP-Reform im Jahre 2013 wurde das sog. Greening eingeführt, das die Landwirt*innen zu bestimmten klima- und umweltschutzfreundlichen Methoden verpflichtet (BMEL 2015). Dazu zählt die Erhaltung von Dauergrünland, die Anbaudiversifizierung und die Einrichtung von ökologischen Vorrangflächen auf 5% ihrer Ackerflächen (ebd.). Für letztere Maßnahmen können aber Direktzahlungen als Kompensation beantragt werden, die in der Direktzahlungen-Durchführungsverordnung (DirektZahlDurchfV 2014) näher erläutert werden. Dort aufgeführt sind in §30 Flächen mit Niederwald mit Kurzumtrieb, an deren Zahlungsanspruch jedoch einige Bedingungen geknüpft sind: Eine eingeschränkte Baumartenwahl, ein maximaler Erntezyklus von 20 Jahren und eine ökologische Wirtschaftsweise (d.h. keine Benutzung von mineralischen Düngemittel und Pflanzenschutzmitteln) (s.a. Anlage 3). Auf EU-Ebene sind auch AFS im Katalog möglicher Greeningmaßnahmen aufgeführt, auch dies wurde jedoch noch nicht in deutsche Gesetzgebung überführt.

Zusätzliche Regelungen

Weiterhin ist zu beachten, dass durch das Nachbarschaftsrecht in Brandenburg ein Abstand von mind. 4 m bzw. einem Drittel der zu erwartenden Baumhöhe zum Nachbargrundstück einzuhalten ist (CHALMIN & MÖNDEL 2009). Ausnahmen bestehen nur bei einer einvernehmlichen schriftlichen Regelung.

Für die Bereiche der Fläche, die an die Straße angrenzen, ist ein Mindestabstand von 4,5 m zur Fahrbahn nötig und eine Aufastung auf mind. 5 m erforderlich (ebd.).

2.6 Akzeptanz der Landwirt*innen

In der Studie des Forschungsprojektes “SAFE” (Silvoarable Agroforestry for Europe) im Jahr 2005 geben 70% der befragten Landwirt*innen an, sich die Anlage eines Agroforstsystems vorstellen zu können (CHALMIN & MASTEL 2009). Auch bei einer Umfrage von 75 Menschen aus dem Landkreis Barnim wurde bei 32% der konventionell wirtschaftenden Bäuer*innen ein erhöhtes Interesse festgestellt (KAMPARD 2005). Potentiale von AFS werden von den befragten

Landwirt*innen vor allem in den positiven, ökologischen Auswirkungen gesehen (z.B. Erosionsschutz), in der Produktdiversifizierung sowie in der langfristigen Wertanlage (SPIECKER 2010).

Zu fragen ist, wieso Agroforstsysteme in der Praxis dennoch von Landwirt*innen nicht angenommen werden. Dies lässt sich grundsätzlich mit der Trennung von Land- und Forstwirtschaft erklären, durch die Gehölze in der Landschaft zunehmend die mechanisierte Arbeit der Landwirtschaft erschwerten und entfernt wurden (SPIECKER 2009). Außerdem haben Landwirt*innen bezüglich folgender Punkte Bedenken:

- **Ertragsreduktion:** Durch Gehölze wird ein Teil der landwirtschaftlichen Fläche nicht mehr nutzbar, außerdem könnte die Konkurrenz zwischen Ackerpflanzen und Gehölzen ertragsmindernd wirken (SPIECKER 2010).
- **Arbeitsaufwand:** Der Arbeitsaufwand wird sich durch die Pflege und Ernte der Gehölze mutmaßlich erhöhen (SPIECKER 2010).
- **Wissen:** Den Landwirt*innen fehlt u.U. das Know-How zur Bewirtschaftung von Bäumen (CHALMIN & MASTEL 2009).
- **Absatzmarkt:** Es ergibt sich ein unbekannter, neuer Absatzmarkt; evtl. müssen neue Vermarktungsstrategien entwickelt werden (mdl. Mit. NAHM 2016).
- **Agrarförderung:** Die rechtliche Situation zu Bäumen auf dem Acker ist bisher noch unklar und wird finanziell nicht gefördert (s.a. Kap. 2.5).
- **Langfristigkeit:** Pächter*innen, denen die Fläche nicht gehört, ist es möglicherweise nicht erlaubt, langfristige Änderungen an der Fläche vorzunehmen (REEG 2010). Außerdem kann sich durch die Integration von Gehölzen eine langfristige Kapitalbindung ergeben, die von Bäuer*innen nachteilig empfunden wird (CHALMIN & MASTEL 2009).

Seitens der Bäuer*innen sollte eine Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Nutzung durch AFS vermieden werden (SPIECKER 2010). Außerdem wird eine bessere Öffentlichkeitsarbeit durch verschiedene Informationsmedien erwünscht sowie Beratungs- und Fortbildungsangebote (CHALMIN & MASTEL 2009).

Die Akzeptanz von KUP hingegen dürfte sich in den letzten Jahren deutlich gesteigert haben. "Niederwald mit Kurzumtrieb" ist im Land Brandenburg mittlerweile eine beihilfefähige Fläche. Die finanzielle Förderung wird von Landwirt*innen auch als positiv gewertet (SKODAWESSELY & PRETZSCH 2009).

2.7 Forschungsbedarf

Die Ergebnisse der Forschung zu AFS in Deutschland lassen erste Quantifizierungsversuche zu Auswirkungen auf das Mikroklima, die faunistische und floristische Biodiversität und den Erosionsschutz zu. Die meisten Forschungsprojekte können in der durch die Förderpolitik bedingten kurzen Laufzeit von 3-5 Jahren langfristige Auswirkungen nicht untersuchen. Gerade für die Quantifizierung von Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit bzw. Kohlenstoffspeicherung ist die Dauerbeobachtung von entscheidender Rolle, da sich Änderungen erst über sehr lange Zeiträume nachweisen lassen (s.a.Kap.2.4.3). QUINKENSTEIN et al. (2011) betonen auch, dass weitere Studien zur Stabilität und Qualität des Humus notwendig seien. Es ist auch noch nicht ausreichend untersucht, ob sich die Änderungen des Humusgehalts nur auf die Baumstreifen beschränken oder auch den Humusgehalt auf der gesamten Ackerfläche beeinflussen können. Ein Aspekt, der bisher noch gar nicht untersucht scheint, ist die Mykorrhiza-Bildung im Boden von AFS. Im Wald ist die Bedeutung dieser in Symbiose mit den Bäumen lebenden Bodenpilze für das Ökosystem hinreichend bekannt (EGLI & BRUNNER 2011) und könnte somit auch für AFS von Relevanz sein.

Für eine langfristige Kohlenstoffbilanzanzierung müssten vor allem auch die notwendige, vor- und nachgelagerte Bodenbearbeitung berücksichtigt werden, durch die erwartungsgemäß eine hohe Stofffreisetzung erfolgt (BIELEFELDT et al. 2008).

Die Integration von Fruchtertrags- bzw. Wertholzkomponenten scheint europaweit eine attraktive Form. In dem Leitfaden des BfN zu AFS in Deutschland sind von den aufgeführten 14 Demonstrations- und Praxisflächen lediglich drei mit dem Fokus "Wertholz" und eine Fläche mit Wildobst aufgeführt, zehn der Flächen mit dem Fokus "Energieholz". Dies zeigt, dass es noch erheblichen Forschungsbedarf bei der Anlage von AFS mit Wertholz gibt. Hier zu nennen wäre beispielsweise der Bedarf an ausführlichen Studien zur möglicherweise ertragsmindernden Verschattung durch die Wertholzbäume, die momentan nur durch Modellationen berechnet wird (s.a. Kap. 5.2).

Außerdem mangelt es an komplexen Agroforstsystemen, in denen die Komponenten Energieholz, Wertholz und Obst gleichzeitig vorkommen. Gerade vor dem Hintergrund des Trends zu mehr regionalen und solidarisch-ökologisch produzierten Lebensmitteln (HEINTZ 2014) besteht ein großer Bedarf an der Erforschung und Entwicklung ganzheitlicher und komplexer Agrarsysteme mit vielfältigen Ernteprodukten (ALTERI 1999). Die Erkenntnisse aus der Entwicklung essbarer Waldgärten in den gemäßigten Breiten (CRAWFORD 2010; JACKE & TOENSMEIER 2005, WITHEFIELD 2002) lassen sich theoretisch mit verringerter Komplexität auch auf großflächige AFS übertragen (ebd.).

Laut BÖHMER & WAGNER (2013) sollte jedoch die "Vordringliche Aufgabe aktueller Forschungsarbeiten [...] die Frage sein, unter welchen Bedingungen und in welchem Maße diese gesellschaftlichen und betrieblichen Leistungen erzielt werden können" (ebd., S. 182).

Moderne Agroforstsysteme sind in Deutschland bisher trotz ihrer erforschten Vorteile kaum verbreitet. Daher stellt sich die Frage, mit welcher Motivation diese Landnutzungsform in anderen Ländern gewählt wird bzw. welche Form moderner Agroforstsysteme in Deutschland praxistauglich und inspirierend für Landnutzer*innen sein kann. Auch BLOSSEY (2015) weist darauf hin, dass zur Akzeptanzsteigerung noch mehr Versuchs- bzw. Demonstrationsflächen angelegt werden sollten, wobei der Fokus auf letzteren liegen sollte. Dies deckt sich mit den Wünschen der Teilnehmenden auf dem 5. Agroforstforum in Senftenberg 2016: Zum einen brauche es noch mehr belastbare Forschungsergebnisse zu den Potentialen von AFS; zum anderen werden Leuchtturmprojekte benötigt, die eine entsprechende öffentlichkeitswirksame Signalwirkung entfalten können.

Außerdem müssten die mit Agroforstsystemen verbundenen Zusatzleistungen der Landwirt*innen politisch, gesellschaftlich und vor allem finanziell anerkannt werden. Es fehlen jedoch bisher Fördermaßnahmen -beispielsweise durch die ELER-Verordnung- oder Ausgleichszahlungen (Ökokonten). In den Befragungen von Landwirt*innen bei SPIECKER (2010) wurde die Anerkennung von AFS als Ausgleichsmaßnahme im Rahmen der Eingriffsregelung ausnahmslos anerkannt. Attraktiv seien AFS unter diesen Umständen durch eine entsprechende Entlohnung des Mehraufwands (ebd.). Für all diese Fördermaßnahmen müssten die Ökosystemdienstleistungen wie Erosionsschutz noch besser quantifizierbar sein und entsprechenden Entscheidungsträger*innen zur Verfügung gestellt werden (CHALMIN & MASTEL). Es ist zu hoffen, dass das geplante Projektvorhaben zur Verbreitung von Wissen und zur Vernetzung der beteiligten Akteur*innen führen kann, also von Landwirt*innen, Landwirtschaftsbehörden der Länder und den unteren Naturschutzbehörden der Kreise und Kommunen.

3 Methodik

Agroforstsysteme in Deutschland

Es wurde eine Internetrecherche zu "Agroforstsystemen in Deutschland" durchgeführt sowie nach geeigneter deutschsprachiger Literatur gesucht. Im Bereich der Forschung zu Agroforstwirtschaft in Deutschland konnten so die BTU (Technische Universität Cottbus-Senftenberg) und das IWW (Institut für Waldwachstum der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) identifiziert werden.

Für die Darstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen erfolgte eine Literaturrecherche. Die Verordnungen der Europäischen Kommission zur Gemeinsamen Agrarpolitik wurden im Original gelesen, um deren Aktualität zu überprüfen.

Standortanalyse

Es wurde eine Standortanalyse anhand der Standortelemente Lage, Geologie, Boden und Klima durchgeführt. Dabei wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes und Karten des Nordostdeutschen Tieflands nach KOPP (2003) zurückgegriffen. Zusätzlich wurden in Gesprächen mit dem Flächenpächter (Herr Winter) weitere Standortinformationen gesammelt.

Stakeholder-Analyse

Als wichtige Stakeholder/ Interessenträger wurden zunächst der Flächeneigentümer und der Flächenpächter, die Landwirtschaftsbehörde und die untere Naturschutzbehörde identifiziert. Bei einem Treffen aller Stakeholder auf der Projektfläche, wurden erste Entwürfe für das Design aus den Abschlussarbeiten von MÜLLER (2016) und HÄFKE (2016) präsentiert und diskutiert. Nach einer Evaluation dieser Ergebnisse die Interessen des Eigentümers und Pächters nochmals gezielt mittels Telefoninterviews analysiert. Während des gesamten Design-Prozesses wurde mehrfach Rücksprache mit dem Flächeneigentümer und Pächter gehalten, um Detailfragen zu klären.

Die Interessen des Naturschutzes wurden v.a. durch Literatur des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) ermittelt, außerdem wurde die zuständige Untere Naturschutzbehörde Landkreis Oberhavel in einem persönlichen Treffen mit Frau Libor von dem geplanten Vorhaben in Kenntnis gesetzt. Schriftliche Rücksprache erfolgte mit Herrn Klemt, dem zuständigen Bearbeiter der Landwirtschaftsbehörde Landkreis Oberhavel.

Für den Designprozess wurden zunächst mögliche Komponenten des AFS ermittelt und dann deren Kompatibilität mit den Standortanforderungen bzw. Stakeholder-Interessen überprüft.

Wertholzkomponente

Für die Wertholzkomponente wurde insbesondere Bezug auf die Forschungsergebnisse des IWW genommen (BENDER et al. 2009, MORHART et al. 2015, REEG 2010, SPIECKER 2009,

SPIECKER 2010). Schwerpunkt bei der Wahl der Wertholzbaumarten war die Erfüllung des Kriteriums der Standortangepasstheit. Dafür wurden die Ansprüche der Baumarten mit Hilfe der Literatur vergleichend in einer Excel-Tabelle dargestellt (modifiziert nach BENDER et al. 2009 S.15, DENGLER 1992, MAYER 1992, SCHÜTT 1994). Als Kenndaten gingen die Ansprüche an die Bodenart, Nährstoffversorgung, Bodenfeuchte, Temperatur und Niederschlag ein. Zusätzlich fand mehrfach eine Rücksprache mit verschiedenen Expert*innen statt (mdl. Mit. CREMER 2016, FRITZ 2016, GUERICKE 2016, KAYSER 2016), um zu überprüfen, ob die Ergebnisse der Literatur auch mit praktischen Erfahrungen übereinstimmen.

Neben der Standortangepasstheit war ein weiteres Kriterium das aus forstlicher Perspektive gesehene Potential der Bäume, wertvolles Holz zu produzieren. Zu den nach diesen beiden Kriterien ausgewählten Baumarten wurden kurze Monographien geschrieben. Dafür wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um weitere für den Anbau wesentliche Merkmale zusammenzutragen.

Fruchtertragskomponente

Bei der Suche nach möglichen Fruchtertragskomponenten wurden aus dem Kontext Kriterien abgeleitet, die diese für die Integration in AFS im besten Fall erfüllen sollten. Anschließend fand eine breite Literaturrecherche statt. Hierdurch konnte eine Eingrenzung auf sogenannte Obstbau-Spezialkulturen vorgenommen werden, deren Eignung nach Kriterien der Standortanforderungen, Managementaufwand, Ernteaufwand und -Zeitpunkt, sowie Vermarktbarkeit nach einer Literaturrecherche ebenfalls zusätzlich durch Interviews mit 5 Expert*innen, methodisch angelehnt an leitfadengestützte Interviews aus der qualitativen empirischen Sozialforschung (DIEKMANN 2012), analysiert wurde. Die Fragen des Interviewleitfadens befinden sich im Anhang 2. Die Mitschrift der Interviews erfolgte handschriftlich und stichpunktartig. Aufgrund des Gesamtumfangs dieser Arbeit konnte keine detaillierte Transkription erfolgen. Die Ergebnisse der Interviews finden sich daher nur im Text und sind als “mdl. Mit.” gekennzeichnet. Eine Beschreibung der Expert*innen findet sich im Quellenverzeichnis.

Bodenfruchtbarkeit

Um einschätzen zu können, ob eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit durch die von LEMIEUX (1996) vorgeschlagene Applikation von Frisch-Zweig-Häckseln (FZH) aussichtsreich erscheint und in welcher Form diese in die Gesamtkonzeption integriert werden könnte, wurde eine Literaturrecherche zu den Themen Bodenfruchtbarkeit, Humifizierungsprozesse und Minimalbodenbearbeitung durchgeführt. Da die FZH-Produktion mittels KUP als sinnvoll erschien, wurden Ergebnisse verschiedener KUP-Versuchsanlagen verglichen und Gespräche mit Expert*innen geführt. Daraus konnten Empfehlungen für eine standortangepasste Sortenwahl und ein Anbauverfahren abgeleitet werden.

Für die Anschaulichkeit und Abschätzung des benötigten Pflanzmaterials sowie der genauen Designanordnung und Flächenaufteilung wurden Karten mit qgis 2.12.0 (Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Lizenz (CC BY-SA)) ausgemessen und eine Visualisierung des Designs erstellt.

Erste Designideen wurden auf einem Agroforst-Planungsworkshop der Agroforstkampagne mit Expert*innen diskutiert. Anschließend wurde ein Vorschlag für ein Gesamtdesign erarbeitet. Zur Präsentation dieser vorläufigen Ergebnisse wurde ein wissenschaftliches Poster (s.a. Anhang 6) für das 5. Forum Agroforstsysteme “Bäume in der Land(wirt)schaft – von der Theorie in die Praxis” erstellt. Dieses diente als anschauliche Grundlage für die Diskussion mit anderen Tagungsteilnehmer*innen. Hierauf wurden die Rückmeldungen und Anregungen in ein abschließendes Design eingearbeitet.

Wissenschaftliche Parameter

Für eine Entscheidung über die zu untersuchenden wissenschaftlichen Parameter erfolgte eine Literaturrecherche aktueller wissenschaftlicher Studien zu Agroforstsystemen und eine Analyse des darüber hinausgehenden Forschungsbedarfes. Daraufhin konnte eine Liste von zu untersuchenden Parametern erstellt werden. Für die Vorgehensweise zur Untersuchung der meisten Parameter erfolgte eine Orientierung an den Methoden der Ökosystemaren Umweltbeobachtung (LUTHARDT et al. 2002, 2006).

Managementempfehlungen

Für die erarbeiteten Designvorschläge konnten unter Analyse weiterer Literaturquellen, durch Gespräche mit Expert*innen und einem engen Kontakt mit dem Bewirtschafter detaillierte Managementempfehlungen erarbeitet werden. Für die Darstellung möglicher Minimalbodenbearbeitungsverfahren auf der FZH-Mulchfläche dienten vor allem die umfangreichen Unterlagen vom Besuch eines fünftägigen Seminars zu Bodenfruchtbarkeit der Under_cover-GbR (CROPP & BONIN 2016) als Orientierung.

Wirtschaftlichkeit

Es erfolgte eine Kalkulation anfallender Investitionskosten anhand einer Literatur- und Internetrecherche. Einige Daten für die Kostenabschätzung ackerbaulicher Arbeitsverfahren konnten der KTBL-Onlinedatenbank entnommen werden.

4 Spezifischer Kontext des Designs

4.1 Standortcharakterisierung

Die Projektfläche liegt nördlich von Berlin im Löwenberger Land im Ortsteil Großmutz. Die Landstraße K6512 begrenzt die Fläche an zwei Seiten; im Nordwesten stellt die Stromtrasse die Grundstücksgrenze dar. Herr von Sonntag ist der Eigentümer und Herr Winter der Pächter, der die Fläche konventionell bewirtschaftet.

Das Zentrum der Fläche liegt ungefähr bei den Koordinaten E 374196 und N 5867091 (EPSG:25833). Die Projektfläche kann naturräumlich dem eiszeitlich geprägten Nordbrandenburger Platten- und Hügelland zugeordnet werden, mit der Unterspezifizierung Granseer Platte (WIESING 2016).

Aus forstlicher Sicht fällt die Fläche in den Großklimabereich beta des mäßig-trockenen Tieflandklimas, und zwar in das Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Planearklima (KOPP 2003). Demzufolge liegt die Fläche im Übergangsbereich zwischen dem maritim geprägten Großklimabereich alpha (hohe Niederschläge, hohe Humidität) und dem kontinental geprägten Großklimabereich gamma (geringe Niederschläge, geringe Humidität) (RIEK 2012).

Die Geländehöhe beträgt zwischen 55 m und 50 m über NN (WIESING 2016). Der durchschnittliche Niederschlag von 1981 bis 2010 liegt bei 572 mm/a und die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt ca. 9°C (DWD 2016a und 2016b). Der Grundwasserstand liegt vermutlich bei 8-12 m (mdl. Mit. WINTER 2016). Hauptsächlich kommen Winde aus westlicher Richtung, jedoch traten vor allem in letzter Zeit auch Winde aus anderen Himmelsrichtungen auf (ebd.). Die Baumreihen am Straßenrand bieten nur unzureichenden Schutz vor Winderosion.

Früh- und Spätfröste treten vereinzelt auf, am ehesten sei davon das Grünland betroffen. Auf der Fläche gibt es laut dem Bewirtschafter nur geringe Probleme mit Mäusen, relevanter sei das Auftreten von Wild. Er spricht davon, dass 25-30 Tiere (Wildreh, Dammwild oder Schwarzwild) keine Seltenheit seien.

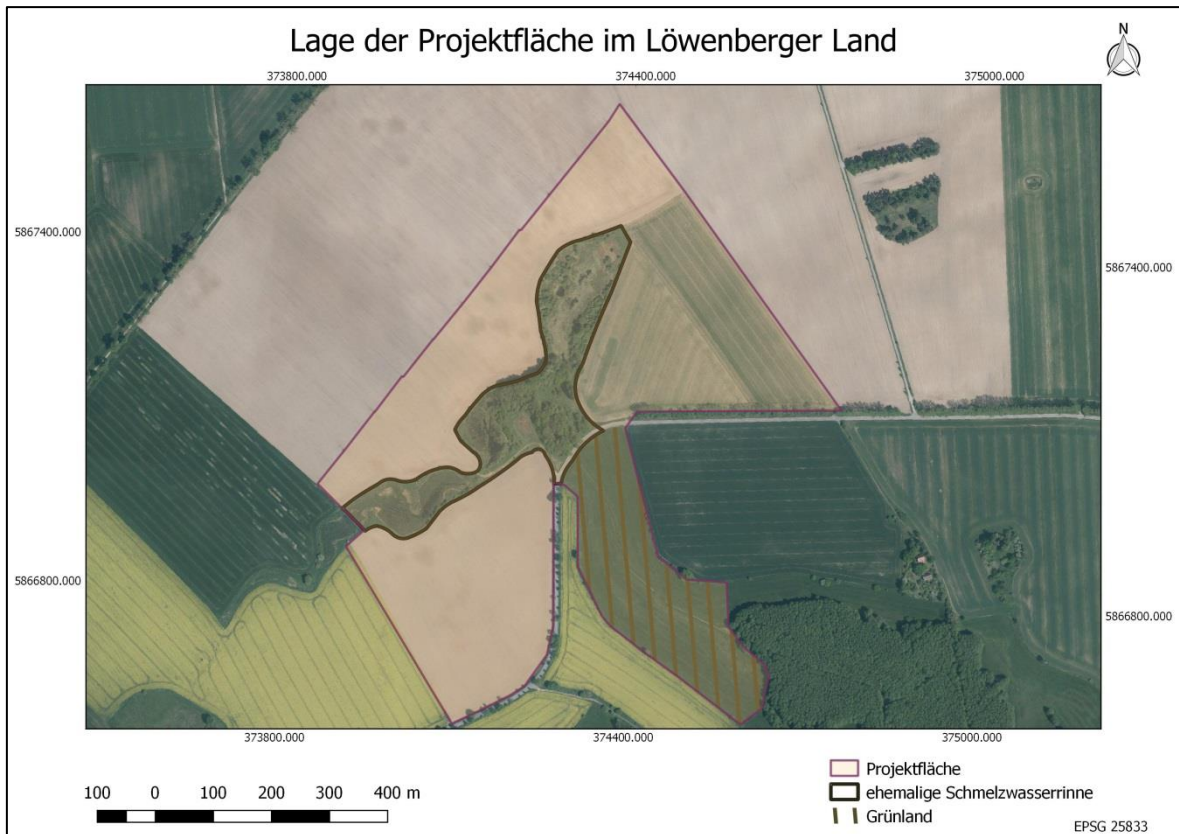


Abbildung 6: Lage der Projektfläche im Löwenberger Land (eigene Darstellung)

Die Projektfläche weist insgesamt eine Größe von ca. 30 ha auf und besteht aus drei Acker-Schlägen und einer Grünlandfläche, die rund um die ehemalige Schmelzwasserrinne angeordnet sind (s.a. Abb. 6).

Zum jetzigen Zeitpunkt (Oktober 2016) beginnen Naturschutzarbeiten des NABU, der die entwässerte Schmelzwasserrinne als geschütztes Biotop erhalten bzw. wiedervernässen will. Somit sollen auch gefährdete Reptilien und Amphibien ihren Lebensraum behalten können (WIESING 2016).

Die Geomorphologie der Schmelzwasserrinne bedingt eine leichte Hangneigung der umgebenden Ackerflächen zur Rinne hin, sodass mit Wassererosion gerechnet werden muss (mdl. Mit. WINTER 2016). Dieses Problem ist besonders auf der nördlichen Ackerfläche sichtbar, auf der sich nach Starkregenereignissen häufig Erosionsrinnen bilden, die in die ehemalige Schmelzwasserrinne hinab führen. Dies wird jedoch nicht mit Schneeschäden in Verbindung gebracht, diese seien selten, da der Schnee in der Schmelzwasserrinne abfließe.

Laut Aussage von WINTER (mdl. Mit. 2016) hat die Fläche Bodenpunkte von 25-35 und besteht aus lehmigem Sand. Dies deckt sich mit den Daten in der Bodenübersichtskarte 1:200000 (KOPP 2003), die für die Projektfläche einen anhydromorphen Substrattyp „ASL w“ (Sand-Geschiebelehm

mit Wellenrelief) angibt. Der Bodentyp wird als Braunerde aus Sand oder Parabraunerde aus lehmigem Sand über Lehm klassifiziert (ebd., Karte 1, Blatt 3).

4.2 Interessen der Stakeholder

4.2.1 Der Eigentümer

Die Motivation des Eigentümers (mdl. Mit. VON SONNTAG 2016) ist es, mit der Anlage von Agroforstsystemen den fünf „V“s entgegenzuwirken: Verdichtung, Verdunstung, Verarmung, Verlust und Versiegelung. Er beschäftigt sich seiner Aussage nach auch mit Agroforstwirtschaft in den Tropen und stellte fest, dass diese interessanten Systeme in Deutschland bisher noch wenig Anklang finden. Ihm ist jedoch wichtig, dass, wenn möglich, auf bestehende Studien aufgebaut werden soll.

Seine höchste Priorität für das Design ist, dass es den Pächter überzeugt. Weiterhin wünscht er sich, dass die Projektfläche „Ausstrahlungswirkung“ besitzt und zum Nachahmen anregt. Dabei sollen die Herzen und die ästhetischen Vorstellungen der Menschen angesprochen werden. Er betont jedoch, dass das System praktikabel bleiben und v.a. konventionelle Bäuer*innen erreichen soll. In diesem Zusammenhang soll auch die ökonomische Rentabilität berücksichtigt werden.

Wegen der fehlenden Ästhetik von KUP schließt er diese für die Projektfläche explizit aus. Seine Vorstellung ist ein komplexes, stufiges System aus Wertholz- und Obstertragskomponenten, wobei er Birne (*Pyrus*) favorisiert. Er weist auch darauf hin, dass diese Region früher eine Obstregion war. Er möchte definitiv nicht eine „Standardkonstruktion“ auf der Fläche etablieren, jedoch soll die Komplexität an den Standort angepasst und messbar sein. Die lange Umtriebszeit von Wertholzarten stellt in seinen Augen kein Problem dar. Im Gegenteil, er spricht davon, dass er die Fläche mit dem Generationenvertrag an seine Kinder weiterreichen möchte. Ein langfristiges Entwicklungsziel für die Fläche selbst gibt es bisher nicht, das Miteinander von Forst- und Agrarwissenschaft soll erhalten werden.

Bezüglich innovativer Ideen (z.B. Frischholzhäcksel als Mulchmaterial) ist er offen, wenn sie den bisher genannten Zielen entsprechen. Naturschutzfachliche Zusatzleistungen (z.B. in Form einer Wildobsthecke) müssen seiner Ansicht nach nicht zwingend einen direkten ökonomischen Nutzen erzielen.

Die Flächen, auf denen die Bäume und Sträucher gepflanzt werden, sollen aus der Pacht herausgenommen werden, damit der Landwirt das Risiko nicht tragen muss.

4.2.2 Der Pächter

Für WINTER (mdl. Mit. 2016) im Vordergrund, dass er seine landwirtschaftliche Arbeit weiterhin ausführen kann. Er ist Bauer aus Familientradition geworden, aber steht erwartungsgemäß stark unter ökonomischen Druck. Da er mit mind. 10 Stunden Arbeit am Tag mehr als ausgelastet ist, stellt er klar, dass er nicht die Hauptverantwortung für das Management des AFS übernehmen möchte. Er ist zwar prinzipiell offen dafür, aber er wünscht sich, dass es praktikabel bleibt. Er erhofft sich vom AFS insbesondere Wind- und Wassererosionsschutz; ein Effekt, den er ansatzweise schon durch die Anpflanzung von Straßenbäumen wahrnehmen kann. In 10 Jahren konnte er den Humusgehalt durch die Ausbringung von Kompost um 1,6% steigern. Dies zeigt weiterhin, dass ihm grundsätzlich am Aufbau von Bodenfruchtbarkeit gelegen ist. Er favorisiert eine Anlage von AFS entlang schon bestehender Strukturen (Straße; Gemarkungsgrenzen; Brachenrandfläche). Er stimmt jedoch der Idee zu, dass im vielfachen Abstand der Arbeitsbreite von 18 m bzw. vorzugsweise der doppelten Arbeitsbreite von 36 m streifenweise AFS-Streifen auch auf der Fläche integriert werden.

Der Pächter ist bereit, das Pflügen entlang der Baumstreifen zur Wurzelraumregulation (s.a. Kap. 10.2) anfangs zu übernehmen. Für andere Pflegemaßnahmen wünscht er sich konkrete Angaben, vor allem, was die benötigte Arbeitszeit anbelangt. Er stellt klar, dass er in den Arbeitszeitspitzen der landwirtschaftlichen Produktion keine Kapazitäten haben wird, um sich um das AFS zu kümmern. Für Managementmaßnahmen wäre der Winter der geeignete Zeitpunkt (ab Mitte Oktober).

Ein Problem sieht der Pächter vor allem in den in seinen Augen notwendigen Bewässerungsmaßnahmen der ersten Jahre. Da es keinen Wasseranschluss auf der Fläche gibt, könnte die Bewässerung zu der Hauptarbeitszeit im Sommer problematisch werden. Aufgrund des auftretenden Wildverbisses empfiehlt er einen Zaun als Verbisschutz. Insgesamt hat Herr Winter viele Ideen, von wo Mulchmaterial und Kompost sowie ein Felddräcker herangezogen werden könnte. Er selbst besitzt auch die nötige Ausrüstung, um mind. auf 3,5 m zu asten. Einen GPS-gestützten Mähdrescher besitzt er allerdings nicht. Er erntet auch nicht in Doppelgespanntechnik.

Dem Vorschlag, die Bodenfruchtbarkeit durch die Applikation von Frisch-Zweig-Häcksel-Mulch zu verbessern, steht der Pächter grundsätzlich offen gegenüber. Er würde jedoch befürworten dies erst in einem kleineren Teststreifen zu erproben, da er noch nicht wisse, wie seine Saatguttechnik damit zurechtkomme. Grundsätzlich kann er zwar schon Erfahrungen mit Minimalbodenbearbeitungen z.B. im Zusammenhang mit Projekten der Gesellschaft für Konservierende Bodenbearbeitung (GKB) aufweisen, wünscht sich jedoch noch Managementempfehlungen zur Minimalbodenbearbeitung, sollte dieses Element integriert werden.

4.2.3 Stellungnahme der Landwirtschaftsbehörde

Die zuständige Landwirtschaftsbehörde Landkreis Oberhavel wurde schriftlich über das geplante Vorhaben informiert. Es wurde darauf hingewiesen, dass KUP unter den in Kap. 2.5 genannten Bedingungen beihilfefähig sind. Eine gleichzeitige Nutzung der Fläche mit KUP und dem Anbau von Beerenobst sei nur förderfähig, wenn dabei eine jeweilige Mindestparzellengröße von 0,3 ha eingehalten werde. Sollten Bäume zur Wertholzproduktion angebaut werden, dürfen diese nicht Bestandteil der beihilfefähigen Fläche sein und müssen als Sperrflächen erfasst werden. Die Beihilfefähigkeit der Fläche bleibt bei dem Anbau von Gehölzen nur dann erhalten, wenn die Gehölze den Anforderungen als Landschaftselemente entsprechen. Damit würden sie aber auch unter die CC-Bestimmungen fallen und dürften nicht wieder entfernt werden (schriftl. Mit. KLEMT 2016).

4.2.4 Naturschutz

Die Ziele des Naturschutzes sind vielfältig und werden auch im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) §1 explizit formuliert. Dazu gehören (unter anderem) die Erhaltung der biologischen Vielfalt, Schutz von Pflanzen und Tieren sowie ihrer Biotope, Boden- und Klimaschutz. Auch die Erhaltung der Schönheit und des Erholungswertes der Natur werden hier aufgeführt.

Grundsätzlich gilt, dass sich der Erhaltungszustand nicht verschlechtern darf und der “gute[n] fachliche[n] Praxis” entsprechen soll (BNatSchG §14, §44, 2009). Deswegen sollte die Anlage eines AFS in Absprache mit der zuständigen Unteren Naturschutzbehörde erfolgen.

4.2.4.1 Eignung des Standorts

Ein Standort ist unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten nur dann für die Etablierung von AFS geeignet, wenn dadurch eine Aufwertung der Landschaft erfolgt. Dies bedeutet, dass für die Anlage von AFS Offenlandschaften mit Wiesenbrütern ungeeignet sind genauso wie artenreiche, seltene Trocken- oder Feuchtstandorte (s.a. Kap. 2.4). Des Weiteren ist zu überprüfen, ob der Standort in einem der folgenden Schutzgebiete liegt: Biosphärenreservat, LSG (Landschaftsschutzgebiet), NSG (Naturschutzgebiet), Natura 2000-Fläche, Nationalpark (SCHMIDT & GLASER 2009). Bei der Überprüfung ergibt sich, dass die Fläche im SPA-Gebiet (“Special Protection Area for Birds”) 7017 “Obere Havelniederung” liegt. Im Umkreis von etwa 5-20 km befinden sich allerdings verschiedene weitere Schutzgebiete, deren Beeinträchtigung vermieden werden muss. Weiterhin ist zu beachten, dass durch das AFS die potentielle Eigenschaft der Fläche als Biotopverbund, als Teillebensraum für gefährdete bzw. geschützte Arten und als Wanderkorridor nicht verloren geht. Diese Überprüfung muss in Zusammenarbeit mit der zuständigen Naturschutzbehörde erfolgen.

4.2.4.2 Stellungnahme der Unteren Naturschutzbehörde

In einem Gespräch mit der zuständigen Sachbearbeiterin Frau Libor der unteren Naturschutzbehörde Landkreis Oberhavel ergab sich, dass ein möglichst extensiv genutzter Randstreifen um die Brachfläche bedacht werden soll, damit sich der naturschutzfachliche Wert dieser ehemaligen Schmelzrinne nicht verschlechtert. Weiterhin sollten Pappel (*Populus spp.*) und Robinie (*Robinia pseudoacacia*) nicht angepflanzt werden, weil sonst die Gefahr einer unkontrollierten Ausbreitung in dem Schmelzwassergebiet bestehe. Andere, gebietsfremde Arten sind genehmigungspflichtig und sollten nicht verwendet werden³. Für die Pflegemaßnahmen einer (Wildobst-)Hecke wurde angeregt, dies nur in Abstimmung mit der Naturschutzbehörde zu tun. Bei der Anlage ergeben sich laut Frau Libor jedoch keine Konflikte mit Vorgaben zum europäischen Vogelschutzgebiet 7017. In den Erhaltungszielen wird stattdessen explizit von einer “struktureichen Agrarlandschaft mit einem hohen Anteil an Begleitbiotopen wie Hecken, Baumreihen, Einzelgehölzen, [...] und Wildobstbeständen” (LFU, ohne Datum) gesprochen. Dazu soll und kann das geplante AFS-Vorhaben auch dienen. Somit stellt Frau Libor nach der übersichtsartigen Vorstellung des geplanten Vorhabens fest, dass durch die Etablierung der Gehölze die Fläche aufgewertet werden könnte (mdl. Mit. LIBOR 2016).

4.3 Zusammenfassung des Kontextes

Standortsbedingungen: Der Standort kann zusammenfassend als “typisch” für Brandenburg charakterisiert werden. Ein geringes Wasserhaltevermögen der Bodenart (Sand bzw. lehmiger Sand), die geringen Niederschläge (ca. 570 mm/a) und ein fehlender Grundwasseranschluss der Fläche erwarten von möglichen Gehölzen eine hohe Trockenheitstoleranz bzw. geringe Ansprüche an die Wasserversorgung.

Neuland: In den Gesprächen mit den zuständigen Sachbearbeiter*innen der Landwirtschaftlichen Beratung Brandenburg, der Landwirtschafts- und Naturschutzbehörde wurde deutlich, dass der Begriff “Agroforstsysteme” nicht bekannt ist bzw. nur im Zusammenhang mit KUP verwendet wird. Da solche AFS in BB offenbar nicht praktiziert werden, liegen keinerlei Informationen dazu vor.

Rechtliche Rahmenbedingungen: Die rechtlichen Vorgaben sind unübersichtlich und spiegeln die gängige, kategorische Trennung von Forst- und Landwirtschaft wieder. Komplexe Mischsysteme mit mehreren Kulturen auf einer Fläche sind mit keinem Nutzungscode erfassbar und daher durch die GAP nicht förderfähig. Gehölzstreifen müssen also als Sperrfläche aus der beihilfefähigen

³ Bei Überprüfung des entsprechenden Erlasses (Amtsblatt Nr. 44, 2013, §3) ergibt sich, dass diese Information nicht korrekt ist. Von der Regelung, dass nur gebietsheimischen Arten verwendet werden dürfen, sind der Gartenbau, die Forst- und Landwirtschaft explizit ausgenommen.

Fläche rausgerechnet werden, wodurch finanzielle Verluste entstehen. Diese Regelung dürfte mit dafür verantwortlich sein, interessierten Bäuer*innen von einer praktischen Umsetzung abhalten. Einige rechtliche Rahmenbedingungen (so z.B. Nachbarschafts- und Straßenrandrecht, CC) müssen bei der Anlage beachtet werden. Die Fläche wird jedoch ihren landwirtschaftlichen Status nicht verlieren.

Fördermöglichkeiten: Es stehen in Deutschland für AFS keinerlei finanzielle Kompensationsmaßnahmen zur Verfügung, obwohl diese durch europäische Richtlinien vorgesehen sind. Für KUP relevante Fördermöglichkeiten wurden in Kap.2 genannt.

Naturschutz: Seitens des Naturschutzes werden einige Empfehlungen ausgesprochen, wie ein AFS besonders „naturfreundlich“ und biodiversitätssteigernd gestaltet werden kann. Von Seiten der Unteren Naturschutzbehörde aus gibt es keine gravierenden Einschränkungen, jedoch soll durch das AFS eine Beeinträchtigung der ehemaligen Schmelzwasserrinne unbedingt vermieden werden. Die Möglichkeit zur Aufwertung der Fläche durch AFS wird wahrgenommen.

Motivation:

Für die Anlage eines AFS sollen laut Aussagen des Flächeneigentümers folgende Wünsche/ Ziele berücksichtigt werden:

- landwirtschaftlich machbar für den Pächter
- möglichst komplexes System mit den Komponenten Wertholz/Fruchtertrag
- ökologische Aufwertung der Fläche
- finanzieller Mehrertrag
- landschaftsästhetische Gestaltung
- Modellprojekt-Charakter: Andere (konventionelle) Landwirt*innen sollen zur Nachahmung anregt werden.

Für den Flächenpächter sollten folgende Wünsche/Ziele berücksichtigt werden:

- Wind- bzw. Erosionsschutz
- Aufbau von Bodenfruchtbarkeit
- AFS gut in Ackerbau integrierbar
- möglichst geringer Zusatzaufwand.

Finanzielles Startkapital: Finanziell ist die Anlage des AFS zunächst durch das vom Flächeneigentümer zur Verfügung gestellte Startkapital von 50.000€ begrenzt. Darüber hinaus sind jedoch weitere Förderungsanträge in der Vorbereitung (mdl. Mit. CREMER 2016).

Anhand aktuell praktizierter AFS in Deutschland bzw. Europa (s.a.Kap.2.1, 2.2) und den Kontextbedingungen kann abgeleitet werden, dass sich als potentielle Gehölze für AFS Wertholzbäume, Fruchtertragskomponenten und schnellwachsende Arten (Kurzumtriebshecken/ KUP) eignen. Diese sollen zunächst in einzelnen Kapiteln auf ihre Kompatibilität mit den Standortanforderungen und den Wünschen des Eigentümers/ Pächters überprüft und in Kap. 8 in ein stimmiges Gesamtdesign überführt werden.

5 Wertholzproduktion in Agroforstsystemen

Da der Flächeneigentümer sich die Integration von Wertholz gut vorstellen kann und dies eine in Deutschland durch das IWW schon erforschte sowie in Europa verbreitete Form der AFS ist, soll untersucht werden, ob sich eine Wertholzproduktion auch auf dem Standort der Projektfläche anbietet und welche besonderen Anforderungen dabei beachtet werden sollten.

5.1 Ziel und Besonderheiten

Wenn Werthölzer in Form eines AFS auf einer Fläche integriert werden, bedeutet dies, dass Bäume auf der Fläche integriert werden mit dem Ziel, in 45-60 Jahren sehr hochwertiges Holz zu produzieren (BENDER et al. 2009). Der Schwerpunkt der Flächennutzung liegt dabei jedoch auf der landwirtschaftlichen Produktion (ebd.).

Für die Wertholzproduktion sollte das Holz möglichst fehlerfrei sein. Dafür wird ein langes Stück an astfreiem Stammholz mit entsprechendem BHD benötigt. Gewünscht ist ein Zieldurchmesser von etwa 50-60 cm und keine bzw. nur sehr wenige Holzfehler wie Frostrisse, Drehwuchs o.Ä. (BRIX et al. 2009). Das hochwertige Holz kann zu hohen Marktpreisen verkauft werden und beispielsweise zu Möbeln sowie zum Türen- und Innenausbau verarbeitet werden (ebd.).

Aus landwirtschaftlicher Sicht kann die Attraktivität bei der Integration von Wertholzbaumarten in der Produktdiversifizierung liegen; zusätzlich zu den jährlichen Erträgen aus der Landwirtschaft ist ein langfristiger Kapitalaufbau durch die Werthölzer möglich (CHALMIN & MASTEL 2009). Die Pflegemaßnahmen der Gehölze sind in ihrem Zusatzaufwand überschaubar und können auch grundsätzlich außerhalb der landwirtschaftlichen Arbeitszeitspitzen, sprich im Winter, ausgeführt werden (s.a. Kap.10.3, nach BENDER et al. 2009). Außerdem kann so die Flächenproduktivität insgesamt erhöht werden (s.a. LER Kap. 1.1), da Mischkulturen als produktiver gelten als Monokulturen (ebd.).

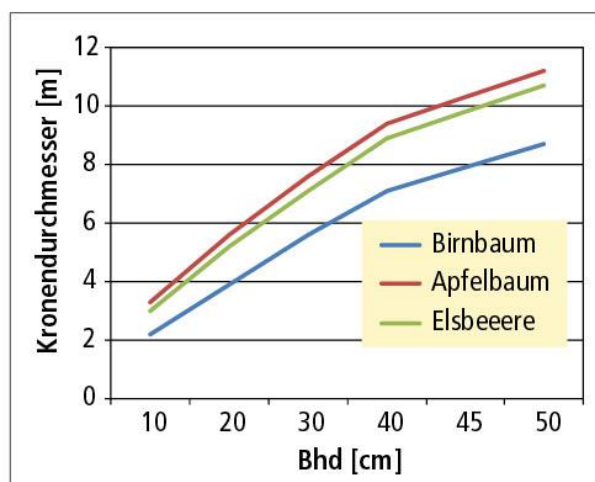


Abbildung 7: BHD-Stärke in Abhängigkeit des Kronendurchmessers (Abt, Hochbichler 2013, S.34)

Im Gegensatz zu geschlossenen Beständen des Waldes stehen die Bäume dabei grundsätzlich weit voneinander entfernt. Dies ist aus forstlicher Sicht interessant, da das Wachstum des Einzelbaumes durch den Konkurrenzdruck anderer Bäume weniger eingeschränkt wird. Dies bedeutet einen höheren Lichtgenuss und eine weitgehend ungehinderte Ausbreitung der Baumkronen (BRIX et al. 2009).

Da ein sehr enger Zusammenhang zwischen Durchmesserzuwachs und Kronenbreite besteht (s.a. Abb. 7; ABT & HOCHBICHLER 2013; BRIX et al. 2009, SPIECKER 2015), ist davon auszugehen, dass sich der Zeitraum bis zur Holzernte im Vergleich zur engeren Standraumdichte im Wald deutlich verkürzt (BRIX et al. 2009). Jedoch muss auch damit gerechnet werden, dass durch den fehlenden Konkurrenzdruck die Bildung von Wasserreisern⁴ zunimmt (ebd.).

5.2 Interaktionen von Bäumen und Ackerkulturen

Wie in Kap. 3.3 beschrieben, spielen in Agroforstsystemen Interaktionen zwischen Gehölzen und Ackerfrüchten eine entscheidende Rolle. Die allgemeinen Potentiale, die dadurch entstehen, sollen hier nicht erneut aufgeführt werden. Stattdessen werden hier die spezifischen Interaktionen erläutert, die sich beim Anbau von Werthölzern ergeben können und die Auswirkungen auf die Baumartenwahl bzw. nötigen Pflegemaßnahmen haben.

Grundsätzlich sind es die Faktoren **Wasser**, **Nährstoffe** und **Licht**, die das Pflanzenwachstum maßgeblich beeinflussen und die eine Konkurrenzsituation schaffen können (CHALMIN & MASTEL 2009). Es hängt jedoch sehr von den lokalen klimatischen Bedingungen, der Bewirtschaftungsweise und den gewählten Systemkomponenten ab, wie stark diese Konkurrenz zutage tritt bzw. sich auswirkt (ebd.).

Durch die Kronenausbildung der Bäume, die zu einer Verschattung der landwirtschaftlichen Kulturen führen kann, besteht eine mögliche Konkurrenz um den Faktor Licht. Wie stark dieser Einfluss ist, hängt von mehreren Bedingungen ab:

Mit höherem Alter ist wegen der zunehmenden Kronengröße ein höheres Maß an Verschattung zu erwarten. Das Ergebnis einer Modellation zur potentiellen Verschattung von Werthölzern im Reihenabstand von 26 m zeigt, dass bis zum Alter von 30 Jahren keine ertragsmindernde Verschattung erwartet wird; ab dem Alter von 30 Jahren ist jedoch mit Ertragseinbußen zu rechnen (BRIX 2006). Dies entspricht einem Verschattungsgrad von etwa 50% (SEIDL 2010d). Dadurch kann es vor allem in den direkten Randbereichen des Ackers zu einem verminderten, verzögerten oder qualitativ minderwertigeren Ertrag kommen (BENDER et al. 2009). Daher sollte vom Anbau sehr lichtbedürftiger Ackerkulturen wie Mais oder Hirse (C4-Pflanzen) abgesehen werden (ebd., s.a. Kap. 10.6).

Weiterhin hängt dies aber auch vom Belaubungszustand ab; in den Wintermonaten ist die Beeinträchtigung erwartungsgemäß geringer. Auch tageszeitlich unterliegt die Verschattung Schwankungen: Um die Mittagszeit ist die Verschattung am stärksten (CHALMIN & MASTEL

⁴ Wenn schlafende Knospen des Baumes austreiben, werden diese als Wasserreiser bezeichnet. Das Austreiben von Wasserreisern kann zu einer Wertminderung des Holzes führen (BRIX et al. 2009).

2009). Um die Verschattungswirkung zu minimieren, ist die Astung der Werthölzer eine zwingend notwendige Maßnahme. Dabei wird der Kronenansatz durch einen „künstlichen“ Eingriff nach oben verschoben. Bei einem Versuch in Frankreich konnte durch die Astung die Verschattungswirkung um 15%- 25% reduziert werden (BRIGGS 2012). Durch einen höheren Abstand zwischen Krone und Boden nimmt der Anteil an diffusem Licht zu (CHALMIN & MASTEL 2009). Da Pflanzen dieses diffuse Licht besser verwerten können als die direkte Sonnenstrahlung, wurde bei bestimmten Ackerkulturen dadurch sogar ein Biomassezuwachs beobachtet (ebd.).

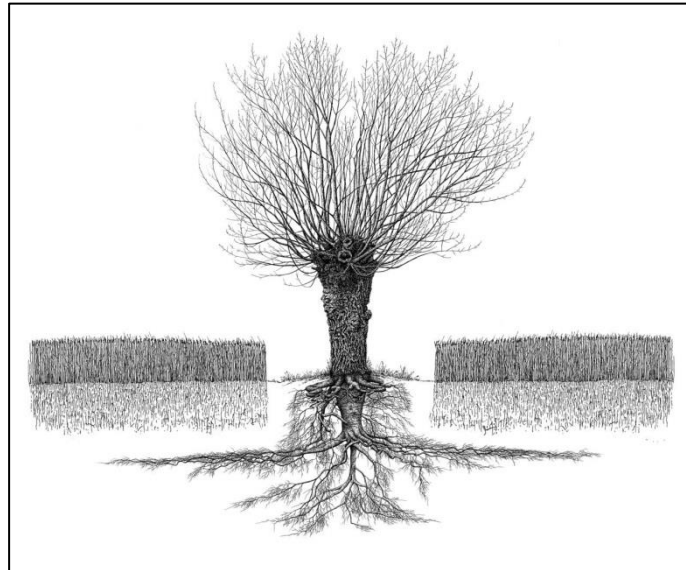


Abbildung 8: Tiefwurzelder Baum (Briggs 2012, S.38)

Auch eine Nährstoffkonkurrenz ist möglich und kann zu abnehmenden Erträgen der Ackerkulturen führen. Allerdings können Bäume auf einer landwirtschaftlichen Fläche andererseits auch zur Nährstoffanreicherung dienen (s.a. Kap. 2.3.).

Es ist zu erwarten, dass eine Konkurrenz um Wasser mit zunehmendem Baumalter abnimmt. Dies liegt an dem Wurzelsystem, das in höherem Alter tiefer reichen kann (s.a. Abb.8, CHALMIN & MASTEL 2009). Um die Wurzelbildung möglichst in tiefere Bodenschichten zu richten, ist es notwendig, in den ersten Jahren nach der Pflanzung eine Bodenbearbeitung (Pflügen oder Grubbern) im Abstand von etwa 20 cm zur jungen Gehölzpflanze durchzuführen (mdl. Mit. KAYSER 2016, s.a. Kap.10.3.2).

Weiterhin wird die Niederschlagsmenge durch die sog. Interzeption der Bäume möglicherweise reduziert bzw. gelenkt. Die Niederschlagsmengen, die die Ackerkulturen erreichen, werden vor allem durch dichte Baumkronen reduziert. Besonders zum Kronenrand und zum Stamm hin ist dann jedoch mit abtropfendem Wasser zu rechnen (CHALMIN & MASTEL 2009). In Laubwäldern gelangen beispielsweise im Sommer nur 70-85 % des Niederschlags zu Boden (ebd.).

Dass Bäume potentiell die Evapotranspiration des Bodens verringern, die Bodenfeuchte erhöhen und Erosion vermeiden können wurde in Kap. 3.4.1 - 3.4.4 beschrieben.

5.3 Standortbedingungen

Laut BENDER et al. (2009) ist eine Wertholzproduktion nur auf Standorten mit einem Mindestniederschlag von 600 mm/a empfehlenswert. CHALMIN & MASTEL (2009) führen weitergehend aus, dass eine Wertholzproduktion auf flachgründigen, grundwasserfernen und trockenen (sandigen) Böden nicht empfehlenswert sei. Auch drainierte Flächen sind für Wertholzproduktion nicht geeignet, da die Baumwurzeln die Drainage zerstören könnten (BENDER et al. 2009).

5.4 Gehölzwahl

5.4.1 Grundsätzliche Überlegungen

Um negative, d.h. ertragsreduzierende Interaktionen zu vermeiden, kann aus Kap. 5.2 abgeleitet werden, dass aus landwirtschaftlicher Sicht tiefwurzelnende Bäume mit lichtdurchlässigen Kronen bevorzugt werden sollten. Es sollte außerdem überprüft werden, ob durch die Gehölze allopathische (keimhemmende) Effekte auftreten können bzw. ob das Risiko besteht, dass durch die Gehölze Problemkrankheiten bzw. Schädlinge auf die Feldfrüchte übertragen werden (CHALMIN & MASTEL 2009). Um eine bodenverbessernde Wirkung durch die Streu der Laubbäume zu ermöglichen, sollten weiterhin keine Nadelbäume gewählt werden. Stickstofffixierende Baumarten eignen sich gut zur Nährstoffanreicherung und wirken so einer möglichen Nährstoffkonkurrenz entgegen (BENDER et al. 2009).

Aus forstwirtschaftlicher Sicht wird durch den Anbau unterschiedlicher Baumarten eine Risikostreuung erwirkt, was positiv zu werten ist. Eine Mischung ist weniger anfällig gegenüber Krankheits- und Schädlingsbefall sowie Extremwetterereignissen (BENDER et al. 2009). Weiterhin ist es wichtig zu überprüfen, welchen Effekt die Freistellung (Solitärstellung) der zu pflanzenden Baumarten auf ihre Wuchsleistung und evtl. Holzfehler o.Ä. hat. Für eine gute Wuchsleistung der Bäume ist die Standortanpassung jedoch das wichtigste Kriterium und wird deshalb als erstes untersucht.

5.4.2 Vorauswahl möglicher Wertholzarten

Da in der Furnierholzindustrie vor allem Ahornarten (*Acer* spp.) Verwendung finden genauso wie Walnuss (*Juglans* spp.), Erle (*Alnus* spp.), Speierling (*Sorbus domestica*) und Elsbeere (*Sorbus torminalis*), Birnbaum (*Pyrus* spp.), Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Wildkirsche (*Prunus* spp.) (MORHART et al. 2015), wurden die Ansprüche dieser Baumarten verglichen. Zusätzlich erfolgte die Überprüfung der von in Gesprächen mit Expert*innen mehrfach genannten Baumarten

Baumhasel (*Corylus colurna*), Edelkastanie (*Castanea sativa*), Zerreiche (*Quercus cerris*), Roteiche (*Quercus rubra*) (mdl. Mit. FRITZ, GROLM, GUERICKE, KAYSER 2016).

Standortsansprüche ausgewählter Baumarten im Vergleich

Baumart	Bodenfeuchte	Nährstoffe* Bodenart	Temperatur/ Klima	Niederschlag	Dürresistenz
Acer platanoides	frisch (mäßig trocken)	K	kontinental, sommerwarm		mäßig dürreresistent
Acer pseudoplatanus	frisch bis feucht	K	ozeanisch		
Alnus glutinosa	feucht	Z-M	sommerwarm		dürreempfindlich
Alnus incana	mäßig trocken- frisch	(Z)	kontinental		dürresistent
Castanea sativa	mäßig trocken- frisch	K	wintermild, sommerwarm	600-1600mm	mäßig dürreresistent
Corylus colurna	trocken- feucht	M-K	warm, 5-10°C	ab 550mm	dürresistent
Juglans regia	frisch (trocken)	K	wintermild, sommerwarm	ab 700mm	mäßig dürreresistent
Prunus avium	frisch	K	wärmeliebend		mäßig dürreresistent
Pyrus pyraeaster	(trocken)- frisch	M	wärmeliebend		
Quercus cerris	trocken- frisch	M-K	wärmeliebend, 15°C	700-1000mm	dürresistent
Quercus petraea	trocken- feucht	()	ozeanisch	ab 500mm	dürresistent
Quercus robur	feucht	M-K	sommerwarm		dürreempfindlich
Robinia pseudoacacia	trocken- nass	Z-K	kontinental	ab 400mm	
Sorbus domestica	mäßig trocken- frisch	M-K	wärmeliebend	ab 500mm	dürresistent
Sorbus torminalis	trocken- mäßig frisch	Z-K	wintermild, sommerwarm		dürresistent

standortangepasst

() Toleranz gegenüber best. Merkmal

*Z, M, K: Nährstoffversorgung nach Z (ziemlich arm), M (Mesotroph), K (Kräftig) (orientierend an den Stammnährkraftstufen in BB)

eigene Darstellung nach Dengler (1992), Fritz (2016), Mayer (1992) Schütt (1994)

Abbildung 9: Standortsansprüche ausgewählter Baumarten im Vergleich

5.4.3 Standortangepasste Baumartenwahl

Durch die Standortanalyse (s.a. Abb. 9) ergibt sich, dass Gehölze an folgende Standortseigenschaften angepasst sein sollten:

- sandiger bis lehmig sandiger Boden, deshalb
- geringes Wasserhaltevermögen (Wasserhaushaltsstufe “trocken”- “mäßig frisch/trocken”)
- mittel nährstoffhaltig (Stammnährstoffkraftstufe “mesotroph”)
- geringe Niederschlagsmenge (~ 570mm/a), also möglichst dürreresistent
- Jahresdurchschnittstemperaturen von ~ 9°C

Durch den Vergleich der Standortansprüche (s. a. Abb. 9) ausgewählter Baumarten ergibt sich, dass für die Wertholzproduktion unter diesen Standortbedingungen *Corylus colurna*, *Quercus petraea*, *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia*, *Sorbus domestica*, *Sorbus torminalis* gut geeignet sind.

Von GROLM (mdl. Mit. 2016) wird darauf hingewiesen, dass die Traubenkirsche (*Prunus avium*) sich sehr gut als Wertholzträger eignen würde. Dies wurde jedoch aufgrund der Einschätzung des FVA (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 2011, S.1) verworfen, da “zur Wertholzproduktion [mit der Vogelkirsche] [...] nur Standorte mit mittlerer bis sehr guter Wasser- und Nährstoffversorgung” gewählt werden sollten und dies auf dem Projektstandort nicht gegeben werden kann (ebd.). Dies soll beispielhaft für alle anderen in der Tabelle aufgeführten, hier nicht ausgewählten Baumarten gelten, die i.d.R. besser wasser- und nährstoffversorgte Standorte bevorzugen. Deshalb ist sehr fraglich, ob sie unter den gegebenen Standortbedingungen gute Wachstumsleistungen erzielen könnten. Der Anbau dieser Baumarten kann und soll hier nicht weiter diskutiert werden.

Für jede ausgewählte Baumart soll nun eine detaillierte Darstellung ihrer Standortansprüche erfolgen und durch die Betrachtung anderer Vorkommen derselben Art in Brandenburg erweitert werden. Außerdem sollen besonders die in 5.4.1 beschriebenen Merkmale untersucht werden:

- Wurzelsystem, Kronenform
- mögliche allopathische Effekte/ Übertragung von Problemkrankheiten
- Stickstofffixierleistung
- Eignung zum Solitärstand
- landschaftsästhetische, naturschutzrelevante Zusatzinformationen (Blütezeit, Eignung als Bienenweide) (s.a. Kap.4.2.4).

5.4.3.1 Monographie Baumhasel (*Corylus colurna*)

Die Baumhasel (*Corylus colurna*) tritt in Deutschland nur vereinzelt als Straßenbaum in Erscheinung, forstlich ist sie bisher unbedeutend (RICHTER 2012). Ihr ursprüngliches Verbreitungsgebiet erstreckt sich vom Balkan (Bosnien-Herzegowina, Rumänien) über die Türkei und bis nach Afghanistan (ebd.). Sie gilt als lichtbedürftige, raschwüchsige Baumart, die auch auf trockenen, mesotrophen Standorten wächst. Mit Niederschlagsmengen von 500- 600 mm/a kann sie auskommen (ebd.). Sie kann als Baum bis zu 30 m hoch werden.

Sie galt lange als eine der wertvollsten Baumarten Südeuropas; durch eine starke Übernutzung sind ihre Bestände im Wald jedoch nahezu nicht mehr vorhanden (RICHTER 2012). Bisher gibt es in Deutschland nur wenige Versuchsanbauten, jedoch wird mehrfach auf das Potential dieser Baumart zur Wertholzerzeugung hingewiesen (RICHTER 2012, RICHTER 2014, mdl. Mit. GUERICKE 2016). Interessant ist außerdem, dass es einige Sorten gibt, bei denen neben der Wertholzproduktion auch ein Fruchtertrag möglich ist; beispielsweise bei der Sorte "Granat" (s.a.Kap.6.2.3, TATSCHL 2015, S. 312).

5.4.3.2 Monographie Wildbirne (*Pyrus pyraster agg.*)

Taxonomie, natürliche Verbreitung und Ökologie

Die Wildbirne (*Pyrus pyraster*) gehört zur Familie der *Rosaceae* und zur Unterfamilie der Apfelähnlichen (*Maloideae*). Eine genaue Differenzierung zwischen Wildbirne und Kulturbirne ist nicht möglich, da sich das Gengut in der Vergangenheit vermischt hat (Introgression) (ETHZ 2000). Deshalb wird sie oftmals als "*Pyrus pyraster agg.*" bezeichnet. Ihr Areal erstreckt sich auf ganz Mitteleuropa bis nach Vorderasien hinein (ebd.). Die wärmeliebende Wildbirne bevorzugt basen- und nährstoffreiche Standorte und ist sehr lichtbedürftig (ebd.). Dabei gilt sie als konkurrenzschwach und wird deshalb auch oftmals auf ungünstige, trockene Standorte verdrängt (BLE 2013c). Eine Naturverjüngung kommt eher selten vor und erfolgt meist durch Wurzelbrut (ETHZ 2000). Häufig kommt sie als 3 - 5 m hoher Strauch in Bestandeslücken oder am Bestandesrand vor; als freistehender, tiefwurzelnder Baum kann sie jedoch eine durchschnittliche Höhe von 20 m erreichen (BLE 2013c).

Vorkommen in Brandenburg

Die Studie "Erfassung und Dokumentation genetischer Ressourcen seltener und gefährdeter Baumarten in Deutschland" untersucht auch das Vorkommen der Wildbirne in Deutschland (BLE 2013c). Deutschlandweit gesehen liegt der Verbreitungsschwerpunkt der Wildbirne mit 61 kartierten Vorkommen und 5785 Individuen in Brandenburg (BLE 2013c). Davon liegen wiederum 24 Vorkommen allein im Ostmecklenburg-Nordbrandenburger Jungmoränenland. 80% der kartierten Bäume sind in einem sehr vitalen Zustand. Je etwa ein Drittel aller Bäume kann den

BHD-Klassen <7cm / 7-20cm / >20cm zugeordnet werden; vereinzelt kommen auch alte Bäume mit einem BHD > 50cm vor (ebd.).

Waldbauliche Behandlung

Bei Wertholzsubmissionen in Österreich konnte erkannt werden, dass die signifikante Preisgrenze bei einem Durchmesser von 45 cm erreicht wurde (ABT & HOCHBICHLER 2013). Den Ergebnissen einer Modellation zum "best-case-Szenario" folgend, könnte die Sorte "Schweizer Wasserbirne" diesen Z-Durchmesser in 54 Jahren erreichen (ebd.). Für die Wertholzproduktion wird die Relevanz einer Entscheidung für eine passende Sorte nach ABT et al. (2014) insgesamt sehr hoch geschätzt; Mostbirnen scheinen dabei insgesamt wuchsfreudiger als Tafelbirnen. Bei einer Versuchsanlage in BW auf Wertholzwiesen konnten keine Auswirkungen unterschiedlicher Astungshöhen auf den BHD erkannt werden; eine Hochastung auf 5 m erschien unproblematisch. Die Birne scheint jedoch zu Wasserreisern zu neigen (ABT et al. 2014).

Biotische und abiotische Gefährdungen

Da die Wildbirne sehr verbissgefährdet ist, muss sie entsprechend vor Wild und Mäusen geschützt werden. Außerdem gilt sie als frostgefährdet. Problematisch im Sinne der Wertholzschöpfung sind teilweise auftretende Spanrückigkeit und Drehwuchs (ETHZ 2000).

Vorzüge

Insgesamt wird ihr Holz hoch geschätzt, ist jedoch eher selten, sehr hart und wird als Furnierholz oder für Instrumentenbau benutzt (BLE 2013c).

Die zwittrigen Blüten sind auf Insektenbestäubung angewiesen, weshalb die Birne auch als gute Bienenweide gilt. Ihre Früchte sind bei Vögeln, aber auch bei Menschen beliebt. Wildbirnen sind kleiner als Kulturbirnen und herber im Geschmack; sie lassen sich zu Kompott, Marmelade und Wein verarbeiten (ebd.).

5.4.3.3 Monographie Traubeneiche (*Quercus petraea*)

Taxonomie, Natürliche Verbreitung und Ökologie

Die Traubeneiche (*Quercus petraea*) gehört zur Familie der Buchengewächse (*Fagaceae*). Nach AAS (2014) ist die Traubeneiche mit der Stieleiche (*Quercus robur*) die in Mitteleuropa am häufigsten verbreitete, heimische Eichenart. Sie bevorzugt warme Standorte (Jahresdurchschnittstemperatur 8,5°C-11,5 °C). Ihr Standortschwerpunkt im nordostdeutschen Tiefland liegt auf schwach mesotrophen bis oligotrophen Braunerden (NOACK 2013). Insbesondere lehmige Sande eignen sich gut als Standort für die Traubeneiche. An geringe Jahresniederschläge von 500-600 mm ist sie gut angepasst (ebd.). Empfindlich gilt die

Traubeneiche gegenüber stagnierender Nässe (AAS 2014). Die Traubeneiche gilt als ausgesprochener Tiefwurzler (Pfahl- und später Herzwurzelsystem).

Vorkommen in Brandenburg

Die Traubeneiche würde nach Angaben des MLUV (2006) in Brandenburg eigentlich einen Flächenanteil von 25% der potentiellen natürlichen Vegetation (PNV) einnehmen. Derzeit beträgt ihr Flächenanteil jedoch nur etwa 5%, weil sie in weiten Teilen durch die Monokultur der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*) oder durch die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) verdrängt wird. Durch gezielten Waldumbau soll der Anteil der Traubeneiche mit einer allgemeinen Erhöhung des Laubwaldanteils in BB bis 2045 auf 17% erhöht werden (MLUV 2006).

Waldbauliche Behandlung

Ihre Gesamtwuchsleistung ist im Vergleich mit den beiden anderen Konkurrenten (s.o.) erheblich geringer (NOACK 2013). Im Forst wird eine Umtriebszeit von 200-250 Jahren zur Produktion von Wertholz empfohlen (AAS 2014), weshalb sie in der Bewirtschaftung eher als schwierigere Baumart gilt (HÄNE 2014). In der Jugend ist sie raschwüchsig und schattenertragend, mit zunehmendem Alter wird sie jedoch lichtbedürftiger und kann bis zu 800 Jahre alt werden (AAS 2014). Im Forstbereich wird ihr laut SPIECKER (2015) eine natürliche Astreinigung bei entsprechender Konkurrenz in der Jugendwachstumsphase zugesprochen. Insgesamt neigt sie zur Bildung von Wasserreisern, die vermehrt nach der Freistellung auftreten und die Holzqualität vermindern können (SPIECKER 2015). Im Freiland bildet sie eine weit ausladende Krone aus und kann einen 3m breiten Stammdurchmesser und eine Höhe von 20-30 m erreichen (HÄNE 2014). SPIECKER (2015) weist darauf hin, dass auch bei der Eiche ein enger, linearer Zusammenhang zwischen Schaftdurchmesser und Kronenbreite besteht (ebd.).

Biotische und abiotische Gefährdungen

Nach der ETHZ (2000) ist sie gefährdet durch Spätfrost, der sich durch Frostrisse an der Rinde zeigt. Mit Wildverbiss und Fegeschäden muss genauso gerechnet werden wie mit Mäusefraß. Auch einige Insekten (Frostspanner, Eichenwickler, Eichenprozessionsspinner, Grüner Prachtkäfer) sowie der Mehltau (Pilz) können für Schäden an der Traubeneiche verantwortlich sein (ebd.). Diese Schwächung ist vermutlich Teil der "Komplexkrankheit Eichensterben", die durch eine Mischung aus abiotischen und biotischen Ursachen die Eiche in einen hohen Stresszustand bringt (KÄTZL et al. 2006).

Vorzüge

Das harte, dauerhafte Kernholz der Traubeneiche wird zur Furnierholzherstellung im Innen- wie auch im Außenbau verwendet und erzielt hohe Erlöse (AAS 2014, HÄNE 2014). Laut HÄNE (2014) leben auf keiner anderen heimischen Baumart mehr Insektenarten.

Alternative

Alternativ bzw. zusätzlich zur Traubeneiche könnte die Roteiche (*Quercus rubra*) genutzt werden, die der heimischen Eichenart besonders auf nährstoffarmen, sandigen Standorten überlegen ist (MAYER 1992). Auf baden-württembergischen Versuchsflächen erreichte die Roteiche einen BHD von 50 cm durchschnittlich nach 95 Jahren, die Traubeneiche nach 150 Jahren (KLEMMT et al. 2013). Jedoch weisen ebd. auch darauf hin, dass die Nettoerlöse etwa 30% unter denen der heimischen Eichen lagen. Auch KAYSER (mdl. Mit. 2016) würde generell statt der Traubeneiche die Roteiche bevorzugen. Im Folgenden soll die heimische Eichenart jedoch bevorzugt werden; grundsätzlich wäre es aber möglich, auch beide hier betrachteten Eichenarten anzupflanzen.

5.4.3.4 Monographie Robinie (*Robinia pseudoacacia*)

Taxonomie, natürliche Verbreitung und Ökologie

Die Gewöhnliche Robinie oder auch Scheinakazie (*Robinia pseudoacacia*) gehört zur Familie der Hülsenfrüchtler (*Fabaceae*) und zur Unterfamilie der Schmetterlingsblütler (*Faboideae*). Ursprünglich stammt sie aus den nordamerikanischen Appalachen (ENGEL et al. 2014).

Laut ENGEL et al. (2014) gilt sie als ausgesprochen lichtbedürftige Baumart und bevorzugt kontinentale Regionen mit langen, warmen Vegetationsperioden. Da ihre physiologische Standortamplitude sehr weit ist, kommt sie auch auf trockenen, nährstoffarmen Sanden vor. Sie meidet jedoch nasse und anmoorige Standorte (ebd.).

Mit diesen Eigenschaften ist sie für den Anbau in Brandenburg bestens geeignet; deshalb liegt in Brandenburg das deutschlandweit größte Robinien-Anbaugebiet (STARFINGER & KOWARIK 2003).

Waldbauliche Behandlung

Innerhalb von 50 - 60 Jahren kann die schnellwachsende Baumart einen Zieldurchmesser von > 40 cm erreichen und wurzelt mit ihrer Pfahlwurzel dabei bis zu 7 m tief (ENGEL et al. 2014). Besonders bekannt ist die gradschäftige "Schiffsmastenrobinie" (*Robinia pseudoacacia* var. *rectissima*).

Bei der Wahl von Pflanzgut ist zu beachten, dass Robinie dem Forstvermehrungsgesetz unterliegt (FoVG) und somit 2 Herkunftsgebiete festgelegt werden (Norddeutsches Tiefland – 81901 bzw. Übriges Bundesgebiet – 81902) (ENGEL et al. 2014).

Biotische und abiotische Gefährdungen

Die Robinie ist sehr trockenheitstolerant, dafür aber stark spät- und frühfrostgefährdet. Derzeit wird sie weiterhin von einer Triebkrankheit durch wirtsunspezifische Pilze der Gattungen *Fusarium* und *Nectria* (Rotpustelpilz) befallen. Wertmindernd können Stammfäulepilze wie der Schwefelporing wirken. Durch ihre proteinreichen Blätter ist sie außerdem beim Wild beliebt und muss vor Verbiss geschützt werden (ENGEL et al. 2014).

Vorzüge

Robinien-Schnittholz ist laut ENGEL et al. (2014) sehr hart und ohne Imprägnierung witterungsbeständig, weshalb es als “Teak-Holz Brandenburgs” bevorzugt im Außenbereich (beispielsweise im Spielplatzbau) Verwendung findet. Mit einer kürzeren Umtriebszeit von bis zu 10 Jahren eignet sie sich auch gut zur Energieholzgewinnung; sie besitzt einen hohen Heizwert. Mit ihren weißen Blüten ist die Robinie außerdem eine nahrhafte Bienenweide und liefert 60% des Brandenburger Honigertrages (ENGEL et al. 2014).

Als typische Vertreterin der Schmetterlingsblütler kann sie durch die Symbiose mit Wurzelknöllchenbakterien Stickstoff aus der Luft binden. Dies hat zur Folge, dass sie mit ihrer gut zersetzbaren Streu besonders auf armen Standorten bodenverbessernd wirken kann (SCHÜTT 1997).

Waldökologisch ist sie jedoch umstritten, da sie sich durch ihre Wurzelbrut schnell auch auf unerwünschten Standorten verbreiten kann. Sie gilt besonders in Offenlandbiotopen wie Sandtrocken- und Kalkmagerrasen als invasiv, weil sie durch ihre Stickstoffanreicherung zu permanenten Standortveränderungen führt. Oftmals verdrängt sie dann auch heimische Baumarten und ist schwer von der Fläche wieder zu entfernen (STARFINGER & KOWARIK 2003).

5.4.3.5 Monographie Speierling (*Sorbus domestica*) und Elsbeere (*Sorbus torminalis*)

Taxonomie, natürliche Verbreitung und Ökologie

Der Speierling (*Sorbus domestica*) wie die Elsbeere (*Sorbus torminalis*) gehören zur Familie der Rosengewächse (*Rosaceae*) und zur Unterfamilie der *Spiraeoideae*. Beide Arten sind in ihrem Verbreitungsgebiet eng miteinander verbunden (VON SCHMELING 1992) und kommen schwerpunktmäßig in Süd- und Mitteleuropa vor, vorzugsweise in Südfrankreich (ebd.).

Das Vorkommen der Elsbeere und des Speierlings als traditionelle, stockausschlagsfreudige Mittelwaldbaumarten ist in den letzten 150 Jahren stark zurückgegangen (VON SCHMELING 1994, ebd. 1992). Dies hat zahlreiche Gründe: Im heute üblichen Hochwald können sie sich gegen

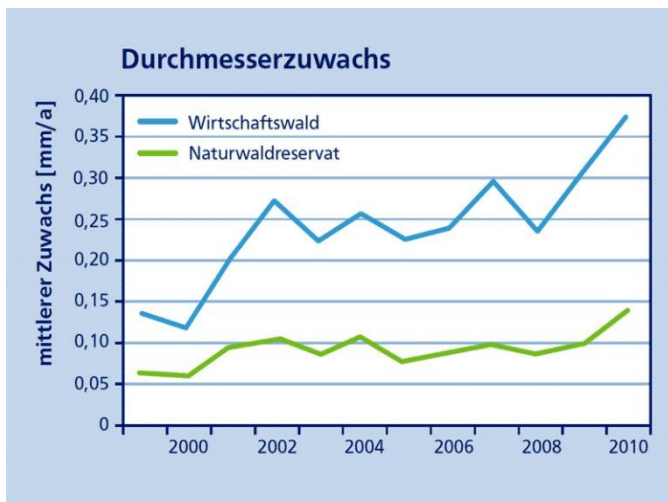


Abbildung 10: der Zuwachs der Elsbeere (*Sorbus torminalis*) bei entsprechender Freistellung (Ammer et al. 2011, S.27)

die Buche (*Fagus sylvatica*), ihre stärkste Konkurrentin, oft nicht durchsetzen. Außerdem ist das Wachstum der beiden Sorbus-Arten recht langsam und die Naturverjüngung erfolgt selten; meist über Wurzelbrut (ebd.).

Als ausgesprochene Lichtbaumarten können sie nur durch entsprechende Freistellung überleben, was sich erwartungsgemäß aber auch in einem deutlich höheren Zumesserdurchwachs

niederschlägt. (s.a. Abb. 10). Da beide auch bei Wild sehr beliebt sind, müssen sie oft künstlich unter Zaunschutz verjüngt werden (VON SCHMELING 1994, ebd. 1992).

Der Speierling kommt grundsätzlich nicht in Reinbeständen vor, sondern meist als "Einzelgänger" (HÄNE 2002). Er gilt als sehr trockenheitstolerant und zeigt bei Niederschlägen von 500 mm/a noch gute Wuchsleistungen (RUDOW 2001). Seine Nährstoffansprüche sind mittel bis hoch (MAYER 1992), bevorzugt wächst er auf basischem Boden (RUDOW 2001).

Die Elsbeere findet ihr Existenzoptimum auf nährstoffreichen, oftmals kalkhaltigen, tiefgründigen und frischen Böden. Basalt, Buntsandstein, Dolomit und Muschelkalk gelten als gute Grundlage für ihre Kalkansprüche (SCHUMANN 2011). Jedoch wird sie an diesen „guten“ Standorten von anderen Baumarten verdrängt, sodass sie oftmals auch auf trockeneren und nährstoffärmeren, durchaus auch mäßig sauren Böden wächst (DENGLER 1992). Vermehrt ist sie im Hügelland zu finden (VON SCHMELING 1994).

Vorkommen in Brandenburg

In der Studie des BLE (2013b) wurden in Brandenburg zehn Elsbeer-Vorkommen untersucht, die jedoch fast ausschließlich im Nordosten des Bundeslandes zu finden sind. Als Begründung für ihr gehäuftes Vorkommen im nordöstlichen BB geben FUNKE und BECKER (1998) an, dass dort reichere, weil jüngere Böden und naturnahe Waldgesellschaften seien. Außerdem würde die Konkurrenzkraft der Buche durch geringere Niederschläge abnehmen (Mittel 580 mm/a) (ebd.).

Eine Arbeit zur potentiellen waldbaulichen Bedeutung der Elsbeere in BB (LIEBSCHER 2011) untersucht ein Elsbeerenvorkommen in Sauen, im Südosten von BB. Die dort untersuchten Bäume sind etwa 50 Jahre alt und weisen als Solitär- bzw. Randbäume eine sehr hohe Vitalität auf (ebd.). Allerdings zeigen sie eine im Verhältnis zur Gesamthöhe große Kronenlänge und Kronenbreite. Dadurch ergibt sich eine zu kurze Schaftlänge und hohe Astigkeit; der Holzwert ist also nur gering (ebd.). Untersuchungen von SCHUMANN (2011) im Landkreis Barnim (Plagefenn) zeigen, dass sich die Elsbeere auch auf den Standorten gut verjüngt, die der Projektfläche sehr ähnlich zu sein scheinen (ebd.).

In derselben Studie des BLE (2013a) wurden keine Speierlingvorkommen in Brandenburg kartiert.

Waldbauliche Behandlung

Auch bei plötzlicher Freistellung bilden die beiden Baumarten nur selten Wasserreiser aus (VON SCHMELING 1992,1994). Da sie im Freiland allerdings eine tief ansetzende Krone entwickeln, sind frühe Astungsmaßnahmen erforderlich (SCHUMANN 2011, VON SCHMELING 1992). Unter angemessenem Konkurrenzdruck ist die natürliche Astreinigung der Elsbeere sehr gut (VON SCHMELING 1994). Trockene Standorte und kurzzeitige Winterfröste scheinen beide Baumarten tolerieren zu können (VON SCHMELING 1992, 1994). Bei der Pflanzung sollte ihre Kalkversorgung jedoch ausreichend durch Gesteinsmehle o.Ä. gedeckt werden. Für einen gewünschten BHD von 50 cm wird im Forst für die Elsbeere eine Produktionszeit von 100 Jahren geschätzt (ABT & HOCHBICHLER 2013).

Die Erziehung des Speierling auf Wertholzweiden im Verbund von 4 x 6 m (ABT et al. 2014) zeigt, dass seine Schaftform zu 90% fehlerfrei war. Er kann einen BHD von 45 cm potentiell in 67 Jahren erreichen (s. Kap.5.4.3.1).

Vorzüge

Das harte Holz der Elsbeere und des Speierling wird laut HÄNE (2011) als "Schweizer Birnbaum" hoch geschätzt und zur Herstellung von Furnieren verwendet. Als Baum des Jahres 2011 ist die Elsbeere aber auch durch ihre Früchte bei Vögeln sehr beliebt. Ihr tiefwurzelndes Herzwurzelsystem lockert den Boden und sie gilt als gute Bienenweide (ebd.). Durch ihre ausgeprägte herbstliche Gelb- und Rotfärbung ist sie auch für eine ästhetisch wertvolle Gestaltung des Landschaftsbildes geeignet (VON SCHMELING 1994).

Die Früchte des Speierling sind eine beliebter Zusatz zum Apfelwein; auch für die Herstellung von Marmeladen oder Obstler eignen sich die zierlichen Früchte gut (VON SCHMELING 1992).

5.5 Verbundpflanzung

Da mit dem Ausfall einzelner Bäume zu rechnen ist, empfehlen BRIX et al. (2009) eine Verbundpflanzung in Kleingruppen von 3-4 Bäumen. Nach einer bestimmten Zeitspanne (etwa 10 Jahre) kann dann je Verbund einer dieser Bäume ausgewählt werden, der geeignet ist, entsprechende Qualität und Dimensionen zu erreichen (s.a. Abb. 11). Sollten einige Bäume eine schlechte Wachstumsleistung zeigen, ist somit auch eine Auswahlmöglichkeit vorhanden (ebd.). Außerdem kann durch den leichten Konkurrenzeinfluss unter Umständen eine hohe Astigkeit der Bäume vermieden werden (s.a. Kap. 5.1). Jedoch sind damit höhere Pflanzkosten und ein Zusatzaufwand verbunden, der durch die Entnahme aller nicht ausgewählter Bäume entsteht (BENDER et al. 2009).

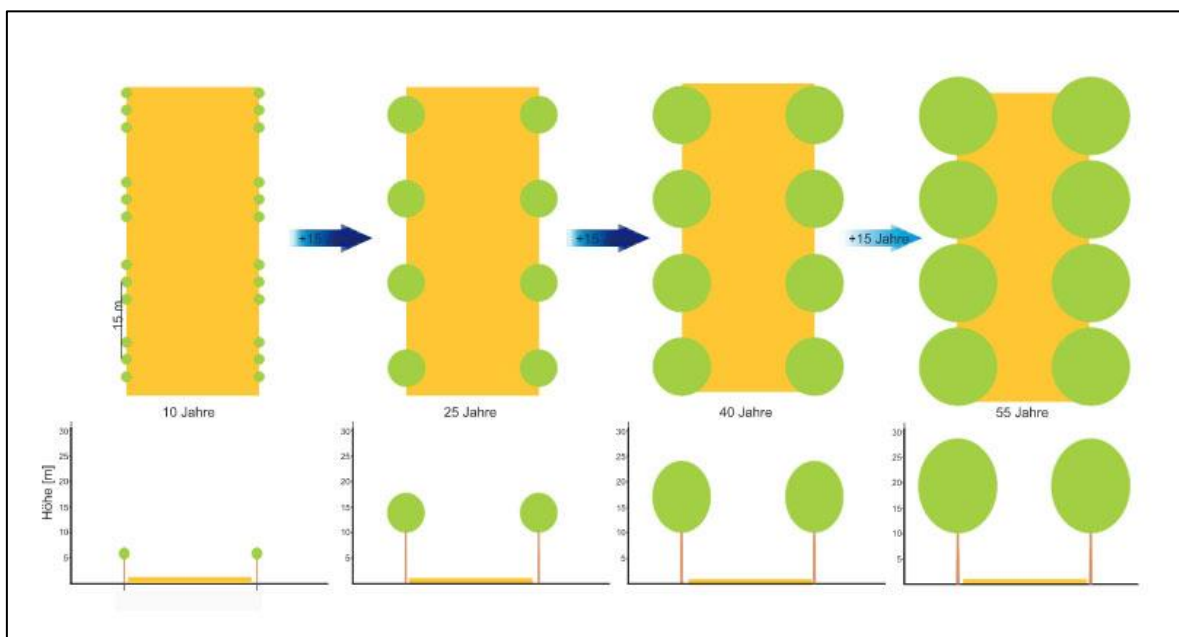


Abbildung 11: zeitliche Entwicklung der Verbundpflanzung (Bender et al. 2009, S.19)

5.6 Ausrichtung und Abstände

Reihenabstände mit 24, 36 oder 48 m haben sich als optimal erwiesen (BRIGGS 2012). In älteren AFS wurde häufig noch dichter gepflanzt mit 10 - 12 m Reihenabstand, allerdings nahmen dann die ackerbaulichen Erträge bereits nach etwa 10 Jahren durch die zunehmende Beschattung zu stark ab (ebd.). Nach Analyse verschiedener Reihenabstände auf Ertragsleistungen und Mikroklimaauswirkungen (insbesondere Windschutz und Verdunstungsschutz) kommen BRIX et al. (2009) zu dem Ergebnis, dass etwa 30 m Abstand optimal seien. Dies resultiere in etwa 6 %igem Flächenanteil der Baumreihen und bewirke besonders in trockenen Jahren Ertragssteigerungen von bis zu 15 % (s.a. Kap. 3.4). Der Baumreihenabstand sollte jedoch auch an die Arbeitsbreiten der Bewirtschaftungstechnik angepasst sein (BRIX et al. 2009).

Der Abstand zwischen den Wertholzbäumen wird durch den erwarteten Kronendurchmesser berechnet; näherungsweise gilt für einen Zieldurchmesser von 60 cm ein Abstand von 15 m (BENDER et al. 2009).

Prinzipiell wird eine Nord-Süd-Ausrichtung der Baumreihen empfohlen, damit die Verschattung durch die Bäume sich gleichmäßig verteilt. Bei einer Ost-West-Ausrichtung (s.a. Abb. 12 (b)) würden die Ackerkulturen auf der Fläche nördlich der Baumreihen besonders stark beschattet werden (BRIGGS 2012).

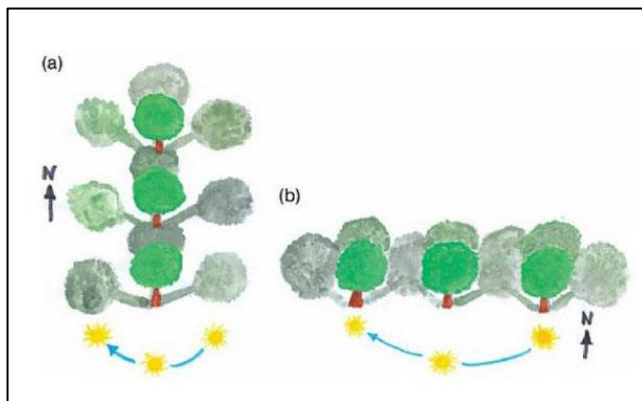


Abbildung 12: Schattenwurf durch unterschiedliche Ausrichtung der Baumreihen (Chalmin 2009, S.278)

werden (BRIX 2009). Hieraus entstehen zwar naturschutzfachliche Vorteile (s.a. Kap. 4.2.4), aus ackerbaulicher Sicht ist dies jedoch ungünstig (BRIGGS 2012).

Als Baumstreifenbreite werden allgemein 2m empfohlen (BENDER et al. 2009; BRIX et al. 2009).

5.7 Vermarktung, Absatzmöglichkeiten

BENDER et al. (2009) empfehlen für den Verkauf der hochwertigen Stämme eine Zusammenarbeit mit dem zuständigen Forstamt, das meist jährlich sog. Wertholzsubmissionen organisiert. Die Reste der Krone können zu Hackschnitzeln verarbeitet werden (ebd.). SKALDA (mdl. Mit. 2016) weist jedoch darauf hin, dass die Wertholzsubmissionen durch das zuständige Forstamt eine eher schwierige Absatzmöglichkeit sind. Sie überprüfte stattdessen, welche regionalen Wertschöpfungsmöglichkeiten es für Industrie- und Wertholz in Brandenburg gibt. Dabei stellt sie fest, dass es durchaus eine Vielfalt an Betrieben gibt, die Holz auf besondere Weise verarbeiten und auch bereit sind, u.U. deutlich höhere Preise zu zahlen.

LUICK & VONHOFF (2008) statieren jedoch auch: “fällt das Erntealter in eine Marktschwemme oder in falsche Modetrends, wird aus den aufwändig produzierten Hölzern vielleicht auch nur Brennholz” (ebd., S.7). Durch die flexibel Wahl des Erntezeitpunkts ist es jedoch möglich, auf Preisschwankungen des Marktes zu reagieren (BRIX et al. 2009).

5.8 Zusammenfassung der Wertholzproduktion

In das AFS eine Wertholzkomponente zu integrieren, erscheint sinnvoll, da die Baumreihen nur einen geringen Anteil der landwirtschaftlichen Fläche beanspruchen und gut anpassbar an die landwirtschaftliche Bearbeitungsweise sind. Es fallen außerdem nur wenige Pflegemaßnahmen an,

die außerhalb der landwirtschaftlichen Arbeitszeitspitzen liegen. Die zu erwartenden hohen Erlöse sind grundsätzlich attraktiv.

Eine Konkurrenz zwischen Wertholzbäumen und Ackerkulturen um Wasser, Nährstoffe und Licht ist möglich und kann sich u.U. ertragsmindernd auswirken. Durch die Wahl von tiefwurzelnden Laubbaumarten mit lichtdurchlässigen Kronen einerseits und entsprechenden Pflegemaßnahmen (Wurzelraumregulation, Astung, s.a. Kap.10.3) andererseits können negative Auswirkungen auf die Ackerkulturen jedoch minimiert werden.

Trotz der für die Wertholzproduktion ungünstigen Bedingungen (Niederschlag 570 mm/a; sandiger Boden) konnten als wertvoll angesehene Baumarten gefunden werden, deren Standorteignung durch ihre breite Standortamplitude und z.T. dokumentiertes, häufiges Vorkommen in BB festgestellt wurde. Auffällig bei der Ergebnisbetrachtung ist, dass wegen der extremen Standortbedingungen der Projektfläche besonders zwei Gruppen an Baumarten ausgewählt wurden:

- seltene, besonders lichtbedürftige und sog. "konkurrenzschwache" Baumarten (Traubeneiche, Wildbirne, Elsbeere und Speierling), denen optimale Wuchsbedingungen und freie (Kronen)Entfaltungsmöglichkeiten geboten werden;
- nicht-heimische Baumarten (hier Robinie, Baumhasel, Roteiche), die durch andere Herkunftsbedingungen an diese "ungünstigen" Standortbedingungen angepasst sind.

Da jedoch das ökonomische Risiko durch die langfristige Kapitalbindung sowie durch zahlreiche abiotische und biotische Gefährdungen hoch ist, und da außerdem die Preisentwicklung der Holzmärkte unsicher ist, erschien die Recherche alternativer Möglichkeiten zur Holzproduktion sinnvoll.

5.9 Eine alternative Form der Holzproduktion: Maxi- Rotation

5.9.1 Grundsätzliche Überlegungen

Oftmals werden KUP mit dem traditionellen Niederwaldmodell verglichen. Bei der Niederwaldbewirtschaftung wurden heimische Baumarten wie Hainbuche, Eiche, Vogelbeere oder Birke in regelmäßigen Abständen von 15 bis 20 Jahren auf den Stock gesetzt (BIELEFELDT et al. 2008). Dieser oftmals kleinflächige Anbau deckte den Brennholzbedarf, zusätzlich konnte das anfallende Holz als Zaunholz genutzt werden (GALLARDO 2014). Daraus ergibt sich, dass nur wenige Ähnlichkeiten zwischen KUP und Niederwaldbewirtschaftung vorliegen (BIELEFELDT et al. 2008). Die klassische KUP wurde schon in Kap. 3.1 charakterisiert. Nach einer kurzen Umtriebszeit (sog. "Mini-Rotation") von 3-5 Jahren dienen die Gehölze (meist Pappelklone) klassischerweise der energetischen Nutzung in Form von Hackschnitzeln. In Kap. 7.3 wird eine

klassische Mini-Rotations-KUP im Zusammenhang mit der Frisch-Zweig-Häcksel-Produktion für diesen Standort vorgestellt.

Neben dem kurzen Erntezyklus gibt es allerdings auch die Möglichkeit einer sog. Midi- und Maxi-Rotation (s.a. Abb. 13; BIELEFELDT et al. 2008). Mit einem Erntezyklus von 6-20 Jahren entsprechen diese Modelle mehr der Idee der Niederwaldbewirtschaftung. Im Gegensatz zur Mini-Rotation dient das hier anfallende Holz dann der stofflichen Nutzung (ebd.).

Der Erntezyklus für eine Midi-Rotation erstreckt sich auf 6-10 Jahre mit einem zu erwartenden Zieldurchmesser von 6-8 cm (ebd.). Bei einem Versuch in England wurden Pappelhybride im Abstand von 10 x 6,4 m angebaut. Nach 7 Jahren erreichten die Gehölze dort eine Höhe von 9 - 12 m und einen Durchmesser von 14 - 17 cm (BURGESS et al. 2004).

Rotation	Mini-Rotation	Midi-Rotation	Maxi-Rotation
Ernteintervall [a]	2 - 5	6 - 10	11 - 20
Produktziel	Energieholz	Energie- und Industrieholz	Industrie- und Stammholz
Empfohlene Arten	Balsampappel (sowie ihre Hybride), Weide	Balsam-, Schwarz- und Zitterpappel, Robinie, Erle und Birke	Balsam-, Schwarz- und Zitterpappel, Robinie, Erle und Birke
Pflanzen je Hektar	10.000 – 15.000	3.000 – 10.000	400 – 3.000
Verband [m]	z. B. 2 * 0,5 – 2 * 0,4 oder Doppelreihe	z. B. 2 * 1,5 – 2 * 0,5	z. B. 5 * 5 – 2 * 1,5
Maximale $d_{1,3}$ bzw. $d_{0,1}$ [cm]	8 bzw. 12	24 bzw. 36	50 bzw. 60
Ernte	Agrartechnik-Direkthäckseln oder zweiphasig	Forsttechnik-zweiphasig oder ^c Fäller-Bündler	Forsttechnik-zweiphasig oder Volleerter

Abbildung 13: Mini-, Midi-, und Maxi-Rotation im Vergleich (Gallardo 2014, S.9)

Für die Maxi-Rotation beträgt die Rotationszeit 10-20 Jahre (HORN et al. 2013). Demzufolge werden größere Durchmesser von bis zu 30 cm erzielt. Auf nährstoffarmen Böden mit mittlerer Wasserverfügbarkeit erzielten Hybridaspens in Großbritannien durchschnittlich 100 t/ha Biomasse in zehn Jahren (BIELEFELDT et al. 2008). Das Holz kann dann als Furniersperrholz (HORN et al. 2013) oder zur Verwendung in der Papier- und Zellstoffindustrie dienen (BIELEFELDT et al. 2008). Im Vergleich zu der klassischen kurzen KUP-Umtriebszeit liegt der Vorteil darin begründet, dass sich zum einen der Ernte-Aufwand reduziert und zum anderen die positiven Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit verstärkt werden (BIELEFELDT et al. 2008).

Wenn eine Fläche mit einer KUP mit Midi- oder Maxi-Rotation bewirtschaftet wird, geschieht dies i.d.R. genauso flächendeckend wie bei der Mini-Rotation, allerdings wegen des höheren Durchmessers in größeren Pflanzabständen (s. Abb. 12). Möglich ist allerdings auch, diese Idee der

Maxi-Rotation in ein alley-cropping-Design zu integrieren. Dabei würden statt den Werthölzern in die Baumreihen schnellwachsende Bäume gepflanzt, die forstlich eher unbedeutend sind. Dieses System wird beispielsweise in Großbritannien erprobt (BURGESS et al. 2004, PILBEAM et al. 2002) oder auch in Italien (s.a. Kap. 3.2). Dabei empfiehlt sich ein Baumabstand von 5-7 m (PILBEAM et al. 2002).

Bisher liegen jedoch aus Deutschland noch wenige Daten zur Maxi-Rotation vor; erste Ergebnisse aus Jänschwalde (Bergbaufolgefläche des Lausitzer Braunkohlereviere) zeigen für die Robinie nach neun Jahren einen Ertrag von 8,92 t atro/ha/a (KANZLER et al. 2014). In dem aktuellen Forschungsprojekt "agroforstenergie" ist die Idee der Maxi-Rotation auch aufgegriffen worden: Für einige Kurzumtriebsstreifen ist eine längere Umtriebszeit von 8-10 Jahren vorgesehen, Ergebnisse liegen jedoch noch nicht vor (VETTER 2012).

Der Vorteil der Maxi-Rotation im Vergleich zur Wertholzproduktion liegt in dem früheren Kapitalrückfluss, wodurch das ökonomische Risiko geringer ist. Allerdings ist auch der zu erwartende Erlös geringer. Wie in Kap. 5.6 dargestellt, gibt es jedoch laut mdl. Mit. SKALDA (2016) durchaus auch regionale Wertschöpfungsmöglichkeiten für Industrieholz in BB. Daher scheint es durchaus sinnvoll, die Idee der Maxi-Rotation in das Design aufzunehmen.

5.9.2 Gehölzarten für die Maxi-Rotation

Für die Maxi-Rotation eignen sich insbesondere die Aspe (*Populus tremula*), Birken (*Betula spp.*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Winterlinde (*Tilia cordata*), Eberesche (*Sorbus aucuparia*), aber auch Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Erle (*Alnus spp.*) (GALLARDO 2014). Als Klonsorten für den Maxi- Umtrieb eignen sich Astria und Münden 1-20 (*Populus tremula x tremuloides*) (BIELEFELDT et al. 2008) bzw. Max 4, 5 und Kamabuchi-I (NEBENFÜHR 2007).

Von den hier genannten Gehölzarten eignen sich für die Fläche bezogen auf ihre Standortsansprüche die Aspe, die Sandbirke, die Eberesche und die Robinie bzw. die Pappelhybride gut (s.a. Kap.5.4.2). Jedoch ist von der Eberesche eher abzuraten, da ihre Zuwachsleistung im Vergleich zu den anderen Baumarten nur sehr gering ist (mdl. Mit. GUERICKE 2016). Da die Robinie schon als Wertholzkomponente dient, wird aufgrund der umstrittenen invasiven Wirkung von ihrer erneuten Nutzung zur Maxi-Rotation abgesehen (s.a. Kap.5.4.3.4). Pappelhybride werden aus naturschutzfachlichen Gründen nicht gewählt (s.a. Kap. 4.2.4). Daher erscheinen nur die Aspe und die Sandbirke als für die Fläche geeignete Gehölz-Arten für die Maxi-Rotation.

6 Fruchtertragskomponenten

Die Standortangepasstheit ist auch hier ein wichtiges Kriterium (s.a. Kap. 4.1). Insbesondere sollte die Kultur trotz der geringen Niederschlagsmengen und der geringen Wasserhaltekapazität des Bodens ohne zusätzliche Bewässerung, die bei vielen Obstbaukulturen üblich ist, auskommen.

Seitens des Flächeneigentümers ist ein komplexes System mit verwertbaren Fruchtertragskomponenten ausdrücklich erwünscht. Besonders durch dieses Element erhofft dieser sich die Herzen und die ästhetische Vorstellung von zukünftigen Flächenbesucher*innen anzusprechen.

Die Integration von Fruchtertragskomponente würde zu einer Steigerung der Einkommensdiversifizierung und Risikostreuung beitragen. Außerdem könnte der dreidimensionale Raum über dem Ackerboden so noch effektiver ausgenutzt werden, was die Gesamtflächenproduktivität (vgl. LER, Kap. 1.1) zusätzlich steigern würde. So könnten bis zu 3,5m hohe Obst-Nieder- oder -Mittelstämme beziehungsweise Obststräucher zwischen die aufgesteten Werthölzer (15 m Abstand s.a. Kap. 5.6) in Reihe gepflanzt werden. Wenn die Kronen der Werthölzer sich nach etwa 30 Jahren schließen und dadurch die Beschattung zunehmen würde, wäre auch die typische Standzeit der meisten kommerziellen Obstsorten vorüber und diese könnten gerodet werden.

Allerdings würde durch die Integration einer Fruchtertragskomponente ein zusätzlicher Aufwand für Pflege, Ernte und Vermarktung entstehen. Dies bedarf besonderer Berücksichtigung, da sowohl durch den Eigentümer, als auch durch den Pächter der Wunsch geäußert wurde, dass das System trotz seiner Komplexität für den Landwirt einfach zu managen bleibt (s.a. Kap. 4.2). Der Pflegeaufwand sollte dementsprechend möglichst gering sein und kulturspezifische Arbeiten sollten außerhalb der landwirtschaftlichen Arbeitsspitzen optimalerweise zwischen Mitte Oktober und Anfang März liegen. In diesem Zeitraum fallen entsprechend der Fruchtfolge des Pächters mit Winterweizen (*Triticum aestivum*), *Triticale*, Roggen (*Secale cereale*) und Winterraps (*Brassica napus*) nur wenige ackerbauliche Arbeiten an (mdl. Mit. WINTER 2016; SPIECKER et al. 2009).

Es wäre daher auch wünschenswert, dass die Kultur sich rationell maschinell beernten lässt und einen guten Absatzmarkt in Berlin-Brandenburg hat. Optimal wäre die Vermarktung über langfristig vertraglich gesicherte Abnahme durch die Verarbeitungsindustrie oder eine selbstorganisierte Pflege und Ernte beispielsweise durch eine enge Kooperation mit einer Erzeuger-Verbraucher-Vereinigungen wie der Solidarischen Landwirtschaft (SoLaWi).

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass eine Fruchtertragskomponente folgende Kriterien erfüllen sollte:

- **Standortanpassung:** Die ökologischen Standortanforderungen wurden in Kap. 4.1 sowie in Kap. 5.4.2 bereits ausführlich beschrieben und gelten auch hier, Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Fruchtertragskomponenten voraussichtlich zusammen mit Werthölzern integriert werden sollen. Daher ist bzgl. der Standortanforderungen z.B. auch eine Toleranz von Halbschatten zu beachten.
- **Geringer Managementaufwand:** Die Kulturen sollten eine gute natürliche Robustheit aufweisen und nur geringen Pflegebedarf haben. Ein möglichst später Erntezeitpunkt, sowie eine Lösung mit minimalem Ernteaufwand für den Landwirt wären förderlich.
- **Vermarktbarkeit:** Eine möglichst langfristige und für den Landwirt unaufwendige Vermarktung sollte möglich sein.

6.1 Vorauswahl möglicher Fruchtertragskomponenten

Klassische Obstkulturen für die Tafelobstproduktion wie der Apfel (*Malus domestica*) erfordern einen hohen Pflegeaufwand im ganzen Jahresverlauf mit Arbeitsschritten wie Blüten- und Fruchtansatzdünnung, Pflanzenschutzmaßnahmen gegen zahlreiche Schadorganismen, Düngung, Ernte, Sortierung und Schnitt. Die üblichen Arbeitsspitzen liegen dabei Mitte Juli bis Ende August (HOLZMÜLLER et al. 2016) und überschneiden sich somit mit den Arbeitsspitzen landwirtschaftlicher Feldkulturen (s.a. Kap. 6.1).

Ähnlich verhält es sich auch mit den meisten anderen gängigen Obstkulturen wie Kirschen (*Prunus avium*), Birnen (*Pyrus communis*) und Pflaumen (*Prunus domestica*) - sie alle erfordern im Tafelobst-Intensivanbau zahlreiche Pflegemaßnahmen und haben einen Erntetermin zwischen Juli und September (FRIEDRICH & FISCHER 2000). Eine extensivere Produktion resistenter Sorten auf Halb- oder Hochstammunterlagen hat zwar einen höheren ökologischen Wert, kann jedoch in der Regel ausschließlich als Mostobst vermarktet werden - die ökonomische Rentabilität ist besonders bei den sehr niedrigen Preisen für nicht biologisch zertifizierter Ware meist nicht gegeben (MÜLLER 2015). Dies wäre somit ausschließlich über eine direkte Kooperation mit einer SoLaWi in Form von Selbsternte durch die Mitglieder vorstellbar (s.a. Kap. 6.1).

Pflegeleichtere Kulturen sind dagegen die sogenannten Obstbau-Spezialkulturen (auch Wildobst genannt) (HÖHNE 2016a): Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*), Aronia (*Aronia spp.*), Holunder (*Sambucus spp.*), Papau (*Asimina triloba*), Kornelkirschen (*Cornus mas*), Maulbeeren (*Morus spp.*), Felsenbirne (*Amelanchier spp.*), Ölweide (*Eleagnus spp.*) oder Haselnuss (*Corylus avellana*). Sie wurden seit dem Aufkommen des Intensiv-Obstanbaus im 20. Jahrhundert züchterisch vergleichsweise nur wenig bearbeitet. Dies bedingt eine genetisch noch nahe Verwandtschaft mit den ursprünglichen Wildformen. Daher haben diese Kulturen oft weniger phytosanitäre Probleme

(SCHWEFLER & SCHMAL 2014). HÖHNE (2016a) nennt insbesondere folgende Arten, die bisher wenig phytosanitäre Probleme haben: Aronia, Sanddorn, Maulbeere, Felsenbirne, Ölweide und Papau.

Ein weiterer Vorteil ist der ökologische Mehrwert solcher Kulturen: “Besonders Wildfruchtplantagen [können] so gestaltet werden, daß sie, trotz intensiver Nutzung und damit gegebener Wirtschaftlichkeit, einen wirksamen Beitrag zur ökologischen Aufwertung von Kulturlandschaften und Agrarökosysteme leisten.”, so MÜLLER (1997, S. 180). Der ökologische Mehrwert von Wildobstarten ist bei SCHWEFLER & SCHMAL (2014) sehr detailliert dargestellt und wird in dieser Arbeit in Kap. 8.4 weiter vertieft.

Zurzeit werden die meisten Wildobstarten jedoch nur in kleinerem Ausmaß angebaut. SCHWEFLER & SCHMAL (2014) begründen dies mit den noch in Entwicklung befindlichen Produktionsverfahren. So führt der Mangel an adäquater Erntetechnik häufig zu einem hohen Arbeitskraft-Bedarf (Akh). In Folge der relativ geringen Produktionsmengen bleiben auch die Vermarktungswege meist nischenhaft.

Für den großflächigeren Anbau empfiehlt HÖHNE (2016a) vor allem die Verarbeitungsfrüchte Sanddorn, Holunder und Aronia. Diese drei Kulturen nehmen nach den Daten des Statistischen Bundesamtes von 2015 auch mit Abstand den größten Anbauumfang unter den Obstbau-Spezialkulturen in Deutschland ein: Sanddorn auf 709 ha, Holunder auf 538 ha, Aronia auf 395 ha. Alle anderen Strauchbeeren kommen zusammen gerade einmal auf 79 ha. Insbesondere Sanddorn und Aronia haben sich bereits auf ähnlichen Standorten in Nordostdeutschland bewährt (AG ARONIABEERE 2016; HÖHNE 2016b). Holunder weißt zwar eine gute Halbschattentolleranz auf (TATSCHHEL 2015), die den Strauch für AFS interessant macht, allerdings erfordert er für ökonomisch interessante Ertragsleistungen einen hohen Nährstoffgehalt des Bodens und eine gute Wasserversorgung (HÖHNE 2016a). Darüber hinaus würde seine Anfälligkeit für zahlreiche Schädlinge einen hohen Pflanzenschutzaufwand erfordern (MÜLLER 2015).

In telefonischen Interviews mit Obstbauexpert*innen wurde außerdem die Hasel mehrfach als potentiell geeignete Fruchtertragskomponente genannt (mdl. Mit. MÖHLER 2016; mdl. Mit. RECKIN 2016). In Süddeutschland wird diese mittlerweile auf über 300 ha angebaut (Erzeugerorganisation deutscher Haselnussanbauer UG 2016).

6.2 Vertiefte Darstellung ausgewählter Fruchtertragskomponenten

Nach den obigen Ausführungen erscheint eine tiefergehende Eignungsprüfung der Kulturen Sanddorn, Aronia und Hasel sinnvoll.

6.2.1 Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*)

Kompatibilität der ökologischen Standortansprüche mit AFS

Sanddorn (*Hippophae rhamnoides*) (s.a. Abb.13) aus der Gattung der Sanddorne (*Hippophaë*) innerhalb der Familie der Ölweidengewächse (*Elaeagnaceae*) ist eine sehr geeignete Fruchtertragskomponente für Grenzertragsstandorte. Er wächst auf sandigen, gut durchlüfteten, nährstoffarmen Böden (MÜLLER 2015) und ist bis -40 °C frosthart (TATSCHHEL 2015). Durch die Symbiose mit Stickstoff-fixierenden Strahlenpilzen (*Actinomyces*) kann Sanddorn jährlich bis zu 160 kg N/ha fixieren (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft 2000) und hat daher nur sehr geringe Nährstoffansprüche an Böden.

Die vielen Sanddornanlagen in Brandenburg mit insgesamt ca. 315 ha (HÖHNE 2016b) lassen Sanddorn für niederschlagsarme und sandige Standorte wie das Löwenberger Land geeignet erscheinen.



Abbildung 14: Sanddornstrauch (Schade 2013, S. 24)

Ein Problem für die Integration in ein AFS könnte jedoch die Tatsache darstellen, dass Sanddorn viel Licht braucht und keine Schatten-werfenden Gehölze in seiner Nähe verträgt (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft 2000). Der Sanddornexperte RÖCKSCH (mdl. Mit. 2016) von der Humboldt-Universität zu Berlin differenziert dies jedoch: Sanddorn sei besonders in den ersten 3-5 Jahren sehr lichtbedürftig, danach liege seine optimale ökologische Nische jedoch gerade im Saumbereich von Gehölzstrukturen.

Da Sanddorn zweihäusig ist, wird für den Anbau ein Anteil von etwa 8-16 % männlicher Pflanzen empfohlen, die als Windbestäuber fungieren (ebd.; MÜLLER 2015). Da in einem AFS mit einer Windreduktion zu rechnen ist (s.a. Kap. 2.4.1) und die Pflanzen voraussichtlich nicht derart flächendeckend wie in einer reinen Sanddornanlage gepflanzt werden, sollte ein relativ hoher Anteil an Bestäuberpflanzen gewählt werden.

Seitens der ökologischen Standortansprüche lässt sich zusammenfassend feststellen, dass eine Integration von Sanddorn im AFS am Standort Löwenberg grundsätzlich möglich wäre. Dem stünde auch die Eigenschaft des Sanddorns Wurzel ausläufer zu bilden (TATSCHHEL 2015) nicht im Wege, da entlang der Baumreihen zum Zwecke der Wurzelraumregulation regelmäßig eine tiefe Bodenbearbeitung stattfinden soll (s.a. Kap. 10.2.3).

Management, Pflanzsystem, Sorten und Ernte

An dieser Stelle kann nur eine kurze Erläuterung erfolgen. Sehr detaillierte Informationen zum Management und Anbausystem von Sanddorn finden sich bei SCHWEFLER & SCHMAL (2014), THOMAS & McLOUGHLIN (1997) oder MÖRSEL (2009).

Obwohl Sanddorn trotz geringer Niederschläge gute Erträge bringt, zeigten aktuelle Versuche in Berlin-Dahlem und Gülzow, dass eine Zusatzbewässerung den Ertrag um 50% bis 100% steigern kann (HÖHNE 2013). Eine Bewässerung ist auf dem Standort im Löwenberger Land jedoch ausgeschlossen (mdl. Mit. WINTER 2016).

Zusatzdüngungen haben bei Versuchen keine, bzw. sogar leicht negative Ertrags-Effekte gezeigt (HÖHNE 2013). Eine Kalium-Düngung könnte bei langjährigen Anbauflächen jedoch entsprechend des Bodenversorgungsgrades nötig werden (SCHADE 2013).

Pflanzenschutzmaßnahmen werden im Sanddornanbau nur sehr selten benötigt (MÜLLER 2015). Problematisch unter phytosanitären Gesichtspunkten ist vor allem die Anfälligkeit einiger Sorten für Bodenpilze wie *Verticilium*. Mittlerweile gibt es allerdings einige resistente Sorten (HÖHNE 2016a), dies wurde bei der Sortenauswahl (s.a. unten) berücksichtigt.

2013 gab es auf vielen Plantagen in Ost-Deutschland erstmals einen starken Befall mit der Sanddornfruchtfliege (*Rhagoletis batava*), der zu Ernteeinbußen führte. Die Schadschwelle ist bisher jedoch noch fast unerheblich (ebd.).

Grundsätzlich gibt es zwei Ernteverfahren für Sanddorn (RÖCKSCH 2005):

- Abschneiden der Fruchstäbe mit maschinellem Konturen-Schnittgerät oder händisch mit pneumatischen Scheren (für optimale Regeneration 90cm über dem Boden) und Transport zu einer stationären Schockfrostanlage; mehrstündige Schockfrostung bei -36 °C und meist maschinelles Abschlagen der gefrorenen Früchte vom Fruchtholz: Dies zieht bei der Sorte *Leikora* einen zwei bis dreijährigen Ernterythmus nach sich, da die Fruchtriebe erst wieder nachwachsen müssen, und diese nicht an einjährigem Holz fruchtet (ebd.).
- Maschinen mit Rütteleinrichtung zum Ablösen der Früchte: Diese Methode funktioniert allerdings nicht mit allen Sorten, da bei vielen die Haltekräfte der Beeren zu stark sind. Diese Methode wird zurzeit in Deutschland kaum praktiziert (ebd.).

Die zweite Erntemethode erfordert einen zusätzlichen Pflanzenschnitt, um langanhaltende hohe Erträge zu sichern. Bei der ersten Methode wird dies im Rahmen der Erntearbeiten durchgeführt, so dass nur die männlichen Bestäuberpflanzen zusätzlich geschnitten werden müssen. Besonders überhängende und verkahlte lange Triebe sollten eingekürzt werden, um die Neubildung seitlicher Triebe zu fördern (THOMAS & McLOUGHLIN 1997).

Eine Recherche ergab, dass die stationären Schockfrostanlagen der Havelfrucht GmbH (bei Werder 90 km Entfernung) sowie der Storchennest GmbH (bei Ludwigslust, 148 km Entfernung) die geringste Entfernung zum Standort haben.

Das sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft betont in einer Publikation über den Sanddorn Erwerbsanbau den hohen Ernte-Aufwand (2000, S. 1):

“Sanddorn ist keine Kultur, die nebenbei bewirtschaftet werden kann. Von allen Wildobstarten dürfte sie die arbeits- und wahrscheinlich auch kostenintensivste sein. Ursachen dafür sind die alternierende Ernte sowie das aufwendige maschinelle Ernteverfahren bzw. der hohe energetische Aufwand bei erforderlicher Schockfrostung.”

Im Interview empfahl RÖCKSCH (mdl. Mit. 2016) eine händische Frucht-Zweigernte mit pneumatischen Scheren in Großkisten. Dabei werden bis zu zwei Drittel jedes Strauches zurückgeschnitten. Aufgrund technischer Anforderungen der Frostanlage sollten die Fruchtzweige mit max. 50cm Länge geschnitten werden. Alternativ zu einer professionellen Frostanlage können die Äste auch in einer Tiefkühltruhe bei -18 °C gefrostet und anschließend abgeklopft werden (SCHADE 2013). Eine voll maschinelle Ernte lohne sich erst ab einer Sanddornanlagengröße von etwa 20 ha (mdl. Mit. RÖCKSCH 2016). Um eine bessere Maschinenauslastung und leichtere Vermarktung zu gewährleisten empfehlen SCHWEFLER & SCHMAL (2014) daher die Bildung von Erzeugergemeinschaften. Allerdings gebe es in Deutschland bisher nur sehr wenige Sanddornernte-Maschinen, die in der Erntezeit daher meist voll ausgenutzt würden (mdl. Mit. RÖCKSCH 2016). Eine weitere Möglichkeit wäre das sogenannte händische “Melken” des Sanddorns: Dabei streift man mit dicken Lederhandschuhen entlang der Äste die Beeren ab, bzw. quetscht diese wobei der Saft an der Handschuhkrempe herunterläuft und aufgefangen wird (SCHADE 2013).

Eine Anordnung in derselben Reihe mit den Wertholzbäumen hält RÖCKSCH bei händischer Erntemethode für möglich (mdl. Mit. ebd. 2016). Dabei empfiehlt er, alle 6-10 Pflanzen eine männliche Befruchter-Sorte einzustreuen und zwischen den Einzelpflanzen einen Abstand von ca. einem Meter einzuhalten.

Die übliche Standzeit von Sanddorn entspricht mit 20-25 Jahren (ebd.) in etwa dem Zeitpunkt stärkerer Beschattungszunahme durch die Werthölzer (SPIECKER 2009). Somit hätte er bis zu diesem Zeitpunkt voraussichtlich ausreichend Licht und könnte dann gerodet werden.

Aufgrund des hohen Ernteaufwandes sollten Sorten ausgewählt werden, deren Erntezeit möglichst außerhalb der üblichen landwirtschaftlichen Arbeitsspitzen liegt. Nach dem Studium verschiedener Sortenvergleiche (HORNIG & HÖHNE 2011; Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft 2000; SCHWEFLER & SCHMAL 2014; LVG Erfurt 2016) können für den Standort folgende Sorten empfohlen werden: *Hergo*, *Habego* und *Leikora*. Diese Sorten haben allesamt späte Erntetermine (Mitte September bis Mitte Oktober). In mehreren Sortenversuchen

zeigten diese außerdem gute Ertragsleistungen und geringe Krankheitsanfälligkeit (HÖHNE 2011; MÜLLER 2015).

Bei *Leikora* ist zu beachten, dass sie ausschließlich für Schnitternteverfahren mit Frostung oder händisches “Melken” geeignet ist, da sie sehr hohe Fruchthaltekräfte besitzt (RÖCKSCH 2005).

Zur Befruchtung dieser Sorten eignet sich eine Mischung der mittelfrüh bis spät blühenden männlichen Sorten *Pollmix 3* und *Pollmix 4* (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft 2000).

Vermarktbarkeit

RÖCKSCH (mdl. Mit. ebd. 2016) betonte ebenfalls, dass die wirtschaftliche Rentabilität des Sanddornanbaus sehr stark von einer erfolgreichen Vermarktung abhängt. Die Kosten für Ernte, Transport und Schockfrostung seien oft so hoch, dass der Anbau sich bei den üblichen Marktpreisen von 1,80 bis 2,50 €/kg nicht mehr rechne.

Da viele der unten genannten regionalen Verarbeiter vor allem Bioware weiterverarbeiten, erscheint es fragwürdig, ob sich nicht-biologisch zertifizierte Ware auf dem konventionellen Markt gegen die niedrigen Preise aus Ost-Europa durchsetzen kann. MÖHLER (mdl. Mit. 2016) empfiehlt daher vor der Anlage von Wildobstplantagen langjährige Abnahmeverträge abzuschließen.

Dies kann jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden. Allerdings wurden einige Verarbeitungsbetriebe in Brandenburg recherchiert. Sollte Sanddorn in das AFS integriert werden, kann geprüft werden, ob sich mit diesen Abnahmeverträge aushandeln lassen:

- Marmeladenmanufaktur Löwenberger Land (mdl. Mit. SONNTAG 2016)
- Firma Lienig
- Sanddorn Gbr Herzberg
- Storchennest GmbH Ludwigslust
- weitere Betriebe finden sich in der Publikation “Pioniere im märkischen Sand - Auf den Spuren des Sanddorns in Brandenburg” des brandenburgischen Landwirtschaftsministeriums (SCHADE 2013).

6.2.2 Aroniabeere (*Aronia spp.*)

Kompatibilität der ökologischen Standortansprüche mit AFS

Aronia (*Aronia spp.*) (s.a. Abb. 15) aus der Familie der Rosengewächse (*Rosaceae*) ist selbstbefruchtend und stellt geringe Ansprüche gegenüber Boden und Klima (TATSCHEL 2015). Sie ist sehr frosthart (-34,4 °C), sehr anpassungsfähig und wächst sogar auf sauren und leicht salzhaltigen Böden (ebd.).



Abbildung 15: Aronia

(unter:<http://www.pictokon.net/bilder/10-bilder/laga-sachsen-reichenbach-x-04-aronia-melanocarpa-nero-afelbeere-auch-sorbus-melanocarpa-3-aronie-werwendung-aroniensaft-ob.jpg>)

Für höchste Erträge über 1 t/ha sind jedoch optimale Bedingungen in Form humusreicher Böden mit einem pH-Wert von 6 - 6,5 sowie ausreichender Boden- und Luftfeuchte bei einer Jahresniederschlagsmenge von ca. 700 mm erforderlich. Die Mindest-Niederschlagsmenge für den Erwerbsanbau von 500-600 mm (MÜLLER 2015) wird auf dem Standort erfüllt.

Vermieden werden sollten verdichtete oder staunasse Böden, extrem trockene Sandböden und ausgesprochene Frostlagen (SCHWEFLER & SCHMAL 2014).

Management, Pflanzsystem, Sorten und Ernte

BUSSIÈRES (2008) empfiehlt in der Anfangszeit eine geringe jährliche NPK-Düngung für eine gute Etablierung. Dies könnte in Form von Kompostgaben bei der Pflanzung gelöst werden. Außerdem ist durch voraussichtlich durch die regelmäßig stattfindende Düngung der unmittelbar angrenzenden Ackerstreifen ein gewisser Mitdünungseffekt gegeben.

Ebd. empfiehlt einen Pflanzabstand von 1-2 m innerhalb der Reihe.

Der Aronia-Anbau ist jedoch verglichen mit Sanddorn und Holunder laut HÖHNE (2016a) "relativ problemlos". Vorteile sind insbesondere die leichte maschinelle Ernte (hierzu können Erntemaschinen aus der Johannisbeerproduktion verwendet werden), eine steigende Nachfrage der

Verarbeitungsindustrie sowie die vergleichsweise geringen Ansprüche an direkte Kühlung nach der Ernte (ebd.).

Da sich bei der relativ kleinen Gesamtanbaufläche voraussichtlich keine spezielle Johannisbeererntemaschine rentieren würde und die Aroniabeeren-Dolden auch relativ schnell händisch in größerem Stil geerntet werden können, könnten die Sträucher ebenfalls in Reihe mit den Werthölzern gepflanzt werden. Zumal Aronia etwas besser schattenverträglich als Sanddorn ist (mdl. Mit. RECKIN 2016).

Die Ernte findet je nach Sorte von August bis Oktober statt, wenn die Beeren von innen eine entsprechend dunkle Färbung erlangt haben (AG ARONIABEERE 2016). Somit könnte bei der Wahl geeigneter Sorten die Ernte ebenfalls knapp nach der landwirtschaftlichen Arbeitsspitze Ende September stattfinden.

MÖHLER empfiehlt für diesen Standort insbesondere die Sorten *Nero* und *Aron* (mdl. ebd. Mit. 2016).

Vermarktbarkeit

SCHWEFLER & SCHMAL (2014) stellen fest, dass es eine steigende Nachfrage bei der Aronia-Verarbeitungsindustrie gibt, die trotz Interesse an regionaler Produktion durch das Anbauvolumen des deutschen Marktes nicht gedeckt werden kann.

Bei ebd. finden sich auch einige weiterverarbeitende Betriebe aus Brandenburg.

Absatz-erschwerend könnten hier jedoch ebenfalls sehr günstige Importe aus osteuropäischer Produktion sein (mdl. Mit. MÖHLER 2016).

6.2.3 Haselnuss (*Corylus spp.*)

Kompatibilität der ökologischen Standortansprüche mit AFS

Innerhalb der Familie der Birkengewächse (*Betulaceae*) umfasst die Unterfamilie der Haselgewächse (*Corylaceae*) mehrere Arten aus unterschiedlichen regionalen Ursprungsgebieten (s.a. Abb. 16). Für den Fruchtertragsanbau in gemäßigttem Klima wird vor allem die Strauchhasel (*Corylus avellana*) verwendet (TATSCHL 2015).

Als Flachwurzler bevorzugt die Hasel humusreiche Lehm- bis lehmige Sandböden (TATSCHL 2015). Auch der größte australische Haselnussvermehrter GEMBROOK VICTORIA (2016) schreibt auf seiner Website, dass Haselnüsssträucher gut drainierte aber auch keine zu trockenen Standorte brauchen, da sie mit ihrem Wurzelsystem vor allem aus den oberen Bodenschichten Wasser aufnehmen.

MÖHLER hält jedoch einen Haselnussanbau ab 550 mm Jahresniederschlag auch auf lehmigem Sand für möglich. Das Frühjahr sollte nicht zu trocken sein. Sommertrockenheiten würden der Haselnuss dagegen kaum schaden. Für einen verbesserten Wasserhaushalt empfiehlt



MÖHLER eine Bodenbedeckung mit organisches Mulchmaterial (mdl. Mit. ebd. 2016).

Abbildung 16: Früchte der Strauch- und Baumhaseln im Vergleich
<http://www.botanikus.de/Beeren/Baumhasel/Corylus-Vergleich-gr.jpg>

Baumhaseln (*Corylus colurna*) haben ein tieferes Wurzelsystem, wodurch sie weniger anspruchsvoll bezüglich der Wasserversorgung sind. Außerdem bilden sie keine Ausläufer und haben eine stärkere natürliche Resistenz gegen typische Krankheiten und Schaderreger der Kulturhasel (*Corylus avellana*) (s.a. unten) (GAUCH 2012, TATSCHL 2015, RUHM 2013).

Management, Pflanzensystem, Sorten und Ernte

Im Vergleich zu Aronia und Sanddorn treten bei der Kulturhasel relativ viele Schädlinge und Pflanzenkrankheiten auf. Relevanz haben insbesondere der Haselnussbohrer (*Curculio Nucum*), einige Bakteriosen der Gattungen *Pseudomonas* und *Xanthomonas* sowie die Pilzkrankheit *Monilia coryli*. Die Wirksamkeit von Mitteln zur Bekämpfung dieser Schadorganismen wird noch als unzureichend eingeschätzt (NITSCH 2015).

Da es unwahrscheinlich ist, dass gegen die oben genannten Schädlinge Pflanzenschutzmaßnahmen auf dem Betrieb durchgeführt werden, sollten gezielt Sorten mit Resistenzen gegen die oben genannten Schadorganismen gewählt werden (GAUCH 2012 & NITSCH 2015).

Die Haselnuss hat getrenntgeschlechtliche, einhäusige Blüten und ist fremdbefruchtend. Daher sollten Sorten gemischt gepflanzt werden, um eine optimale Bestäubung zu gewährleisten (TATSCHL 2015).

NITSCH (2016) stellt am Ende einer Publikation zur Eignung der Haselnuss als wirtschaftlichen Betriebszweig fest, dass der Haselnussanbau bei sorgfältiger Sorten- und Standortwahl eine wirtschaftlich interessante Kultur sei, die sich in einen landwirtschaftlich geprägten Betriebsablauf gut eingliedern lasse.

Allerdings ergab ein Interview mit der süddeutschen Haselnuss-Erzeuger-Gemeinschaft, dass selbst dort auf vergleichsweise besser geeigneten Standorten die ökonomische Tragfähigkeit des Haselnussanbaus von den Erzeugern kritisch bewertet wird (mdl. Mit. BERGSTEIGER 2016). Dort befinden sich die Anlagen von 40 Haselnussbauern im 13. Jahr nach der Pflanzung. Aufgrund der unzureichenden Wirtschaftlichkeit hat kein einziger den Anbauumfang ausgeweitet (ebd.). Grund hierfür scheint vor allem eine große Ertragsunsicherheit zu sein. Besonders die Witterung mit Frühjahrsnebeln im Januar und Februar während Windbestäubung führt immer wieder zu geringen Befruchtungsleistungen. Treten Spätfröste mit mehr als $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Zeitraum von April bis Anfang Mai auf, ist das Risiko eines Totalausfalls hoch. Hinzu kommen besonders auf größeren Plantagen die oben beschriebenen Pflanzenschutzprobleme (ebd.).

Eine weitere Herausforderung beim Anbau größerer Mengen ergibt sich daraus, dass in diesem Fall technische Lösungen für die Nusssammlung, Trocknung und bei Industrieware auch für die Kalibrierung und Entfernung der Schalen erforderlich würden (NITSCH 2016). Da für Kooperationen bei der Maschinennutzung im Raum Brandenburg bei den Recherchen keine anderen Haselnussanlagen gefunden wurden und eine Kooperation mit der süddeutschen Haselnusserzeugerorganisation erhebliche Transportkosten nach sich ziehen würde, scheint die Fruchtnutzung der Hasel nur in kleinerem Umfang sinnvoll.

Die Erntezeit ist Ende September bis Mitte Oktober und kann somit nach der landwirtschaftlichen Ernte stattfinden (NITSCH 2015). Mit geringem Arbeitskraft-Aufwand könnte die Ernte auch durch Schütteln und das Auffangen der Haselnüsse mit ausgelegten Polypropylen-Gewebevliesen ("Bodengewebe") oder Planen durchgeführt werden (mdl. Mit. MÖHLER 2016). Die Baumhasel (*Corylus colurna*) lässt ganze Haselkapseln abfallen, die somit leichter sammelbar sind (RUHM 2013). Zur Nachtrocknung kleinerer Mengen empfiehlt MÖHLER (mdl. Mit. 2016) eine flächige Ausbreitung der Haselnüsse in einem normal beheizten Raum.

Vermarktbarkeit und Sortenwahl

Große Anbaugelände der Haselnuss liegen in der Türkei, Italien und Südfrankreich. MÖHLER (mdl. Mit. 2016) sieht jedoch auch Potenziale für eine Ausweitung des Haselnussanbaus auf deutschen Standorten. Dies begründet sie mit der politisch-instabilen Situation und Missernten in der Türkei, dem Haupthaselnussexporteur (ebd.). Aus einer Marktanalyse von WISCHNEWSKI (2007) geht hervor, dass die hierzulande verarbeitete Süß- und Backwarenhersteller ein Interesse an Haselnüssen aus deutscher Produktion haben. Die in Deutschland gezahlten Preise orientieren sich überwiegend am Weltmarktpreis von 3.5 bis 4.5 €/kg (mdl. Mit. Bergsteiger 2016). 25 Prozent der erfassten Haselnussverarbeiter sind jedoch bereit 0.25 bis 0.50 €/kg mehr zu bezahlen (GAUCH 2012).

Der angestrebte Vermarktungsweg bedingt bei Haselnüssen sehr stark die Sortenwahl (NITSCH 2015). Mangels geeigneter technischer Ausstattung kommt, käme vor allem eine "In-Shell-Vermarktung" großfrüchtiger Sorten (>20mm) in Frage. Diese könnten mit der Schale bestmöglichst vor Weihnachten verkauft werden (mdl. Mit. MÖHLER 2016). Zum Beispiel über den Regionalladen "Krumme Gurke" in Eberswalde. NITSCH (2015) empfiehlt hierfür folgende Sorten: *Corabel*, *Butler*, *Emoa 1*, *Istrische Runde* und *Katalonski*, die allesamt gute Erträge und Resistenzen aufweisen. Von MÖHLER (mdl. Mit. 2016) wurden diesbezüglich besonders die Sorte *Wunder aus Borweiler* empfohlen.

Die Baumhasel (*Corylus colurna*) weist voraussichtlich eine bessere Standorteignung auf (s.a. 5.4.3.1). Sie trägt zwar reich, es befinden sich aber keine spezifischen Fruchtselektionen im Handel. Allerdings gibt es Sorten wie *Granat* (TATSCHL 2015), die hohe Ertragsleistungen mit relativ großen und dünnschaligen Nüssen kombinieren. Diese könnten sich möglicherweise gut zur Direktvermarktung in Schale eignen. Alternativ könnten Baumhaseln auch als Unterlage mit Fruchtertragssorten der Kulturhaseln veredelt werden (GAUCH 2012). Darüber hinaus ließen sich bei geästeten Hasel-Bäumen auch die Stämme als Wertholz vermarkten (s.a. Kap. 5.4.3.1).

6.3 Abschließende Einschätzung zu den Fruchtertragskomponenten

Da die Fläche, die im Rahmen dieses AFS-Projektes für den Anbau einer Fruchtertragskomponente zur Verfügung stünde, wahrscheinlich kleiner als 2 ha wäre, würde sich der Einsatz von kulturspezifischen Spezialmaschinen voraussichtlich nicht wirtschaftlich gestalten (s.a. oben).

Auch die langfristige Vermarktung größerer Mengen der oben vorgestellten Fruchtertragskomponenten ohne Bio-Siegel würde sich nach Einschätzung von Experten schwierig gestalten (mdl. Mit. MÖHLER 2016; mdl. Mit. RÖCKSCH 2016). Bei konventioneller Erzeugung von Fruchtertragskomponenten bestehen also Vermarktungsprobleme. Verbraucher, die auf regionale Produkte achten und bereit sind einen höheren Preis zu bezahlen, suchen zumeist auch nach ökologischen Produkten, so MÖHLER (mdl. Mit. 2016). Konventionelle Wildobstware gebe es jedoch zu sehr günstigen Preisen aus Osteuropa.

Eine Integration von Fruchtertragskomponenten auf dem Standort scheint daher ausschließlich in kleinerem Maßstab zu modellhaften Demonstrationzwecken und mit innovativen Vermarktungswegen sinnvoll.

Damit würde auch einem expliziten Wunsch des Eigentümers Rechnung getragen, Fruchtertragskomponenten in das Design zu integrieren. Dieser betonte außerdem, dass es ihm im Zweifelsfall auch ausreiche, wenn diese ausschließlich Naturschutzzwecke erfüllen würden. Die Fruchtertragskomponenten müssen also nicht zwangsläufig einen ökonomischen Deckungsbeitrag durch Fruchtverwertung generieren (mdl. Mit. SONNTAG 2016).

Die Fruchtertragskomponenten könnten dabei an folgenden Stellen integriert werden:

Fruchtreihen mit Sanddorn und Aronia könnten in die geplanten Natur- und Windschutzhecken integriert werden. So könnte die lange Strecke unter der Stromtrasse im Norden mit Sanddorn und Aronia bepflanzt werden. Dies bietet sich insbesondere an, da deren natürliche Strauchhöhe in Ertragsanlagen etwa 3 m beträgt (s.a. oben) und diese daher auch unterhalb der Stromtrasse wachsen könnten (mdl. Mit. WINTER 2016).

Alternativ könnten auch nur einzelne Baumreihen mit jeweils 3-6 Sanddorn- oder Aroniasträuchern in die 15 m-Zwischenräume der Wertholzbäume gepflanzt werden (s.a. Kapitel 5). Diese könnten z.B. durch Student*innengruppen (z.B. aus der Projektwerkstatt "Agroforst in Brandenburg" der HNEE) im Rahmen ihrer Flächenbesuche für Pflegemaßnahmen oder die Erhebung wissenschaftlicher Daten (s.a. Kap. 13.2) mit relativ geringem Aufwand händisch geerntet und zu Saft oder Fruchtaufstrichen für den Eigenbedarf weiterverarbeitet werden.

Darüber hinaus könnten Wirtschaftsstudent*innn im Rahmen der Projektwerkstatt einen Businessplan für ein Start-up zur Vermarktung der Wildobstprodukte erarbeiten.

Alternativ gibt es auch eine innovative Marmeladenmanufaktur aus dem Löwenberger Land, welche in kleinerem Maßstab die Ernte, Veredelung und Vermarktung übernehmen könnte (mdl. Mit. SONNTAG 2016).

Sollte eine Verwertung der Früchte sich dennoch als schwierig erweisen, würde daraus kein großer Schaden entstehen. Denn Pflanz- und Pflegekosten wären sehr gering (s.a. Kap. 10.2.2, 11.3) und außerdem würden die Wildobstreihen neben der Fruchtproduktion weitere Ziele des Designs erfüllen, wie Windschutz und Naturschutz. So würde durch die Kombination von Wildobsthecken und Werthölzbäumen ein für die Artenvielfalt förderliches, vollständigeres vertikales Stratenangebot geschaffen (s.a. Kap. 4.3). Außerdem könnten so auch Wechselwirkungen von komplexeren AFS stichprobenartig untersucht werden. Hiermit würde ein Beitrag zu einem Bereich mit aktuellem Forschungsbedarf geleistet (s.a. Kap. 2.4).

In einer der Wertholzreihen könnten darüber hinaus Baumhaseln der Sorte *Granat* (TATSCHL 2015) angepflanzt werden. Der Hauptzweck wäre Wertholzproduktion (s.a. Kap. 5.3.1) mit der Option zusätzlich einen Nebennutzen in Form der Haselnussernte zu gewinnen. Zu diesem Zwecke müssten allerdings auch andere Baumhaselsorten zur Befruchtung gepflanzt werden.

7 Frisch-Zweig-Häcksel zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit

7.1 Die Bedeutung von Bodenfruchtbarkeit

Eine hohe Bodenfruchtbarkeit hängt eng mit dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff (C_{org}) beziehungsweise Humus⁵ zusammen (DUNST 2015). Durch eine Steigerung des Humusgehaltes werden auch zentrale Bodenfunktionen verbessert, wie die Filter-, Puffer-, und Speicherfunktion für Wasser- und Stoffkreisläufe, sowie die Lebensraumfunktion und das Produktionspotential (BESTE 2015).

Auf dem sandigen Projektstandort ist wie bereits mehrfach dargestellt (s.a. Kap. 4.1, 5, 6) besonders die Wasserverfügbarkeit ein für das Pflanzenwachstum limitierender Faktor. Humus kann das 3- bis 5-fache seines Eigengewichtes an Wasser speichern. So kann ein Boden z.B. durch 1 % mehr Humus in der oberen Ackerkrumme 40 mm mehr Regenwasser pflanzenverfügbar halten (FiBL et al. 2012). Durch eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit wird neben der Verbesserung der Pflanzenernährung und -gesundheit auch die Stresstoleranz und Robustheit (Resilienz) gegen Witterungsextreme wie Frühjahrstrockenheit der Kulturpflanzen gestärkt (ebd.).

Ein fruchtbarer, garer Boden hat eine Krümen-Struktur, bei der man, wenn sie “die ganze Vegetationszeit über krümelig bleibt und nicht unter der verschlammenden Wirkung des Wassers zusammenbricht, [...] von Gare sprechen kann“, SEKERA (2011, S. 27). Ebd. definiert folgende Voraussetzungen für Garebildung:

- Physik: Es muss Bodenpartikel in geeigneter Größe geben und die Tonfraktion (Teilchen < 0,002 mm) darf nicht ganz fehlen.
- Chemie: Die chemische Flockung der Bodenpartikel muss ständig gegeben sein.
- Biologie: Die Lebendverbauung muss fortwährend stattfinden.

Ziel ist es also den “Boden als Organismus“ aufzubauen, indem die Bodenbiologie derart gestärkt wird, dass Selbstregulation dominiert und Nährstoffe in biologisch verbauter Form (Garebildung, Humus) vorliegen (CROPP & BONIN 2016).

Klassischerweise werden zum Aufbau der Bodenfruchtbarkeit folgende Methoden angewandt:

- Kompost-Ausbringung (DUNST 2015),
- nicht-wendende, reduzierte (gare-konservierende) Bodenbearbeitung, welche international vor allem in den USA und in Deutschland nur von einigen wenigen Pionieren angewendet wird. In diesem Zusammenhang werden (Mulch-)Direktsaaten und Untersaaten durchgeführt (CROPP & BONIN 2016),

⁵ Für eine genauere Differenzierung der Begriffe organisch gebundener Kohlenstoff und Humus s.a. Kap. 9.2.2

- Fruchtfolgen mit einer positiven Humusbilanz: also mit vielen Ernterückständen und Zwischenfrüchten (FiBL et al. 2012).

KITTREDGE (2015) analysierte mehrere langjährige Studien, die die Auswirkungen verschiedener landwirtschaftlicher Praktiken auf die Bodenfruchtbarkeit untersuchten. Dabei wurden verschiedene Fruchtfolgen mit Zwischenfrüchten und unterschiedliche Methoden des Umgangs mit Ernterückständen, wie Oben-Aufliegenlassen, Einarbeiten oder Kompostieren, miteinander verglichen. Er stellte fest, dass mit allen Methoden keine nennenswerten dauerhaften Humuszuwächse erreicht wurden. Auch KUTSCH et al. (2010) analysierten die C-Bilanzen mehrerer konventioneller und biologischer Farmen in verschiedenen Regionen Europas. Alle zehn Farmen hatten eine negative C-Bilanz, im Durchschnitt $-240 \text{ g C/m}^2/\text{a}$ (mit Abweichungen von $\pm 113 \text{ g C/m}^2/\text{a}$), obwohl sie nach den EU-Richtlinien der guten fachlichen Praxis wirtschafteten. Daraus leiten sowohl KITTREDGE (2015) als auch KUTSCH et al. (2010) ab, dass es neuer Ansätze zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bedarf (ebd.).

JONES (2002) führt Beispiele auf, die belegen, dass der Aufbau von humosem Oberboden bei der Beachtung folgender Managementempfehlungen stark beschleunigt werden kann:

- Förderung eines lebendigen Boden-Mikrolebens, das organische Masse in Huminstoffe umwandelt und durch Schleimexudate und Polysaccharide Aggregate verkittet und damit die Bodenstruktur aufbaut,
- Bodenbedeckung mit Pflanzen und möglichst viel dekompostierender organischer Masse.
- Ein Managementsystem, das optimale Störungen hervorruft (regelmäßiger Wurzel und Pflanzenrückschnitt zur Anregung des Wachstums).
- Möglichst wenig Bodenwendung aber gelegentlich Tiefenlockerung.

Diese Aspekte sollen auch bei Management der Projektfläche beachtet werden (Kap. 10).

Ob ein langfristiger Humusaufbau gelingt, hängt nach BLUME (2011) davon ab, ob *Nährhumus* oder *Dauerhumus* aufgebaut wird. *Nährhumus* wird schnell mineralisiert und trägt damit zur direkten Ernährung von Pflanzen und Bodenorganismen bei. Kurzfristig entsteht eine hohe biologische Aktivität, welche das im Nährhumus gespeicherte C in kurzer Zeit nahezu vollständig zu CO_2 veratmet und dann wieder abstirbt. *Dauerhumus* ist zwar nicht so reich an schnell mineralisierbaren Nährstoffen, er wirkt jedoch als langfristiger Nährstoffspeicher mit hoher Sorptionskapazität für Kationen und Anionen. Darüber hinaus wirkt er strukturstabilisierend auf Grob- und Mittelporen, was einen optimalen Luft-, Wasser- und Wärmehaushalt begünstigt (ebd.).

Dauerhumus entsteht dabei laut BLUME (2011) aus relativ schwer und langsam mineralisierbaren Stoffgruppen (Lignine, Polyphenole, sonstige Aromata). Diese werden aufgrund ihrer relativ hohen

Widerstandskraft gegen mikrobiellen Abbau (*Rekalzitranz*) langsam zu den dunkel gefärbten Huminstoffen (*Kolloiden*) umgebaut (ebd.) (s.a. Kap. 7.2.3).

Entscheidend für eine hohe Humifizierungsrate sind daher nach BLUME (2011):

- ein relativ hoher Gehalt an Lignin und Polyphenolen in den Ausgangssubstanzen,
- optimale Mineralisationsbedingungen (pH ca. 6, gute O₂-Versorgung, regelmäßige Feucht-Trockenwechsel)
- ein relativ hohes Angebot an zweiwertigen Kationen (Ca²⁺, Mg²⁺) zur Fällung und Bildung von stabilen organo-mineralischen Verbindungen (Ton-Humus-Komplexe).

7.2 Bodenfruchtbarkeit durch Frisch-Zweig-Häcksel und Minimalbodenbearbeitung

Die landwirtschaftlich produktiven Böden in allen Breitengraden entstanden nach einer Hypothese von LEMIEUX (1994) durch Hartholz-Wälder, mit der landwirtschaftlichen Umnutzung setzte jedoch meist eine Degradierung ein (s.a. Kap. 7.1).

Wie oben bereits beschrieben, bieten Agroforstsysteme jedoch das Potential diesen Trend umzukehren, z.B. indem Baumreihen auf dem Acker durch die Laubstreu und den Feinwurzelumsatz zu einer Steigerung der Bodenfruchtbarkeit beitragen können (s.a. Kap. 2.4.3, 2.4.4.). Dass dieser Prozess durch die Nutzung von Frisch-Zweig-Häckseln (FZH) darüber hinaus erheblich beschleunigt werden kann, zeigen die viel versprechenden Ergebnisse von Ernst Götsch's Methoden in Brasilien und Afrika, mit denen er einen Zuwachs des humosen Oberbodens von mehr als 1 cm/a erreicht (GÖTSCH 1994). GÖTSCH baut mit seiner Arbeit auf den Forschungsergebnissen des französisch-kanadischen Wissenschaftler Prof. Gilles Lemieux auf. Dieser erforschte seit den späten 70er Jahren die Auswirkungen von Frisch-Zweig-Häckseln auf die Bodenfruchtbarkeit (BAMMER 2003).

Mit der Forscher*innen-Gruppe *Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux* um die Universität Laval wurden weltweit Praxisversuche durchgeführt. "Selbst nach einer einmaligen Applikation von 200m³ FZH/ha können bei unterschiedlichsten Standortbedingungen noch zehn Jahre später die bodenverbessernden Effekte deutlich erkannt werden", so fasst CARON (1994 S. 6) die Ergebnisse zusammen. Dies äußert sich insbesondere in geringerem Auftreten von Pflanzenkrankheiten und einer jährlichen Ertragssteigerung von 30-300 % (ebd.).

Der Ansatz von GÖTSCH (1997) ist insofern eine Weiterentwicklung dessen, als dass er vorschlägt die FZH auf demselben Standort, wo sie genutzt werden, auch zu produzieren.

Im deutschsprachigen Raum stellen FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau), BIOLAND, BIO SUISSE und BIO AUSTRIS (2012) in einer gemeinsamen Publikation zu den

Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit fest, dass verholzte Ernterückstände besonders zur Bildung von Dauerhumus beitragen, indem sie durch die ligninzersetzende Bodenpilze abgebaut werden. Allerdings scheint die gezielte Applikation stärker ligninhaltiger Biomasse auf deutschen Äckern bisher noch eine absolute Seltenheit. Dies bezeugt unter anderem der Fakt, dass hierzu kein einziger wissenschaftlicher Versuch im deutschsprachigen Raum gefunden werden konnte.

7.2.1 Die Rolle der Lignine für die Bildung von Dauerhumus

Pflanzenrückstände mit einem hohen Lignin- oder Polyphenol-Anteil werden aufgrund ihres weiten C:N-Verhältnisses zwar relativ langsam mit einer geringen Ammonifikation mineralisiert, sind aber von Bedeutung für die Synthese sekundärer Huminstoffe (s.a. Kap. 7.1; s.a. unten).

Bei KANDELER (2011) finden sich detaillierte Darstellungen des Lignin-Ab- und -Umbaus, die hier stark gekürzt dargestellt werden sollen:

Die Vorgänge beim Ligninabbau sind zwar noch nicht eindeutig geklärt, sicher scheint jedoch die Tatsache, dass es hierfür aerobe Bedingungen und einen biologisch aktiven Boden braucht. Die Delignifizierung (Depolymerisation von Ligninen) geschieht durch enzymatische Aktivität von aeroben Mikroorganismen. Während Bakterien eher einfache Zucker und Zellulose aufspalten, können einige Pilze mit Hilfe von Enzymen auch Lignin spalten. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Weißfäulnispilze (*Basidiomyceten*). Sie emittieren oxidative Enzyme, u.a. Ligninasen, Laccasen und Hydroxyradikale. Aufgrund biochemischer Persistenzfaktoren werden von den delignifizierenden Mikroorganismen andere Energiequellen für ihre ATP-Synthese benötigt. Daher spricht man von einem Co-Metabolismus (ebd.).

Dies scheint einer der Vorteile der Verwendung von Frisch-Zweig-Häcksel zu sein, denn diese enthalten neben Lignin auch leicht verfügbare Energiequellen wie Aminosäuren, Proteine, Zucker, Cellulose und Hemicellulose (LEMIEUX 1996).

Aus den obigen Darstellungen leitet KANDELER (2011) die Hypothese ab, dass Lignin die wichtigste Ausgangssubstanz der mikrobiellen Humifizierungsprozesse sei. Die Huminstoffbildung wäre somit ein zufälliges Nebenprodukt des Ligninabbaus (ebd.).

BLUME (2011) und SCHEFFER (1994)⁶ halten die zentrale Bedeutung des Lignins als wichtigste Ausgangssubstanz der Huminstoffsynthese sogar bereits für allgemein wissenschaftlich anerkannt. Begründet wird dies hier mit der chemischen Ähnlichkeit beider Stoffgruppen, denn beide enthalten aromatische Ring-Verbindungen mit Hydroxyl- (-OH) und Methoxygruppen (-CH₃) (s.a. Abb.17/18). Wie dies genau unter Einwirkung von Mikroorganismen stattfindet, sei jedoch noch umstritten (BLUME 2011).

⁶ SCHEFFER (1994) fasst zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen zusammen, die auf Grund der Suche nach Verwendungsmöglichkeiten für große Mengen technischer Lignine, einem Abfallprodukt der Zelluloseindustrie, durchgeführt wurden.

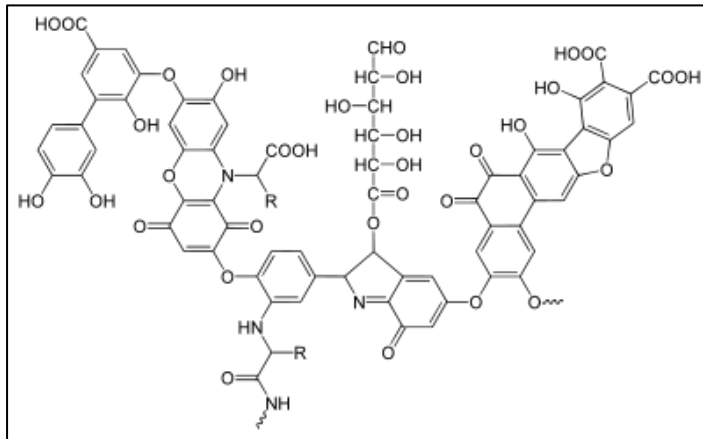


Abbildung 17: Huminsäurestruktur

(online:https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d0/Humic_acid.svg/400px-Humic_acid.svg.png)

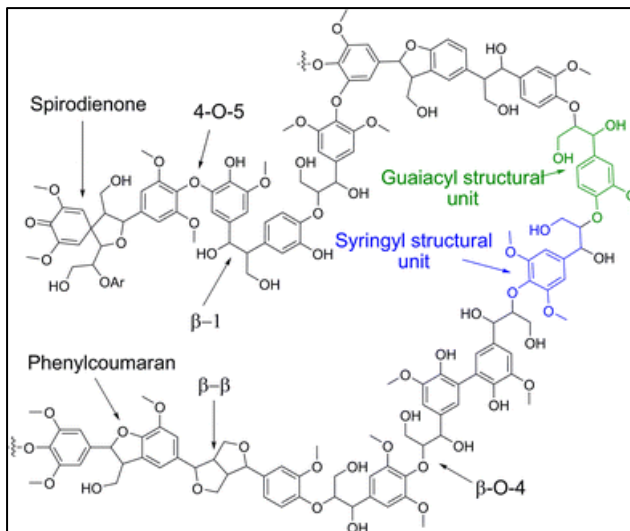


Abbildung 18: Hartholz lignin

(online:<http://pubs.rsc.org/services/images/RSCpubs.ePlatform.Service.FreeContent.ImageService.svc/ImageService/ArticleImage/2010/GC/c001389g/c001389g-f1.gif>)

Die genaue Beschreibung der Humusbildung durch Lignin beziehungsweise Frisch-Zweig-Häcksel in Feldversuchen sei nur in langjährigen Versuchen von mehr als zehn bis zwölf Jahren möglich, so SCHEFFER (1994). Solche Dauerversuche halten ebd. und QUINKENSTEIN (2011) für dringend notwendig, um dem weltweiten Verlust von Bodenfruchtbarkeit auf Ackerstandorten entgegen zu wirken.

7.2.2 Bodenfruchtbarkeit und Bodenlebewesen

Die Bedeutung eines aktiven Bodenlebens für die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit wurde bereits in Kap. 7.1 und 7.2.1 angedeutet und soll im Folgenden genauer untersucht werden. Insbesondere soll dargestellt werden, welche Potentiale damit verbunden sind und wie diese durch geeignetes Management gefördert werden können.

LEHMANN et al. (2011) stellen fest, dass die Gesundheit und Vielfalt von mikrobiellem Bodenleben die Funktionsfähigkeit von Böden Ökosystemdienstleistungen zu erbringen entscheidend beeinflusst. Die Bodenstruktur, Nährstoffkreisläufe, Belüftung, Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten, Kohlenstoffspeicherkapazität und der Wasserhaushalt hängen davon ab (ebd.).

Es ist jedoch auch entscheidend welche MO-Gruppen im Boden vorkommen: In weniger gestörten Waldböden existiert mehr pilzliche als bakterielle Biomasse, in gestörten, landwirtschaftlich bearbeiteten Böden existieren mehr Bakterien im Verhältnis zu den Pilzen⁷ (LOWENFELLS & LEWIS 2006) (s.a. Abb.19).

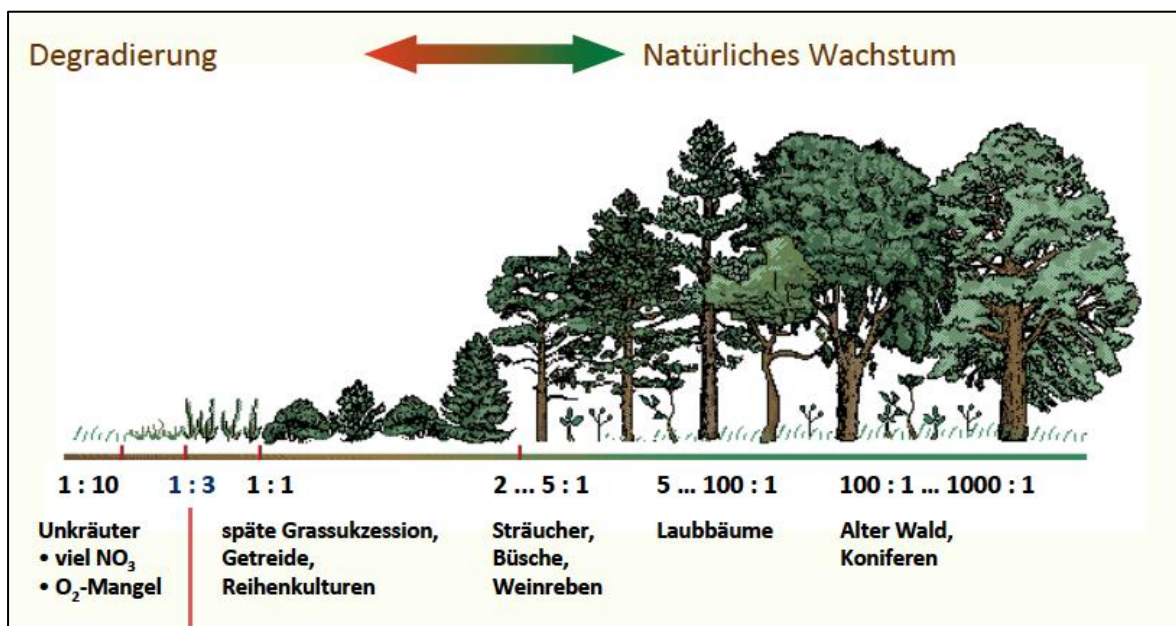


Abbildung 19: Pilz-Bakterien-Verhältnis verschiedener Sukzessionsstadien / Ökosysteme (Näser 2015)

⁷ Bei den meisten Laubbäumen und -sträuchern liegt das optimale Verhältnis von Pilzen zu Bakterien bei 10:1 bis 300:1 (LOWENFELLS & LEWIS 2006). Pioniergehölze wie Erle, Birke und Pappel präferieren in den ersten Jahren sogar ein fast ausgeglichenes Verhältnis und später 5:1 bis 100:1 (ebd.).

Ein enges C:N-Verhältnis und hohe pH-Werte fördern bakterielle Aktivität, ein energiereiches weites C:N-Verhältnis und pH Werte unter 6,5 fördern dagegen eher das Wachstum von Pilzen (JÖRGENSEN 2011), derer es zur Umwandlung des Lignin bzw. FZH bedarf (s.a. Kap. 7.2.1). Mehrfach betont auch LEMIEUX (1994) im Zusammenhang mit FZH die besondere Bedeutung von Mykorrhiza.

Zwar mykorrhizieren schätzungsweise 90 % aller Pflanzen (LOWENFELLS & LEWIS 2006), darunter auch viele ackerbauliche Kulturpflanzen, dennoch ist die Mykorrhizierung⁸ in AFS ist deutlich höher als in reinem Ackerbau (BRIGGS 2012). Dies führt insbesondere zu einer besseren Phosphor-Verfügbarkeit, wodurch weniger P-Düngung benötigt wird (ebd.).

Auch durch Minimalbodenbearbeitung und Mulchapplikation in Form von FZH (s.a. oben) wird die Mykorrhizierung gefördert.

Überdüngung mit leicht löslichem P und N, sowie Anaerobie und starker Einsatz von Herbiziden sollten jedoch unter diesem Gesichtspunkt vermieden werden (HALLAMA 2015). Eine minimale Bodenbearbeitung ist für langsam wachsende Pilze besonders wichtig, da die Hyphen sonst schnell zerstört werden und lange zur Regeneration brauchen (OTTOW 2011a).

Mykorrhiza haben zahlreiche positive Auswirkungen auf die Nährstoffversorgung der Kulturpflanzen sowie den Aufbau von Bodenfruchtbarkeit:

- Verbesserung der Bodenstruktur durch Verklebung von Aggregaten mittels des Glyko-Proteins Glomalin (ebd.; GOSLING et al. 2006).
- Aufbau von Dauerhumus durch Umwandlung von Polyphenolen wie Lignin: Weißfäule-Pilze (*Basidiomycota*) spielen eine wichtige Rolle bei der Delignifizierung (s.a. oben) und leben zum großen Teil in der Streuauflage beziehungsweise in oberflächlich aufgebrachtem FZH-Mulch (PRILLINGER 2011).
- Verbesserung der Wasseraufnahme: Mykorrhiza-Hyphen haben eine größere Saugspannung und einen kleineren Durchmesser, hierdurch haben sie eine größere Boden-Kontaktfläche als Feinwurzeln. Hierdurch werden mykorrhizierende Pflanzen besonders in Trockenperioden und auf Böden mit geringer Wasserhaltekapazität besser mit Wasser versorgt, was in einer 10-40%

⁸ Die bedeutendsten Mykorrhiza sind Endomykorrhiza und Ektomykorrhiza (EM). EM dringt nur in die Zellzwischenräumen der Rinde (Exodermis) von Pflanzenwurzeln ein und bildet dort ein dichtes Netz (Hartig'sches Netz). Die meisten Fruchtkörperbildenden Basidiomyceten gehören zu dieser Gruppe (OTTOW 2011a). Sie treten vor allem bei mehrjährigen Pflanzen wie Waldbäumen auf (LOWENFELLS 2006) und haben im Vergleich zu Endomykorrhiza eine eher untergeordnete Rolle. Außerdem haben Ektomykorrhiza eine höhere Wirtsspezifität als Endomykorrhiza. Endomykorrhiza wachsen in die Wurzelzellen von vielen krautigen, einjährigen Pflanzen aber auch von Sträuchern und einigen Weichholzbäumen. Eine für viele Kulturpflanzen bedeutende Form der Endomykorrhiza ist die Arbuskuläre Mykorrhiza (AM) (OTTOW 2011a)

höheren Photosyntheseaktivität und Ertragssteigerungen resultiert (GOSLING et al. 2006; LEHNERT et al. 2016; OTTOW 2011a).

- Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit mykorrhizierender Kulturpflanzen gegenüber vielen nicht-mykorrhizierenden Beikräutern (z.B.: Vogelmiere, Melde, Ampfer) (HALLAMA 2015),
- Schutz der Pflanzen vor Pathogenen durch eine Induzierung von Resistenzen und Antibiotika-Produktion von Mykorrhiza Symbionten (ebd.),
- Bessere Nährstoffversorgung durch Lösung mittels Produktion organischer Säuren (vor allem P) und Transport von ganzen Aminosäuren, bzw. nicht vollständig mineralisierten Makro- und Mikronährstoffen mit teils reduzierter Mobilität (z.B. N, Zn, Cu, Fe und Ca) in Hyphen (GOSLING et al. 2006),
- Besonders AM⁹ gehen häufig mit verschiedenen Pflanzen zugleich eine Symbiose ein. Durch Wurzelkontakt werden neue Bäume infiziert und so entstehen Verbundsysteme von Hyphen, die oft mehrere Hektar groß sind und Nährstoffe zur optimalen Versorgung zwischen den Pflanzen verlagern können (OTTOW 2011).
- Förderung der mikrobiellen Aktivität (unter anderem Förderung von frei lebenden N-fixierende Bakterien) und Mobilität durch Verbesserung der Bodenstruktur (HALLAMA 2015; GOSLING et al. 2006),
- Umbau des im Boden verfügbaren NO₃⁻ in NH₄⁺ (LOWENFELLS & LEWIS 2006). NH₄⁺ ist weniger Auswaschungs-gefährdet, da es sich an Kationen-Austausch-Kolloide anlagern kann. Die Aufnahme kann im Gegensatz zu NO₃⁻ von Pflanzen bedarfsgerecht selbst reguliert werden (SOMMER & SCHERER 2007). Dadurch kommt es zu einem kompakteren Wuchs mit geringerem Wasserbedarf und höheren Trockenmassegehalt (ebd.). Außerdem kann so das Boden C:N-Verhältnis weiter bleiben, durch eine geringere Mineralisierungsrate kommt es leichter zu einer C-Sequestrierung und damit zu Humusaufbau (CROPP & BONIN 2016).

7.2.3 Frisch-Zweig-Häcksel und Dauerhumus

Bei der Umformung in Huminstoffe (s.a. Kap. 7.2.1) werden vorher fest im Lignin gespeicherte Energie und Nährstoffe über einen langen Zeitraum auch für andere Mikroorganismen (MO) verfügbar gemacht (LEMIEUX 1996).

FZH wirken optimal, wenn sie als oberflächliche Mulchschicht appliziert werden (LEMIEUX & GERMAIN 2000). Ein Grund hierfür ist vermutlich, dass die delignifizierenden Basidiomyceten natürlicherweise vor allem in der Streuschicht von Wäldern vorkommen (PRILLINGER 2011). Außerdem können so zahlreiche weitere positive Effekte von Mulch genutzt werden. So bietet Mulch Lebensraum für das Bodenleben, verhindert Bodenverschlemmung und Erosion bei

⁹ Die geringe Spezifität von AM kommt darin zum Ausdruck, dass ein bestimmter Pilz ein ganzes Spektrum an benachbarten, taxonomisch verschiedenen Pflanzen mit Pilzhyphen zu einem zusammenhängenden physiologischen Netzwerk vereinen kann. Ein solches Verbundsystem zwischen mehreren Pflanzen umfasst sowohl ein gemeinsames Nährstoff-Aneignungs- als auch ein Energieverteilungssystem (OTTOW 2011).

Starkregen, verringert die Bodenverdunstung, erhöht die Wasserspeicherkapazität, verringert den Beikrautdruck und reguliert den Wärmehaushalt des Bodens (LOWENFELLS & LEWIS 2006). In mit FZH behandelten Böden werde außerdem Stickstoff vermehrt durch mikrobielle N-Fixierung und durch Mykorrhizierung für Pflanzen verfügbar, so CARON (1994).

Verbunden mit einem gesunden aktiven Bodenleben kann FZH laut LEMIEUX (1994), alle Funktionen, die sonst chemische Düngung und regelmäßige Bewässerung erfordern würden, übernehmen.

7.3 Auswahl der Baumarten und der FZH-Produktionsverfahren

Die Auswahl der Bäume für die Hackschnitzelproduktion sollte sich an der Frage orientieren, welche Baumarten(-Mischungen) am besten für die FZH-Produktion geeignet sind.

Die Bodenstruktur-bildende Wirkung von Lignin hängt vom Ursprung des Lignins und der Position seiner Methoxyl-Gruppen ab (LEMIEUX 1996) (s.a. Kap. 7.2.1).

Vergleichsversuche haben gezeigt, dass die klassischen Klimax-Hartholz-Laubholzbäume wie Eiche (*Quercus spp.*), Buche (*Fagus spp.*) oder Ahorn (*Acer spp.*) am besten für FZH geeignet sind.

Die Äste für die Produktion von FZH sollten einen Durchmesser von maximal 7 cm haben, da hier das Lignin noch in einer für Mikroorganismen leichter umzubauenden Polyphenolstruktur vorliegt (LEMIEUX & GERMAIN 2000). Da die Astung der Wertholz- Bäume stattfinden soll, bevor die zu entfernenden Äste einen Durchmesser von 3 cm erreicht haben (s.a. Kap. 10.2.2), würden sich diese zusammen mit dem Strauchschnitt der Windschutzhecken und Wildobstreißen hervorragend für die Verarbeitung zu FZH eignen.

Da hierbei jedoch nur kleinere Mengen anfallen, sollten darüber hinaus auch schnell wachsende Gehölze in Form von KUP für die FZH-Produktion integriert werden.

Die Ernte der KUP für FZH sollte durchgeführt werden bevor Stämme einen Maximaldurchmesser von 7 cm erreichen (s.a. oben). Dies liegt im Rahmen der gängigen Umtriebsintervalle (3-5 Jahre) der Mini-Rotation in KUP-Anlagen (REEG et al. 2009).

7.3.1 Planung der Mini-Rotations-KUP

Eigenschaften, die Bäume für eine Mini-Rotations-KUP aufweisen sollten, sind nach SCHILDBACH et al. (2009) folgende:

- Hohe Biomasseleistung
- Rasches Jugendwachstum
- Gutes Stockausschlagsvermögen
- einfache Vermehrbarkeit
- geringe Anfälligkeit für Schädlinge

In der allgemeine Einführung in KUP (s.a. Kap. 2.1, 5.9.1) wird aufgezeigt, dass in KUP häufig schnell wachsende Weichholz-Pionier-Gehölze wie Pappel (*Populus spp.*), Weide (*Salix spp.*) oder auch Birke (*Betula spp.*) gepflanzt werden, laut Lemieux und Germain (2000) sind diese allerdings durch ihrer Lignin-Struktur weniger gut für FZH geeignet (s.a. Kap. 7.3). Daher sollte der Kriterienliste noch der Punkt "Lignin-Struktur von Harthölzern" hinzugefügt werden. Um die Vielfalt des Bodenlebens zu fördern, wird allerdings eine Mischung mehrerer Baumarten für FZH empfohlen, die auch Weichholzarten enthalten könne (ebd.). Auch BÖHM (2012) und BIELEFELDT et al. (2008) empfehlen aus ökologischen und phytosanitären Gründen die Anpflanzung von Arten oder zumindest Sorten-Mischungen in KUP.

Nach vergleichendem Studium der Standorteignung, der die oben genannten Kriterien erfüllenden Arten bei SCHILDBACH et al. (2009), kommen insbesondere Pappeln (*Populus spp.*) und Robinien (*Robinia pseudoacacia*) in Frage. Auch Weiden (*Salix spp.*) werden häufig in KUP verwendet. Sie bevorzugen jedoch etwas feuchtere und nährstoffreichere Standorte (BIELEFELDT et al. 2008; SCHILDBACH et al. 2009; SOKADEWESSELY et al. 2010). Daher kommen diese auf dem Standort nicht in Frage.

Außerdem werden neben den genannten Arten bei BRIGGS (2012) noch andere Arten empfohlen wie Paulownia (*Paulownia spp.*), Sandbirke (*Betula pendula*), Winterlinde (*Tilia cordata*), Grauerle (*Alnus incana*), Hasel (*Corylus avellana*), die für KUP unter den gegebenen Standortbedingungen geeignet erscheinen. RECKIN (mdl. Mit. 2016) empfiehlt darüber hinaus auch die Integration von Hainbuche (*Carpinus betulus*), Spitzahorn (*Acer plantanoides*), Eschen-Ahorn (*Acer negundo*), Feldahorn (*Acer campestre*) und Flatterulme (*Ulmus laevis*). Alle der hier genannten Arten verfügen über die Fähigkeit des Stockausschlages (ebd.). Allerdings wurde in Gesprächen mit Expert*innen Zweifel an den Zuwachsleistungen dieser Baumarten auf dem gegebenen Standort geäußert (mdl. Mit. BÖHM 2016, KAYSER 2016). BIELEFELDT et al. (2008) empfiehlt für KUP auf trockenen, nährstoffarmen Böden besonders die Eberesche (*Sorbus aucuparia*).

Es wird eine Mischung aus überwiegend wuchsstarken Arten wie Robinien und Pappeln vorgeschlagen. Entsprechend einer Empfehlung von WINTERLING, BORCHERT & WIESINGER (2014) wird eine Mischung überwiegend heimischer Gehölze mit einem Gesamtanteil von etwa 20 % über die gesamte KUP verteilt. Die Mischung soll zu etwa 10 % aus der Eberesche und weiteren 10 % je nach Verfügbarkeit bei den Baumschulen aus einer Mischung der anderen oben genannten Arten bestehen: Winterlinde (*Tilia cordata*), Grauerle (*Alnus incana*), Hasel (*Corylus avellana*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Spitzahorn (*Acer plantanoides*), Eschen-Ahorn (*Acer negundo*), Feldahorn (*Acer campestre*), Flatterulme (*Ulmus laevis*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*).

Um Krankheitsanfälligkeit zu minimieren, wird vorgeschlagen bei den jeweiligen Baumarten eine Mischung verschiedener Hybride mit unterschiedlichem genetischem Ursprung zu pflanzen (BURGESS 2004).

7.3.1.1 Robinie (*Robinia pseudoacacia*)

Auch wenn die Robinie aus naturschutzfachlicher Sicht aufgrund ihrer Invasivität oft kritisch betrachtet wird (s.a. Kap. 4.4.1), ist sie doch besonders auf trockenen Grenzertragsstandorten und zur Unterstützung des Bodenfruchtbarkeitsaufbaus interessant (VESTE 2013).

Dabei sind die Angaben zu den jährlichen Zuwachsraten je nach Quelle sehr unterschiedlich und schwanken zwischen 3 bis 19 Tonnen Trockenmasse (t_{atro}) /ha/a (ebd.; RÖHLE et al. 2009; SCHÜLER, WEISSENBACHER & SIEBERER 2006).

Selbst auf extrem nährstoff- und niederschlagsarmen Grenzertragsstandorten in der Bergbaufolgelandschaft der Lausitz konnte die Robinie Biomassezuwächse von 4 bis 6,9 t_{atro} /ha (unter diesen Bedingungen meist höher als Pappel und Weide mit 1 bis 6 t_{atro} /ha) verzeichnen (QUINKENSTEIN 2011). Auch hier wurde sie zusätzlich zum Zweck der Bodenfruchtbarkeitssteigerung eingesetzt. Wie andere Leguminosen aus der Familie der *Fabaceae* ist sie in der Lage mit Hilfe von Rhizobien atmosphärischen Stickstoff zu fixieren. In KUP kann bei einer Blattbiomasse von 1300 bis 2600 kg/ha und den oben genannten Zuwachsraten des Holzes mit einer Stickstofffixierung in der gesamten oberirdischen Biomasse von 48 bis 85 kg/ha/a N und zusammen mit der Wurzelmasse (etwa 40 % der Gesamtbiomasse) mit einer Fixierungsleistung von 76 bis 140 kg/ha/a N gerechnet werden (VESTE 2013).

Bereits August Bier berichtet von der erfolgreichen Verwendung der Robinie zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit im Sauener Wald in Brandenburg (KRAUSS 1986).

Die Bodenqualität wird langfristig jedoch vor allem durch eine Steigerung der organischen Bodenmasse verbessert (s.a. Kap. 7.1). Diesbezüglich hat QUINKENSTEIN (2011) das Kohlenstoffspeichervermögen (*C-Sequestration*) von Robinie in KUP untersucht. Er kommt

zu dem Ergebnis, dass durchschnittlich eine jährliche Kohlenstoffspeicherung von 7,0 t/ha in den obersten 60 cm des Bodens stattfindet (s.a. Kap. 2.4.2). Die Blätter haben ein enges C:N-Verhältnis und werden schnell mineralisiert, während der Wurzelumsatz deutlich mehr Kohlenstoff im Boden aufbaut (ebd.) (s.a. *Nährhumus & Dauerhumus* Kap. 7.1).

Auch die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten sind ein Vorteil der Robinie. So ist diese geeignet für Bioenergie, Holzfasern, Wertholz, Pfähle, den (Spielplatz-)Außenbau, Viehfutter und als Bienenweide (ebd.). Je nach Verwendungszweck sollten jedoch verschiedene Sorten gewählt werden.

Für den KUP-Anbau wurden in Deutschland bisher vor allem Pappeln und Weiden untersucht. Bei der Robinie liegen vergleichsweise wenige Informationen vor (ENGEL & KNOCH 2012). Auch eine Züchtung von speziellen Robiniensorten fand in Deutschland bisher nicht statt, lediglich einige Sorten aus dem Ausland wurden hier vermehrt (SOKADEWESSELY et al. 2010).

SCHÜLER, WEISSENBACHER & SIEBERER (2006) empfehlen die Klonsorten *Tullin 81/62*, *Tullin 81/19* und *Appalachia* wegen ihrer hohen Biomasse-Zuwachsraten für den Energieholzanbau.

7.3.1.2 Pappel (*Populus spp.*)

Pappeln sind aufgrund ihrer hohen Zuwachsraten von 6 bis 26 t_{stroh}/ha/a auf KUP in Deutschland am weitesten verbreitet (RÖHLE et al. 2009).

Sie haben zwar besonders an die Wasserversorgung etwas höhere Ansprüche als die Robinie, es gibt jedoch zahlreiche Klonsorten, von denen einige auch unter trockeneren Bedingungen gute Wuchsleistungen erbringen können, besonders solche mit Abstammung von Balsampappeln (*Populus trichocarpa*) (SKODAWESSELY et al. 2010).

Als leistungsstarke Pappelsorten, die auch für trockenere Standorte geeignet sind, gelten insbesondere *Max 1*, *Max 3* und *Max 4*, *Baupré*, *Matrix 49*, *Andosoggin* und *Muhle-Larsen* (JANSSEN 2012; SCHILDBACH et al. 2009; SOKADEWESSELY et al. 2010).

Der Pappel-Hybrid *Beaupré* hatte in Großbritannien an drei Versuchsstandorten mit jeweils unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen mit Abstand die höchsten Zuwachsraten in Höhe und Stammdurchmesser (BURGESS 2004). Er wird aufgrund der Blattrostanfälligkeit aber nicht mehr zum Anbau empfohlen (SCHILDBACH et al. 2009).

7.3.1.3 Eberesche (*Sobus aucuparia*)

Es konnten keine Hinweise auf größere Flächen mit Ebereschen im KUP-Anbau gefunden werden. Da es auch keine speziellen schnellwüchsigen Selektionen gibt, ist mit deutlich geringeren Zuwachsraten als bei Pappel und Robinie zu rechnen. Allerdings gilt die Eberesche als

anspruchlos und zugleich besonders Bodenfruchtbarkeits-aufbauend (BIELEFELDT et al. 2008). Sie könnte also in kleinerem Umfang in die KUP-Streifen integriert werden. Aufgrund des bisher geringen Anbauumfangs in KUP konnten keine speziellen Sorten gefunden werden.

7.4 Abschließende Überlegungen zur FZH-Produktion

Eine endgültige Auswahl der Robinien- und Pappel-Sorten sollte vor dem Hintergrund der hier erarbeiteten Informationen in Abhängigkeit von deren Verfügbarkeit im Gespräch mit Baumschulen getroffen werden.

SCHILDBACH et al. (2009) empfehlen für einen 3 bis 5 jährigen Umtrieb (Mini-Rotation) eine Mindestpflanzenanzahl von 10.000/ha. Dies würde zu einem Pflanzverband von 1,6 x 0,6 m führen (der Reihenabstand 1,6 m ist Management-bedingt: s.a. Kap. 10.1.3.3). Ungarische Versuche haben jedoch gezeigt, dass bei einer fünfjährigen Umtriebszeit in einem 1,6 x 0,3 m Verband die höchsten Zuwächse pro Hektar erzielt werden können (RÉDEI & VEPERDI 2005). Dies würde allerdings eine Pflanzenanzahl von etwa 21.000 /ha zur Folge haben. Da die Pflanzung voraussichtlich manuell stattfinden wird (s.a. Kap. 10.1.3.3), erscheint es sinnvoll die Anzahl und somit den Pflanzaufwand und auch die Kosten (s.a. Kap. 11.2) etwas geringer zu halten. Allerdings ist auch damit zu rechnen, dass es im ersten Jahr zu Ausfällen kommt, die mit einkalkuliert werden sollten. Beispielsweise lagen die durchschnittlichen Verlustraten verschiedener Pappelklone an drei verschiedenen Versuchsstandorten in England bei 18 %. Somit wird vorgeschlagen einen Pflanzabstand von 1,6 x 0,4 m zu wählen, was eine Pflanzenanzahl von etwa 15.500/ha ergibt.

Um zu errechnen wie viel Fläche für die Produktion von einer ausreichenden Menge FZH benötigt wird, wird von einer Ertragsschätzung für Standorte auf sandigen Böden mit durchschnittlich 7-15 t_{atro} /ha und Jahr für eine Mischung aus Pappel, Weide und Robinie ausgegangen (BÖHM et al. 2012). Mit zunehmender Standzeit ist aufgrund des besser etablierten Wurzelsystems zu erwarten, dass auch die jährliche Ertragsleistung steigt (ENGLER & KNOCH 2012). Nach WITTKOPF, KIRCHBAUM & BAUDISCH (2003) entspricht 1 t_{atro} etwa 7 Schüttraummetern (Srm) Hackschnitzel. Damit ergibt sich eine Leistung von etwa 50-100 Srm/ha KUP. Da es sich hierbei um jährliche Angaben handelt, die Ernte aber nur alle 3-4 Jahre stattfindet, können somit bei 3-jährigem Umtrieb 150-300 Srm/ha und bei 4-jährigem 200-400 Srm/ha geerntet werden. FZH-Applikationsmengen werden alle 3 bis 4 Jahre in der Höhe 150 - 300 Srm/ha empfohlen (CARON 1994). Somit könnte 1 ha KUP relativ genau 1 ha Acker mit ausreichenden FZH versorgen.

Alternativ könnten die KUP-Streifen einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Mittels einer Ausdünnung der Pflanzdichte zu einem späteren Zeitpunkt könnten die KUP-Pflanzungen durch eine längere Umtriebszeit auch zur Erzeugung von Industrieholz, beziehungsweise im Fall von Robinie auch als Holz für den Außenbau vermarktet werden (vgl. ROHE et al. 2009) (s.a. Kap. 5.9.2).

8 Synthese des Designs: Integration der verschiedenen Komponenten

8.1 Flächen des Designs

Potentiell stehen für die Anlage des AFS die 30 ha zur Verfügung, über die der Eigentümer Herr von Sonntag verfügt. Jedoch soll zunächst nicht die ganze zur Verfügung stehende Fläche bepflanzt werden, um nach ersten Ergebnissen ggf. eine Abwandlung des Systems vornehmen zu können. Daher stehen die östliche Ackerfläche und die Grünlandfläche für eine weitere konzeptionelle AFS-Entwicklung im Laufe der nächsten Jahre zur Verfügung. Das hier vorgestellte Design beschränkt sich vorerst auf die südliche und nordwestliche Teilfläche. Die nordwestliche Teilfläche birgt die Besonderheit, dass sie eine sehr unregelmäßige Form mit mehreren kleinen Ausbuchtungen aufweist und an der schmalsten Stelle nur etwa 75 m breit ist. Soll für die Baumreihen ein Abstand von 36+2 m (s.a. Kap. 8.2.1) eingehalten werden, ist dies ganz knapp nicht möglich. Deshalb scheint es sinnvoll, Baumreihen nur auf der unteren Teilfläche zu integrieren und auf der oberen Teilfläche eine Windschutzhecke sowie eine kleinflächige KUP anzulegen. In Abb. 20 ist das Gesamtdesign zu sehen, das im Folgenden näher erläutert werden soll.

Design der Projektfläche



Abbildung 20: Design der Projektfläche (eigene Darstellung)

8.2 Baumreihen auf der südwestlichen Teilfläche

Die Teilfläche südwestlich der ehemaligen Schmelzwasserrinne weist eine Größe von 10 ha auf. Da aus den Aussagen des Eigentümers und des Pächters abgeleitet werden konnte, dass die landwirtschaftliche Produktion weiterhin möglichst uneingeschränkt durchführbar bleiben und der Arbeitsaufwand gering gehalten werden soll, erscheint die Etablierung eines silvoarablen Alley-Cropping-Systems sinnvoll, bei dem Baumreihen streifenweise auf der Fläche integriert werden (s.a. Kap. 2.1). In Abb.21 ist eine Übersicht der Komponenten zu sehen, die im Folgenden erläutert werden.

Reihen		Wertholzkomponente		Zwischenräume		
Reihe (O - W)	Länge	Anzahl Verbund (Z-Bäume)	Wertholzart	Gehölzart	Räumliche Anordnung	Anzahl
1	360 m	48 (24)	Mischung	Sanddorn	je 6 Stk in 1 m Abstand	144
2	360 m	48 (24)	Mischung	Aronia	je 4 Stk 1,5 m Abstand	96
3	355 m	46 (23)	Baumhasel			
4	345 m	46 (23)	Mischung	Aspe, Sandbirke	je 1 Baum	23
5	280 m	36 (18)	Mischung			
6	180 m	24 (12)	Mischung			
7	100 m	12 (6)	Mischung			
Gesamt		260 (130)				

Abbildung 21: Übersicht über die Gestaltung der Baumreihen (eigene Darstellung)

8.2.1 Ausrichtung und Abstände

Baumreihenabstand 38 m (36 m Ackerstreifen + 2 m Baumstreifen)

Da der Baumreihenabstand möglichst an die Arbeitsbreiten der Bewirtschaftungstechnik angepasst sein sollte, wird daher ein Baumreihenabstand von 36 m (doppelte Arbeitsbreite s.a. Kap.4.2.2) zuzüglich einer Baumstreifenbreite von 2 m vorgeschlagen (s.a. Kap.5.6).

In den gemäßigten Breiten erscheint die Nord-Süd-Ausrichtung besonders geeignet (s.a. Kap.5.6), daher sollen mit dieser Ausrichtung im Abstand von 38m sieben Reihen unterschiedlicher Länge angelegt werden. Die kürzeste, westliche Reihe wäre 100 m lang; die längste, östlichste Reihe 360 m. Dabei ist ein Mindestabstand von 4,5 m zur Straße und eine ausreichende Vorgewende-Fläche von 18 m Länge (einfache Arbeitsbreite, s.a. Kap.4.2.2) am jeweils nördlichen und südlichen Ende der Reihen berücksichtigt.

8.2.2 Wertholzkomponente

Wertholzbaumarten

Alle in Kap. 5 ausgewählten Baumarten (Wildbirne, Traubeneiche, Robinie, Speierling, Elsbeere) sollten gleichmäßig in den Baumreihen verteilt werden. Als Versuch kann die Anpflanzung der Baumhasel auf einer einzelnen Reihe erfolgen.

Verbundpflanzung je 2 Wertholzbäume

Wie in Kap. 5.5 dargestellt, ist eine Verbundpflanzung von 3-4 Bäumen sinnvoll. Aufgrund des hieraus resultierenden deutlich höheren Pflanzaufwandes und des geringeren Freiraumes für Zwischenpflanzung (s.a. unten), sollen jeweils nur 2 Bäume einer Art im Verbund gepflanzt werden. In einem Verbund werden immer Bäume der gleichen Art zusammen gepflanzt.

Bei einem Abstand von 15 m (s.a. Kap.5.6) könnten insgesamt 130 Wertholzbäume auf der Fläche gepflanzt werden. Bei einer Verbundpflanzung von je 2 Bäumen mit 2 m Abstand würden anfangs insgesamt 260 Bäume im effektiven Abstand von 13 m gepflanzt und nach etwa 10 Jahren auf den jeweils am besten entwickelten Baum jedes Verbundes selektiert werden. Das entspricht einer Zieldichte von 13 Bäumen/ha. Insgesamt würde durch die Baumreihen 4,9 % der Gesamtfläche des unteren Schrages bedeckt werden. Dies entspricht 4.900m².

8.2.3 Modellcharakter: Integration von Wildobst und Maxi-Rotations-Bäumen

Von dem Flächeneigentümer wurde explizit gewünscht, dass das AFS einen Modellcharakter haben soll um Landeigentümer*innen, Bäuer*innen und politische Entscheidungsträger*innen zur Nachahmung zu inspirieren.

Daher scheint es sinnvoll, neben der Komponente "Wertholz" noch andere Komponenten exemplarisch auf der südwestlichen Teilfläche zu etablieren. Dafür bieten sich die Freiräume zwischen den Wertholzbäumen besonders in den ersten 25 Jahren an, bevor die Beschattungsleistung durch die sich ausbreitenden Kronen stärker zunimmt (s.a. Kap.5.2).

Aus Kapitel 5.9 und Kapitel 6 konnte abgeleitet werden, dass Fruchtertragskomponenten und Maxi-Rotations-Bäume eine weitere interessante Komponente für AFS sein können.

Wildobst

Auch wenn es in diesem Projekt aus ökonomischen und technischen Gründen nicht sinnvoll erscheint, in größerem Umfang Fruchtertragskomponenten zu etablieren (s.a. Kap. 6), könnten die am besten geeigneten Wildobstarten **Aronia und Sanddorn** (s.a. Kap. 6.3) auf jeweils einer Wertholzreihe in die Zwischenräume gepflanzt werden. Wenn die Beschattung durch die Wertholzbäume zunimmt, werden die Sträucher nach einer Standzeit von 25-30 Jahren gerodet. Da die Sträucher einen größeren Standraum beanspruchen, sollten die ersten beiden Reihen eine Breite von 3m (statt 2 m) aufweisen.

In **Reihe 1** sollen zwischen die Wertholzbäume mit einem Abstand von 4 m zum nächsten Wertholzbaum eine Reihe von 6 Sanddornpflanzen mit je 1 m Abstand gesetzt werden, wobei eine der mittleren Pflanzen zur Bestäubung männlich ist. Dies würde in 144 Sanddornpflanzen (120 weibliche und 24 männliche, Sortenwahl s.a. Kap. 6.2.1) resultieren.

In **Reihe 2** werden je Zwischenraum 4 Aroniasträucher mit je 1,5 m Abstand gepflanzt, was insgesamt 96 Aroniapflanzen ergibt (Sortenwahl: s.a. Kap. 6.2.2). Daraus ergibt sich ein Abstand von 4,25 m zum nächsten Wertholzbaum.

In **Reihe 3** werden lediglich 46 Bäume Baumhaseln gepflanzt. Hier werden 40 Exemplare der Baumhasel mit der großfrüchtigen Sorte *Granat* sowie 6 Bäume anderer bei der Baumschule verfügbarer Sorten zur Kreuzbestäubung gepflanzt (s.a. Kap. 6.2.3).

Maxi-Rotation

Als eine weitere Variation bietet es sich an, Maxi-Rotations-Bäume in die Zwischenräume zu pflanzen. Dies ist gut möglich, weil sich für die Maxi-Rotations-Bäume ein Baumabstand von 5-7 m anbietet (vgl. Kap. 5.9.1). Dieses System wurde beispielsweise in Großbritannien erprobt (ebd.) und erscheint durch einen schnelleren Kapitalrückfluss und damit eine ökonomische Risikostreuung interessant. Eine Ernte sollte planmäßig nach etwa 15-20 Jahren erfolgen, bevor sich der Kronenraum der Wertholzbäume.

In **Reihe 4** werden in die Zwischenräume 23 Maxi-Rotations-Bäume mit einem Abstand von 6,5 m zum nächsten Wertholzbaum gepflanzt. Dabei sollten wechselnd Sandbirke und Aspe gepflanzt werden. In jeden Zwischenraum kann je ein Maxi-Rotation-Baum gepflanzt werden. Dies ergibt eine Anzahl 12 Aspen und 11 Sandbirken (s.a. Kap.5.9.2).

Für **Reihe 5-7** soll lediglich eine Mischung der oben genannten Wertholzbäume im Verbund von je 2 Pflanzen gepflanzt werden.

8.3 KUP- und FZH-Mulch-Flächen auf dem nördlichen Schlag

Die KUP-Fläche mit ca. 2 ha wurde gezielt in die Ausbuchtungen des Solls gelegt, da hier die Streckenlängen kurz sind und dadurch eine ackerbauliche Bewirtschaftung aufgrund der häufigen Wendemanöver unwirtschaftlicher ist.

Da KUP einen Nutzungscodes für die Agrarförderung besitzen und die mit KUP zu bepflanzende Fläche zusammenhängend und größer als die Mindestschlaggröße von 3.000 m² ist, kann sie als eigener Schlag ausgewiesen werden und bleibt förderfähig (s.a. Kap. 2.5).

Die Größe der KUP als FZH-Geberfläche orientiert sich wie oben gezeigt etwa im Verhältnis 1:1 an der FZH-Mulchfläche. Diese verläuft in einem 24 m langen Streifen quer über die gesamte Länge des 825 m langen nördlichen Schlages (Begründung s.a. Kap. 6). Die Breite des Streifens ist ein Vielfaches von 6 m entsprechend der Geräte-Arbeitsbreiten, die für die gesonderte Bodenbearbeitung und Saatgutausbringung relevant sind (mdl. Mit. WINTER 2016).

Auf der Fläche werden die Reihen abwechselnd mit einer Mischung von Robinien- und Pappelsorten bepflanzt. Der Pflanzabstand liegt bei 0,4 m auf 1,6 m Reihenabstand, was eine Pflanzenanzahl von etwa 15.500 /ha bzw. 30.100 auf der Gesamtfläche ergibt (s.a. Begründung: Kap. 7). Die Anordnung in abwechselnden Reihen erfolgt vor allem aus naturschutzfachlichen Gründen und um das Befallsrisiko durch Schaderreger zu verringern (s.a. oben; BIELEFELDT et al. 2008). Außerdem wird aus den gleichen Gründen entsprechend einer Empfehlung von WINTERLING, BORCHERT & WIESINGER (2014) eine Mischung überwiegend heimischer Gehölze mit einem Gesamtanteil von etwa 20 % über die gesamte Fläche verteilt. Die Mischung soll zu etwa 10 % aus der Eberesche und weiteren 10 % je nach Verfügbarkeit bei den Baumschulen aus einer Mischung der anderen oben genannten Arten bestehen (s.a. Kap. 7.3.1: Winterlinde (*Tilia cordata*), Grauerle (*Alnus incana*), Hasel (*Corylus avellana*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Spitzahorn (*Acer plantanoides*), Eschen-Ahorn (*Acer negundo*), Feldahorn (*Acer campestre*), Flatterulme (*Ulmus laevis*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*)).

8.4 Anlage einer Windschutzhecke aus Wildobstgehölzen

Die Anlage einer Windschutzhecke ist eine sinnvolle Maßnahme, um Winderosion vorzubeugen und Windschäden an Ackerkulturen zu vermeiden. Damit entspricht eine Windschutzhecke dem Wunsch des Pächters nach Winderosionsschutz. Werden für die Anlage Wildobstgehölze gewählt, erfüllt sie einen zusätzlichen naturschutzfachlichen Nutzen: Für verschiedenste Artengruppen bieten die Wildobstarten eine Nahrungsgrundlage, von der Schlehe (*Prunus spinosa*) ernähren sich beispielsweise 137 Insektenarten (LfL 2013). Außerdem werden durch die Blütentracht auch viele nektar- und pollensuchende Insekten angelockt (Schmetterlinge, Hummeln, Fliegen, Wild/Honigbienen). Eine Heckenstruktur ist außerdem ein wichtige Brutstätte für viele Vogelarten (s.a. Kap. 4.2.4).

Damit Windschutzpflanzungen ihre optimale Wirkung entfalten können, sollten nach POSSIT (2012) einige Aspekte berücksichtigt werden. Besonders effektiv ist der Windschutz, wenn die Hecke im rechten Winkel zur Hauptwindrichtung (Westen) gepflanzt wird. Die Durchströmbarkeit sollte im unteren Bereich der Hecke gering sein und nach oben hin zunehmen. In diesem Zusammenhang scheint laut POSSIT (2012) eine Durchströmbarkeit von 40% ideal, um Düsenwirkungen zu vermeiden. Schmale Hecken sind insgesamt wirkungsvoller als breite. Hinter schmalen Hecken kann die Windgeschwindigkeit in der 25-fachen Höhe der Hecke um bis zu 80% abnehmen (POSSIT 2012).

Aus Naturschutzgründen wird heute laut MEYERHOFF (2011) meist ein dreireihiger Streifen aus verschiedenen Wildobststräuchern empfohlen mit einem Reihenabstand von 1,5 m. Mit einem zusätzlichen Saumbereich ergibt sich eine Breite von etwa 5 m. In der mittleren Baumreihe können zusätzlich alle 10 bis 20 m kleine Bäume integriert werden, die Höhen von etwa 7-8 m erreichen.

Jedoch sollten nicht zu viele Bäume gepflanzt werden, da sonst die Gefahr der Auslichtung besteht und die Windschutzwirkung der Hecke u.U. verloren geht. Die Sträucher werden 4-5 m hoch und sollten in einem Abstand von 1-1,5 m gepflanzt werden (MEYERHOFF 2011).

Designvorschlag

Da davon ausgegangen werden kann, dass die Hauptwindrichtung West ist (s. 3.1), bietet sich die Anlage mit dieser Ausrichtung an. Daher wird empfohlen, eine Windschutzhecke entlang der westlichen Grundstücksgrenzen unterhalb der Stromtrasse anzulegen, als auch auf der unteren Teilfläche (s. Abb 21). Als höher wachsende Baumarten würden sich für diesen Standort die Sandbirke (*Betula pendula*), die Aspe (*Populus tremula*), die Sal-Weide (*Salix caprea*), die Mehlsbeere (*Sorbus aria*) und die Eberesche (*Sorbus aucuparia*) eignen (DVL 1998). Jedoch sollte zuvor geklärt werden, ob die Höhe der Bäume mit der Stromtrasse kollidiert.

Als Straucharten wird eine Mischung von Wildobstgehölzen empfohlen; in Abb. 22 sind mögliche Straucharten unter Berücksichtigung ihrer Blüh- und Fruchtzeiten aufgeführt. All diese Gehölze sind außerdem vom Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg als gebietsheimische Arten aufgeführt, die besonders zur Erhaltung der biologischen Vielfalt dienen sollen (MLUL 2013).

Lateinischer Name	Deutscher Name	Höhe	Blütezeit												Fruchtzeit		
			F	M	A	M	J	J	A	S	O	N					
<i>Cornus sanguinea</i>	Roter Hartriegel	5m															
<i>Corylus avellana</i>	Haselnuss	6m															
<i>Crataegus monogyna</i>	Weißdorn	4m															
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Sanddorn	1-3m															
<i>Malus sylvestris</i>	Wildapfel	10m															
<i>Prunus padus</i>	Traubenkirsche	10m															
<i>Prunus spinosa</i>	Schlehe	1-3m															
<i>Rhamnus cathartica</i>	Pugier-Kreuzdorn	4m															
<i>Rosa canina</i>	Hagebutte	3m															
<i>Sambucus nigra</i>	Schwarzer Holunder	7m															
<i>Sorbus aucuparia</i>	Vogelbeere	15m															
<i>Virbunum opulus</i>	Gem. Schneeball	4m															

Abbildung 22: Mögliche heimische Wildobstarten (eigene Darstellung, nach FIBL 2004, S.6)

Eine Hecke darf nach den derzeitigen Regelungen entweder als Dauerkultur oder als geschütztes Landschaftselement Teil der beihilfefähigen Fläche sein. Für den Status der Dauerkultur (Wildobst) muss pro Sorte eine Minstdichte von 700 Pflanzen/ha eingehalten werden; als geschütztes Landschaftselement muss sie mindestens 10 m lang bzw. durchschnittlich max. 15 m breit sein (s.a. Kap. 2.5). Daher empfiehlt sich der Status als geschütztes Landschaftselement.

Für die Anlage der Hecke müssten auf der nördlichen Fläche etwa 1.620 Sträucher und 40 Bäume, für die südwestliche Fläche 690 Sträucher und 18 Bäume gepflanzt werden.

9 Parameter und Erhebungsverfahren (Messtechnik)

Das geplante Vorhaben kann der Kategorie Praxisversuch/Feldversuch zugeordnet werden (FiBL et al. 2004). Um Unterschiede zwischen AFS und “normalem” Ackerbau quantifizieren zu können, sollte ein bestimmtes Vorgehen bei der Versuchsanlage beachtet werden.

In Gesprächen mit Expert*innen aus der Forschung (mdl. Mit. LAMERSDORF, GUERICKE 2016) wurde darauf hingewiesen, dass vor Anlage des AFS eine Datenerhebung aller zu untersuchenden Parameter erfolgen sollte, damit die Aussagen späterer Ergebnisse in Relation zum Ausgangszustand gesetzt werden können.

Da wissenschaftliche Datenerhebungen meist sehr aufwendig sind, sollte eine kontinuierliche Messung nur bei einigen Parametern erfolgen und andere Parameter mit einem höheren Zeit- und Arbeitsaufwand nur unregelmäßig erhoben werden, beispielsweise im Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten der HNEE (mdl. Mit. BLOCH 2016). Eine Liste weiterer Parameter und Forschungsfragen für studentische Projektarbeiten bzgl. des Projektes finden sich in Kap. 13.3.2. Auf Grundlage der im folgenden Kap. 9.2 vorgestellten Parameter und Erhebungsverfahren sollte im Rahmen einer Diskussion im Anschluss an diese Arbeit eine Abgrenzung zwischen regelmäßig und projektartig zu erhebenden Parameter vorgenommen werden (s.a. Kap. 13.2).

Bei den Abschätzungen des Arbeits- und Zeitaufwandes wurde grundsätzlich nur die Erhebungsdauer angegeben; hinzu kommt der Aufwand zur Bestimmung bzw. zur Datenauswertung.

9.1 Aufbau der Versuchsfläche

Um zu überprüfen, welche Einflüsse das AFS auf den Acker hat, muss außerdem eine “Kontrollfläche” eingerichtet werden (FiBL et al. 2004). Die Kontrollfläche sollte möglichst ähnliche Bodeneigenschaften aufweisen und genauso behandelt und untersucht werden wie die Versuchsfläche (gleiche Bodenbearbeitung und Fruchtfolge) (ebd.). Ansonsten ist nicht feststellbar, ob ein Unterschied besteht zwischen der Fläche, die rein landwirtschaftlich genutzt wird, und der Fläche, auf der das AFS etabliert wurde.

9.1.1 Datenerhebung in Transektstreifen

Grundsätzlich bietet es sich an, Transekt-Versuchsflächen zu definieren und diese möglichst auch mit einem GPS-Gerät einzumessen (BÖHM 2012). Somit können wiederholte Messungen an derselben Stelle erfolgen. Die Transektflächen sollten senkrecht zu den Baumreihen angeordnet werden, um die Veränderungen entlang eines Gradienten zu erfassen. Dieser Aufbau wird in Abb.23 dargestellt.

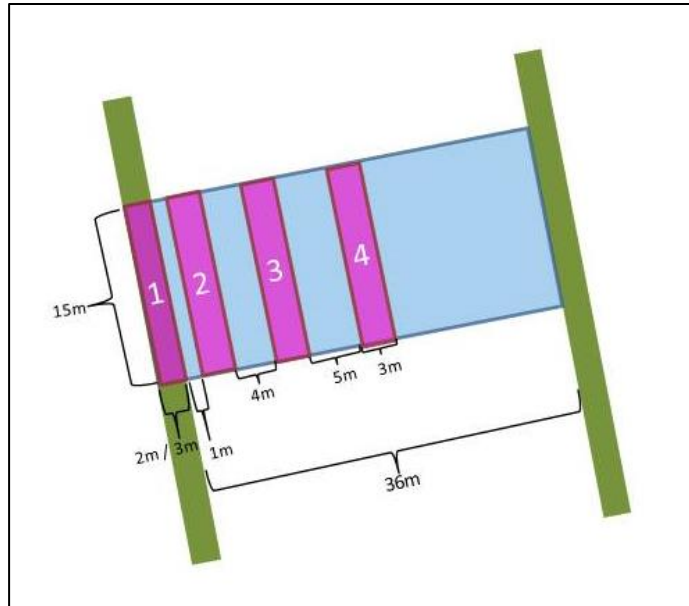


Abbildung 23: Beprobungs-Transektsfläche mit einzelnen Probeflächen zwischen zwei Baumreihen (eigene Darstellung)

Um wissenschaftlich signifikante Aussagen aus den erhobenen Daten ableiten zu können, sollte eine Versuchsfläche Randomisationen (zufällige Anordnung der Prüfglieder und Wiederholungen) enthalten (STEIN-BACHINGER et al. 2000). Dies soll auf dieser Praxis-Versuchsfläche vor allem in Form von drei langen Transekt-Streifen, die quer zu den Baumreihen verlaufen, berücksichtigt werden (s.a. Abb. 24). Um den Aufwand geringer zu halten und zugleich immer noch die Auswirkungen der unterschiedlich designten Baumreihen untersuchen zu können, wird vorgeschlagen, innerhalb der drei Transekt-Streifen ausschließlich drei Ackerstreifen zwischen der ersten und zweiten Reihe (Baumreihen mit Wildobst-Unterpflanzung), zwischen der dritten und vierten Reihe (Baumreihe mit Maxi-Rotation zwischen den Werthölzern), und zwischen der fünften und sechsten Reihe (reine Wertholzeihen) zu beproben (s.a. Kap. 8.2.3). Daraus würden insgesamt $(3 \times 3 \times 4 =)$ 36 bzw. mit der FZH-Mulch-Fläche 39 Beprobungs-Flächen resultieren (s.a. Abb. 24).

Das hier vorgeschlagene Versuchsdesign enthält auf drei unterschiedlichen Ebenen Wiederholungen, somit sollte eine wissenschaftliche Aussagekraft nach den Anforderungen von STEIN-BACHINGER et al. (2000) gegeben sein:

- Innerhalb eines Transekt-Streifens kann theoretisch jede Baumreihe mit dem jeweiligen Teil-Transekt als ein Wiederholungsglied betrachtet werden (s. Abb. 24: 1a,1b,1c; 2a,2b,2c; 3a,3b,3c).
- Je nach Untersuchungszweck könnten einzelne Baumreihen als Prüffaktoren (z.B. mit der Variation: mit und ohne Unterpflanzung) mit dreifacher Wiederholung in Form der drei Transekt-Streifen untersucht werden (s.Abb.24; z.B. 1a,2a,3a).

- Darüber hinaus werden die in unterschiedlichen Abständen zu den Baumstreifen liegenden Teilflächen 1, 2, 3 und 4 der einzelnen Transekte (s.a. Abb. 24) entsprechend einer Empfehlung von BÖHM (2012) so groß gewählt (15 m Länge auf 2 bis 3 m Breite), dass innerhalb dieser mehrere zufällig verteilte Stichproben genommen werden können. Dies stellt entsprechend der Randomisations-Anforderung eine weitere Wiederholung dar.



Abbildung 24: Gesamtübersicht über die Lage der Transektflächen (eigene Darstellung)

9.1.2 Versuchskonzeption der FZH-Mulchflächen

Ursprünglich wurde erwogen mehrere kleine FZH-Mulchflächen-Wiederholungen randomisiert über beide Schläge zu verteilen, um eine bessere wissenschaftlich statistische Aussagegenauigkeit zu ermöglichen (STEIN-BACHINGER et al. 2000). Allerdings scheint dies dem Ziel der Bewirtschaftungs-Praktikabilität zu widersprechen, da für die FZH-Mulchfläche ggf. anders eingestellte oder sogar ganz andere Bodenbearbeitungs- und Saat-Technik verwendet werden muss (s.a. Kap. 10.2.5). Daher soll die FZH-Mulchfläche in einem Streifen über die gesamte Länge des nördlichen Schlages verlaufen (s.a. Abb. 24). Es wird erwartet, dass diese damit den Praxis-Versuchsanforderungen nach STEIN-BACHINGER et al. (2000) entspricht, indem sie quer zur Hangneigung und damit voraussichtlich auch quer zu den Bodenunterschieden verläuft. Dies ist jedoch im Rahmen der ersten Erhebung bodenkundlicher Parameter (s.a. Kap. 9.2.2) nochmals zu prüfen.

Eventuell könnten auch die Stufen des Prüffaktors (Auflagehöhe der FZH) über klar abgegrenzte Bereiche verändert werden, dies könnte jedoch auch zwischenzeitliche Geräteumstellungen besonders bei der Saat erforderlich machen (s.a. Kap. 10.2.5). Daher sollte dies erst nach einem Test in kleinerem Maßstab und dessen Auswertung zusammen mit dem Bewirtschafter entschieden werden. Unterschiedliche Stufen der Ausbringungshöhe könnten dann beispielsweise mit den FZH aus der zweiten KUP-Ernte (nach ca. 6 Jahren) aufgebracht werden. Dabei sollten diese mindestens drei Stufen enthalten, um das Reaktionsverhalten auf das variierende Prüfmerkmal eindeutig auswerten zu können (STEIN-BACHINGER et al. 2000). Daher bietet es sich an den Beprobungs-Transpekt für die wissenschaftliche Datenerhebung über die gesamte Länge des Streifens in drei Teile (für unterschiedliche FZH-Applikationsmengen) zu unterteilen (s.a. Abb. 24: A, B, C).

Bei der Parameterauswertung können dann aus jedem Transekt mehrere Stichproben verteilt über die gesamte Länge erhoben (s.a. Kap. 9.1.1: vgl. 3. Punkt) und mit der gleichen Kontrollfläche wie für das übrige AFS verglichen werden. Prüfmerkmale die hierbei besonders beachtet werden sollten sind:

- Ertragsauswirkungen (s.a. Kap. 9.2.6)
- Bodenfruchtbarkeitsauswirkungen (s.a. Kap. 9.2.2)

9.2 Darstellung der einzelnen Parameter

9.2.1 Mikroklima

Wesentliche mikroklimatische Parameter, die alle Ökosysteme mit ihren biotischen und abiotischen Teilen steuern, sind nach LUTHARDT et al. (2006):

- **Niederschläge:** Hieraus können Durchschnittswerte über längere Zeiträume sowie Niederschlagsextreme und längere Trockenheitsphasen ermittelt werden.
- **Relative Luftfeuchte (%)**: Der Wasserhaushalt eines Gebietes wird durch die relative Luftfeuchte und die Niederschläge gesteuert. Insbesondere leitet sich die Verdunstungskraft (Evapotranspiration) der Luft von der relativen Luftfeuchtigkeit ab (DIETRICH et al. 2016).
- **Temperatur:** Neben Durchschnittswerten über verschiedene Zeiträume können hieraus Daten wie Jahresschwankungen, Jahreshöchst- und -tiefsttemperatur sowie Spätfröste abgeleitet werden.
- **Windrichtung und Windstärke.**
- **Lichtintensität, Globalstrahlung:** Wesentlicher die Photosyntheseleistung beeinflussender Parameter (s.a. selbes Kapitel separater Abschnitt unten).

Einerseits können mit diesen Daten andere wichtige Parameter wie zum Beispiel Ertrags- und Zuwachsleistungen von Bäumen und Ackerkulturen interpretiert werden, andererseits sollte auch untersucht werden, inwieweit das AFS kleinräumige, mikroklimatische Veränderungen hervorruft. Zu diesem Zwecke sollten Vergleichsdaten von einer nahen freien Ackerfläche ohne AFS erhoben werden.

Wie in Kap. 2.4.1 bereits aufgezeigt wurde, können AFS erhebliche mikroklimatische Auswirkungen haben. Beispielsweise berichtet BRIGGS (2012) von einer Steigerung der relativen Luftfeuchtigkeit über dem Feld um 7-12 % und einem Wärmehaushalts-Puffer von 1-2 C° bei starken Temperaturschwankungen. In Abhängigkeit von der Baumdichte könne die Windreduktion bis zu einem Abstand der zehnfachen Baumhöhe 30-50 % betragen. Dies hängt eng mit der bis zu 30 % reduzierten Evapotranspiration auf den Ackerstreifen zusammen (ebd.).



Abbildung 25: Wetterstation auf den Versuchsflächen der BTU (Böhm 2012, S.34)

Für die Messung des Mikroklimas findet weitestgehend eine Orientierung an dem Versuchsaufbau der Agroforstversuchsflächen der BTU Cottbus (BÖHM 2012) statt. Auf beiden wurden zur Erhebung der oben genannten Daten jeweils fünf kleine Wetterstationen installiert. An allen Wetterstationen erfolgte die Messung der Windgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in einer Höhe von 1 bis 1,5 m über der Geländeoberfläche. Außerdem wurden die Niederschläge mittels Niederschlagsgeber (Auffangfläche = 200 cm²) sowie die Bodentemperatur mittels Bodentemperatursonden und Bodenfeuchtigkeit mittels TDR-Sonden (Time-Domain-Reflectometry-Verfahren) gemessen. Die Sonden wurden in 5 cm, 20 cm und 50 cm Tiefe installiert (ebd.).

Da TDR-Sonden eine technisch bedingte Messungenauigkeit von etwa +/- 2 Vol% haben, empfiehlt DIETRICH et al. (2016) zusätzlich zur kontinuierlichen Datenerhebung eine manuelle Messung des gravimetrischen Wassergehaltes (s.a. Kap. 9.2.2.1). Mit den Ergebnissen könne man im Anschluss die TDR-Sonden eichen, so DIETRICH.

Bei den Ergebnissen der Bodenfeuchte wurden auf den Versuchsflächen der BTU Cottbus zwischen den Tiefen 20 cm und 50 cm nur geringfügige Abweichungen von +/- 0,5 Vol% gemessen (BÖHM 2012). Daher wird vorgeschlagen die Bodenfeuchte bei diesem Projekt ausschließlich in den Tiefen 5 cm und 30 cm zu messen.

Auch bei den Bodentemperaturmessungen in den AFS-Ackerstreifen konnten im Vergleich zur Freifläche nur sehr geringfügige Unterschiede festgestellt werden (ebd.). Nach LOCHNER & BREKER (2011) ist vor allem die Bodentemperatur in den obersten 5 cm relevant für den Keimungszeitpunkt von Sommerkulturen. Daher wird vorgeschlagen die Bodentemperatur ausschließlich in 5 cm Tiefe zu erheben.

Alle mikro- und bodenklimatischen Parameter wurden kontinuierlich in einem Messintervall von 10 min ermittelt und mittels Datenlogger aufgezeichnet (BÖHM 2012). Hieraus ergeben sich große Datensätze, die bei einer anschließenden Ergebnisauswertung voraussichtlich nicht derart differenziert analysiert werden können, daher wird ein Messintervall von 1 h empfohlen.

Die fünf Wetterstationen auf Agroforstversuchsflächen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurden in verschiedenen Abständen von den Gehölzstreifen aufgestellt. Diese mussten jedes Mal bei Bodenbearbeitungen, Einsaaten und Ernte wieder abgebaut werden (BÄRWOLFF, OSWALD & BIERTÜMPFEL 2012). Das jährliche Auf- und Abbauen lässt sich voraussichtlich auch in diesem Projekt nicht vermeiden, dadurch das Bodenfeuchte und -temperatur jedoch in geringerer Auflösung erfasst werden sollen (s.a. oben), wird der Aufwand etwas geringer sein.

Es stellt sich die Frage, wo die Stationen in diesem Projekt bestmöglichst aufgestellt werden sollten, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Designelemente zu erfassen (s.a. Kap. 8.2.3; 8.3). Vorgeschlagen wird folgende Anordnung, die sich auch an der Einteilung der Transekt-Flächen orientiert (s.a. Kap. 9.1.1):

- in der Mitte des Ackerstreifens, Teilfläche 4 des Transektes zwischen der ersten und zweiten Reihe (da diese mit Sträuchern unterpflanzt sind),
- nahe des zweiten Baumstreifens auf der Ackerfläche, Teilfläche 3 des Transektes zwischen der ersten und zweiten Reihe,
- in der Mitte des Ackerstreifens, Teilfläche 4 des Transektes zwischen der dritten und vierten Reihe (da die vierte Reihe die Maxi-Rotations-Variante enthält),
- nahe des fünften Baumstreifens auf der Ackerfläche, Teilfläche 3 des Transektes zwischen der dritten und vierten Reihe,
- auf der Kontroll-Vergleichsfläche,
- auf der FZH-Mulchfläche sollten in allen drei Teilbereichen des Transektes lediglich die Bodenfeuchte und -temperatur erhoben werden, da bei den anderen Parametern keine starken Veränderungen erwartet werden (s.a. Kap. 9.1.2).

Alternativ könnten die 3. und 4. Messstation auch zwischen der fünften und sechsten Reihe (nur Wertholzbäume) aufgestellt werden.

Licht

Licht als essentielles Element für die Photosyntheseleistung der Pflanzen stellt einen potentiell großen Konkurrenzfaktor zwischen Ackerfrüchten und Gehölzen dar (s.a. Kap. 5.2). Zur Untersuchung der Strahlungsverhältnisse ist es wichtig, die Strahlung in direkte und diffuse Teile zu unterteilen. Eine übliche Messmethode dazu ist die Aufnahme hemisphärischer Fotos mit einem

Fisheye-Objektiv (SPIECKER 2010). Laut BIELEFELDT (mdl. Mit. 2016) liegt diese Technik auch am Waldcampus der HNEE vor.

Für die Messung muss eine möglichst gleichmäßige Helligkeit am Himmel vorliegen, deshalb bietet sich die Messung bei Sonnenauf- oder Sonnenuntergang an. In festgelegten Abständen von 0,5 - 20 m vom Baum werden Fotos mit der Fisheye- Linse gemacht, die sich bei der Messung 90 cm über dem Boden befindet. Nach Eingabe der Bilder und einigen Zusatzinformationen (Koordinaten, Höhe über NN) kann mit einem Modellierungsprogramm (beispielsweise WINPHOT) die Sonnenlaufbahnen berechnet und daraus die direkte und diffuse Strahlungsintensität gemessen werden (SPIECKER 2010).

Um die damit verbundenen Auswirkungen auf die Ackerfrüchte zu verstehen, sollten diese Ergebnisse in Beziehung zur Baumart, Baumhöhe und zum Kronendurchmesser gesetzt werden.

Es bietet sich an, diese Lichtmessungen projektartig alle 5 Jahre zu untersuchen, wobei die Quantifizierung der Verschattung ab dem 25.-30. Standjahr wesentlicher erscheint (s.a. Kap. 5.2).

9.2.2 Abiotische Boden-Parameter

Wie in Kap. 3 bereits aufgezeigt, haben Agroforstsysteme und FZH zahlreiche Auswirkungen auf abiotische und biotische Bodenparameter. Insbesondere dadurch, dass die Wurzeln der Bäume tiefere Bodenschichten erschließen und organische Masse durch Wurzelumsatz, Laubstreu oder in Form der FZH (s.a. Kap. 7) dem Boden zuführen. Außerdem stehen Baumwurzeln im Gegensatz zu einjährigen Feldkulturen dem Bodenleben als dauerhafter Partner zur Verfügung.

Im Folgenden sollen wichtige abiotische und dann biotische Bodenparameter dargestellt werden. Zu beachten ist jedoch, dass diese Einteilung nicht trennscharf vollzogen werden kann, da sich beide Kategorien stark gegenseitig beeinflussen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010). Die Wechselwirkungen sind derart vielfältig (ebd.; DUNST 2015; OTTOW et al. 2011; SEKERA 2011), dass sie an dieser Stelle nicht vollständig dargestellt werden können. Es wird daher Aufgabe zukünftiger Arbeiten zur Ergebnisauswertung sein, diese vor dem Hintergrund der genannten Quellen hinreichend zu berücksichtigen.

Untersuchungen im bodenkundlichen Labor

Viele der in den folgenden Kap. 9.2.2.1 und 9.2.2.2 aufgeführten Parameter sind im bodenkundlichen Labor zu untersuchen. Hierfür sollen je nach Parameter und zeitlicher Möglichkeit alle 1 bis 6 Jahre Stechzylinder-Proben von 100 cm³ Inhalt mittels Pürkhauer-Bohrstock aus allen Teilflächen der untersuchten Transekte entnommen werden (LUTHARDT et al. 2006). Zur Abpufferung von Störfaktoren (z.B. zufällige Bodenunterschiede) werden innerhalb jeder Transekt-Teilfläche zwei randomisiert verteilte Einstiche durchgeführt. Das aus den

Einstichen gewonnene Probenmaterial wird jeweils zu einer Mischprobe vereinigt und bis zur Analyse, bei längeren Zeiträumen gekühlt, gelagert (BÖHM 2012). Bei dem Umfang von insgesamt 36 Beprobungsflächen a 2 Einstiche (s.a. Kap. 9.1.1) und 3 Beprobungsflächen a mind. 3 Einstiche (s.a. Kap. 9.1.2) ergibt sich eine erforderliche Gesamteinstich-Anzahl von $(36 \times 2 + 3 \times 3 =)$ 81, wobei durch das anschließende vermengen der Proben nur 39 Proben entsprechend der unten aufgeführten Tiefenstufen zu beproben sind.

Es ist außerdem zu beachten, dass diese mit folgenden Angaben klar zu kennzeichnen sind (LUTHARDT et al. 2006): Fläche (Transekt-Streifen-Nr., Transekt-Nr., Transekt-Teilflächen-Nr.), Probe-Nr, Probenahme-Datum, Tiefe, Horizont, Probemenge (ggf. Volumen), Besonderheiten, Bearbeiter.

Auf der AFS-Versuchsanlage der BTU Cottbus wurden Proben aus den Tiefenstufen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm, 90-120 cm, 120-150 cm und 150- 200 cm genommen (BÖHM 2012). Um den Aufwand gering zu halten und die Proben mit einem einfachen 1m-Pürckhauer-Bohrstock entnehmen zu können und um eine höhere Auflösung im für den Ackerbau relevanten Oberboden zu erhalten, wird vorgeschlagen die Bodenproben aus den Tiefen 0-10 cm, 10-30 cm, 30-50 cm, 50-70 cm und 70-100 cm zu entnehmen.

Benötigte Geräte nach LUTHARD et al. (2006):

- (1m)-Pürckhauer-Bohrstock sowie Bohrstockhammer, Drehgriffe mit Hebevorrichtung
- Stechzylinder-Probengefäße von 100 cm³ Inhalt
- saubere Tüten (z.B. preiswerte Gefrierbeutel)
- Kärtchen zur Probenbeschriftung und Stift
- Kisten (für Probenbeutel)

Untersuchungen im Gelände

Zu Beginn des Projektes empfiehlt sich eine Kartierung der Böden mittels jeweils einem Bohrstockeinschlag in jedem der insgesamt 12 Transekte auf der Gesamtfläche (s.a. Kap. 9.1.1). Diese sollten nach der Methodik der *Bodenkundlichen Kartieranleitung - KA 5* (AG BODEN 2005) im Gelände angesprochen werden. Die Ansprache des Bodentyps dient einer ersten Standortkennzeichnung, sowie der Analyse der vertikalen Stoffverteilung, auch ablaufende Bodenentwicklungen (Kalkauswaschung, Tonverlagerung etc.) können daraus abgeleitet werden (LUTHARDT et al. 2006). Bei Wiederholung der flächenbezogenen Probenahme sollen die Probenahmestellen innerhalb der jeweiligen Transekte verschoben werden, womit vermieden wird, dass durch vorausgegangene Probenahmen gestörte Bodenbereiche erneut beprobt werden (ebd.).

Der zeitliche Aufwand beläuft sich bei routinierten Personen auf etwa 20 min/Probe (ebd.).

Da Veränderungen des Bodentyps nur über einen langen Zeitraum festgestellt werden können (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010), reicht es aus die Bohrstockproben mit Profilansprache alle 10 Jahre durchzuführen.

Benötigte Geräte nach LUTHARDT et al. (2006):

(1m)-Pürckhauer-Bohrstock sowie Bohrstockhammer und Drehgriffe mit Hebevorrichtung, Folien für Bodenaushub (2 x 3 m), Feldtasche für Profilansprachen, 10 %ige Salzsäure, Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA 5 2005), Klemmrahmen mit Aufnahmebögen nach KA 5 (2005), Taschenmesser, Spachte, Pinsel, Lappen, Sprühflasche mit dest. Wasser

Jährlich könnte innerhalb aller Transekte mit geringem technischen und zeitlichen Aufwand eine erweiterte Spatendiagnose zur *Gefügestandbeurteilung nach BESTE* (2003) durchgeführt werden. Hiermit ist eine Klassifikation des Grades von ackerbaulich wertvollen, biologisch-verbauten Bodenaggregatformen (optimal: rund-schwammartig und porös-krümelig) anhand eines einfachen Tabellen-Leitfadens möglich (s.a. Anhang 5). Dies wird insbesondere als Entscheidungsgrundlage für ackerbauliche Maßnahmen auf der Minimalbodenbearbeitungs-FZH-Mulchfläche empfohlen (s.a. Kap. 10.2.5).

9.2.2.1 Kalkgehalt

Der Kalkgehalt (CaCO_3) im Boden beeinflusst andere wichtige Prozesse im Boden: Er puffert die Säuren (s.a. pH-Wert), beeinflusst das C:N-Verhältnis und die Stabilität des Bodengefüges (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010).

Im Schnelltest kann der Kalkgehalt durch das Aufbringen von 8-10 %iger Salzsäure (HCl) und einer Beobachtung des Aufschäumungsgrades eingeschätzt werden (AB BODEN 2005). Genauer kann der Kalkgehalt mit einer gasvolumetrische Bestimmung nach SCHEIBLER im Labor erfolgen (GUTWASSER 2015). Der Schnelltest erscheint für dieses Projekt jedoch ausreichend.

9.2.2.2 pH-Wert

Der pH-Wert stellt die Säure-Basen-Verhältnisse dar. Vom pH-Wert sind fast alle Parameter und Prozesse inklusive der Biozönose (Bodenorganismen, höhere Pflanzen) im Boden abhängig (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010).

Für eine Erhebung am Standort wird folgende Ausrüstung benötigt (LUTHARDT et al. 2006):

- pH-Meter (z. B. WTW Profile pH 197)
- Eichlösungen pH 4,01 und 7,0 (kann ggf. auch vorher im Labor durchgeführt werden)
- Ersatzlösung Kaliumchlorid (CaCl_2) für Elektrode
- Spritzflasche mit destilliertem Wasser zum Reinigen der Elektrode und kleiner Kanister mit destilliertem Wasser zum Nachfüllen der Spritzflasche

Im Labor kann der pH-Wert mit Potentiometrie gemessen werden (VDLUFA 1997).

9.2.2.3 Organischer Kohlenstoffgehalt und Humusgehalt

Als organischer Kohlenstoff (C_{org}) wird der Kohlenstoffgehalt bezeichnet, der sich durch Abzug des karbonatgebundenen Kohlenstoffes vom Gesamtkohlenstoffgehalt (C_{ges}) einer Probe errechnen lässt ($C_{\text{org}} = C_{\text{ges}} - \text{CaCO}_3$). Er wird zur Berechnung des Humusgehaltes sowie des C:N-Verhältnisses herangezogen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010).

Der Humusgehalt hängt eng mit der Aktivität des Bodenlebens und dem organischen Streuangebot zusammen. Außerdem bestehen starke Wechselwirkungen mit der Bodenstruktur, dem Nährstoff- und Wasserhaushalt und dem pH-Wert des Standortes.

Nach BLUME (2011) sind gute Ausgangsbedingungen für die Humusbildung zu schaffen (s.a. Kap. 7.1). Da der C_{org} - und Humusgehalt des Bodens von Agroforstsystemen und FZH (s.a. Kap. 7) stark beeinflusst wird und auch vor dem Hintergrund der Bemühungen um Treibhausgasreduktion (s.a. Kap. 2.4.2) eine wichtige Rolle spielen, werden diese Parameter ausführlicher dargestellt.

Die Bestimmung der Menge an organischer Substanz im Boden erfolgt meist über die Ermittlung des organischen Kohlenstoffs (C_{org}). Ein gängige Methode dazu ist die Verbrennung der Bodenproben in einem CNS-Elementaranalysator nach DIN ISO 10694 (QUINKENSTEIN et al. 2011). Der Kohlenstoffgehalt sollte für verschiedene Bodentiefen bestimmt werden, beispielsweise in 5 Stufen (0-3, 3-10, 10-30, 30-45, 45-60 cm) (ebd.). Der Humusgehalt kann näherungsweise durch die Multiplikation von C_{org} mit 1,72 errechnet werden (ELSBROEK 2013). Sehr feine Veränderungen des Kohlenstoffvorrats im Boden können auch durch die Messung des HWC_{org} und des Heißwasserextrahierbaren Stickstoffs (HWN) bestimmt werden (GHANI et al. 2002). Die Gehalte können in einem CN-Analysator (Bsp. Marke *Shimadzu*) ermittelt werden. Diese Werte korrelieren stark mit der mikrobiellen Biomasse (s.a. Kap. 9.2.2.2) (ebd.). Allgemein sind auch andere biotische Parameter, wie die Durchwurzelungsintensität und Regenwurmabundanz, eng mit dem C_{org} -Gehalt von Böden verknüpft (ELSBROEK 2013) (s.a. Kap. 9.2.2.2, 7.1, 7.2.2).

Eine Veränderung des Humusgehaltes beziehungsweise des C_{org} -Gehalts können laut HÜLSBERGEN & SCHMID (2008) oftmals erst nach Jahrzehnten nachgewiesen werden. Daher ist ein Messintervall von 4-5 Jahren sinnvoll (mdl. Mit. HÜLSBERGEN 2016).

9.2.2.4 CO₂-Speicherung

Besonders mehrjährige Gehölze können mit ihrer Fähigkeit, Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre zu binden, zum Klimaschutz beitragen (s.a. Kap.2.4.2). Die Kohlenstoffspeicherung findet in der oberirdischen und unterirdischen Biomasse statt sowie im Boden (NAIR et al. 2009). Die direkte

Bestimmung der Einzelbaumbiomasse könnte durch Wägung der einzelnen Kompartimente eines kompletten Baumes erfolgen. Da dies nicht praktikabel ist, müssen andere Lösungen gewählt werden. Dabei betonen NAIR et al. (2009), dass das methodische Vorgehen zur Erfassung der Kohlenstoffspeicherung in AFS sehr uneinheitlich und schwierig sei.

Für die Bestimmung der oberirdischen Biomasse wird nach NAIR et al. (2009) auf allometrische Formeln zurückgegriffen, die eine Beziehung zwischen der erwarteten Biomasse und den Parametern BHD und Höhe angeben. Andernfalls könnte durch Modellierungsprogramme wie "BWINPro" die Biomasse bestimmt werden. Danach kann überschlagsweise der Gehalt an Kohlenstoff in der Biomasse bestimmt werden (dieser liegt bei etwa 50%) und daraus ergibt sich durch Multiplikation mit 3,67 der ungefähre Gehalt an in der Biomasse gespeicherten CO₂ (LFE 2014). Allerdings sind diese Modellierungen sehr grob; zum einen, weil die Entwicklung der Bäume auf der landwirtschaftlichen Fläche vermutlich anders ist als im Wald; zum anderen weil dabei die unterirdischen Komponenten eher vernachlässigt werden.

Laut NAIR et al. (2009) gehen 33% der NPP (Nettoprimärproduktion) in die Entwicklung von Feinwurzeln; sprich langfristig in den Kohlenstoff-Pool des Bodens über. Daher besteht auch eine direkte Verbindung zu dem Gehalt von organischem Kohlenstoff (s.a. 9.2.2.3). Die Gesamtheit des Kohlenstoffs im Boden wird als TOC (Total Organic Carbon) bezeichnet und differenziert sich in OC (Organic Carbon) und SOC (Soil Organic Carbon). SOC ist die entscheidende Energiequelle für Bodenmikroorganismen (NAIR 2011). SOC kann durch die Quantifizierung der CO₂-Produktion beim Erhitzen einer Bodenprobe gemessen werden bzw. durch den Gewichtsunterschied, der sich nach dem Erhitzen einstellt. NAIR (2011) weist darauf hin, dass auch ein Verständnis der Bodenaggregat-Zusammensetzung für die Bestimmung des SOC hilfreich sei (NAIR 2011).

Für die Beprobungstiefe betont NAIR (2011), wie wichtig eine Stichprobe von mind. 0-50cm ist (statt der herkömmlichen Beprobungstiefe von 0-30 cm). Da die Baumwurzeln auch in tieferen Bodenhorizonten wurzeln, sei dieses Vorgehen entscheidend, um die langzeitige Kohlenstoffspeicherung in tieferen Bodenschichten abzubilden (ebd.). Außerdem muss neben der kurzzeitigen Speicherung auch die Langfristigkeit bewertet werden (welche Form der stofflichen Nutzung erfolgt; werden Bäume nach Erntemaßnahmen nachgepflanzt u.v.m.). Für eine wissenschaftliche Aussagekraft solcher Untersuchungen müsste daher zunächst ein entsprechendes Konzept zur Messung der Kohlenstoffspeicherung erstellt werden.

9.2.2.5 Kationenaustauschkapazität

Die potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK_{pot} [cmol/kg Boden]) ist ein Maß für das Nährstoffspeichervermögen von Böden und damit Grundlage für die Filter- und Pufferkapazität des Bodens. Durch die KAK_{pot} kann insbesondere der Vorrat verfügbarer Mineralstoffe und deren

Auswaschungsgefährdung abgeschätzt werden. Wurde die KAK_{pot} bereits analysiert kann mit dem aktuellen pH-Wert die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}), das heißt die tatsächlich freien Kationen-Austauschplätze, errechnet werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010).

LUTHARD et al. (2006) schlagen zur Ermittlung der KAK_{eff} das **Analyseverfahren** nach MEIWES (1984) vor:

Die Bodenprobe mit jeweiligen pH-Wert wird mit einer ungepufferten Salzlösung (z.B. NH_4Cl oder $BaCl_2$) behandelt, um anschließend die ausgetauschten Kationen in der Austauschlösung zu ermitteln. Beim Schütteln des Bodens mit 0,5 mol/l Ammoniumchloridlösung (NH_4Cl) werden die Kationen des Bodens gegen Ammoniumionen (NH_4^+) ausgetauscht und in Lösung gebracht. Nach Filtration der Bodenlösung ist die Konzentration der in Lösung gegangenen Ionen spektroskopisch (mit Plasmaspektrometer - ICP und/oder Atomabsorptionsspektrometer - AAS) zu bestimmen (s.a. Abschnitt Nährstoffversorgung) und die H^+ -Konzentration mittels eines pH-Meters zu messen. Die Summe der Ionenäquivalente der Kationen ist die KAK_{eff} .

9.2.2.6 Nährstoffversorgung

Das Nährstoffangebot hat eine hohe Bedeutung für die Pflanzenversorgung. Dabei ist das Stickstoff:Kohlenstoffverhältnis (C:N) entscheidend für Mineralisierungsvorgänge eines Standortes. Ein enges C:N-Verhältnis erhöht die Verfügbarkeit der Nährstoffe aus der organischen Substanz, trägt damit aber auch zum Humusabbau bei (s.a. Kap. 5.4.2). Veränderungen des C:N-Verhältnisses sind nach LUTHARD et al. (2006) vor allem bei Langzeitbeobachtungen ein wichtiger Parameter.

Insbesondere sollten die Hauptnährelemente Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca) und Natrium (Na) in ppm ermittelt werden.

KINSEY & WALTERS (2013) betonen, dass die Rolle der Mikronährstoffe häufig unterschätzt werde, es aber sinnvoll sei auch diese zu untersuchen: Bor (B), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Cobalt (Co).

Ebd. stellen fest, dass das richtige Verhältnis der Nährstoffe zueinander für eine optimale Pflanzenversorgung von herausragender Bedeutung sei. Wie in Abb. 26 dargestellt, wird durch einen Überschuss oder einen Mangel einzelner Nährstoffe auch die Verfügbarkeit anderer spezifischer Nährstoffe beeinflusst. Daraus leiten ebd. standortspezifische Düngeempfehlungen ab. Hierfür müssten die Bodenproben bei der KINSEY-AG (2016) eingeschickt werden müssten.

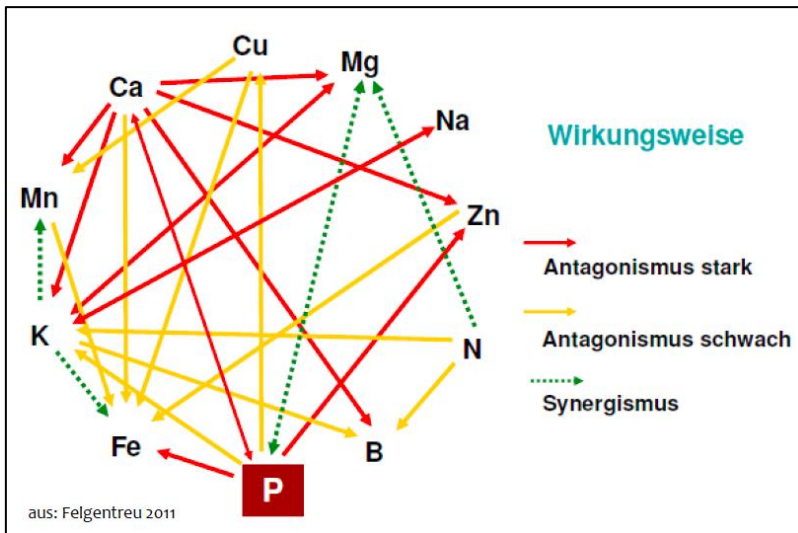


Abbildung 26: Wechselwirkungen der Nährstoffe (Cropp, Bonin 2016, S. 1213)

Die Pflanzenverfügbarkeit einzelner Nährstoffe hängt außerdem stark von dem pH-Wert ab (s.a. Abb.27), wobei KINSEY & WALTERS (2013) einen pH-Wert von 6,0 bis 6,5 als optimal betrachten.

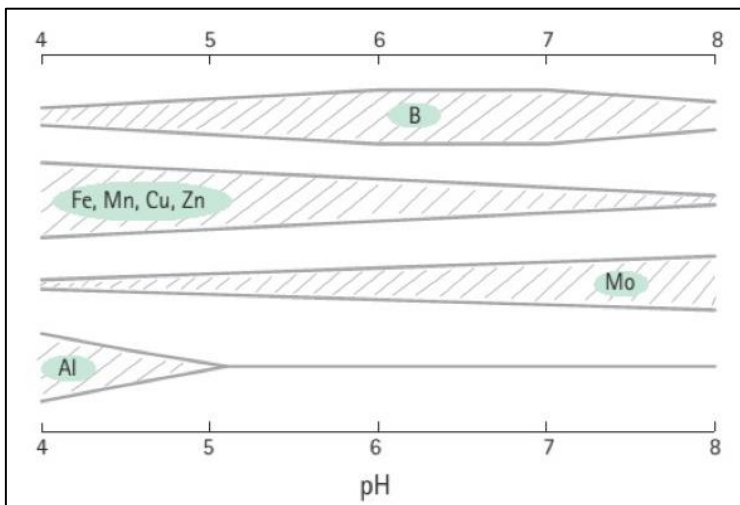


Abbildung 27: Nährstoffverfügbarkeit und pH-Wert (Gondolf et al. 2007, S.15)

Der Gehalt an mineralischem Stickstoff (N_{\min}) ist die Summe der gemessenen Gehalte an Ammonium-Stickstoff (NH_4^+) und Nitratstickstoff (NO_3^-) (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010).

Wie in Kap. 7.2.2 aufgezeigt hängt das Verhältnis zwischen Ammonium-Stickstoff (NH_4^+) und Nitratstickstoff (NO_3^-) mit dem Pilz:Bakterien Verhältnisses im Boden zusammen (s.a. Kap. 9.2.2.2) und ist auch für die N-Auswaschungsgefährdung (s.a. Kap. 9.2.3) und bedarfsgerechte Pflanzenversorgung (s.a. Kap. 9.2.6) von Bedeutung.

Da der Nitratgehalt unterhalb des durchwurzelten Bodenhorizontes Rückschlüsse auf das Risiko des Nitrataustrages ins Grundwasser zulässt und Stoffumsätze in dieser Bodentiefe nicht mehr in so hoher Geschwindigkeit ablaufen, erscheint in dieser Tiefe eine zusätzliche Nitraterfassung sinnvoll (LUTHARDT et al. 2006) (s.a. Kap. 9.2.3).

Die Probenahme für pflanzenverfügbare Nährstoffe auf Ackerstandorten erfolgt am besten im Herbst zwischen Ernte und nachfolgender Düngung oder im Frühjahr. Die letzte Düngung sollte mehr als 30 Tage zurückliegen und es sollten seit dem mind. 10 mm Niederschlag gefallen sein (VDLUFA 1997). MÄDER (2008) empfiehlt immer den gleichen Zeitpunkt im Jahr zu wählen und die ungefähre Lage der Probenentnahmepunkte auf einem Plan bzw. innerhalb der definierten Transekte zu markieren, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten.

Die Bestimmung der Stickstofffraktionen sowie des Gehaltes an potentiell pflanzenverfügbarem Magnesium (Mg_{pv}) erfolgt durch Extraktion mittels $CaCl_2$ -Lösung. Die Bodenproben werden 30 min geschüttelt und anschließend filtriert. Die Messung des NH_4^+ und NO_3^- erfolgt an den Filtraten mittels Spektrophotometrie, jene des Mg_{pv} sowie der anderen oben genannten Nährstoffe mittels ICP-AES (GUTWASSER 2015).

Gerätebedarf:

- Schüttelmaschine: rotierend mit 30-35 U/min,
- Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasm (ICP-AES)

9.2.2.7 Bodengefüge-Struktur

Die Bodengefüge-Struktur spielt für den Boden-Wasser- und -Lufthaushalt, für die Aktivität des Bodenlebens, für die Durchwurzelbarkeit und damit auch für die Humusbildung eine Schlüsselrolle (s.a. Kap. 7.1, 7.2.2, 9.2.2.2).

Veränderungen der Bodengefüge-Struktur im Ober- und Unterboden deuten auf Verdichtung oder auf eine Auflockerung durch Bioturbation hin (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010). So ist beispielsweise noch ungeklärt, in welchem Ausmaß die Tiefenwurzeln der Bäume in AFS zur Unterboden-Auflockerung beitragen können (s.a. Kap. 2.4).

Die Bodengefüge-Struktur kann mittels verschiedener Methoden analysiert werden:

Der Eindringwiderstand wird mittels eines Penetrometer oder Penetrographen gemessen (LUTHARDT et al. 2006). Hier wird mit einem (elektronischen) Kraftsensor, der über den Sondenstab mit dem Messkegel verbunden ist, die vom Boden entgegenwirkende Kraft gemessen. Die Aufnahmen sollten bei Frühjahrsfeuchte (nicht nass und nicht trocken) erfolgen. Es erscheint aufgrund des geringen Zeitaufwandes sinnvoll, diese Messungen mit einem höheren Stichprobenumfang von ca. 6 / Transekt-Teilfläche vorzunehmen

Die Trockenrohddichte [g/cm^3] steht in engem Zusammenhang mit dem Eindringwiderstand und ist zeitlich aufwändiger, dafür lässt sie genauere Horizont-bezogene Aussagen über die Bodengefüge-Struktur bzw. den Wasser- und Lufthaushalt von Böden zu (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010). Für die Bestimmung der Trockenrohddichte werden Stechzylinderproben (Volumen = 100 cm^3) entnommen, im Labor bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ getrocknet, anschließend ausgewogen und mit dem Volumen in Beziehung gesetzt (LUTHARDT et al. 2006).

Mit geringem Technischen Aufwand sind auch über die *erweiterte Spatendiagnose* nach BESTE (2003) Aussagen über die Bodengefüge-Struktur möglich (s.a. oben). Allerdings nur bis zu gängigen Spatenblatttiefen von ca. 25 cm.

9.2.2.8 Feldkapazität und Permanenter Welkepunkt

Die Feldkapazität kann als Wasserspeichervermögen eines Bodens bezeichnet werden. Die für Pflanzenwurzeln nutzbare Feldkapazität (nFK) hängt eng mit den verfügbaren mittleren Poorengößen ($0,2\text{-}50 \text{ }\mu\text{m}$) und damit mit der Korngrößenverteilung und der Gefügestruktur zusammen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010). Aus der Saugspannungs-Wassergehalt-Kurve (pF-WG-Kurve) kann die Feldkapazität (FK), die nutzbare Feldkapazität und der Permanente Welkepunkt (PWP) abgelesen werden (DÜNTGEN & RIEGER 2003). Hierzu ist nach LUTHARDT et al. (2006) die Messung des Wassergehaltes (WG) im Boden mit hoher zeitlicher Auflösung erforderlich. Da dies im Rahmen der Wetterstationen durchgeführt wird (s.a. Kap. 9.2.1), kann hieraus zusammen mit der Saugspannung des Bodens (pF) die Kurve ermittelt werden.

Die gravimetrische Bestimmung des Bodenwasserspannungspotenzials wird mit der *Eijkelkamp*-Apparatur zur pF-Bestimmung oder einen Tensiometer durchgeführt (LUTHARDT et al. 2006).

9.2.3 Biotische Bodenparameter

9.2.3.1 Durchwurzelungsintensität

Die Durchwurzelungsintensität gibt an, wie gut der Wurzelraum für die Wasser- und Nährstoffaufnahme erschlossen ist. Dazu werden an entsprechenden Stichprobenstellen die Feinwurzeln (Wurzeln mit einem Durchmesser $< 2 \text{ mm}$) je dm^2 kartiert (RIEK 2016).

9.2.3.2 Regenwürmer (*Lumbricidae*)

Regenwürmer machen den größten Massenanteil an Bodenlebewesen aus (LUTHARDT et al. 2006). Sie beeinflussen die mikrobielle Aktivität mit der Laub- und Blätterzersetzung und der Auflockerung des Bodens maßgeblich und tragen mit der Produktion biogener Aggregate in Form von Regenwurmlosgen zu einer Verbesserung des Bodengefüges bei (GNAN 2002). Die Struktur

der Regenwurmpopulationen ändert sich durch Jahreszeiten- oder Witterungseinfluss nur geringfügig, Regenwürmer gelten jedoch als Indikatoren für Veränderungen im Bodenzustand oder in der Bewirtschaftungsweise (ebd.). Außerdem sind Regenwürmer auch ein guter Indikator für das gesamte Bodenleben, da sie sich unter anderem von Bakterien und Protozoen ernähren (LOWENFELLS & LEWIS 2006).

Zur Bestimmung der Regenwurmabundanz sollte nach LUTHARDT et al. (2002) das Bodenmaterial aus einem Erdloch, das mit einer Stechrahmen-Schablone (25x25x20 cm Tiefe) und mit Hilfe eines Spaten ausgehoben wird, auf einer Plane ausgebreitet werden. Anschließend findet noch eine Suche nach tiefgrabenden Arten mittels Austreibung durch Formalinlösung statt. Außerdem wird je Erdloch die Bodenfeuchte und -temperatur gemessen (LUTHARDT et al. 2006). Die Regenwürmer werden mit Boden in entsprechenden Behältnissen ins Labor gebracht und dann gewogen. Da die verschiedenen Ruhestadien der Regenwürmer stark von den Faktoren Bodenfeuchte und Bodentemperatur abhängen, kann besonders die aktivitätsbezogene Austreibungs-Methode nur eine hohe Effektivität erreichen, wenn die Voraussetzungen einer optimalen Bodenfeuchte (> 16%) und Temperatur (> 7 °C) erfüllt sind (GNAN 2002). Daher sollte Probenentnahme-Zeitpunkte dementsprechend gewählt werden.

Für die Probenentnahme von 16 Stichproben werden für 3 Menschen etwa 10 Stunden Arbeit veranschlagt. Hinzu kommt die Bestimmungszeit von 5 Stunden. Zusammen wären dies dann insgesamt 15 Stunden Arbeit für 16 Stichproben und ein dreiköpfiges Team. Da sich Regenwurmpopulationen nur langsam verändern und die Abundanzanalyse relativ aufwendig ist (GNAN 2002) werden nur alle 3 bis 6 Jahre Erdproben nach Regenwürmern durchsucht.

9.2.3.3 Mikrobielle Aktivität

Die mikrobielle Aktivität (C_{mik}) ist eine bedeutende biologische Komponente der Bodenfruchtbarkeit (s.a. Kap. 7.1, 7.2.2). Die mikrobielle Aktivität schwankt im Laufe des Jahres bedingt durch Witterungseinflüsse und Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Fruchtart, Bearbeitung und Düngung) (LUTHARDT et al. 2006). Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen empfiehlt es sich daher, die entsprechenden Bodenproben im zeitigen Frühjahr (März/April) unmittelbar vor Vegetationsbeginn und Bewirtschaftungsmaßnahmen zu nehmen.

Analyseverfahren:

Die Proben sollten nach der Entnahme in naturfeuchten Zustand gehalten und innerhalb von 24-48 h nach der Entnahme analysiert werden. Zwischenzeitlich ausgetrocknete Böden können sonst stark abweichende Ergebnisse liefern (LUTHARDT et al. 2006). Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse kann der Boden im Vorfeld konditioniert werden, das heißt, der Wassergehalt wird auf ca. 60 % der Wasserhaltekapazität des jeweiligen Substrates eingestellt (BÖHM 2012).

Die Analyse der Bodenatmung (CO₂-Bildung) ist das gängigste Verfahren, um mikrobielle Aktivität bzw die mikrobielle Biomasse(C_{mik}) zu quantifizieren (ANDERSON 2006). Dabei wird die mikrobielle Respiration (CO₂-Abgabe) über die Beigabe einer aktivierenden Substanz (meist Glukose) induziert und unter kontrollierten Bedingungen über einen festgelegten Zeitraum gemessen, z.B. mittels computergesteuerten *HEINEMEYER-Infrarot-Gasanalysator* (Substratinduzierten Respiration - SIR), daraus wird die mikrobielle Biomasse errechnet (BECK 1984).

Neben der hier dargestellten Methode gibt es noch weitere Methoden wie z.B. die Chloroform-Fumigations-Inkubations-Methode (CFI) und die Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode (CFE), welche bei JÖRGENSEN (2011) ausführlich dargestellt werden.

Besonders bei bodenmikrobiologischen Untersuchungen sind streng genommen nur Ergebnisse von Proben vergleichbar, die nach gleicher vorangegangener Witterung, zur gleichen Jahreszeit und bei gleicher Fruchtart gezogen wurden. Da dies bei Regenwürmern ähnlich ist (s.a. 9.3.3.2), wird vorgeschlagen beide Parameter gemeinsam zu erheben und evtl. an die 3-5-gliedrige Fruchtfolge des Pächters anzupassen.

9.2.3.4 Pilzliche Aktivität und Mykorrhizierung

Wie in Kap. 7.2.2 ausführlich beschrieben, wird die pilzliche Aktivität einschließlich der Mykorrhizierung besonders durch mehrjährige Kulturen (Bäume), Minimalbodenbearbeitung und ligninhaltigen Mulch (FZH) gefördert und könnte zahlreiche positive Effekte hervorrufen. Bisher wurde die pilzliche Aktivität im Zusammenhang mit AFS noch unzureichend wissenschaftlich untersucht (BRIGGS 2012) (s.a. Kap. 2.7), daher scheint es sinnvoll dies auf dieser Dauerbeobachtungsfläche zu tun.

Da die Methoden zur Analyse der mikrobiellen Aktivität nicht zwischen pilzlicher und bakterieller Aktivität differenzieren (s.a. oben), wäre es notwendig ein weiteres Analyseverfahren durchzuführen.

Welches **Analyseverfahren** angewendet wird, ist in einer weiteren Arbeit zu prüfen:

Die Vielfalt der mikrobiellen Gemeinschaft könnte über eine 16S-rRNA-Sequenzierung sehr differenzierter dargestellt werden (JÖRGENSEN 2011). Allerdings stellt dieses Verfahren hohe technische Anforderungen (ebd.).

Nach JÖRGENSEN (2011) ist die Epifluoreszenzmikroskopie die bedeutendste Methode zur quantitativen Bestimmung von Pilzen. Dabei werden die Proben mit Stoffen wie z.B. Acridinorange (färbt Nukleinsäuren), Fluoresceinisothiocyanat (reagiert mit Proteinen), Europiumchelat (färbt DNA und RNA) oder Phenolanilinblau (besonders geeignet zur Anfärbung

von Pilzhypen) versetzt, die nach Anregung mit Licht einer bestimmten Wellenlänge die Hphen fluoreszieren lassen. Infolgedessen können diese mit einem Mikroskop gezählt werden (ebd.). OTTOW (2011a) stellt fest, dass routinemäßige Untersuchungen von Bodenproben aus der Rhizosphäre zur Feststellung der Besiedlungsdichte von Mykorrhiza mittels Epifluoreszenzmikroskopie mit geringem Zeitaufwand durchgeführt werden können. Genauere Angaben zum Zeitaufwand und den Qualifikationsanforderungen an die Untersucher*innen finden sich bei ebd. jedoch nicht.

Der Anteil des Glomalin-Proteins im Boden könnte untersucht werden. Glomalin ist ein pilzliches Exsudat, über dessen Abundanz-Analyse Rückschlüsse auf die pilzliche Aktivität, vor allem der Arbuskulären Mykorrhiza (AM), möglich wären (SINGH, SINGH & TRIPATHI 2013). Nach RILLIG, WRIGHT & EVINER (2002) hat Glomalin eine zentrale Rolle bei der Stabilisierung einer feinkrümeligen Bodenstruktur. Bei SINGH, SINGH & TRIPATHI (2013) finden sich mögliche labortechnische Methoden zur Quantifizierung von Glomalin in Bodenproben (z.B. Bradford-Protein-Analyse oder Indirect-Enzymelinked-Immunsorbent-Analyse (ELISA)).

Da auch die pilzliche Aktivität stark von der Bewirtschaftung abhängt (s.a. Kap. 7.2.2) gelten hier die gleichen Anforderungen an den Probeentnahme-Zeitpunkt wie bei den anderen biotischen Bodenparametern.

9.2.4 Nährstoffauswaschung und Grundwasserneubildung

Die Verhinderung von Nährstoffauswaschungen ist ein hohes naturschutzfachliches Ziel in der Landwirtschaft, zu dem insbesondere die Etablierung von AFS-Systemen einen Beitrag leisten könnten (s.a. Kap. 2.4.4). Außerdem könnten diese auch zu einer Grundwasserneubildung beitragen (SPIECKER et al. 2010).

Wie in Kap. 9.2.2.1 bereits dargestellt, können über die Analyse von NO_3^- unterhalb des durchwurzelten Bodens Aussagen über die potentielle Nitrat-Auswaschungs-Gefährdung gemacht werden. Durch eine Grundwasserbeprobung mittels Installation eines Pegelrohres könnten jedoch die tatsächliche N-Auswaschung und Grundwasserstände ermittelt werden (LUTHARDT et al. 2006).

Analyseverfahren und benötigte Geräte:

Auf den AFS-Versuchsflächen der BTU-Cottbus erfolgt die Beprobung des Grundwassers alle 14 Tage, sowohl auf dem Referenzackerschlag als auch in der Mitte eines 96 m breiten Ackerstreifens des AFS und innerhalb der Baumreihen, mit fest installierten Pegelrohren (BÖHM et al. 2013).

Bei der Beprobung wird zuerst der Pegelstand abgelesen, durch dessen dauerhafte Aufzeichnung Aussagen über eine etwaige Grundwasserneubildung gemacht werden könnten (LUTHARDT et al. 2006). Anschließend wird das Wasser komplett abgepumpt und verworfen. Günstig sei hierzu der Einsatz einer einfachen Hand-Vakuumpumpe oder ggf. auch einer Schöpfkelle, so ebd.. Das nach einiger Zeit nachlaufende „frische“ Wasser wird dann abgefüllt und im Labor beprobt. Dies kann ebenfalls mittels Ionenchromatographie auf NO_3 mg/l untersucht werden (s.a. Kap. 9.2.2.1).

Nach LUTHARDT et al. (2006) sei bei der Installation zu beachten, dass eine wasserchemische Untersuchung nur in Pegelrohren mit einem Mindestdurchmesser von 10 cm realisiert werden könne. Warum dies der Fall ist, kann jedoch bei ebd. nicht nachvollzogen werden und sollte daher vor der Installation nochmals geprüft werden.

Vorgeschlagen wird auf dem Standort jeweils ein Pegelrohr am nördlichen Rand des unteren Ackerschlags sowie innerhalb einer der Wertholz-Baumreihen zu installieren und diese in unregelmäßigen Abständen, jeweils bei Flächenbesuchen zur Erhebung anderer Parameter mindestens zweimal pro Jahr zu beproben.

9.2.5 Erosion

Aus der Beschreibung der Erosionsproblematik in Kap. 1.2 kann ein politischer Handlungsbedarf zur Förderung erosionsmindernder Maßnahmen abgeleitet werden. Wie in Kap. 4.1 dargestellt, bestehen auch auf der Projektfläche Wind- und Wasser-Erosionsprobleme. Daher scheint es sinnvoll zu untersuchen, in welchem Ausmaß das AFS die Erosion reduzieren kann (s.a. Kap. 2.4.4). Da der Aufwand für die Analyse der Winderosion sehr hoch wäre und indirekt auch über die Erfassung der Windgeschwindigkeits-Reduktion (s.a. Kap. 9.2.1 analysiert werden könnte (KUHWARD & DETTMANN 2013), soll eine direkte Erhebung ausschließlich bei der Wassererosion stattfinden.

Analyseverfahren nach LUTHARDT et al. (2006):

Die Erosionsspuren der Wassererosion können nach mit relativ geringem Aufwand zum Ausgang niederschlags- und schneereicher Winter und nach Niederschlägen mit hoher Intensität (> 10-20 mm) kartiert werden.

Die wichtigsten Kartierschritte sind in Kurzfassung folgende (ausführlicher bei ebd.):

- Feldkartenerstellung (topographische Karte der Auflösung 1:5.000),
- Geländeübersicht durch Begehung, Besehen der Sedimentationsbereiche und der Austrittswege,
- Ablaufen der Erosionspfade hangaufwärts,
- Nähere Bestimmung der einzelnen Pfade ggf. Markierung der Verästelungen durch Nummern,

- Fotodokumentation (Erosionsformen, Gewässerrand, Eintrittspfade, Zeigerpflanzen, Pflanzenschäden).

Bei einem langfristigen Monitoring könnten bereits die Daten aus einem Kartierungs-Intervall von 2 Jahren, jeweils nach einem vergleichbaren der oben beschriebenen Wetterereignisse, aussagekräftige Ergebnisse über den Einfluss des AFS liefern.

9.2.6 Wuchsleistung Bäume und Sträucher

9.2.6.1 Wertholzbäume / Maxi-Rotations-Bäume

Ertragskundliche Kenngrößen aus der Forstwirtschaft lassen sich nur bedingt auf Gehölze in AFS übertragen. Für die Zuwachsbestimmung des Einzelbaumes sollten jedoch jährlich der Höhen- und Durchmesserzuwachs für einen repräsentativen Teil jeder Baumart bestimmt werden (KRAMER & AKCA 2008). Mit den Werten des BHD und der Höhe kann dann auch der Volumenzuwachs bestimmt werden. Das Volumen kann näherungsweise bestimmt werden durch die Formel $V=g*h*f$ (g =Grundfläche, abgeleitet durch den BHD; h =Höhe; f =annäherungsweise 0,5). Zusätzlich würde es sich anbieten, die Länge des Terminaltriebes, Vitalität und Qualitätsmerkmale mit zu erfassen.

Die Höhenmessung kann beispielsweise mit einem Vertex Laser VL 400 erfolgen; die BHD-Messung sollte jährlich an derselben Stelle ($d= 1,3$ m) mit einer Kluppe oder einem Umfangmessband erfolgen. Die Länge des Terminaltriebes kann mit einer Messlatte gemessen werden. Die Vitalitätsansprache kann durch die Merkmale Belaubungsdichte und Verzweigung mit den Vitalitätsstufen 0 (vital) - 4 (abgestorben) nach ROLOFF (2001) erfolgen.

Als Holzfehler können beispielsweise mögliche Grün- und Totäste, Schaftneigung, Schaftkrümmung und Zwiesel wenn vorhanden nach GUERICKE et al. (2003) aufgenommen werden. Dafür wird eine Messlatte benötigt.

Zusätzlich könnten der Kronenradius und die Kronenlänge bestimmt werden, um vor allem mit zunehmender Ausbildung der Krone die Auswirkungen der Verschattung festzustellen. Die Kronenlänge gibt den Abstand zwischen Kronenspitze und Kronenansatz an. Dazu wird als Kronenansatz der erste grüne Primärast bestimmt und dessen Höhe am Schaft mit der Messlatte gemessen. Aus der Höhe des Kronenansatzes und der Gesamthöhe kann der Bekronungsgrad bestimmt werden (KRAMER & AKCA 2008).

Der Kronenradius entspricht der durchschnittlichen horizontalen Entfernung zwischen Stammmitte und Kronenrand. Zur Messung des Kronenradius wird ein Kronenspiegel verwendet (ebd.).

Diese Messung sollte einmal jährlich im Herbst oder Winter durchgeführt werden.

9.2.6.2 KUP- Pflanzen

Für die BHD-Vollaufnahme der KUP-Gehölze sollten bei einem flächen- bzw. durchmesserrepräsentativen Teilkollektiv alle Ruten bzw. Triebe auf mm genau gemessen werden, die folgende Bedingung erfüllen: direkter Ausschlag aus dem Wurzelwerk (zu messen auf 0,1 m Höhe) und Erreichen einer Höhe von 1,3 m (GUERICKE 2007). Üblich ist weiterhin die Messung des Wurzeldurchmessers auf etwa 0,05 m über der Bodenoberfläche sowie die Messung der Höhe (BÖHM 2012).

Aus diesen Werten kann der mittlere Wurzelhalsdurchmesser bestimmt werden. Zur Berechnung der Biomasse wird eine allometrische Gleichung¹⁰ verwendet, zu der die Biomasse zuvor getrocknet und das absolute Trockengewicht ("atro") bestimmt werden muss (GUERICKE 2007).

9.2.7 Erhebungen an den Ackerkulturen

Es gibt grundsätzlich vier mögliche Verfahrensweisen zur Ermittlung der Auswirkungen der Gehölzstreifen und der FZH-Mulchfläche auf den Ackerfrucht-Ertrag:

- Parzellenmähdusch in differenzierten Abständen vom Gehölzstreifen (Auflösung sehr genau aufgrund der Arbeitsbreite von ca. 1,5m) mit anschließender Achsenlast- oder Hofwage,
- GPS-unterstützter Mährescher mit Durchflusswaage (Auflösung der Ertragsunterschiede gering aufgrund der Arbeitsbreite von ca. 7.5 m),
- Normaler, flächiger Mähdrusch mit anschließender Achsenlast- oder Hofwage,
- manuelle Handernte repräsentativer Quadrate von 1 m²

Da auf der Fläche weder ein Parzellenmähdrescher noch ein GPS-Mährescher mit Durchflusswaage zur Verfügung steht, und eine Transekt-Teilflächen-scharfe Ertragserfassung wünschenswert erscheint, soll die Ertragsleistung vor allem händisch-manuell ermittelt werden (s.a. unten). Zu beachten ist dabei, dass die Ertragsleistung bei manueller Ermittlung oft geringfügig höher ausfällt als bei maschineller Ernte (mdl. Mit. BLOCH 2016).

Die Bestimmung der oberirdischen Phytomasse (kg/ha) der Ackerfrucht mittels Handernte repräsentativer Quadrate von 1 m² dient zur Beurteilung der Produktivität des Standorts und ist ein Maß für die Struktur und Dichte des Bestandes (LUTHARDT et al. 2006).

Zusätzlich könnten die Erträge größerer klar definierter Flächen zwischen den Baumreihen, auf der FZH-Mulch-Fläche, sowie auf der Vergleichsfläche mittels Achsenlasten-Waage des Hängers erfolgen und zur Eichung der Ergebnisse aus der manuellen Methode verwendet werden.

¹⁰ $b = a_0 \cdot d^{a_1}$ (b= Einzelbaum-Trockenbiomasse; a₀, a₁= Regressionskoeffizienten; d= Brusthöhendurchmesser d_{1,3} in cm; parzellenspezifische Biomassenfunktion, nach GUERICKE 2007).

Analyseverfahren nach BÖHM (2012) und LUTHARDT et al. (2006): Im Vorfeld der Erntemaßnahmen werden an Stellen innerhalb der Transekt-Teilflächen jeweils 3-5 repräsentative Quadrate (100 cm x 100 cm) ausgewählt. Die Quadrate werden nicht markiert, sondern jeweils vom Bearbeiter selbst nach ihrer Repräsentativität ausgesucht. Ein mitgeführter Rahmen von 100 cm x 100 cm wird auf den Boden gelegt und die gesamte oberirdische Phytomasse innerhalb des Rahmens wird mit einer Sichel geerntet, wobei die Schnitthöhe 3-5 cm beträgt. Das Frischgewicht wird im Gelände mit einer transportablen Waage ermittelt. Anschließend wird der Mittelwert der 5 Proben errechnet.

Zur Erhebung der Trockenmasse sollte von den 5 Proben jeweils eine repräsentative Mischprobe mit ca. 1 bis 1,5 kg in frischem Zustand ausgewogen werden (MÜHLENBERG 1993). Diese Mischproben werden bei 80°C im Trockenschrank getrocknet und anschließend gewogen.

Benötigte Geräte nach LUTHARDT et al. (2006):

- Rahmen zur Abgrenzung der 1 m² großen Probeflächen
- Schere oder Handsichel
- Waage (Eignung bis zu 5 kg)
- Säcke zum Wiegen und Transport

9.2.8 Biodiversitätsindikatoren: Begleitflora, Begleitfauna

Laut LUTHARDT et al. (2002, S.80) ist "der Erhalt von Artenvielfalt in Landschaften eines der obersten Ziele nachhaltig naturschutzfachlichen Handelns". Die floristische und faunistische Artenvielfalt kann dabei als messbarer Indikator fungieren, durch die der Einfluss von Agroforstsystemen auf die Biodiversität in Agrarlandschaften quantifizierbar wird. Die folgenden Angaben stammen, soweit nicht anders angegeben, aus LUTHARDT et al. (2002).

9.2.8.1 *Begleitflora*

Bei der Untersuchung der Flora ist nicht nur ihre Artenvielfalt von Bedeutung, sondern auch die Vergesellschaftung von bestimmten Pflanzenarten. Es stellt sich die Frage, ob durch die veränderten Standortserhältnisse Ubiquisten angezogen werden oder ob sich eine typische Vergesellschaftung beispielsweise von traditionellen Waldarten einstellt (ebd.).

9.2.8.1.1 Erfassung des Gesamtartenspektrums

Zur Erfassung der Pflanzenartendiversität ist laut LUTHARDT et al. (2002) eine gängige Methode die Erstellung einer Gesamtartenliste. Dazu erfolgt jährlich eine Geländebegehung der gesamten Fläche, bei der das Vorkommen aller Arten in die Standard-Geländeliste für die Floristische Kartierung Brandenburgs eingetragen wird (ebd.). Dies geschieht mit der 3-stufigen Häufigkeitsklassifikation selten (s) / zerstreut (z) / häufig (h). Bei der Auswertung können

beispielsweise Rote-Liste-Arten bzw. ökosystemtypische oder -fremde Arten besonders berücksichtigt werden (ebd.).

Diese Erhebung sollte jährlich im Sommer stattfinden. Als Arbeitsaufwand wird ein halber bzw. ein ganzer Tag geschätzt.

9.2.8.1.2 Aufnahme des Vegetationstransektes

Zur Erfassung der räumlichen Anordnung der Vegetationsausbildungen werden anhand einer fest markierten geraden Linie in definierten Abständen alle Arten aufgenommen (ebd.). Dabei werden Anfangs- und Endpunkte des Transektes mit dauerhaften Punkten markiert und festgelegt. Entlang dieser Linie werden alle 10-20 m in einem Halbkreis (mit einem Radius von z.B. 2 m) oder in Boniturparzellen (z.B. 1m x 3m) alle Gefäßpflanzen mit ihrer Mächtigkeit eingetragen. Dafür empfiehlt sich die pflanzensoziologische Aufnahme nach BRAUN-BLANQUET (BÖHM 2012).

Dabei ist wichtig, dass möglichst die gesamte Bandbreite an Standorts- und Vegetationsverhältnissen abgebildet wird. Außerdem sollte der Transekt dorthin gelegt werden, wo Veränderungen zu erwarten sind (s.a. Kap. 9.1).

Diese Aufnahme sollte alle 6 Jahre durchgeführt werden, möglichst an 3 Terminen (z.B. Mai, Juni, August). Dafür werden jeweils 1-2 Tage veranschlagt.

9.2.8.2 Begleitfauna

Die Ansprüche von Tieren und Pflanzen sind nicht immer deckungsgleich (ebd.). Deshalb eignen sich Tiere als zusätzlicher Indikator für Biodiversität. Da sie insgesamt als mobiler als Pflanzen gelten, können sie sehr sensibel auf Umweltveränderungen reagieren. Grundsätzlich können nicht alle potentiell sinnvollen Organismengruppen untersucht werden, da der Aufwand zur Artbestimmung sehr groß ist. Als gut erforschte Gruppen eignen sich die Laufkäfer und die Vögel.

9.2.8.2.1 Laufkäfer (Carabidae)

Laufkäfer gehören zu den am besten bearbeiteten Insektengruppen in Mitteleuropa (LUTHARDT et al. 2002). Sie eignen sich gut als Indikatorgruppe, weil sie eine Vielfalt an spezifischen Habitatsansprüchen abbilden. Weiterhin reagieren sie sensibel auf abiotische Veränderungen bezüglich der Temperatur, Bodenfeuchte, des Lichts, des pH-Werts im Boden, des Bodentyps usw. Besonders die stenöken Arten sind interessant, weil sie eine enge Bindung an einige, spezifische Umweltfaktoren zeigen und nur in bestimmten Biotoptypen überleben können (ebd.). Auch hier würde sich eine Transektmethode anbieten, um die unterschiedlichen Habitatsangebote erfassen zu können. Erfasst werden sollen die Aktivitätsdichte, das Artenspektrum und die Dominanz der Laufkäfer.

Zur Erfassung der Laufkäfer sollten alle 3 Jahre etwa 6 Bodenfallen aufgestellt werden und im 14-tägigen Abstand entleert und bestimmt werden. Dabei sollten 5 Fangperioden gewählt werden (April-Juni, August-Oktober). Für die Installation der Bodenfallen werden etwa 1-2 Stunden gebraucht, für die Ausleerung je 1 h. Für die Aussortierung von anderen Tieren und die Laufkäferbestimmung werden je etwa 2 Stunden veranschlagt. Damit ergibt sich ein Arbeitsaufwand von 25-30 Stunden/Jahr.

9.2.8.2.2 Brutvögel

Vögel eignen sich gut als Bioindikatoren, da ihre Ökologie gut erforscht ist. Ihr Auftreten ist meist an spezifische Landschaftsstrukturen gebunden, sodass durch die Kartierung bestimmter Vogelarten Rückschlüsse auf den Zustand der Landschaft geschlossen werden können. Außerdem sind Vögel relativ mobil und reagieren somit sensibel auf Umweltveränderungen. Eine Erfassung von Brutvögeln stellt sich weiterhin relativ leicht dar, v.a. aufgrund ihres Gesangs (TRAUTMANN 2013).

Für die Kartierung bietet sich die “gruppierte Registrierung” (GRUSS & SCHULZ 2011) an. Dabei werden an ca. 8 Terminen etwa 2 Stunden lang bei günstiger Witterung und artspezifisch günstigen Erfassungszeitpunkten die Brutvögel durch ihre Gesänge und durch Sichtbeobachtungen erfasst. Die Kartierung sollte zwischen Ende März und Ende Juni i.d.R. in den frühen Morgenstunden erfolgen, jedoch wird empfohlen, auch 1-2 mal am Abend zu kartieren (ebd.). Damit ergibt sich ein Zeitaufwand von 16 Stunden Arbeit pro Fläche. Das Vögelmonitoring sollte jedes Jahr oder alle 2 Jahre stattfinden.

9.3 Übersichtstabelle: Arbeitsaufwand und Geräte im Jahresverlauf

Eine Tabelle aller zu erfassenden Parameter, der benötigten Geräte, des Messintervalls und dem Zeitbedarf findet sich im Anhang 5.

10 Management

Grundsätzlich sollte das Ziel aller Managementmaßnahmen in AFS sein, dass der Arbeitsaufwand moderat und in bestehende Betriebsabläufe integrierbar bleibt (s.a. Kap. 4.2). Diesbezüglich stellen SPIECKER et al. (2009) fest, dass der Arbeitsaufwand nach den ersten Jahren der Etablierung erheblich sinkt.

10.1 Bestandesbegründung

10.1.1 Vorbereitung

Vor der Pflanzung sollte eine gute Tiefenlockerung des Bodens durchgeführt werden, um ein optimales Wachstum der Tiefenwurzeln der Bäume zu begünstigen (SCHILDBACH et al. 2009). BIELEFELDT et al. (2008) schlagen zu diesem Zwecke vor im Frühjahr vor der Begründung die Baumstreifen zu pflügen und zu eggen. Dies könnte auch positive Auswirkung bezüglich der Beikrautregulierung haben (ebd.).

Da der Niederschlagsgrenzwert für die Pflanzung von Wertholz in AFS laut SPIECKER et al. (2009) bei ca. 600 mm liegt, der Standort aber nur 570 mm Niederschlag und sandigen Boden mit geringer Wasserhaltekapazität aufweist (s.a. Kap. 4.1), ist die Wasserverfügbarkeit als kritischer Faktor einzuschätzen.

Daher sollten folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserhaltefähigkeit gezielt auf den zu pflanzenden Baumstreifen und der KUP-Fläche ergriffen werden, wobei hierfür im Vorfeld die exakte Position der Baumreihen (s.a. Kap. 8) vermessen und markiert werden sollte:

- Kompostausbringung: Vom nahegelegenen Kompostwerk URD kann ein Humus-betonter¹¹ Kompost aus Grünschnitt-Abfällen kostenfrei bezogen werden (mdl. Mit. ARNISCH 2016). Allerdings dürfen nach § 6.1 der Bioabfallverordnung (BioAbfV 2013) Ausbringungs-Mengen von Komposten “30 t_{atro}/ha innerhalb von drei Jahren nicht überschreiten.” Im selben Absatz heißt es jedoch auch, dass “die für die Ausbringungsfläche zuständige Behörde [...] im Einvernehmen mit der zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörde weitere Ausnahmen im Einzelfall zulassen kann”. Möglicherweise könnte für Forschungszwecke eine Ausnahme beantragt werden. LOWENFELLS & LEWIS (2006) empfehlen eine Kompostausbringung vor der Mulch-Applikation. Da Kompost eine deutlich höhere Anzahl und Vielfalt an Bodenleben enthält könnte eine größere Ausbringungsmenge auch als Starthilfe für die Humifizierungsprozesse auf der FZH-Fläche genutzt werden.

¹¹ Der Humus-betonte Kompost sollte dem Nährstoff-betonnen Kompost des URD-Kompostwerkes vorgezogen werden, da er durch die Lignin-haltige Ausgangssubstanz (Hecken-Grünschnitt) besser zur langfristigen Wasserspeicherkapazität des Bodens beitragen kann als der voraussichtlich schnell mineralisierte und damit abgebaute Nährstoff-betonnte Kompost (s.a. Kap. 7.2.1).

- Die Wasserhaltekapazität des Bodens könnte außerdem durch das Aufbringen von Lehmabraum aus einer örtlichen Kiesgrube verbessert werden. Bei einer Anfrage der KHG Kulturboden-Handels GmbH im Löwenberger Land konnte ein Angebot von 1,5 €/t Lehm verhandelt werden (mdl. Mit. SCHWABE 2016). Da Lehm deutlich mehr für die nutzbare Feldkapazität relevante Mittelporen besitzt als Sand (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL et al. 2010) und keine Ausbringungs-Obergrenzen bekannt sind, erscheint eine Ausbringung möglichst großer Mengen (30-50 t/ha) je nach Transportkapazitäten sinnvoll.

Die in Kap. 5 genannten Baumarten und -sorten sind in den genannten Mengen bei Baumschulen mit geeignetem Herkunftsnachweis des Pflanzgutes zu bestellen (MORHART et al. 2016).

10.1.2 Zäunung

Da Wertholzbäume stark verbissgefährdet sind (Kap. 5, SPIECKER 2008), müssen diese unbedingt geschützt werden. Gängige Möglichkeiten sind beispielsweise Wuchshüllen oder Drahtosen. NAHM (mdl. Mit. 2016) empfiehlt jedoch als zuverlässigen Schutz die Tubex-Wuchshüllen, die einen Einzelbaumschutz garantieren. Sie werden bei der Pflanzung mit einem Pflanzpfahl fest in den Boden gedrückt. Die Modelle von tubex-deutschland.de werden aus umweltverträglichen Polypropylen hergestellt und sind selbstabbaubar; weiterhin weisen sie eine Laserline auf, die bei großem Dickenwachstum aufbrechen kann.

Für die Wildobststräucher empfehlen sich allerdings Drahtosen (mdl. Mit. RÖCKSCH 2016).

10.1.3 Pflanzung

10.1.3.1 Pflanzung Werthölzer

Einige Wertholzbäume wie beispielsweise die Elsbeere sind sehr Mineralstoff-bedürftig (s.a. Kap. 5.4). Um eine ausreichende Mineralstoffversorgung zu gewährleisten, erscheint es zweckmäßig, eine größere Menge Gesteinsmehl in das Pflanzloch zu geben. KAYSER empfiehlt etwa 6 kg/Baum (mdl. Mit. 2016). Bei der Anzahl zu pflanzender Bäume von ca. 300 sollten daher 2 t Gesteinsmehl ausreichen. Einer Recherche ergab, dass dies am Preisgünstigsten von der Firma PROVINEA ab 80 €/t bezogen werden könnte.

Außerdem wurde in der Literatur (LOWENFELLS & LEWIS 2006, OTTOW 2011a) und bei Gesprächen mit Expert*innen (mdl. Mit. KAYSER 2016) mehrfach empfohlen, Bäume vor dem Pflanzen mit passenden Mykorrhizastämmen¹² zu inokulieren. Dies sei insbesondere auf verarmten Standorten förderlich für eine gute Pflanzenernährung und Wasserversorgung förderlich (s.a. Kap.

¹² Geeignete Mykorrhizastämme können bei vielen Baumschulen bezogen werden.

7). Die Ertragsauswirkungen durch die Beimpfung mit Mykorrhiza wurden in zahlreichen Studien untersucht. Die Ergebnisse widersprechen sich jedoch teils und lassen keine eindeutigen pflanzenbaulichem Schlussfolgerungen zu (OTTOW 2011a). Es könnten daher einige wenige Bäume, verteilt über verschiedene Reihen, beimpft und genau kartiert werden. Bei der Wuchsleistungsuntersuchung könnte anschließend die Wirksamkeit der Beimpfung untersucht werden.

Entlang der markierten Baumreihen sollten die Abstände der zu pflanzenden Bäume ebenfalls vermessen und markiert werden (s.a. Kap. 8). Zusammen mit der Pflanzung sollten auch etwa 3,5 m hohe Sitzwarten in den Baumreihen installiert werden, da sonst die Gefahr besteht, dass Baumspitzen verbiegen oder abbrechen, wenn Sie von Greifvögeln als Sitzwarte angefliegen werden (SPIECKER 2008).

Der Aushub der Pflanzlöcher kann mit Spaten oder Erdlochausheber vorgenommen werden. Die Verwendung eines maschinellen Erdlochbohrers wäre ebenfalls möglich, auf dem leichten Standort allerdings voraussichtlich nicht nötig. Außerdem entstünden so runde Pflanzlöcher, wobei eckige Pflanzlöcher im Vergleich zu diesen einen besseren Erdreichteintritt der Wurzeln ermöglichen sollen (MORHART et al. 2016). Nach der Gesteinsmehl-Applikation (s.a. oben) können nun die Setzlinge gepflanzt werden. SPIECKER et al. (2009) empfehlen dabei einen Wurzelrückschnitt auf 2-3 mm Durchmesser besonders bei den stärksten Tiefwurzelspitzen. Die Pflanze sollte zuerst etwas tiefer gesetzt werden und dann nach dem Pflanzen im lockeren Pflanzloch leicht nach oben gezogen werden. Das bringt die Wurzeln in die richtige Position. Danach sollte die Erde leicht angedrückt werden (ebd.). Bei der Pflanzung wird auch die Baumschutzhülle wie oben beschrieben angebracht, wobei der Pflanzstab auf Hauptwindrichtungsseite befestigt werden sollte (ebd.).

Das Schützen der Wurzeln mit Unverzinktem Hasendraht (empfohlen von MORHART et al. 2016) scheint aufgrund des geringen Mäusedrucks auf der Fläche nicht notwendig zu sein (mdl. Mit. WINTER 2016).

Sollte es zu Ausfällen kommen, könnte eine Nachpflanzung notwendig sein.

Da dies jedoch im Design bereits durch die Pflanzung im Verbund vorgesehen ist (s.a. Kap. 8.2.2), muss erst nachgepflanzt werden, wenn beide Bäume ausgefallen sind. Dabei sollte geprüft werden, warum die Bäume eingingen. Denn eventuell könnte dies ein Indiz dafür sein, dass eine bestimmte Baumart nicht zum Standort passt (MORHART et al. 2016).

10.1.3.2 Pflanzung Maxi-Rotation

Als Pflanzmaterial für die Maxi-Rotation empfiehlt es sich, 2-4 m hohe Setzstangen zu verwenden, die manuell bzw. mit einem Bodenmeißel mind. 100 cm tief in den Boden gebracht werden (3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe 2010). Wichtig ist dabei,

dass die Pflugsohle durchbrochen wird, um einen optimalen Anwuchs zu garantieren (mdl. Mit. GUERICKE 2016).

10.1.3.3 Pflanzung KUP

Der Reihenabstand der KUP sollte breiter als die halbe Spurenbreite der Erntemaschine sein (SCHILDBACH et al. 2009). Da noch nicht sicher ist, ob die Ernte motormanuell mit Kettensäge oder mittels einem geliehenen Anbau-Mähhackers stattfinden wird, empfehlen sich Einzelreihen mit dem Abstand 1,5 m. So würden gängige Traktoren mit dem Anbau-Mähacker durch die Reihen fahren können. HÖHNER (2011) empfiehlt jedoch aus der praktischen Erfahrung besser deutlich weitere Reihenabstände zu wählen, da es sonst schnell zu Reifenschäden bei der Ernte kommen könne. Daher wird statt dessen ein Abstand von 1,6m gewählt (s.a. Kap. 7.3.2)

SCHILDBACH et al. (2009) halten bis zu einer Flächengröße von 3 ha eine manuelle Pflanzung mit Steckisen oder Spaten für wirtschaftlicher als eine maschinelle Pflanzung. Hierbei ist es empfehlenswert für die Einhaltung der Abstände Pflanz-Schnüre aufzuspannen und nach dem Einsetzen der Stecklinge den Bodenanschluss durch Rückverfestigung mit den Schuhen herzustellen. Vor der Pflanzung sollten die Stecklinge für etwa 24 h in Wasser gestellt werden (SCHILDBACH et al. 2009). Nach der Pflanzung sollten die 20 cm langen Steckhölzer nur 2 bis 3 cm aus dem Boden ragen (ROHE et al. 2009).

Vor der Pflanzung sollte der Boden bis auf 20 cm gut gelockert sein (SCHILDBACH et al. 2009). Für die Robinienpflanzung könnte es hilfreich sein, wenn die Pflanzenfurchen mit einem Tiefenlockerer vorgezogen werden, denn die Robinie wird in der Regel nicht per Steckholz sondern mit wurzelnackten Pflanzen gesetzt. Dies wäre allerdings auch ggf. mit einem Spaten möglich.

10.2 Beikrautregulation

Viele Studien betonen die besondere Bedeutung der Beikrautregulation aufgrund der geringen Konkurrenzfähigkeit junger Bäume in frühen Entwicklungsphasen (MORHART et al. 2013). Ebd. unterscheidet zwischen drei grundlegenden Möglichkeiten zur Beikrautregulierung:

- mechanische Beikrautregulierung mittels Hackgängen,
- chemische Beikrautregulierung mittels Herbizideinsatz,
- passive Methoden wie Einsaaten extensiver Blümmischungen oder Mulch.

In den meisten Anlagen wird der Unkrautdruck in der Phase der Bestandesbegründung durch Herbizideinsatz reguliert (BIELEFELDT et al. 2008).

Der Einsatz von Herbiziden ist unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten jedoch kritisch zu betrachten (s.a. Kap. 4.2.4). Daher schlagen ebd. kombinierte Verfahren vor, mit dem Ziel, den Herbizideinsatz auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Hackgänge sind mit leicht modifizierten Maishacken möglich, allerdings sind diese aufgrund der engen Reihen nur mit geringen Arbeitsbreiten möglich und daher sehr zeitaufwändig (MORHARDT et al. 2013). Bei einer Vergleichsstudie konnten bei einer Kombination von Hacken und geringer Herbizidapplikation die höchsten Zuwachsraten gemessen werden (ebd.). Dies könnte durch die im Hackgang hervorgerufene Bodenbewegung, die eine Mineralisierung anregt, erklärbar sein. Die C-Veratmung durch Mineralisation von drei mal Hacken entspricht nach CROPP & BONIN (2016) etwa dem Kohlenstoffgehalt von 1,4 t trockener beziehungsweise 7 t frischer Pflanzenmasse. Da das Ziel des KUP-Anbaus jedoch der Bodenfruchtbarkeitsaufbau mittels C-Sequestrierung in Form von Dauerhumus ist (s.a. Kap. 7), erscheint Hacken kontraproduktiv.

Eine andere chinesische Studie von FANG, XIE & LIU (2008) konnten bei mit frischem Grasschnitt gemulchten Flächen mit Abstand die höchsten Zuwachsraten bei Pappeln messen. Auch WINTERLING, BORCHERT & WIESINGER (2014) kamen bei einem Vergleich verschiedener Verfahren zu den höchsten Zuwachsraten von Pappeln, Weiden und Erlen unter abbaubarer Mulchfolie.

Auch aufgrund der wasserhaushaltsverbessernden Wirkung von Mulch (s.a. Kap. 7.2.3), scheint dies für diesen Standort die geeignetste Beikrautregulationsmethode zu sein.

Grundsätzlich wären drei Materialien als Mulch denkbar:

- Holzhackschnitzel,
- Grasschnitt,
- Mulchfolie bzw. Bodengewebe.

DUNST (2015) hält Mulch mit Holzhäckseln bei Baum- und Strauchpflanzungen für besonders geeignet. Holzhackschnitzel müssten vorerst noch zugekauft werden. Bei einer Recherche konnten drei mögliche Anbieter in der Region gefunden werden (ARNISCH, WBV-Schnelle-Havel und die AgrarGmbH Liebenwalde). In telefonischen Interviews konnten die günstigsten Angebote von 8-10 €/Srm von den beiden erstgenannten eingeholt werden (mdl. Mit. ARNISCH 2016, mdl. Mit. ROSENBERG 2016). Die Holzhäcksel der ArarGmbH Liebenwalde haben zwar FZH-Qualität, da sie von einer KUP-Fläche mit 3-jährigem Umtrieb (s.a. Kap. 5.3) stammen, der Kostenvoranschlag lag jedoch bei 17 €/Srm (mdl. Mit. SCHIEMANN 2016).

Alternativ könnte auch Grasschnitt oder Stroh verwendet werden, dies sollte etwa 10 cm dick aufgebracht werden um eine hinreichende Beikrautunterdrückung und Wasserrückhaltung zu gewährleisten (CROPP & BONIN 2016). Der Geberflächen-Bedarf läge bei einer Aufbringungshöhe von etwa 10 cm bei etwas über 1:1, wenn alle Schnitte innerhalb eines Jahres auf einer Fläche verwendet werden (ebd.). Allerdings müsste der Grasschnitt im Gegensatz zu den

Holzhäckseln im zweiten Jahr erneut ausgebracht werden, da er bis dahin mineralisiert wäre. Nach der Studie von FANG, XIE & LIU (2008) zu unterschiedlichen Applikationsmengen von frischem Grasschnitt-Mulch in Pappel-KUP sollten während der ersten drei Jahre jährlich 20 t frischer Grasschnitt/ha ausgebracht werden. Eine jährliche Ausbringung scheint auf den dünnen Wertholzbaumstreifen zu aufwendig. Für die KUP-Fläche kommt dies jedoch grundsätzlich in Frage (s.a. unten).

MORHART et al. (2013) empfiehlt, dass, wenn Mulch als einzige Regulierungsmethode angewendet wird, dieser mindestens die Fläche von 1 m² um KUP-Bäume bedecken sollte. Da das Ziel der Mulch-Ausbringung unter anderem ein deutlich geringerer Bewässerungsbedarf im ersten Jahr ist, sollte die bedeckte Fläche etwas größer sein und mindestens 10 cm, optimalerweise 30 cm Auflagehöhe haben (mdl. Mit. GÖTSCH 2016).

Daher wird vorgeschlagen, den Holzhackschnitzel-Mulch in einem 1 m Radius um die Wertholzbäume auszubringen. Dies entspricht einer Fläche von etwa 3 m²/Wertholzbaum. Und bei einer Auflagehöhe von > 10 cm etwa einem Bedarf von 1 Srm/3 Wertholzbäume, das bedeutet bei den oben angegebenen Preisen Kosten von ca. 3 €/Baum.

Zu beachten ist, dass nicht direkt an die Baumstämme gemulcht werden sollte, sondern ein kleiner Abstand eingehalten werden sollte, sonst könnte die Rinde von Mikroorganismen angegriffen werden (LOWENFELLS & LEWIS 2006).

Die restliche Fläche könnte mit einer extensiven, am besten mehrjährigen Blümmischung eingesät werden. Diese würde eine beikrautunterdrückende Wirkung haben und stünde durch den Abstand der Mulchflächen nicht in direkter Wasser-Konkurrenz zu den Baumwurzeln.

Extensive, flach wurzelnde und artenreiche, naturschutzfachlich-wertvolle Blümmischungen können beispielsweise bei der Firma RIEGER-HOFMANN bestellt werden (mdl. Mit. KAYSER 2016).

Alternativ wären auch eine Aussaat von Gelbklees (*Medicago lupulina*), Weißklees (*Trifolium repens*) (WINTERLING, BORCHERT & WIESINGER 2015) oder eines Buchweizen-Phacelia-Gemenges (*Fagopyrum esculentum* und *Phacelia tanacetilolia*) (BIELEFELDT et al. 2008) möglich.

Da diese Untersaaten lückig zwischen den Werthölzern und dem diese umgebenden Mulch eingesät werden müssen, sollte dies händisch mit anschließendem Ein-Rechen oder gegebenenfalls auch motor-manuell mit einer Rasenbaumaschine durchgeführt werden.

Alternativ könnten die Zwischenräume auf den Streifen auch brachliegen und einer Selbstbegrünung aus dem natürlichen Samenvorrat (Diasporenbank) überlassen werden (BIELEFELDT et al. 2006).

Da eine Mulchapplikation auf der KUP-Fläche aufgrund der engen Pflanzabstände nahezu flächendeckend erfolgen müsste, würden große Mengen an Holzhäckseln oder Grasschnitt benötigt. Nach den oben angegebenen Preisen würde das für einen ha FZH Kosten von etwa 10.000 € bedeuten. Die oben genannten 20 t frischen Grasschnitt/ha auszubringen erscheint dem Pächter unrealistisch (mdl. Mit. WINTER 2016).

Wie oben aufgezeigt gibt es jedoch noch eine weitere Mulch-Methode: das Aufbringen von Mulchfolie. Positive Erfahrungen mit Polyethylen-Mulchfolien in den Baumreihen wurden bereits in den 90er Jahren auf einer der ersten wissenschaftlichen Agroforstversuchsflächen der Uni Leeds in Großbritannien gemacht (BURGESS et al. 2004). Die Kosten für Polyethylen-Mulchfolie, wie sie häufig in Gartenbaubetrieben verwendet wird, belaufen sich nach einer Publikation der BLFL (2005) auf nur 280 €/ha inklusive Entsorgung.

Bodengewebe aus Polypropylen sind zwar deutlich länger haltbar (5-10 Jahre haltbar), als die aus Polyethylen (ca. 2-4 Jahre) die Preise liegen jedoch bei ca. 5000 €/m² (HAGA 2016) und sind damit zu hoch.

10.3 Weitergehende Pflegemaßnahmen für die Wertholzbäume

Wie in Kap.5 dargestellt wurde, sonst wichtige Pflegemaßnahmen für die Wertholzbäume die Astung und die Wurzelraumregulation. Nach etwa 10 Jahren soll weiterhin je Verbund der gradschäftigste Baum selektiert werden. Nach 15-20 Jahren bzw. 40-60 Jahren können die Maxi-Rotations-/ Wertholz-Bäume geerntet werden. Abb. 28 stellt eine Übersicht über die anfallenden Pflegemaßnahmen für Wertholzbäume in AFS im Jahresverlauf dar.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pflanzung												
Bewässerung (falls nötig im 1. Jahr)												
Beikrautregulierung (1.-3. Jahr)												
Ästen (Später Winter)												
Ästen (Walnuss)												
Ästen (Wildkirsche)												
Ernte der Bäume												

Abbildung 28: Jahresverlauf der anfallenden Arbeiten (Morhart et al. 2015, S.32)

10.3.1 Asten

Wie schon zuvor dargestellt wurde (s.a. Kap. 5.2), ist die Astung bei Wertholzbäumen wichtig um hochwertiges Holz zu produzieren und die Verschattung zu minimieren.

Unter Astung wird die Entfernung von grünen bzw. schon abgestorbenen Ästen verstanden. Die Astung muss erfolgen, bis die gewünschte Schaftlänge erreicht ist. Dabei wird meist eine Länge von $\frac{1}{3}$ der Gesamthöhe angestrebt, jedoch sollten dabei die standortspezifischen Wuchsleistungen beachtet werden (BRIX et al. 2009). Bei Wildobst sollte mindestens bis auf 3 m, bei anderen Baumarten bis auf 5 m geastet werden (ebd.). Die Astung sollte drei bis vier Mal in den ersten 15–20 Standjahren durchgeführt werden (BRIX et al. 2009). Am Anfang alle 2-4 Jahre, möglichst bevor die zu entfernenden Äste einen Durchmesser von mehr als 3 cm erreicht haben (MORHART et al. 2015).

Wichtig ist, dass der verbleibende Aststummel möglichst kurz ist und die Rinde unterhalb des Astes nicht aufreißt. Weiterhin sollte versucht werden, den Schnitt möglichst glatt auszuführen, damit eine schnelle Wundheilung stattfinden kann (GROLM 2016). Eine Versiegelung der Wundflächen ist nicht notwendig (MORHART et al. 2015). Ebd. empfehlen allgemein die vorgreifende oder selektive Astung statt der klassischen Astung, da bei der klassischen Astung Sonnenbrandgefahr besteht und nur geringere Photosyntheseleistungen von den Bäumen erbracht werden können (ebd.). Die genaue Methode soll an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden, kann jedoch bei MORHART et al. (2015) nachgelesen werden.

Es sollten auch Wasserreißer entfernt werden, da sonst eine Minderung der Holzqualität entsteht. Im ersten Jahr können sie einfach mit der Hand abgeknickt werden; sind sie bereits dicker gewachsen, sollten sie wie andere Äste auch mit der Astungssäge entfernt werden (MORHART et al. 2015).

Die Astung sollte gleichermaßen für die Maxi-Rotations-Bäume durchgeführt werden (BURGESS et al. 2004).

10.3.2 Wurzelraumregulation

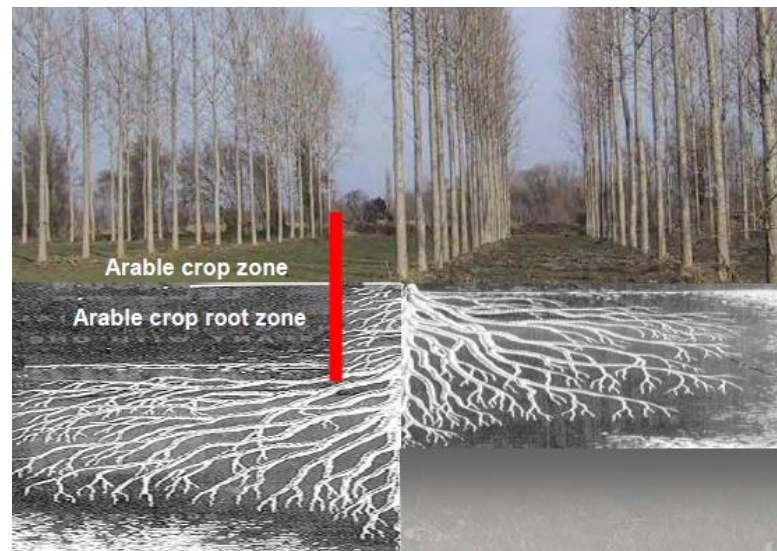


Abbildung 29: Vergleich Wurzelraum Agroforst und Forst (Briggs 2012, S.40)

Besonders in den ersten Jahren sollte auf den Ackerstreifen regelmäßig entlang der Baumstreifen gepflügt oder gegrubbert werden (mind. alle 2 Jahre), um die Bäume zu einem tieferen Wurzelwachstum anzuregen (s.a. Abb.29).

So können diese Nährstoff- und Wasserressourcen aus tieferen Bodenschichten erschließen, die für Feldkulturen nicht verfügbar sind (SPIECKER 2008).

Ein zu unregelmäßiges Pflügen könnte zu größeren Verletzungen der Wurzeln führen, die potentielle Eintrittspforten für Krankheiten wären (ebd.).

10.3.3 Selektion auf Zielbäume

Wie in Kap. 8.2 beschrieben, sollen die Werthölzer in einem 2er-Verbund mit je 2 m Abstand gepflanzt werden. SPIECKER (2012) empfiehlt nach 10 Jahren die Selektion je eines Baumes pro Verbund. Kriterium für die Auswahl ist ein möglichst gradschäftiger Wuchs, durch den die Produktion von wertvollem Holz begünstigt wird (s.a. Kap.5.5).

10.3.4 Ernte

Für die Maxi-Rotations-Bäume erfolgt nach dem ersten Umtrieb (nach 15-20 Jahren) wahlweise eine Rodung oder das Auf-den-Stock-Setzen. Ist eine erneute stoffliche Nutzung erwünscht, muss dann mit dem Ziele eines einstämmigen Wuchses eine Reduktion der austreibenden Triebe erfolgen. Falls allerdings eine energetische Nutzung erwünscht ist, können alle Triebe belassen werden (mdl. Mit. GUERICKE 2016). Für die Ernte kann auf konventionelle Forsttechnik (z.B. Harvester) zurückgegriffen werden (3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe 2010).

Der Erntezeitpunkt der Wertholzbäume wird grundsätzlich sowohl durch das Erreichen des Zieldurchmessers (40-50 cm) als auch durch die Entwicklung der Holzpreise bestimmt (BENDER et al. 2009). Ebd. empfehlen zur Ernte der Wertholzbäume die Verwendung einer Motorsäge. Um mögliche Schäden an den Ackerkulturen zu vermeiden, sollten die landwirtschaftlichen Flächen zum Erntezeitpunkt brach liegen (ebd.).

Aus naturschutzfachlicher Sicht wird grundsätzlich eine zeitversetzte Ernte der Wertholzbäume empfohlen (s. Kap. 4.2.4). Dies wird sich erwartungsgemäß leicht umsetzen lassen, da die ausgewählten Baumarten unterschiedlich schnell wachsen und damit ohnehin zu unterschiedlichen Zeitpunkten geerntet werden müssen.

10.4 Pflegemaßnahmen Wildobststräucher, Windschutzhecke

10.4.1 Wildobst

Genauere Details zum Management von Sanddorn und Aronia finden sich im Kap. 6.2. Der Rückschnitt beider Straucharten sollte, um ein Verkahlen zu vermeiden, etwa alle 3-4 Jahre zusammen mit dem Asten der Werthölzer oder bei Sanddorn auch ggf. durch die Erntemethode bedingt erfolgen (s.a. Kap. 6.2.1).

Die Beikrautregulierung wird mittels beidseitiger Aufbringung von Mulchfolie mit je 1,6 m Breite und ggf. später mit Hackschnitzel-Mulchung durchgeführt. Die zu mulchende Gesamtfläche beträgt für beide Kulturen gemeinsam etwa 800 m².

Beide Sträucher wurden aufgrund ihrer Robustheit und geringer Pflegeanforderungen ausgewählt, daher bedürfen sie voraussichtlich keiner weiteren Managementmaßnahmen (s.a. Kap. 7.2).

Die Beerntung der Fruchtertragskomponenten kann etwa ab dem dritten Standjahr bei Sanddorn und ab dem vierten bei Aronia im September und Oktober optional händisch durch Studierendengruppen der HNEE oder Mitarbeiter der Marmeladenmanufaktur im Löwenberger Land (mdl. Mit. VON SONNTAG 2016) erfolgen. Die Erntemethoden, einschließlich der Haselbaum-beerntung sind ebenfalls in Kap. 7.2 beschrieben.

Weitere Ernte- und Vermarktungsoptionen sollen in einer studentischen Projektbericht erarbeitet werden (s.a. Kap. 10.3.2).

10.4.2 Windschutzhecke

Detaillierte Angaben zur Anlage und Pflege von Hecken finden sich in Kap. 5.4. Die folgenden Ausführungen orientieren sich, soweit nicht anderweitig gekennzeichnet, an einem Leitfaden zu Hecken von MEYERHOF (2011).

Mit der Heckenpflanzung wird die Installation eines Zaunes zum Schutz vor Wildverbiss empfohlen. Es sollte geprüft werden, ob gebrauchtes Zaunmaterial zu günstigen Konditionen vom Forstamt oder dem örtlichen Bauhof bezogen werden kann. Bei einer Neuanschaffung ist inklusive Pfähle mit Kosten von etwa 150-200 €/100 m zu kalkulieren. Der Zaun sollte nach 5-7 Jahren rückgebaut werden, damit auch größere Tiere die Hecke als Lebensraum nutzen können.

In den ersten Jahren sollte 1-2 mal pro Jahr ein Grastrückschnitt zwischen den Jungpflanzen erfolgen. Dies kann entweder mit einem Freischneider oder bei einheitlichem Reihenabstand mit einem schmalen Balkenmäher erfolgen.

Alle 7-15 Jahre sollte ein Heckenrückschnitt erfolgen, um eine Verkahlung zu vermeiden und die Artenvielfalt zu erhalten. Es wird empfohlen, dies räumlich und zeitlich gestaffelt durchzuführen, um Mehrstufigkeit sowie eine Windschutzwirkung zu erhalten. Schnellwachsende Gehölze können dabei auf den Stock gesetzt werden. Der Rückschnitt kann entweder motormanuell mit einer Kettensäge erfolgen, mit einem Woodcracker des WBV Fehrberlyn (mdl. Mit. PHILIP 2016) oder mit einem Anbaukreissägen-Gerät aus der Straßenbaumpflege (mdl. Mit. WINTER 2016). Genauere Angaben speziell zu verschiedenen technischen Lösungen für den Heckenrückschnitt zur Energieholzgewinnung finden sich bei CHAMBERS et al. (2015).

Die Äste von den Pflegemaßnahmen können zusammen mit den Ästen der Wertholzastungs-Maßnahmen gesammelt werden. Mit dem Häcksler des örtlichen Kompostwerkes (URD) können diese zu FZH verarbeitet werden (mdl. Mit. ARNISCH 2016).

10.5 Management der KUP- Elemente

Erntemethoden und Rodetechnik

Zur Ernte von KUP-Flächen bestehen verschiedene Möglichkeiten. Grundsätzlich ist zwischen einphasigen und zweiphasigen Verfahren zu unterscheiden (PECENKA et al. 2014).

Einphasige Verfahren erfordern Spezialtechnik wie Maishäcksler mit speziellem KUP-Gebiss und sind oft mit hohen Kosten verbunden und daher nur für größere KUP-Flächen geeignet (ebd.). Somit wurde anfangs eine umfangreiche Recherche über mögliche zweiphasige Ernteverfahren, wie bei CHAMBERS et al. (2015) dargestellt, durchgeführt. Diese sind jedoch erheblich zeitaufwendiger, da in einem ersten Schritt die Ernte entweder händisch mit Kettensäge oder mit, wie in der Forst- und Landschaftspflege üblichen, Schnitt-Greifarm-Maschinen (Bsp. *Woodcracker*) durchgeführt werden muss; dann die Hölzer auf Haufen gesammelt und anschließend einem Häcksler zugeführt werden müssen (ebd.). Mögliche Dienstleister aus der Region finden sich in Kap. 7.3.

Für Zerkleinerung von Baum und Strauchschnitt zu Kompostierungs-Zwecken empfiehlt DUNST (2015) schnelllaufende Schlägelhäcksler mit ca. 2.000 U/min, um eine optimale Material-Auffaserung zu erreichen. Diese Empfehlung lässt sich voraussichtlich auf die FZH-Herstellung übertragen.



Abbildung 30: Anbaumähhackler (Pecenka et al. 2014, S.7)

Der Anbau-Mähhackler für Traktoren (s.a. Abb.30), eine Neuentwicklung des ATB Leibniz-Institutes für Agrartechnik Potsdam, ermöglicht jedoch auch für kleinere Flächen unter 5 ha eine preiswerte einphasige KUP-Ernte (mdl. Mit. LENZ 2016). Dieser kann zum Beispiel über die SCHRADENHOLZ UG (2015) geliehen werden kann.

Der Anbau-Mähhackler könnte aufgrund seines vergleichsweise geringen Gewichtes von 1 t sogar mittels eines großen PKW-Anhängers preiswert zur Fläche transportiert werden (mdl. Mit. ebd. 2016). Die gesamten Erntekosten belaufen sich nach PECENKA et al. (2014) auf 7 - 15 €/t_{atro} bei einer Flächenleistung von 0,3 - 0,6 ha/h. Das ATB schreibt dazu (2015, S. 1):

“Bisherige KUP-Erntegeräte benötigen separate Maschinenbaugruppen für die Ernteschritte Abtrennen der Ruten, Zerkleinern der Ruten und Auswurf der Hackschnitzel. Die Maschinen sind dadurch insgesamt schwer und aufwändig. Der neue Gehölzmähhäcksler, der die Bäume in senkrechter Position zerkleinert, vereinigt diese drei Baugruppen in einer. Das niedrige Gewicht der kompakten Maschine reduziert die Bodenbelastung und ermöglicht die Ernte bei nicht optimalen Witterungsverhältnissen.”

Für eine optimale Auslastung der Erntemaschine empfehlen PECENKA et al. (2014) einen separaten Schlepperzug für den Hackschnitzeltransport. Da die FZH auf der unmittelbaren Nachbarfläche ausgebracht werden sollen könnte jedoch auch eine Kombination von Mähhackler und Anhänger zur Aufnahme der Hackschnitzel an einem Trägerfahrzeug als autarke Ernteeinheit sinnvoll sein. So könnten die Hackschnitzel sobald der Anhänger voll ist auf einen Haufen am Feldrand abgeladen werden und von dort mit dem Miststreuer (s.a. unten) ausgebracht werden.

Über den optimalen Ernte-Zeitpunkt der FZH kann nur spekuliert werden, da hierzu keine Studienangaben gefunden werden konnten: Während KUP für Energie-Hackschnitzel in möglichst trockenem, unbelaubten Zustand im Winter oder frühen Frühjahr geerntet werden (SCHILDBACH et al. 2009), könnte es für FZH sogar vorteilhaft sein, wenn diese in der belaubten

Vegetationsperiode mit höherer Wasser-, Nährstoff- und Zuckerkonzentration geerntet werden würden. Da zu diesem Zeitpunkt der Mähacker voraussichtlich nicht von anderen Betrieben eingesetzt werden würde, könnte die Leihgebühr sogar geringer ausfallen. Auch GÖTSCH empfiehlt, schnellwachsende Gehölze für den Bodenfruchtbarkeitsaufbau wie Pappel und Weide in Mitteleuropa Mitte Juli zu ernten (mdl. Mit. 2016).

In jedem Fall ist darauf zu achten, dass die zu häckselnden Bäume einen maximalen Durchmesser von 7 cm nicht überschreiten, da hier das Lignin noch in einer für Mikroorganismen leichter umzubauenden Polyphenolstruktur vorliegt (LEMIEUX & GERMAIN 2000; s.a. Kap. 5.3). Dies ist jedoch bei einem 3-4 jährigen Umtrieb nicht zu erwarten (RIEGER et al. 2009).

10.6 Ackerbauliche Auswirkungen

10.6.1 Empfehlung für die Kulturwahl

In Kap. 2.4 sind zahlreiche mögliche positive Wechselwirkungen zwischen Baumreihen und Ackerstreifen dargestellt. Wie SPIECKER et al. (2009) erläutert, wird die Konkurrenz um Nährstoffe und Wasser dadurch minimiert, dass die ökologischen Nischen von Feldfrüchten und Bäumen zeitlich und räumlich verschoben sind (z.B. Wurzeltiefe und Vegetationszeit). Durch die voraussichtlich zunehmende Verschattung durch die Wertholzbäume ab dem 30. Standjahr, empfiehlt es sich anstelle lichtbedürftiger C4-Pflanzen (z.B. Mais (*Zea mays*), Rispenhirse (*Panicum miliaceum*) etwas weniger lichtbedürftige C3-Pflanzen (fast alle anderen in Deutschland gängigen ackerbaulichen Kulturen) anzubauen (s.a. Kap. 5.2.).

Außerdem wird empfohlen bei stärkerer Beschattung tendenziell eher Winterrungen als Sommerungen zu verwenden, da diese im Frühjahr einen großen Teil ihrer vegetativen Wachstumsstadien vollenden können, bevor die Blätter der meisten Bäume austreiben (SPIECKER et al. 2009).

Wie in Kap. 10.2.1.2 dargestellt, sollte in den ersten Jahren entlang der Baumstreifen gepflügt werden, um ein tieferes Wurzelwachstum der Bäume anzuregen. Eventuell könnte dies synergetisch mit dem Anbau der Hackfrüchte kombiniert werden.

MORHART et al. (2016) prognostizieren einen 10 %igen Zeitzuschlag für landwirtschaftliche Arbeitsgänge in AFS. Wie dieser zustande kommt, ist jedoch nicht nachvollziehbar. Sollte dies tatsächlich der Fall sein, wäre es von Vorteil vorzugsweise Kulturen mit einem geringen Bearbeitungsindex (möglichst wenig benötigten Überfahrten) anzubauen.

10.6.2 Minimalbodenbearbeitung mit FZH-Mulch

Besondere ackerbauliche Maßnahmen erfordert lediglich die FZH-Mulch-Fläche. Seitens des Bewirtschafters besteht eine Bereitschaft diese zu erproben (mdl. Mit. WINTER 2016).

Bezüglich der Dicke der zu applizierenden FZH-Mulchdecke gibt es unterschiedliche Ansichten. Während CARON (1994) aus der Forscher*innengruppe um LEMIEUX vorschlägt, FZH ohne Einarbeitung oberflächlich nur etwa 1,5 bis 3 cm dick auszubringen, empfiehlt GÖTSCH (mdl. Mit. 2016) FZH in etwa 30 cm hohen Wällen zu applizieren. Dies begründet ebd. mit einem optimal verbesserten Wasserhaushalt und einer vollständigen Beikraut-Unterdrückungs-Wirkung. Der Agrarwissenschaftler und Landwirt STORCH (2016) empfiehlt dagegen aus gleichen Gründen eine Applikationshöhe von 7-10 cm Grasschnitt.

Da noch nicht sicher ist, wie gut insbesondere die Saattechnik des Landwirtes mit der FZH-Mulch-Auflage zurechtkommen wird (mdl. Mit. WINTER 2016), empfiehlt sich erst einmal mit einer Applikations-Dicke von etwa 2 cm zu beginnen, die voraussichtlich ackerbaulich keine große Herausforderung darstellen werden, und diese zu einem späteren Zeitpunkt entlang des Transekt-Gradienten weiter zu steigern (s.a. Kap. 9.1.2).

Da FZH nach der Ernte (s.a. 10.2.4) erst auf die Fläche ausgebracht werden muss, fällt es nach CROPP & BONIN (2016) in die Kategorie des *Transfer-Mulchs*¹³.

Ebd. empfehlen vor der Aussaat die Ausbringung von Transfer-Mulch mit gängigen Miststreuanhängern. Wenn eine große Streubreite gewünscht ist, sollte die Ausbringung optimaler Weise mit Tellerstreuwerk erfolgen. Sollte es sich nur um eine dünne Auflage von wenigen Zentimetern handeln, könnte diese auch in den gewachsenen Bestand ausgebracht werden (ebd.). Einige Betriebe verwenden bei dickeren Mulchapplikationen in gewachsenen Bestände Abweisbleche über der Reihe (ebd.).

Die folgenden Ausführungen zum Management von Ackerbau mit Mulch und Minimalbodenbearbeitung stammen in kondensierter Form, soweit nicht anderweitig gekennzeichnet, aus Mitschriften und Seminarunterlagen eines Bodenfruchtbarkeits-Kurses von der Under_cover-GbR (CROPP & BONIN 2016):

¹³ CROPP & BONIN (2016) unterscheiden insgesamt zwischen:

Transfer-Mulch: Tote organische Substanz die ausgebracht wurde (z.B. gehäckseltes Klee gras oder Silage);

In-situ-Mulch: Tote organische Substanz am Ursprungsort (z.B. abgestorbene Zwischenfrüchte oder Stroh der Vorfrucht);

Lebendmulch: Lebendige Pflanzendecke zwischen den Kulturpflanzen (z.B. Weißklee oder Erdklee).

Mit jeder Kategorie gehen unterschiedliche Verfahrens- und Geräte-Anforderungen einher (ebd.).

Die traditionelle Bodenbearbeitung beinhaltet meist drei Arbeitsziele:

- Abtöten des Aufwuchses,
- Bodenlockerung,
- einmischende Arbeiten.

Eine Gare-konservierende Bodenbearbeitung¹⁴ mit FZH-Mulch greift diese Ziele auf und modifiziert die Strategien wie folgt:

- Abtöten des Aufwuchses (Beikrautregulierung) vor der Einsaat mit ganzflächigem flachen Unterschnitt (2-5 cm). Zu diesem Zwecke ist auch eine Herbizidbehandlung vorstellbar.
- Bodenlockerung: Ein biologisch-verbauter-garer Boden erfüllt alle Bodenfunktionen und bedarf keiner Lockerung (s.a. Abb. 31). Eine schnelle Bonitur der Bodengare sollte mit der *erweiterten Spatendiagnose* nach BESTE (2003) (s.a. Kap. 9.2.2 und Anhang 4) als Entscheidungsgrundlage durchgeführt werden. Je nach Garezustand kann eine lockernde Bodenbearbeitung erforderlich sein.
- Einmischende Arbeiten bedeuten einen tieferen mechanischen Eingriff und fallen nach Möglichkeit weg. Organische Rückstände werden obenauf gelegt oder flach eingearbeitet (2-5 cm).



Abbildung 31: Garer Boden (Cropp, Bonin 2016, S.53)

Unter Umständen kann ein Zerkleinern der Ernterückstände für ein verstopfungsfreies Arbeiten der Folgegeräte nötig sein. Folgende Verfahrensweisen können dazu angewendet werden: Sichel- oder Y-Mulcher, Messer- oder Sech-Walzen, Scheibenegge sowie Federzinkenegge.

¹⁴ Gare-konservierende Bodenbearbeitung versucht eine fein-krümelige, biologisch-verbaute und daher auch Verschlemmungs-resistente Bodenstruktur wie sie in Kap. 7.1 beschrieben ist zu erhalten und zu fördern (CROPP & BONIN 2016).

Ein flacher Unterschnitt kann mit einem Gänsefußschar-Grubber (10 - 15 cm schmal), einer Fräse mit leicht abgewinkelten Messern, einem Spezialgerät wie dem *Geohobel*, oder einem *Ringschneider* vorgenommen werden. Um eine Schmiersohlenbildung zu vermeiden, sollte dabei darauf geachtet werden, dass es nicht zu feucht ist.

Für die Ent-Erdung des Beikrautes kann ein Nachläufer eingesetzt werden (z.B. *Sterncracker*, *RotoPack*, *Spatenrollegge* oder *Striegelbalken*). Die Beikrautregulation wird auf dem Betrieb jedoch voraussichtlich mittels Herbizidapplikation durchgeführt (mdl. Mit. WINTER 2016).

Im Anschluss (entweder vor, nach oder bei der Saat) kann gegebenenfalls (nicht jedes Jahr notwendig) eine Tiefenlockerung stattfinden. Die Tiefenlockerung von 20 - 35 cm bei 30 - 60 cm Strichabstand sollte mit einem dünnen Grubberstil 2 - 4 cm breit durchgeführt werden. Ziel ist dabei eine feine Rissbildung zur besseren Belüftung und Melioration im gesamten bearbeiteten Horizont (s.a. Abb.32). Dies ist Voraussetzung für eine biologische Garebildung (s.a. Kap. 7.1). Zusammen mit der Saat kann dies beispielsweise durch die Geräte *Claydon Hybrid Drill*, *Treffler* oder *Bärtschi-Weco-Dyn* geleistet werden. Kurz vor oder nach der Saat bieten sich beispielsweise die Geräte *WIFO*, *Cultiplow 52*, *Yeomans-Keyline-Plow* an, die allesamt einen gebogenen Tiefenlockerer mit einem vorlaufenden Scheibensech kombinieren.

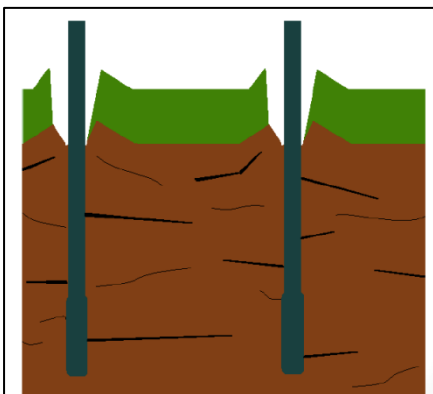


Abbildung 32: Tiefenlockerung (Cropp, Bonin 2016, S.53)

Die Saat sollte direkt auf den unvermischten, wasserführenden Horizont (wfH) abgelegt werden, um kapillare Wasser-Aufstiegskraft zu gewährleisten. Bei einer Saat mit viel organischer Masse auf der Oberfläche (z.B. FZH-Mulch) wäre eine Auswahl aus der Liste folgender Techniken möglich:

- Maschinen mit einer Kombination von Scheibensech im Vorlauf und Zinkenschar mit Saatgut-Ablage erreichen sicher den wfH und räumen zuverlässig (Bsp.: *Eco-Mulch*),
- Kreuzschlitzschar-Maschinen legen zuverlässig in tiefere Bodenhorizonte ab (Bsp.: *Baker Cross Slot*),
- Scheibenscharmaschinen gegebenenfalls nur mit hohem Schardruck (oder spezieller Mulch- bzw. Direktsaattechnik). Die Exaktheit nimmt mit der Ablagetiefe ab (Bsp.: *Semeato-System / Alphate-Ocassion*),
- Schlepsschare sind eventuell auch ausreichend,
- Strohräumsterne oder Scheibenseche im Vorlauf können die Saattrille gut ausräumen.

Falls die FZH-Mulch-Schicht, um ein saubereres Saatbett zu erhalten, doch tiefer eingearbeitet werden sollte, könnte es zu einer N-Sperre kommen. N-Sperren treten verstärkt dann auf, wenn Substanzen mit einem C:N-Verhältnis von >25 eingearbeitet werden (JÖRGENSEN 2011). Alles verfügbare N wird direkt in die wachsende mikrobielle Biomasse eingebaut - somit ist es nicht mehr pflanzenverfügbar (ebd.). Wird die Substanz nur oberflächlich als Mulch ausgebracht, ist die Gefahr einer N-Sperre geringer (ebd.). Sollte diese dennoch auftreten, ist eine N-Ausgleichsdüngung zu empfehlen (ebd.).

Gegebenenfalls könnte es durch die Einarbeitung der groben Strukturelemente (FZH) auch zu einer Unterbrechung des kapillaren Wasseranschlusses für die Keimung kommen. Außerdem würden natürlich die positiven Effekte der Mulchschicht (s.a. Kap. 7.2.3) verloren gehen.

Alternativ wäre auch ein Strip-Till-Verfahren vorstellbar, bei dem die FZH in den unbearbeiteten Zwischenreihen (ca. 25 cm Breite) liegen. Vorteile wären neben dem feineren Saatbett auch eine zeitigere Bodenerwärmung im Frühjahr. Hierfür bräuchte es allerdings ebenfalls Spezialtechnik beispielsweise von *Claydon-Drills*.

11 Wirtschaftlichkeit

Die Etablierung eines AFS in einem landwirtschaftlichen Betrieb kann mit der Integration eines neuen Betriebszweiges verglichen werden. In diesem Zusammenhang werden bei dem Vergleich von Betriebszweigen in der Landwirtschaft meist Deckungsbeitragsrechnungen durchgeführt (DOLUSCHITZ, MORATH & PAPE 2011). Diese stellen die Differenz aus den (geplanten) Leistungen und ihren (geplanten) variablen Kosten dar, die Fixkosten bleiben jedoch unberücksichtigt (ebd.). Diese sind jedoch bei zu etablierenden Gehölzen erheblich (WAGNER 2016).

WAGNER (2016) schlägt daher für die Bestimmung der Rentabilität von AFS Methoden aus der dynamischen Investitionsrechnung vor, wie die Ermittlung des Kapitalwertes oder der Annuität einer Investition. Der Gewinnbeitrag einjähriger Kulturen könne dann mit der Annuität der Mehrjährigen verglichen werden.

Da es jedoch bei dieser Arbeit um die Etablierung eines Modellprojektes und nicht um die genaue Berechnung der relativen wirtschaftlichen Vorzüglichkeit des AFS gegenüber einfachem Ackerbau geht (s.a. Kap. 4), sollen im Folgenden vor allem zentrale Kostenstellen bei der Etablierung des AFS und ggf. Erlöse, insofern diese bereits als gesichert angesehen werden können, dargestellt werden. In weiteren Arbeiten könnten zu einem späteren Zeitpunkt ausführlichere Annuitätenkalkulationen vorgenommen werden, um das System mit dem Deckungsbeitrag des einfachen Ackerbaus zu vergleichen (vgl. STROHM et al. 2012).

Ein großer Teil des aus dem Gesamtdesign resultierenden Nutzen liegt jedoch voraussichtlich im Bereich der Ökosystemdienstleistungen. Dass diese besonders bei AFS eigentlich in eine Wirtschaftlichkeits-Berechnung miteinbezogen werden müssten und welche Ansätze es hierzu bereits gibt, wird in Kapitel 12 ausführlicher diskutiert.

Die folgenden Berechnungen können aufgrund vieler noch unbekannter Faktoren nur als grobe Einschätzung betrachtet werden.

Für viele Arbeitsmaßnahmen scheint es nicht zweckmäßig klassische Stundensätze zu veranschlagen, da diese im Rahmen von öffentlichen Aktionen oder Studiumsmodulen durchgeführt werden sollen (s.a. Kap. 13). Beispielsweise sind dies:

- Pflanzung,
- Zäunung,
- Aufbringen der Mulchmaterialien.

Die wissenschaftliche Datenerhebung wird in diesem Kapitel ebenfalls nicht betrachtet. Für eine genauere Kalkulation der dadurch anfallenden Kosten kann eine Orientierung an den Darstellungen zum Gerätebedarf und Zeitaufwand in Kap. 9 erfolgen.

11.1 Kostenkalkulation Wertholz, Maxi-Rotation

Die Kosten können nur überschlagsweise berechnet werden, da die Datengrundlage für solche Berechnungen mangelhaft ist. Für die Etablierung der Werthölzer und Maxi-Rotations-Bäume entstehen die Kosten für das Pflanzgut, die Astung und Ernte. Hinzukommen die Kosten für die Tubex-Schutzhüllen (1€/Baum), Pflanzpfähle (3€/Baum) sowie die Kosten für Gesteinsmehl, Lehmabraum und Hackschnitzelmulch (s. Kap. 10). Es wurde eine vergleichende Kostenkalkulation durchgeführt mit Daten von SPIECKER (2010) und BENDER et al. (2009).

Für die Berechnung wurde vereinfacht davon ausgegangen, dass 260 Wertholzbäume und 23 Maxi-Rotations-Bäume gepflanzt werden und all diese Bäume auch geastet werden müssen. Dies wird u.U. nicht nötig sein, da nach 10 Jahren schon eine Selektion der Wertholzbäume auf 130 Stück erfolgt. Die ausführliche Kostenberechnung ist in Abb. 33 aufgeführt.

Nicht berücksichtigt sind hier:

- Zusatzkosten für zusätzliche Bodenbearbeitungsmaßnahmen,
- anteiliger Verlust der Basisprämie, der entsteht, wenn die baumbestandene Fläche als Sperrfläche erfasst wird,
- mögliche Erlöse für 23 Maxi-Rotations-Bäume
- Verzinsung: i.d.R. muss eine Verzinsung von 3 % für etwa 60 Jahre berechnet werden.

Kostenberechnung Wertholz			
	SPIECKER 2010	pro Einheit	BENDER et al. 2009
Pflanzgut			
Pflanzgut €/ Pflanze	0,50 €	0,5€ / 7€	7,00 €
Wertholzbäume insg. (130*2)	260		260
Maxi-Rotations-Bäume	23		23
Gesamtanzahl Bäume	283		283
Pflanzgutkosten gesamt	141,5		1.981,00 €
Pflanzkosten			
Tubex- Wuchshüllen gesamt	283 €	1 €	283 €
Pflanzpfähle	849 €	3 €	849 €
Gesteinsmehl	160 €		160 €
Lehmabraum	350 €	1,5€/t	350 €
Kompost	0 €		0 €
Hackschnitzelmulch	816 €	3 €	816 €
Gesamt Pflanzkosten	2.458 €		2.458 €
Pflegekosten			
Zeitaufwand gesamt [h]	283	1 h / 2h	566
Stundenlohn €/ h	20 €		12 €
Astungskosten gesamt	5.660 €		6.792 €
Erntekosten			
Arbeitsaufwand gesamt in h	76,5	0,5	76,5
Mensch mit Motorsäge 28€/h	2.142 €	28 €	2.142 €
Mensch mit Schlepper 48€/ h	3.672 €	48 €	3.672 €
Gesamt- Erntekosten	5.814 €		5.814 €
Rekultivierungskosten gesamt	()	0€ / 17€	2.601 €
Gesamtkosten alle Bäume	14.074 €		19.646,00 €
Kosten je Baum	50 €		69,42 €

Abbildung 33:Kostenskalkulation Wertholz

Daraus ergeben sich **Kosten von etwa 50€-70€ pro Baum (Gesamtkosten 15.000€/20.000€)**, im Durchschnitt also etwa 60€/Baum. Die Variation der Kosten entsteht u.a. durch die ungeklärten Pflanzgutkosten: Herkömmliches Pflanzgut der Forstbaumschule Exin Lübbesee kann mit 0,5 €/Stk. berechnet werden; jedoch ist davon auszugehen, dass bei höherwertigem Pflanzmaterial auch größere Kosten entstehen (7 €/Pflanze). Ein weiterer Unterschied besteht in dem veranschlagten Stundenlohn (20€ oder 12 €) bzw. dem Zeitbedarf für die Astung (je Baum 1h oder 2h). Ein großer Posten, der bei SPIECKER (2010) nicht beachtet wurde, sind die Rekultivierungskosten, die mit 17 €/Baum als teuer einzustufen sind.

	Birne	Apfel	Zwetschge	Kirsche	Walnuss	Summe 1998-2008
Summe fm	68	13	15	436	43	575
Ø-Preis/ fm in €	213 €	140 €	281 €	258 €	391 €	140-400 €
Spitzenpreise/ fm in €	1.250 €	225 €	715 €	834 €	865 €	225-1.250 €
Jahresumsatz in € (Ø)	1.320 €	200 €	480 €	10.200 €	1.900 €	14.200 €
fm/Jahr (Ø)	6	1,4	1,7	40	5	54 fm
Angebot und Probleme	Qualität meist mäßig; zu kurze Stämme	Könnte leicht gesteigert werden	Dimension oft zu gering	Qualität und Dimension oft nicht ausreichend	Sehr unterschiedliche Qualität	Angebot zurückgehend
Tendenz und Nachfrage	Gesucht	Nur von wenigen Kunden gesucht	Sehr gesucht	Momentan (07-09) kaum Nachfrage	Extreme Nachfrage	Nachfrage stark wechselnd

Abbildung 34: Obsthölzer bei der Bopfinger Wertholzsubmission 1998 – 2008 (Luick, Vonhoff 2009, S.11)

Die Erlöse sind nach etwa 50-60 Jahren zu erwarten und daher schwer zu beziffern. In der hier dargestellten Abb. (34) variieren die Erlöse zwischen einem Durchschnittspreis von 120 €/fm bis zu Spitzenpreisen von 1.250 €/fm. Zwar kalkuliert SPIECKER (2010), dass je Baum 2,5 fm Wertholz erreicht werden (mit BHD=60 cm, astfreier Schaftlänge von 10 m). Dies scheint jedoch aufgrund der ungünstigen Standortbedingungen unrealistisch, weshalb überschlagsweise damit gerechnet wurde, dass etwa 1 fm wertvolles Holz anfällt.

Erlöse	Niedriger Erlös	Hoher Erlös
Anzahl Bäume gesamt	130	130
Volumen / Baum (fm)	1	1
Preis €/Fm m.R.	120,00 €	400 €
Erlös pro Baum €	120,00 €	400 €
Gesamterlös in €	15.600,00 €	52.000 €

Gesamtgewinn	Kosten 14.000€	Kosten 19.600€
bei Erlös gesamt 15.600 €	1.526,50 €	-4.046,00 €
bei Erlös gesamt 52.000 €	37.927 €	32.354,00 €

Abbildung 35: Erlöskalkulation Wertholz

Bei einem niedrig angesetzten Absatzpreis von 120 €/fm und hohen Pflanz- und Pflegekosten wären die Kosten **-4.000€** höher als der Gewinn; bei eher niedrigen Pflanz- und Pflegekosten und hohem Erlös könnte sich nach 50-60 Jahren ein Gesamtgewinn aller Bäume von **+32.000€** ergeben (s.a. Abb.35).

11.2 Kosten-Leistungsrechnung KUP, Management

Die Anlage der KUP-Fläche fand gezielt in den Ausbuchtungen des Solls statt, da der Ackerbau auf diesen Flächen aufgrund der häufigen Wendemanöver voraussichtlich unwirtschaftlicher ist.

Für die Berechnung der Kosten, die der KUP-Fläche zugeordnet werden können, findet eine Orientierung an ökonomischen Darstellungen zu KUP von WAGNER et al. (2009), WAGNER (2016), SPIECKER et al. (2009) und STROHM et al. (2012) statt. Bei diesen finden sich in der Regel Aufschlüsselungen zu Kosten und Erlösen beim Anbau von KUP und deren relative Vorzüglichkeit im Vergleich zu ausgewählten Ackerfruchtfolgen (ebd.). Da durch die KUP auf der Projektfläche jedoch keine direkten Erlöse entstehen, wenn diese nicht zur Vermarktung als Hackschnitzel sondern für den FZH-Mulch geerntet wird, scheint eine derartige Gegenüberstellung an dieser Stelle nicht zweckmäßig. Zu einem späteren Zeitpunkt könnten jedoch über die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit potentiell ackerbauliche Mehrerträge auf der FZH-Mulch-Fläche erwirtschaftet werden. In diesem Zusammenhang könnte die Rentabilität und Effektivität von FZH inklusive deren Produktion durch KUP mit anderen Verfahren zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit genauer untersucht werden.

Im Folgenden sollen also die mit der KUP und der FZH-Produktion verbundenen Anlage-, Ernte- und Ausbringungskosten überschlägig kalkuliert werden.

Die Kostenstellen bzgl. KUP können je nach der eingesetzten Technik stark schwanken. Für die anfallenden Arbeitsschritte, das Pflanzmaterial etc. wird daher, sofern es bei den jeweiligen Kostenstellen sinnvoll erscheint, eine Kostenspanne angegeben.

Für die Berechnungen wurde von einer mittleren Biomasse-Ertragsschätzung der KUP-Fläche von 11 t_{atro}/ha ausgegangen.

Kalkulationen zu den Arbeitsschritten Pflügen, Saatbettbereitung, FZH-/Kompost-/Lehm-Ausbringung wurden dem KTBL-Feldarbeitsrechner (2016) entnommen. Für die FZH-Ausbringung wurde das Verfahren "Kompostausbringung ab Feld" mit 15 t/ha gewählt.

Der Stückpreis für Pappel-Stecklinge wird bei WAGNER (2016), SPIECKER et al. (2009), und STROHM et al. (2012) mit einer Spannweite zwischen 0,12 und 0,22 € angegeben. Da bei den meisten anderen Bäumen jedoch keine Stecklingspflanzungen üblich sind, könnte der Stückpreis

für wurzelnackte Pflanzware möglicherweise etwas höher liegen. Daher wird vereinfachend für alle Pflanzen mit einem Stückpreis zwischen 0,15 und 0,50 € gerechnet.

Da die Pflanzung in einer studentischen Pflanzaktion durchgeführt werden soll, werden hierfür keine Kosten berechnet. Auch die anderen Angaben beschränken sich auf die Maschinenkosten. Über KTBL (2016) wurde ein durchschnittlicher Arbeitszeitbedarf (Akh) für die Verfahren ermittelt und dargestellt, jedoch nicht als Lohnansatz verrechnet. Für die Einschätzung des Akh-Bedarfs und der Maschinenkosten wurde auf Angaben von PECENKA et al. (2014) zurückgegriffen.

Vor der Pflanzung wird auf die Fläche Lehmbraun (Zukauf inkl. Anlieferung: 1,5 €/t) und der Kompost (Anlieferung kostenlos) ausgebracht (s.a. Kap. 10.1) (mdl. Mit. SCHWABE 2016, mdl. Mit. ARNISCH 2016).

Alle Daten sind /ha angegeben und können einfach auf die KUP-Gesamtfläche und FZH-Mulchfläche von je 2 ha umgerechnet werden (s.a. Kap. 8.4).

Dabei ist zu beachten, dass die KUP-Ernte und FZH-Ausbringung nur alle 3-4 Jahre stattfindet (s.a. Kap. 7).

Außerdem sind der Vollständigkeit halber am Ende der Abb.34 Kosten für die Rückwandlung einer KUP nach STROHM et al. (2012) aufgeführt. Diese gelten für den Einsatz von Bodenfräsen, welche die Wurzelstöcke so zerkleinern, dass danach ein Marktfruchtanbau wieder möglich ist (ebd.).

Kostenberechnung KUP				
	niedrig	hoch	pro Einheit	Akh/ha
Pflanzgut				
Pflanzgut €/ Pflanze	0,15 €	0,50 €	0,18 - 0,22€	
Pflanzgut gesamt (15.500/ha)	2.325	7.750 €		
Pflanzkosten				
Pflanzvorbereitung: Pflügen/Grubbern & Eggen	50 €	120 €		1,5
Lehmabraum (20 t/ha) Kauf & Ausbringung	65 €	75 €	1,5€/t	0,5
Kompost (20 t/ha) Ausbringung	35 €	45 €		0,5
Mulchfolie	280 €	280 €		0,5
Gesamt Pflanzkosten	2.755 €	8.270 €		3
Pflegekosten				
Erntekosten: Mäh Hacker	77 €	165 €	7 - 15 €/t atro	2,2
FZH Ausbringung 15t /ha	30 €	40 €		0,4
Gesamtkosten Ernte und Ausbringung	107 €	205 €		2,6
Rekultivierungskosten ggf. nach ca. 20-30 Jahren	960 €	2.000 €		

Abbildung 36: Kostenberechnung KUP (eigene Darstellung)

In Abb. 36 findet sich die Tabelle zur Kostenkalkulation der KUP-Anlage. So können die Gesamtkosten wie folgt errechnet werden. Bei einer durchschnittlichen Umtriebszeit von 3,75 Jahren und einer geschätzten Standzeit von 30 Jahren, würden acht mal die "Pflegekosten" (Ernte und FZH-Ausbringung) anfallen. Damit ergibt sich inklusive der Rückumwandlungskosten eine Schätzungsspanne von 4.571 € (niedrig) bis 11.910 € (hoch).

Voraussichtlich werden auch im Ackerbau aus der Anwendung der Minimalbodenbearbeitungsverfahren auf der FZH-Mulchfläche (s.a. Kap. 10) abweichende Maschinenkosten und Akh-Bedarfe entstehen, dies wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht dargestellt, da die genauen Arbeitsverfahren auf Grundlage der Vorschläge aus Kap. 10 vom Landwirt erst noch ausgewählt und erprobt werden müssen. Zu einem jetzigen Zeitpunkt wäre eine Berechnung aufgrund der Vielzahl an Verfahrensmöglichkeiten und Gerätekombinationen nur mit einer sehr großen Ergebnis-Spannweite möglich (KTBL 2016).

Sollte die Verwertung der KUP als FZH aus irgendeinem Grund nicht mehr angestrebt werden, könnten diese sicherlich auch zu gängigen Erlössummen als Biomasse-Hackschnitzel (75–110 €/t_{anno}) vermarktet werden (Wagner 2016). Hierfür müsste jedoch erst noch ein Abnehmer gefunden werden sowie eine Möglichkeit diese zu trocknen.

11.3 Kosten Heckenanlage, Wildobst

Eine genaue Berechnung für die Kosten der Heckenanlage und des Wildobstes erfolgt an dieser Stelle aufgrund des Gesamtumfangs dieser Arbeit nicht. Es sollen jedoch wichtige Kostenpunkte genannt werden:

- Pflanzkosten (2310 Sträucher, 60 Bäume),
- Zäunungskosten (Drahtgeflecht und Pfähle) 150-200 €/100 m (bei Neuanschaffung; evtl. können beim Forstamt oder lokalen Bauhof gebrauchte Zäune bezogen werden) sowie dessen Auf- und Rückbau nach ca. 5-7 Jahren (MEYERHOF 2011).
- Ausmähen zwischen den Heckenpflanzen in den ersten 3-5 Jahren (1-2 mal jährlich).

Bezüglich des Wildobstes wären folgende Kostenpunkte zu berücksichtigen:

- Pflanzware (144 Sanddorn- und 96 Aroniasträucher) bei ca. 4 €/Strauch (mdl. Mit. RÖCKSCH 2016) insgesamt 960 € ,
- Mulchfolie / Bodengewebe 1,6 m Breite oder Hackschnitzmulch für insgesamt 800 m² (s.a. Kap. 10.1.4)
- Drahtlosen-Wildverbisschutz in den ersten Jahren, geringfügig
- nach 20-30 Jahren Kosten für die Rodung, alternativ
- findet die Anlage zusammen mit der Wertholzpflanzung statt, wären keine zusätzlichen Bodenbearbeitungsgänge für die Pflanzbettbereitung nötig.

12 Diskussion

12.1 Diskussion der Ergebnisse

“Welches Agroforstsystem sollte unter Berücksichtigung der ökonomischen, rechtlichen und ökologischen Standort-Anforderungen, sowie unter Einbeziehung der Interessen des Flächeneigentümers und Nutzers angelegt werden?”(s.1.3.2)

Diese Arbeit zeigt, dass es sehr schwierig ist, die Interessen aller Beteiligten in der Konzeption ausreichend zu berücksichtigen. Die Überlegungen waren stets dem Spannungsfeld folgender Pole ausgesetzt:

“komplexe Multifunktionalität - geringe Arbeitskapazitäten”,

“Modellprojekt - wissenschaftliche Versuchsfläche”,

“Naturschutz - ökonomische Rentabilität”.

Ebenso gestalteten sich die Ausgangsbedingungen herausfordernd: ein armer Standort, eine komplizierte Rechtslage und damit verbunden keine offiziellen, finanziellen Fördermöglichkeiten. Das hier vorgeschlagene Design setzte “notgedrungenemaßen” Schwerpunkte, die im Folgenden ausführlicher erläutert und diskutiert werden sollen.

Agroforstsysteme in Deutschland

Es lässt sich feststellen, dass AFS in Deutschland bisher nur in sehr geringem Umfang umgesetzt werden. Traditionelle AFS wie Streuobstwiesen scheinen u.a. wegen der fehlenden ökonomischen Rentabilität für Bäuer*innen nicht mehr attraktiv; das in Deutschland derzeit am häufigsten praktizierte AFS sind KUP. Andere Formen moderner AFS wie Kurzumtriebshecken oder der Anbau von Wertholz werden in Deutschland zwar erforscht, aber in der wirtschaftlichen Praxis nicht umgesetzt. Im Vergleich mit europäischen Nachbarländern liegt Deutschland diesbezüglich weit zurück. Eine Erklärung für die schwerpunktmäßige Ausbreitung von Agroforstsystemen in tropischen, subtropischen und mediterranen Klimazonen liegt möglicherweise in der höheren Sonneneinstrahlung dieser Bereiche (SPIECKER et al. 2009). Doch die zunehmende Verbreitung in den USA, Kanada, Australien, China und Frankreich zeigt, dass AFS auch für gemäßigte Klimazonen geeignet sind (BENDER 2013).

Es wurde dargestellt, dass AFS potentielle Lösungen für große landwirtschaftliche Probleme wie beispielsweise Nitratauswaschung und Bodenerosion bieten (s.a. Kap. 3). Dort wurde jedoch auch deutlich, dass viele dieser Effekte in Deutschland bisher nur unzureichend erforscht und quantifizierbar sind.

Ein weiteres Hemmnis für die Umsetzung von AFS sind die rechtlichen Rahmenbedingungen. Obwohl die Europäische Kommission befürwortet, dass eine landwirtschaftliche Fläche mit agroforstlicher Nutzung beihilfefähig bleibt und die Anlage des AFS zu 80% gefördert werden soll (s. Kap. 2.5), ist dies bisher nicht in die deutsche Gesetzgebung überführt worden. Anders als in anderen europäischen Staaten sind AFS deshalb durch die entstehenden finanziellen Einbußen und hohen Anlagekosten für Bäuer*innen nicht wirtschaftlich attraktiv. Damit AFS in Deutschland ihr Potential entfalten können, sollte ein Nutzungscode für AFS erstellt werden. Vorschläge hierfür werden aktuell in dem Agroforst-Forschungs-Netzwerk AUFWERTEN erarbeitet (mdl. Mit. BÖHM 2016). Dabei sollte dieser Nutzungscode die große Vielfalt möglicher Agroforst-Formen abbilden können. Zusätzlich ist zu hoffen, dass in der neuen Förderperiode ab 2020 Agroforstsysteme in der ELER-Förderung Berücksichtigung finden: Zusätzliche Fördermaßnahmen für AFS durch das Greening oder Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen wären sinnvoll und auch aus Sicht der Bäuer*innen wünschenswert (s.a. Kap. 2.8). In Anbetracht der Tatsache, dass KUP bereits eine landwirtschaftlich anerkannte und geförderte Landnutzungsform

mit einem entsprechenden Nutzungscode sind (s.a. Kap. 2.5), erscheint es grundsätzlich möglich, dass sich die Gesetzgebung dahingehend anpassen wird.

Agroforstsystem mit Agrarförderung

Eine Wertholzproduktion durch Bäume auf einer landwirtschaftlichen Fläche ist in Deutschland derzeit bei den gegebenen rechtlichen Regelungen nicht zulässig. Der Designvorschlag dieser Arbeit hat daher zur Folge, dass ein gewisser Anteil der landwirtschaftlichen Fläche (0,49 ha) aus der Förderung durch die GAP rausfällt. Dies ist bereits mit dem Eigentümer und dem Pächter abgesprochen. Vor dem Hintergrund, dass dieses AFS mit einem Modellcharakter angelegt werden soll, ist es für andere Landwirt*innen u.U. interessant, wie das System aussehen müsste, um den derzeitigen Vorgaben der Agrarförderung entsprechen zu können. Dann würden zur Anerkennung der AFS-Flächen nur KUP oder die sog. Dauerkulturen (Streuobst, Obst- und Nussbäume, Wildobst) in Frage kommen. Allerdings müssten die einzelnen Reihen hierfür eine Mindestgröße von je 0,3 ha und entsprechenden artabhängigen Mindestdichten von 90 Bäumen/ha bzw. 700 Gehölze/ha aufweisen und beim Agrarförderantrag als separater Schlag ausgewiesen werden (Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Brandenburg 2015). Dadurch würde sich jedoch der Schwerpunkt der Landnutzung grundsätzlich zugunsten der Gehölznutzung verschieben. Dies scheint vor dem Hintergrund des Kontextes keine geeignete Alternative; grundsätzlich wäre dies auf der Fläche unter Einhaltung der Mindestdichten aber auch mit einem Teil der ausgewählten Baumarten möglich (Baumhasel, Wildbirne, Elsbeere, Speierling).

Aufwertung des Grenzstandorts

Wie in Kap. 1.2 und 4.1. dargestellt wurde, ist das Ertragspotential Brandenburger Böden und auch eben dieser Projektfläche gering. Aus der Aussage von Herrn Winter (s.a. Kap. 4.5) lässt sich ableiten, dass der Aufbau von Bodenfruchtbarkeit, besonders vor dem Hintergrund der Erosionsgefährdung, ein durchaus schwieriges Unterfangen ist. Durch die in Kap. 3 erläuterten, potentiellen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit und den Erosionsschutz ist die Anlage eines AFS auf diesem Standort zwar herausfordernd, aber gerade deshalb interessant.

Zusätzlich wurde nach Wegen gesucht, wie das Ertragspotential des Standortes gezielt durch die Integration von Elementen zum Aufbau der Bodenfruchtbarkeit verbessert werden könnte. Dabei kann die Applikation von auf der Fläche durch KUP erzeugte Frisch-Zweig-Häckseln (FZH) zwecks Bodenverbesserung (Kap. 7 und Kap. 10.2.5) empfohlen werden. Zugleich erscheint es jedoch fragwürdig, ob die Bemühungen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit durch FZH-Mulch zielführend sein können, solange der Acker mit Glyphosat und größeren Mengen leicht-löslicher synthetischer Düngemittel behandelt wird. Diesbezüglich stellten KHAN et al. (2007) bei mehreren landwirtschaftlichen Langzeitversuchen einen Netto Boden-Kohlenstoffverlust fest, obwohl theoretisch ausreichend organische Masse in Form von Stroh auf den Flächen eingearbeitet wurde.

Ihrer Analyse nach sei die synthetische N-Düngung, welche auf den jeweiligen Feldern 60 - 190 % höher als die N-Abfuhr mit der Ernte war, für den Abbau des organischen Boden-Kohlenstoffs verantwortlich.

Auch der Einsatz von Herbiziden könne negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherung im Boden haben, so KITTREDGE (2015). Nach Studien von KRÜGER et al. (2015) hemmt Glyphosat die bakterielle aromatische Aminosäuren-Biosynthese-Aktivität. Durch den Glyphosat-Einsatz komme es zu einer Festsetzung von zweiwertigen Kationen, der damit bewirkte Mangel an Spurenelementen stoppe viele für gesunde Böden wichtige enzymatische Reaktionen (KRÜGER 2014). KRÜGER et al. (2015) propagieren daher den Einsatz von Huminsäuren und Pflanzenkohle zur Bindung bzw. Neutralisierung von Glyphosat.

Demnach könnte die Applikation von FZH durch die Entstehung von Huminsäuren bei der Umwandlung des Lignins (s.a. Kap. 7.2.1) negative Glyphosat-Effekte abpuffern. Die hier aufgezeigten Rahmenbedingungen erschweren den Versuch, die Bodenfruchtbarkeit aufzubauen. In welchem Maße sich auf dem relativ unbelebten und verarmten Sandboden Bodenfruchtbarkeitsprozesse, inbegriffen gesunder mikrobiologischer Aktivität, tatsächlich entwickeln lassen, muss die Praxis zeigen.

Zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit (s.a. Kap. 7) wären sicherlich auch andere, bzw. ergänzende Methoden möglich. RECKIN (mdl. Mit. 2016) empfahl beispielsweise die Applikation von Pflanzenkohle (i.F.v. Terra Preta) in Kombination mit FZH:

“Nach etwa 20 Jahren Erfahrungen mit verschiedenen Varianten der Erzeugung von Dauerhumus, komme ich zu dem Schluss, dass keine der Maßnahmen zum Aufbau von Dauerhumus auch nur annähernd so effektiv sind, wie der Weg über die Terra Preta. Bei anderen Methoden fehlt schon mittelfristig gesehen, einfach die Persistenz des Dauerhumus – er ist also anfällig gegenüber abbauenden Prozessen”.

Terra Preta könnte bereits in kleinen Mengen als Katalysator für ein gesundes Bodenleben wirken und so den Umbau von Lignin in Dauerhumus unterstützen (ebd.). Auch mehrere wissenschaftliche Studien belegen, dass Pflanzenkohle-Ausbringung die Bodenfruchtbarkeit und dadurch auch das Ertragspotential von landwirtschaftlichen Böden im gemäßigten Klima steigern kann (ATKINSON, FITZGERALD & HIPPS 2010; SOHI et al. 2010; STEINBEISS et al. 2009). Die große Oberfläche von Pflanzenkohle bietet Lebensraum für viele MOs und fördert unter anderem auch die beiden häufigsten mykorrhizierenden Pilze AM und EM (LEHMANN et al. 2011) (s.a. Kap. 7.2.2). Außerdem führt sie zu einer verbesserten Wasserhaltekapazität, sowie einer höheren Kationen-Austausch-Kapazität, daraus entstünden autokatalytische Prozesse zur Bildung von Dauerhumus (STEINBEISS et al. 2009; ATKINSON, FITZGERALD & HIPPS 2010).

Die Holzkohle könnte von Studentengruppen aus KUP- oder Astungsmaterial der Werthölzer günstig vor Ort mit der Kon-Tiki-Pyrolyse-Technik des ITHAKA Institutes (2016) hergestellt

werden. Die Biokohle sollte vor der Ausbringung mit Nährstoffen “aufgeladen” werden, beispielsweise mit Gülle durch den Pächter (DUNST 2015).

Auch wenn die Integration vieler zusätzlicher Elemente wie Pflanzenkohle positive Auswirkungen haben könnte, birgt dies zugleich das Risiko, dass durch zu viele potentielle Korrelationen zwischen Designelementen bzw. Prüffaktoren signifikante, wissenschaftliche Aussagen erschwert werden könnten (STEIN-BACHINGER 2000) (s.a. unten).

Wertholzproduktion und alternative Wertholzbaumarten

Auch für die Wertholzproduktion sind die Standortbedingungen der Projektfläche ungünstig. Mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von 572 mm (s.a. Kap. 4.1.) gilt die Projektfläche als Grenzstandort für die Wertholzproduktion (s.a. Kap. 5.3). Durch den sandigen Boden, das Fehlen eines Grundwasseranschlusses, kein vorhandenes Bewässerungssystem und geringe Arbeitskapazitäten seitens des Bauern stellt sich vor allem die Frage nach der Wasserverfügbarkeit für die Bäume. Diesem Problem wurde durch entsprechende Managementempfehlungen Rechnung getragen (s.a. Kap. 10). Es ist zu befürchten, dass die meisten “klassischen” Wertholzbaumarten kein furnierfähiges Holz auf diesem Standort produzieren können, da sie höhere Ansprüche an die Wasser- und Nährstoffversorgung stellen. Um auf diese Bedingungen einzugehen und trotzdem eine Wertholzproduktion zu ermöglichen, wurde der Schwerpunkt auf die Suche nach möglichst standortangepassten Baumarten gelegt, sowie eine alternative Möglichkeit zur Holzproduktion aufgezeigt (s.a. Kap. 5.9).

Die in Kapitel 5.8 zusammengefassten Ergebnisse zeigen gleichzeitig auch, dass es durchaus Baumarten gibt, die potentiell auf diesem Standort wertvolles Holz produzieren können. Auch mit entsprechenden Managementmethoden (Mulch oder Beimpfung mit Mykorrhiza-Stämmen, s.a. Kap.10) kann dem Problem der Wasserverfügbarkeit begegnet werden. Vor diesem Hintergrund scheint die Aussage, dass Standorte mit fehlendem Grundwasseranschluss und geringem Wasserspeichervermögen nicht zur Wertholzproduktion geeignet sind (s.a. Kap. 5.3), fragwürdig und müsste differenzierter dargestellt werden.

Wie in 5.8. dargestellt wurde, eignen sich besonders seltene, lichtbedürftige und konkurrenzschwache Laubbaumarten für die Wertholzkomponente. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von BRIX et al. (2009), der aufführt, dass besonders sog. “Edellaubbaumarten” geeignet sind, die in Naturwäldern nur selten bestandesbildend sind (ebd.). Vor diesem Hintergrund und durch die Rücksprache mit Expert*innen kann die Wahl der Baumarten grundsätzlich als begründet erachtet werden.

Jedoch wurden auch einige Vorschläge genannt zu anderen geeigneten Baumarten. Diese konnten aus Zeitgründen nicht alle ausreichend überprüft werden. Hinzu kommt, dass zu einigen der

genannten Baumarten kaum Literatur vorliegt, die das Vorkommen in Brandenburg (sprich unter der Projektfläche ähnlichen Bedingungen) dokumentiert. Damit ist keine gesicherte Grundlage für die Beurteilung dieser Baumarten gegeben, was im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit problematisch erscheint.

Grundsätzlich gilt jedoch, dass die meisten heimischen Bäume für ein AFS auf diesem Standort in Frage kommen. Allerdings erhöht die Standorteignung die Sicherheit für eine gute Wuchsleistung und Holzproduktion. Die Ergebnisse, die auf einer Literaturrecherche fußen, sind sicherlich zu diskutieren (s.a. Kap. 12.2).

BÖLLERSEN (mdl. Mitt. 2016) ist durch den Anbau auf eigenen Flächen in Brandenburg unter ähnlichen Bedingungen überzeugt, dass auch ausgewählte Sorten der Walnuss (*Juglans spp.*) gut auf dem Standort wachsen würden. Dies erscheint durchaus möglich, da auch für ein Agroforstsystem in Spanien (Niederschlag 437 mm/a) zur Wertholzproduktion mit Walnuss die Sorte "Juglans major x regia" verwendet wird, die besser an trockene Standorte angepasst ist (s. Kap. 4.2). GROLM (mdl. Mitt. 2016) spricht von der trockenheitsresistenten Esskastanie (*Castanea sativa*) und hält diese für den Standort geeignet. Diese Aussage konnte durch die Literaturrecherche nicht bestätigt werden konnte.

Letztendlich hängt die Wahl der Baumarten auch von der Risikobereitschaft aller Beteiligten ab; denkbar ist auch eine Versuchsanlage, auf der der Anbau verschiedener Baumarten, deren Standorteignung nicht eindeutig wissenschaftlich belegbar ist, in kleinerem Umfang getestet wird. Insbesondere vor dem Hintergrund des Modellcharakters des Projektes wäre es zu begrüßen, auf dem Standort eine Vielfalt möglicher Baumarten aufzuzeigen, anhand derer Baumarten für die Anlage weiterer AFS in Brandenburg ausgewählt werden könnten.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte die Recherche zu geeigneten Sorten und Pflanzmaterial für Wertholz nur bedingt erfolgen. Es wird aber darauf hingewiesen, dass dies am besten im Dialog mit Baumschulen vor der Pflanzung noch geschehen sollte. Bei den Fruchtertragskomponenten und KUP-Bäumen wurden einige Sorten-Empfehlungen dargestellt, deren Verfügbarkeit bei Baumschulen jedoch noch geprüft werden sollte. Hierzu liegen den Autoren für spezielle Sorten einige Baumschulempfehlungen vor.

Alternative Fruchtertragskomponenten

Neben den in Kap. 6.2 aufgeführten und den im vorhergehenden Absatz genannten Wertholzbäumen mit Doppelnutzen wären unter den Standortbedingungen grundsätzlich auch andere Obstarten wie Mispel (*Mespilus germanica*), Quitte (*Cydonia oblonga*), oder die in Kap. 6.1 bereits genannten Wilobststräucher: Felsenbirne (*Amalanchier sp.*), Kornelkirsche (*Cornus mas*) und Ölweide (*Eleagnus sp.*) vorstellbar (CRAWFORD 2010; JACKE & TOENSMEIER 2005).

Allerdings haben diese Sorten zurzeit noch keinen großen Markt in Deutschland (HÖHNE 2016a). Ebd. sieht jedoch auch hier durch das wachsende Gesundheitsbewusstsein (s.a. Kap. 6.1) und den Trend zu mehr Regionalität großes Potential. Der Anbau dieser zur Zeit noch unkonventionellen Sorten bedürfte allerdings eines gewissen Grades an Pioniergeist. Denn es müssten neue Anbau- und Ernteverfahren ausgetestet und eine Vermarktung aufgebaut werden. Diese Anforderungen können vom Pächter jedoch zur Zeit nicht erfüllt werden (s.a. Kapitel 4.4.2). In studentischen Projektarbeiten könnten jedoch Lösungsmöglichkeiten für diese Herausforderungen erarbeitet werden.

In Randbereichen wäre es darüber hinaus möglich, einzelne extensive Hochstammobst-Äpfel zu integrieren. Sie könnten Besuchergruppen des Modellprojektes symbolisch auf die vielfältigen Ertragspotentiale von AFS hinweisen und einen Besuch der Fläche durch eine kleine Verköstigung abrunden. Empfehlenswert für den extensiven Obstbau auf Hochstämmen wären beispielsweise Apfelsorten wie *Reanda* und *Rewena* (beide Mehltau und Schorf-resistent) geeignet oder *Discovery*, *Galloway Pepping*, *Eierleder*, *Boverde* und *Chestnut* (alle gelten allgemein als robust) (FIBL 2015).

Spannungsfeld “komplexe Multifunktionalität - geringe Arbeitskapazitäten”

Wie schon in Kap. 4.5 ersichtlich wurde, bestehen die auf den ersten Blick widersprüchlich erscheinenden Wünsche des Eigentümers und Pächters: der Wunsch nach einem komplexen, multifunktionalen System steht dem Wunsch nach möglichst geringem Zusatzaufwand gegenüber. Bei der Entwicklung des Designs wurde stets versucht, dies zu berücksichtigen. Die mit zeitintensiven Pflege- und Erntemaßnahmen verbundenen Fruchertragskomponenten wurden im hiesigen Design daher vorerst nur exemplarisch in einzelne Baumreihen integriert. Sollte sich ein guter Absatzweg sowie eine Lösung für den Arbeitskraftbedarf bei der Ernte eröffnen, könnten diese bei der Konzeption der anderen beiden Teilflächen stärker integriert werden.

Neben der in diesem Design vorgeschlagenen Unterpflanzung mit Obstbau-Spezialkultur-Sträuchern wäre eine stärkere Vernetzung der einzelnen Komponenten im Sinne einer Multifunktionalität durchaus sinnvoll. Wie im Literaturteil zu AFS in Europa bereits ersichtlich wurde (s.a. Kap. 2.2), werden “high value trees” häufig nicht nur zur Wertholzproduktion genutzt, sondern erfüllen meist zusätzlich noch weitere Funktionen wie z.B. Fruchtproduktion. Dies erscheint sinnvoll, damit sich die Anlageinvestitionen schneller amortisieren und das ökonomische Risiko geringer bleibt. Seitens vieler Landwirt*innen werden genau diesbezüglich auch Bedenken geäußert (s.a. Kap. 2.6), da bis zur Wertholzernte diverse externe Risiken bestehen (beispielsweise durch Wetter-/Klimaeinflüsse und unbekannte Holzpreisentwicklung). Von einem Zusatznutzen der Wertholzbäume wurde bei der Designkonzeption jedoch bewusst abgesehen, um die geringen Kapazitäten des Bauern für Pflegemaßnahmen zu berücksichtigen. Wie in Kap. 6.2 ausführlich

erläutert, ist die Nutzung von Bäumen mit dem Ziel des Fruchtertrags grundsätzlich arbeitsintensiv und kollidiert außerdem mit den Arbeitszeitspitzen der Landwirtschaft. Gleichzeitig ist ein Zusatznutzen der Werthölzer für den Frucht- bzw. Nussertrag durchaus attraktiv und möglich. Dies ist mit den in Kap. 5 ausgewählten Baumarten (Baumhasel, Wildbirne, Elsbeere, Speierling) bei gleichzeitiger Wertholzerziehung denkbar, wenn dafür ein*e zusätzliche*r Bewirtschafter*in die Verantwortung übernehmen würde und den entsprechenden Arbeitsaufwand nicht scheut.

Nach SPIECKER et al. (2009) wäre besonders ein AFS auf dem Grünland gut für die Doppelnutzung von Frucht und Wertholz geeignet, da sich dort weniger Komplikationen mit dem Erntezeitpunkt der Früchte ergeben und der Baumstreifen das ganze Jahr über gut für Managementmaßnahmen zugänglich ist, während das Ackerland einen Großteil der Vegetationszeit durch Acker-Kultur bestanden ist, die den Zugang erschwert.

Ausrichtung

Laut der Literaturrecherche (s.a. Kap. 5.6) ist die hier gewählte Nord-Süd-Ausrichtung für AFS in der temperierten Zone am gängigsten, da so eine einseitige Beschattung von Ackerkulturen minimiert wird. Eine Ausrichtung parallel zu dem im Südwesten angrenzenden Schlag hätte den Vorteil, dass die derzeitige Bearbeitungsrichtung beibehalten werden könnte. Nach einer übersichtsartigen Längenmessung mit Hilfe des Programms qgis 2.12.0 würde sich dadurch eine auf die Gesamtlänge gesehene Differenz von zusätzlich 50 m verteilt auf alle Baumreihen ergeben. Würde das Design in Reihenabständen und Baumabständen nicht noch zusätzlich verändert, bliebe die Kalkulation zu der Gesamtanzahl von Bäumen gleich. Daher erscheint es aufgrund des minimalen Unterschiedes vorteilhafter, das AFS entsprechend der Empfehlungen aus Forschungsergebnissen in Nord-Süd-Ausrichtung anzulegen.

Alternative Systeme

Um modellhaft die Vielfalt möglicher AFS aufzuzeigen, wäre neben den teilweise unterpflanzten Wertholzreihen und den KUP-Streifen theoretisch auch eine noch stärkere Verschränkung der einzelnen Design-Elemente möglich. Zum Beispiel könnte die Wertholzproduktion auf derselben Fläche mit KUP kombiniert werden (Alley-Coppice-System). Die Vorteile eines Alley-Coppice-Systems sind insbesondere: Eine bessere gerade Stammbildung der Werthölzer, ein geringerer Astungsaufwand durch weniger Seitenwuchsbildung, eine höhere Biodiversität, geringere Winderosionen und eine tiefere Wurzelbildung der Werthölzer (MORHART et al. 2010). Ein solches System wäre auch in Streifen zwischen ackerbaulichen Flächen vorstellbar. Dabei könnten Wertholzstreifen mit 3 bis 4 m Abstand beidseitig von KUP-Streifen eingerahmt werden. Die oben genannten Vorteile blieben dabei voraussichtlich erhalten und die hohen Biomasse-Zuwachsraten der KUP-Streifen könnten zu Frisch-Zweig-Häckseln verarbeitet werden und direkt in einem Arbeitsgang mit der Ernte (s.a. Anbau-Mäh Hacker: Kap. 10.2.4) auf den angrenzenden

Ackerstreifen geblasen werden. So könnte ein zusätzlicher Arbeitsgang für die FZH-Ausbringung eingespart werden.

Allerdings werden nach dem ursprünglich vorgeschlagenen Design bereits 5 verschiedene Varianten von Wertholzreihen und die gemischte KUP-Fläche gepflanzt. Eine weitere derart stark abweichende Variation sollte daher eher auf dem östlichen noch zu konzipierenden Schlag umgesetzt werden.

Naturschutz

Der Designprozess verlief deutlich im Spannungsfeld zwischen den Interessen der Naturschutzbehörde und denen des Pächters. Die mündlich mitgeteilten Wünsche der unteren Naturschutzbehörde bezüglich der Vermeidung von Pappeln und Robinie auf der Fläche wurden nicht berücksichtigt, sondern als unverbindliche Empfehlung erachtet, denen die in Kap. 5 genannten Vorteile dieser Baumarten gegenüberstehen. Am Beispiel der Baumart Robinie kommt ein Interessenkonflikt hinzu, bei dem die invasive Wirkung der guten Wertleistung (Nutzung) gegenüber steht. Auch die naturschutzfachliche Empfehlung, möglichst breite Saumstreifen entlang der Baumreihen zu lassen (s.a. Kap. 4.2.4), erscheint aus praxistauglicher bzw. ökonomischer Sicht nicht sinnvoll.

Generell wurde jedoch versucht, das Design möglichst naturfreundlich zu gestalten. Beispiele dafür ist die vielfältige Baumartenmischung mit einem entsprechenden Anteil heimischer Gehölze - sowohl bei den Werthölzern als auch auf der KUP-Fläche-, das für Menschen und andere Tiere (v.a. Vögel) nahrhafte Wildobstangebot und die Heckenstrukturen. Außerdem wurde eine unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten wertvolle zeitversetzte Ernte der Bäume empfohlen (s.a. Kap. 10.2). In kleinerem Umfang wäre auch das Belassen von Totholz auf der Fläche möglich. So könnten bei der Wertholzselektion nach 10 Jahren einige Bäume gefällt werden und auf den Baumstreifen liegen bleiben. Darüber hinaus ist auch die Bemühung zu nennen, bei den Managementmethoden, insbesondere bei der Beikrautregulierung praktikable Alternativen zur Herbizidanwendung zu finden (s.a. Kap.10.1).

Ebenso trägt der Aufbau von Bodenfruchtbarkeit zu wichtigen Naturschutzzielen bei, die (wie in Kap. 4.2.4 erläutert) auch Boden-, Gewässer- und Klimaschutz beinhalten. Neben einer Förderung des Bodenlebens könnte ein höherer Humusgehalt Nährstoffauswaschungen abpuffern. Zugleich wird dadurch auch das Ertragspotential der Ackerkulturen gesteigert.

Dies zeigt auf, dass die Interessen des Naturschutzes nicht zwangsläufig in Konflikt mit denen der Landwirtschaft stehen müssen. Dieser Konflikt entsteht besonders dann, wenn der Naturschutz nur im konservativen Sinne als Einzelartenschutz und als Strategie zur Erhaltung Roter-Liste-Arten

verstanden wird. Diese Perspektive sollte jedoch durch das Verständnis des Naturschutzes als *Prozessschutz* bzw. als abiotischer *Ressourcenschutz* erweitert werden (ZEHLIUS-ECKERT 2016).

Wissenschaftliche Untersuchungen

Für die wissenschaftliche Untersuchung der in Kap. 9.2 dargestellten Parameter müssen folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- Bei einigen der vorgeschlagenen Parameter konnten keine genauen Angaben zum Zeitaufwand für deren Erhebung gefunden werden. Hinzu kommt, dass viele Parameter voraussichtlich von Studierenden im Rahmen von Modulen erhoben werden. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Aufwand für die Einarbeitung und die Erhebungen werden länger dauern als bei routinierten Personen.
- Mit wechselnden Studierendengruppen kann nur schwer der Empfehlung Rechnung getragen werden kann, dass “die Probenahme [...], ebenso wie die Analytik, über eine möglichst lange Zeit vom gleichen Team bzw. der gleichen Institution vorgenommen werden [wird]. Auch wenn die jeweilige Vorgehensweise detailliert festgeschrieben ist, erhöht dies die Vergleichbarkeit der Daten” (SCHÖNTHALER et al. 1998, S. 13).
- Außerdem werden die zu erhebenden Parameter (s.a Kap. 9.2) nicht nur vom angelegten AFS, sondern auch stark von der Bewirtschaftungsweise beeinflusst (LUTHARDT et al. 2006). Dies könnte später zu Schwierigkeiten bei der Interpretation der Parameter-Ergebnisse führen. Daher empfehlen LUTHARDT et al. (2006) eine detaillierten Dokumentation von Mengen und Zeitpunkten der Bearbeitungsgänge sowie -tiefe, der Düngung, der Saat und des Pflanzenschutzes.
- Fraglich ist mit welchem Grad an Signifikanz wissenschaftliche Aussagen über die Fläche möglich sind, da diese nicht den Merkmalen klassischer Versuchsanlagen z.B. mit Parzellen-Aufbau oder Variation nur eines oder weniger Prüffaktoren entspricht (STEINBACHINGER et al. 2000). Mit dem in Kap. 9.1.1 vorgeschlagenen Versuchsaufbau in Transekt-Streifen wurde zwar versucht dem Einfluss von Störfaktoren (z.B. Bodenunterschiede) auf den jeweiligen Prüffaktor durch möglichst hohe Randomisation zu begegnen, es muss aber noch mit Expert*innen des Versuchswesens diskutiert werden, inwiefern dies gelungen ist.
- Grundsätzlich stellt sich auch die Frage, ob relevante Prüfmerkmale wie die Veränderung der Bodenfruchtbarkeit bzw. Bodengare nicht auch mit relativ einfachen Mitteln wie beispielsweise der *Erweiterte Spatendiagnose* nach BESTE (2003) (s.Kap. 9.2.2) ausreichend gut eingeschätzt werden könnten.

Insgesamt kann aufgrund der Darstellungen in Kap. 9 davon ausgegangen werden, dass die wissenschaftliche Datenerhebung sehr zeitintensiv und daher auch potentiell arbeitskosten-intensiv ist.

Die hier genannten Gründe führten dazu, dass mit diesem Designvorschlag die Funktion der Fläche als öffentlichkeitswirksames Modellprojekt priorisiert wurde. Dabei sollen viele verschiedene Konzeptionsmöglichkeiten exemplarisch aufgezeigt werden und die wissenschaftliche Datenerhebung zwar von Bedeutung, aber eindeutig zweitrangig sein.

FUKUOKA (1978, S. 119), der sich selbst von seiner wissenschaftlichen Karriere abgewendet hat um Bauer zu werden, pointiert dies wie folgt: “Die moderne Wissenschaft zerteilt die Natur in kleine Stücke und führt Untersuchungen durch, die weder mit den natürlichen Gesetzen, noch mit der praktischen Erfahrung von Bauern übereinstimmen”. Ebd. schlägt vor, besser eine Vielfalt an Möglichkeiten nach dem “trial and error”-Prinzip auszuprobieren und durch gutes Beobachten, ohne aufwändige technische Hilfsmittel, deren Eignung auszuwerten und die Anbausysteme so fortwährend weiter zu entwickeln.

Dies ist letztendlich auch das Prinzip der Evolution, und man könnte daher sagen, das effektivste Prinzip der Weiterentwicklung und Anpassung überhaupt, da es sich über Millionen von Jahren entwickelt hat (RECHENBERG 1973).

In diesem Zusammenhang könnte der Forschung eine neue Rolle zukommen, nämlich dynamische Systeme mit großer Vielfalt zu entwickeln und beobachtend selektiv einzugreifen und damit den Prozess der natürlichen Evolution zu beschleunigen. Eine weitere Aufgabe der Wissenschaft könnte diesbezüglich die Entwicklung von Technik sein, die möglichst optimal an solche Systeme angepasst ist. Dies könnte beispielsweise die Weiterentwicklung von Minimalbodenbearbeitungstechnik oder auch Technik für die Erzeugung von FZH sein. So ist den Autoren beispielsweise keine effektive technische Lösung für das gleichzeitige Zurückschneiden und Häckseln von Hecken in einer Höhe von ca. 1 m oder für das in traditionellen AFS klassische “auf den Kopf-Setzen” (vgl. Kopfweiden und Hutewälder) von Bäumen (JACKE & TOENSMEIER 2006) bekannt. Die Forschung an der Entwicklung derartiger Technik wäre eine wichtige Grundlage für die erfolgreiche Verbreitung von ökologisch-wertvollen Agroforstsystemen.

Wirtschaftlichkeit

Wie sich die tatsächlichen Kosten und Erlöse der Fläche gestalten, konnte aufgrund des Umfangs dieser Arbeit nicht tiefergehend untersucht werden. Tatsächlich unterliegt die finanzielle Bewertung von AFS einer Reihe von variablen Faktoren, insbesondere sind hier zu nennen: die tatsächlichen Pflanzgutkosten (Preise für Stecklinge/Nacktwurzelware bzw. Heister/ Hochstämme

bei den jeweiligen Baumschulen) und die ungewisse Erntemenge, die von zahlreichen Standortfaktoren und von der Minimierung von Ernteaussfällen abhängt (SPIECKER et al. 2009).

Besonders die Erlöse für Wertholz liegen weit in der Zukunft und sind dadurch nur schwer kalkulierbar. Dass sich durch die Langfristigkeit auch Vorteile gegenüber klassischen landwirtschaftlichen Erzeugnissen mit fixem Erntetermin und begrenzter Lagerfähigkeit ergeben, wurde deutlich (s.a. Kap. 5).

Da die Ernte der Maxi-Rotations-Bäume frühestens in etwa 20 Jahren und die des Wertholzes frühestens in 50 Jahren erfolgen kann, sollte bis dahin eine Recherche zu passenden Vermarktungsmöglichkeiten im regionalen Raum durchgeführt werden, beispielsweise im Rahmen einer Bachelorarbeit. Eine rentable Vermarktung erscheint laut SKALDA (mdl. Mit. 2016, s.a. Kap. 5.7) durchaus realistisch, besonders vor dem Hintergrund, dass eine vom BMU beauftragte Studie bis 2020 eine Holzversorgungslücke von 20 - 30 Millionen Festmeter im Jahr prognostiziert, falls der Holzeinschlag in Deutschland wie bisher nur 80 Millionen Festmeter im Jahr beträgt (BMU 2010). Der Kontakt mit dem Verein "Biomasse Schraden" aus BB könnte hilfreich sein.

Ob sich für die Vermarktung des Wildobstes eine lukrative Möglichkeit eröffnet, ist ebenfalls noch offen (s.a. Kap. 6.3), aber wie im selben Kap. aufgezeigt, aufgrund der Zusatzfunktionen auch nicht zwangsläufig notwendig.

Durch die Integration der KUP-Fläche zur Gewinnung von FHZ entstehen Kosten, denen vorerst keine direkten monetären Erlöse zugeordnet werden können. Der mit Abstand größte Kostenpunkt ist das Pflanzgut (2.325 € bis 7.750 €). Sollte dies zu hoch erscheinen könnte ggf. auch die Pflanzdichte von 15.500 bis auf die empfohlene Mindestdichte von 10.000 Pflanzen/ha (SCHILDBACH et al. 2009) reduziert werden.

Sobald nach einigen Jahren die erwartete Steigerung der Bodenfruchtbarkeit eintritt, könnte langfristig ein indirekter finanzieller Rückfluss über Mehrerträge der Ackerkulturen auf der FZH-Mulchfläche stattfinden. Außerdem wird voraussichtlich die Entstehung externalisierter Kosten vermieden (Nährstoffauswaschungen) bzw. Ökosystemdienstleistungen erbracht (z.B. Biodiversitätshabitats, Erosionsvermeidung) (s.a. Kap.2.4). Dass diese bisher meistens nicht in betriebswirtschaftlichen Rechnungen abgebildet werden, wird im Folgenden dargestellt.

Viele der "großen Probleme" unserer Zeit (z.B. Klimawandel, Artensterben, Ausbeutung fossiler Ressourcen) gehen laut HISS (2015) aus einem Konstruktionsfehler der betriebswirtschaftlichen Rechnungen hervor. Grund ist nach ebd. die Unvollständigkeit der betrieblichen Finanzbuchhaltung. Sie übersehe wesentliche Investitionen in das Natur- und Sozialkapital und sollte daher an dieser Stelle erweitert werden.

Den zahlreichen Vorteilen von AFS im Bereich der Ökosystemdienstleistungen (s.a. Kap. 2.3) wird jedoch in der Regel kein monetärer Wert zugeordnet. Genauso lassen sich in vielen Bereichen unserer Gesellschaft externalisierte Umweltkosten feststellen, welche langfristig von der Allgemeinheit getragen werden müssen (SCHUBERT & KLEIN 2016). Es gibt jedoch Ansätze, Ökosystemdienstleistungen in finanzielle Bilanzen miteinbeziehen. So können beispielsweise Ersatzkosten kalkuliert werden, die durch Kompensationsmaßnahmen entstehen würden, wenn eine Ökosystemdienstleistung verloren geht (BARTH 2014).

Von der Europäischen Umweltagentur (EEA 2003) wurden beispielsweise die Kosten der Erosion in landwirtschaftlichen Gebieten Europas abgeschätzt:

- Beeinträchtigung der ökologischen Bodenfunktionen durch Wind- und Wassererosion am Ort (On-Site-Effekte): 53 €/ha
- Effekte auf benachbarte und weiter entfernte Lebensräume durch Nähr- und Schadstoffeinträge (Off-Site-Effekte) 32 €/ha.

Eine schlechte Infiltrationsfähigkeit und die konsekutive Wassererosion führen zu einem Ansteigen der Hochwassergefahr. Die Schäden für Überflutungen werden nach einer Studie zu agrarrelevanten Extremwetterlagen bei Ackerkulturen mit 200 Euro bis 1000 Euro je Hektar beziffert (THÜNEN-INSTITUT 2015). Die jährlichen Schäden durch Hochwasser belaufen sich in der gesamten EU auf etwa 6,4 Milliarden Euro (BESTE 2015).

Eine Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen wird meist durch einen sogenannten Vermeidungskostenansatz berechnet, das heißt die Kosten alternativer Klimaschutzmaßnahmen werden als Indikatoren für den monetären Wert einer bestimmten Klimaschutzmaßnahme verwendet (SCHÄGNER 2009). Eine andere Möglichkeit ist die Bewertung anhand des Zertifikatpreises des EU Emissionshandels, der 2008 bei 27,58 € lag und derzeit bei 4,15 € (Stand 8.12.2016) (ebd.).

Es wäre sinnvoll, solche Werte in eine Wirtschaftlichkeitskalkulation mit einzubeziehen. Zwar finden sich erste betriebswirtschaftliche Ansätze hierzu bei HISS (2015) und FELBER (2012), jedoch gibt es noch keine einheitlichen Methoden und nur wenig gesicherte Werte. Die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung dieser Modelle erscheint jedoch für die Verbreitung wirklich nachhaltiger bzw. zukunftsfähiger Landnutzungssysteme von herausragender Bedeutung.

12.2 Diskussion der Methoden

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden mittels Literaturrecherche sowie durch Interviews und Gespräche mit Expert*innen erarbeitet. Methodisch korrekt wäre es gewesen, jede Expert*innen-Befragung durch ein leitfadengestütztes Interview durchzuführen. Aufgrund des Umfangs der Gesamtarbeit wurden die Interviews jedoch nicht transkribiert und entsprechend der Methodik

Leitfadengestützter Interviews ausgewertet (DIEKMANN 2012). Mit einigen Expert*innen bzw. Stakeholdern wird die Form des Kontaktes auch besser mit dem Begriff "Dialog" als mit "Interview" beschrieben, da mehrfach Kontakt zur Klärung von Detailfragen aufgenommen wurde. Die Erstellung eines Interview-Leitfadens wäre in diesen Fällen daher nicht zweckmäßig gewesen.

Die Wahl der Wertholzarten auf der Grundlage der Ergebnisse aus der Literatur zu treffen, stellte sich als sehr schwierig dar. Folgende Probleme traten bei der Bearbeitung auf:

- Insgesamt variierten die Angaben zu den Standortansprüchen in unterschiedlichen Quellen; in der Excel-Tabelle (s.a. Kap. 5.4) wurde zusammengefasst, was übereinstimmend angegeben wurde.
- Beschreibungen zu Bäumen stehen allgemein in einem forstlichen Kontext. Inwieweit diese Angaben auf einen Ackerstandort übertragbar sind, ist fraglich. Grundlegende Eigenschaften (z.B. geringes Wasserhaltevermögen) sollten sich jedoch ähneln.
- die Datengrundlage war je nach Baumart unterschiedlich, insgesamt jedoch mangelhaft für die Überprüfung einzelner Merkmale (Niederschlagssummen).

Die Beschreibungen zu den Standortansprüchen der meisten im Design verwendeten Pflanzen waren nicht derart spezifisch, dass eine genauere Datengrundlage die Auswahl hätte erleichtern können. Trotzdem wäre es wünschenswert gewesen, auf eine ausgewertete Standortkartierung zurückgreifen zu können, die durch den begrenzten Umfang dieser Arbeit nicht durchgeführt werden konnte. Es konnte daher ausschließlich auf die Aussagen des Pächters sowie die Ackerbodenschätzzahlen und Daten der Wetterstation in Großmutz zurückgegriffen werden..

Der Abschnitt zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit wurde vor allem in Bezug auf die Hypothese der bodenverbessernden Wirkung von Frisch-Zweig-Häckseln (FZH) erarbeitet, hier hätte jedoch auch eine breitere Darstellung und Diskussion anderer Möglichkeiten stattfinden können. Allerdings schienen die FZH u.a. beeinflusst durch die Empfehlung von GÖTSCH als aussichtsreiche und bisher in Deutschland zu wenig untersuchte Methode.

Die Berechnung von Flächengrößen, Längen etc. erfolgte auf Datengrundlage der Luftbilder mit Quantumgis qgis 2.12.0 (Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Lizenz (CC BY-SA)). Dabei muss jedoch deutlich gemacht werden, dass diese Angaben aufgrund der fehlenden Genauigkeit und nicht berücksichtigter Hangneigung nur zur groben Abschätzung entsprechender Größen dienen können.

Die Möglichkeit, Zwischenergebnisse mit Expert*innen auf dem Agroforst-Planungsworkshop (11.12. & 12.12.2016 in Struppen) und dem Agroforst-Forum (30.11. & 01.12.2016 in Senftenberg) zur Diskussion zu stellen und das Design dementsprechend zu überarbeiten, war eine sinnvolle Ergänzung der überwiegend auf Literaturrecherche ausgerichteten Arbeit.

13 Fazit und Ausblick

AFS besitzen viele Potenziale, die besonders im Bereich der Ökosystemleistungen liegen. Dass mit einseitigen Berechnungsweisen, fehlenden Fördermöglichkeiten, erhöhtem Arbeitsaufwands, sowie der zu Ackerkulturen vergleichsweise langen Investitions-Rücklaufzeit, eine Etablierung von AFS zum derzeitigen Zeitpunkt für Landnutzer*innen nur sehr bedingt attraktiv erscheint, kann nachvollzogen werden. Damit sich diese Rahmenbedingungen jedoch ändern, ist die Ausstrahlungswirkung von Modellprojekten, wie dem hier konzipierten, von besonderer Bedeutung. Die wissenschaftliche Begleitung des Projektes durch die HNE Eberswalde gewährleistet dabei voraussichtlich eine professionelle Ausstrahlung des Projektes. Durch die Nähe zu Berlin könnten sich hier neben Landwirt*innen und Landeigentümer*innen auch höhere politische Entscheidungsträger*innen bei Projekt-Besichtigungen von der erhöhten Flächenproduktivität, Biodiversität und anderen Potenzialen wie z.B. der Landschaftsästhetik von Agroforstsystemen überzeugen.

13.1 Nächste Schritte – Projektplan

Mit der Vorbereitung der Pflanzung sowie der wissenschaftlichen Datenerhebung sollte bereits im Januar oder Februar 2017 begonnen werden.

Es sind zahlreiche Arbeitsschritte zu erledigen. Daher wäre es sinnvoll eine Person mit 10 bis 20 Wochenstunden vorübergehend zu diesem Zwecke einzustellen.

Vorbereitung der Pflanzung:

Folgende Pflanzware wird benötigt:

- 260 Werthölzer der in Kap. 5.4.3 genannten Artenzusammensetzung, u.a. 46 Haselbäume (*Corylus colurna*), davon 40 der Sorte *Granat* und 6 zur Kreuzbefruchtung geeignete (mit Baumschule zu klären).
- 144 Sanddornsträucher, davon 120 weiblich (Sorten: *Hergo*, *Habego* und *Leikora*) und 24 männlich (Sorten: *Pollmix 3* und *Pollmix 4*).
- 96 Aronia- Sträucher (Sorten: *Nero* und *Aron*).
- Maxi-Rotations-Bäume: 12 Aspen und 12 Sandbirken (geeignete Sorten sind mit der Baumschule zu klären).
- KUP: 12.000 Robinien (Sorten: *Tullin 81/62*, *Tullin 81/19* und *Appalachia*); 1.200 Pappeln (Sorten: *Max 1*, *Max 3* und *Max 4*, *Baupré*, *Matrix 49*, *Andosoggin* und *Muhle-Larsen*); 3.100 Ebereschen; je nach Verfügbarkeit Mischung von insgesamt 3.100 Stück aus Winterlinde (*Tilia cordata*), Grauerle (*Alnus incana*), Hasel (*Corylus avellana*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Spitzahorn (*Acer plantanoides*), Eschen-Ahorn (*Acer negundo*), Feldahorn (*Acer campestre*), Flatterulme (*Ulmus laevis*) und Traubeneiche (*Quercus petraea*).
- Geeignete Mykorrhiza-Beimpfung für insgesamt ca. 30 Bäume (bei Baumschulen zu erfragen).
- Pflanzpfähle und Baumschutz (Tubex-Hüllen: 260 für Werthölzer + 24 für Maxi-Rotation); Drahtosen für 240 Wildobststräucher.
- 100-200 Srm Hackschnitzel-Mulch bestellen (bei ARNISCH / WBV-Schnelle-Havel).
- 30 t/ha Kompost (mit der Landwirtschaftsbehörde ist zu klären, ob evt. eine Ausnahmen zur Ausbringung größerer Mengen für Forschungszwecke genehmigt werden kann).
- 2 t Gesteinsmehl z.B. bei PROVINEA.
- Lehmbraun aus der Kiesgrube der KHG Kulturboden-Handels GmbH im Löwenberger Land (30-50 t/ha je nach Transportkapazitäten).
- Polyethylen-Mulchfolie, 1,6 m Breite für insgesamt ca. 2,2 ha.
- Extensiven Blümmischung z.B. bei der Firma RIEGER-HOFMANN.
- Sitzwarten insgesamt ca. 15 Stück.

Vorbereitung für die wissenschaftliche Datenerhebung:

- Verfügbarkeit der zur Datenerhebung relevanten Geräte an der HNEE überprüfen.
- Nicht verfügbare Geräte wie z.B. Klimastationen und Pegelrohre bestellen.
- Klären welche Fläche als Vergleichsfläche ohne AFS für die Datenerhebung genutzt werden kann. Dies sollte möglichst gleiche Bodenverhältnisse aufweisen sowie mit derselben Fruchtfolge bestellt werden (s.a. Kap. 9).
- Eine erste Erhebung wichtiger wissenschaftlicher Parameter sollte möglichst noch vor der Bestandesbegründung stattfinden (s.a. Kap. 9).

Weitere Vorbereitungen:

- Eine Veranstaltung zur Vorstellung und Diskussion der im Rahmen dieser Arbeit erarbeiteten Ergebnisse sollte mit allen Stakeholdern zeitnah durchgeführt werden. Dies könnte ggf. im Rahmen der Verteidigung dieser Arbeit stattfinden. Für den Pächter wäre es sinnvoll, dafür eine Tabelle zu erstellen mit den Managementaufgaben im Jahresverlauf.
- Für die Unterstützung bei Arbeitseinsätzen (z.B. Pflanzaktionen) und bei der wissenschaftlichen Datenerhebung durch Student*innen-Gruppen soll ein Modul zu Agroforst in Brandenburg an der HNEE eingerichtet werden. Dieses muss konzipiert und vorbereitet werden.
- Es dauert drei Jahre, bis die KUP ein erstes Mal geerntet wird, daher könnte nach Möglichkeiten gesucht werden, bereits im Vorfeld FZH für die Mulchung der zu untersuchenden Fläche zu erhalten. Beispielsweise werden in Quebeck etwa. 250.000 t FZH durch den jährlich starken Rückschnitt von Bäumen entlang öffentlicher Straßen gewonnen (CARON 1994). Auch an den Straßen der Projektfläche im Löwenberger Land stehen große Bäume, durch deren Rückschnitt große Mengen an FZH für die Etablierung der Fläche gewonnen werden könnten. Ob ein Rückschnitt möglich wäre, muss noch geprüft werden.
- Außerdem sollte bereits frühzeitig ein Vertrag zum Leihen des Anbau-Mähhackers für die KUP-Ernte geschlossen werden. Kontaktiert werden kann hierzu Susanne SKALDA (2016) von Holzbiomasse Schraden e. V.
- Zu klären wäre auch, ob die in der Diskussion unter "alternative Fruchtertragskomponenten" vorgeschlagenen, resistenten Hochstamm-Apfelbäume in kleinem Umfang (3-6 Bäume) in Randbereiche, vor allem zum Zwecke der Öffentlichkeitswirkung, integriert werden sollen.

13.2 Gewährleistung von dauerhafter, wissenschaftlicher Begleitung

Die Besonderheit dieser AFS-Versuchsfläche ist, dass sie dauerhaft wissenschaftlich durch die HNEE begleitet werden soll, während viele andere Versuchsflächen in Deutschland nur für einen

durch Fördermittel befristeten Zeitraum begleitet wurden, sodass noch kaum wissenschaftliche Daten zu älteren AFS vorliegen (s.a. Kap. 2).

Um diese Dauerhaftigkeit zu gewährleisten, sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Fortlaufende Bemühungen um die Generierung von Förderanträgen. Dies ist beispielsweise bereits bzgl. des BMBF-Programms "Agrarsysteme der Zukunft" geschehen.
- Etablierung eines regelmäßig stattfindenden fachbereichsübergreifenden Modules (bsp. Projektwerkstatt) zu Agroforst in Brandenburg. Ziel wäre es Studierende an das Thema heranzuführen unter anderem, indem gemeinsam mit ihnen einen Teil der Pflegemaßnahmen und der wissenschaftlichen Datenerhebung durchgeführt werden würde. In Semesterabschlussprojekten bzw. Studiums-Abschlussarbeiten könnten einzelne Forschungsfragen projektartig vertieft werden (s.a. Kap. 13.3.2).
- Auf Grundlage der in Kap. 9.2 vorgestellten Parameter und Erhebungsverfahren sollte mit allen Stakeholdern in einer Diskussion eine Abgrenzung zwischen regelmäßig und projektartig zu erhebenden Parameter gefunden werden.
- Besonders bei langen Beobachtungszeiträumen mit möglicherweise wechselnden Betreuer*innen ist eine gute Datendokumentation wichtig. Beispielsweise könnten diese in eine zentrale GIS-Datenbank eingespeist werden.
- Um die zahlreichen oben genannten Aufgaben umzusetzen, sowie die wissenschaftliche Datenerhebung auf der Versuchsfläche langfristig zu koordinieren und ggf. die Erstellung von Förderanträgen zu unterstützen, sollte zumindest eine wissenschaftliche Hilfskraftstelle an der HNEE für diese Aufgaben geschaffen werden. Langfristig scheint auch die Anstellung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters unumgänglich.
- Perspektivisch wäre die HNEE nun mit einer AFS-Dauerbeobachtungsfläche ein idealer Standort für die Konzipierung eines neuen Masterstudiengangs „Agroforstwirtschaft“ durch Zusammenführung ihrer Kompetenzfelder aus FB1 (Wald & Umwelt) und FB2 (Landschaftsnutzung & Naturschutz). Dies könnte mit der Berufung einer neuen Professur zum Thema Agroforstwirtschaft kombiniert werden.

13.3 Offene Fragen und Ausblick

13.3.1 Vernetzung und finanzielle Förderungsmöglichkeiten

Es sollte genauer geprüft werden mit welchen Forschungsinstituten, Universitäten oder auch bereits existierenden Forschungsverbundvorhaben kooperiert werden könnte.

Kooperationsmöglichkeiten ergäben sich zum Beispiel folgende:

- AUFWERTEN ist derzeit das größte deutsche Forschungsverbundnetzwerk zum Thema Agroforst. Eine Analyse potentieller Kooperationsmöglichkeiten wäre sicherlich sinnvoll.
- Bei den Versuchen zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit durch AFS und FZH könnte mit dem Bodenforschungszentrum BONARES (2016, S. 1) kooperiert werden: “Die durch BONARES geförderten Forschungsarbeiten sollen das Ziel verfolgen, die Leistungs- und Ertragsfähigkeit der Ressource Boden langfristig zu sichern und wenn möglich zu steigern”.
- Bezüglich der Minimalbodenbearbeitung und FZH-Mulch-Direktsaat könnte mit der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V (GKB) kooperiert werden.
- Sollte Terra Preta in den Versuch integriert werden, könnte eine Zusammenarbeit mit dem seit langem an Terra Preta forschenden Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Abteilung Bodenbiogeochemie der Universität Halle sinnvoll sein. Hier könnte beispielsweise auf spezielle Laboranalytik zurückgegriffen werden (mdl. Mit. FISCHER 2016).

13.3.2 Themen für weitere wissenschaftliche Arbeiten bzgl. des Projektes

Folgende Parameter und Forschungsfragen könnten zusätzlich zu den oben genannten regelmäßigen Parametern projektartig in Form von Bachelor oder Masterarbeiten erhoben werden: (s.a. Kap. 9.2; 9.3; 9.6).

- Durch die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit werden in Zukunft potentiell ackerbauliche Mehrerträge auf der FZH-Mulch-Fläche erwirtschaftet werden. In diesem Zusammenhang könnte die Rentabilität und Effektivität von FZH inklusive deren Produktion durch KUP mit anderen Verfahren zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit verglichen und genauer untersucht werden.
- Die in Kapitel 12 aufgezeigte Entwicklung angepasster Technik z.B. für Minimalbodenbearbeitung und Agroforst-Biomasse-Ernte scheint für die Steigerung der Effektivität des Managements von AFS von herausragender Bedeutung. Technische Neuentwicklungen könnten im Rahmen einer weiteren Arbeit näher untersucht werden.
- Nach der Umsetzung des hier vorgeschlagenen Designs sollte eine praktische Evaluierung dessen stattfinden und daraus ein neues, weiterentwickeltes Design für die beiden weiteren Flächen erarbeitet werden. Sollten beispielsweise bis dahin innovative Vermarktungswege für die Fruchtertragskomponenten, wie bereits in Kap. 6 kurz dargestellt, gefunden sein, könnten Fruchtertragskomponenten in stärkerem Ausmaß integriert werden.
- Auch komplexe Zusammenhänge sollen untersucht werden: Beispielsweise die Beobachtung von GÖTSCH (1994), dass dominierende Pflanzen-Spezies (große Bäume),

die ein gealtertes Reifestadium erreichen, andere sie umgebende Pflanzen ebenfalls dazu anregen vorzeitig ihr vegetatives Wachstum einzustellen und ins generative Reifestadium bzw. Altersstadium zu wechseln. Werden jedoch reifende dominierende Pflanzen durch Rückschnitt ins Stadium schnellen vegetativen Wachstums wieder-verjüngt, regen sie laut GÖTSCH andere umliegende Pflanzen ebenfalls dazu an wieder schneller zu wachsen. Starker regelmäßiger Rückschnitt wirke also belebend auf den Boden. So könnte beispielsweise untersucht werden, ob sich Auswirkungen auf den Ackerfrucht- oder Wildobstertrag beobachten lassen, wenn stärkere Astungsmaßnahmen evt. auch zusammen mit der Maxi-Rotations-Baum-Ernte feststellen lassen. Alternativ könnten auch die Auswirkungen des KUP-Rückschnittes auf die Erträge der direkt angrenzenden Ackerfrüchte untersucht werden.

- Wechselwirkungen zwischen Acker- und Baumstreifen bezüglich Nützlingen könnten untersucht werden. Genauso wäre auch zu prüfen, ob bestimmte Bäume als Wirte oder Übertrager von Problemkrankheiten bei Feldfrüchte wirken.
- Bonituren zum Gesundheitszustand der Ackerkulturen: In der Nähe der Baumstreifen könnte aufgrund von Beschattung und verminderter Luftbewegung eventuell der Pilzdruck steigen (SPIECKER et al. 2009). Andererseits könnte sich eine gesteigerte Bodenfruchtbarkeit durch die Baumreihen und auf der FZH-Fläche auch positiv auf den Gesundheitszustand der Ackerkulturen auswirken (STEFFENS 2011). In diesem Zusammenhang könnte beispielsweise durch vermehrtes Auftreten von sogenannten *plant-growth-promoting-rhizobacteria* Resistenzen bei den Kulturpflanzen induziert werden (OTTOW 2011b).
- Pflanzenernährungszustand: Einfluss unterschiedlicher Abstände zu den Gehölzstreifen und Einfluss des FZH-Mulches auf den Ernährungszustand der Kulturpflanzen. So könnten mittels ICP-AES Nährstoffanalysen an der Pflanzen-Frischmasse durchgeführt werden (BÄRWOLFF, OSWALD & BIERTÜMPFEL 2012).
- Entwicklung schattentolleranter Kulturpflanzen: Gerade im Hinblick auf AFS besteht ein großer Forschungs- und Züchtungsbedarf bezüglich der Schatten-Toleranz ackerbaulicher Kulturen (BRIGGS 2012).
- Der Nährstofftransfer in Form der FZH von der KUP-Fläche auf den Acker könnte untersucht werden. Untersuchungen dazu, allerdings meist mit Grünland, Klee gras und anderen ackerbaulichen Zwischenfrüchten finden sich bei CROPP & BONIN (2016) sowie bei STORCH (2016).
- Untersuchungen die Humifizierungsprozess auf der FZH-Mulchfläche: Vielfach wird der Methoxylgehalt (Aryl-O-CH₃) im Humuskörper als Parameter für Verlauf und Ausmaß der Humifizierung herangezogen, weil dieser Parameter charakteristisch für Lignin und relativ einfach zu bestimmen ist (BLUME 2011). Zu bedenken ist dabei, dass der Methoxylgehalt

im Ausgangsmaterial je nach Ligninaufbau in Abhängigkeit von der Baumart sehr unterschiedlich sein kann (RAVEN, EVERT & EICHHORN et al. 2006) (s.a. Kap. 7.3). Die Wirkung der FZH könnte daher Baumarten-spezifisch und in einer Mischung auf unterschiedliche Teilflächen ausgebracht untersucht werden. Unter anderem z.B. auf den jeweiligen Humifizierungskoeffizienten (h), das ist der C-Anteil einer organischen Düngung, der nach einem Jahr noch im Boden vorhanden ist (BLUME 2011).

- Analyse des Wurzelsystems der Bäume: HUBER et al. (2013) empfehlen eine Beprobung des Wurzelsystems mit der von SCHUURMAN & GOEDEWAAGEN (1971) beschriebenen Bohrkernmethode. Über die Ausgrabungsmethode nach KUTSCHERA & LICHTENEGGER (2002) könnte exemplarisch auch die Wurzelarchitektur von Bäumen in AFS untersucht werden.
- Bodenlockerung durch Baumwurzeln: Wie bereits in Kap. 9.2.2.1 angedeutet könnte anhand der Analyse der Bodengefüge-Struktur bzw. der Bodenverdichtung untersucht werden, in welchem Ausmaß die Tiefenwurzeln der Bäume in AFS zur Unterboden-Auflockerung beitragen können.
- Haselnuss-züchtung: Einige Genotypen der in Kap. 6.2.3 vorgestellte Baumhasel der Sorte *Granat* sind relativ großfrüchtig, aber diesbezüglich noch nicht gezielt züchterisch bearbeitet (TATSCHL 2015). Daher wäre ein kleines studentisches Züchtungs-Projekt möglich. So könnten die Ertragsleistungen und Fruchtqualitäten Baum-spezifisch erfasst werden. Hieraus könnte gezielt das beste genetische Material für züchterische Zwecke selektiert werden. Der Obstbaumzüchter Jürgen RECKIN (mdl. Mit. 2016) aus Finowfurt (bei Eberswalde) bot im Rahmen des Telefoninterviews für diese Arbeit an, Student*innen bei der züchterischen Arbeit an Baumhaselmaterial zu unterstützen.

13.3.3 Zu klärende Fragen

Bezüglich des Managements sollten die folgenden Fragen möglichst bald geklärt werden:

- Wer übernimmt die fachmännische Pflege der Bäume (insbesondere Astung) und des Baumstreifens?
- Wer ergreift Maßnahmen, um das AFS im Falle von Schäden (etwa beim Ausfall von Bäumen) wieder in einen ordentlichen Zustand zu versetzen ?
- Wer übernimmt die Ernte und Vermarktung des Holzes (z.B. auch Entscheidung über den Zeitpunkt der Holzernte)?

13.3.4 Gründung einer Stiftung

Damit die vom Eigentümer geäußerten Ziele langfristig gesichert werden können, empfiehlt sich die Gründung einer Stiftung, in deren Satzung diese festgeschrieben werden sollten. Andernfalls

bleibt ggf. ein abruptes Ende des AFS zu befürchten. So stellt sich beispielsweise die Frage, was im Falle einer Vererbung des Eigentums mit der Fläche geschehen würde.

13.3.5 Öffentlichkeitsarbeit – Präsentation von Ergebnissen

Während des gesamten Projektverlaufes sollte eine gute Dokumentation (Bilder, Zeitungs/Zeitschriften-Artikel, Veröffentlichungen usw.) stattfinden. Insbesondere sollten die Ergebnisse des Projektes gezielt an Entscheidungsträger*innen in der öffentlichen Verwaltung und Politik, sowie an Landwirt*innen und Landeigentümer*innen kommuniziert werden. Somit könnte die Akzeptanz der Landwirt*innen zu Agroforstsystemen erhöht und gleichzeitig die politische Anerkennung von AFS in Deutschland anregt werden. Zu diesem Zwecke sollte eine Öffentlichkeitsarbeits-Strategie entwickelt werden. Ein erster Meilenstein einer solchen Strategie könnte die Durchführung eine öffentlichkeitswirksamen Pflanzaktion mit medialer Begleitung sein. Für die Öffentlichkeitsarbeit könnte unter anderem auf den von der Universität Freiburg erstellten Leitfäden zu Agroforstsystemen aufgebaut werden (BENDER et al. 2009, MORHART et al. 2015) und beispielsweise mit der AGROFORSTKAMPAGNE (2016) zusammengearbeitet werden. Eine direktere und übersichtliche Vernetzung der verschiedenen Akteure und AFS-Projektbeispiele in Deutschland erscheint nötig.

14 Zusammenfassung

Als größter Flächennutzer Deutschlands soll die Landwirtschaft nicht nur bedarfsdeckend Lebensmittel und Bioenergiemasse produzieren, sondern diese Produktion vor dem Hintergrund des Klimawandels, der Endlichkeit fossiler Ressourcen und des globalen Biodiversitätsverlustes auch möglichst umwelt- und ressourcenschonend gestalten. Auf den ertragsschwachen und ausgeräumten Äckern Brandenburgs kommen Frühjahrstrockenheiten und Erosionsgefährdung erschwerend hinzu. Als eine mögliche, zukunftsfähige Landnutzungsform gelten Agroforstsysteme,

welche die Flächenproduktivität, die Biodiversität und die natürliche Resilienz erhöhen können. Agroforstsysteme bezeichnen Landnutzungssysteme, in denen verholzende, mehrjährige Pflanzen gezielt mit dem Anbau von Feldfrüchten oder Tierhaltung auf derselben Fläche kombiniert werden.

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wurde ein standortangepasstes Agroforstsystem für 20 ha Ackerfläche im Löwenberger Land konzipiert, das gleichzeitig als Modellprojekt und Dauerbeobachtungsfläche fungieren soll. Die Konzeption fußt auf einer Analyse zur allgemeinen Situation von Agroforstsystemen in Deutschland. Bei der Recherche der Forschungsergebnisse zu Agroforstsystemen in Deutschland wird erkennbar, dass diese potentiell zum Klimaschutz, Erosionsschutz und zum Aufbau von Bodenfruchtbarkeit beitragen können. Trotz dieser Vorteile fehlt es in Deutschland bislang an einer Umsetzung in die Praxis. Grund dafür ist vor allem der rechtliche Rahmen, in dem Agroforstsysteme auf landwirtschaftlichen Flächen als unzulässig gelten.

Neben der Standortcharakterisierung wurde für die Konzeption auch eine Analyse der spezifischen Interessen des Flächeneigentümers und Pächters durchgeführt. Demnach ist es auch Ziel dieses Modellprojektes, langfristig die Umsetzbarkeit von Agroforstsystemen und deren Potentiale anschaulich aufzuzeigen und andere Landeigentümer*innen, Landwirt*innen und politische Entscheidungsträger*innen zur Nachahmung zu inspirieren. Als mögliche Komponenten des Agroforstsystems wurden zunächst Wertholzbäume, Wildobstarten und Kurzumtriebsplantagen identifiziert und weitergehend untersucht. Für das hier konzipierte Agroforstsystem wurde eine Mischung standortsangepasster Wertholzbäume ausgewählt, die in Reihen auf der Ackerfläche angeordnet und teilweise mit Fruchtertragskomponenten unterpflanzt sind. Außerdem sind Windschutzhecken und artenreiche Kurzumtriebsplantagen-Elemente integriert, die der Produktion von Frisch-Zweig-Häckseln (FZH) dienen. Die FZH sollen als Mulchschicht zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit auf einem Ackerstreifen ausgebracht werden.

Die vielfältigen Auswirkungen des Agroforstsystems sollen in Kooperation mit der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) dauerhaft wissenschaftlich untersucht werden. Die wissenschaftlich zu untersuchenden Parameter und Methoden zu deren Erhebung wurden durch den Vergleich mit anderen Forschungsprojekten zu Agroforstsystemen ausgewählt. Es wird empfohlen, schwerpunktmäßig die Auswirkungen auf biotische und abiotische Bodeneigenschaften zu messen; aber auch Daten zum Mikroklima, zu der Biodiversität der Begleitflora- und fauna, sowie zu den Wuchsleistungen der Gehölze und Ackerkulturen sollten aufgenommen werden. Für die Ableitung wissenschaftlich-signifikanter Aussagen aus den Datenerhebungen werden drei Transekt-Streifen quer zu den Baumreihen über das gesamte Feld gelegt. Innerhalb der Transekte findet in klar abgegrenzten Teilflächen eine stichprobenartige Erhebung der Parameterdaten statt. Zugleich bleibt durch den Versuchsaufbau eine hohe Praktikabilität für den Bewirtschafter gewahrt. Außerdem enthält diese Arbeit Beschreibungen für alle wesentlichen

Managementaspekte, die durch die Etablierung des Agroforstsystems anstehen sowie eine knappe Investitionskostenkalkulation.

„Der Auftrag, der uns heute gesetzt ist, lautet: Uns selbst, unsere Umwelt und die Strukturen dieser Welt zu heilen und zu heiligen... Man mag dies für eine Aufgabe halten, die unsere Kräfte übersteigt. Aber wenn wir im Bewußtsein unserer Unvollkommenheit und Schwäche trotzdem alle unsere Kräfte für ihre Erfüllung einsetzen, dann kommt ein Segen dazu, und aus dem Kleinen wird ein Großes.“

Albert Schweizer (*1885, †1948)

Literaturverzeichnis

Die Verfügbarkeit aller angegebenen Onlinequellen-Links wurde zuletzt am 16.12.17 geprüft:

N-Kompetenzzentrum Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe (2010): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen in Niedersachsen. Online verfügbar unter: http://3n.info/media/4_Downloads/pdf_WssnSrcv_Srcv_Anbau_KUPBroschuere_2010.pdf

Aas, G. (2014): Traubeneiche (*Quercus petraea*): Systematik, Morphologie und Ökologie. In: Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF Wissen 75). Beiträge zur Traubeneiche. Freising: 6-13. Online verfügbar: http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w75_gesamt_bf_gesch.pdf

- Abt, A., Haas P., Paul C., Luick R. (2014): Wertholzproduktion mit Birnen und Speierlingen. AFZ- der Wald 22/ 2014.
- Abt, A., Hochbichler, E. (2013): Birne und Elsbeere analysiert. Der Waldbauer, Nr. 4: 14-15.
- Ammer, C., Wörle, A.; Förster, B.; Breibeck, J.; Bachmann, M. (2011): Konkurrenz belebt das Geschäft – aber nicht bei der Elsbeere. LWF Wissen 67: 24 – 28.
- AG Boden (2005): Bodenkindliche Kartieranleitung; 5. verbesserte Aufl., KA5 Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- AGROCOP: Home, Online verfügbar unter: <http://www.agrocop.com/home>
- AGROFORSTKAMPAGNE (2016): Die Brücke zwischen Landwirten Forschung und Politik; Online verfügbar unter: <http://www.agroforstkampagne.net/>
- Alteri, M. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems; S. 19-31 in Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 74.
- Arbeitsgemeinschaft Aroniabeere (2016): Aroniabeere; Online verfügbar unter: <http://www.aroniabeere.de>
- ATB Leibniz Institut für Agrartechnik (2015): Neuer Mäh Hacker für Kurzumtriebsplantagen (KUP); Online verfügbar unter: https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/docs/Temporaer/2015_Maehhacker_Infoblatt_de.pdf
- Atkinson, C.; Fitzgerald, J.; Hipps, N. (2010): Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review; S. 1-18 in Plant and Soil Vol. 337.
- Aßmann, S.; Oelke, M. (2010). AFS als Erosionsschutz. In: Spiecker, H. (2010): Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg. S. 16-37. Online verfügbar: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-257kaeser86.pdf>
- Bammer, A. (2003): Fragmentiertes Zweigholz - der Schlüssel zu lebendigen und fruchtbaren Böden; S. 14. in PkA-Zeitschrift Nr. 26, Rubrik: Forschung.
- Barth, N. (2014): Bewertung der Ökosystemdienstleistung Hochwasserschutz am Beispiel eines Auwalds in Hessen. Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science“ (M.Sc.) im Studiengang Umweltwissenschaften. Goethe- Universität, Frankfurt am Main. Online verfügbar: https://www.uni-frankfurt.de/55649182/Masterarbeit_Nina_Barth_2014.pdf
- Bärwolff, M.; Oswald, M.; Biertümpfel, A.(2012): AgroForstEnergie - Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis; Teilvorhaben 1: Standort Thüringen; Eigenv. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- Beck, T. (1984): Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden. S. 456-742 in Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde Vol. 147.
- Bender, B., Chalmin A., Reeg T., Konold W., Mastel K., Spiecker H. (2009): Moderne Agroforstsysteme- ein Leitfaden für die Praxis. Freiburg. Online verfügbar: <http://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/agroforstsysteme.pdf>
- Beste, A.(2016): Der Boden, von dem wir leben. Zum Zustand der Böden in Europas Landwirtschaft In: Der Kritische Agrarbericht 2016; online verfügbar unter: http://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2016/KAB2016_Kap1_74_79_Beste.pdf
- Beste, A. (2003): Erweiterte Spatendiagnose. Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung. Dissertation, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Bielefeldt, J. et al. (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft - Chancen und Risiken aus der Sicht des Natur- und Umweltschutzes;

Bielefeldt, J., Bolte, A., Busch, G., Dohrenbusch, A., Kroiher, Lamersdorf, N., Schulz U., Stoll B. (2008). Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. NABU-Bundesverband, Meckenheim, Berlin. Online verfügbar: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabu-studie_energieholz.pdf

BioAbfV - Bioabfallverordnung (2013): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden.

BLE (2013a): Erfassung und Dokumentation genetischer Ressourcen der Flaum-Eiche (*Quercus pubescens*), der Elsbeere (*Sorbus torminalis*) und des Speierlings (*Sorbus domestica*) in Deutschland. Untersuchungen zum Speierling. Bonn. Online verfügbar: <http://www.foerderkreis-speierling.de/download/Speierling-Abschlussbericht.pdf>

BLE (2013b): Erfassung und Dokumentation genetischer Ressourcen der Flaum-Eiche (*Quercus pubescens*), der Elsbeere (*Sorbus torminalis*) und des Speierlings (*Sorbus domestica*) in Deutschland. Untersuchungen zur Elsbeere. Online verfügbar: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/03_Forschungsfoerderung/04_BiologischeVielfalt/Abschlussbericht_Elsbeere.pdf?__blob=publicationFile

BLE (2013c): Erfassung und Dokumentation genetischer Ressourcen seltener und gefährdeter Baumarten in Deutschland. Berichtsteil: Wildbirne. Online verfügbar: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/03_Forschungsfoerderung/04_BiologischeVielfalt/Abschlussbericht_Wildbirne.pdf?__blob=publicationFile

BLFL (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2005): Feldgemüse in Bayern Ökonomik wichtiger Kulturen.

Blossey, S. (2015): Agroforstwirtschaft und rechtliche Rahmenbedingungen. Auftaktveranstaltung der Innovationsgruppe AUFWERTEN. Sallgast. http://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2015/05/150226_Blossey_politische-Rahmenbedingungen2.pdf

Blume, H. P. (2011): Biochemie, Eigenschaften und Funktionen des Humuskörpers; S. 277-294 in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.

BMBF (2016). Bekanntmachung. Richtlinie zur Förderung von Forschungsvorhaben der Agrarforschung unter dem Namen "Agrarsysteme der Zukunft" im Rahmen der "Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030". Bundesanzeiger vom 10.08.2016. Online verfügbar <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1231.html>

BMEL (2016): Cross Compliance. Online verfügbar: <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Foerderung-Agrarsozialpolitik/Texte/Cross-Compliance.html>

BMU (2010): Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, Bundesrepublik Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

BnatSchG (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege Bundesnaturschutzgesetz – BnatSchG) (2009): online verfügbar: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf

Böhm, C. (2012): Verbundvorhaben: Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis (AgroForstEnergie); Teilvorhaben 2: Rekultivierungsfläche in Brandenburg. Cottbus. http://www.agroforstenergie.de/_publikationen/endberichte-ph1/TP2.pdf

Böhm, C., Kanzler, M., Freese, D. (2013): Agroforstsysteme in Südbrandenburg- Effekte auf Mikroklima und Wasserqualität. In: Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Band 25 (2013): 180- 181. Online verfügbar: <https://www.gpw.uni-kiel.de/de/jahrestagung/tagungsbaende/tagungsband-2013>

Böhmer, J. & Wagener, F. (2013): Ergebnisse aus drei Jahren Praxisforschung im Bundesverbundprojekt ELKE; in Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25: 182 – 183 (2013) Workshop Agroforst Agroforstsysteme als Kompensationsmaßnahmen.

BONARES (2016): Was ist BonaRes; online verfügbar: <http://www.bonares.de/was-ist-bonares/>

Börner M., Guericke M., Leder B., Nutto L., Stähr F., Weinrich A. (2003): Erhebung qualitäts-relevanter Parameter am Einzelbaum – Aufnahme standards für junge bis mittelalte Laubhölzer als Grundlage für wissenschaftliche Untersuchungen. S. 275-282 in Forstarchiv 74.

Börnecke, S. (2016): Die (Un-)heimliche Arten-Erosion - Eine Agroindustrielle Landwirtschaft dezimiert unsere Lebensvielfalt; Grünes Europabüro Hessen, Wiesbaden.

Briggs, S. (2012): Agroforestry: a new approach to increasing farm production; NFU Mutual Charitable Trust, GB.

Brix M., Möndel A., Kretschmer U., Bender B., Spiecker H. (2009): Moderne Agroforstsysteme in Deutschland – Aspekte der Wertholz- und Biomasseproduktion. Teilprojekt Waldmanagement. In: Spiecker H. (2009): Neue Optionen für nachhaltige Landnutzung. Schlussbericht des Projektes agroforst. Freiburg. Online verfügbar: http://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/BMBF0330621_24-11-09.pdf

Brix, M. (2006): Produktion in Agroforstsystemen- Lichtökologie. Online verfügbar: <http://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/brix.pdf>

Brix, M., Bender, B., Spiecker, H. (2009). Wertholzproduktion in Agroforstsystemen. S. 251-262 in: Reeg, T., Bemmann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (2003) (Hg.), Kopp (Autor) (2003): Die Böden des Nordostdeutschen Tieflands und ihre Zusammenwirkung mit Relief, Klima und Vegetation. Hannover.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2015): Grundzüge der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und ihrer Umsetzung in Deutschland. Online verfügbar: <https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Agrarpolitik/Texte/GAP-NationaleUmsetzung.html>

Burgess, P. J., Incoll J. D., Corry D.T., Beaton A., Hart B.J. (2004): Poplar (*Populus* spp) growth and crop yields in a silvoarable experiment at three lowland sites in England; S. 157 - 169 in Agroforestry Systems 63, Springer, Netherlands.

Bussièrès, J. et. al. (2008) Growing Black Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) in Cut-over Peatlands; S. 494-499 in Hort Science Band 43, American Society for Horticultural Science.

BWaldG (2015): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz). Online verfügbar: <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bwaldg/gesamt.pdf>

Chalmin A., Mastel K. (2009): Moderne Agroforstsysteme in Deutschland – Aspekte der landwirtschaftlichen Produktion von Agroforstsystemen. In: Spiecker H. (2009): Neue Optionen für nachhaltige Landnutzung. Schlussbericht des Projektes agroforst. Freiburg. Online verfügbar: http://www.agroforst.uni-freiburg.de/download/BMBF0330621_24-11-09.pdf

Chalmin, A. (2009). Produktionsaspekte in Agroforstsystemen mit Werthölzern- landwirtschaftliche Produktion. In: . In: Reeg, T., Bemmann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim: 275-288.

Chalmin, A., Möndel, A. (2009): Rechtliche Rahmenbedingungen für Agroforstsysteme. S. 241-250 in: Reeg, T., Bemmann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch Verlag,, Weinheim.

Caron, C. (1994): Ramial Chipped Wood a basic tool for Regenerating Soils; groupe de coordination sur les bois rameaux, Universite Laval, Quebec.

CHAMBERS, M. et al. (2015): A guide to Harvesting wood fuel from hedges; Organic Research Center, Elm Farm, Newbury.

Christiansen-Weniger, C.; van Veen, J.A. (1991): Nitrogen fixation by *Azospirillum brasilense* in soil and the rhizosphere under controlled environmental conditions; S. 100–106 in Biology and Fertility of Soils, Vol. 12.

Cole, C., Duxbury, J., Freney, J. et al. (1997): Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture; S. 221–228 in Nutrient Cycling in Agroecosystems, Volume 49.

Crawford, M. (2010): Creating a Forest Garden: Working with nature to grow edible crops. Green Books, Cambridge.

Cropp, J.H.; Bonin, S. (2016): Intensivseminar Bodenfruchtbarkeit - Gesamtpräsentation; unter_cover GbR, Witzenhausen.

Delegierte Verordnung 640/2014 der Europäischen Kommission (2014): Online verfügbar unter: [http://www.eler.brandenburg.de/media_fast/4055/DELEGIERTE%20VERORDNUNG%20\(EU\)%20Nr.%20640_2014.pdf](http://www.eler.brandenburg.de/media_fast/4055/DELEGIERTE%20VERORDNUNG%20(EU)%20Nr.%20640_2014.pdf)

den Herder, M., Burgess, P.J., Mosquera-Losada, M.R., Herzog, F., Hartel, T., Upson, M., Viholainen, I., Rosati, A. (2015). Preliminary stratification and quantification of agroforestry in Europe. Milestone Report for EU Research Project: AGFORWARD. Online verfügbar: <https://www.agforward.eu/index.php/de/preliminary-stratification-and-quantification-of-agroforestry-in-europe-copie.html>

den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, M.R., Palma, J.H.N., Sidiropoulou, A., Santiago Freijanes, J.J., Crous-Duran, J., Paulo, J., Tomé, M., Pantera, A., Papanastasis, V., Mantzanas, K., Pachana, P., Papadopoulos, A., Pliening, T., Burgess, P.J. (2016). Current extent and trends of agroforestry in the EU27. Online verfügbar <https://www.agforward.eu/index.php/de/current-extent-and-trends-of-agroforestry-in-the-eu27.html>

Deutscher Wetterdienst (DWD 2016a): Niederschlag für Loewenberg/ Mark. Online verfügbar: http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_akt_html.html?view=nasPublication&nn=495662

Deutscher Wetterdienst (DWD 2016b): Temperatur für Neuruppin. Online verfügbar: http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_8110_fest_html.html?view=nasPublication&nn=495662

Dengler A. (1992): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Springer-Verlag, Heidelberg.

Diekmann, A. (2012): Empirische Sozialforschung: Grundlagen, Methoden, Anwendungen; 6. Aufl. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg.

Dietrich, J. et al. (2016): Hydrologie; Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau Leibniz Universität Hannover, Abgerufen am 6.12.16 unter: http://www.hydroskript.de/html/_index.html?page=/html/hykp1002.html

DIN (2007): Bodenbeschaffenheit: Bestimmung des Carbonatgehaltes-Volumetrisches Verfahren (DIN-ISO 10693), Deutsches Institut für Normung e.V..

Direktzahlungen-Durchführungsverordnung (DirektZahlDurchfV): Verordnung zur Durchführung der Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik. Online verfügbar: <http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahldurchfv/>

Doluschitz, R.; Morath, C.; Pape, J. (2011): Agrarmanagement: Unternehmensführung in Landwirtschaft und Agribusiness. UTB-Ulmer, Stuttgart.

Döschner, J. (2016). Klage wegen Nitrat-Belastung in Deutschland. Ignorieren, hinhalten, versagen. Online- Artikel verfügbar: <http://www.tagesschau.de/inland/klage-gegen-deutschland-wegen-nitrat-verseuchung-101.html>

Düntgen, J. & Rieger, M. (2003): Luft- und Wasserhaushalt von Böden; Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum, online verfügbar: http://homepage.ruhr-uni-bochum.de/Max.Rieger/Geo/LuftWasserhaushalt_Boeden.PDF

Dupraz, C. (2004). From silvopastoral to silvoarable systems in Europe: sharing concepts, unifying policies. Montpellier, France . Online verfügbar: <http://www1.montpellier.inra.fr/safe/publications/papers/Lugo%20Dupraz%20keynote%20paper.pdf>

DVL (Hg.)(1998): Flurgehölze. Hinweise zur Biotop- und Landschaftspflege. Templin. Online verfügbar: http://www.lpv.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/brb_heft_flurgehoelze.pdf

DWD 2015: Niederschlagsmenge im Jahr 2015 nach Bundesländern. Online verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/249926/umfrage/niederschlag-im-jahr-nach-bundeslaendern/>

EEA (European Environment Agency) (2003): Europe's Environment: the third assessment; Environmental assessment report No, 10, Copenhagen.

Egli, S., Brunner, I. (2011): Mykorrhiza. Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. 3. Aufl. Merkbl. Prax. 35: 8. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/wald/baeume_waldpflanzen/oekologie/wsl_mykorrhiza_lebensgemeinschaft/index_DE

Engel, J.; Knoche, D. (2012): Pilotprojekt zum Kurzumtrieb der Robinie (*Robinie pseudoacacia* L.) in Brandenburg; Beiträge aus der NW-FVA, Band 8.

Elsbroek M. (2013): Kohlenstoffvorräte und Humusgehalte unter Kurzumtriebsplantagen. Vergleichende Erstuntersuchung von Pappel- KUP und Grünland am Standort Wulkow in Märkisch-Oderland. Bachelorarbeit HNE Eberswalde.

Engel, J.; Knoche, D., Lange, C. (2014): Bewirtschaftung von Robinien-Beständen in Brandenburg-Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FastWOOD. S. 12 in Landesbetrieb Forst Brandenburg, Informationen für Waldbesitzer, Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/betriebsarten/lfe_robinienwirtschaft/lfe_robinienwirtschaft_originaleartikel.pdf

Erzeugerorganisation deutscher Haselnussanbauer UG: Haselnussanbau; online verfügbar: <http://www.haselnussanbau-verein.de/>

ETHZ (2000): Wildbirne (*Pyrus pyraeaster*). Online verfügbar: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/waldmgmt-waldbau-dam/documents/SEBA/Baumarten%20Informationen/SEBA1_AS_birne_2000.pdf

ETHZ (Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz & Dendrologie der ETH Zürich) (2002): Mitteleuropäische Waldbaumarten. Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz. Online verfügbar: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/waldmgmt-waldbau-dam/documents/Lehrmaterialien/Skripte/Baumartenbeschreibungen/ME_Waldbaumarten.pdf

Fang, S.; Xie, B.; Liu, J. (2008): Soil nutrient availability, poplar growth and biomass production on degraded agricultural soil under fresh frass mulch; S. 1802-1809 in Forest Ecology and Management Vol. 255.

Felber, C. (2012): Gemeinwohlökonomie. Deuticke Verlag, Zürich.

FiBL, Bioland, Bio-Suisse, Bio Austria, IBLA (2012): Grundlagen der Bodenfruchtbarkeit, - Die Beziehung zum Boden gestalten. Eigenverl. Schweiz.

FIBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) (2004): Leitfaden für Praxisversuche. Online verfügbar unter: <https://shop.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1470-leitfaden-praxisversuche.pdf>

Friedrich, G. und Fischer, M. (2000): Physiologische Grundlagen des Obstbaues; Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

Fritz, H. (2016): Empfehlung zur Baumartenwahl für die Anlage einer forstlichen Versuchsfläche mit nicht heimischen Baumarten vor dem Hintergrund des Klimawandels in Klein Heins, Niedersachsen. Bachelorarbeit zur Erlangung des Grades Bachelor of Science für Forstwirtschaft. Fachhochschule Eberswalde.

Funke M., Becker F. (1998): Die Elsbeere *Sorbus torminalis* CRANTZ in Brandenburg. Verbreitung, Vorkommen und genetische Variabilität. Diplomarbeit Eberswalde.

Fukuoka, M. (1978): The one-straw revolution; Rodale Press, Emaus.

FVA Baden-Württemberg, Referat 83 FR, und FGeo. (2011): Die Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) , S. 5 in Praxis-Infoblatt zur Wertholzproduktion. ForstBW Praxis, Vol. 1/2011.

Gallardo, D.A. (2014): Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenklonen in Kurzumtriebsplantagen. Dissertation Technische Universität Dresden. Online verfügbar: http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/14467/AmthauerGallardo_ges.pdf

Gembrook V.: Planting and growing Hazelnuts; online verfügbar: www.hazelnuts.com.au/growing.html

Gesellschaft zur Förderung von Sanddorn und Wildobst - Sanddorn e. V. (2016): Sanddorn. online verfügbar: <http://www.sanddorn.net>

Gnan, R. (2002): Analyse und Bewertung der Abundanz des Artenspektrums von Regenwurmpopulationen (Lumbriciden) in ackerbaulich genutzten Böden des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof; Diplomarbeit Justus-Liebig-Universität Gießen. Online verfügbar: <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1715/pdf/GnanRenate-2002-06-31.pdf>

Goodland R., Daly H., El Serafy S. (1992): Nach dem Brundtlandbericht: Umweltverträgliche Wirtschaftliche Entwicklung. Bonn: Rheinischer Landwirtschaftsverlag.

Götzl M., Schwaiger E., Sonderegger G., Süßenbacher E. (2011): Ökosystemleistungen und Landwirtschaft- Erstellung eines Inventars für Österreich. Wien/ Österreich. Online verfügbar: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0355.pdf>

Gosling, P. et al. (2006): Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming, in Agriculture, S. , S. 17-35 in Ecosystems and Environment 113.

Götsch, E. (1992): Natural Succession of Species in Agroforestry and Soil Recovery; Fazenda Tres Colinas, Bahia.

Götsch, E. (1994): Breack-Through in Agriculture; Fazenda Tres Colinas, Bahia.

Greef, J.-M. (2012): Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis: Teilvorhaben 3: Grünland- und Ackerflächen in Niedersachsen. Online verfügbar: http://www.agroforstenergie.de/_publikationen/endberichte-ph1/TP3.pdf

Grosser D., Leder B. (1998): Das Holz der Vogelbeere – seine Eigenschaften und Verwendung. S. 55-58 in Beiträge zur Vogelbeere, Nr.17, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising.

Grünewald, H. und Reeg, T. (2009): Überblick über den Stand der Forschung zu Agroforstsystemen in Deutschland. S. : 233-238. In: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch Verlag, Weinheim.

Gruss, H. und Schulz, U. (2011): Brutvogelfauna auf Kurzumtriebsplantagen. Besiedlung und Habitateignung verschiedener Strukturtypen. S. 197-204 in NuL 43 (7), 2011.

Guericke, M. (2007): Aufnahmemanual für die waldwachstumskundliche Erfassung und Berechnung der Ertragsleistung von Schnellwuchsplantagen. Fachhochschule Eberswalde.

Gutwasser, F. (2015): Leistungskatalog ZÖL; HNE Eberswalde.

HaGa (2016): Bodengewebe - Mulchfolie; abgerufen am 20.11.16 unter <https://www.haga-schutzvliese.de/Baendchengewebe>

Hallama, M. (2015): Mykorrhiza; Präsentation auf der Jahrestagung 2015 der Freien Ausbildung, Wuppertal.

Häne K. (2011): Die Elsbeere (*Sorbus torminalis*)- die kostbare Unbekannte. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/wald/baeume_waldpflanzen/laub/wsl_elsbeere/index_DE

- Häne, K. (2014): Die Traubeneiche. Der Baum des Jahres 2014. Schweizer Briefmarken Zeitung SBZ 4/2014: 147-150. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/wald/baeume_waldpflanzen/laub/wsl_eichen/index_DE
- Häne, K. (Red.) (2002): Speierling-Jahrestagung 18. und 19. April 2002. S. 15 in Bremgarten und Birmensdorf bei Zürich/Schweiz. - Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Heintz, V. (2014): Solidarische Landwirtschaft – Betriebsgründung, Rechtsformen und Organisationsstrukturen; Morano Verlag, Berlin.
- Hierold, W. (2013): Die Böden Brandenburgs im Überblick - Einordnung der Dauerversuchsstandorte. Online verfügbar : <http://publ.ext.zalf.de/publications/b767cfe9-4f46-4bfc-974b-391276ef9e3b.pdf>
- Hiß, C. (2015): Richtig rechnen! - Durch die Reform der Finanzbuchhaltung zur ökologisch-ökonomischen Wende; oekom Verlag, München.
- Horn H., Skibbe K., Röhle H. (2013): Wuchsleistung von KUP aus Pappel in Folgerotationen. AFZ-derWald 07/2013: 53-55. Online: <https://tu-dresden.de/bu/umwelt/forst/ww/waldwachstum/ressourcen/dateien/dateien/horn-pdf?lang=de>
- Höhne, F. (2016a): "Wildobstanbau" - Erfahrungen aus norddeutscher Sicht; S. 20 - 24 in FÖKO: Öko-Obstbau Zeitschrift 2/2016, Weinsberg.
- Höhne, F. (2016b): 10 Jahre AG Spezialkulturen/Veredlungsobst, S. 160-167 in Mitt. OVR Nr. 71.
- Höhne, F. (2013): Einfluss von Bewässerung und Düngung auf Wachstum und Ertrag der Sanddornsorte ‚Habego‘, S. 8-11 in Mitt. OVR Nr. 68.
- Höner, G. (2011): Im ersten Jahr gehts nicht ohne Pflege; in Top-agrar Forstmagazin 10/2011; Online verfügbar: <http://www.topagrar.com/archiv/Im-ersten-Jahr-geht-s-nicht-ohne-Pflege-660705.html>
- Holzmüller, R. et al. (2016): Konzeption und Planung einer Apfelplantage für den Bauernhof Erz; Belegarbeit im Modul Betriebsplanung, HNE Eberswalde.
- Hornig, R., Höhne, F. (2011): Sanddorn - Alternative und Perspektive für den Erwerbsobstbau!? S. 47-53 in Mitt. OVR 66.
- Huber, J. et al. (2013): Kohlenstoffbindung in ökologisch und integriert bewirtschafteten Agroforstsystemen der Versuchsstation Scheyern/ Bayern; : S.118 -119 in Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 25.
- Hülsbergen K.-J., Schmid H. (2008). Humusbilanzen und C-Kreisläufe in Betriebssystemen mit Bioenergieerzeugung. S. 151-171 in KTBL-Schrift 468.
- IAASTD (2009): Global Report - Agriculture at a Crossroads - International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development; Island Press, Washington.
- IPCC (2007): Summary for Policymakers. In: Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY USA.
- 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. IPCC, Genf.
- ITHAKA Institut (2016): Kon-Tiki-Pyrolyse - Herstellung von Pflanzenkohle. Online verfügbar: <http://www.ithaka-institut.org/de/kon-tiki>
- Jacke, D.; Toensmeier, E. (2005): Edible Forest Gardens Vol.1 Ecological Vision, Theory for Temperate Climate Permaculture; Vol. 2 Ecological Design And Practice for TCP; Green Publishing, Chelsea.
- Jones, C. (2002): Building new topsoil. in: Stipa Native Grasses „Changing Landscapes“ Forum, Armidale.
- Jørgensen, R. G. (2011): Funktionen und Quantifizierung der mikrobiellen Biomasse in Böden; S. 32-49 in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.

Kaeser A., Palma, J., Sereke, F., Herzog F., (2010): Umweltleistungen von Agroforstwirtschaft. Die Bedeutung von Bäumen in der Landwirtschaft für Gewässer- und Bodenschutz, Klima, Biodiversität und Landschaftsbild. ART- Bericht 736. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Tänikon, CH-8356 Ettenhausen. Online verfügbar: http://home.isa.utl.pt/~joaopalma/docs/ART_Bericht_736_D.pdf

Kaeser A., Sereke F., Dux D., Herzog F. (2011): Agroforstwirtschaft in der Schweiz. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich. Online verfügbar: http://www.agrarforschungschweiz.ch/artikel/2011_03_1646.pdf

Kahle, P. & Hildebrandt, E. (2006): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlicher Fläche: Bodeneigenschaften nach mehrjähriger Nutzung. S. 236-238 In: Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 18.

Kanzler, M., Böhm C., Quinkenstein A., Steinke C., Landgraf D. (2014): Wuchsleistung der Robinie auf Lausitzer Rekultivierungsflächen. AFZ-der Wald 05/2014: 35-37. http://www.fh-erfurt.de/lgf/fileadmin/FO/Personen/Landgraf/AFZ-2014-05_35-37.pdf

Kandeler, E. (2011): Mikrobiologie und Biochemie des Kohlenstoffkreislaufes; S. 247-275 in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.

Kätzler, R.; Löffler, S.; Heydeck, P.; Kallweit, R.; Möller, K. (2006): Das „Eichensterben“ als Komplexkrankheit. S. 94-97 in: Aktuelle Ergebnisse und Fragen zur Situation der Eiche und ihrer Bewirtschaftung in Brandenburg. Hrsg.: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg und Landesforstanstalt Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band XXV.

Khan, S.; Mulvaney R.; Ellsworth T.; Boast C. (2007): The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration; S. 178-191 in Journal of Environmental Quality, Vol. 36.

Kinsey, N.; Walters, C. (2013): Hands-on agronomy - Understanding Soil Fertility & Fertilizer Use; 3. Aufl., Acres U.S.A., Austin.

Kinsey-AG (2016): Soil Sampling; online verfügbar: <http://www.kinseyag.com/Sampling.html>

Kittredge, J. (2015): Soil Carbon Restoration - Can Biology do the Job? Northeast Organic Farming Association, Massachusetts.

Klemmt, H.-J.; Neubert, M.; Falk, W. (2013): Das Wachstum der Roteiche im Vergleich zu den einheimischen Eichen. S. 94-97 in LWF aktuell 97.

Klüter, H. (2011): Zur Entwicklung der Landwirtschaft in Brandenburg. In: Fraktion Bündnis 90/ Die Grünen (Hrsg.) (2011). Umbrüche auf märkischem Sand. Brandenburgs Landwirtschaft im Wandel der Zeit-, Entwicklungen, Risiken, Perspektiven. Oekom, München.

Kramer H., Akça A. (2008): Leitfaden zur Waldmesslehre. Sauerländers Verlag, Bad Orb.

Kuhwald, M.; Duttmann, R. (2013) Modellierung und Quantifizierung von winderosionsbedingten Auswehungs- und Akkumulationsbereichen mit WEPS in PCRaster. S. 80-101 in: Böden - Lebensgrundlage und Verantwortung, Rostock.

Krauß, H. (1986): Anhebung der Bodenfruchtbarkeit im Sauener Revier durch Flächenkompostierung und des Unterbaus mit luftstickstoffbindenden Pflanzen; S. 101-108 in ebd.: Der Sauener Wald; Birkhäuser, Basel.

Krüger, M. (2014):Schadwirkungen durch Glyphosat-haltige Herbizide auf Böden, Umwelt, Tiere und Menschen in Europa - Vorboten des geplanten TTIP Abkommens?. Selbstv. Leipzig.

Krüger, M.; Neuhaus, J.; Shehata, A.; Schrödl, W. (2015): Glyphosat: Wirkung des Totalherbizids auf Menschen und Tiere; Institut für Bakteriologie und Mykologie und Veterinärmedizinische Fakultät Universität Leipzig.

KTBL (2016): Feldarbeitsrechner; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Online verfügbar: <http://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html>

Kutsch, W.L. et al. (2010): The net biome production of full crop rotations in Europe - The carbon balance of European croplands; S. 336–345 in Agriculture, Ecosystems & Environment Volume 139, Issue 3, 15 November 2010.

Kutschers, L.; Lichtenegger, E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher; 2. Aufl. Leopold Stocker Verlag, Graz und Stuttgart.

Lamersdorf, N. (2016): Welche ökologischen Dienstleistungen ermöglichen Agroforstsysteme mit Blick auf den Wasser und Stoffhaushalt. Georg-August-Universität Göttingen. Online verfügbar: <http://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2016/12/Lamersdorf-2016-%C3%96kosystemdienstleistungen-von-Agroforst-bez%C3%BCglich-Wasser-und-Stoffhaushalt.pdf>

Landesamt für Umwelt Brandenburg (LFU). Liste der Vogelarten und Erhaltungsziele für das Europäische Vogelschutzgebiet „Obere Havelniederung“. Online verfügbar: <http://www.lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/7017.pdf>

Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J. et al. (2011): Biochar effects on soil biota - A review; S. 1812-1836 in Soil Biology & Biochemistry Vol 43.

Lehnert, H. et al. (2016): Einfluss der Mykorrhizierung auf die Trockenstresstoleranz von Weizen (*Triticum aestivum*); in Abstrakt-Band der interanationalen wissenschaftlichen Konferenz November 2016: Die Rolle der Bodenmikroorganismen bei der Ernährung von Kulturpflanzen; Hochschule Anhalt in Bernburg-Strenzfeld.

LELF (2013): Hinweise zum Antrag auf Agrarförderung 2013. Online verfügbar: http://lelf.brandenburg.de/media_fast/4055/Hinweisbrosch%C3%BCre2013.pdf

Lemieux, G. & Germain D. (2000): Ramial chipped wood - the clue to a sustainable fertile soil; Université Laval, Quebec.

Lemieux, G. (1996): The Hidden World that Feeds Us - the Living Soil; University Laval, Quebec.

LFE (2014): Biomasseschätzung für Wälder mittels Fernerkundung und Modellierung. Ergebnisse des deutsch-polnischen Verbundprojekts „ForseenPOMERANIA“. Online verfügbar: http://forst.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/efs56_de.pdf

LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2013): Heimische Gehölze: Schlehe. Online verfügbar: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/wue_schlehe.pdf

Liebscher, R. (2011). Waldbauliche Analyse zum Vorkommen und potentielle Bedeutung der Elsbeere in Brandenburg. Bachelorarbeit. HNE Eberswalde.

Lochner, H.; Breker, J. (2011): Agrarwirtschaft: Fachstufe Landwirt; 9. Auflage, BLV-Verlag, München.

Lowenfelds, J. & Lewis, W. (2006): Teaming with Microbes - A Gardener's Guide to the Soil Food Web; Timber Press, Oregon.

LUGV (2014): Auslöser von Erosionen. Online verfügbar: <http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.297984.de>

Luick R., Vonhoff W.(2009): Wertholzpflanzungen – das Thema Agroforstsysteme in moderner Inszenierung. Naturschutz und Landschaftsplanung 41 (2), 47-52. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/nebenutzung/agroforst_weide/fva_streuobstwiesen_wertholzproduktion/fva_streuobstwiesen_wertholzproduktion_gesamt.pdf

Luthardt, V., Brauner, O., Dreger, F., Friedrich, S., Garbe, H., Hirsch, A.-K., Kabus, T., Krüger, G., Mauersberger, H., Meisel, J., Schmidt, D. †, Täuscher, L., Vahrson, W.-G., Witt, B. & M., Zeidler (2002). Methodenkatalog zum Monitoring-Programm der Ökosystemaren Umweltbeobachtung in den Biosphärenreservaten Brandenburgs für die Ökosystemtypen Acker, Grasland, Moor, Seen und Fließgewässer. 2. überarbeitete und ergänzte Ausgabe im Auftrag der LAGS Brandenburg

Luthardt, V., Brauner, O., Dreger, F., Friedrich, S., Garbe, H., Hirsch, A.-K., Kabus, T., Krüger, G., Mauersberger, H., Meisel, J., Schmidt, D. †, Täuscher, L., Vahrson, W.-G., Witt, B. & M., Zeidler (2006): Methodenkatalog zum Monitoring-Programm der Ökosystemaren Umweltbeobachtung in den Biosphärenreservaten Brandenburgs, 4. akt. Ausgabe, Selbstverlag, FH-Eberswalde.

LVG Erfurt (Lehr- und Versuchsanstalt Gartenbau Erfurt) (2014): Sortenempfehlungen Wildobst; Erfurt.

Mäder, P. et al. (2008): Bodenuntersuchungen im Biobetrieb; Akt. Ausgabe FiBL, Österreich.

Maier J. (1997). Die Mehlbeere. In: Schütt P. (1994): Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg/ Lech.

Mayer, H. (1992): Waldbau auf soziologisch- ökologischer Grundlage. Spektrum Akademischer Verlag; Auflage: 4, Heidelberg.

Meiwes, K.J.(1984): Chemische Untersuchungsverfahren zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden; Bereich Forschung Waldökosysteme, Band 7, Göttingen.

Meyerhof, E. (2011): Hecken planen, pflanzen, pflegen - Eine praktische Anleitung für Landwirte; Bioland-Verlag, Mainz.

Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Brandenburg (2015): Hinweise zur Förderung gemäß Richtlinie KULAP 2014 zur neuen Förderperiode ab 01.01.2015; Online verfügbar: http://www.mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/Hinweise-KULAP-01-endg.pdf

Mirck J., Kanzler M., Böhm C. (2016). Ertragsleistung eines Energieholz-Alley-Cropping-Systems. Präsentation auf dem Agroforstforum 30.11.2016-01.12.2016 in Senftenberg. Online verfügbar: <http://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2016/12/Mirck-et-al-2016-Ertragsleistung-eines-Energieholz-Agroforstsystems.pdf>

Mirck, J. (2016): Agroforestry for Arable Systems. Synthesis of System Descriptions. BTU Cottbus- Senftenberg. Online verfügbar: <http://train.agforward.eu/wp-content/uploads/2016/08/D4.10-Synthesis-of-system-descriptions-1.pdf>

MLUL (Hg.) (2013): Amtsblatt für Brandenburg Nr.44 Online verfügbar: http://www.mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/ErlassGG2013.pdf

MLUL (Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg) (2015): CROSS COMPLIANCE 2015. Informationen über die einzuhaltenden anderweitigen Verpflichtungen. Potsdam. Online verfügbar: http://www.mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/Cross%20Compliance%202015.pdf

MLUV (2006): Waldumbau mit der Traubeneiche. Voranbau unter Kiefernschirm. Online verfügbar: http://forst.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/fb_umbau.pdf

Mörse, J.-T. (2009): Sanddorn Moderne Anbautechnologien; books on demand-Verlag, Norderstedt.

Morhart, C. et al. (2010): Aufwertung von Kurzumtriebsplantagen mit Wertholzbäumen - Ein modernes Agroforstsystem; S. 26-28 in AFZ-der Wald 22/2010, Hannover.

Morhart et al. (2013): Influence of Different Tillage Systems and Weed Treatments in the Establishment Year on the Final Biomass Production of Short Rotation Coppice Poplar; S. 849-867 in Forests-Journal, Vol. 4.

Morhart C., Sheppard J., Douglas GC., Lunny R., Spiecker H., Nahm M. (2015): Wertholzproduktion in Agroforstsystemen. Ein Leitfaden für die Praxis. <https://www.iww.uni-freiburg.de/leitfaden-wertholzproduktion-in-afs.pdf>

Morhart, C; Springmann, S.; Spiecker, H. (2015): Leitfaden zur Ästung von Edellaubbaumarten; IWW, Uni Freiburg.

Morhart, C. et al. (2016): Wertholzproduktion in Agroforst-Systemen - Ein Leitfaden für die Praxis; IWW Freiburg.

MÜHLENBERG, M. (1993): Freilandökologie. – Heidelberg; Verlag Quelle und Meyer, Wiesbaden.

Müller, D.-K. (1997): Wildfruchtarten für Biotopverbundsysteme. S. 177-182 in: Schriftenreihe des Fachgebietes Obstbau Nr. 11, Humboldt Universität zu Berlin 1997.

Müller, S. (2015): Modul Ökologischer Obst- und Wildobstbau - Vorlesungsskripte; HU-Berlin.

Murach, D. (2008). Rahmenbedingungen für den Anbau von Agrarholz in Brandenburg. Fachsymposium „Biomasse für SunFuel“ Hannover Messe.

Nair, P. K. R. (1993): An Introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.

Nair, P.K.R. (2011): Methodological Challenges in Estimating Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. S. 3-16 In: Kumar, B. M., Nair, P.K.R. (2011): Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. Opportunities and challenges.

Nair, Ramachandran P. K., Mohan Kumar B., Nair V. D. (2009): Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. S. : 10–23 in: Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172 .

Nitsch, C. (2015): Unter Welchen Bedingungen kann der Haselnussanbau eine wirtschaftliche und pflanzenbauliche Alternative bieten - Ist der Anbau von Haselnüssen in Bayern wirtschaftlich möglich?; Abschlussbericht des Forschungsvorhabens der LWG am AELF Fürth, Gartenbauzentrum Bayern Mitte.

Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. (2015): Naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen (KUP). Berlin. Online verfügbar: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/naturschutz/naturvertra_gliche-anlage-kup.pdf

Nebenführ, W. (2007): Biomassegewinnung durch Pappel und Weide im Kurzumtrieb – eine Frage der Sorte. S. 11- 12 in BFW-Praxisinformation 13. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/genetik/bfw_biomassegewinnung/index_DE

Noack, M. (2013). Neue waldkundliche Erkenntnisse zur Trauben-Eiche im nordostdeutschen Tiefland und Schlussfolgerungen für die forstliche Praxis. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/wachstum/lfe_waldbau_eiche/lfe_waldbau_eiche_originalartikel.pdf

Nüßlein, S. (2000). Vom Pionier zum Funier. S. 28-35 in: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2000.

Ottow, J.C.G. (2011a): Fußpilze der Pflanzen - Mykorrhiza; S. 455-472 in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.

Ottow, J.C.G. (2011b): Physiko-Chemie und Mikrobiologie der Rhizosphäre; S. 431-454 in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.

Panagos, P. et al. (2015): The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. S. 438-447 in Environmental Science & Policy Vol. 54.

Pasini, F.; Andrade, D. (2015): AgendaGotsch. online verfügbar: www.agendagotsch.com

Pecenka et al. (2014): Ernte und Lagerung von KUP-Holz; ATB Leibniz Institut für Agrartechnik, online verfügbar: <http://www.tll.de/imperia/bioenergietag/bt060214.pdf>

Petzold R., Schwärze K., Feger K.-H. (2011): Ansatz für die modellgestützte Bewertung des Boden-Kohlenstoffhaushalts von Pappel-Kurzumtriebsplantagen. Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der DBG. Berlin. Online verfügbar: http://eprints.dbges.de/721/2/Petzold_DBG_2011.pdf

Pilbeam D.J., Incoll L.D., Wright C., Agostini F., Eichhorn M., Burgess P. , Dupraz C. (2002): Productivity in silvoarable Agroforestry. School of Biology, University of Leeds, UK.

Possit, K. (2012). Bachelorarbeit: Auswirkungen von Windschutzhecken auf Bodenfeuchte und Evaporation sowie auf Biomassertrag und Bestockungsgrad landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

Prillinger, H. J. (2011): Diversität und Funktionen von Pilzen in Böden; S. 201-233 in in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.

PROVINEA (2016): Natursteinmehle für gesunden Boden. online verfügbar: <http://www.provinea.de/produkte>

Quinkenstein A., Böhm C., da Silva Matos E., Freese D., Hüttl R.F. (2011): Assessing the Carbon Sequestration in Short Rotation Coppices of Robinia pseudoacacia L. on Marginal Sites in Northeast Germany. S. 201-216 in: Kumar, B. M., Nair, P.K.R. (2011): Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. Opportunities and challenges.

Quinkenstein A., Jochheim H., Schneider B.-U., Hüttl R.-F. (2009): Modellierung des Kohlenstoffhaushalts von Pappel-Kurzumtriebsplantagen in Brandenburg. S. 193-204 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim.

Raven, P.; Evert, R.; Eichhorn, S. et al. (2006): Biologie der Pflanzen; 4. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin.

Rechenberg, I. (1997): Evolutionsstrategie - Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution; Fommann-Holzboog, Stuttgart.

Rédei, K.; Veperdi, I. (2005): Robinienwirtschaft in Ungarn: III. Robinienenergieholzplantagen. S. 468-469 in Forst und Holz Vol.60.

Reeg, T., Hampel J., Hohlfeld, F., Mathiak, G., Rusdea, E. (2009): Agroforstsysteme aus Sicht des Naturschutzes. S. : 301-312 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch-Verlag, Weinheim.

Reeg, Tatjana (2010): Moderne Agroforstsysteme mit Wertholzbäumen als Option der Landnutzung in Deutschland: Naturschutz, Landschaftsbild und Akzeptanz. Dissertation. Freiburg im Breisgau.

Richter, E. (2014): Ein Stadtbaum für den Wald. S. : 40-42 in Wald und Holz 4/14. http://www.waldwissen.net/wald/baeume_waldpflanzen/laub/wsl_baumhasel_wald/wsl_baumhasel_wald_originalartikel.pdf

Rieger-Hofmann GmbH (2016): Extensive Blühmischungen; online verfügbar: <http://www.rieger-hofmann.de/home.html>

Riek, W. (2014): Materialien zur Boden- und Standortsansprache. Eberswalde. Online verfügbar: http://www.forstliches-umweltmonitoring.de/Riek/sites/default/files/files/Gelaendeskript_Boden_und_Standortskunde.pdf

Rillig, M.C.; Wright, S.F.; Eviner, V.T. (2002): The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species; S. 325-333 in Plant and Soil Vol. 238.

Röcksch, T. (2005): Internationaler Stand der Erntetechnologie bei Sanddorn, HU-Berlin, Institut für Gartenbauwissenschaft, online verfügbar: http://www.sanddorn.net/Stand_Erntetechnologie.pdf

Rohe, W.; et al. (2009): Zuwachseleistungen von Hybridpappel-Stammholzbeständen in Nordhessen; S. 534-538 in AFZ-DerWald 10/2009.

Roloff A., und Grundmann B. (2008): Forschungsstudie: Klimawandel und Baumarten-Verwendung für Waldökosysteme. Technische Universität Dresden, Tharandt. Online verfügbar: http://www.waldundklima.de/klima/klima_docs/swin_roloff_klam_2008.pdf

Roloff, A. (2001): Baumkronen – Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Rudow, A. (2001): Speierling. *Sorbus domestica* L. Online verfügbar: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/waldmgmt-waldbau-dam/documents/SEBA/Baumarten%20Informationen/SEBA1_AS_spei_2000.pdf

Ruhm, W. (2013): Die Baumhasel – trockenresistent und wertvoll. S. : 22 – 23 in Die Landwirtschaft, Oktober 2013.

Ruppel, S., Berger, B., Becker, B., Becker, Y., Patz, S. et al. (2016): *Kosakonia radicincitans*: eine neue Bakterienart mit überraschend hohem Potential zur Steigerung von Pflanzenerträgen; in Abstrakt-Band der internationalen wissenschaftlichen Konferenz November 2016: Die Rolle der Bodenmikroorganismen bei der Ernährung von Kulturpflanzen; Hochschule Anhalt in Bernburg-Strenzfeld.

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2000): Sanddorn im Erwerbsanbau. Online verfügbar: [https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Sanddorn_Erwerbsanbau\(1\).pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Sanddorn_Erwerbsanbau(1).pdf)

Sauer, T.J., Cambardella, C.A., Brandle, J.R. (2007): Soil carbon and tree litter dynamics in a red cedar–scotch pine shelterbelt. S. 164-174 in *Agroforestry Systems* Vol 71.

Schägnner, J.P. (2009): Monetäre Bewertung ökologischer Leistungen des Agrarholzanbaus. S. 171-180 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch-Verlag, Weinheim.

Schade, J. (2013): Pionier im märkischen Sand - Auf den Spuren des Sanddorns in Brandenburg; Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Potsdam.

Scheffer, F. (1941): Untersuchungen über Eigenschaften der Lignine und ligninähnlichen Stoffe, insbesondere der technischen Lignine, und ihre Bedeutung als humusbildende Stoffe. Landwirtschaftlich-chemisches Institut der Uni Jena.

Scheffer, F.; Schachtschabel, P. et al. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde; 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

Schildbach M., Grünewald H., Wolf H., Schneider B.-U. (2009): Begründung von Kurzumtriebsplantagen: Baumartenwahl und Anlageverfahren. S. 57-72 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch Verlag, Weinheim.

Schmidt, P. A., Glaser, T. (2009): Kurzumtriebsplantagen aus Sicht des Naturschutzes. S. 161-170 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch Verlag, Weinheim.

Schradenholz UG (2015): Neuer Anbau-Mähacker zur Ernte von Kurzumtriebsplantagen; abgerufen am 2.12.16 unter: http://www.die-klugen-hacker.de/Flyer_Anbaumaehacker.pdf

Schubert, K., Klein M. (2016): Das Politiklexikon. 6., aktual. u. erw. Aufl. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung.

Schubert, K., Klein M. (2016): Das Politiklexikon. 6., aktual. u. erw. Aufl. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung.

Schüler, S.; Weißenbacher, L.; Sieberer, K. (2006): Robinien für Energie- oder Wertholz - die Sorte macht's! S. 8-9 in *Forstzeitung* 117(8).

Schulze, E.-D. (2006): Biological control of the terrestrial carbon sink. S. 147-166 in *Biogeosciences* Vol 3.

Schumann, T. (2011). Untersuchungen zu Wuchsleistung, Vitalität und Qualität von Verjüngungsbeständen der Elsbeere (*Sorbus torminalis* CRANTZ) in den Forstrevieren Chorin und Breitefenn. Bachelorarbeit HNE Eberswalde.

Schüpbach B., Junge X., Briegel R., Lindemann-Matthies P. u. Walter T., 2009. Ästhetische Bewertung landwirtschaftlicher Kulturen durch die Bevölkerung. Zürich: ART-Schriftenreihe 10.

Schütt, P. (1997): Robinie. In: Schütt P. (1994): Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg/ Lech.

Schwefler, J., Schmal, A. (2014): Wildobst im Raum Berlin-Brandenburg zwischen Ökonomie und Ökologie: Forschungsgegenstand, Nischenprodukt, Trendsetter oder Naturschutzobjekt?; Bachelorarbeit Hochschule Neubrandenburg.

Seidl, F. (2010a): Wirkung von Wertholzträgern und Kurzumtrieb auf die Nährstoffverfügbarkeit landwirtschaftlicher Flächen. In: Spiecker, H. (2010): Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg: 209-213. Online verfügbar unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-257kaeser86.pdf>

Seidl, F. (2010b): Einfluss von Agroforstsystemen auf die Bodeneigenschaften. S. 3-15 in: Spiecker, H. (2010): Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg. Online verfügbar: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-257kaeser86.pdf>

Seidl, F. (2010c): Erosionsmessungen. S. 25-30. in: Spiecker, H. (2010): Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg: Online verfügbar : <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-257kaeser86.pdf>

Seidl, F. (2010d): Auswirkung der Beschattung auf landwirtschaftliche Kulturen. S.30-37 in: Spiecker, H. (2010): Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg. Online verfügbar unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-257kaeser86.pdf>

Sekera, M. (2011): Gesunder und kranker Boden: Ein praktischer Wegweiser zur Gesunderhaltung des Ackers; OLV Organischer Landbau; Auflage: 6, Kvelaer.

Siebert, A. (2016): <http://www.boitzenburger-fruechtezauber.de>

Singh, P.K., Singh, M. & Tripathi, B.N. (2013): Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein; S. 663–669 in *Protoplasma* June 2013, Volume 250, Issue 3.

Skodawessely, C., Pretzsch, J. (2009): Akzeptanz des Energieholzanbaus bei Landwirten. S. 217-226 in: Reeg, T., Bemmann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-Vch Verlag, Weinheim.

Skodawessely, C.; Pretzsch, J.; Bemmann, A. (2010): Beratungshandbuch zu Kurzumtriebsplantagen. Entscheidungsgrundlagen zur Etablierung von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland. Eigenverl. TU Dresden.

Sohi, S.T. et al. (2010): A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil; S. 47–82 in *Advances in Agronomy* Vol. 105.

Sommer, K.; Scherer, H.W. (2007): Source / Sink – Relationships in Plants as Depending on Ammonium as „CULTAN“, Nitrate or Urea as Available Nitrogen Fertilizers. INRES – Institute for Plant Nutrition – Universität Bonn, Königswusterhausen.

Spiecker, H., Brix, M., Bender, B. et al. (2009): Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung - Schlussbericht des Projektes Agroforst; IWW, LTZ, IL Universität Freiburg.

Spiecker, H. (2010): Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Freiburg. Online verfügbar: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-257kaeser86.pdf>

Spiecker, H. (2015): Eichenwertholzproduktion. S. 24-26 in *AFZ-DerWald*. Online verfügbar: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/pflege/fva_wertholz_eiche/index_DE

Starfinger U., Kowarik I. (2003): *Robinia pseudoacacia*. Online verfügbar: <https://neobiota.bfn.de/12627.html>

Statistisches Bundesamt (2015): Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2014. Wiesbaden 2015. Online verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_flaechennutzung-d_2016-02-22.pdf

Statistisches Umweltbundesamt (2016): Erneuerbare Energien in Zahlen. Online verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#statusquo>

- Steffens, D. (2011): Bedeutung der Mikroorganismen und organischen Substanz für die Bodenfruchtbarkeit; S. 417-429 in Ottow, J.C.G. (2011): Mikrobiologie von Böden; Springer-Verlag, Heidelberg.
- Stein-Bachinger, K. (2000): Feldversuche auf landwirtschaftlichen Betrieben: Leitfaden für Landwirte zur Durchführung produktionsbewogener Experimente; Rationalisierungs-Kuratorium für die Landwirtschaft (RKL), Rendsburg.
- Steiner, R. (1924): Der Landwirtschaftliche Kurs - Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft; erschienen 1999 im Rudolf Steiner Verlag, Dornach.
- Steinbeiss, S., Gleixner, G., Antonietti, M. (2009): Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity; S. 1301 - 1310 in Soil Biology & Biochemistry Vol 41 (2009).
- Storch, J. (2016): Transfer-Mulch. Online verfügbar: <http://mulch-gemuesebau.de/anbauweisen/transfer-mulch>
- Strohm, K. et al. (2012): Kurzumtriebsplantagen aus ökologischer und ökonomischer Sicht; Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Braunschweig.
- Tatschel, S. (2015): 555 Obstsorten für den Permakulturgarten und -balkon; Löwenzahn-Studienverlag, Innsbruck.
- TEEB (2010): Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington. URL: <http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2013/04/D0-Chapter-1-Integrating-the-ecological-and-economic-dimensions-in-biodiversity-and-ecosystem-service-valuation.pdf>
- Thevathasan N.V., Gordon A.M. (2004): Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region. Experiences from southern Ontario, Canada. S. 257–268 in Agroforestry Systems Vol 61.
- Thomas, S.C. & McLoughlin, C. (1997): Sea Buckthorn - A Production Guide; Canada Seabuckthorn Enterprises; Peachland.
- Thünen-Institut (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).
- Trautmann, Sven (2013): Sektion I: Agrarvögel als Bioindikatoren. Vogelarten der Agrarlandschaft als Bioindikatoren für landwirtschaftliche Gebiete.
- Unsel R. (2009): Kombiniertes Anbau von Wertholz- und Kurzumtriebsbäumen. S.263-274 in: Reeg, T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim.
- Unsel, R., Reppin, N., Eckstein, K., Zehlius-Eckert, W., Hoffmann, H., Huber, T. (2011): Leitfaden Agroforstsysteme. Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. Online verfügbar: https://www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/themen/landwirtschaft/BfN_Agroforst_Skript.pdf
- Vahrson, W.G., Luthardt, V., Dreger F. (1997): Konzeption und Aufbau der Ökosystemaren Umweltbeobachtung in den UNESCO-Biosphärenreservaten Schorfheide-Chorin und Spreewald, Projektbericht i. A. der LAGS, FH Eberswalde
- VDLUFA (1997): Methodenhandbuch Bd.I - Die Untersuchung von Böden; 4. Aufl., Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- Verordnung Nr. 1305/2013 des Europäischen Parlaments und Rates (2013): online verfügbar: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1305>
- Veste, M. et al. (2013): Biologische Stickstoff-Fixierung der Robins - Ein wichtiger N-Eintragsweg in Kurzumtriebsplantagen; S. 40-42 in AFZ-DerWald 2/2013, Hannover.
- Vetter, A. (2012): Verbundvorhaben: Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis; Teilvorhaben 1: Standort Thüringen, Gesamtkoordination. Jena. Online verfügbar: http://www.agroforstenergie.de/_publikationen/endberichte-ph1/TP1.pdf

Von Schmeling, K.-B. (1992): Der Speierling. Selbstverl., Bovenden.

Von Schmeling, K.B. (1994). Die Elsbeere. Selbstverl., Bovenden.

Wagner, P. et al. (2009): Ökonomische Bewertung von Kurzumtriebsplantagen und Einordnung der Holzerzeugung in die Anbaustruktur landwirtschaftlicher Unternehmen; S. 134 - 144 in Reeg, T. et al. (2009): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen; WILEY-VCH Verlag, Weinheim.

Wagner, P. (2016): Methodische Aspekte der ökonomischen Bewertung von Agroforstsystemen mit Kurzumtriebswirtschaft; MLU Halle, 5. Forum Agroforstsysteme. Online verfügbar: <http://agroforst-info.de/5-forum-agroforstsysteme-groesste-agroforstveranstaltung-deutschlands/>

Whitefield, P. (2002): How to make a forest garden; Permanent Publications, Hampshire

Wiesing, H. (2016): Revitalisierung Schmelzwasserrinne Großmutz. Ein Projekt zur Erhaltung und Entwicklung des natürlichen Erbes in der Gemeinde Löwenberger Land unter besonderer Berücksichtigung der Herpetofauna. Projektbeschreibung, Genehmigungs- und Ausführungsplanung. NABU Regionalverband Gransee e. V. Landkreis Oberhavel.

Winterling, A.; Borchert, H.; Wiesinger, K. (2014): Schnellwachsende Baumarten für Agroforstsysteme im Ökolandbau – Etablierung und Wuchsleistung; S. 200-206 in Tagungsband Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern Ökolandbau-Tagung 2014 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.

Wittkopf, S.; Krichbaum, C.; Baudisch, C. (2003): Energieholznutzung und Waldschutz im Einklang. S. 7-10 in LWF aktuell Vol 39.

Zehlius-Eckert, W. (2016). Agroforst als mögliche Option für produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen (PIK). Präsentation auf dem 5. Agroforstforum am 30.11.2016 in Senftenberg. Online verfügbar: <http://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2016/12/Zehlius-Eckert-2016-Agroforst-als-Option-f%C3%BCr-PIK.pdf>

Interviews wurden mit folgenden Personen geführt:

Arnisch, T. (2016): Komposthof und Baumdienstleistungen im Löwenberger Land.

Bergsteiger, J. (2016): Haselnussexperte, (Vorsitzender der Haselnuss-Erzeuger-Gemeinschaft).

Bielefeldt, J. (2016): Verantwortliche für die Geräteverwaltung an der HNEE.

Böhm, C. (2016): Agroforstexperte und Wissenschaftler für KUP-Streifen-Systeme (BTU).

Böllerson, V. (2016): Walnusanbauerin & Walnussjungpflanzenhändlerin (<http://www.landwirtschaft-boellersen.de/jungpflanzen/>).

Cremer, T. (2016): Professor für Holznutzung und Holzmarkt an der HNEE.

Fritz, H. (2016). B.Sc. Forstwirtschaft.

Götsch, E. (2016): Agroforstpraktiker und -experte (www.agendagotsch.com)

Grolm, M. (2016): Experte für Obstbau und Obstbaumschnitt.

Guericke, M. (2016): Professor für Waldwachstumskunde an der HNEE.

Hülsbergen, K.J. (2016): Professor am Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme an der Technischen Universität München.

Kayser, B. (2016): Agroforstberater, Agroforst-Kampagne, AG-Agroforst-Deutschland.

Klemt, M. (2016): zuständiger Sachbearbeiter der Landwirtschaftsbehörde Landkreis Oberhavel.

Lamersdorf, N. (2016): Professor für Ökopedologie der gemäßigten Zone an der Georg-August-Universität Göttingen.

Lenz, H. (2016): Experte KUP-Ernte-Technik (ATB Leibnitz-Institut-Potsdam).

Libor, A. (2016): zuständige Sachbearbeiterin der Unteren Naturschutzbehörde Landkreis Oberhavel.

Möhler, M. (2016): Wildobstexpertin, Abteilungsleiterin der Obstversuchsanschl LVG Erfurt.

Mirck, J. (2016). Wissenschaftlerin für die Erforschung von Kurzumtriebshecken an der BTU.

Nahm, M. (2016): Agroforstexperte der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Philip, F. (2016): Wasser- und Boden-Verband Fehrberlyn - Baumdienstleistungen mit Woodcracker.

Reckin, J. (2016): Obstzüchter, Wildobst-, und Bodenfruchtbarkeits- Terra Preta-experte.

Röcksch, T. (2016): Wildobst-Züchter und Experte (Humboldt Universität zu Berlin).

Rosenber, K. (2016): Holzdienstleistungen (WBV Schnelle-Havel).

Schiemann, B. (2016): Agrar GmbH Liebenwalde; 50 ha KUP nahe Löwenberger Land.

Schwabe, K. (2016): Geschäftsführer KHG Kulturboden-Handels GmbH (Kiesgrube).

Skalda, S. (2016): Holzvermarktung und Anbauhacker-Verleih (Holzbiomasse Schraden e. V.).

Sonntag, A.v. (2016): Flächeneigentümer.

Winter, M. (2016): bewirtschaftender Pächter auf dem Standort.

Anhang

I. Aufteilung der Kapitel nach Bearbeiter*in

Kap.1: Hofmann+ Hübner-Rosenau

Kap.2: Hübner-Rosenau

Kap.3: Hofmann+ Hübner-Rosenau

Kap.4: Hübner-Rosenau

Kap. 5: Hübner-Rosenau

Kap.6: Hofmann

Kap. 7: Hofmann

Kap. 8 Hofmann+ Hübner-Rosenau

Kap. 9: Hofmann (außer 9.1 Hofmann+ Hübner-Rosenau; 9.2.6, 9.2.8 Hübner-Rosenau)

Kap. 10: Hofmann (außer 10.3. Hübner-Rosenau)

Kap.11: Hofmann+ Hübner-Rosenau

Kap.12: Hofmann+ Hübner-Rosenau

Kap. 13: Hofmann

II. Interview-Leitfaden für Fruchtertrags-Expert*innen

- Vorstellung; Zweck des Interviews; Beschreibung der Problemstellung,
- Welche Fruchtertragskomponenten wären für AFS-Integration geeignet?
- Kompatibilität mit der zu erwartenden Reduktion von Licht und Wind in AFS?
- Optimale Integration in AFS – Bsp. besser in oder neben Baumreihe?
- Managementempfehlungen, Beerntungsmethoden?
- Sortenempfehlungen?
- Übliche Standzeiten?
- Vermarktbarkeit?
- Vertiefende Literaturempfehlungen?

III. Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten

DirektzahldurchfV Anlage 1 (zu §§ 3 und 30 Absatz 1)

Anhang 4: Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten, einschließlich Angabe der zulässigen Arten für im Umweltinteresse genutzte Flächen und deren maximale Erntezyklen

A. Für Niederwald mit Kurzumtrieb geeignete Arten					B. Zulässige Arten für im Umweltinteresse genutzte Flächen	
Gattung		Art		Maximaler Erntezyklus (Jahre)	Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung	Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung			
Salix	Weiden	alle Arten		20	S. triandra ¹⁾	Mandelweide ¹⁾
					S. viminalis ¹⁾	Korbweide ¹⁾
Populus	Pappeln	alle Arten		20	P. alba ¹⁾	Silberpappel ¹⁾
					P. canescens ¹⁾	Graupappel ¹⁾
					P. nigra ¹⁾	Schwarzpappel ¹⁾
					P. tremula ¹⁾	Zitterpappel ¹⁾
Robinia	Robinien	alle Arten		20		
Betula	Birken	alle Arten		20	B. pendula	Gemeine Birke, Hängebirke
Alnus	Erlen	alle Arten		20	A. glutinosa	Schwarzerle
					A. incana	Grauerle
Fraxinus	Eschen	F. excelsior	Gemeine Esche	20	F. excelsior	Gemeine Esche
Quercus	Eichen	Q. robur	Stieleiche	20	Q. robur	Stieleiche
		Q. petraea	Traubeneiche	20	Q. petraea	Traubeneiche
		Q. rubra	Roteiche	20		

1) einschließlich der Kreuzungen auch mit anderen Arten dieser Gattung


IV. Spatendiagnose nach BESTE

ANHANG		BONITURBÖGEN UND PROTOKOLLVORLAGE
Gefügebonitur für sandige Böden		
Horizont	Erscheinungsbild	Gefügenote
	Sandkörner in größeren Teilchen (> 2 mm) zusammenhängend und mit org. Material verklebt, keine Krusten	5
	- Übergangsbereich -	4
Oberfläche 0-1 cm	Sandkörner und org. Material nur zum Teil verklebt, zum Teil getrennt, viele Einzelkörner. Feucht: lose zusammenhängend, trocken: beginnende Krustenbildung oder lose Einzelkornstruktur	3
	- Übergangsbereich -	2
	Überwiegend Einzelkörner, kaum org. Material. Feucht: lose zusammenhängend, trocken: Krusten oder lose Einzelkornstruktur	1
	Sandkörner in größeren Teilchen (> 2 mm) zusammenhängend und mit org. Material verklebt oder durchwurzelt. Aggregate ohne Zerfall verformbar, keine kompakten Schollen/Bänke.	5
	- Übergangsbereich -	4
Oberkrume 0-15 cm	Sandkörner und org. Material nur zum Teil verklebt, zum Teil getrennt, viele Einzelkörner. Feucht: dichter, z.T. in größeren, scholligen Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere, schollige Fragmente zerfallen bei Druck in lose Einzelkornstruktur	3
	- Übergangsbereich -	2
	Überwiegend Einzelkörner, kaum org. Material sichtbar. Feucht: sehr dicht, in größeren, scholligen Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere schollige Fragmente zerfallen bei stärkerem Druck in lose Einzelkornstruktur	1
	Sandkörner und org. Material zum Teil verklebt, zum Teil getrennt, einige Aggregate ohne Zerfall verformbar. Feucht: z.T. in größeren Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere Fragmente zerfallen bei Druck in lose Einzelkornstruktur	5
	- Übergangsbereich -	4
Unterkrume 15-30 cm	Überwiegend Einzelkörner, wenig org. Material sichtbar. Feucht: dicht, in größeren, scholligen Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere schollige Fragmente zerfallen bei stärkerem Druck in kleinere Fragmente oder lose Einzelkornstruktur	3
	- Übergangsbereich -	2
	Einzelkörner, kaum org. Material sichtbar. Feucht: sehr dicht, fest in größeren, scholligen Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere schollige Fragmente zerfallen bei starkem Druck in kleinere Schollen.	1
	Überwiegend Einzelkörner, wenig org. Material sichtbar. Feucht: dicht, in größeren Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere Fragmente zerfallen bei Druck in lose Einzelkornstruktur	5
	- Übergangsbereich -	4
Unterboden 30-40 cm	Einzelkörner, kein org. Material. Feucht: dicht, in größeren, scholligen Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere schollige Fragmente zerfallen bei Druck in kleinere Fragmente oder lose Einzelkornstruktur	3
	- Übergangsbereich -	2
	Einzelkörner, kein org. Material. Feucht: sehr dicht, fest in größeren, scholligen Fragmenten zusammenhängend, trocken: größere schollige Fragmente zerfallen bei starkem Druck in kleinere Schollen.	1

©BESTE

Einordnung der Gefügenoten

< 3	= Bodenfunktionen gestört, Handlungsbedarf
≥ 3 < 4	= kein akuter Handlungsbedarf, befriedigend
≥ 4	= Bodenfunktionen gesichert, gut


 Büro für Bodenschutz
&
Ökologische Agrarkultur

Beste (2003), S.29: Erweiterte Spatendiagnose. Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung.

V. Übersicht über die zu erhebenden Parameter

Parameter	Methode
Bodenkundliche Kartierung	Bohrstockproben und Profilanfragen nach bodenk. Karrieranleitung im Gelände
Gefüge-Struktur (Bodengare)	Erweiterte Spatendiagnose zur Gefügebonitur nach BESTE (2003)
Kalkgehalt	Aufschäumungsgrad nach Applikat. von 8-10% HCL-Säure // Scheiblerapparatur
nutzbare Feldkapazität	Zgl. der Bodenfeuchte-Daten, Gravimetrische Laboruntersuchung, Saugspannungsmessung
Humusgehalt	Corg Ermittlung x 1,724, Cges - CaCO3
Bodengefüge-Struktur	Eindringwiderstand Penetrometer / Petrographen; Trocknungrohdiichte: Trocknung von Stechzylinderproben bei 105 °C, Gravimetrische Analyse
Nährstoffgehalt	Gesamtaufschluss mit HNO3 / H2SO4 und HF anschließend ICP-AES; oder Bodenproben bei Kinsey-AG (2016) einschicken
pH-Wert	Messung mittels pH-Meter-Elektrode und CaCl2-Lösung im Oberboden / Aufschlamm, Potentiometrie im Labor
KAKeff	Schüttelextrakt mit 0,5 mol/l ungepufferter Salzlösung (z.B. NH4Cl / BaCl2); Spektroskopische Ionen-Bestimmung und H+ Messung mit pH-Meter
N-ges, N-min	N-ges: Elementaranalyse (nach Verbrennung); N-min: Extraktion mit CaCl2-Lösung, Spektrometrie
NH4+, NO3-	Extraktion des Nmin mit CaCl2-Lösung, Ionenchromatographie / Spektrophotometrie
Wassererosion	Kartierung nach LUTHARDT et al. 2006
Nährstoffauswaschung	Pegelmessung: Abpumpen - nachgelaufenes Wasser ionenchromatographisch auf NO3 analysieren
mikrobielle Aktivität	Substranzinduzierte Respiration SIR - Messung der Basalatmung
pflanzliche Aktivität	16S-rRNA-Sequenzierung / Epifluoreszenzmikroskopie / Glomalbestimmung mittels Bradford-Protein-Analyse/
Regenwürmer	Handauslese und Formalin austreibung
Ertrag Ackerfrucht	Handernte repräsentativer m2 und Mittlung der Stichproben, Trockenmassebest. im Labor
Wuchslleistung	Messung der Höhe, des BHD, Länge des Terminaltriebes
Qualitätsmerkmale	Astigkeit, Schaftneigung, Schaftkrümmung, Zwiesel
Kronenparameter	Messung Kronenansatz und Kronenradius
Pflanzenartdiversität	Erstellung einer Gesamtartliste durch Begehung der Fläche
Vegetationstransect	Transectmethode, Aufnahme alle 10- 20 m, Einordnung nach BRAUN-BLANQUET
Laufkäfer	Transectmethode mit Bodenfallen/ Klopfprobe
Brutvögel	gruppierte Registrierung; Erfassung der Brutvögel durch Sichtbeobachtung und Gesang

Messintervall, Messzeitpunkt (F= Frühling, S=Sommer)	Geräte	Zeitaufwand
6 - 10 a	Bodenaushub (2 x 3 m), Feldtasche für Profilsprachen, 10 %ige Salzsäure, Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA 5 2005) / Munsell – Farbtafeln, Klemmrahmen mit Aufnahmebögen nach KA 5 (2005), Taschenmesser / Spachtel / Pinsel	20 min/Einschlag ca. 5-10 min/Probe
1 - 2 a (F / H)	Spaten, Boniturtafel nach BESTE 2003	1 min // ggf. 10min/Probe ?
6 a Gravimetrisch manuell	8-10% HCL-Säure //ggf Scheiblerapparat Gravimetrische Laboruntersuchung, Eijkelkamp-Apparatur / Tensiometer	10 min/ Probe
1 - 3 a (F)	Penetrometer / Penetrographen; Trockenschrank & Präzisionswaage	
1 - 3 a	Atomemissionspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES) pH-Meter (z. B. WTW Profile pH 197)	4h / 10 Proben 2min / Probe
1-3 a	Salzlösung, pH-Meter, ICP-AES	4h/24 Proben
1-3 a	Spektrophotometer	8min/Probe
1-3 a	Ionenchromatograph / Spektrophotometer	
2 a jeweils nach Starkregenereignis > 10-20 mm	topographische Karte 1:5000	1-4h/Erhebung
ca. 2 / a	Installation 2-3 Pegelrohre, Ionenchromatograph	Installation danach 1h / Erhebung
3-6 a zeitgleich mit Regenwümer	HEINEMEYER-Infrarot-Gasanalytator	2h für Probenaahme auf Gesamtlf.
3-6 a zeitgleich mit Regenwümer	noch zu prüfen welche Methode zu wählen ist	2h für Probenaahme auf Gesamtlf.
3-6 a (F/H) bei Bodenfeuchte (> 16%); Temperatur (> 7 °C)	Spaten, Folie, Formalinlösung, Sammelbehälter	10 h / 16 Proben
1a (W)	Gelände: Säcke, Waage bis 5kg, Sichel/Schere	Gelände 2-4h/Transekt
1a (W)	Vertex, Kluppe, Messlatte	0.25h / Baum;
1a (W)	Messlatte	
1a (S)	Messlatte, Kronenspiegel	
6 a (S)		0.5- 1 d
3 a (S)	Bodenfallen	an 3 Terminen jeweils 1-2 d insg. 5 d
1-2 a (S)		8 Termine je 2h: insg. 16h (2 d)

VI. Poster für das 5. Agroforstforum am 30.11.-01.12.2016 in Senftenberg

Praxisnahes Agroforst-Modellprojekt

mit dauerhafter wissenschaftlicher Begleitung durch die Hochschule Eberswalde

Hofmann, P., Hübner-Rosenau, D.



Einleitung und Zielsetzung

Im Löwenberger Land (Nordbrandenburg) soll auf 20 ha Ackerfläche ein Agroforstsystem mit Modellcharakter angelegt werden.

In diesem Projekt sollen langfristig die Potentiale von Agroforstsystemen deutlich werden und andere Landeigentümer*innen, Bäuer*innen und politische Entscheidungsträger*innen zur Nachahmung inspirieren.

Der Flächeneigentümer stellt der HNEE diese Flächen auf unbegrenzte Zeit als Versuchs- und Dauerbeobachtungsfläche zur Verfügung.

Problemstellung

- **Agroforst in Deutschland:** Trotz der offensichtlichen Potentiale von Agroforstsystemen gibt es in Deutschland nur ungenügend Praxisbeispiele
- **Grenzstandorte in Brandenburg:** sandiger, armer Boden mit Bodenpunkten von 20-30 und 500 - 600 mm Jahresniederschläge erschweren die landwirtschaftliche Produktion in Brandenburg
- **landwirtschaftliche Realisierbarkeit:** die landwirtschaftliche Produktion soll durch das Agroforstsystem möglichst positiv beeinflusst werden; dabei soll der zusätzliche Arbeitsaufwand für den Landwirt gering bleiben
- **Wissenschaftliche Aussagekraft:** Ergebnisse der Modellfläche sollen auch ohne Versuchswiederholungen wissenschaftlich aussagekräftig sein
- **Datengrundlage:** die Datengrundlage für wirtschaftliche Berechnungen zu komplexen Agroforstsystemen ist bisher noch mangelhaft

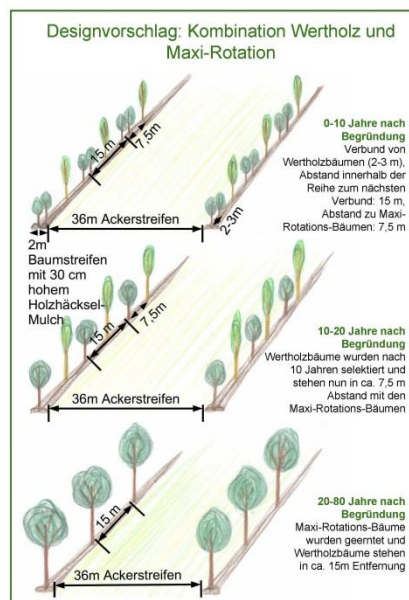
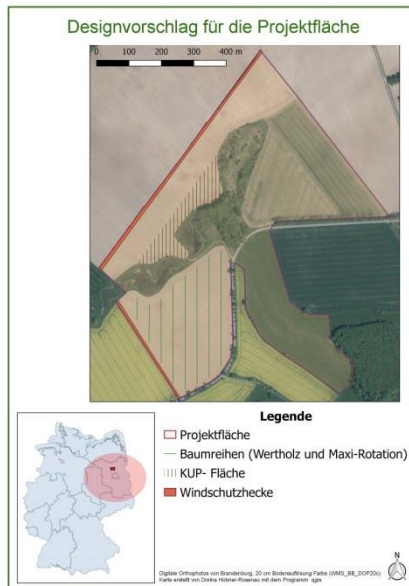
Vorgehensweise

Die Konzeption sowie Managementempfehlungen werden von HOFMANN und HÜBNER-ROSENAU im Rahmen einer gemeinsamen Bachelorarbeit entwickelt. Diese erfolgt nach einer Literaturrecherche und baut auf aktuellen Forschungsergebnissen auf.

Schon bei der Entwicklung des möglichst praxisnahen Projektdesigns sollen die Interessen aller Beteiligten berücksichtigt werden.

Im Mittelpunkt steht damit die Frage, wie ein komplexes Agroforstsystem aussehen kann, das **ökonomisch rentabel, ökologisch wertvoll, wissenschaftlich aussagekräftig** und durch Bäuer*innen vor Ort **praktisch umsetzbar** ist?

Die Designvorschläge werden nach der Diskussion mit Expert*innen überarbeitet.



Ergebnisse

Designvorschläge:

1. **Baumreihen:**
 - **Wertholzbäume (15 Bäume/ha)**
 - Elsbeere, Robinie, Wildbirne, Traubeneiche, Mehlebeere
 - Ernte in 80 - 120 Jahren
 - **Maxi-Rotations-Bäume (14 Bäume/ha)**
 - Pappel, Paulownia, Sandbirke, Eberesche
 - Umrtriebszeit: 10-20 Jahre
2. **KUP-Elemente in Soll-Ausbuchtungen,** die aufgrund landwirt. unrentabel sind:
 - Robinie, Pappel, Weide, Paulownia
 - Umrtriebszeit: 3-5 Jahre
 - Ziel: Gewinnung von Frischholzhäcksel-Mulch zum Aufbau von Dauerhumus
3. **Windschutzhecke**
 - zusätzlich Naturschutzwert durch Wildobstgehölze (optional nutzbar: Sanddorn, Aronia, Baumhasel)

Parameter und Erhebungsverfahren:

Es sollen die langfristigen Auswirkungen des Agroforstsystems gemessen werden im Bezug auf:

1. **die Veränderungen des Mikroklimas**
 - Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Niederschlagssumme, Licht
 - Bodenfeuchte und -temperatur
2. **die Bodenfruchtbarkeit**
 - Humus, Nährstoffe, Bodenstruktur, Mikrobielle Aktivität, Mykorrhizierung, Regenwürmer
3. **die land- und forstwirtschaftliche Ertragsleistung**
4. **die floristische und faunistische Biodiversität**
 - Begleitvegetation
 - Avifauna, Laufkäfer

Offene Fragen

- Ist die Kombination von Werthölzern und Maxi-Rotations-Bäumen in einer Reihe sinnvoll?
- Eignen sich Paulownia und Baumhasel für den Anbau auf diesem Standort?
- Sollten Maxi-Rotations-Bäume aufgeastet werden?
- Was ist die wirtschaftlichste Erntemethode für die KUP-Flächen in den Soll-Ausbuchtungen?
- Wo und wie werden Frischholzhäcksel-Mulchflächen aus wissenschaftlicher und aus Sicht der Praxis am besten integriert?
- Wie können die Trockenphasen in den ersten Jahren mit geringen Ausfällen überstanden werden? Ist Holzhackselmulch ausreichend oder wird ein Bewässerungssystem benötigt?
- Welches ist die sinnvollste Form der Beikrautregulierung?

Literatur

- Böhm, C. (2012): Ökonomische und ökologische Bewertung von Agroforstsystemen in der landwirtschaftlichen Praxis (AgroForstEnergie). Technische Universität Cottbus.
- Gotsch, E. (1994): Break-Through in Agriculture; Fazenda Tres Colinas, Bahia.
- Lamieau, G. & Germain D. et al. (2000): Ramial chipped wood - the clue to a sustainable fertile soil. Université Laval, Quebec.
- Spieker, H., Briz, M., Bender, B. et al. (2009): Neue Optionen für eine nachhaltige Landnutzung - Schlussbericht des Projektes Agroforst. IWW, LTZ, IL Universität Freiburg

Konzeption: Paul Hofmann (Bsc. Ökolandbau) & Dorina Hübner-Rosenau (Bsc. Internationale Forstwirtschaft);
 Kontakt: Paul.Hofmann@hnee.de, Dorina.Huebner-Rosenau@hnee.de,
 Betreuung durch Prof. Dr. Ralf Bloch und Prof. Dr. Tobias Cremer (Kontakt: Ralf.Bloch@hnee.de, Tobias.Cremer@hnee.de)
 Hochschule für Nachhaltige Entwicklung, Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, Paul Hofmann (Matrikelnummer 13208698) und Dorina Hübner-Rosenau (Matrikelnummer 13208519), an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht haben. Aus anderen Quellen übernommene Tabellen, Graphiken, bildliche Darstellungen etc. haben wir ebenfalls als solche gekennzeichnet. Insbesondere versichern wir, dass wir alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht haben.

Wir erklären weiterhin, dass die Arbeit noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht worden ist.

Eberswalde, 16.12.2016

Paul Hofmann, Dorina Hübner-Rosenau
