

Universität Kassel / Justus-Liebig-Universität Gießen

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



Die Direktsaat von (Wert-)Gehölzen in Agroforstsystemen

Abschlussarbeit im M.Sc. Biologie

verfasst von

Simon Goldenberg

35691002

Abgabedatum

24.07.2023

E-Mail

simon.goldenberg@student.uni-kassel.de

Betreuerin der Universität Kassel

Prof. Dr. Miriam Athmann

(FB 11 - Ökologische Agrarwissenschaften)

Betreuer der Universität Gießen

Dr. Philipp Weckenbrock

(FB 09 - Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement)

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die theoretischen und praktischen Grundlagen, Prinzipien und Techniken zur Direktsaat von Wertgehölzen in Agroforstsystemen ermittelt. Mithilfe von Expert*inneninterviews sowie einer Literaturrecherche wurde das aktuell verfügbare Wissen aus der Praxis der Land- und Forstwirtschaft zusammengetragen. Des Weiteren erfolgte Ende Februar 2023 in einem neu angelegten silvoarablen Agroforstsystem auf dem Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Gießen eine Direktsaat mit *Juglans regia* L., *Prunus avium* L., *Sorbus domestica* L. und *Sorbus torminalis* L. CRANTZ. Ergänzend wurden Prädationsexperimente mit *Corylus colurna* L., *J. regia* und *Malus domestica* BORKH. auf zwei Grünland- und zwei Ackerflächen des Gladbacherhofs durchgeführt, um Informationen zum Prädationsverhalten zu generieren. Die verschiedenen Saatzeilen im Agroforstsystem zeigten keine Anzeichen von Saatgutprädation, jedoch deutliche Unterschiede zwischen der Anzahl aufgegangener Sämlinge. Die Vermutung für die schlechten Keimraten liegt bei den lehmigen Böden und dem niederschlagsreichen Frühjahr. Darüber hinaus zeigten sich an den Sämlingen Schäden durch Prädatoren und Pathogene. Bei den Untersuchungen zur Saatgutprädation deutete ein Vergleich zwischen Grün- und Ackerland auf erhebliche Differenzen in der Prädation der Samen von *C. colurna* hin. Ein Teil der Verluste konnte sowohl Langschwanzmäusen (Muridae) als auch Wühlmäusen (Arvicolinae) zugeordnet werden. Für *J. regia* zeigte sich auf den Ackerflächen ein hoher Anteil an freigelegten, jedoch nicht entwendeten Nüssen, was den erfolglosen Versuch einer Prädation vermuten lässt. Auch bei den Sämlingen der Prädationsexperimente wurden Schäden festgestellt. Die Ergebnisse unterstreichen den Bedarf nach weiterer Forschung im Bereich der Direktsaat von Werthölzern in Agroforstsystemen.

Schlüsselwörter: Agroforstsysteme, Direktsaat von Gehölzen, Saatgutprädation, Sämlinge

Abstract

As part of this master's thesis, the practical foundations, principles, and techniques for the direct seeding of valuable woody plants in agroforestry systems were investigated. Expert interviews and a literature search were used to compile the current practical knowledge available in agriculture and forestry. Furthermore, at the end of February 2023, a direct seeding was carried out in a newly established silvopastoral agroforestry system at the Gladbacherhof of the Justus-Liebig-University Giessen, using *Juglans regia* L., *Prunus avium* L., *Sorbus domestica* L. and *Sorbus torminalis* L. CRANTZ. In addition, predation experiments with *Corylus colurna* L., *J. regia* und *Malus domestica* BORKH. were conducted on two grassland and two arable land areas of the Gladbacherhof to gather information on predation behavior.

The various seed rows in the agroforestry system showed no signs of seed predation but significant differences in the number of germinated seedlings. The presumption for the poor germination rates lies in the clayey soils and the rainfall-rich spring. Furthermore, damage by predators and pathogens was observed on the seedlings. In the investigations on seed predation, a comparison between grassland and arable land indicated significant differences in the predation of *C. colurna* seeds. Some of the losses could be attributed to both murid rodents (Muridae) and voles (Arvicolinae). For *J. regia*, a high proportion of exposed but not stolen nuts was observed on the arable land, indicating an unsuccessful attempt of predation. Damage was also found on the seedlings of the predation experiments. The results emphasize the need for further research in the field of direct seeding of valuable woody plants in agroforestry systems.

Key words: agroforestry systems, direct seeding of woody plants, seed predation, seedlings

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract	ii
Abkürzungsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
2 Hintergrund und Zielsetzung	2
2.1 Agroforstsysteme	2
2.1.1 Pflanzung von Gehölzen in Agroforstsystemen	2
2.2 Die Direktsaat von Gehölzen als Alternative zur Pflanzung	4
2.2.1 Vorteile der Direktsaat von Gehölzen	5
2.2.2 Nachteile der Direktsaat von Gehölzen	7
2.2.3 Der Samen	7
2.2.4 Das Saatgut von Gehölzen	8
2.2.5 Risiken bei der Direktsaat von Gehölzen	11
2.2.6 Die Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen	21
2.3 Zielsetzung der Arbeit	22
3 Material und Methoden	24
3.1 Versuchsstandort Gladbacherhof	24
3.1.1 Böden des Gladbacherhofs	24
3.1.2 Flora und Fauna auf dem Gladbacherhof	25
3.1.3 Die drei Agroforstsysteme des Gladbacherhofs	25
3.2 Expert*inneninterviews	29
3.3 Orientierungshilfe für die Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen	29
3.4 Durchführung einer Direktsaat im GH3	29
3.5 Prädationsexperimente	30
3.5.1 Versuchsaufbau	31
3.5.2 Erhebungen zum Vorkommen der Fauna	33
4 Ergebnisse	34
4.1 Expert*inneninterviews	34
4.2 Orientierungshilfe für die Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen	34
4.2.1 Vor der Aussaat: Vorbereitung der Fläche und des Saatbetts	35

4.2.2	Die Aussaat.....	36
4.2.3	Nach der Aussaat: Kontrolle, Bewertung und Pflege.....	40
4.3	Die Direktsaat im GH3.....	41
4.3.1	Durchführung	41
4.3.2	Entwicklung.....	45
4.4	Prädationsexperimente	49
4.4.1	Entwicklung des Saatguts.....	49
4.4.2	Entwicklung der Sämlinge	49
4.4.3	Flora und Fauna der Versuchsflächen und Umgebung	51
4.4.4	Wirkung der Vergällung auf die Saatgutverluste	52
4.4.5	Vergleich der Saatgutverluste zwischen Grün- und Ackerland.....	54
4.4.6	Abhängigkeit der Saatgutverluste zur Entfernung zum Waldrand.....	56
5	Diskussion.....	58
5.1	Expert*inneninterviews & Orientierungshilfe	58
5.2	Die Direktsaat im GH3.....	58
5.2.1	Auflaufergebnisse.....	58
5.2.2	Saatgutprädation.....	59
5.2.3	Entwicklung der Sämlinge	61
5.2.4	Bewertung und Ausblick.....	62
5.3	Prädationsexperimente	64
5.3.1	Entwicklung des Saatguts.....	64
5.3.2	Wirkung der Vergällung auf die Saatgutverluste	66
5.3.1	Vergleich der Saatgutverluste zwischen Grün- und Ackerland.....	67
5.3.2	Abhängigkeit der Saatgutverluste zur Entfernung zum Waldrand.....	68
5.3.1	Methodik	68
5.3.1	Entwicklung der Sämlinge	69
6	Fazit und Reflexion	70
7	Literaturverzeichnis.....	73
8	Danksagung.....	88
9	Eidesstattliche Erklärung.....	89
10	Anhang	90

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AL	Ackerland
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BVL	Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BW	Baden-Württemberg
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DWD	Deutscher Wetterdienst
EURAF	European Agroforestry Federation
et al.	und andere
etc.	et cetera
e. V.	eingetragener Verein
FA	Forstamt
FoVG	Forstvermehrungsgutgesetz
FVA	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
gGA	gemeinsamer Gutachterausschuss
ggf.	gegebenenfalls
GL	Grünland
HE	Hessen
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
IBV	Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt
i. d. R.	in der Regel
KUP	Kurzumtriebsplantage
LWF	Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
MV	Mecklenburg-Vorpommern
N. N.	Normalnull
NW-FVA	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
persön.	persönlich
PSM	Pflanzenschutzmittel
S.	Seite
Tab.	Tabelle

u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
v. a.	vor allem
vs.	versus
z. B.	zum Beispiel
&	und

Autorenkürzel

A.DIETR.	Albert Gottfried Dietrich
BORKH.	Borkhausen
L.	Linné
MILL.	Miller

Bodenkundliche Abkürzungen

L	Lehm
IS	lehmiger Sand
LT	schwerer Lehm
Mo	Moor
S	Sand
Sl	anlehmiger Sand
SL	stark lehmiger Sand
T	Ton

Einheiten

g	Gramm (10^{-3} kg)
h	Stunde
ha	Hektar ($10\ 000\ m^2$)
m	Meter
cm	Zentimeter (10^{-2} m)
mm	Millimeter (10^{-3} m)
L	Liter
°C	Grad Celsius
J	Joule (1 N m)
kcal	Kilokalorie (4186 J)
pH	negativ dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität
€	Euro

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Wurzeldeformationen bei gepflanzten Werthölzern.....	4
Abb. 2: Standortkarte der drei Agroforstsysteme des Gladbacherhofs.	26
Abb. 3: Luftaufnahme des GH3 bei der Pflanzung.	26
Abb. 4: Bepflanzungsplan des GH3.	28
Abb. 5: Versuchsaufbau des Prädationsexperiments.....	31
Abb. 6: Transekt- und Plotaufbau des Prädationsexperiments.....	32
Abb. 7: Plot-Anordnung des Prädationsexperiments.	32
Abb. 8: Querschnitt eines Saatbetts vor der Aussaat.....	40
Abb. 9: Saatbett-Vorbereitungen im GH3.....	42
Abb. 10: Vorgehensweise bei der Direktsaat im GH3.	44
Abb. 11: Entwicklung der Aussaat im GH3.....	47
Abb. 12: Schäden an Pflanzen und Samen im GH3.....	48
Abb. 13: Entwicklungen beim Saatgut des Prädationsexperiments.	50
Abb. 14: Frequenzdiagramme für den Vergleich mit der Vergällung.....	53
Abb. 15: Frequenzdiagramme für den Vergleich von Grün- und Ackerland.....	55
Abb. 16: Frequenzdiagramme für den Vergleich der verschiedenen Distanzen zum Wald.....	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vor- und Nachteile bei der Direktsaat von Gehölzen.	6
Tab. 2: Wissenschaftlich begleitete Direktsaatversuche in Agroforstsystemen in Europa.	22
Tab. 3: Verwendetes Saatgut für die Direktsaat im GH3.....	30
Tab. 4: Saattiefe und -Abstand ausgewählter Baumarten.....	37
Tab. 5: Anzahl aufgefundener Sämlinge in den Saatstreifen des GH3.	46
Tab. 6: Ergebnisse der Apfelreisermethode.	51
Tab. 7: Ergebnisse der Lochtretmethode.....	51
Tab. 8: Ermittelte Prädatoren der vier Versuchsflächen und ihrer Umgebung.	52

1 Einleitung

Der Klimawandel und seine Folgen stellen eine der größten Herausforderungen der heutigen Zeit dar. Auswirkungen wie steigende Temperaturen und die Zunahme von Extremwetterereignissen häufen sich. Durch Starkregen, Überschwemmungen, Stürme und Dürren sind neben natürlichen Ökosystemen auch landwirtschaftliche Systeme gefährdet. Dies hat direkte Auswirkungen auf die Grundlage der menschlichen Ernährungssicherheit (Umweltbundesamt 2022). Schwerwiegende Konsequenzen wie Ernteausfälle und Bodenverluste sind die Folge. Um diesen Faktoren entgegenzuwirken, ist eine Entwicklung unseres derzeitigen Agrarsystems hin zu mehr Widerstandsfähigkeit und Stabilität erforderlich.

Ein vielversprechendes Konzept, das in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist die Agroforstwirtschaft. Laut Nair (1993) handelt es sich dabei um die räumliche oder zeitliche Kombination von mehrjährigen Gehölzen mit Ackerkulturen und/oder Tieren. Agroforstsysteme können sowohl dazu beitragen, den Klimawandel zu verlangsamen als auch zur Anpassung an dessen Folgen beitragen (Tsonkova et al. 2012; Zomer et al. 2016). Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, gewinnbringende Produkte wie z. B. Werthölzer zu produzieren. Auch wenn Gehölze im Kampf gegen den Klimawandel und seine Folgen helfen können, leiden sie dennoch selbst unter den sich verschärfenden Umweltbedingungen. Aktuell ist gemäß dem Waldzustandsbericht 2022 nur jeder fünfte Baum in Deutschland gesund (BMEL 2023). Schäden werden insbesondere durch Hitze und Trockenheit verursacht. Bereits geschwächte Gehölze sind darüber hinaus anfälliger für Schädlinge und Windwurf. Dabei spielt die Stabilität insbesondere für Agroforstsysteme eine wichtige Rolle, da die Bäume hier meist freistehen, d. h. nicht durch einen Bestand geschützt werden. Aus diesen Gründen müssen auch die Gehölze in Agroforstsystemen selbst klimaresilienter werden, insbesondere gegen Trockenheit und Wind.

Ein möglicher Ansatz für mehr Widerstandsfähigkeit besteht in der Direktsaat von Bäumen, einer Methode aus dem Waldbau (Bartsch et al. 2020). Dabei wird der Samen direkt an Ort und Stelle in den Boden gesät. Gegenüber der üblichen Pflanzung bieten sich besondere Vorteile. Einerseits ein ungestörteres Wurzelwachstum, andererseits eine natürliche Standortanpassung der gesäten Gehölze, was in einer höheren Stabilität und einer besseren Wasserversorgung resultieren kann (Lindström und Rune 1999; Palma und Laurance 2015). Im Vergleich zur Pflanzung wird bei der Direktsaat zudem weniger Personal, Material, Ausrüstung und Transportkapazität benötigt, was die Möglichkeit einer großflächigen und kostengünstigen Bewaldung erleichtert (Palmerlee und Young 2010; Grossnickle und Ivetić 2017). Damit könnte die Technik auch eine Unterstützung für den neuen Strategieplan der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) 2023 werden. Demnach sollen bis 2026 in Deutschland 200.000 ha Agroforstfläche neu etabliert werden (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2023b).

Allerdings spielt die Direktsaat von Gehölzen aktuell noch keine nennenswerte Rolle in Agroforstsystemen. Heutige Erkenntnisse und Erfahrungen über die genannten Faktoren beziehen sich fast ausschließlich auf den Standort Wald (Palma und Laurance 2015; Grossnickle und Ivetić 2017; Löff et al. 2019). Die Entwicklung auf landwirtschaftlichen Flächen ist weitestgehend unbekannt und ein öffentlich zugänglicher Leitfaden zur Umsetzung der Direktsaat von Agroforstsystemen existiert nicht. Aus diesem Grund soll im Rahmen dieser Arbeit das bestehende Wissen aus der forst- und landwirtschaftlichen Literatur und Praxis zusammengetragen und somit

ein erster Überblick über die Thematik verfasst werden. Auf dieser Grundlage soll eine praktische Durchführung einer Direktsaat von Gehölzen in einem Agroforstsystem durchgeführt und im Anschluss in ihrer Entwicklung begleitet werden. Darüber hinaus soll der Faktor der Saatgutprädation genauer untersucht werden. Als Saatgut-Prädatoren gelten Tiere, die Samen konsumieren und töten (Janzen 1970). Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen ein erstes Fazit sowie weiterführende Forschungsideen zur Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen abgeleitet werden.

2 Hintergrund und Zielsetzung

2.1 Agroforstsysteme

Wie bereits erwähnt, können Agroforstsysteme dazu beitragen, den Klimawandel zu verlangsamen, indem sie vermehrt Kohlenstoff in den mehrjährigen Pflanzen und im Boden speichern (Tsonkova et al. 2012; Zomer et al. 2016). Darüber hinaus können sie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beitragen. Beispielsweise bietet die natürliche Barriere der Gehölze Schutz vor Wind. Dies kann sich aufgrund einer geringeren Evapotranspiration positiv auf den Wasserhaushalt auswirken und in Folge dessen weniger Trockenstress für die Pflanzen bedeuten (Banda et al. 1994; Bochet et al. 2006). Daneben wird die Bodenerosion gemindert (Nair et al. 1995). Die Wurzeln der Gehölze tragen zur Stabilisierung des Bodens bei und verlagern gleichzeitig Wasser und Nährstoffe aus tieferen Schichten in den Oberboden (Udawatta et al. 2002; Alagele et al. 2021). Zudem ist eine verbesserte Wasserhaltekapazität aufgrund höherer Gehalte an organischer Substanz im Boden möglich (Banda et al. 1994; Bochet et al. 2006). Gehölze können darüber hinaus die Bodenfruchtbarkeit, die Biodiversität und die Gesamtproduktivität der Fläche erhöhen (Tsonkova et al. 2012; Fagerholm et al. 2016). Weiterhin ermöglicht die Diversifizierung der Landwirtschaft ein breiteres Produktspektrum und damit ein gesicherteres Einkommen.

Ein mögliches Produkt stellt durch Wertholzbäume gewonnenes Furnierholz dar (Brix et al. 2009). Als typische Wertholzarten gelten beispielsweise die Echte Walnuss (*Juglans regia* L.), die Wildkirsche (*Prunus avium* L.), der Speierling (*Sorbus domestica* L.) oder die Elsbeere (*Sorbus torminalis* L. Crantz.). Wichtige Kriterien für die Gehölze sind neben der Holzqualität und dem Dickenwachstum ein astfreier und gerader Stammverlauf (Brix et al. 2009; Johnson et al. 2009; Morhart et al. 2015). Die lichtbedürftigen und meist konkurrenzschwächeren Baumarten können in Agroforstsystemen vom erweiterten Standraum und in Folge dessen von einem verstärkten Wachstum profitieren (Joyce et al. 1998; Brix et al. 2009).

2.1.1 Pflanzung von Gehölzen in Agroforstsystemen

Momentan erfolgt die Anlage von Agroforstsystemen zur Wertholzerzeugung durch die Pflanzung. Hierfür werden ein- bis zweijährige Wertholzbäume¹ mit einer durchschnittlichen Höhe von

¹ Zur Vereinfachung wird im weiteren Verlauf der allgemeinere Begriff *Gehölz* oder *Baum* statt *Wertholzbaum* verwendet.

30-50 cm aus der Baumschule verwendet (Werners 2016). Ein bedeutender Vorteil der Pflanzung liegt darin, dass die Gehölze aufgrund der geschützten und kontrollierbaren Bedingungen der Baumschule die empfindliche Phase der Samen- und Sämlingsentwicklung bereits erfolgreich durchlaufen haben. Dadurch können Spätfröste, Trockenheit sowie Schädlings- und Pathogenbefall kontrolliert werden (Aizen und Woodcock 1996; Heiligmann et al. 2006; Dey et al. 2008). Zudem weisen Setzlinge aufgrund ihrer Höhe eine gewisse Konkurrenzfähigkeit gegenüber der Begleitvegetation auf (Werners 2016). Weiterhin sind das Saatgut, die Sämlinge und die Jungbäume vor Prädatoren geschützt (Bärtels 2008).

Für die Pflanzung werden in Baumschulen wurzelnackte oder getopfte Bäume vorgezogen (Grossnickle und El-Kassaby 2016). Wurzelnackte Pflanzen werden kurz vor dem Aussetzen aus der Erde entnommen und ohne das Substrat gesetzt. Beim Ausgraben erfolgt ein Wurzelschnitt, wobei die Pfahlwurzel gekappt und freigerüttelt wird (Bärtels 2008; A. Schott, persön. Mitteilung, 2022). Containerpflanzen sind getopft und behalten auch bei der Verpflanzung ihre gesamte Wurzelmasse. Es gibt verschiedene Größen und Modifikationen von Anzuchtcontainern, wobei die Kosten in der Regel mit steigender Komplexität zunehmen (Behm 2004; Mariotti et al. 2015). Dabei wirken sich die verschiedenen Systeme unterschiedlich auf das Wurzelwachstum aus. Container können z. B. geschlossene oder offene (belüftete) Wände haben. Weiterhin gibt es Systeme mit glatten Wänden oder solche mit senkrechten Rippen. Letztere nehmen einen Einfluss auf die Richtung des Wurzelwachstums. Ein wesentlicher Vorteil von Containerpflanzen im Vergleich zur wurzelnackten Alternative besteht darin, dass sie das ganze Jahr über verpflanzt werden können. Zudem tritt ein geringerer Pflanzschock auf, da die Feinwurzeln erhalten bleiben. Beim Pflanzschock zeigt das Gehölz eine Stressreaktion, da das Wurzelsystem nach der Pflanzung die für die Nährstoff- und Wasseraufnahme verantwortlichen Feinwurzeln neu bilden muss (Brinkmann et al. 2003; Behm 2004). Allerdings müssen der Preis, die Lagerung und die Handhabung als nicht zu vernachlässigende Schwächen berücksichtigt werden. Soll wurzelnackte Ware vor dem Verpflanzen länger liegen, muss sie eingeschlagen und vor Wind geschützt gelagert werden (Werners 2016; A. Schott, persön. Mitteilung, 2022).

Die Wurzel stellt neben dem Spross und den Blättern eines der Grundorgane der Pflanze dar. Sie dient der Versorgung des Organismus mit Wasser und Nährstoffen sowie der Verankerung im Boden. Weiterhin ist sie die Schnittstelle zum Bodenleben und fungiert als Speicherorgan und Produktionsstätte für wichtige Pflanzenhormone (Kutschera und Lichtenegger 2013). Aufgrund des Wuchses im Container, der Kappung bei wurzelnackter Ware sowie unsachgemäßer Pflanztechniken können vielfältige Deformationen am Wurzelwerk auftreten. Auch kann dieses bei gepflanzten Gehölzen insgesamt flacher und stärker gegliedert ausfallen (Moreno und Franco 2013). Hinzukommen kann der bereits erwähnte Effekt des Pflanzschocks, der das Gehölz weiter schwächt bzw. zurückwirft.

Die häufigsten Deformationen sind Stauchungen, Verdrehungen und Knäuelbildungen der Hauptwurzel, letzteres wird auch als *Blumentopfeffekt* bezeichnet (siehe Abb. 1) (Lindström und Rune 1999; Nörr und Baumer 2002). Die Folgen des unnatürlichen Wachstums können eine unzureichende Erschließung des Wurzelraums sowie erkrankende Wurzeln sein (Nörr und Baumer 2002; Behm 2004). Damit einhergehende Probleme betreffen insbesondere die Stabilität und die Wasserversorgung der Bäume (Watson und Tomblason 2002; Behm 2004; Kutschera und Lichtenegger 2013). Neben den Nachteilen für die Wurzeln sind viele Pflanzungen mit einem

erheblichem Zeit-, Kosten- und Personalaufwand verbunden (Owston et al. 1992; Banda et al. 1994; Grossnickle und Ivetic 2017).



Abb. 1: Wurzeldeformationen bei gepflanzten Werthölzern. Oben wurzelnackt & unten als getopfte Containerware. **A)** *Prunus avium* L. (Wildkirsche) mit Wurzelknick; **B)** *Juglans regia* L. (Echte Walnuss) mit Kappung*; **C)** *Sorbus torminalis* L. Crantz (Elsbeere) & **D)** *Sorbus domestica* L. (Speierling) mit gekrümmter bzw. gedrehter Wurzel. Alle vier Arten würden in ihrer natürlichen Form bereits im ersten Jahr eine lange nach Möglichkeit durchgehende Pfahlwurzel entwickeln. Fotos: Goldenberg 2022.

* Hier wurde vor der Pflanzung nachgeschnitten, um eine saubere Wunde und damit bessere Wundheilung herbeizuführen (D. Dujesiefken, persönl. Mitteilung, 19.12.22).

Sollen Probleme bei der Pflanzung minimiert werden, sind verschiedene Faktoren zu beachten. Entscheidend sind: eine fachgerechte Anzucht, Handhabung, Pflanztechnik und anschließende Pflege (Nörr und Baumer 2002; Werners 2016). Zudem spielt die Qualität des Pflanzgutes sowie die Wahl der Baumart eine Rolle (Ammer und Mosandl 2007). Alle Faktoren zusammen haben ihren Preis in Form von Wissen, Arbeitszeit, finanziellem Aufwand und benötigter Fachkraft.

2.2 Die Direktsaat von Gehölzen als Alternative zur Pflanzung

Die Vorgehensweise der Direktsaat orientiert sich am natürlichen Weg der Waldentwicklung, der sogenannten *Naturverjüngung* (Bartsch et al. 2020). Die *Verjüngung* bezieht sich dabei auf das Einbringen neuer Bäume (als Pflanze oder Samen) in Bestände, aus denen zuvor nur einzelne Altbäume entnommen wurden. *Aufforstung* hingegen bezieht sich auf die Etablierung von Baumbeständen auf Flächen, die zuvor kein Wald waren. Dies können Brachflächen oder ehemalige Bergbaugelände sein (Helms 1998). Dazu gehört auch die *Wiederaufforstung*. Diese beschreibt die Etablierung eines neuen Bestandes auf Flächen die vorher Wald waren und einer massiven Störung wie z. B. einer Rodung, Feuer oder Windwurf zum Opfer fielen (Dey et al. 2008).

Mit der Entstehung von Baumschulen und der Möglichkeit, die Aufzucht unter kontrollierbaren Bedingungen durchzuführen, änderte sich die Technik des Waldbaus. Die Direktsaat verlor an Popularität und das Pflanzen von Jungbäumen setzte sich als gängige Praxis durch (Grossnickle und Ivetic 2017). Heutzutage gewinnt die ursprüngliche Technik im Bereich des Waldbaus und der

Waldökologie jedoch wieder zunehmend an Interesse. Durch die massiven Bestandsverluste aufgrund von Abholzung und den Folgen des Klimawandels spielt die Direktsaat zunehmend wieder eine Rolle. Unter den richtigen Bedingungen sehen Grossnickle und Ivetić (2017) sowie Löffel et al. (2019) in ihren systematischen Übersichtsarbeiten diese als vernünftige Alternative und/oder Ergänzung zur Pflanzung. Sie merken jedoch an, dass die vielen Einflussvariablen eine genaue Vorhersage des Erfolgs erschweren. Dies resultiert stets in einer Unsicherheit, ob sich mit der gewählten Baumart an einem bestimmten Standort zu einem bestimmten Zeitpunkt ein besserer Erfolg versprechen lässt als dies bei einer Pflanzung der Fall wäre (Balandier et al. 2009).

Zudem betonen Dey et al. (2008) die Bedeutung der korrekten Ausführung für eine erfolgreiche Direktsaat. Es gilt zu beachten, dass sich in den gemäßigten Breiten und spezifisch für Laubhölzer der Großteil der wissenschaftlichen Arbeiten mit Eichen (*Quercus*) befasst (Aizen und Woodcock 1996; Gómez 2004; Quero et al. 2007; Moreno und Franco 2013). Viel Erfahrung beruht ebenfalls auf dem Umgang mit Nadelhölzern (Coniferales), besonders mit den Gattungen der Kiefer (*Pinus*) und Fichte (*Picea*) (Wennström et al. 2007; Kankaanhuhta et al. 2009; Huth et al. 2017). Eine direkte Übertragung von einer Art auf eine andere ist dabei nicht ohne Weiteres möglich (Grossnickle und Ivetić 2017).

2.2.1 Vorteile der Direktsaat von Gehölzen

Vorteile bietet die Direktsaat insbesondere aufgrund der geringen Kosten (siehe Tab. 1) (Owston et al. 1992; Banda et al. 1994; Jögiste et al. 2016). Im Vergleich zur Pflanzung wird weniger Personal, Material, Ausrüstung und Transportkapazität benötigt (Palmerlee und Young 2010; Grossnickle und Ivetić 2017). Dabei ermöglicht das Aufforsten von landwirtschaftlichen Flächen im Vergleich zu ehemaligen Waldbeständen eine noch einfachere Möglichkeit die Kosten zu senken. Aufgrund der leichten maschinellen Flächenvorbereitung, Beikrautkontrolle und Aussaat vereinfacht sich diese auf Acker-, Grün- oder Brachland (Bullard et al. 1992; Hallett et al. 2014). Dies würde entsprechend auch der Etablierung von Agroforstsystemen zugutekommen.

Ein weiterer wichtiger Vorteil ist das ungestörte und an den Standort angepasste Wurzelsystem gesäter Bäume. Durch Aufzucht und Pflanzung entstehende Wurzeldeformationen werden ebenso wie ein Pflanzschock vermieden. Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Probleme der Standfestigkeit und Trockenheit bei der Pflanzung können so reduziert werden. Tendenziell können die gesäten Gehölze eine höhere Resilienz sowie eine bessere Holzqualität, Verankerung und Wasserversorgung zeigen (Lindström und Rune 1999; Palma und Laurance 2015; Bartsch et al. 2020). Der letzte Aspekt spielt insbesondere unter trockenen Klimabedingungen eine bedeutende Rolle. Cubera et al. (2009) vermuten, dass die tiefer reichende Pfahlwurzel von gesäten Eichen einerseits zu einer besseren Wasserversorgung, andererseits zu weniger Konkurrenz mit anderen Pflanzen führt. Sie konnten für gesäte Steineichen (*Quercus ilex* L.) Wurzeltiefen von bis zu 150 cm im ersten Jahr beobachten.

Einige Autoren berichten ebenfalls von besseren Wuchsergebnissen in Form von Biomasse und Höhe bei gesäten Bäumen. Aus Italien ist ein Versuch mit der Echten Walnuss bekannt, bei dem die Direktsaat der Pflanzung mit wurzelnackter bzw. getopfter Ware gegenübergestellt wurde (Ciccarese 1998). Nach vier Jahren zeigten die direkt gesäten Jungbäume im Vergleich mit den gepflanzten Exemplaren deutlich bessere Ergebnisse, u. a. in der Höhe und im Dickenwachstum. Durch ein schnelleres Höhenwachstum konnten die per Direktsaat ausgebrachten Walnussbäume den initialen

Höhennachteil, trotz des um ein Jahr verschobenen Starts, vollständig ausgleichen. Bei Feldversuchen von Ammer und Mosandl (2007) konnten die gesäten Exemplare von Fichten (*Picea spp.*) die gepflanzten Jungbäume in der Sprosshöhenentwicklung sogar überholen. Hingegen fanden Watson und Tombleson (2002) auf lange Sicht keine Unterschiede in Bezug auf Baumhöhe und Brusthöhendurchmesser² zwischen gesäten und gepflanzten Kiefern.

Neben dem Wurzelwerk kann sich beim Säen auch der restliche Phänotyp der Pflanze an die vorherrschenden Bedingungen des Standorts anpassen (Bärtels 2008). Bei einer breiteren Auswahl an Erbmaterial aufgrund mehrerer Samen wird sich zudem mit hoher Wahrscheinlichkeit, der am besten angepasste Samen durchsetzen. Weiterhin kann die Direktsaat bei großen und abgelegenen Gebieten eine einfache und schnelle Möglichkeit des Bestandsaufbaus darstellen (Owston et al. 1992; Banda et al. 1994). Darüber hinaus verringert sich die Gefahr, Krankheiten aus der Baumschule auf seine Flächen zu verschleppen (Williams und Funk 1979; Grünwald et al. 2012). Zusätzlich besteht beim späteren Ausdünnen der eigenen Flächen die Möglichkeit, anfallendes Pflanzgut zu gewinnen (Werners 2016). Zu guter Letzt ist die Direktsaat insbesondere auch für komplexere Systeme wie z. B. Hecken geeignet, wo das Ziel von Beginn an eine hohe Arten- und Strukturvielfalt auf engem Raum ist (Twedt und Wilson 2002).

Tab. 1: Vor- und Nachteile bei der Direktsaat von Gehölzen. Die genannten Vor- und Nachteile können stark variieren. Sie sind insbesondere vom Standort und dem Bezugsobjekt abhängig. Beispielsweise kann eine fachkundige Pflanzung einen Teil der Vorteile minimieren und eine Direktsaat muss nicht immer zwangsläufig ein besseres Wachstum zeigen (Watson und Tombleson 2002).

Vorteile der Direktsaat	Nachteile der Direktsaat
kosten- und zeiteffizient	Zeit- und Kostenaufwand wird nach hinten verlagert
Entwicklung eines ungestörten Wurzelsystems sowie ausbleibender Pflanzschock	sensible Samen- und Sämlingsphase kann schlechter vor Umweltfaktoren wie Prädation, Beikraut und Witterung geschützt werden
bestmögliche Verankerung und Wasserversorgung	erhöhtes Risiko eines Fehlschlags
höhere Resilienz des Jungbaumes gegen negative Umweltfaktoren	erhöhter Aufwand bei Beikrautkontrolle und Ausdünnung
besseres Wachstum	setzt ein gewisses Know-how über die richtige Handhabung, Ausführung und Pflege voraus
keine Verschleppung von Krankheiten aus der Baumschule	benötigt hohe Mengen an Saatgut
geeignet für größere Flächen	verzögerte Ernte
benötigt geringe Transportkapazitäten	geringere psychologischer Wirkkraft für das Auge

² Der Stammdurchmesser gemessen auf einer Höhe von 130 cm in Europa bzw. 137 cm in Nordamerika (Kramer und Akça 2002).

2.2.2 Nachteile der Direktsaat von Gehölzen

Im Vergleich zur Pflanzung wird der Zeit- und Arbeitsaufwand nach der Direktsaat (z. B. in Form von Beikrautkontrolle und Ausdünnen) auf einen späteren Zeitpunkt und z. T. längeren Zeitrahmen verlagert (siehe Tab. 1) (Löf et al. 2019). Weiterhin ist ein gewisses Know-how über die richtige Handhabung, Ausführung und Pflege von Direktsaaten erforderlich (Dey et al. 2008; Werners 2016). Der bereits angesprochene Vorteil der Baumschulpflanzen (bereits über die sensible Samen- und Sämlingsphase hinausgewachsen zu sein) ist einer der großen Nachteile der Direktsaat. Dieser kommt insbesondere an frostgefährdeten, stark von Beikraut bewachsenen und von Prädatoren frequentierten Standorten zur Geltung (Aizen und Woodcock 1996; Werners 2016; Löf et al. 2019). Auch bei ungünstigen Feuchtigkeitsverhältnissen tritt er zutage. Aufgrund der unsicheren Faktoren ist im Gegensatz zur Pflanzung das Risiko eines Fehlschlags höher. Allerdings kann dieser z. B. durch eine Anpassung in der Saatkichte reduziert werden (Wang 2020).

Die Erhöhung der Saatkichte setzt jedoch eine hohe Verfügbarkeit von Saatgut voraus. Dabei ist der massive Verbrauch von Samen ein weiterer Nachteil der Direktsaat. Diese benötigt generell einen dichteren Besatz und hat im Vergleich zur Pflanzung eine deutlich höhere Ausfallrate pro gesetzten Samen (Palmerlee und Young 2010; Palma und Laurance 2015). Bei hohen Saatgutpreisen und hohen Ausfallraten kann die Direktsaat dadurch teurer sein als die Pflanzung (Willoughby 2004b). Weiterhin herrschen aufgrund der anhaltenden Trockenheit und Hitze bereits Engpässe bei bestimmten Forstpflanzen, sowohl beim Saatgut als auch bei den Bäumen (Gerhard et al. 2019). Darüber hinaus kann der psychologische Aspekt eine Rolle spielen. Werden bereits gewachsene, größere Pflanzen aus der Baumschule in ein neues System gesetzt, so erhält der Betrachter sofort ein visuelles Ergebnis und schneller den Eindruck eines Erfolgs (A. Gattinger, persön. Mitteilung, 22.11.22). Bei der Direktsaat hinkt man dieser Tatsache einige Jahre hinterher. Analog dazu lässt zudem die potenzielle Ernte von Produkten länger auf sich warten.

Schlussendlich gilt es für jeden Standort individuell zu bestimmen, ob die Direktsaat hier von Vor- oder Nachteil ist. Entscheidende Faktoren sind das Klima, der Boden sowie das Vorkommen bestimmter Tiere und Pflanzen. Zudem eignen sich manche Gehölzarten besser als andere, sodass auch immer die Wahl der Baumart eine Rolle spielt (Ammer und Mosandl 2007).

2.2.3 Der Samen

Bärtels (2008) definiert einen Samen als „ein der Arterhaltung und -verbreitung dienendes komplexes Organ einer Samenpflanze (Spermatophyta)“. Dieser besteht vereinfacht aus einem Keimling (Embryo), einer Samenschale (Testa) und häufig einem Nährgewebe (Endosperm oder Perisperm). Der Keimling setzt sich aus einem Vegetationskegel (Apex), der die Spitze des Sprosses bildet, dem Keimblatt bzw. den Keimblättern (Kotyledonen) und der Keimwurzel (Radicula) zusammen. Samen der Bedecktsamer (Angiospermae) sind für die Verbreitung von einer Fruchtwand (Perikarp) umgeben; die gesamte Verbreitungseinheit wird als *Frucht* bezeichnet. Oftmals kann das, was umgangssprachlich Samen genannt wird, eine *Nuss(frucht)* sein. Dies ist z. B. bei den Gattungen der Walnuss (*Juglans*) und Hasel (*Corylus*) der Fall. Nüsse definieren sich als Schließfrüchte, bei denen alle drei Schichten des Perikarps verholzen und einen Samen im Inneren umschließen. Andere Früchte können Steinfrüchte (z. B. bei *Prunus*) und Apfelfrüchte (z. B. bei der Mehlbeere (*Sorbus*) oder beim Apfel (*Malus*)) sein. Bei diesen verholzen nicht alle Schichten der Fruchtwand; sie werden stattdessen fleischig oder saftig. In diesem Fall ist häufig nicht der Samen selbst das Ziel von

Prädatoren (wie es bei den Nüssen der Fall ist), sondern bevorzugt das diesen umgebende Fruchtfleisch³ (Kadereit et al. 2014). Im Gartenbau sowie der Land- und Forstwirtschaft wird öfters übergreifend von *Saatgut* gesprochen. Dieser Begriff wird ebenso in dieser Arbeit verwendet, sowohl für die Samen als auch für die Nussfrüchte.

Für eine optimale Keimung benötigt ein Samen ein bestimmtes Maß an Feuchtigkeit, Sauerstoff, Wärme und Licht (Bärtels 2008). Durch die Aufnahme von Wasser quillt der Samen und schwemmt ggf. vorhandene Hemmstoffe aus. Gleichzeitig steigt die Atmung, weshalb das den Samen umgebende Keimbett ausreichend Luft zur Verfügung stellen muss (Bärtels 2008). Die Keimwurzel schiebt sich aus der Samenhülle entsprechend der Schwerkraft nach unten (negativer Gravitropismus) und beginnt Wurzelhaare für die weitere Wasser- und Nährstoffversorgung sowie für die Verankerung im Boden zu bilden. Daraufhin streckt sich bei den meisten Pflanzen das Hypokotyl, der Abschnitt zwischen Keimblatt und Keimwurzel, und wächst mit den Keimblättern bis über die Erdoberfläche hinaus (positiver Gravitropismus). Dies ist die *epigäische Keimung*. Hier beginnen die Kotyledonen mit der Bildung von Chlorophyll und werden fotosynthetisch aktiv. Beispiele sind die Gattungen *Prunus*, *Malus* und *Sorbus*. Als evolutionäre Weiterentwicklung wird die *hypogäische Keimung* bezeichnet. Bei dieser verbleiben die Keimblätter unterhalb der Erdoberfläche und erst die Primärblätter beginnen mit der Fotosynthese. Beispiele hierfür sind Arten von *Juglans* und *Corylus* (Bärtels 2008; Kadereit et al. 2014). Bis die fotosynthetisch aktiven Organe ihre Arbeit aufnehmen, vermittelt das Endosperm die Nährstoffversorgung des Keimlings. Dies geschieht entweder durch Speicherstoffe aus dem Endosperm selbst (Kohlenhydrate, Proteine, Lipide) oder durch Speicherstoffe aus den Keimblättern (z. B. bei *Juglans*) (Kadereit et al. 2014).

Mit diesem Prozess beginnt der Embryo im Samen seine Entwicklung hin zu einer komplexen Pflanze. In diesem Stadium wird vom *Keimling* gesprochen. Mit der Ausbildung der Keimblätter von einem *Sämling*, später von einem *Setzling*, *Schössling* oder *Jungbaum* (Bärtels 2008; Bartsch et al. 2020).

2.2.4 Das Saatgut von Gehölzen

Die korrekte Saatgutgewinnung und -weiterverarbeitung stellen die Grundlage für das Säen von gesunden und produktiven Bäumen dar. Dabei ist es essenziell, auf eine für den entsprechenden Standort und das entsprechende Vorhaben angepasste Genetik zu achten. Zudem muss das Saatgut zur richtigen Zeit geerntet, weiterverarbeitet und bis zur Aussaat korrekt gelagert werden (Grossnickle und Ivetić 2017).

Herkunft und Eigenschaften des Saatgutes

Für eine erfolgreiche Direktsaat von Gehölzen spielen sowohl die allgemeinen genetischen Eigenschaften als auch die geografische Herkunft (Provenienz) der Samen eine zentrale Rolle. Bestimmte Standorttypen können aufgrund ihrer Anpassung an vorherrschende Standortfaktoren

³ Obwohl das Fruchtfleisch im Fokus der meisten Prädatoren steht, können ebenfalls die Samen der Stein- und Apfelfrüchte konsumiert werden (Brohmer und Schaefer 2017). Auch Abwehrstoffe wie z. B. Amygdalin können keinen vollständigen Schutz bieten (Bolarinwa et al. 2015).

einen vorteilhafteren Wuchs zeigen als andere. Dies kann sich beispielsweise in einer erhöhten Trockenheitstoleranz oder Frosthärte widerspiegeln (Bärtels 2008; Dey et al. 2008). Die Wichtigkeit der Genetik beweist auch das *Forstvermehrungsgutgesetz* (FoVG)⁴. Dieses erlaubt das Sammeln von Saatgut zur Gewinnung von forstlichem Vermehrungsgut nur in zertifizierten Baumbeständen (BMEL 2002). Das Sammeln aus Anlagen mit einer Vielzahl von Bäumen gewährleistet eine genetische Variabilität und damit eine mögliche Anpassung an unterschiedliche Standortfaktoren (Wennström et al. 2007; Ivetić et al. 2016). Mehr Informationen zum FoVG sind am Ende des Kapitels zu finden. Gerade bei Werthölzern sind zusätzlich zu den bereits genannten allgemeinen Eigenschaften Geradschaftigkeit, Holzqualität und Dickenwachstum wichtig (Brix et al. 2009; Johnson et al. 2009).

Speziell für die Direktsaat sollte das Saatgut laut Schmidt (2008) in seinen genetischen Eigenschaften besonders stress- und schattentolerant sein sowie v. a. anfangs ein schnelles Wachstum und eine zügige Etablierung zeigen. Dies gilt insbesondere, wenn das Beikrautmanagement zurückgestellt wird. Innerhalb eines Individuums oder einer Art eignet sich größeres bzw. schwereres Saatgut tendenziell mehr für eine Direktsaat als leichteres. Camargo et al. (2002) und Hooper et al. (2002) vermuten, dass der größere Nährstoffspeicher bessere Überlebenschancen und ein schnelleres Wachstum fördern könnte. Parratt und Jinks (2013) sowie Souza Gomes Guarino und Scariot (2014) machen allerdings auf den Nachteil der erhöhten Prädation aufmerksam, dem schwereres Saatgut unterliegen kann. So wie es Unterschiede in den Samen innerhalb eines Individuums und einer Art gibt, existieren auch interspezifische Differenzen. Pandey und Prakash (2014) vermuten, dass sich Arten der späten Sukzession - sogenannte Klimaxarten - besser für die Direktsaat eignen als solche der frühen Sukzession (Pionierarten). Letztere punkten mit schnellem Wachstum und einer hohen Anzahl an Samen. Sie können jedoch aufgrund von weniger Reservestoffen und einem teilweise höheren Lichtbedarf gegenüber den Klimaxarten auf lange Sicht benachteiligt sein (Bartsch et al. 2020). Andererseits können wiederum kleine Samen infolge ihrer geringeren Anfälligkeit für Austrocknung Vorteile zeigen und bei einem ungünstigen Saatbett besser in den Boden vordringen (Khurana und Singh 2001; Pandey und Prakash 2014). Welcher Samen welcher Sorte oder Art am Ende Erfolg hat, hängt folglich ebenso von den vorherrschenden Standortbedingungen ab (Palma und Laurance 2015; Grossnickle und Ivetić 2017).

Sammeln und Weiterverarbeiten des Saatguts

Manche Samen müssen nach dem Sammeln und vor einer Weiterverarbeitung vom Fruchtfleisch oder Fruchtblättern getrennt werden (z. B. *Malus* und *Sorbus*). Dies dient einerseits dem handlicheren Umgang beim Aussäen, andererseits werden so ggf. keimhemmende Stoffe entfernt (Bärtels 2008). Weiterhin ist die Qualität des Saatguts zu überprüfen und vertrocknete oder befallene Samen sind zu entfernen. Dies kann bei manchen Arten mithilfe der Dichte durch einen Schwimmtest erfolgen (Bonner 1987). Dabei schwimmt Saatgut von minderer Qualität an der Oberfläche und das von höherer sinkt. Dieser Test ist jedoch keine hundertprozentige Garantie, da auch aufschwimmende

⁴ Forstvermehrungsgutgesetz vom 22. Mai 2002 (BGBl. I S. 1658), zuletzt durch Artikel 414 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert.

Samen noch keimfähig sein können (Gardiner 2001). Nach der Reinigung des Saatguts kann dieses, falls nötig, gegen Pilzkrankheiten behandelt werden. Beispiele hierfür sind die Thermotherapie oder Fungizide (Bärtels 2008).

Im nächsten Schritt müssen viele Gehölzsamen einer Stratifikation unterzogen werden. Diese sorgt dafür, dass die nach der Samenreife bestehende Keimruhe (Dormanz) gebrochen wird. Diese natürlich vorhandene Schutzfunktion verhindert, dass der Embryo zu früh, z. B. im Herbst, auskeimt und im Winter erfriert (Bärtels 2008). Die Dormanz kann in eine äußere (exogene) und eine innere (endogene) unterteilt werden. Exogene Faktoren können beispielsweise die verstärkte Wasserundurchlässigkeit der äußeren Samenschale (z. B. bei *Prunus*, *Juglans* und *Corylus*) oder keimhemmende Stoffe im Fruchtfleisch (z. B. bei *Sorbus* und *Malus*) sein. Endogene Faktoren betreffen immer den Embryo, der unterentwickelt sein oder sich in einem ruhenden Zustand befinden kann (Bärtels 2008). Die genannten Faktoren können ebenfalls kombiniert auftreten (doppelte Keimruhe) und ebenso nach Abbau der Dormanz kann diese als sekundäre Keimruhe erneut auftreten. Ein typisches Beispiel für Letztere stellt die Baumhasel dar, die häufig zum Überlagern⁵ neigt (Seho et al. 2016).

Um die Keimruhe abzubauen, werden die Samen je nach Art einer Warm-Nass-Behandlung (Warmstratifikation), einer Kalt-Nass-Stratifikation (Kaltstratifikation) oder einer Kombination aus beiden unterzogen. Für die Arten unserer Breiten (mit kalten Wintern) spielt besonders die Kaltstratifikation eine Rolle (z. B. bei *Sorbus spp.* oder *Corylus spp.*), teilweise auch die Kombination mit Wärme (z. B. bei *P. avium*) (Kausch-Blecken von Schmeling 1992; Iliev et al. 2012). Ebenfalls findet das vorherige Wässern des Saatguts Anwendung, das den Prozess der Wasseraufnahme in den Samen beschleunigt. *J. regia* erzielt beispielsweise alleine hierdurch ohne den Einfluss von Kälte sehr gute Keimergebnisse (Lamichhane et al. 2021).

Für die Stratifikation wird das Saatgut mit einem Medium wie z. B. Sand, Torf oder Perlit vermischt. Dieses sorgt für eine optimale Feuchtigkeits- und Sauerstoffversorgung. Weiterhin dient das Substrat als Puffer für Temperaturschwankungen und vermindert die Ausbreitung von Pilzinfektionen (Bärtels 2008). Das Brechen der Keimruhe kann sowohl unter natürlichen als auch unter künstlichen Bedingungen stattfinden. Sollen die Samen direkt nach der Ernte ausgesät werden, übernimmt die Witterung das Aufheben der Keimruhe. Mit kontrollierten Bedingungen im Kühlhaus ist hingegen der Zeitpunkt der Keimung genauer zu bestimmen, weshalb dies in Baumschulen die Regel darstellt (Bärtels 2008). Allerdings wurden noch nicht für alle Gehölzarten die besten Stratifikationsbedingungen herausgefunden, sodass z. B. für die Baumhasel die Herbstsaat im Freien immer noch die höchste Keimrate ermöglicht (Seho et al. 2016). Bei Speierling und Elsbeere ist es umgekehrt. Hier werden mit der künstlichen Stratifikation deutlich bessere Ergebnisse erzielt als unter Freilandbedingungen (Kausch-Blecken von Schmeling 1992). Anhang A. Tab. I bietet eine Übersicht über die Keimbedingungen der in dieser Arbeit verwendeten Gehölzarten.

⁵ *Überlagerung* bedeutet, dass die Nüsse nicht im ersten Jahr, sondern erst im Jahr darauf oder noch später keimen.

Das Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG)

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, unterliegt für forstliche Zwecke vorgesehene Vermehrungsgut (Saatgut und Pflanzenteile) dem FoVG. Ziel des Gesetzes ist es laut BMEL (2002) nur hochwertiges und identitätsgesichertes Vermehrungsgut mit genetischer Vielfalt in Umlauf zu bringen und somit die Leistungsfähigkeit der Wälder zu erhalten. Waldbauarten, die unter das FoVG fallen und für Agroforstsysteme von besonderem Interesse sind, sind u. a. die Esskastanie (*Castanea sativa* MILL.), die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.), die Wildkirsche und die Gattung der Pappeln (*Populus*) (BMEL 2002).

Der eigentliche Geltungsbereich des Gesetzes ist auf den Wald beschränkt, womit laut Bundeswaldgesetz⁶ landwirtschaftliche Flächen ausgenommen sind. Allerdings beschloss 2019 der gemeinsame Gutachterausschuss (gGA) der Länder, das FoVG allgemein überall dort anzuwenden, wo der Anbau forstlichen Zwecken dient. Kurzumtriebsplantagen (KUP) für Energieholz sind damit explizit eingebunden; mit der Begründung, dass sich daraus ein Wald entwickeln könne (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) 2019). Agroforstsysteme sind nach aktuellem Stand der bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF Bayern) nicht Teil dieser Regelung (H. Borchert, persön. Mitteilung, 23.05.23). Als Antwort auf eine Nachfrage beim BLE, äußerte dieses jedoch die Vermutung, dass die Regelung ebenso generell für Wertholz-Agroforstsysteme gelten sollte (J. Henrich, persön. Mitteilung, 22.05.23). Auch laut Hübner et al. (2020) ist in Zukunft zu erwarten, dass (Wertholz-)Agroforstsysteme unter das FoVG fallen werden. Für verschiedene Förderungen, wie z. B. der *Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes* (GAK) ist das Verwenden von Saatgut nach dem FoVG bereits heute eine bestehende Voraussetzung (H. Borchert, persön. Mitteilung, 23.05.23).

2.2.5 Risiken bei der Direktsaat von Gehölzen

Der Entwicklung vom Samen bis zum ausgewachsenen Baum stehen viele Hindernisse und Gefahren im Weg. Noch vor der eigentlichen Aussaat ist die Wahl der richtigen Baumart zu treffen. Diese sollte sich danach richten, welche Arten generell für eine Direktsaat geeignet sind. Daneben ist auch die Frage wichtig, welche Arten auf der Saatfläche überhaupt standortgerecht sind (Alfter et al. 2021). Der Standort ergibt sich aus allen abiotischen (z. B. Wasserhaushalt, Temperatur, Boden) und biotischen (z. B. Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen) Umweltfaktoren (Werners 2016; Grossnickle und Ivetić 2017). Diesen sind das Saatgut und die Jungpflanzen nach der Aussaat kontinuierlich ausgesetzt (Wasem und Häne 2006). Alle Faktoren variieren in ihrer Wichtigkeit und Intensität, je nachdem, in welcher Entwicklungsstufe sich die Pflanze befindet. So spielt die konkurrierende Begleitvegetation lediglich im Sämlings- und Jungpflanzenstadium eine außerordentliche Rolle. Prädatoren können in allen Lebensphasen Schäden anrichten, haben ihren größten Einfluss jedoch ebenfalls in der Anfangsphase. Gleiches gilt für einen Wassermangel. Befindet sich der Samen in der Keimruhe, spielt Trockenheit bei den meisten Arten praktisch keine

⁶ Bundeswaldgesetz vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt durch Artikel 112 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert.

Rolle. Das Gegenteil stellt der keimende Samen dar, bei dem ausreichend Wasser existenziell ist (Bärtels 2008). Die folgenden Abschnitte behandeln die wichtigsten Risiken. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus dabei insbesondere auf der Saatgut- und Sämlingsphase.

Art- und Standortwahl

Wie bereits erwähnt, spielt für große und nährstoffreiche Samen wie z. B. Eicheln oder Bucheckern die Prädation eine entscheidende Rolle. Standorte mit der Nähe zu Habitaten von Fraßfeinden können das Gelingen eines Versuchs schmälern und bis hin zu einem Totalausfall führen (Farlee 2013). Löff et al. (2019) benennen hier Flächen mit bereits vorhandener Baum- oder Strauchstruktur, mit Nähe zu Waldrändern und generell Kahlfleichen im Wald mit unter 1-2 ha Größe. Allgemein gilt, dass die Prädation mit zunehmender Vegetationshöhe- und -dichte steigt (Mittelbach und Gross 1984; Villalobos et al. 2020).

Auch in der Verträglichkeit von Schatten unterscheiden sich Gehölzarten. Die Sämlinge lichtbedürftiger Baumarten wie z. B. die des Speierlings oder der Wildkirsche vertragen offene Flächen recht gut, haben jedoch im Gegenzug zu kämpfen, wenn die Beschattung durch Beikräuter zu hoch ist (Werners 2016). Gehölze, die zumindest in der Jugend schattentoleranter sind (z. B. die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) und viele Eichenarten) können die Lichtreduktion durch Altbäume oder die Begleitvegetation besser vertragen und von dieser möglicherweise profitieren (Grossnickle und Ivetić 2017). Bei spätfrostgefährdeten Standorten kann der Schirm von älteren Gehölzen oder Beikräutern einen positiven Effekt auf sensible Arten haben (Werners 2016). Wichtig für die Direktsaat ist weiterhin der Boden, der die Auswahl der Arten weiter einschränkt (Grossnickle und Ivetić 2017). Es gilt vorab zu klären, ob die vorgesehene Art mit Faktoren wie dem Bodentyp, pH-Wert und dem Wasser- und Nährstoffangebot zurechtkommt.

Wie stark das Gelingen von der Art abhängig ist, stellen Alfter et al. (2021) in einer Übersicht über Direktsaatversuche in der Schweiz dar. Dabei zeigten insbesondere Eiche, Walnuss und Edelkastanie zufriedenstellende bis sehr gute Ergebnisse. Weißtanne (*Abies alba* MILL.), Fichte, Arve (*Pinus cembra* L.), Buche und Vogelbeere (*Sorbus aucuparia* L.) konnten hingegen nur schlechte bis mittelmäßige Ergebnisse erzielen. Allerdings merken die Autoren an, dass z. T. ebenso bei den gut abschneidenden Samenarten einzelne Misserfolge auftraten.

Beikrautvegetation

Die ober- und unterirdische Konkurrenz durch die Beikräuter stellt einen der großen Einflussfaktoren für das Gelingen der Direktsaat dar (Grossnickle 2000; Willoughby 2004a). Dabei geht es insbesondere um Wasser, Licht, Nährstoffe und Platz (Richardson et al. 1996; Willoughby 2004a). Gemäß Balandier et al. (2006) muss deshalb vor einer Direktsaat unweigerlich die (möglicherweise vorhandene) Begleitvegetation entfernt werden; andernfalls sind die Erfolgchancen gering. Meistens ist es von Vorteil, wenn die Beikrautbekämpfung zusätzlich auch nach der Aussaat noch mehrmals erfolgt (Werners 2016). Kritisch ist ein Überwachsen der Bäume, wodurch es zu einem Mangel an Raum und Licht kommt. Weiterhin wird durch die Transpiration der Begleitpflanzen der Wassergehalt im Boden gemindert (Yunusa et al. 1995). Mehrjährige Grasartige (Poales), insbesondere die Familien der Poaceae (Süßgräser), der Cyperaceae (Sauergrasgewächse) und der Juncaceae (Binsengewächse) stellen - quasi als Gegenstück zu den Gehölzen - die größte Konkurrenz dar (Balandier et al. 2009).

Unter gewissen Umständen kann die Begleitvegetation aber auch einen Vorteil bieten. Einerseits kann sie optischen Schutz vor Prädatoren liefern, andererseits kann sie sich positiv auf das Mikroklima auswirken und gegen Spätfröste helfen (Grossnickle 2000; Balandier et al. 2009). Gründüngungen haben die Fähigkeit, andere Begleitpflanzen zu unterdrücken und den Boden gegen Erosion zu schützen (Balandier et al. 2009; Wiström et al. 2018). Weiterhin können sie einen positiven Einfluss auf das System *Boden* (z. B. Bodenleben, Bodengesundheit, Temperatur, Nährstoffhaushalt usw.) ausüben (Xiong et al. 2013; Castellano-Hinojosa und Strauss 2020; Jayaraman et al. 2021). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass die jungen Gehölze und der Boden von der Beschattung profitieren (Bellot 2002).

Schutz vor Beikräutern

Die Konkurrenzvegetation kann durch verschiedene Methoden wie Bodenbearbeitung, Mulchen, Herbizide, Jäten oder thermische Verfahren entfernt werden (Bärtels 2008; Schmidt 2008). Für die mechanische Bodenbearbeitung stehen diverse Geräte wie Pflug, Grubber, Striegel oder Hacke zur Verfügung. Darüber hinaus ist das klassische Jäten per Hand möglich. Die Bodenbearbeitung kann gut mit der Vorbereitung des Saatbetts kombiniert werden (Mößmer 2018). Der Einsatz von Herbiziden erfordert eine zeitliche Abstimmung, andernfalls kann dieser sich negativ auf die Gehölzpflanzen ausüben (Willoughby 2004b). Weiterhin gilt es, die geltenden Vorschriften des Pflanzenschutzes zu beachten. Eine weitere Methode ist das vorherige Mulchen der Fläche, um den Pflanzen das Licht, die Luft und den Raum zum Wachsen zu nehmen (Ashworth und Harrison 1983; Granatstein und Mullinix 2008; Bajoriené et al. 2013). Die Auflage darf allerdings nicht zu hoch ausfallen, da mit steigender Dichte die Sauerstoffarmut zunimmt (Greenly und Rakow 1995). Auch Wiström et al. (2018) heben den Vorteil von Mulch hervor, stellen jedoch die Umsetzbarkeit auf größeren Flächen infrage. Pramanik et al. (2015) sehen insbesondere auf spätfrostgefährdeten Standorten eine weitere Schutzfunktion des Mulchs. Zu beachten ist jedoch gleichfalls die potenzielle Anziehung von Nagetieren und Wildschweinen (Dupraz und Liagre 2019). Laut den Erfahrungen von Granatstein und Mullinix (2008) konnte sich dies bei Experimenten im Obstbau hingegen nicht bestätigen. So sprechen die Autoren von einer durchgängigen Abwesenheit von Wühlmäusen (*Arvicolinae*)⁷ in Holzhäckseln. Des Weiteren kann die künstliche Bodenbedeckung durch die langsamere Erwärmung des Saatbetts die Keimung der Gehölzsamen verzögern. Neben den genannten Techniken kann auch eine abgestimmte Gründüngung die Etablierung unerwünschter Beikräuter unterdrücken (Balandier et al. 2009). Mit der fortschreitenden Entwicklung in der Agrartechnik und künstlichen Intelligenz darf in Zukunft auch mit neuen Techniken und Strategien gerechnet werden, die Beikräuter erkennen und selektiv ausschalten können (Partel et al. 2019).

Prädatoren

Aus dem Waldbau sind viele Risiken für das Saatgut bekannt, wobei die Prädation in nahezu allen wissenschaftlichen Untersuchungen eine herausragende Rolle spielt (z. B. Hewitt und Kellman 2004; Löffel et al. 2004; Wennström et al. 2007; Souza Gomes Guarino und Scariot 2014; Castro et al. 2015;

⁷ Hierzu gehören u. a. Feld-, Rötel- und Schermaus.

Leverkus et al. 2021). Die Samen sind aufgrund ihrer enthaltenen Nährstoffe eine wichtige Nahrungsquelle für viele Tiere. Prädatoren aus dem Reich der Tiere (Animalia) stellen insbesondere Arten folgender Klassen dar: Säuger (Mammalia), Vögel (Aves), Insekten (Insecta) und Schnecken (Gastropoda) (Pigot und Leather 2008; Brohmer und Schaefer 2017; Grimmberger 2017). Für das Saatgut und die Sämlinge stechen die Ordnungen der Nagetiere und der Paarhufer (Artiodactyla) hervor (Löf und Welander 2004; Johnson et al. 2009; van Ginkel et al. 2013). V. a. die letztgenannte gilt weiterhin als einer der Hauptverursacher für Schäden an Trieben, Knospen und Rinde von Gehölzen (van Ginkel et al. 2013). Auf beide Ordnungen wird im kommenden Kapitel separat eingegangen. Die Hasenartigen (Lagomorpha) mit dem Feldhasen (*Lepus europaeus* PALLAS) und dem Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus* LILLJEBORG) sorgen (zumindest im Waldbau) oft nur lokal und begrenzt für Schäden an den Pflanzen (Suchomel et al. 2019). Die Klasse der Vögel kommt ebenfalls als Prädatör für Samen und Sämlinge infrage. Bekannte Beispiele sind der Eichelhäher (*Garrulus glandarius* LINNAEUS) und die in der Landwirtschaft gut bekannte Saatkrähe (*Corvus frugilegus* LINNAEUS) (Gómez 2004). Weiterhin können Lungenschnecken (Pulmonata) sowie verschiedene Ordnungen von Insekten wie beispielsweise die Käfer (Coleoptera), Schmetterlinge (Lepidoptera) oder Hautflügler (Hymenoptera) für Ausfälle verantwortlich sein (Pigot und Leather 2008; Brohmer und Schaefer 2017).

Ob eine Tierart Schaden anrichtet, hängt davon ab, ob die Aussaat in dessen Habitat oder Aktionsradius stattfindet. So sind spezifische Wald- bzw. Offenlandbewohner oft nur dort und in den Übergangszonen der beiden Lebensräume anzutreffen. Weiterhin spielt der saisonale Faktor ebenso eine Rolle wie die Populationsdynamik (van Ginkel et al. 2013). Insbesondere im Winter, wenn das Nahrungsangebot begrenzt ist, werden viele Tiere gezwungen, auf alternative Nahrungsquellen umzusteigen (Wenk 2016).

Nagetiere (Rodentia)

Insbesondere für kalorienreiche Samen, Sämlinge und Jungbäume stellen Nagetiere eine bedeutende Gefahr dar. Die wichtigsten Familien sind dabei die Wühler (Cricetidae), die Langschwanzmäuse (Muridae) und die Hörnchen (Sciuridae) (Mittelbach und Gross 1984). Der allgemein gebrauchte Begriff „Mäuse“ umfasst im Folgenden sowohl die Langschwanzmäuse als auch die Wühlmäuse (Cricetidae), die beide zur Überfamilie der Mäuseartigen (Muroidea) gezählt werden. Auf Brachflächen und altem Ackerland finden sich z. B. die Erdmaus (*Microtus agrestis* LINNAEUS) und die Gemeine Waldmaus⁸ (*Apodemus sylvaticus* LINNAEUS), beide gehören zu den Langschwanzmäusen. Daneben können auf landwirtschaftlichen Flächen ebenfalls die bereits genannten Wühlmausarten Feldmaus (*Microtus arvalis* PALLAS) und Schermaus (*Arvicola terrestris* LINNAEUS) Schäden an Samen und insbesondere an den Sämlingen und Pflanzen (Triebe, Rinde, Wurzeln) verursachen. Laut Wenk (2016) ist das Gefährdungspotenzial für die Rinde von Gehölzen wie Eiche, Elsbeere, Speierling, Obstgehölzen (Apfel, Kirsche) und Schwarzem Holunder als mittel bis stark einzuordnen. Für andere Baumarten wie die Walnuss oder Hasel spricht er von „keiner bis

⁸ Entgegen ihrem Namen bevorzugt die Waldmaus eher offenere Habitate und weniger den Wald (Grimmberger 2017).

geringer“ Gefährdung. Die Rötelmaus (*Clethrionomys glareolus* SCHREBER) und die Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis* MELCHIOR) sind in gehölzreicheren Lebensräumen anzutreffen (Pérez-Ramos und Marañón 2008; van Ginkel et al. 2013; Wenk 2016). Flächen in Waldnähe oder mit verstreuten Einzelbäumen können darüber hinaus vom Eurasischem Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris* LINNAEUS) aufgesucht werden (Brohmer und Schaefer 2017). Dieses räubert v. a. Samen und ist somit granivor (Bosch und Lurz 2011). Bei Anwesenheit der strukturbewohnenden Nagetiere können die Prädationsraten bei Direktsaaten in Waldnähe entsprechend höher ausfallen als im Offenland (Johnson 1981; Gómez-Aparicio et al. 2004; Dey et al. 2008; Pérez-Ramos und Marañón 2008; van Ginkel et al. 2013). Auch weitere Habitate wie Gebüsche, Totholz oder Holzpolter (Holzlagerplätze) bieten Schutz und können den Fraßdruck durch Nagetiere erhöhen (Sluder 1965; Weber und van Sambeek 1988; Gómez 2004; Birkedal et al. 2009; Fiedler et al. 2021).

Nagetiere verfügen allgemein über einen exzellenten Geruchssinn, der es ihnen ermöglicht, sich zu orientieren und so ihre Beute ausfindig zu machen (Howard et al. 1968). Es gelingt den Tieren auch vergrabene Samen und Nüsse zu lokalisieren (Weber und van Sambeek 1988). Charakteristisch für die Nagetiere sind die vergrößerten Schneidezähne (*Nagezähne*), die oft spezialisiert auf das Aufbrechen hartschaliger Nahrung (z. B. Nussfrüchte) sind (Brohmer und Schaefer 2017). Eine Besonderheit v. a. bei den Mäuseartigen stellt die Populationsdynamik dar. Sie sind kurzlebige r-Strategen und zeigen somit hohe Reproduktionsraten. Weiterhin unterliegen sie starken zyklischen Schwankungen (Johnson et al. 2009). Ein hohes Nahrungsangebot, wie es z. B. in Mastjahren der Fall ist, sowie eine günstige Witterung (insbesondere trocken und mild) sind die besten Voraussetzungen für ein schnelles Wachstum (Wenk 2016). So kann beispielsweise bei der Feldmaus eine Populationsdichte von mehreren Tausend Individuen pro Hektar erreicht werden, was hohe wirtschaftliche Schäden in Land- und Forstwirtschaft verursachen kann (Imholt et al. 2009).

Paarhufer (Artiodactyla)

Die Paarhufer sind die zweite große Ordnung, die Schäden am Saatgut und insbesondere an den Jungbäumen verursachen kann (Niethammer und Duguy 1992; Wasem und Häne 2006; van Ginkel et al. 2013). Hierzu zählt die Familie der Hirsche⁹ (Cervidae) mit dem Europäischen Reh und dem Rothirsch sowie die Familie der Echten Schweine (Suidae) mit dem Wildschwein. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, z. B. in silvopastoralen Agroforstsystemen, kann auch die Familie der Rinderartigen (Bovidae) Schäden an den Pflanzen verursachen (Weber und van Sambeek 1988).

Von Hirschen und Wildschweinen ist bekannt, dass diese aktiv nach Nüssen und Sämlingen als Nahrungsquelle suchen, wobei Hirsche in der Prädation laut van Ginkel et al. (2013) nur eine untergeordnete Rolle spielen. Nach dem Sämlingsstadium fügen Wildschweine den jungen Gehölzen nur selten nennenswerte Schäden zu (Bartsch et al. 2020). Lediglich das großflächigere Wühlen im Boden zur Nahrungssuche - auch *Brechen* genannt - kann indirekt zu Problemen führen. Wildschweine können nach der Sämlingsphase sogar von Vorteil sein, da diese ebenso Mäuse und

⁹ Im Folgenden sind alle Arten aus der Familie der Hirsche gemeint, wenn von *Hirschen* gesprochen wird.

Schadinsekten fressen bzw. vertreiben (Werners 2016). Im Laubwald können sie die größte Bedrohung für Eicheln darstellen, im Nadelwald nehmen häufiger granivore Nagetiere die dominierende Rolle ein (van Ginkel et al. 2013).

Hirsche hingegen sind allgemein für den Verbiss von Jungpflanzen (Knospen, Blätter, Rinde und Triebe) in den Wäldern bekannt. Sie können dadurch extreme Schäden verursachen (van Ginkel et al. 2013; Werners 2016). Wird z. B. die Terminalknospe von ein- bis mehrjährigen Jungpflanzen gefressen, führt dies zu weniger Höhenwachstum, Qualitätsverlusten und einem buschigeren Habitus (Weber und van Sambeek 1988). Insbesondere für einen Wertholzbaum wäre dies ein bedeutender Schaden. Daneben spielt auch das sogenannte *Schälen* eine wichtige Rolle. Darunter wird das Abziehen der Rinde vom Stamm bezeichnet, was im schlimmsten Fall zum Absterben des Baumes führen kann. Besonders im Sommer, wenn das Kambium unter der Rinde frisch ist, können lange Streifen abgezogen werden. Weiterhin verursachen v. a. Rehe zusätzlich Schäden durch das *Fegen* (vgl. Abb. 12 F & G) von bereits verholzten, aber noch elastischen Gehölzpflanzen. Als Fegen wird das Abstreifen der alten Geweihhaut bezeichnet (Bang und Dahlström 2005). Zusätzlich wird durch Duftstoffe das Revier markiert (Weber und van Sambeek 1988). Hirsche und Wildschweine kommen überwiegend in Wäldern vor, können sich jedoch ebenso auf offeneres Gelände wagen (Brohmer und Schaefer 2017).

Schutz vor Prädatoren

Zur Grundlage für ein richtiges Prädatoren-Management gehört ein Monitoring der Flächen vor und nach der Aussaat. Dadurch lassen sich die größten Gefahrenquellen erkennen und eine Einschätzung über den Grad der Prädation auf der Fläche wird möglich (Löff et al. 2019). Schutzmaßnahmen sollten den vorkommenden Prädatoren und ihrer Abundanz angepasst werden. Je nach Stadium, in dem sich die Pflanze befindet, können unterschiedliche Strategien Anwendung finden. Dabei gilt es zu beachten, dass eine Technik, die in einer Phase Schutz verspricht, zu einem anderen Zeitpunkt das Gegenteil bewirken kann. Ein gutes Beispiel hierfür geben Smit et al. (2012) und van Ginkel et al. (2013) anhand von Eicheln bei der Naturverjüngung. Sie konnten zeigen, dass die Früchte in Laubwäldern unter Totholz praktisch keine Überlebenschancen haben. Im Kontrast dazu können sich Eichen-Sämlinge fast ausschließlich an Orten mit Totholz entwickeln. Dieses schützt in der Samenphase die Saatgut-Prädatoren vor Karnivoren. Später schützt das Totholz als physikalische Barriere die Jungbäume vor Verbisschäden. Folglich muss die Sicherung der Pflanze stets an die entsprechende Entwicklungsphase angepasst werden.

Am effektivsten ist laut Löff et al. (2019) eine Kombination mehrerer Methoden. Wichtig ist dabei stets, dass der Same oder die Pflanze selbst nicht durch die Anwendung beeinträchtigt werden (Grossnickle und Ivetić 2017). Weiterhin gilt es, auf Kosten, Zeit und Umsetzbarkeit zu achten. Ein übermäßiger Aufwand kann die Vorteile der Direktsaat zunichtemachen. Auch die Umweltverträglichkeit rückt immer mehr in den Vordergrund. Löff et al. (2019) unterteilen den Schutz des Saatguts und der Jungpflanzen in vier verschiedene Strategie-Typen. Sie differenzieren zwischen *chemischen*, *physikalischen*, *ökologischen* und *waldbaulichen* Maßnahmen. Im Folgenden werden die vier erörtert:

Chemische Strategien

Beim chemischen Ansatz werden Vergrämungs- oder Maskierungsmittel angewendet. Ein Vergrämungsmittel, auch Repellent genannt, schreckt Prädatoren ab, ohne sie zu töten (Schaefer

2003). Giftstoffe bzw. Fraßköder, die vorsätzlich zum Tode der Tiere führen, finden in Europa nur noch selten Anwendung. Sie stellen ebenso für Nicht-Zielorganismen eine Gefahr dar (Leukers und Jacob 2009). Als chemische Repellents für den Samen gelten beispielsweise Capsaicin oder Neem. Daneben gibt es auch die Möglichkeit, Duftstoffe von Fraßfeinden aufzutragen, um Beutetiere abzuschrecken (Villalobos et al. 2019). Weiterhin können Maskierungsmittel dabei helfen, den eigentlichen Geruch des Saatguts zu überdecken und somit als Schutz dienen. Laut Williams und Funk (1979) konnte beispielsweise frischer Kuhdung den Prädationsdruck bei Samen der Echten Walnuss reduzieren. Insbesondere die olfaktorisch arbeitenden Nagetiere reagieren sensibel auf intensive Gerüche (Howard et al. 1968). Laut Apfelbach et al. (2005) kann die Methode jedoch auch zu einem gegenteiligen Effekt führen. Wenn Prädatoren den Zusammenhang zwischen dem Saatgut und dem Geruch herstellen, kann dieser zum Lockstoff werden.

Die meisten Substanzen zeigen in ihrer Wirkung gemischte Ergebnisse. Ebenso ist eine Übertragung von einer Baumart auf die andere nicht ohne Weiteres mögliches (Löf et al. 2019). Laut Dey et al. (2008) benötigt der an sich vielversprechende Bereich der chemischen Vergrämungsmittel noch weiteren Forschungsbedarf, da viele untersuchte Stoffe zwar eine Wirksamkeit gegen die Prädation zeigen, in wirksamer Konzentration allerdings auch Nebeneffekte, wie eine reduzierte Keimfähigkeit auftauchen können. Ein generelles Problem vieler Verbindungen ist zudem die kurze Wirkungsdauer und die Haftfähigkeit auf dem zu schützenden Objekt. Bei den meisten Ansätzen verschwindet der Schutzeffekt mit der Zeit, insbesondere durch den Einfluss von Umweltfaktoren wie UV-Strahlung oder Regen (Sullivan et al. 1988; Bytheway et al. 2013). Ferner ist hier darauf Acht zu geben, dass das verwendete Mittel den geltenden Vorschriften des Pflanzenschutzes entspricht und für die Anwendung zugelassen ist.

Physikalische Strategien

Physikalische Ansätze bauen eine physische Barriere um den Samen bzw. die Pflanze auf. Sie verhindern oder erschweren den Zugang für Prädatoren. Ein großer Nachteil vieler Systeme sind die hohen Kosten und der gesteigerte Aufwand (Löf et al. 2019).

Laut Russell (1971) stellt die Verwendung von Maschendraht eine der effektivsten Methoden des Saatgut-Schutzes dar. Am besten funktioniert dieser, wenn der Samen mit einem Drahtkorb umhüllt wird. Auch das einfache Bedecken der Saatstelle mit einem flachen Stück kann die Prädation reduzieren (Dey et al. 2008; Prévosto et al. 2011b). Ein Nachteil der Methode liegt in der nachträglichen Abschnürung des Gehölzes. Das Drahtgeflecht muss entweder entfernt oder so konzipiert werden, dass es sich schnell genug zersetzt. Möglichkeiten hierfür bietet die Verwendung von unverzinktem Draht oder die vorherige Behandlung mit Säure (Prévosto et al. 2011a).

Der Einzelbaumschutz dient der Sicherung der oberirdischen Pflanzenteile. Er hilft in der Abwehr gegen Rot-, Schwarzwild und Hasenartige (Bartsch et al. 2020; N. Ströbele¹⁰, persön. Mitteilung, 28.04.23). Nachteilig sind die hohen Kosten, die erschwerte Entfernung von Beikräutern und die Aufastung der Bäume (Willoughby 2004a). Für die letzten beiden Prozesse muss der Baumschutz

¹⁰ Staatliche Revierleiterin des Forstreviers Villmar, Forstamt Weilmünster, Hessen.

vorher entfernt werden. Ein großflächiger Zaun hilft ebenfalls in der Abwehr von Wildtieren (Werners 2016). Er stellt die Alternative zum Einzelbaumschutz dar. Welche Einheit sinnvoller ist, hängt von den lokalen Gegebenheiten und der Größe der zukünftigen Baumreihen ab. Wird nicht mit einer durchgehenden Saattrinne, sondern mit punktuellen Pflanzlöchern gearbeitet, ist ein „Einzelbaumschutz“ rund um die Saatlöcher ggf. sinnvoller (Mitrová et al. 2022). Anzumerken ist, dass ein Zaun Nagetiere fördern kann, da innerhalb der umzäunten Fläche weniger Konkurrenz und keine Karnivoren vorkommen (Pérez-Ramos und Marañón 2008). Das Einzäunen ist einer der größten Zeit- und Kostenfaktoren bei der Direktsaat. Laut Werners (2016) liegen die Materialkosten für einen Zaun zwischen zwei und drei Euro pro Meter. Wird die Arbeitszeit einberechnet, belaufen sich die Kosten auf sechs bis acht Euro. Im Voraus ist eine wohlüberlegte Planung und Abwägung anzuraten (Werners 2016). Bei größeren Flächen lohnt sich der Zaunbau meist mehr als der Einzelbaumschutz (Werners 2016; N. Ströbele, persön. Mitteilung, 28.04.23). Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Ideen, möglichst kostengünstig für einen mechanischen Schutz der Pflanzen zu sorgen. Beispiele sind die bereits erwähnte Verwendung von Totholz oder (dornigen) Gebüsch (Moreno und Franco 2013; Caceres et al. 2017). Bei Letzterem sollte auf mögliche Konkurrenz um Ressourcen geachtet werden (Smit et al. 2008).

Ökologische Strategien

Ökologische Strategien zielen auf Räuber-Beute-Beziehungen ab. Laut der *Predator-Satiation-Hypothesis* von Silvertown (1980) sinkt mit dem Überfluss an Nahrung die Wahrscheinlichkeit der Prädation. Deshalb besteht eine Möglichkeit darin, ein Überangebot an Beute auf der Saatfläche zu schaffen. Eine Maßnahme wäre dementsprechend die Verwendung von sehr viel Saatgut oder anderer Samen. So können z. B. kostengünstigere Sonnenblumenkerne oder Hafer die Prädatoren übersättigen (Villalobos et al. 2020). Daran knüpft gleichfalls die Idee an, die Direktsaat in einem Mastjahr durchzuführen (Pérez-Ramos und Marañón 2008). Durch die synchrone Fruchtproduktion der Bäume sind in diesen Jahren mehr Samen vorhanden, als von Räufern verzehrt werden können. Für Agroforstsysteme, die klassischerweise außerhalb des Waldes stehen, scheint dies nur für Flächen mit Waldnähe sinnvoll zu erscheinen. Allerdings weist das gesammelte Saatgut in einem Mastjahr die beste Qualität in Form von großen und gesunden Samen auf, weshalb es sich besonders für das Aussäen eignet (Caceres et al. 2017).

Eine weitere ökologische Methode besteht darin, natürliche Gegenspieler anzulocken und zu fördern (Löf et al. 2019). Ein Beispiel stellt das Aufstellen von Sitzstangen für Raubvögel dar (Farlee 2013; Winterling 2023). Die Meinungen über die Wirksamkeit sind jedoch unterschiedlich. In Feldexperimenten von Birkedal et al. (2009) zeigte sich keine Wirkung. Sitzstangen können als alternative Landemöglichkeiten auch die Gefahr reduzieren, dass Vögel die Stammverlängerung der Jungbäume verletzen. Ein Abknicken dieser wird verhindert (P. Weckenbrock¹¹, persön. Mitteilung, 2022). Darüber hinaus können Stein- oder Totholzhaufen Gegenspieler von Nagetieren wie Wiesel, Marder oder Iltis fördern (Wenk 2016).

¹¹ Dr. Philipp Weckenbrock, Justus-Liebig-Universität Gießen - Forschungsschwerpunkt Agroforst

Waldbauliche Strategien

Waldbauliche bzw. landwirtschaftliche Herangehensweisen umfassen die Anwendung aller Techniken, Prinzipien und Maßnahmen, um die Bestandsentwicklung in eine gewünschte Richtung zu lenken (Bartsch et al. 2020). Sie können sich mit den zuvor genannten Strategien überschneiden.

Ein Beispiel ist die Wahl der Saattiefe bei der Direktsaat. Sie spielt neben dem Schutz vor Trockenheit (Oliet et al. 2015; Löff et al. 2019), insbesondere eine Rolle gegen Prädation (Sluderj et al. 1961; Moreno und Franco 2013). Ab einer bestimmten Tiefe sinkt allerdings die Keimrate und es kommt zu einem verzögerten Aufgehen der Saat (Althen 1969; Johnson 1981; Farlee 2013). Ferner bietet der Zeitpunkt der Aussaat eine Stellschraube, um die Samen zu schützen. Erfolgt diese im Frühjahr, ist der Zeitraum, in dem die Samen vor Ort liegen, kürzer als bei der Herbstsaat. Zudem fällt nach dem Winter die Prädatorendichte am kleinsten aus. Allerdings herrscht zu diesem Zeitpunkt ebenso die geringste Nahrungsverfügbarkeit und insbesondere in Kombination mit schlechter Witterung erhöht sich der Druck auf die Tiere, Nahrung zu finden (Stenseth et al. 2002). Des Weiteren können die Wildtierpopulationen durch die Jagd kontrolliert werden (Russell 1971; N. Ströbele, persön. Mitteilung, 28.04.23). Wenn die Fläche von Wühlmäusen befallen ist, kann eine Bodenbearbeitung oder Überfahrt mit einer Walze helfen. Dies zerstört die Gänge (Leukers und Jacob 2009). Eine Alternative ist das Ausbringen von Schlagfallen (Wenk 2016). Weitere Beispiele für waldbauliche bzw. landwirtschaftliche Strategien sind das Mähen der umliegenden Vegetation, was den Lebensraum von Mäusen und Schnecken verringern kann (Granatstein und Mullinix 2008; Farlee 2013) oder die Verwendung von visuellen oder auditiven Vogelscheuchen (Iley 1988).

Pathogene

Im Vergleich zu landwirtschaftlich genutzten Pflanzen stellt die Pathologie bei Gehölzsamen einen recht unerforschten Bereich dar. Aus diesem Grund bleiben die meisten Infektionen ohne konkrete Diagnose (Cram und Fraedrich 2010). Insbesondere pathogene Pilze können am Samen oder der sich entwickelnden Pflanze Schäden verursachen (Andersson 1992; O'Hanlon-Manners und Kotanen 2006). Samenbürtige Erreger können die Keimung hemmen, zur Austrocknung, Triebsterben, Krebs oder bis zum Totalausfall führen (Cram und Fraedrich 2010). Bekannte Beispiele sind die Gattungen *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Botrytis* oder *Phytium*. Die letzten drei sind häufig Ursache der Auflaufkrankheit (auch Umfallkrankheit genannt), die die Sämlinge angreift und sie umkippen lässt (Lamichhane et al. 2017). Förderlich für die Entwicklung vieler Pilze nach der Aussaat sind hohe Bestandsdichten und feuchte Witterungsbedingungen. Weiterhin begünstigt eine vorherige Schwächung des Zielorganismus (z. B. durch Frost, Verletzungen, Wasser- und Sauerstoffmangel) einen Befall (Cram und Fraedrich 2010; Heydeck und Dahms 2012).

Schutz vor Pathogenen

Die Vermeidung von Pathogenen kann auf vielfältige Art und Weise stattfinden. Eine weitverbreitete Möglichkeit stellt die chemische Behandlung mit Fungiziden oder Desinfektionsmitteln dar (Cram und Fraedrich 2010). Ab bestimmten Konzentrationen können viele Verbindungen keimhemmend wirken, daher muss eine Abwägung unternommen werden, ob und in welchem Maße eine Anwendung sinnvoll erscheint. Als Desinfektionsmittel können beispielsweise Wasserstoffperoxid oder Natriumhypochlorit verwendet werden (Barnett und Varela 2004). Darüber hinaus sind physikalische Behandlungen wie das Heiß-Wasser-Verfahren oder Mikrowellenstrahlung eine Möglichkeit. Wie auch zum Schutz vor Beikräutern, kann der Boden vor der Aussaat durch heißen

Dampf sterilisiert werden (Bärtels 2008). Weiterhin kann auf mechanische Weise die Keimrate erhöht und die Infektionsrate reduziert werden, indem mithilfe der Schwerkraft infizierte Samen von den gesunden getrennt werden (z. B. durch den bereits erwähnten Schwimmtest) (Gardiner 2001).

Generell sollte das Saatgut vor der Aussaat unter geeigneten Bedingungen (trocken und kühl) gelagert und Verletzungen durch Transport oder Insekten (Letztere können als Vektoren fungieren) vermieden werden (Barnett und Varela 2004).

Sonstige Umweltfaktoren

Andere wichtige Umwelteinflüsse betreffen beispielsweise den Wasser- und Lufthaushalt, die Temperatur und die Sonneneinstrahlung (Bärtels 2008; Pandey und Prakash 2014). Wie im Abschnitt 2.2.3 beschrieben, sind eine bestimmte Temperatur und Wasserversorgung sowie eine ausreichende Sauerstoffversorgung insbesondere für den keimenden Samen von größter Bedeutung. Zudem können die späteren Wurzeln bei vielen Baumarten mit einem Mangel oder einem Überfluss an Wasser nicht überleben (Gardiner und Hodges 1996). Letzteres führt zu Sauerstoffarmut und zum Absterben der Zellen (Drew 1997). Daneben können sowohl zu niedrige als auch zu hohe Temperaturen zur Schwächung und Schädigung am Baum führen (Larcher 2001; Bärtels 2008). Wie bereits erwähnt, kann zudem eine zu hohe Sonneneinstrahlung ein Problem darstellen (Bellot 2002). Pandey und Prakash (2014) zeigen, dass dies v. a. für die Sämlingsphase und insbesondere für semi-aride und aride Gebiete der Fall ist. Auch hier nimmt die Gefahr mit zunehmendem Alter ab. Die Sonnen- bzw. Schattenverträglichkeit unterscheidet sich von Art zu Art.

Schutz vor sonstigen Umweltfaktoren

Die Verwendung von Mulch zur Abdeckung des Saatbereichs stellt einen effektiven Schutz gegen Austrocknung, Frost, Erosion und Beikräuter dar (Döring et al. 2005; Wauer 2008). Die Bodenaufgabe verringert die Evapotranspiration und vermag so die Feuchtigkeit im Boden zu halten. Weiterhin puffert sie Temperaturunterschiede ab. Bei organischem Mulch wird auf lange Sicht zusätzlich die Struktur und Wasserspeicherkapazität des Bodens durch den Anstieg an organischer Bodensubstanz gefördert (Bajorienè et al. 2013). Vor Sonneneinstrahlung kann Begleitvegetation schützen. Zu beachten ist jedoch die bereits erwähnte mögliche Konkurrenz um Wasser. Weiterhin kann der Trockenheit durch eine stärkere Saattiefe oder eine künstliche Bewässerung entgegengewirkt werden (VELA 2014; Oliet et al. 2015). Letztere sollte nur bei einem Risiko größerer Verluste erfolgen, damit das Wurzelsystem sich nicht an die künstliche Wassergabe gewöhnt (Fernández et al. 1991; Sokalska et al. 2009). Bei einer regelmäßigen Bewässerung konzentriert das Gehölz seine Wurzeln vermehrt auf die oberen Bodenzonen, was sich bei Beendigung der Bewässerung negativ auswirken kann. Ein Ziel der Direktsaat ist die Anpassung der Pflanzen an Trockenheit. Einerseits sollen die genetisch am besten angepassten Pflanzen durchkommen, andererseits sollen die Gehölze ihre Wurzeln in die Tiefe ausbilden (Dupraz und Liagre 2019). Gegen Wind und dessen Folgen können Strukturen wie Hecken oder Bäume Schutz bieten (Heiligmann et al. 2006; Bärtels 2008).

Weiterhin existieren diverse Technologien zur Verbesserung der Standortbedingungen. Beim *Saatgut-Coating* können verschiedene Materialien wie Substrate, Hydrogele, Nährstoffe, Repellentien oder symbiotische Organismen um den Samen herum angebracht werden. Dies kann die Keimung, Entwicklung und den Schutz der Samen verbessern (Grossnickle 2000; Zubaidah et al. 2022). Unter diese Kategorie fallen gleichfalls sogenannte *Seed bombs* (Samenbomben), die meistens

von einer Lehm- oder Tonschicht ummantelt sind (Ortolani et al. 2015). Das *Seed Priming* nutzt eine Vorbehandlung des Saatguts für bessere und frühere Keimergebnisse (Rehman et al. 2015; Grossnickle und Ivetić 2017).

2.2.6 Die Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen

Bei einer Übertragung der Direktsaat von Gehölzen aus dem Wald in landwirtschaftliche Systeme müssen die unterschiedlichen Standortfaktoren beachtet werden. Ein Beispiel sind die lichtereren Gehölzreihen mit weiten Reihenabständen in Agroforstsystemen, wohingegen die Bäume im Wald in dichteren Beständen stehen. Hier spielt die gegenseitige Konkurrenz untereinander eine wichtigere Rolle als in einer Baumreihe. Weiterhin herrscht im Wald ein konstanteres Mikroklima mit gleichmäßigeren Temperaturen, geringerer Sonneneinstrahlung und weniger Wind (Frenne et al. 2019). Unterschiedlich fallen auch die Art und Intensität der Störungen aus, die auf beide Systeme einwirken. Auf Acker- oder Grünlandflächen wird die Struktur z. T. mehrmals im Jahr durch Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Ernte, Bodenbearbeitung, Mahd oder Beweidung stark beeinflusst. Dies wirkt sich auf die Diversität und Abundanz potenzieller Prädatoren und ihrer Fressfeinde aus (Weber und van Sambeek 1988; Stanturf und Schoenholtz 1998). Im Gegensatz dazu fallen anthropogene Störungen im Wald mit einer meist geringeren Intensität und Regelmäßigkeit aus. Abgesehen von der Pflanzung in Reihen, dem eventuellen Jäten in den ersten Jahren und einem gelegentlichen Auslichten, wird der Bestand größtenteils sich selbst überlassen (Bartsch et al. 2020).

Die wissenschaftliche Literatur zur Direktsaat von Gehölzen außerhalb des Waldes ist begrenzt. Die vorhandenen Studien konzentrieren sich hauptsächlich auf Aufforstungen von ehemaligen Feld- und Brachflächen (z. B. Bullard et al. 1992, Hallett et al. 2014 oder Villalobos et al. 2020). Im Kontext von Agroforstsystemen stellt die Direktsaat ein noch neues Forschungsfeld mit wenig praktischer Erfahrung dar. Für die Eingrenzung auf Werthölzer im feucht-kontinentalen Klima existiert lediglich ein bekannter Versuch aus dem Jahr 2020 in einem Alley-Cropping-System mit *Juglans nigra* L. in Tschechien (siehe Tab. 2 C) (Mitrová et al. 2022). Es liegen noch keine offiziellen Ergebnisse vor, aber nach persönlicher Mitteilung von A. Mitrová (06.01.23) sind die Auflaufergebnisse im ersten Jahr sehr zufriedenstellend (81 % der ausgesäten Stellen waren mit Sämlingen besetzt¹²). Aufgetretene Probleme betrafen die Prädation des Saatguts und den Verbiss der Jungbäume.

Aus Deutschland sind lediglich Versuche mit der Anlage von KUP-Streifen mit Robinie für die Energieholzerzeugung bekannt (siehe Tab. 2 A). Laut Wühlisch (2011) zahlten sich diese aufgrund der geringeren Kosten und des geringeren Zeitaufwands im Vergleich zur Pflanzung aus. In Spanien liefen Versuche von Moreno und Franco (2013) sowie Caceres et al. (2017) mit *Quercus spp.* in Dehesas (für die iberische Halbinsel typische silvopastorale Agroforstsysteme mit Eiche) (siehe Tab. 2 B). Trotz anfänglicher Prädation des Saatguts durch Nagetiere (Rodentia) und Wildschweine (*Sus scrofa* LINNAEUS) zeigten sich für die überlebenden Exemplare in beiden Studien signifikant höhere Überlebensraten.

¹² Jedes Saatloch wurde mit drei Nüssen besetzt.

Tab. 2: Wissenschaftlich begleitete Direktsaatversuche in Agroforstsystemen in Europa. Für den Überblick wurden alle größeren Agroforstverbände in Europa (Deutschland, England, Frankreich, Italien, Österreich, Portugal, Schweiz, Spanien) sowie die *European Agroforestry Federation* (EURAF) befragt. Für die in der Tabelle nicht gelisteten Länder waren den jeweiligen Verbänden entweder keine Projekte bekannt oder es wurde keine Antwort gegeben. Eine Gewähr auf Vollständigkeit besteht nicht.

Land	Beschreibung	Quelle
(A) Deutschland (& Ungarn)	Anlage von KUP mit <i>R. pseudoacacia</i> - Direktsaat und Pflanzung im Vergleich	Wühlisch (2011)
(B) Spanien	Direktsaat im Vergleich mit Pflanzung von <i>Quercus ilex L.</i> in verschiedenen Dehasas	Moreno und Franco (2013)
	Direktsaat im Vergleich mit Pflanzung von <i>Q. ilex und Quercus suber L.</i> in verschiedenen Dehasas	Caceres et al. (2017)
(C) Tschechien	Direktsaatversuche in einem Alley Cropping System mit <i>J. nigra</i>	Mitrová et al. (2022)

Darüber hinaus existieren mehrere nicht- oder nur teilweise wissenschaftlich begleitete Agroforst-Direktsaatversuche von Praxisbetrieben in Europa. Aktuell bekannte Projekte aus Deutschland mit mehrjähriger Erfahrung sind *Gut&Bösel*¹³ in Brandenburg (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22, Anhang C. Interview II), die *Apfelsternwarte*¹⁴ in Sachsen (S. Junge, persön. Mitteilung, 07.11.22, Anhang C. Interview III) und die *Obstsortensammlung Waldeshöhe*¹⁵ in Mecklenburg-Vorpommern (P. Markgraf, persön. Mitteilung, 15.02.23, Anhang C. Interview IV). Alle drei Betriebe haben bereits mehrjährige Erfahrung mit der Direktsaat bei Obst-, Biomasse- und Pfahlgehölzen. Auf die Erkenntnisse der drei genannten Projekte wird in dieser Arbeit genauer eingegangen. Weitere Betriebe, bei denen die Methode eine untergeordnete oder noch junge Rolle spielt, sind *Hof vErde*¹⁶ in Bayern (Schmidlein 2022) und der Bioland-Hof *Sonnenwald*¹⁷ in Baden-Württemberg (P. Hofmann, persön. Mitteilung, 12.02.23). Ein weiteres Projekt - *Ecosystem Recovery Programme*¹⁸ - ist aus Portalegre, Portugal bekannt (J. Schaeffer, persön. Mitteilung 18.12.22). Es ist anzunehmen, dass noch weitere Versuche existieren, von denen aktuell keine Kenntnisse bestehen.

2.3 Zielsetzung der Arbeit

Die geringe Anzahl wissenschaftlicher und praktischer Arbeiten rund um das Thema der Direktsaat von Gehölzen - insbesondere von Wertholzbäumen - in Agroforstsystemen verdeutlichen den aktuell geringen Wissensstand. Für eine Übertragung der Erkenntnisse vom Waldbau auf Agroforstsysteme müssen sowohl land- als auch forstwirtschaftliches Wissen und Erfahrungen zusammengeführt und den entsprechenden Gegebenheiten angepasst werden. Davon ausgehend können praktische

¹³ gutundboesel.org

¹⁴ apfelsternwarte.de

¹⁵ obstsortenerhalt.de

¹⁶ hofverde.de

¹⁷ sonnenwald.org/hof-sonnenwald

¹⁸ lecoeuraleuvre.com/en/projet-de-restauration/

Versuche unternommen und erste spezifische Forschungsfragen abgeleitet werden. Der Zweck dieser Arbeit gilt daher der Untersuchung der Thematik der Direktsaat von (Wert-)Gehölzen in Agroforstsystemen. Hierfür werden folgende Hauptforschungsziele angestrebt:

1. die Ermittlung der praktischen Grundlagen, Prinzipien und Techniken der Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen
2. die Entwicklung einer ersten Orientierungshilfe zur Ausführung einer Direktsaat
3. die praktische Umsetzung der Orientierungshilfe mit einer anschließenden Bewertung der Ergebnisse
4. eine kritische Reflexion der Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen

Die Ermittlungen der praktischen Grundlagen, Prinzipien und Techniken der Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen erfolgt auf Basis des kritisch hinterfragten Erfahrungsschatzes von Praktiker*innen der Direktsaat. Hierfür werden semistrukturierte Expert*inneninterviews durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden durch Besuche und ein Praktikum ausgebaut. Mithilfe wissenschaftlicher Literatur aus den Forstwissenschaften und der Forstökologie sowie praxisorientierter Literatur aus dem Wald- und Gartenbau werden die Informationen überprüft und ergänzt. Hierzu erfolgt eine systematische Literaturrecherche zur Direktsaat von Gehölzen im Waldbau und in Agroforstsystemen. Aus den gewonnenen Informationen erfolgt eine erste Zusammenfassung des aktuellen Wissensstands in Form einer Orientierungshilfe über die Ausführung einer Direktsaat in Agroforstsystem. Im Anschluss wird diese bei einer praktischen Umsetzung in einem Feldversuch in einem neu angelegten silvoarablen¹⁹ Agroforstsystem auf dem Gladbacherhof der Justus-Liebig-Universität Gießen getestet. Das System setzt sich am Ende aus jeweils vier gepflanzten und zwei gesäten Baumreihen (bzw. Saatreihen) zusammen. Verwendung finden die vier Werthölzer Echte Walnuss, Wildkirsche, Speierling und Elsbeere. Mit den gewonnenen Erkenntnissen erfolgt final eine kritische Reflexion über die Direktsaat von Agroforstsystemen. Ebenso werden fortführende Forschungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

Darüber hinaus erfolgt eine experimentelle Ergänzung der genannten Forschungsziele zur Thematik der Prädation. Wie bereits erwähnt, spielt diese bei Direktsaaten im Waldbau eine herausragende Rolle (Hewitt und Kellman 2004; Löff et al. 2004; Wennström et al. 2007; Souza Gomes Guarino und Scariot 2014; Castro et al. 2015; Leverkus et al. 2021). Um Saatgutverluste von Gehölzen in landwirtschaftlichen Systemen besser einordnen zu können sowie Hinweise für fortführende Untersuchungen zu bestimmen, wird eine experimentelle Einschätzung der potenziellen Saatgutprädation auf verschiedenen Flächen des Gladbacherhofs ermittelt. Ziel ist es, die Entwicklung ausgebrachter Samen (und Sämlinge) zu beobachten sowie den Einfluss der Vegetationsstruktur auf eine mögliche Prädation zu untersuchen. Einerseits wird der Saatgutverlust in **Abhängigkeit der Entfernung zum Waldrand** getestet, andererseits wird ein **Vergleich zwischen Grün- und Ackerland** unternommen. Hierfür wird im Frühjahr 2023 Saatgut von drei

¹⁹ *silvoarablen* meint die Kombination von Gehölz- und Ackerkulturen.

verschiedenen Baumarten - Baumhasel (*Corylus colurna* L.), Kulturapfel (*Malus domestica* BORKH.) und Echter Walnuss - auf verschiedenen Flächen rund um den Gladbacherhof ausgebracht. Um einen Eindruck über potenziell vorkommende Prädatoren zu gewinnen, werden zusätzlich Tiererhebungen durchgeführt. Ein weiteres Ziel ist es, den Einfluss der **Wirkung von einer Vergällung mit Kuhdung** zu untersuchen. Die Methode ist laut Farlee (2013) einfach und kostengünstig, allerdings noch nicht ausreichend erforscht, um sichere Aussagen treffen zu können. Auch ist die Wirkung gegenüber anderen Prädatoren als den zwei Eichhörnchenarten *Sciurus niger* LINNAEUS und *Sciurus carolinensis* GMELIN sowie die Übertragbarkeit auf andere Gehölzarten unbekannt (Williams und Funk 1979).

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort Gladbacherhof

Der Lehr- und Versuchsbetrieb *Gladbacherhof* der Justus-Liebig-Universität Gießen befindet sich ca. 50 km nordwestlich von Frankfurt am Main und wird seit 1988 nach den Bioland-Richtlinien bewirtschaftet. Die Höhenlage der zugehörigen Flächen erstreckt sich von 140-230 m über N. N. Der jährliche Niederschlag beträgt im Mittel 653 mm²⁰ und die durchschnittliche Temperatur 9,5 °C (Schulz 2012; Justus-Liebig-Universität Gießen 2023). Die Niederschlagsmengen im Versuchszeitraum (Januar bis Juni 2023) sind in Anhang B. Tab. V und Anhang B. Abb. III dargestellt.

3.1.1 Böden des Gladbacherhofs

Im Bereich des Gladbacherhofs bilden Gesteine aus dem Rheinischen Schiefergebirge (Tonschiefer, Grauwacke, Kieselschiefer, Schaltstein) den geologischen Untergrund (T. Harrach²¹, persönliche Mitteilung an E.M. Minarsch 12.12.22). Für die Bodenbildung relevant sind oft Lössdecken aus der Eiszeit. Die Böden unterliegen starken kleinräumigen Schwankungen, wobei als Bodentypen Pararendzinen und schluffreiche Parabraunerden überwiegen. Die Bodenart bewegt sich größtenteils zwischen schluffigem Lehm und lehmigen Schluff (Schulz et al. 2014). Der hohe Schluff-Anteil kann sich nachteilig auf die Gefügestabilität auswirken, was die Gefahr von Verschlammung und Bodenerosion auf den Flächen verstärkt (Amelung et al. 2018; T. Harrach, persönliche Mitteilung an E.M. Minarsch 12.12.22).

Laut dem BodenViewer Hessen (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG 2023)) handelt es sich bei der Bodenart im Agroforstsystem GH3 um Lehm (L, L/S, L/Sl, L/Mo, LMo). Die gleiche Bodenart ist bei den beiden Ackerlandflächen des Prädationsexperiments (*AL1* und *AL2*) sowie dem südwestlichen Teil einer der zwei Grünlandflächen (*GL1*) anzutreffen. Im

²⁰ langjähriges Mittel von 1981-2010, entsprechend dem Deutschem Wetterdienst (DWD 2023).

²¹ Prof. Dr. T. Harrach - Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen

nordwestlichen Teil derselben Fläche befindet sich lehmiger Sand (IS, IS/LT, IS/T, IS/Mo). Auf dem zweiten Grünland (*GL2*) ist der Bodentyp schluffiger Lehm (SL, SL/T).

3.1.2 Flora und Fauna auf dem Gladbacherhof

Abgesehen von den landwirtschaftlichen Grünland- und Ackerflächen des Hofs, dominieren insbesondere im Osten größere Waldstücke, die nach und nach in den Hintertaunus übergehen. Rund um den Gladbacherhof handelt es sich um verpachteten Gemeindewald, der in der Verantwortung der *Jägervereinigung Oberlahn e. V.* steht.

Laut der lokal ansässigen staatlichen Revierleiterin N. Ströbele (persön. Mitteilung, 28.04.23) kommt der Rothirsch (*Cervus elaphus* LINNAEUS) flächendeckend vor. Rehwild (*Capreolus capreolus* LINNAEUS) ist ebenfalls stark vertreten. Beide Arten verursachen in den umliegenden Wäldern enorme Schäden an Aufforstungsflächen und der Naturverjüngung. Die Wildschweinpopulation schwankt, ist aber generell als hoch einzustufen. Feldhasen kommen ebenfalls vor, verursachen bei Neupflanzungen jedoch nur wenig Probleme. In der Naturverjüngung ohne Einzäunung schafft es nur die Rotbuche, z. T. auch die Gemeine Fichte (*Picea abies* A.DIETR.), nennenswerten Nachwuchs zu generieren. Dieser unterliegt in späteren Jahren jedoch ebenfalls der Schälung durch Hirsche (N. Ströbele, persön. Mitteilung, 28.04.23). In einem Versuch zur Verjüngung von Eiche per Direktsaat (mit Einzäunung) im Jahr 2014 unweit vom Gladbacherhof, ermittelte K. Bartling (persön. Mitteilung, 12.05.23) vom regionalen Forstamt Weilmünster Mäuse als die größte tierische Bedrohung für die Sämlinge. Auch N. Ströbele (persön. Mitteilung, 28.04.23) spricht von Schäden durch Mäuse in den umliegenden Waldflächen des Gladbacherhofs, diese seien jedoch stark von der Populationsdichte abhängig und damit von Jahr zu Jahr unterschiedlich. Für die landwirtschaftlichen Flächen spielt laut dem Leiter der Versuchsstation des Gladbacherhofs F. Schulz (persön. Mitteilung, 01.12.22) insbesondere die hohe Feldmausdichte eine Rolle. Bei selbst durchgeführten Fängen wurde ebenfalls die Gemeine Waldmaus ausfindig gemacht. Sporadisch und lokal richten außerdem Wildschweine Schäden auf den Äckern an (F. Schulz, persön. Mitteilung, 01.12.22).

3.1.3 Die drei Agroforstsysteme des Gladbacherhofs

Auf dem Gladbacherhof stehen im Rahmen des Projekts *Agroforstsysteme Hessen*²² insgesamt drei Agroforstsysteme (siehe Abb. 2). Im Februar 2020 wurde das erste System (*GH1*) gepflanzt. Es handelt sich dabei um ein silvoarables System. Im November 2021 folgte das Zweite (*GH2*), ein silvopastorales System (Kombination von Grünland mit Gehölzen) und im November 2022 das Dritte (*GH3*). Letzteres ist ebenfalls silvoarabel, jedoch zusätzlich im *Keyline-Design* angelegt (siehe Abb. 3). Dabei handelt es sich um eine an das Gelände angepasste Linienführung zur Verbesserung der Wasserinfiltration und Wasserverteilung (Yeomans 1954; Shukla et al. 2019).

²² <https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/pflbz2/oekolandbau/forschung/agroforst>.

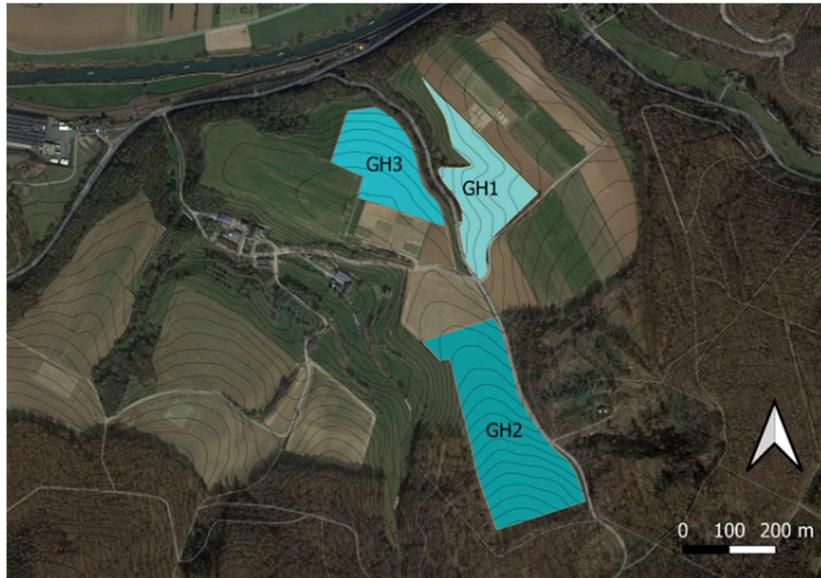


Abb. 2: Standortkarte der drei Agroforstsysteme des Gladbacherhofs. Quelle: Minarsch 2022; Basiskarte: Google Satellite 2022.

Allen Systemen ist gemein, dass jeweils die Hälfte der Baumreihen von einer Agroforsttechnik inspiriert ist, die allgemein als *sukzessionaler* oder *dynamischer* Agroforst bekannt ist (Götsch 1992). Die andere Hälfte der Baumreihen dient dem Vergleich und stellt die in Europa üblichen, einfacheren Agroforstsysteme dar. Sie sind in ihrer Artenzusammensetzung weniger divers und komplex als der dynamische Ansatz. Gepflanzt bzw. gesteckt wurden neben Apfelbäumen ebenfalls Werthölzer (Wildkirsche, Echte Walnuss, Elsbeere, Speierling und Kulturbirne (*Pyrus communis* L.)) sowie die Pionierpflanzen Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra* L.) und Pappeln. In den dynamischen Reihen sind die Gehölze dabei so angeordnet, dass sie später unterschiedliche Höhenstufen einnehmen. Die in 12-m-Abständen gepflanzten Apfelbäume werden als Halbstamm (Aufastung bis mindestens 1,20 m Höhe) mit zwei Leitästen parallel zur Baumlinie erzogen. Zwischen zwei Apfelbäumen steht ein Wertholzbaum, der im Laufe der Zeit bis auf eine Höhe von ca. 7 m aufgeastet wird und hochwertiges Holz aus einem astfreien Stamm erzeugen soll.



Abb. 3: Luftaufnahme des GH3 bei der Pflanzung. Deutlich zu sehen ist die gebogene Linienführung nach dem Keyline-Design. Im Hintergrund liegt links oben das GH1 und rechts oben das GH2. Foto: Hauschild (2022).

Das für die Anlage der Direktsaat vorgesehene GH3 (Koordinaten: 50°23'53.1"N 8°14'59.2"E) wurde im November 2022 in vier Reihen mit Gehölzen bepflanzt (siehe Abb. 3). Dabei wurden 139 Apfelbäume gesetzt. Des Weiteren wurden 78 Wertholzbäume von Wildkirsche, Echter Walnuss, Elsbeere und Speierling (siehe

Anhang A. Tab. III) sowie 94 Holundersträucher gepflanzt.

Die Wertholzbäume wurden dabei in Dreierverbunden gesetzt, mit dem Ziel, später nur einen Baum stehenzulassen. Im Frühjahr 2023 sind zusätzlich 270 Pappeln in Form von Steckhölzern hinzugekommen. Des Weiteren wurde im selben Zeitraum Mulch (ein Holzhäcksels-Gemisch aus Laub- und Nadelholz) in den Baumreihen ausgebracht. Zwei weitere Baumreihen (Reihe 1 und 4 in Abb. 4) wurden als Teil dieser Arbeit Ende Februar mit Saatgut von Wertholzbäumen eingesät. Die Anordnung der verschiedenen Arten folgt stets der Reihenfolge (1) Speierling, (2) Echte Walnuss, (3) Wildkirsche, (4) Elsbeere und beginnt jeweils im Osten am Anfang der Reihen. Der Abstand zwischen den Gehölzreihen beträgt 18 m und aktuell (Stand Sommer 2023) befindet sich auf der Ackerfläche Winterweizen (*Triticum aestivum* L.). Für das Feld ist eine achtjährige Fruchtfolge mit zwei Jahren Luzernegras und jeweils einem Jahr Winterweizen, Silomais / Kartoffel, Winterroggen, Ackerbohne, Dinkel / Winterweizen und Sommerweizen / Hafer vorgesehen. Im Jahr 2022 stand auf der Fläche Silomais, davor zwei Jahre Luzernegras. Im GH3 wurde am 27.10.22 eine Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug vollzogen, am 28.10.22 eine Saatbettkombination und am 30.10.22 der Winterweizen mit einer Frontwalze, Kreiselegge und Drillmaschine ausgebracht (Sorte *Aristaro* mit 219 kg/ha). Eine Tiefenlockerung erfolgte nicht. Die umliegende Vegetation im Bereich des GH3 besteht aus Grünland, Acker und einem schmalen Gehölzstreifen im Norden und Osten (siehe Abb. 3).

3.2 Expert*inneninterviews

Im Rahmen dieser Arbeit wurden mit den Verantwortlichen von drei mit der Direktsaat von Gehölzen arbeitenden Betrieben qualitative Expert*inneninterviews durchgeführt. Expert*inneninterviews werden angewendet, um spezifisches Wissen von Fachleuten auf einem bestimmten Gebiet zu erlangen. Ziel ist es, die zu interviewende Person in einen Dialog zu bringen (Meuser und Nagel 2009). Die Fragen wurden in einer semistrukturierten Form gestellt. Diese auch als Leitfaden-Interview bezeichnete Form der Befragung basiert auf vorher festgelegten Themen bzw. Fragen. Die Beantwortung erfolgt hingegen im offenen Gespräch, wodurch freie Antworten möglich sind (Liebold und Trinczek 2009). Eine Auflistung über die abgefragten Kategorien sind in *Anhang C. Interviews* zu finden. Die Niederschrift erfolgte selektiv und umfasst nur Informationen zur Direktsaat. Alle interviewten Personen hatten bereits mehrjährige Erfahrung im Bereich der Direktsaat von Gehölzen (siehe Anhang C. Tab. VII). Zwei dieser Betriebe wurden persönlich besucht. Die *Apfelsternwarte* von Simon Junge wurde in einer Tagesexkursion besucht und auf dem Betrieb von *Gut&Bösel* bei Rosanna Gahler ein einwöchiges Praktikum absolviert. Mit Peter Markgraf von der *Obstsortensammlung Waldeshöhe* erfolgte ein Telefonat.

3.3 Orientierungshilfe für die Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen

Für die Orientierungshilfe zur Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen wurden die gewonnenen Informationen aus den Interviews und Praxisbesuchen ausgewertet. Hinzu kam eine systematische Literaturrecherche über die Themen „direct seeding in forests“ und „direct seeding in agroforestry systems“. Der Fokus lag dabei auf wissenschaftlichen Arbeiten der gemäßigten Breiten, sodass Studien aus dem (sub)-tropischen Bereich nicht mit einfließen. Darüber hinaus wurde auch auf Quellen aus dem praktischen Wald- und Gartenbau zurückgegriffen. Die zusätzlichen Informationen ermöglichten es, die Aussagen der Praktiker nach Möglichkeit zu überprüfen bzw. zu ergänzen. In der folgenden Orientierungshilfe sind insbesondere die grundlegenden und praktischen Schritte zur Ausführung einer Direktsaat von Gehölzen aus dem Wissen der Interviewpartner*innen entstanden.

3.4 Durchführung einer Direktsaat im GH3

Am 01. März 2023 wurden an 16 Orten (siehe Abb. 4) 2 m lange Saatstreifen mit den drei Werthölzern Wildkirsche, Speierling und Elsbeere angelegt (Anhang A. Abb. I). Die Aussaat an fünf weiteren Stellen mit der Echten Walnuss erfolgte aufgrund des verzögerten Eintreffens des Saatguts am 09. März. Im Fall der Wildkirsche, der Echten Walnuss und der Elsbeere stammt das Saatgut aus demselben Bestand wie das Pflanzgut der gepflanzten Baumreihen (siehe Anhang A. Tab. II &

Tab. 3). Für den Speierling konnte die genauere Herkunft der Setzlinge nicht ermittelt werden. Aus diesem Grund wurde das Saatgut aus gleicher Quelle wie Elsbeere und Wildkirsche (bei der Forstlichen Saatgutstelle Hessen des Forstamts (FA) Hanau-Wolfgang) bezogen (

Tab. 3). Das Saatgut der Echten Walnuss (Sorte Nr. 120: *Moselaner Walnuss*) wurde von der Nussbaumschule Schott am Kaiserstuhl in Baden-Württemberg bezogen. Bis auf das Saatgut von *J. regia*, durchliefen vor der Lieferung alle Samen eine Stratifikation. Entgegen der vorherigen

Abprache mit der Baumschule Schott, wurde das Saatgut der Walnuss im trockenen, nicht-stratifizierten Zustand geliefert.

Tab. 3: Verwendetes Saatgut für die Direktsaat im GH3. Die Angabe in # Samen entspricht der ungefähren Anzahl. Die Kosten sollten bei größeren Bestellungen deutlich günstiger ausfallen.

Saatgut-Art	Herkunft	Bezugsquelle	Preis [€]	Menge [g]	# Samen
Speierling	Plantage Wehretal, HE	FA Hanau-Wolfgang	50	36	600
Elsbeere	Nordwestliche FVA, HE	FA Hanau-Wolfgang	50	28	500
Wildkirsche	Liliental, BW	FA Hanau-Wolfgang	50	69	300
Echte Walnuss	Sasbach-Leiselheim, BW	Baumschule Schott	8	890	150

3.5 Prädationsexperimente

Abgesehen von der Aussaat im GH3, wurden in der ersten Märzwoche 2023 auf zwei Ackerlandflächen (AL1 und AL2) und zwei Grünlandflächen (GL1 und GL2) Testplots von Baumhasel, Echter Walnuss und Apfel angelegt. Anhang E. Abb. VI zeigt die Lage der vier Schläge. Auf AL1 (1,71 ha) stand Winterroggen (*Secale cereale* L.), auf AL2 (0,71 ha) Winterweizen, auf GL1 (2,3 ha) ein extensiv genutztes und auf GL2 (1,39 ha) ein intensiv genutztes Grünland.

Für das Experiment wurden Samen von drei unterschiedlichen Baumarten (siehe Anhang A. Tab. IV und Anhang A. Abb. II) verwendet. Sowohl die Echte Walnuss als auch die Baumhasel stellen dabei beliebte Werthölzer dar. Der Kulturapfel wurde aufgrund der besseren Verfügbarkeit²³ repräsentativ für die beiden *Sorbus*-Arten Speierling und Elsbeere - ebenfalls Werthölzer - gewählt. Die drei letzten Arten gehören dem Untertribus der Kernobstgewächse (Pyrinae) an und zeigen eine relativ nahe Verwandtschaft. Dies unterstreicht ebenso die Möglichkeit der Hybridisierung zwischen den Gattungen *Malus* und *Sorbus* (Schütt und Aas 2007). Über die genaue Nährstoff-Zusammensetzung konnten für die beiden Mehlbeeren keine exakten Informationen gefunden werden. Die Samen ähneln sich sowohl optisch als auch von der Größe (siehe Anhang A. Abb. I und Anhang A. Abb. II). Sie enthalten (wie auch die Wildkirsche) alle Amygdalin (Nahrstedt 1972; Kausch-Blecken von Schmeling 1992; Bolarinwa et al. 2015). Das Glykosid spaltet im Körper Blausäure ab und fungiert als Fraßschutz. Es ist für die meisten Säugetiere, u. a. Mäuse und Ratten, giftig (Newton et al. 1981; Bolarinwa et al. 2015).

Die Auswahl des Experiments spiegelt weiterhin Samen von unterschiedlicher Größe bzw. unterschiedlicher Nährwerte wider (siehe Anhang A. Tab. IV). Alle drei Samen-Arten wurden Anfang des Winters gesammelt und durchliefen eine feucht-kalte Stratifikation. Die Apfelsamen wurden im Kühlschrank bei ca. 4 °C gelagert (Kausch-Blecken von Schmeling 1992) und die beiden Nuss-Arten im Freien in feuchten Sand eingeschlagen (Vahdati und Hoseini 2005; Aygun et al. 2009).

²³ Saatgut von Speierling bzw. Elsbeere konnte nicht in ausreichenden Mengen gesammelt werden.

3.5.1 Versuchsaufbau

Auf jeder der vier Flächen wurden drei Transekte mit einer Länge von 50 m angelegt (Abb. 5). Ausgehend vom Waldrand war jeder Transekt in vier Reihen unterteilt. Reihe 1 lag bei 12,5 m, Reihe 2 bei 25 m, Reihe 3 bei 37,5 m und Reihe 4 bei 50 m. Sowohl die Länge eines Transekts (50 m) als auch der Abstand zwischen den Transekten (6 m) orientierten sich an der kleinsten zur Verfügung stehenden Fläche - AL2. Jeder Transekt besaß einen Plot in jeder der vier Reihen. Für ein sicheres Wiederfinden wurden Kunststoffstangen gesetzt sowie jeweils der Anfang und das Ende eines jeden Transekts mit einem GPS-Gerät eingemessen. Auf AL2 wurde auf die Plots von Transekt 1 und 2 in der 1. Reihe verzichtet, da Abstand zu einem Experiment eines anderen Projekts eingehalten werden musste. Im Falle, dass ein Plot zufällig auf einer Fahrspur landete, wurde dieser um einen halben Meter nach hinten verschoben.

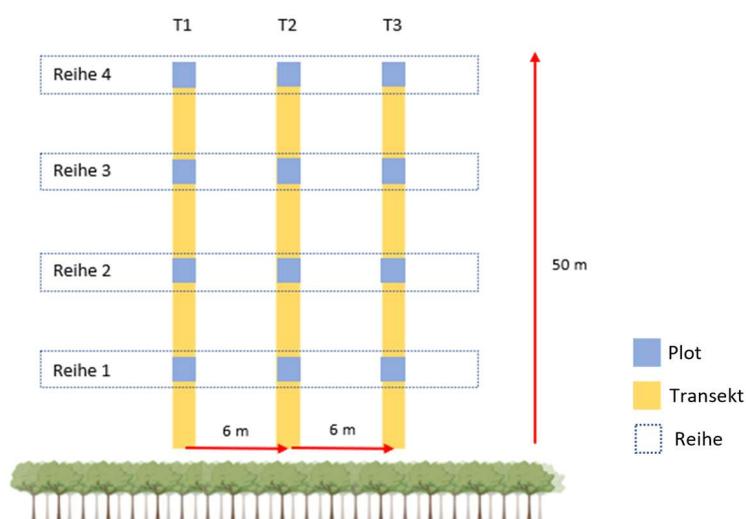


Abb. 5: Versuchsaufbau des Prädationsexperiments. Die drei Transekte (T1 - T3) sind in vier Reihen mit jeweils einem Plot aufgeteilt. Quelle: Goldenberg 2023 und BioRender.com (2023).

Jeder der vier Plots eines Transekts setzte sich aus drei Subplots zusammen (Abb. 6). Jeder Subplot beinhaltete zehn Samen der gleichen Art (Baumhasel, Walnuss oder Apfel). Die Reihenfolge der drei Samenarten innerhalb eines Plots wurde gemäß Anhang E Abb. VII vorgenommen. Dabei rotierten alle drei Gehölze in ihrer Anordnung. Alle Samen wurden vergraben, wobei als Treatment fünf unbehandelt blieben (-) und fünf mit Kuhdung vergällt (+) wurden²⁴. Die Vergällung erfolgte nach Williams und Funk (1979) mit einer Mischung aus frischem Kuhdung und Stroh. Die ausgebrachte Menge entsprach in etwa drei gehäuften Esslöffeln pro Subplot. Die Anzahl von fünf vergrabenen

²⁴ Ursprünglich war für die Frage, ob es sich bei potenziell nicht auffindbarem Saatgut um eine wirkliche Prädation handle, eine echte Kontrollgruppe mit Maschendraht geschützt geplant. Aufgrund von Risiken für die Tiere des Betriebs wurde jedoch davon abgesehen. Ein Verlust der Materialien hätte die Gefahr von Metallteilen im Futter zur Folge gehabt.

Samen pro Treatment orientierte sich an der Anzahl der verwendeten Samen der Experimente zur Saatgutprädation von Williams und Funk (1979) (fünf bis sechs Samen), Pérez-Ramos und Marañón (2008) (vier Samen), Prévosto et al. (2011a) (drei Samen) und van Ginkel et al. (2013) (neun Samen).

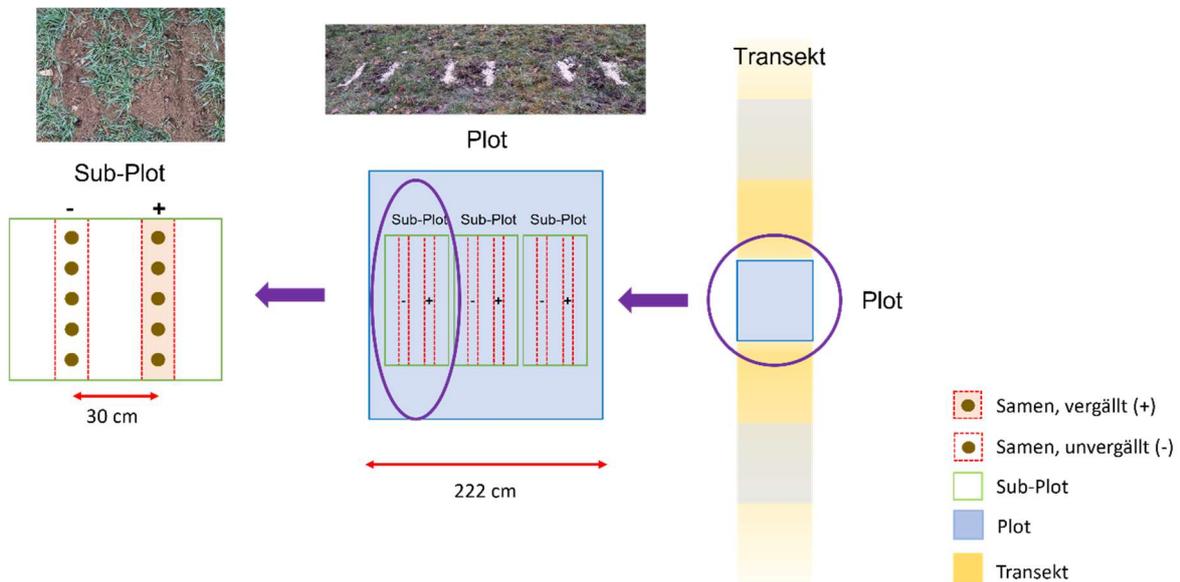


Abb. 6: Transekt- und Plotaufbau des Prädationsexperiments. Jeder Plot ist in drei Subplots unterteilt. Jeder Subplot nochmals in unvergällt (-) und vergällt (+). Jedes der beiden Treatments enthält fünf Samen einer Art.

Um die Samen später wiederzufinden, wurde der genaue Ort der Einbringung mithilfe eines Holzrahmens markiert (siehe Abb. 7 und Anhang E. Abb. VIII). Die Platzierungen der beiden unteren, diagonalen Enden des Rahmens wurden im Feld dauerhaft mit Kunststoffheringen gekennzeichnet, um später die genaue Position wiederfinden zu können. Der Abstand zwischen den beiden Treatments innerhalb eines Subplots betrug 30 cm. Der zwischen den Subplots 66 cm (siehe Abb. 7). Die Distanz zwischen den einzelnen Samen betrug 5 cm.

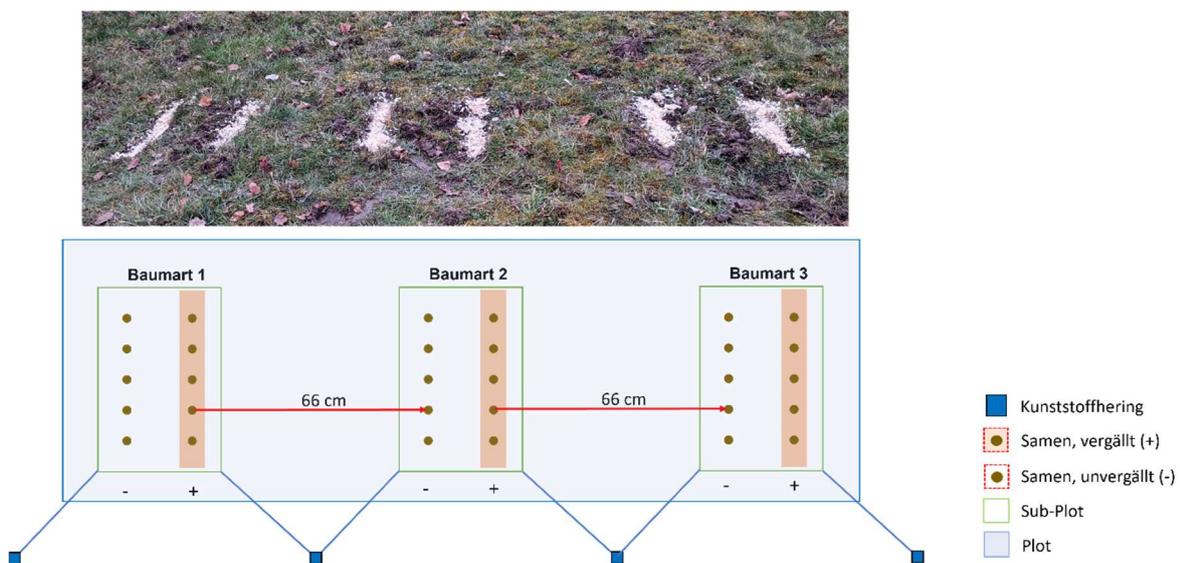


Abb. 7: Plot-Anordnung des Prädationsexperiments.

Um die Samen zu vergraben, wurde zuerst die vorliegende Vegetation gejätet und bestmöglich ein Saatbett vorbereitet. Alle Arbeiten wurden mit Handschuhen durchgeführt, um menschliche Gerüche am Saatgut zu minimieren. Die Baumsamen wurden in jeweils 60 mm (Walnuss), 45 mm (Baumhasel) und 25 mm (Apfel) Tiefe platziert. Lediglich bei GL2 konnte bei der Walnuss aufgrund der Flachgründigkeit die gewünschte Saattiefe nicht immer erreicht werden. Die vergrabenen Samen wurden schlussendlich mit Sägespänen abgedeckt (Anhang E. Abb. VIII E).

Nach 60 Tagen erfolgte die Kontrolle auf Anwesenheit der Samen auf den Versuchsflächen. An allen Orten, wo ein Sämling bzw. Teile davon zu sehen waren, wurde automatisch auf das Vorhandensein des Samens Rückschluss gezogen. Für die Walnuss und Baumhasel geschah die Kontrolle an Stellen ohne oberirdische Anzeichen eines Sämlings mithilfe eines Saatstechers. Da ein Verlust der beiden Nussarten immer auch mit Grabespuren einherging, erfolgte für die Überprüfung der Anwesenheit bei den kleineren Apfelsamen eine Vereinfachung. An den Saatgut-Stellen, an denen sich Indizien für Tieraktivität (z. B. Löcher, Erdhäufchen, aufgewühlte Sägespäne) zeigten, wurde mithilfe eines Lochstechers für Wühlmäuse ein Erdzylinder ausgestochen. Die obersten 5 cm wurden entnommen und direkt im Anschluss optisch im Feld bzw. bei einem negativen Ergebnis im Labor durch Auswaschen nach vorhandenem Saatgut abgesucht. An Stellen der vergrabenen Apfelsamen, wo weder Spuren von Grabeaktivität noch Sämlinge ausfindig gemacht werden konnten, wurde die Stelle ebenfalls geöffnet. Hier wurde der Erdzylinder jedoch nur bei Ungewöhnlichkeiten (wie unterirdischen Löchern) weitergehend inspiziert. Traten keine Hinweise auf tierische Aktivität zutage, wurde auf ein Vorhandensein Rückschluss gezogen, auch wenn der Samen optisch nicht gesichtet wurde. Zeigten sich in einer Probe lediglich Reste der Samenschale, wurde dies nicht als Saatgutverlust gewertet.

Die Auswertung des Datensatzes der Prädationsexperimente (siehe Anhang E. Tab. IX) wurde durch deskriptive Statistik mithilfe von arithmetischen Mittelwertvergleichen durchgeführt. Dies erfolgte mithilfe von Microsoft Excel Microsoft 365 MSO (Version 2306). Etwaige Interaktionen zwischen den einzelnen Faktoren wurden dabei nicht berücksichtigt bzw. die Haupteffekte jeweils isoliert betrachtet.

3.5.2 Erhebungen zum Vorkommen der Fauna

Forstliche Diagnose-Methoden

Mit einer abgeänderten Form der *Lochtretramethode* nach Wieland (1983) wurde die Feldmausaktivität überprüft. Dabei wurden auf einer Fläche von 54 m² alle gefundenen Wühlmauslöcher markiert, zugetreten und nach 24 h bzw. 48 h auf wieder geöffnete Löcher kontrolliert. Die *Steckholzmethode* nach Krüger (1996) wurde dafür verwendet, die Anwesenheit und Aktivität von weiteren Wühlmäusen (v. a. Erdmaus, Rötelmaus) zu ermitteln. Hierfür wurden insgesamt 50 Apfelreißer (einjährige Langtriebe des Apfelbaums) in einem Abstand von 2 m auf den Flächen ausgebracht. 25 wurden parallel und 25 diagonal zum Waldrand gesteckt, jeweils mit mehreren Metern Abstand zu den Saatgut-Plots. Darüber hinaus erlaubt es die Methode ebenfalls das Vorkommen von Rehwild und Hasenartigen sichtbar zu machen, die die Knospen als Nahrung verwenden (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) 2007). Die Fraßspuren der Nager am Kambium sind durch die Zahnspuren im darunterliegenden Holz zu identifizieren (Krüger 1996). Rehe hinterlassen ein raues bis gefranztes, flaches Fraßbild. Hasenartige ein glatteres und steileres (Kudernatsch 2017).

Eine Kontrolle auf Fraßspuren an der Rinde erfolgte zur Beendigung der Experimente nach acht Wochen.

Tierspuren

Weiterhin wurden auf und um die Testflächen herum vorgefundene Tierspuren von potenziellen Saatgut-Prädatoren qualitativ erfasst. Die Erhebungen erfolgten nicht systematisch. Alle Tierspuren wurden über den Versuchszeitraum beim Ablaufen der Flächen bzw. während den Arbeiten entdeckt. Notiert wurden aufgefundene Exkreme (siehe Anhang F. Abb. XI), Fußspuren (siehe Anhang F. Abb. XII), Fraßspuren (siehe Anhang F. Abb. XIII) oder andere auf Tiere rückschlussziehende Indizien (Bang und Dahlström 2005).

4 Ergebnisse

4.1 Expert*inneninterviews

Die Expert*inneninterviews und das Praktikum wurden im Zeitraum von Oktober bis Dezember 2022 durchgeführt. Die Ergebnisse der Interviews sind in transkribierter Form in *Anhang C. Interviews* zu finden. Diese werden wie folgt zitiert:

- R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22, Anhang C. Interview II)
- S. Junge (persön. Mitteilung, 07.11.22, Anhang C. Interview III)
- P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23, Anhang C. Interview IV)

Dabei entfällt im folgenden Text der Verweis auf den Anhang zugunsten einer besseren Lesbarkeit. Weiterhin wurde während des einwöchigen Aufenthalts bei Gut&Bösel eine Direktsaat von verschiedenen Gehölz- und Staudensamen persönlich begleitet. Allen wichtigen Schritten der unmittelbaren Flächenvorbereitung und Aussaat wurde persönlich beigewohnt. Ein Resümee der ermittelten Erkenntnisse ist im nächsten Abschnitt in Form der *Orientierungshilfe für eine Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen* zusammengetragen.

Entstehung der Orientierungshilfe

Die durch die Expert*inneninterviews gesammelten Informationen beruhen z. T. auf subjektiven Erfahrungswerten oder Meinungen Dritter. Aus diesem Grund wurden alle relevanten Auskünfte nach Möglichkeit geprüft. Dabei war ein kleiner Teil als ungenau bzw. fehlerhaft einzustufen, dieser hielt sich jedoch in Grenzen. Aus wissenschaftlichem Blickwinkel fragwürdige bzw. widerlegte Informationen wurden nicht in die Orientierungshilfe mit aufgenommen. Bei unklaren Aussagen wurde der Standpunkt anderer Arbeiten erörtert, ebenso bei den sich bestätigenden Anweisungen.

Weiterhin ist es wichtig, im Hinterkopf zu behalten, dass der zusammengetragene Leitfaden lediglich einen ersten Ansatz darstellt, wie eine Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen stattfinden könnte. Dieser muss durch fortführende wissenschaftliche Untersuchungen weiter getestet, angepasst und verallgemeinert werden.

4.2 Orientierungshilfe für die Direktsaat von Gehölzen in Agroforstsystemen

Der Erfolg einer Direktsaat ist in großem Maße vom Standort abhängig. Aus diesem Grund müssen zu Beginn die lokalen Gegebenheiten analysiert werden. Weiterhin gilt es abzuwägen, ob nicht die

Pflanzung die bessere Wahl wäre, z. B. an Standorten mit starker Konkurrenz durch Begleitvegetation, hoher Gefahr von Prädation oder Spätfrösten. Im nächsten Schritt wird die auszusäende, standortgerechte Art ausgewählt. Erst wenn dieser Prozess abgeschlossen ist, kann mit der eigentlichen Planung und Ausführung der Aussaat begonnen werden. Im Waldbau unterteilt sich eine Direktsaat in (1) die *Vorbereitung* der Fläche, (2) die *Aussaat* und im weiteren Verlauf (3) die *Kontrolle, Bewertung und Pflege* (Farlee 2013; Ivetić et al. 2016). Das grundlegende Vorgehen kann auch für Agroforstsysteme übernommen werden. Im folgendem werden sukzessive die einzelnen Schritte zum Vorgehen beschrieben.

4.2.1 Vor der Aussaat: Vorbereitung der Fläche und des Saatbetts

Ziel der Vorbereitungen ist es, die Konkurrenzvegetation und den Lebensraum für Prädatoren zu minimieren. Weiterhin sollen bestmögliche Bodenbedingungen, insbesondere für das Saatbett selbst geschaffen werden.

Beikräuter und deren Samen können vor der Aussaat wie im Absatz *Schutz vor Beikräutern* aus Kapitel 2.2.5 beschrieben durch Herbizide, Dampfgeräte, Mähen oder entsprechende Bodenbearbeitung beseitigt werden. Durch das zeitige Ausbringen von Mulch (idealerweise mehrere Wochen vor der Aussaat) wird die Vegetation abgetötet bzw. unterdrückt (Greenly und Rakow 1995; Bajorienė et al. 2013) Für Prädatoren schutz bietende Strukturen wie dichte Vegetation oder Holzpolter sollten minimiert werden. Liegt ein windiger Standort vor, muss eine Abwägung erfolgen, ob die Vegetation als Barriere stehen bleibt oder im Gegenteil sogar zusätzliche Strukturen angelegt werden (Werners 2016; P. Markgraf, persön. Mitteilung, 15.02.23). Wo nötig sollte eine (Tiefen)-Lockerung innerhalb der Baumreihen durchgeführt werden (Dupraz und Liagre 2019; R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22; S. Junge, persön. Mitteilung, 07.11.22; P. Markgraf, persön. Mitteilung, 15.02.23). Durch das Aufbrechen von Verdichtungen können einerseits die Wurzeln in tiefere Bereiche vordringen, andererseits werden wasserstauende Schichten durchbrochen. Neben einem verbesserten Zugriff auf tieferliegende Wasser- und Nährstoffvorkommen entgeht das Gehölz dem Konkurrenzkampf mit der meist flacher wurzelnden Hauptkultur sowie den Beikräutern. Insbesondere zu Beginn könnte der Baum, später die Ackerkultur unter dem gegenseitigen Wettbewerb leiden (Dupraz und Liagre 2019).

Zu guter Letzt muss das Saatbett vorbereitet werden. Gewünschte Eigenschaften sind eine gute Durchwurzelbarkeit, Erwärmbarkeit, Belüftung sowie Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit (Harmer 1995; Gómez 2004; Bärtels 2008). Die Samen müssen nach der Aussaat einen guten Kontakt zum Boden aufweisen. Vorteilhaft sind deshalb eine feinkrümelige Bodenstruktur und eine leichte Rückverfestigung nach der Aussaat. Das Saatgut profitiert dadurch von einer besseren Feuchtigkeitsversorgung durch den kapillaren Aufstieg. In der Baumschule werden zum Aussäen sandige bis sandig-lehmige, steinfreie Böden präferiert. Die Vorteile sind das leichtere Bearbeiten, das schnellere Abtrocknen und Erwärmen im Gegensatz zu lehmigen und tonigen Böden. Weiterhin wird ein ungestörteres Wurzelwachstum und eine bessere Belüftung gewährleistet (Bärtels 2008). Bei schweren Böden könnte somit auch das Hinzufügen von Sand in die Saattrinne eine Option zur Verbesserung der Bodeneigenschaften sein. Das Saatbett kann mithilfe verschiedener Maschinen vorbereitet werden. Für Grünland eignet sich laut P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) v. a. die Fräße, für den Acker die Scheibenegge. An den Geräten können z. B. Zinken, Messer oder Scheiben zum Einsatz kommen, die für die krümelige Struktur sorgen und gleichzeitig Beikräuter

bekämpfen (Mößmer 2018). Welche Technik, wo zum Einsatz kommt, hängt neben der Verfügbarkeit ebenso vom jeweiligen Standort ab. Der Zeitpunkt für eine mögliche Saatbettvorbereitung ist stark witterungsabhängig und kann nur erfolgen, wenn der Boden den richtigen Feuchtigkeitsgrad hat (Mößmer 2018). Bei einem schlechten Nährstoffhaushalt oder bei minderer Bodenstruktur sollte ggf. eine Düngung erfolgen (Amelung et al. 2018). Generell wird diese nur nach Bedarf ausgeführt und darf insbesondere im Sämlingsstadium nicht in zu hohen Mengen erfolgen (Bartsch et al. 2020).

Oftmals entsprechen die gewählten Flächen nicht den optimalen Bedingungen. Entweder lässt dies der Standort nicht zu oder eine gründliche Vorbereitung des Saatbetts würde zu teuer ausfallen (Grossnickle und Ivetić 2017). Hier bietet es sich an, beispielsweise die Saatkichte zu erhöhen, um etwaige Nachteile durch die Masse zu kompensieren (Löf et al. 2019; Wang 2020; S. Junge, persön. Mitteilung, 07.11.22).

4.2.2 Die Aussaat

Aussaatmethode

Die Aussaat kann mithilfe verschiedener Methoden vollzogen werden. Auf kleineren Flächen oder an unzugänglichen Stellen kann sie per Hand erfolgen, im größeren Stil sollte der Einsatz von Maschinen in Erwägung gezogen werden. Ob Letzteres effektiv möglich ist, hängt allerdings von der Saatgutgröße und -Form ab. Beispielsweise erschweren geflügelte Arten wie der Ahorn (*Acer*) die Maschinensaat (Bärtels 2008; Lösing 2012). Im Gegensatz zur Direktsaat im Waldbau, wo häufig die Breitsaat Anwendung findet, ermöglichen die Gegebenheiten landwirtschaftlicher Flächen die sparsamere und gezieltere Drill- oder Punktsaat (letztere wird auch Einzelkornsaat genannt). Weitere Vorteile sind die bessere Kontrolle des Saatabstands- und der Saattiefe. Im gleichen Arbeitsgang können das Abdecken und die Rückverfestigung (z. B. durch eine Walze) des Saatbetts erfolgen (Farlee 2013).

Die einfachsten Methoden bei der Handsaat sind die Rillensaat für eine durchgehende Saattrinne und die Verwendung eines Saatstocks für ein punktuelltes Saatloch. Dieser besteht aus einer etwa hüfthohen Stange (und ggf. einem Öffnungsmechanismus) mit der großfruchtige Samen bequem und schnell auf eine bestimmte Tiefe gebracht werden (Werners 2016; R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22). Bei der Rillensaat wird eine schmale Furche mit entsprechender Tiefe gezogen und die Samen nachträglich eingebracht. Bei feinerem oder geflügeltem Material kann das Saatgut auch auf das fertige Saatbett ausgebracht und mit einer feinen Hacke eingearbeitet bzw. mit Bodenmaterial überdeckt werden (Werners 2016). Zum Schluss wird auch hier die Erde z. B. mit einem Rechen leicht rückverfestigt (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22).

Der Großteil der Sämaschinen kann in Drill- und Einzelkornmaschinen unterteilt werden. Sie kommen ursprünglich aus der Landwirtschaft, finden heutzutage jedoch ebenso in Baumschulen und im Waldbau Anwendung (Lösing 2012; Werners 2016). Bei der Drillsaat wird ein kontinuierliches Verteilsystem verwendet, um das Saatgut gleichmäßig entlang der Reihe abzulegen. Klassischerweise bricht ein kleiner Schleppchar den Boden auf, das Saatgut gelangt aus dem Vorratsbehälter über ein drehendes Rad in die Furche, die durch einen nachgeschalteten Striegel verschlossen wird (Mößmer 2018). Lösing (2012) nennt als Nachteil vieler Modelle die Ausbringung der Samen in einem wenige Zentimeter breiten Band, sodass bei späterer Beikrautbekämpfung der Reihe nicht exakt an die Pflanzen herangegangen werden kann. Auch die ungleichmäßige Verteilung

der Körner gilt es zu beachten. Als Vorteil ist die breite Anpassungsfähigkeit einer Maschine an Saatgut unterschiedlicher Form und Größe zu nennen (Lösing 2012).

Einzelkornsämaschinen hingegen säen jedes Saatkorn individuell. Sie sind am präzisesten und ermöglichen einerseits eine individuelle Platzierung der Samen, andererseits eine echte Reihe (im Gegensatz zum Band) (Lösing 2012). Sie funktionieren über mit Löchern versehene Metallscheiben, an denen das Saatgut durch Unterdruck angesaugt und im richtigen Moment fallen gelassen wird. Der Abstand zwischen den Löchern definiert die Distanz zwischen den ausgesäten Samen (Mößmer 2018). Der große Nachteil liegt in der eingeschränkten Anpassungsfähigkeit und den hohen Anschaffungskosten. Verwendung finden Lochscheiben, die eine spezifische Samengröße und einen spezifischen Saatabstand vorgeben. Weiterhin muss das verwendete Saatgut eine hohe Reinheit besitzen, damit die Löcher nicht verstopfen (Lösing 2012).

Für welche Saat-Technik sich am Ende entschieden wird, hängt von vielen Faktoren ab und muss den spezifischen Anforderungen und Zielen des Anwenders entsprechen. Nach Möglichkeit ist jedoch die Einzelkornaussaat der Drillsaat zu bevorzugen.

Saattiefe

Wie bereits erwähnt, spielt die Saattiefe eine wichtige Rolle als Schutz vor Trockenheit und Prädation (Sluderj et al. 1961; Moreno und Franco 2013; Oliet et al. 2015). Grundsätzlich wird für diese die doppelte Samendicke empfohlen (Werners 2016; Grossnickle und Ivetić 2017). Bringezu (1982), Bärtels (2008) und Farlee (2013) widersprechen dieser Regel allerdings explizit. Ihrer Meinung nach ist die Tiefe nicht von der Samenstärke, sondern vielmehr von der Gehölzart, dem Keimverhalten und dem Boden abhängig. So werden z. B. laut Bärtels (2008) „langsam keimende, überliegende oder großvolumige Samen“ vergleichsweise tief vergraben. Lichtkeimer hingegen dürfen nur schwach mit Substrat abgedeckt werden. Sie benötigen zusätzlich zu den klassischen Keimvoraussetzungen den Faktor Licht. Daneben sollte die Saattiefe auch an die Bodenverhältnisse angepasst werden. Bei leichteren Böden sollte sie etwas tiefer gewählt werden als bei schwereren (VELA 2014). Bei einer Direktsaat mit einem erhöhten Risiko für Trockenheit oder Saatgutprädation ist ggf. eine noch stärkere Tiefe zu wählen (Sluderj et al. 1961; Moreno und Franco 2013). Wegen den im Freiland sehr unterschiedlich ausfallenden Faktoren ist eine genaue Angabe der Saattiefe bei der Direktsaat nicht ohne Weiteres möglich. Eine beispielhafte Übersicht über die Saattiefe ausgewählter Baumarten aus dem Baumschulbereich kann Tab. 4 entnommen werden.

Tab. 4: Saattiefe und -Abstand ausgewählter Baumarten. Gemeint ist die Tiefe für die Oberseite des jeweiligen Samens. Die Angaben entsprechend den Distanzen in der Baumschule. Nach Bringezu (1982), Bärtels (2008) und A. Schott (persön. Mitteilung, 2022).

Baumart	Saattiefe [mm]	Saatabstand [mm]
Echte Walnuss	60	100
Elsbeere	20	25
Baumhasel	45	50
Kulturapfel	20	25
Speierling	20	25
Wildkirsche	25	50

Saadichte

Die Saadichte hängt von vielen Faktoren ab. Dazu zählen z. B. der Prädationsdruck, die Baumart, die Keimfähigkeit und die Keimrate des Saatguts am jeweiligen Standort (Grossnickle und Ivetic 2017). Letztere hängt insbesondere von den Umweltbedingungen wie Boden und Witterung ab (VELA 2014). Bei einer zu erwartenden verminderten Keimrate muss entsprechend die Saatgutmenge pro ausgebrachte Fläche erhöht werden; ebenso bei Prädation und bei den bereits erwähnten ungünstigen Saatbettbedingungen (Löf et al. 2019). Eine von R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22), S. Junge (persön. Mitteilung, 07.11.22) und P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) praktizierte Methode ist die bereits erwähnte Saat auf Masse. Die Saadichte zu erhöhen entspricht ebenfalls den Empfehlungen aus der Literatur (Löf et al. 2019; Wang 2020). Dabei werden die Samen z. T. sehr dicht ausgebracht, um in erster Linie spätere Ausfälle durch Prädation zu kompensieren. In den darauffolgenden Jahren erfolgt, wo nötig, eine Ausdünnung der Jungpflanzen. Möglich ist gleichfalls das Ausbringen mehrerer Samen in „Saatnestern“. So können z. B. zwei oder mehr Samen im gleichen Saatloch ausgebracht werden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass sich am Ende mindestens ein Jungbaum erfolgreich durchsetzt (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22; Mitrová et al. 2022). Eine weitere Option ist das Ausbringen von Saatgutmischungen, d. h. mehrerer verschiedener Baumarten im gleichen Saatnest (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22). Die Idee dahinter ist, dass mindestens eine der am Standort gesäten Spezies standortgerecht sein wird und keimt, auch wenn für andere eher ungünstige Bedingungen herrschen.

Die resultierende Bestandsdichte sollte beobachtet und bei zukünftigen Aussaaten desselben Standorts angepasst werden. Eine Übersicht über die Saadichte ausgewählter Baumarten, wie sie in Baumschulen Anwendung findet, kann Tab. 4 aus dem vorherigen Abschnitt entnommen werden.

Zeitpunkt der Aussaat

Der beste Zeitpunkt für die Aussaat hängt u. a. von der jeweiligen Art und deren Keimvoraussetzungen - insbesondere der Keimtemperatur - ab (Matsuda und McBride 1989; Bärtels 2008). Weiterhin bestimmen externe Standortfaktoren wie die Prädation, Bodenfeuchtigkeit und die Möglichkeit zur Bodenbearbeitung den richtigen Moment.

Allgemein wird zwischen Herbst- und Frühjahrssaat unterschieden. In den gemäßigten Breiten wird meistens Letztere empfohlen (Ledgard 1976; Dey et al. 2008; Löf et al. 2019). Zu diesem Zeitpunkt hat der wichtigste Faktor - die Bodenfeuchtigkeit - ihr Optimum und die Samen können aufgrund der abgeschlossenen Stratifikation bzw. erhöhter Temperaturen anfangen zu keimen (Fleming et al. 2001; Kankaanhuhta et al. 2009). Weitere Vorteile sind die verminderte Prädation, weniger Ausfall durch Pathogene und ein geringeres Risiko für Spätfröste (Werners 2016). Jedoch sollten die Samen nicht zu spät ausgebracht werden, da es andernfalls zu einem Rückstand gegenüber die Begleitflora kommen kann (Schmidt 2008). Eine verspätete Aussaat kann sich darüber hinaus auf Gehölzarten, die aufgrund der Stratifikation bereits gekeimt sind, negativ auswirken. Eine Möglichkeit, das Ausbringen zu verzögern, bietet das Absenken der Temperatur des gelagerten Saatguts. Je nach Stadium der Keimung kann dieses sogar eingefroren und die weitere Entwicklung damit pausiert werden (Bärtels 2008).

Ausnahmen für die empfohlene Frühjahrssaat finden sich in ariden und semi-ariden Gebieten wie z. B. dem Mittelmeerraum. Hier können Samen in erster Linie über den Winter von der hohen Feuchtigkeit profitieren, weshalb die Herbstsaat empfohlen wird (Sánchez-González et al. 2015).

Gleiches gilt für Samen, die auf natürliche Weise bereits im Herbst keimen würden. Wird Trester ausgebracht, erfolgt ebenfalls die Herbstsaat, da sich eine längere Lagerung als schwierig gestaltet (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22; S. Junge, persön. Mitteilung, 07.11.22; P. Markgraf, persön. Mitteilung, 15.02.23). Die beste zwischenjährliche Gelegenheit für eine Direktsaat in Bezug auf den Faktor Prädation bieten Mastjahre, wenn ein Überangebot an Nahrung besteht und das Saatgut die beste Qualität in Form von großen und gesunden Samen zeigt (Caceres et al. 2017). Nach Möglichkeit erfolgt die Aussaat direkt nach der Saatbett-Vorbereitung. Zu diesem Zeitpunkt wird der Samenschluss zum Substrat am besten gewährleistet und der Beikrautbewuchs fällt am geringsten aus (Fleming und Mossa 1995). Jedoch gilt es zu beachten, ob eine (maschinelle) Saatbettvorbereitung und Aussaat Ende des Winters überhaupt möglich ist. Insbesondere auf Ackerflächen bestimmen die Feuchtigkeit und der Frost die Befahrbarkeit und die Möglichkeit, den Boden bzw. das Saatbett zu bearbeiten. Je nach Saison und Standort kann damit letztendlich die Herbstsaat die bessere Alternative darstellen (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22).

Allgemein erlaubt ein späteres Aussäen im Frühjahr die Kontrolle über die Umweltbedingungen besser steuern zu können. Allerdings spielen weitere Faktoren wie die Befahrbarkeit und Umsetzbarkeit eine wichtige Rolle. Welcher Saatzeitpunkt gewählt wird, sollte schlussendlich individuell für jeden Standort und nach den Möglichkeiten des Anwenders entschieden werden.

Schutz der Aussaat

Nach der eigentlichen Aussaat und Rückverfestigung des Saatbetts sollte die Fläche dem Standort entsprechend gegen biotische und abiotische Faktoren geschützt werden. Grundlegende Informationen zu diesem Thema sind in Kapitel 2.2.5 beschrieben.

Das Mulchen der Saatstellen ist - je nach Machbarkeit - ein probates Mittel, um Schutz vor Beikräutern, Trockenheit und Frost zu gewährleisten. Um die Saaten herum darf der Mulch gröber, schwerer und dicker sein (laut R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22) bis zu 30 cm - abhängig vom Material). Direkt über dem Saatstreifen sollte er deutlich dünner und luftiger ausfallen, sodass die Sämlinge durchbrechen können. Hier eignen sich insbesondere Sägespäne. Die Höhe hängt von der Gehölzspezies ab, liegt bei mittelgroßen Samen jedoch um die 3 - 4 cm (R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22). Soll der Bereich der Aussaat gemulcht werden, erfolgt dies am besten vor dem Säen. Zu beachten gilt es, dass der Boden aufgrund der Pufferung der Temperatur durch den Mulch länger gefroren bleiben kann. Für die Aussaat sollte das Material entsprechend frühzeitig zur Seite geschoben werden, um eine entsprechende Bodenbearbeitung für das Saatbett zu ermöglichen. Bei R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22) wird ein zusammenhängender Hügel ausgebracht, der im Anschluss zu den jeweiligen Seiten auseinandergezogen wird. Alternativ können von Beginn an zwei Haufen parallel aufgeschüttet und in der Mitte ein schmaler Streifen für die Saat freigelassen werden. Daraufhin wird die eigentliche Saattrinne gezogen (siehe Abb. 8). Laut R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22) sollte dabei kein Boden in den Mulch gelangen, um Beikräutern das Wachstum nicht zu erleichtern. Weiterhin sollte kein grobes Material ins Saatbett gelangen, um einen guten Substratkontakt zu gewährleisten. Zuletzt, nach dem Rückverfestigen des Saatbetts, wird der feinere Mulch über der Saattrinne ausgebracht. P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) rät vom Mulchen auf seinen Flächen ab, da dieser sich seinen Beobachtungen zufolge positiv auf die Populationen von Scher-, Feld- und Rötelmaus auswirkt. Granatstein und Mullinix (2008) konnten eine Zunahme an Wühlmäusen bei der Verwendung von Holzhäckseln nicht nachweisen.



Abb. 8: Querschnitt eines Saatbetts vor der Aussaat. Grobe Mulchauflage (schwarz) und Saattrinne (rot).

Vor allem nach der Keimung sollte das Einzäunen der Fläche oder der einzelnen Saatreihen erfolgen. Alternativ kann ein Einzelbaumschutz gewählt werden. Um die Gefahr durch Prädatoren weiter zu reduzieren, können Sitzstangen installiert werden. Die umliegende Vegetation sollte ebenfalls kurzgehalten werden (Mitrová et al. 2022; Winterling 2023).

4.2.3 Nach der Aussaat: Kontrolle, Bewertung und Pflege

Im weiteren Verlauf der Saison sollte die Aussaat regelmäßig kontrolliert und nach Bedarf gepflegt werden. Auch Schutzvorrichtungen wie Zäune benötigen eine regelmäßige Kontrolle auf ihre Funktionalität (Werners 2016; R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22). Ein wichtiger Bestandteil ist darüber hinaus das schrittweise Ausdünnen der Saatreihen, um die vielversprechendsten Jungpflanzen zu fördern (S. Junge, persön. Mitteilung, 07.11.22). Wo größere Lücken bestehen, kann im folgenden Jahr nachgesät werden. Eine Alternative ist das Verpflanzen von gesäten Jungbäumen von Stellen, die sowieso ausgedünnt werden müssen (Werners 2016).

Besonders wichtig ist die Kontrolle der Beikräuter. Diese muss kontinuierlich und bis zur vollständigen Etablierung und Konkurrenzfähigkeit der Gehölze erfolgen (Farlee 2013). Wie bereits erwähnt, wird mit der Entfernung der Begleitvegetation gleichzeitig Lebensraum für Prädatoren zerstört. Die Beikrautkontrolle kann neben dem Einsatz von Herbiziden auch mechanisch erfolgen. Für den Einsatz im Obst- und Weinbau existieren bereits zahlreiche Systeme, um den Unterstockbereich freizuhalten. Verwendung finden z. B. Scheibenpflüge, Hack- und Mulchgeräte, Freischneider bzw. Motorsensen eignen sich für kleinere Flächen (Keppel et al. 2018). Dabei sollten die Bäume auf keinen Fall verletzt werden. In der sensiblen Anfangsphase des Sämlings geschieht die unmittelbare Beikrautbekämpfung direkt an der Pflanze, wie auch in vielen Baumschulen, per Hand (Bärtels 2008; R. Gahler, persön. Mitteilung, 08.11.22). Bei R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22) erfolgt das Jäten einmal jährlich. Es wird aufgrund der kontinuierlichen Mulchzufuhr jedoch mit einer deutlichen Abnahme über die darauffolgenden Jahre gerechnet. Besonders einfach kann das fortlaufende Mulchen durch das Mähen des neben den Reihen liegenden Grünlandes erfolgen. Dieses wird nach dem Schnitt direkt auf den alten Haufen abgelegt.

Werden dichte Hecken oder Säume auf gut vorbereitete Böden gesät, kann auf das Jäten und Vereinzeln i. d. R. verzichtet werden (P. Markgraf, persön. Mitteilung, 15.02.23). Wie bereits erwähnt, können sich Begleitpflanzen in einem gewissen Rahmen auch positiv auf die Bäume ausüben. Die Vorteile sind stets mit der Konkurrenz um Wasser, Licht und Nährstoffe zwischen Gehölz und Begleitflora abzuwägen. Eine Bewässerung sollte nur nach Notwendigkeit und bei einem Risiko größerer Ausfälle erfolgen.

4.3 Die Direktsaat im GH3

4.3.1 Durchführung

Eine besondere Vorbereitung der vorgesehenen Saatbereiche im GH3 erfolgte nicht, da grundlegende Bodenbearbeitungen bereits im Herbst zuvor für den Winterweizen unternommen wurden (siehe Abschnitt 3.1.3). In den beiden Tagen vor der Direktsaat wurde sowohl mithilfe eines Futtermischwagens als auch händisch Mulch auf den Saatstreifen ausgebracht. Dabei handelte es sich um das bereits erwähnte Holzhäcksels-Gemisch aus Laub- und Nadelholz, das auf einer Breite von ca. 50 cm und einer Höhe von ca. 20 cm konvex ausgebracht wurde. Die eigentliche Aussaat erfolgte per Hand und ohne den Einsatz von Maschinen.

Zu Beginn wurden die 2 m langen Saatstreifen zwischen den Holundersträuchern eingemessen und - um den Boden freizulegen - der Mulchhügel mithilfe eines Rechens zu beiden Seiten geöffnet (siehe Abb. 9 A & B). Somit ergab sich ein 15-20 cm breiter Streifen freier Boden. Restliche grobe Mulchstücke wurden per Hand entfernt. Aufgrund von Nachtfrosten und der isolierenden Wirkung des Mulchs war die Erde anfangs noch gefroren und musste zuerst auftauen. Deswegen wurde der Boden mit zeitlichem Abstand mit einer Hacke und einem Rechen gelockert und anschließend eine Saattrinne mit einem Handpflug gezogen (siehe Abb. 9 C). Gelockerte Pflanzen des Winterweizens wurden nach Möglichkeit entfernt. Die Arbeit erfolgte bewusst nicht zu gründlich, um eine leichte Beschattung für die späteren Jungbäume zu ermöglichen. Die Krümelung und damit die Qualität des Saatbetts schwankte stark zwischen den unterschiedlichen Saatstellen (siehe Anhang D. Abb. IV). Bei einigen Saatreihen gelang durch das Rechen Bodenmaterial auf den Mulchhügel (Abb. 10 F).



Abb. 9: Saatbett-Vorbereitungen im GH3. A) aufgezogener Mulchhügel; B) freigelegter Boden mit Winterweizen; C) mit Handflug geöffneter Boden. Fotos: Goldenberg 2023.

Die Samen von Speierling und Elsbeere wurden in einem Abstand von 25 mm und einer Tiefe von etwa 20 mm, die der Wildkirsche in einem Abstand von 50 mm und einer Tiefe von 25 mm ausgebracht (vgl. Tab. 4). Das Setzen der Samen erfolgte per Hand und wurde von verschiedenen Personen durchgeführt (siehe Abb. 10 A & B). Danach wurden die Saatzeilen mit Boden aufgefüllt und leicht verfestigt. Das Schließen erwies sich aufgrund der schwankenden Bodenstruktur je nach Saatstelle als mehr oder weniger schwierig (siehe Abb. 10 C). In Reihe 1 zeigte das Gefüge einen hohen Anteil grober und klumpiger Bröckel. In Richtung Westen wuchs der Anteil an krümeligem und subpolyedrischem Material (Vergleiche Anhang D. Abb. IV). Ebenso wurden die groben

Aggregate poröser, lockerer und ließen sich leichter zerkleinern. In Reihe 4 gab es ebenfalls Unterschiede im Gefüge, wobei sich hier tendenziell Richtung Westen hin das Saatbett verbesserte. Teilweise waren gröbere Holzstücke des Mulchs zurück ins Saatbett gefallen, was einen ausreichenden Saatschluss an die Bodenpartikel erschwerte.

Nach dem Abschließen des eigentlichen Saatvorgangs wurden beide Seiten des gröberen Holzhäcksel-Mulchs wieder näher an die Saatlinie geschoben und zum Abschluss Sägespäne (ein Gemisch aus Laub- und Nadelholz) über das rückverfestigte Saatbett gegeben (Abb. 10 D). Die feineren Samen der beiden *Sorbus*-Arten erhielten ca. 2 cm, die Wildkirsche ca. 3 cm (jeweils aufgeschüttet). Der Sägespäne-Mulch wurde aufgrund von stärkeren Windböen leicht verfestigt. Eine fertige Saatreihe ist in Abb. 10 E (& F) zu sehen. Eine Bewässerung der Saat wurde nicht durchgeführt.

Die Aussaat der Walnüsse erfolgte zwei Wochen später analog zur Aussaat der drei anderen Arten. Die Samen wurden mit einem Abstand von 100 mm und einer Tiefe von etwa 60 mm ausgebracht (Tab. 4). Für das Einbringen der tieferliegenden Walnüsse wurde ein Saatstecher verwendet und die Nuss möglichst horizontal ausgebracht. Die Dicke der Sägespäne war entsprechend der Samenstärke höher als bei den anderen Baumarten (ca. 4 cm).

Weitere Schutz- und Pflegemaßnahmen der Direktsaat

Mitte Mai wurde um jeden einzelnen Saatstreifen ein Wildtierzaun (*Arcelor Wildzaun-Knotengeflecht 160/20/15*) aufgestellt (siehe Anhang D. Abb. V). Die Maschenweite des Modells ist im unteren Bereich verengt und vergrößert sich erst nach oben hin. Dadurch sichert der Zaun sowohl gegen Hasen als auch gegen Hirschartige ab (Grube KG 2023). In jeder Ecke wurden vier Akazienstäbe zur Stabilisierung angebracht und die Drahtmaschen an diesen durch jeweils zwei wiederverwendbare Kabelbinder fixiert. Die Befestigung erlaubte es, eine Seite als Zugang für Kontroll- und Jätarbeiten schnell öffnen zu können. Die Breite des Zauns belief sich auf 1 m, die Länge betrug auf beiden Seiten 2,5 m. Dies sollte genügend Abstand gegen Wild ermöglichen. Es wurde bis zum Abschluss dieser Arbeit weder ein Jätvorgang noch ein Schnitt des in den Saatstreifen stehenden Winterweizens durchgeführt (siehe Anhang D. Abb. V).



Abb. 10: Vorgehensweise bei der Direktsaat im GH3. A) & B) Platzierung der Samen bei *Sorbus*; C) Versuch, die Saat mit Substrat abzudecken. Zu erkennen ist die plastische Konsistenz des Bodens; D) Mulchen des Saatbetts mit Sägespänen; E) fertige Saatreihe; F) fertige Saatreihe mit Erdkontamination auf dem Mulch. Fotos: Goldenberg (A, E & F), Minarsch (B, C & D).

4.3.2 Entwicklung

Die beiden *Sorbus*-Arten Speierling und Elsbeere durchbrachen ab der ersten Aprilwoche die Oberfläche, die Wildkirsche trat zu diesem Zeitpunkt nur vereinzelt auf (siehe Abb. 11 A-C). Das erste sichtbare Exemplar der Walnuss zeigte sich bei einer Begehung am 25. Juni (Abb. 11 D). Insgesamt offenbarten die beiden *Sorbus*-Arten die besten Auflaufergebnisse, gefolgt von der Kirsche (siehe Tab. 5). Reihe 4 zeigte tendenziell bessere Ergebnisse als Reihe 1, mit Ausnahme des letzten Saatstreifens (Nr. 9) im westlichen Bereich von Reihe 1. Bei der Begehung Mitte Juni wurden weniger Sämlinge gefunden als einen Monat zuvor. Die unter idealisierten Bedingungen ermittelten Keimraten sowie ein Vergleich mit Literaturwerten können Anhang A. Tab. III entnommen werden. Auffällig war, dass die Samen häufiger unregelmäßig über eine einzelne Saatreihe verteilt auftraten. So waren sie an manchen Stellen sehr häufig, an anderen überhaupt nicht anzutreffen (siehe Abb. 11 E). Ein extremes Beispiel war eine Elsbeeren-Reihe mit über 13 Sämlingen in Folge mit lediglich einer Lücke dazwischen. Der nächste Sämling zeigte sich erst in über 1 m Entfernung. Zwischen der Begehung Mitte Mai und Mitte Juni gab es bei den jungen Sämlingen nur einen schwachen Höhenzuwachs (siehe Abb. 11 F & G). Lediglich wenig Exemplare zeigten bessere Wuchsleistungen (siehe Abb. 11 H & I).

Die Oberfläche aller Saatreihen war (bis auf eine Ausnahme) unbeschädigt. Aufgegrabene Stellen oder ein Saatgutverlust konnten nicht festgestellt werden. Stichprobenartig wurde an von Sämlingen freien Stellen in den Reihen von Speierling, Elsbeere und Wildkirsche Saatgut ausgegraben und analysiert. Auf eine großflächigere Entnahme wurde verzichtet, um eventuell keimende Samen nicht zu stören. Das entnommene Saatgut zeigte größtenteils erkrankte Exemplare (siehe Abb. 12 H). Bei allen drei Arten traten verwesende und faulig riechende Samen auf. Die harte Samenschale der Kirsche war dabei teilweise optisch noch intakt und geschlossen. Daneben fanden sich jedoch auch gesunde Samen, die keine Anzeichen einer Keimung aufwiesen.

Im Laufe der weiteren Entwicklungsphasen zeigten sich bei den drei zuerst erschienen Arten Schäden an den Sämlingen (siehe Abb. 12 A-D). Einerseits wurden Blätter eindeutig angefressen, andererseits lagen Sämlinge mit durchtrennter Sprossachse und ohne Zahnsuren auf dem Mulch. Die Besichtigung Mitte Mai zeigte Fraßschäden bei etwa 5-10 % aller Sämlinge. Diese reichten von minimalen Schäden an den Keimblättern bis hin zum Totalausfall der Pflanze. Die Begehung am 25. Juni zeigte ebenfalls Fraßspuren an einer Ähre des Winterweizens (siehe Abb. 12 E). Diese lag auf der Saatreihe, also innerhalb des Zaunes. Auch die sich zwischen den Saatreihen befindlichen Pappeln, Holundersträucher und Apfelbäume zeigten Fraß- und Fegeschäden durch Rehwild (siehe Abb. 12 F & G).

Tab. 5: Anzahl aufgefundener Sämlinge in den Saatstreifen des GH3. Ergebnisse für Mitte Mai und Mitte Juni. Insgesamt wurden pro 2 m langen Saatstreifen folgende Mengen an Samen ausgesät: Elsbeere & Speierling: 80, Kirsche: 40, Walnuss: 20. Die Nummerierung der Saatstreifen erfolgte entsprechend Abb. 4. # = Anzahl. % = Prozentsatz.

	Saatstreifen	# 15. Mai	# 20. Juni	% 15. Mai	% 20. Juni	Art
Reihe 1	1	7	4	8,75	5,00	Speierling
	2	0	0	0,00	0,00	Walnuss
	3	0	0	0,00	0,00	Kirsche
	4	6	6	7,50	7,50	Elsbeere
	5	9	7	11,25	8,75	Speierling
	6	0	0	0,00	0,00	Walnuss
	7	1	1	2,50	2,50	Kirsche
	8	7	6	8,75	7,50	Elsbeere
	9	22	19	27,50	23,75	Speierling
Reihe 4	1	11	8	13,75	10,00	Speierling
	2	0	0	0,00	0,00	Walnuss
	3	0	0	0,00	0,00	Kirsche
	4	21	13	26,25	16,25	Elsbeere
	5	15	8	18,75	10,00	Speierling
	6	0	0	0,00	0,00	Walnuss
	7	8	6	20,00	15,00	Kirsche
	8	35	27	43,75	33,75	Elsbeere
	9	20	19	25,00	23,75	Speierling
	10	0	1	0,00	5,00	Walnuss
	11	3	4	7,50	10,00	Kirsche
	12	14	15	17,50	18,75	Elsbeere

Die direkte Präsenz von Mäusen, Hasen und Vögeln auf den Saatreihen zeigten gefundene Exkremete (vgl. mit Anhang E. Abb. IX H und Anhang F. Abb. XI A & F). Auffällig waren innerhalb der ersten Woche zwei Kothaufen vom Rotfuchs (*Vulpes vulpes* LINNAEUS) auf den Holzhäckseln in Reihe 1 (siehe Anhang F. Abb. XI B). Ein weiterer Kothaufen des Europäischen Dachses (*Meles meles* LINNAEUS) konnte neben dem Mulchhügel ausfindig gemacht werden (vgl. mit Anhang F. Abb. X E). In der Ackerfläche dazwischen wurden mehrmals Fußspuren von Reh, seltener vom Wildschwein entdeckt. Weiterhin wurden junge Exemplare von Nacktschnecken (vermutlich aus der Familie der Ackerschnecken (*Agriolimacida*)) aufgefunden. Eine Auflistung aller für die Prädation von Samen und Pflanzen relevanter Tiergruppen ist in Anhang D. Tab. VIII zu finden.

In Bezug auf Beikräuter zeigte insbesondere der Winterweizen ein starkes Wachstum (siehe Anhang D. Abb. V). Die Vegetationsdichte des Getreides schwankte allerdings zwischen den einzelnen Saatstreifen. Weitere Pflanzen der Segetalflora spielten eine untergeordnete Rolle. Ebenso wechselte hier die Artenzusammensetzung zwischen den unterschiedlichen Lokalitäten.

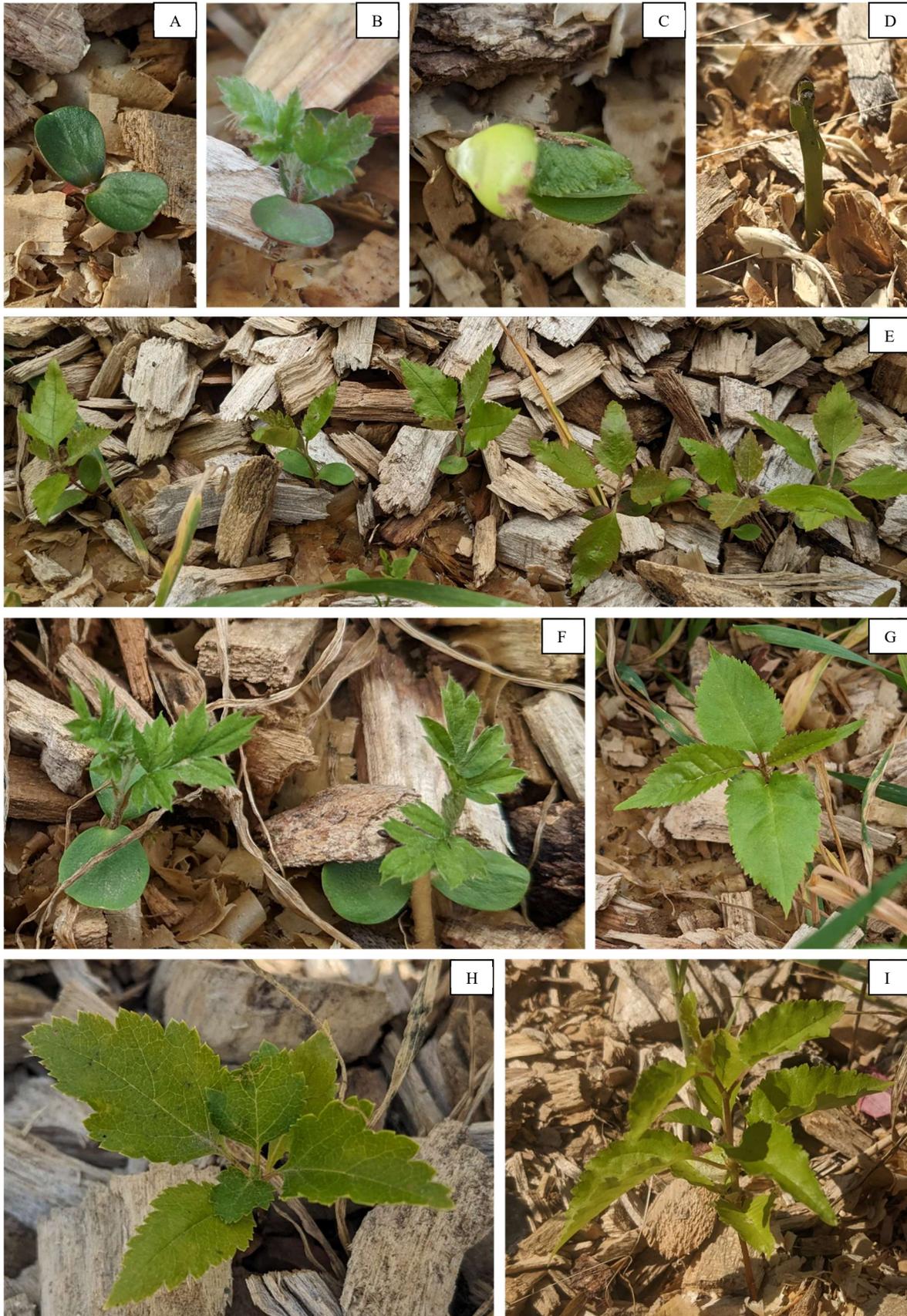


Abb. 11: Entwicklung der Aussaat im GH3. A) Keimblätter der Elsbeere; B) Sämling des Speierlings; C) Sämling der Kirsche; D) Sämling der Walnuss; E) Reihe mit Elsbeere; F) jüngere Speierlinge; G) jüngere Kirsche; H) ältere Elsbeere & I) ältere Kirsche. Fotos: Goldenberg 2023.

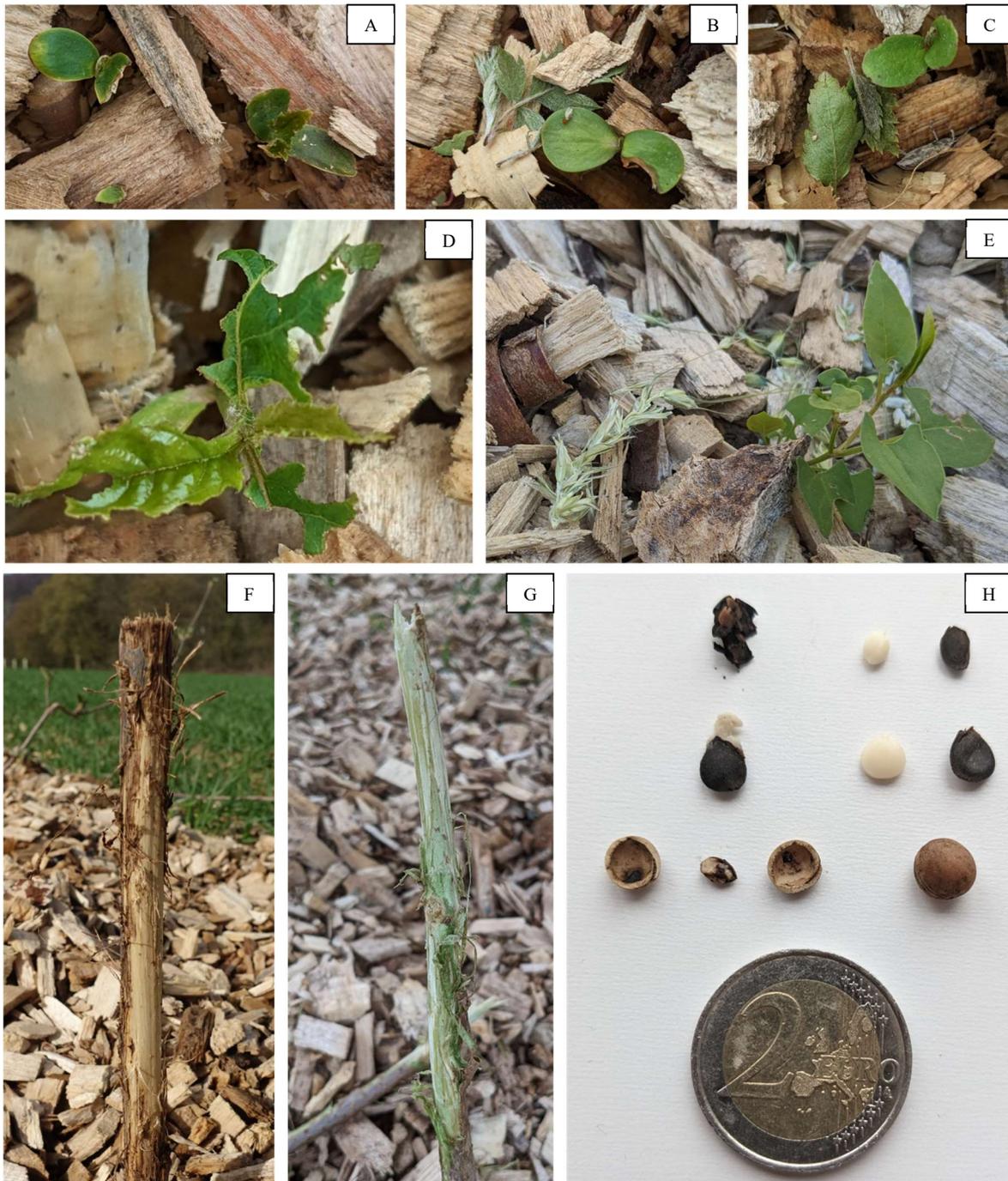


Abb. 12: Schäden an Pflanzen und Samen im GH3. **A)** Fraßschäden an einem jungen Sämling der Elsbeere; **B) & C)** zweigeteilter Speierling und zweigeteilte Elsbeere; **D)** angefressene Blätter bei der Kirsche; **E)** abgefressene Ähre des Winterweizens innerhalb des Zaunes; **F)** Fegeschäden bei Pappelsteckling **G)** Fegeschäden bei Holunder & **H)** abgestorbenes (links) und im Vergleich intaktes (rechts) Saatgut von Elsbeere (oben), Speierling (mittig) & Kirsche (unten). Fotos: Goldenberg 2023.

4.4 Prädationsexperimente

4.4.1 Entwicklung des Saatguts

Im Gegensatz zur Entwicklung im GH3 kennzeichneten sich viele Subplots auf den Ackerflächen der Prädationsexperimente durch umgeschichtete Erde und Löcher im Bereich der Sägespäne. Die Bandbreite erstreckte sich von leichten Spuren über freigelegtes Saatgut bis hin zur vollständigen Abwesenheit der vorher ausgebrachten Samen (siehe Abb. 13 A-F). Dabei waren häufig neben den Löchern aufgeschüttete Erdhügel aus feinem Material sichtbar (Abb. 13 B, D & F). Die Subplots der Baumhasel zeigten am häufigsten Grabspuren, die des Apfels am wenigsten. Sowohl Früchte von Walnuss als auch Baumhasel offenbarten sich auf den Ackerflächen als halbierte Schalenreste; letztgenannte ebenfalls perforiert (siehe Anhang F. Abb. XIII A & D). Auffällig waren viele freigelegte Saatpunkte der Walnuss, ohne dass dessen Samen entfernt wurden (Abb. 13 F). Dies trat insbesondere auf AL2 und etwas geringer auf AL1 auf.

4.4.2 Entwicklung der Sämlinge

Auf allen Flächen fanden sich im Vergleich mit den anderen beiden Baumarten deutlich mehr Sämlinge des Apfels. Bei Baumhasel und Walnuss fiel die Anzahl in etwa gleich aus. Hier zeigten sich nur vereinzelte Exemplare über der Erdoberfläche. Bemerkenswert war weiterhin die im Vergleich zu AL2 und den beiden Grünlandflächen geringere Anzahl an Apfelsämlingen auf AL1 (siehe Anhang E. Tab. X). Im Anhang E. Tab. XIV sind die Literaturwerte sowie die unter idealen Bedingungen getesteten Keimraten der drei Gehölze zu finden. Daneben wurde auf AL1 eine Vielzahl verfaulter bzw. erkrankter Apfelsamen vorgefunden (Abb. 13 G). Der Boden zeigte sich hier ebenfalls mit gröberen Aggregaten, mit einer stark plastischen Konsistenz und einem teilweise fauligen Geruch (siehe Anhang E. Abb. VIII B). Ähnlich wie im GH3 wiesen die Blätter und Sprossachsen der Sämlinge im Verlauf der Studie Schäden auf. Diese reichten von leichten Fraßspuren an den Keimblättern (siehe Anhang E. Abb. IX C) über massive an den Laubblättern (siehe Anhang E. Abb. IX B, D, F & G) bis hin zum vollständigen Verlust der oberirdischen Pflanzenmasse (siehe Anhang E. Abb. IX E). Selten konnte eine Reihe an Sämlingen ohne Schäden entdeckt werden (Anhang E. Abb. IX A). Darüber hinaus wurden auch Fraßspuren an den umliegenden Gräsern und Kräutern aufgenommen (siehe Anhang E. Abb. IX H).

Bei der Aussaat der Samen zeigte die Vegetation auf den beiden Getreidefeldern sowie auf GL1 nur geringe Wuchshöhen von max. 10-15 cm. Bei Beendigung der Experimente zeigte der Winterweizen eine Höhe von durchschnittlich 50-60 cm, der Winterroggen von 100-110 cm und die Wiese des extensiv genutzten GL1 20-30 cm. Das intensiv genutzte GL2 wies von Anfang an eine dichte Grasnarbe mit einer Höhe von ca. 10-20 cm auf und erreichte Anfang Mai eine Höhe von etwa 40-60 cm.



Abb. 13: Entwicklungen beim Saatgut des Prädationsexperiments. A) oberflächliche Grabspuren bei Walnuss; B) und C) Grabspuren bei Apfelsamen; D) geöffnete Saatstelle mit entfernter Baumhasel; E) geöffnete Saatstelle einer Baumhasel; zurückgeblieben ist nur die verholzte Fruchtwand; F) aufgegrabene, aber nicht entfernte Walnüsse; G) verfaulte Apfelsamen. Fotos: Goldenberg 2023.

4.4.3 Flora und Fauna der Versuchsflächen und Umgebung

Die angrenzende Wald- und Waldrand-Vegetation für AL1 und AL2 unterschied sich nur gering (siehe Anhang B. Tab. VI). Sie zeigte einen von den Arten her ähnlichen Saum- und Strauchgürtel, der in einen von Buchen dominierten Mischwald überging. Naturverjüngung konnte auf keinen der beiden Flächen ausfindig gemacht werden. Auf dem Standort von GL1 wuchs direkt ein klassischer Buchenwald ohne Waldrand. GL2 wurde von einem dichten und artenreichen Saum- und Strauchgürtel abgegrenzt. Der anschließende Wald bestand fast ausschließlich aus Eichen. Auf beiden Flächen zeigte sich am Waldrand eine Naturverjüngung in Form von Buche (GL1) und Eiche (GL2).

Nagespuren von Wühlmäusen konnten durch die Steckholzmethode lediglich auf den Ackerschlägen festgestellt werden (Tab. 6, Anhang F. Abb. XIII G). Nach zwei Wochen fanden sich zwei ($\cong 4\%$) angenagte Apfelreiser auf AL1 und einer ($\cong 2\%$) auf AL2. Bis zur Beendigung des Experiments Anfang Mai kam es in Bezug auf Nagetiere zu keinen weiteren Veränderungen. Weiterhin fiel ein z. T. starker Verbiss durch Rehwild auf (Anhang F. Abb. XIII F & H). Dabei zeigten sowohl AL1 als auch GL1 hohe Werte. Schäden in GL2 fielen hingegen gering aus. Daneben wurden Fraßspuren durch Hasen aufgenommen (Anhang F. Abb. XIII H). Diese offenbarten sich überall bis auf GL2.

Tab. 6: Ergebnisse der Apfelreisermethode. Die Zahlen geben die Anzahl [%] angegriffener Steckhölzer nach 8 Wochen an.

Art	AL1 [%]	AL2 [%]	GL1 [%]	GL2 [%]
Reh	54	36	56	14
Hase	14	8	8	0
Wühlmaus	4	3	0	0

Für die Lochtretmethode wurden die kleinflächigen Ackerränder von AL1 und AL2 beprobt, jeweils auf 54 m² der Grünlandstreifen und auf Höhe der Transekte. Im Grünland wurden keine Wühlmauslöcher entdeckt. Es zeigte sich eine deutlich höhere Anzahl an Wühlmauslöchern wie auch eine deutlich höhere Rate wieder geöffneter Löcher auf AL2 (Tab. 7). Auf AL1 machte sich lediglich ein einziges wieder geöffnetes Loch bemerkbar.

Tab. 7: Ergebnisse der Lochtretmethode. Getestet wurden die Ränder der beiden Ackerschläge auf einer Fläche von 54 m² nach 24 h und nach 48 h. Auf den Grünlandflächen wurden keine Feldmauslöcher gefunden.

geöffnete Löcher	AL1		AL2	
	24 h	48 h	24 h	48 h
Anzahl	1/7	1/7	15/40	32/40
Prozentsatz [%]	14,3	14,3	37,5	80,0

Spuren von Wildschweinen, Rehwild und Mäusen konnten auf allen Flächen ausfindig gemacht werden (Tab. 8). Neben den bereits erwähnten Fraßspuren waren Exkremete (Anhang F. Abb. XI C & D) und Trittsiegel (Anhang F. Abb. XII A & B) von allen drei Tieren zu finden. Frische Wühlspuren vom Wildschwein traten in den Grünlandstreifen neben AL2 sowie auf GL1 auf. Eichhörnchen konnten lediglich in der Nähe der beiden Ackerflächen durch Sichtungen ausfindig gemacht werden. Unabhängig von den Experimenten konnten, zusätzlich zu AL1, an geöffneten

Walnüssen auf einem Zufahrtsweg in der Nähe Fraßspuren gefunden werden. Für Hasen oder Kaninchen fanden sich Exkremete auf allen Flächen bis auf GL2. Nacktschnecken (vermutlich ebenfalls aus der Familie der Ackerschnecken) konnten an allen Standorten festgestellt werden.

Tab. 8: Ermittelte Prädatoren der vier Versuchsflächen und ihrer Umgebung. Die Zahlen der Spalte „Hinweis“ spiegeln die Fundart wider und sind wie folgt definiert: 1 = Exkremete; 2 = Fährten und Fußspuren; 3 = Fraßspuren; 4 = Sichtung; 5 = Andere Spuren (z. B. Haare, Löcher, Baute); 6 = Diagnose-Methoden.

Einordnung	Gruppierung	AL1	AL2	GL1	GL2	Hinweis
Paarhufer	Rehwild	X	X	X	X	1 - 4 / 6
	Schwarzwild	X	X	X	X	1 / 2 / 5
Nagetiere	Mäuseartige	X	X	X	X	1 - 4 / 6
	Hörnchen	X	X			3 / 4
Hasenartige	Hase / Kaninchen	X	X	X		1 / 3 / 4 / 6
Vögel	Unbekannt	X	X			3 / 4
Schnecken	Nacktschnecke	X	X	X	X	4

4.4.4 Wirkung der Vergällung auf die Saatgutverluste

Insgesamt konnten für alle Samenarten und Behandlungen nur geringe bis gar keine Verluste festgestellt werden, was einen eindeutigen Nachweis für einen Effekt der Vergällung erschwerte (siehe Abb. 14 B-F). Die einzige Ausnahme bildete die Baumhasel auf Ackerland, bei der ein Vergleich zwischen den Verlusten von vergällten und unvergällten Samen keinen Unterschied zeigte (Abb. 14 A). Entsprechend konnte kein Effekt der Vergällung festgestellt werden.

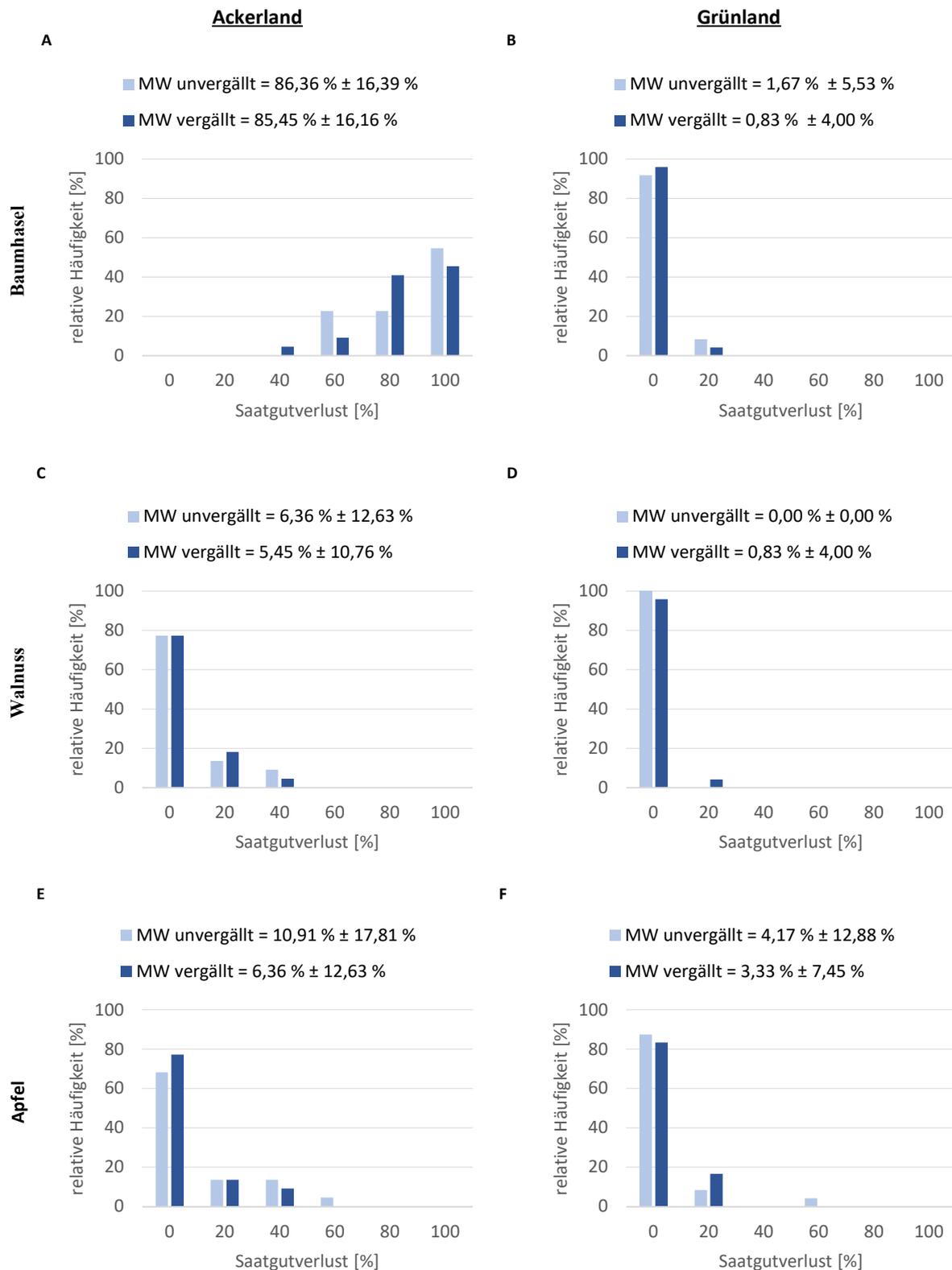


Abb. 14: Frequenzdiagramme für den Vergleich mit der Vergällung. Dargestellt ist die relative Häufigkeit an Subplots mit 5, 4, 3, 2, 1 oder 0 verlorenen Samen, jeweils für unvergällt und vergällt. Dabei entsprechen null aufgefundene Samen 100 % Verlust pro Subplot und fünf aufgefundene Samen 0 %. Angegeben ist weiterhin der Mittelwert (MW) (\pm empirische Standardabweichung) über alle Subplots eines Treatments. Die Diagramme sind jeweils für **A & B**) Baumhassel, **C & D**) Walnuss und **E & F**) Apfel dargestellt. Für die Subplots des Grünlands gilt: $n = 24$, für die des Ackerlands: $n = 22$ (zwei Subplots fehlen auf AL2 aufgrund des Konflikts mit einem anderen Experiment). Die Werte für die absoluten Häufigkeiten sind in Anhang E. Tab. XI zu finden.

4.4.5 Vergleich der Saatgutverluste zwischen Grün- und Ackerland

Aufgrund der Tatsache, dass sich für den Vergleich mit der Vergällung keine Unterschiede ergaben (siehe 4.4.4) wurden die vergällten und unvergällten Saatstellen für eine Verbesserung der Genauigkeit der Ergebnisse im weiteren Verlauf zusammengelegt.

Für die Baumhasel zeigte die Gegenüberstellung von Grün- und Ackerland eine deutliche Differenz in der Anzahl nicht wiedergefundener Samen (siehe Abb. 15 A). Für die Walnuss fiel im Vergleich der beiden Bodennutzungstypen sowohl der Unterschied als auch die totale Verlustrate für das Ackerland deutlich geringer aus (siehe Abb. 15 B). Für das Grünland zeigte sich lediglich ein verlorener Samen. Für die Ackerflächen hielten sich die Saatgutverluste ebenfalls in Grenzen. Ein ähnliches Bild zeigte sich beim Apfel allerdings mit etwas höheren Verlusten (siehe Abb. 15 C).

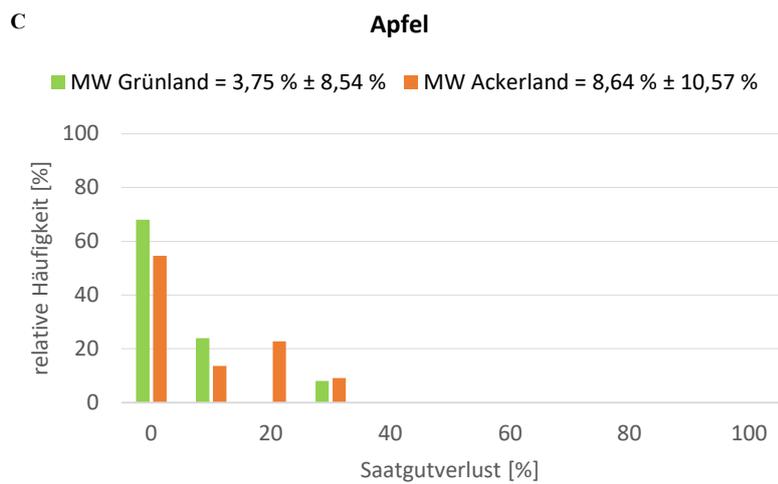
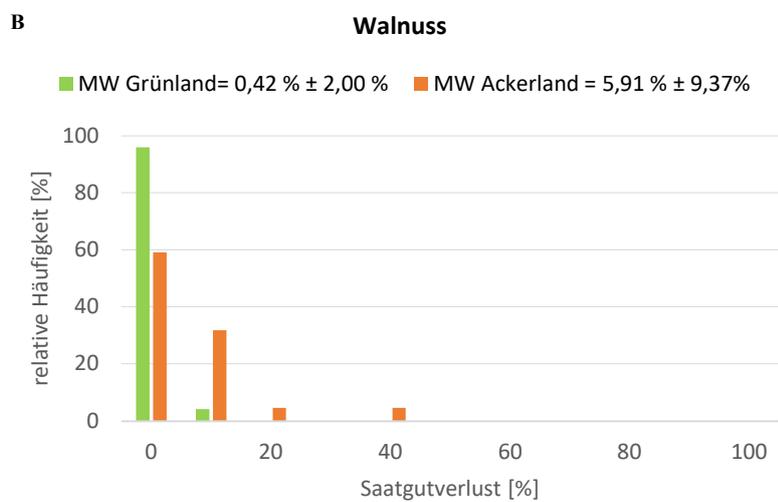
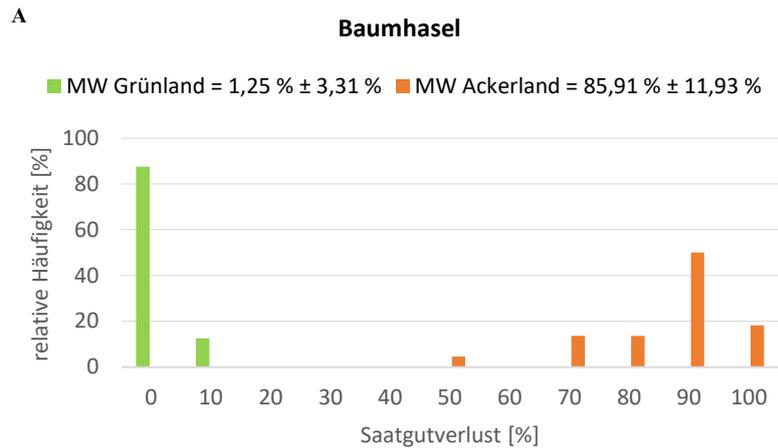


Abb. 15: Frequenzdiagramme für den Vergleich von Grün- und Ackerland. Dargestellt ist die relative Häufigkeit an Subplots mit 10 bis 0 gefundenen Samen - jeweils für Grün- und Ackerland. Dabei entsprechen null aufgefundene Samen 100 % Verlust pro Subplot und zehn aufgefundene Samen 0 %. Angegeben ist weiterhin der Mittelwert (MW) (\pm empirische Standardabweichung) über alle Subplots der Grün- bzw. Ackerflächen. Die Diagramme sind jeweils für **A)** Baumhasel, **B)** Walnuss und **C)** Apfel dargestellt. Für die Subplots des Grünlands gilt: $n = 24$, für die des Ackerlands: $n = 22$. Die Werte für die absoluten Häufigkeiten sind in Anhang E. Tab. XII zu finden.

4.4.6 Abhängigkeit der Saatgutverluste zur Entfernung zum Waldrand

In Bezug auf die Unterschiede zwischen den Saatgutverlusten für verschiedene Distanzen zum Waldrand deutete sich lediglich für die Baumhasel auf Ackerland eine sehr schwache Tendenz an. Hier nahm mit zunehmendem Abstand zur Gehölzvegetation die totale Verlustrate minimal ab (siehe Abb. 16 A). Aufgrund der hohen Variabilität und der geringen Anzahl an Replikaten ist die Aussage zu den Effekten der Entfernung jedoch mit einer großen Unsicherheit belastet.

Auf den Grünlandflächen fiel der totale Verlust insgesamt so schwach aus, dass sich ein Effekt nicht erkennen ließ (siehe Abb. 16 B, D & F). Die geringer ausfallenden Werte für Walnuss und Apfel auf Ackerland zeigten keinen Einfluss durch die Distanz zum Waldrand. Allerdings erscheint auch hier eine Aussage aufgrund der hohen Variabilität nicht sinnvoll (siehe Abb. 16 C & E).

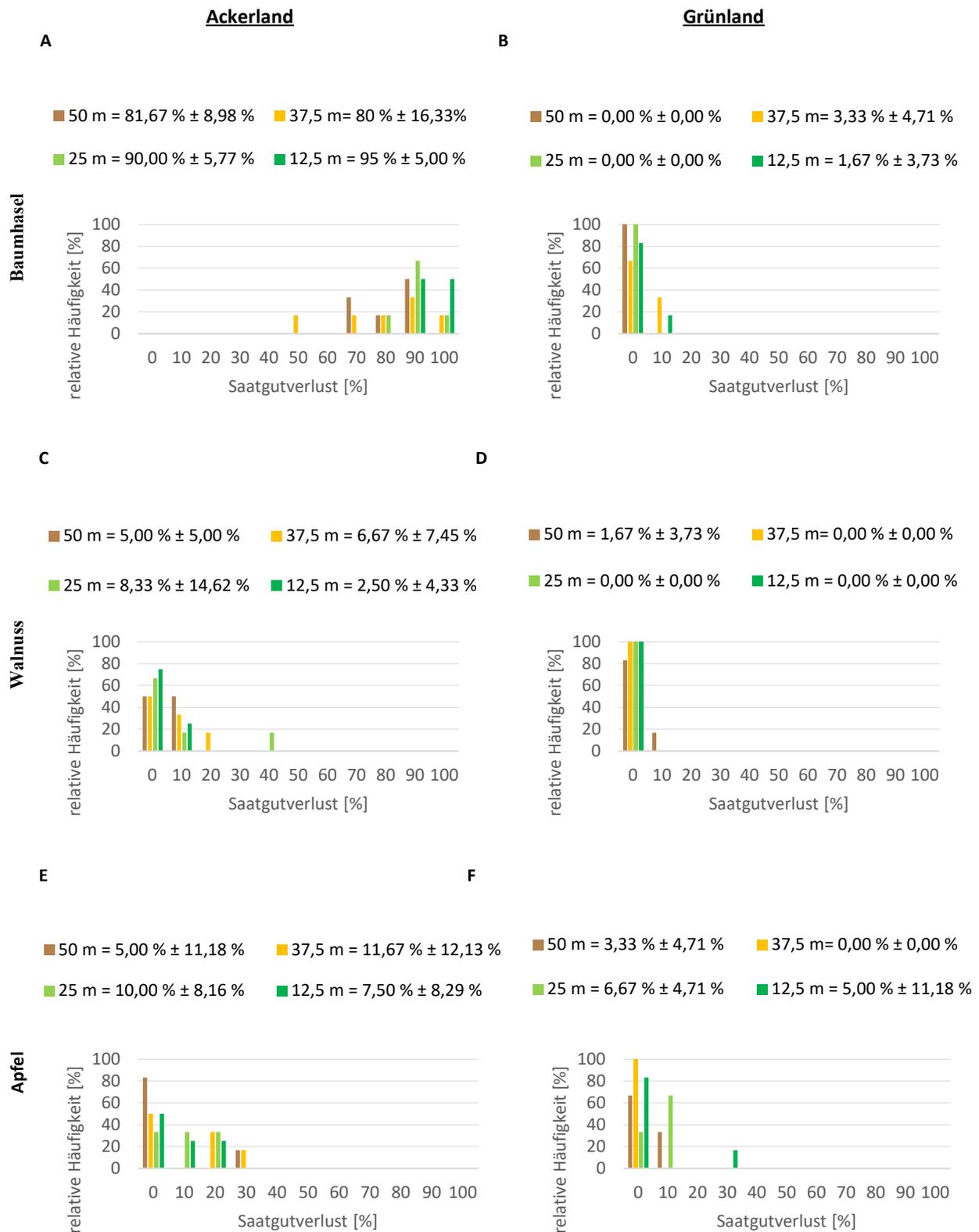


Abb. 16: Frequenzdiagramme für den Vergleich der verschiedenen Distanzen zum Wald. Dargestellt ist die relative Häufigkeit an Subplots mit 10 bis 5 verlorenen Samen, jeweils für die vier Entfernungen zum Waldrand von 50 m (Reihe 4), 37,5 m (Reihe 3), 25 m (Reihe 2) & 12,5 m (Reihe 1). Dabei entsprechen null aufgefundene Samen 100 % Verlust pro Subplot und zehn aufgefundene Samen 0 %. Angegeben ist weiterhin der Mittelwert (MW) (\pm empirische Standardabweichung) über alle Subplots einer Reihe. Die Diagramme sind jeweils für **A & B**) Baumhasel, **C & D**) Walnuss und **E & F**) Apfel dargestellt. Für die Subplots von Reihe 2-4 gilt $n = 6$, für die von Reihe 1 $n = 4$. Die Werte für die absoluten Häufigkeiten sind in

5 Diskussion

5.1 Expert*inneninterviews & Orientierungshilfe

Bereits erwähnt wurde, dass die Aussagen aus den Expert*inneninterviews in einigen wenigen Fällen fehlerhaft bzw. fragwürdig waren. Dies zeigt den subjektiven Charakter der gewonnenen Informationen. Alle Interviewpartner*innen hatten einen unterschiedlichen Fokus, Hintergrund und Erfahrungszeitraum mit der Direktsaat von Gehölzen (Anhang C. Tab. VII). Hinzu kommt, dass generell eine Verallgemeinerung und Übertragung von einem Standort auf einen anderen nicht ohne Weiteres möglich ist. Daher wurde versucht, mithilfe der Fachliteratur zu generalisieren. Dies unterstreicht, dass die Orientierungshilfe stets an die lokal gegebenen Faktoren angepasst werden muss. Beispiele stellen die sandigen Böden der drei Praktiker dar, die im Vergleich zu den schwereren Böden des Gladbacherhofs offenbar keine herausragende Sorgfalt benötigen. Hier müssen vonseiten der Wissenschaft weitere Experimente an verschiedenen Standorten erfolgen. Letztendlich lieferten die Expert*innen mit ihrem wertvollen Wissensschatz und ihren Erfahrungen jedoch die fundamentalen Informationen für die Erstellung der Orientierungshilfe, was die Wichtigkeit dieser Pionierarbeit unterstreicht.

5.2 Die Direktsaat im GH3

5.2.1 Auflaufergebnisse

Für die schwachen Auflaufergebnisse der drei Arten Elsbeere, Speierling und Wildkirsche im GH3 könnte die ungenügende Qualität des Saatbetts verantwortlich gewesen sein (siehe Tab. 5). Zusätzlich dürfte sich auch die niederschlagsreiche Witterung des Frühjahrs (mit Regenmengen deutlich über dem jährlichen Mittelwert) negativ ausgewirkt haben (siehe Anhang B. Tab. V und Anhang B. Abb. III). Orte, die bei der Aussaat ungünstige Bodenstrukturen aufwiesen, deckten sich in etwa mit den schlechteren Keimraten (vgl. Anhang D. Abb. IV). Dies unterstützt gleichfalls das Auffinden der verfaulten Samen in einigen Saatstreifen (Abb. 12 H).

Eine Vermutung ist, dass die suboxischen Bedingungen teilweise zu einem Absterben der Samen geführt haben (Perata et al. 1992; Amelung et al. 2018). Eine Weitere, dass die Keimlinge aufgrund von Verdichtung bzw. Verkrustung daran gehindert wurden, den Boden zu durchbrechen (Awadhwal und Thierstein 1985). Bei der Aussaat erschwerten an mehreren Stellen die groben Aggregate und die plastische Konsistenz des Bodens ein fachgerechtes Schließen des Saatbetts (siehe Abb. 10 C & Anhang D. Abb. IV). Die Rückverfestigung dürfte hier für eine Verdichtung und anschließend zu einer verkrusteten Oberfläche geführt haben. Dies unterstützt ebenfalls der Vergleich mit den beiden Ackerflächen des Prädationsexperiments. Auch hier korrelierten die höheren Auflaufergebnisse auf AL2 mit der deutlich besseren, krümeligen Saatbettqualität. Auf AL1 zeigten sich hingegen grobe und plastische Aggregate sowie zusätzlich ein z. T. fauliger Geruch (vgl. Anhang E. Abb. VIII B & C). Die Ergebnisse decken sich weiterhin mit der Aussage von T. Harrach (persönliche Mitteilung an E.M. Minarsch 12.12.22) der den teilweise hohen Schluff-Anteil der Böden des Gladbacherhofs als nachteilig für die Gefügestabilität einstuft und aus diesem Grund negative Auswirkungen wie Verschlammung nennt. Für eine genaue Untersuchung der Unterschiede hätten Bodenproben z. B. auf ihre Textur, Aggregatstabilität, organische Substanz und Feuchtigkeit untersucht werden können.

Weiterhin zeigt ein feuchter und schwerer Boden eine langsamere Erwärmung (Bärtels 2008), was die Keimung der noch lebenden Samen zusätzlich verzögert haben könnte. In der Literatur zur Direktsaat im Waldbau sind keine Informationen spezifisch für die Saat auf schweren und strukturschwachen Böden zu finden. Die Wichtigkeit eines guten Saatbetts wird hier zwar häufig hervorgehoben, allerdings liegt der Fokus dabei auf einer ausreichenden Wasserversorgung für den Samen bzw. Keimling (Fleming und Mossa 1995; Harmer 1995; Birkedal et al. 2010). Die Notwendigkeit einer verbesserten Durchlüftung des Saatbeets spielt laut Löff et al. (2019) seltener eine Rolle. Anzumerken ist, dass die fehlende Bodenbearbeitung in Wäldern sich positiv auf den Humusgehalt und die Bodenstruktur auswirkt und damit Verdichtungen entgegenwirkt (Düwel und Utermann 2008; Bartsch et al. 2020).

Für eine Verbesserung der Saatbettqualität könnte der Zeitpunkt und die Technik für die Vorbereitung besser gewählt werden. Idealerweise sollte hierfür auf einem trockeneren Boden gearbeitet und auf speziell dafür ausgerichtete Maschinen (z. B. Kreiselegge in Kombination mit einem Ringpacker) zurückgegriffen werden (VELA 2014). Denkbar wäre ebenso die Verwendung von Sand, der beim Aussäen mitausgebracht wird und die Bodeneigenschaften verbessert (Ren et al. 2002). Dies würde mehr den Konditionen aus der Baumschule entsprechen (Bärtels 2008). Ein Vergleich mit den Flächen der drei Praxisbetriebe von R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22), S. Junge (persön. Mitteilung, 07.11.22) und P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) zeigt, dass alle drei Sandböden bewirtschaften. Die negativen Folgen von schweren Böden treten bei ihnen entsprechend nicht zutage.

Die Unterschiede in den Auflaufergebnissen zwischen den verschiedenen Arten können z. T. mit den natürlichen Keimraten begründet werden (vgl. Anhang A. Tab. III wird). Die beiden *Sorbus*-Arten zeigen generell eine deutlich höhere Auflaufrate als die Kirsche. Für Letztere gilt es weiterhin, analog zur Baumhasel, die Möglichkeit der Überlagerung zu beachten (Esen et al. 2006). Dies bedeutet, dass ein Teil der Samen im nächsten Jahr keimen könnte. Über die Keimraten der Walnuss konnte zur Fertigstellung der Arbeit noch keine Aussage getroffen werden. Die Verzögerung des Aufgehens ist auf die unterbliebene Stratifikation seitens der Baumschule Schott zurückzuführen (vgl. mit Anhang A. Tab. II). Im Vergleich zu den noch nicht stratifizierten ausgesäten Nüssen zeigten die im Prädationsexperiment verwendeten Exemplare bereits Mitte März zahlreiche gekeimte Samen. Allerdings könnte das im GH3 ausgebrachten Saatgut von den feuchten Bedingungen im Saatbett profitiert haben. Vahdati und Hoseini (2005) konnten in Experimenten zeigen, dass das einfache Wässern für 14 Tage sehr gute Keimraten ergibt. In diesem Fall könnten der schwere Boden und die Feuchtigkeit einen Vorteil für die Walnuss erbracht haben.

5.2.2 Saatgutprädation

Auffällig war das offensichtliche Ausbleiben jeglicher Versuche einer Saatgutprädation auf dem GH3. Dies stand im deutlichen Kontrast zu den Ergebnissen aus den Prädationsexperimenten. Die beiden *Sorbus*-Arten und die Wildkirsche dürften aufgrund des verhältnismäßig geringen Nährwerts sowie des Amygdalins eher unattraktiv sein (Nahrstedt 1972; Kausch-Blecken von Schmeling 1992). Für die Walnuss wäre zumindest das Interesse einer Prädation aufgrund der Erfahrungen aus der Literatur (Williams und Funk 1979; Weber und van Sambeek 1988; Farlee 2013) und den Erkenntnissen der Prädationsexperimente denkbar gewesen (vgl. Anhang E. Tab. IX). Die Vermutung ist, dass die für eine Saatgutprädation nötigen Tiere auf den Flächen nicht oder kaum

vorhanden waren. Da das GH3 erst im vergangenen Herbst gepflügt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Prädatoren wie z. B. granivore Nagetiere von den Feldrändern einwandern müssen. Im Gegensatz zu den zwei schmalen Ackerflächen AL1 und AL2 sind die Distanzen von den Saatstreifen zum Rand von GH3 jedoch bedeutend größer.

Für das waldbewohnende Eichhörnchen ist insbesondere die Strecke bis zum nächsten Gehölzstreifen zu groß, als dass es in den gesäten Reihen zu erwarten wäre (Niethammer und Duguy 1992). Die aufgefundenen Kotpillen beweisen zwar, dass Mäuse auf den Flächen vorkamen, eine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten Art sowie eine Aussage über die Populationsstärke war jedoch nicht möglich. Sporadische Spuren von Wühlmäusen konnten im südlichen Teil des GH3, genauer gesagt in einem dort angelegten Dauerfeldversuch, ausfindig gemacht werden. Diese hätten zumindest von ihrem Aktionsradius bis zu den ersten Saatreihen von Reihe 1 des GH3 vorstoßen können (Niethammer und Duguy 1992). Über die Abundanz und Aktivität der anwesenden Wühlmäuse konnte keine Aussage getroffen werden. Auf den Grünlandstreifen im Norden der Flächen waren keine Anzeichen von Mäusen jeglicher Art zu finden. Auch sprach die zahlreich anzutreffende Naturverjüngung von Eichen des Waldstreifens dafür, dass eine potenzielle Prädation in diesem Bereich nicht bis zur Erschöpfung stattgefunden hatte. Die auf dem Boden liegenden Eicheln könnten daher einen Übersättigungseffekt gemäß der *Predator-Satiation-Hypothesis* von Silvertown (1980) gehabt haben (vgl. mit Abschnitt 2.2.5). In diesem Fall hätte die Anwesenheit der Nussfrüchte es für Prädatoren des Grünland- und Waldstreifens nicht zwangsläufig erforderlich gemacht, für die Nahrungssuche auf den Acker auszuweichen. An den Rändern der beiden stark prädierten Ackerflächen des Prädationsexperiments zeigte sich stattdessen keine Naturverjüngung. Anzumerken ist, dass hier keine Eichen, sondern überwiegend Buchen standen (vgl. Anhang B. Tab. VI). Auch wenn die Saaten von Buche und Eiche nicht ohne Weiteres miteinander gleichgestellt werden können, korrelieren doch die Orte, wo keine oder nur geringe Saatgutverluste verzeichnet wurden, mit den Orten, wo Nachwuchs der beiden Baumarten gefunden wurde (GH3, GL1, GL2). Für den Waldstreifen nordöstlich des GH3 ist anzumerken, dass dieser sehr schmal ausfällt (weniger als 10 m an den breitesten Stellen) und im Osten von einer Hauptstraße begrenzt wird. Es ist zu erwarten, dass sich auf dieser Gehölzinsel insgesamt eine geringere Artenvielfalt zeigt, als es bei einem zusammenhängenden Waldstück der Fall wäre (Peterken und Game 1984). Die Größe der Fläche bzw. die Distanz zum Feldrand sind zwei Faktoren, die in zukünftigen Experimenten vertieft untersucht werden sollten. Dies könnte analog zu den Versuchen aus dem Prädationsexperiment mit Transekten geschehen, sollte jedoch größere Strecken und Flächen abbilden.

Eine weitere Erklärung für die ausbleibende Prädation könnte mit der Olfaktorik zu tun haben. Theoretisch denkbar wäre einerseits (wie auch auf AL1) der dichte, abschließende Boden des GH3, der den Geruch eines Samens ausreichend reduzieren könnte. Andererseits könnte die Prädation auf den Flächen des Prädationsexperiments überhaupt erst durch den Geruch der anderen Samen (v. a. der Baumhasel) ermöglicht worden sein, woraufhin durch die unmittelbare Nähe erst die Walnüsse attackiert wurden. Denkbar wäre auch ein Lerneffekt, bei dem die Räuber bei zufällig gefundenen Samen den starken Geruch der vergällten Proben mit dem Vorkommen von Saatgut in Verbindung bringen und sich von diesem leiten lassen (Apfelbach et al. 2005). Eine andere Möglichkeit für den ausbleibenden Verlust könnte das Entwicklungsstadium der Walnüsse betreffen. Dieses war im Prädationsexperiment bereits deutlich fortgeschritten. Die Nüsse waren dort teilweise geöffnet und könnten deshalb besser wahrnehmbar gewesen sein. Weiterhin möglich wäre es, dass die aus der

Erde hervorgestanden Sämlinge die darunterliegenden Keimlinge sowohl optisch als auch olfaktorisch verrieten.

5.2.3 Entwicklung der Sämlinge

Über die Besonderheit, dass die beiden *Sorbus*-Arten und die Kirsche teilweise (fast) durchgehende Reihen an nebeneinanderstehenden Sämlingen (siehe beispielhaft Abb. 11 E) zeigten, können nur Vermutungen geäußert werden. Möglich wäre, dass es zwischen den aussaenden Personen starke Unterschiede bei der Aussaattechnik gab. Pro Saatreihe waren stets zwei bis drei Personen beschäftigt, die meistens einen bestimmten und durchgehenden Abschnitt übernahmen. Möglich wären auch extrem kleinräumige Unterschiede im Bodengefüge. Letzteres könnte nachträglich mit der Untersuchung von Bodenproben im Labor analysiert werden. Allerdings sollten zukünftige Vergleiche besser von einer Person bzw. nach einem standardisierten Verfahren (möglicherweise maschinell) erfolgen, um den menschengemachten Einfluss zu minimieren.

Auch für das Ausbleiben einer nennenswerten Zunahme in der Wuchsleistung der Sämlinge zwischen Mai und Juni können nur Vermutungen geäußert werden (siehe Tab. 5). Möglich wäre, dass die Arten generell nicht standortgerecht stehen (die Böden unterscheiden sich von denen des natürlichen Habitats Wald (Amelung et al. 2018)). Im Vergleich zu vielen anderen Waldbaumarten zeigen die *Sorbus*-Arten und die Wildkirsche jedoch ein besseres Durchsetzungsvermögen an extremen Standorten. Lediglich Staunässe bzw. schlecht durchlüftete Böden vertragen alle drei Arten nicht (Kausch-Blecken von Schmeling 1992; Töpfer und Karopka 2010). Alternativ könnte eine Wasserknappheit für den verminderten Wuchs verantwortlich gewesen sein. In diesem Fall hätte der Winterweizen einen direkten Konkurrenten um die Bodenfeuchtigkeit dargestellt (Yunusa et al. 1995). Bis auf einen sehr regenreichen Tag zeigte sich die zweite Maihälfte 2023 trocken und sonnig. Der Juni war der trockenste seit mindestens 15 Jahren und hessenweit gesehen der sonnigste seit Aufzeichnung (DWD 2023). Allerdings dürfte zu erwarten sein, dass die Gehölze im Boden wenig Probleme haben sollten, an ausreichend Wasser zu gelangen. Die hohen Niederschläge im Frühjahr (siehe Anhang B. Tab. V) sowie der lösshaltige Boden sollten für ausreichend pflanzenverfügbares Wasser gesorgt haben. Weiterhin können sich alle drei Arten auf trockenen Standorten zumindest besser halten als die klassischen Laubbäume unserer Wälder wie Buche, Eiche, Esche (*Fraxinus*) oder Ahorn (Ellenberg und Leuschner 2010). Fortführende Untersuchungen zum Wasserhaushalt wie z. B. der Einfluss der Begleitvegetation auf die Sämlinge sollten unternommen werden.

Die verringerte Anzahl an gefundenen Sämlingen zwischen Mai und Juni (vgl. Tab. 5) dürfte dem Verlust durch Prädation und womöglich Pathogenen zuzuschreiben sein. Dies untermauern die eindeutigen Fraßspuren an den Blättern und der Sprossachse mancher Sämlinge (Abb. 12). Bei anderen ließen sich keine Hinweise auf tierische Einflussnahme ausfindig machen. Möglich wäre ein Befall der Sämlinge durch Pathogene wie *Fusarium spp.*, *Botrytis spp.* oder *Phytium spp.*, die alle drei als Verursacher der Umfallkrankheit gelten (siehe Abschnitt 2.2.5). Ihre Entwicklung ist insbesondere von der Witterung abhängig und lässt sich deshalb nur schwer kontrollieren (Lamichhane et al. 2017). Kenntnisse über Erfahrungen mit Pilzkrankungen bei den drei Praxisbetrieben von R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22), S. Junge (persön. Mitteilung, 07.11.22) und P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) liegen nicht vor.

Die Fraßspuren an den Sämlingen konnten mit keiner eindeutigen Sicherheit einem Tier zugeordnet werden. Das Auffinden der Exkrememente von Mäusen, Hasen und Vögeln zeigte, dass zumindest diese

potenziellen Prädatoren-Gruppen vorkamen. Aufgrund von Hinweisen aus der Literatur (Aizen und Woodcock 1996; Johnson et al. 2009; van Ginkel et al. 2013; Hallett et al. 2014), den Erfahrungen von R. Gahler (persön. Mitteilung, 08.11.22), S. Junge (persön. Mitteilung, 07.11.22) und P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) sowie den Erfahrungen aus dem Forst- und Baumschulbereich (Bärtels 2008; Wenk 2016) liegt die Vermutung nahe, dass allgemein Mäuse zu den Hauptprädatoren der Sämlinge gehörten. Darüber hinaus wären beispielsweise auch Schnecken oder Insekten denkbar. Aufgrund der Wichtigkeit der Sämlingsprädation sollten hier weiterführende Versuche erfolgen, z. B. durch hochauflösende Kameras oder Fallen. Diese könnten Aufschluss über die bedeutsamsten Tierarten geben. Daraufhin wären Folgeversuche mit entsprechenden Gegenmaßnahmen möglich. Die abgefressene Weizenähre innerhalb eines umzäunten Saatstreifens könnte ebenfalls einer Maus zum Opfer gefallen sein (siehe Abb. 12 E). Durch den Ausschluss größerer Prädatoren bietet der geschützte Bereich den kleinen Nagetieren einen Rückzugsort frei von Fraßfeinden (Pérez-Ramos und Marañón 2008). Die Schäden an den Holundersträuchern, den Pappel-Stecklingen und den Apfelbäumen heben dennoch die Wichtigkeit des Zauns als Schutz gegen das Rehwild hervor (siehe Abb. 12 F & G).

5.2.4 Bewertung und Ausblick

Obwohl die Direktsaat nach dem besten verfügbaren Stand des Wissens durchgeführt wurde, fielen die Ergebnisse aus dem Versuch im GH3 insgesamt nicht zufriedenstellend aus (Stand Juli 2023). Die z. T. schwachen Auflaufergebnisse werden an einigen Stellen eine Nachsaat erforderlich machen. Theoretisch besteht im kommenden Jahr eine Chance auf Keimung lebender, aber noch nicht gekeimter Samen von Speierling, Elsbeere und Kirsche. Aufgrund der wahrscheinlich geringen Anzahl ist jedoch keine signifikante Verbesserung der Ergebnisse zu erwarten. Die insgesamt schwachen Auflaufergebnisse sind vermutlich auf die unzureichende Qualität des Saatbetts während der Aussaat zurückzuführen. Insbesondere für das feinere Saatgut hätte eine sorgfältigere Vorbereitung erfolgen müssen. Aufgrund der späten Keimung der Walnuss war ein Vergleich mit den Samen der drei anderen Baumarten in Bezug auf die schweren Böden nicht möglich. Denkbar wäre, dass die nährstoffreiche Walnuss generell mehr Kraft als die kleineren Samen der drei Arten zeigt und deshalb einen besseren Erfolg haben könnte. Für die Aussaat von kleinerem Saatgut auf schweren Böden benötigt es offenbar eine gründlichere Vorbereitung, als es auf den sandigeren Flächen der drei interviewten Betriebe der Fall ist. In diesem Bereich muss entsprechend nachgeforscht und an der Orientierungshilfe nachgebessert werden. Möglich wäre die maschinelle Saatbettvorbereitung statt die von Hand oder die bereits erwähnte Beimischung mit Sand. Über die Keimrate der Walnuss konnte noch keine Aussage getroffen werden. Das regenreiche Frühjahr könnte jedoch zu einer positiveren Keimung geführt haben. Falls diese allerdings zu spät erfolgte, könnten die Sämlinge im kommenden Winter aufgrund unzureichender Zeit zum Ausreifen der Triebe einem gewissen Frostrisiko ausgesetzt sein (Dörken 2013).

Eine positive Beobachtung im GH3 war die ausbleibende Prädation des Saatguts, die andernfalls zu einer weiteren Verringerung der Auflaufergebnisse geführt hätte. Bei nicht existierender

Saatgutprädation hätte eine Aussaat von Walnuss und Wildkirsche²⁵ theoretisch bereits im Herbst erfolgen können, zeitgleich mit dem Winterweizen. In diesem Fall hätte die verbesserte Saatbettqualität potenziell zu einer höheren Anzahl von Sämlingen geführt. Zu den schwachen Auflaufergebnissen kam weiterhin der Verlust an Sämlingen durch Prädation und möglicherweise Pathogenen hinzu, was die Anzahl der überlebenden Exemplare weiter reduzierte.

Weiterführende Untersuchungen sollten sich zudem mit dem Mulch beschäftigen. Es ist anzunehmen, dass das feuchte Material in Zukunft zumindest Schnecken als Lebensraum und Versteckmöglichkeit dienen könnte (Winterling 2023). P. Markgraf (persön. Mitteilung, 15.02.23) verzichtet in seinen Direktsaaten vollständig auf die Verwendung von Mulch, da sich dieser seinen Erfahrungen nach förderlich auf die Populationen der Nager auswirkt. Wie bereits erwähnt, zeigten die Experimente von Granatstein und Mullinix (2008) jedoch das Gegenteil, sodass hier weitere Untersuchungen stattfinden sollten. Weiterhin könnte der Mulch einen vermeintlichen Einfluss auf Prädatoren wie den Rotfuchs und den Europäischen Dachs haben. Exkremate von beiden Tieren fanden sich bereits innerhalb der ersten Woche nach Ausbringung auf den Holzhäckseln. Einerseits könnte das Material als leicht zu bearbeitende Latrine genutzt werden (Neilson 2004), andererseits um das Revier an einem markanten, gut sichtbaren Punkt zu markieren (Brohmer und Schaefer 2017). Da die Exkremate nicht verscharrt wurden und ein ähnliches Verhalten laut Bang und Dahlström (2005) zumindest vom Fuchs bekannt ist, ist von letzterem auszugehen. Ein möglicher Vorteil wäre die Abschreckung von Kleinsäugetern wie Mäusen und Hasen aufgrund des Geruchs (Calder und Gorman 1991; Apfelbach et al. 2005; Bytheway et al. 2013).

Die Beobachtungen in der Durchführung und Entwicklung der Direktsaat im GH3 zeigen das Erfordernis von weiterer Forschung sowie einer Anpassung der Orientierungshilfe (mehr zu diesem Thema im Fazit 6).

Zukünftige Entwicklung der Gehölze

Für die Sämlinge und Jungbäume ist auch zukünftig mit Prädation zu rechnen. Es ist wahrscheinlich, dass es ähnlich wie im GH1 zu einer Ansiedlung von Mäusen in den Saatstreifen kommen wird. Möglich sind beispielsweise Feld-, Rötel-, Erd- und Gemeine Waldmaus (Leukers und Jacob 2009; Wenk 2016; Winterling 2023). Da die gesäten Bäume im Wurzelbereich nicht gegen wühlende Mäuse geschützt sind, könnten sie in Zukunft ähnliche Schäden erleiden wie ein Teil der Pappeln im GH1 (vgl. Anhang F, Abb. XIII F). Zusätzlich verursachen einige der genannten Mäusearten Rindenfraß im oberen Bereich junger Gehölze. Daher könnten entsprechende Gegenmaßnahmen wie das Anbringen von Sitzstangen, das Stellen von Fallen und die Mahd der Grünstreifen nötig sein (Winterling 2023). Schäden durch Rehe und Hasen sollten aufgrund des Zaunbaus nicht auftreten. Bei einer Zunahme der Konkurrenz für die Sämlinge durch die Begleitvegetation werden in Zukunft Jätvorgänge erforderlich sein, bis die Gehölze eine ausreichende Größe erreichen (Werners 2016).

²⁵ Speierling und Elsbeere müssen künstlich stratifiziert werden. Eine direkte Aussaat im Herbst führt in Deutschland nicht zu nennenswerten Keimraten (Kausch-Blecken von Schmelting 1992).

Je nach der Dichte, in der die Jungbäume später stehen, muss vereinzelt werden (R. Gahler, persönl. Mitteilung, 08.11.22).

5.3 Prädationsexperimente

Der folgende Abschnitt ordnet anhand der ermittelten Spuren, Diagnose-Methoden und Daten aus den Prädationsexperimenten die Entwicklung des ausgebrachten Saatguts ein. Mithilfe der Erkenntnisse werden anschließend die Wirkung der Vergällung auf den Saatgutverlust, der Vergleich des Saatgutverlusts zwischen Grün- und Ackerland sowie die Abhängigkeit des Saatgutverlusts zur Entfernung zum Wald diskutiert. Weiterhin unterstützen die Ergebnisse die bereits erfolgte Diskussion über die Direktsaat im GH3.

5.3.1 Entwicklung des Saatguts

Sowohl die Grabeaktivitäten als auch das verlorene Saatgut deuten stark auf eine Prädation bzw. den Versuch einer Prädation hin. Die zahlreich gefundenen Nagespuren an den Haselnüssen untermauern diese These (Anhang F. Abb. XIII D). Die im Vergleich zu den anderen beiden Arten deutlich höheren Verlustraten der Haselnuss (auf den Ackerflächen) deuten weiterhin darauf hin, dass diese von den Prädatoren präferiert wurde (vgl. Abb. 15 A, B & C). Freigelegte, aber nicht entwendete Samen lassen zumindest auf ein Interesse von Prädatoren schließen (Abb. 13 D & F). Aus den genannten Gründen wird im Folgenden auch bei den Saatgutverlusten aus dem Datensatz der Prädationsexperimente (vgl. Anhang E. Tab. IX) von Prädation gesprochen, obgleich in den Versuchen eine mit Maschendraht geschützte Kontrollgruppe als eindeutiger Vergleich fehlte.

Ein möglicher Grund für den Verbleib der freigelegten Walnüsse im Boden könnte die Saattiefe in Kombination mit den lehmigen Ackerböden sein (Abb. 13 F). Die erforderlichen Kräfte für das Entfernen einer Nuss zeigten sich im Eigenversuch die Samen zu entnehmen. Dabei gelang das Herausholen nur mithilfe eines Saatstechers. Diese Tatsache untermauert die bereits im Kapitel 2.2.5 besprochene Taktik, die Samen tiefer zu setzen, um sie so vor Prädation zu schützen (Sluderj et al. 1961; Moreno und Franco 2013). Der tatsächliche Saatgutverlust beim Apfel lag geringfügig höher als der bei der Walnuss (siehe Abb. 15 B & C). Allerdings ließen sich allein durch die erhobenen Daten keine eindeutigen Unterschiede ausfindig machen. Optisch zeigten sich bei der Walnuss jedoch um ein Vielfaches mehr freigelegte Saatstellen mit noch vorhandenem Saatgut²⁶ (Abb. 13 B & C). Daher liegt die Vermutung nahe, dass die Nussfrucht gegenüber dem Apfel präferiert wurde. Beachtet werden muss zudem eine relativ große Unsicherheit bei den Verlustraten der Apfelsamen aufgrund des Versuchsaufbaus bzw. der -methode (siehe Ende des Kapitels 5.3.1).

Beim Apfel dürfte, wie auch bei den beiden *Sorbus*-Arten des GH3, die Prädation aufgrund des geringen Nährwerts und dem enthaltenen Amygdalin eine kleinere Rolle gespielt haben (Newton et

²⁶ Eine genaue Zählung der Anzahl an Saatpunkten mit Grabspuren wurde nicht durchgeführt. Es handelt sich lediglich um die persönliche Einschätzung.

al. 1981). Weiterhin darf angenommen werden, dass ein Prädator bei den kurzen Abständen zwischen den Subplots (66 cm) die beiden nahrhafteren Nussarten bevorzugt räubern würde.

Saatgutverluste durch Mäuse

Die Öffnungen an neben leeren Saatstellen gefundenen Haselnüssen ließen sich dank der Abdrücke der Nagezähne eindeutig Mäusen zuordnen (Bang und Dahlström 2005; Kubista und Rotter 2020). Die meisten Nüsse wiesen Nagespuren senkrecht zum Lochrand auf (siehe Anhang F. Abb. XIII D). Diese waren bei den meisten Exemplaren zusätzlich zur Kante auch auf der Seite sichtbar. Kubista und Rotter (2020) ordnen dieses Merkmal Langschwanzmäusen wie der Gemeinen Waldmaus oder der Gelbhalsmaus zu. Da die Waldmaus u. a. auch auf dem unweit entfernten GH1 vorkam, ist die Anwesenheit auf den Flächen von AL1 und AL2 denkbar. Gleichfalls könnte die Gelbhalsmaus oder eine andere waldbewohnende Art aus dem struktureicheren Wald auf die Schläge vorgedrungen sein. Laut Moreno und Franco (2013) meiden die meisten Nagetiere offenes Gelände mit Ausnahme der Wühler und unterirdisch lebenden Langschwanzmäusen wie z. B. der Waldmaus. Eine mögliche Erklärung für das erhöhte Aufkommen außerhalb des Waldes und der Säume könnte die sich entwickelnde, schutzbietende Vegetationsstruktur des Weizens bzw. Roggens bieten. Durch das ab der Aussaat der Gehölzsamen schnell wachsende Getreide änderte sich der anfangs strukturarme und offene Ackerstandort hin zu einem mit dichter Vegetationsdecke. Laut Heroldová und Tkadlec (2011) bietet ein Getreidefeld in der Vegetationsperiode ein bestens geeignetes Umfeld, sowohl für Wühlmäuse als auch für Langschwanzmäuse - mit Schutz vor Prädatoren und einem reichen Angebot an Futter durch die Feldfrucht. Die an den Saatpunkten sichtbaren Grabspuren im Boden wurden zum ersten Mal Ende März entdeckt, also zu einem Zeitpunkt, wo die Vegetationsdecke anfang, sich höher und dichter zu zeigen (vgl. Anhang E. Abb. VIII D). Allerdings könnte es allgemein eine Anlaufzeit brauchen, bis die Saatpunkte überhaupt ausfindig gemacht werden, sodass das Argument der schutzbietenden Struktur lediglich eine Mutmaßung darstellt. Zudem zeigte auch die Vegetation der beiden Grünlandflächen, insbesondere auf GL2, eine hohe und dichte Vegetationsdecke. Dies allein führte jedoch nicht zu höheren Verlusten.

Nüsse, die keine zusätzlichen Nagespuren an der Lochkante zeigen, werden von Kubista und Rotter (2020) den Wühlmäusen zugeordnet. Ob die Fraßspuren durch Erd-, Rötel- oder Feldmaus verursacht wurden, ist nicht sicher zu bestimmen. Die Steckholzmethode, die insbesondere als Proxy für das Vorkommen von Erd- und Rötelmaus dient, deutete für den Testzeitraum auf eine praktisch nicht existierende Anwesenheit der beiden Nager hin (siehe Tab. 6). Die Lochtretmethode zeigte hingegen eine hohe Aktivität von Feldmäusen auf den beiden Ackerflächen, sodass diese für das Öffnen der Haselnüsse verantwortlich gewesen sein könnten (Tab. 7). Dies deckt sich ebenfalls mit der Auffälligkeit, dass das Einhergehen von nennenswerten Saatgutverlusten mit gleichzeitigen Indizien für Feldmäuse korrelierte. Dort, wo die Lochtretmethode die stärkste Aktivität der Feldmaus offenbarte (vgl. Tab. 7) traten die höchsten Verluste bei der Baumhasel auf. Zählt man die „versuchte“ Prädation hinzu, kann dies auch auf die Walnuss übertragen werden. Auf den nur mit geringen Verlusten auffallenden Grünlandstandorten wurden keinerlei Indikatoren für Wühlmäuse gefunden (siehe Tab. 6 & Tab. 7). Leukers und Jacob (2009) konnten nachweisen, dass die Feldmaus innerhalb von einer Saison von den Ackerrändern auf die vor der Aussaat gepflügte Ackerfläche einwandern kann. Dies deuten ebenfalls die zwei gefundenen Feldmauslöcher inklusive oberirdischer Laufspuren auf der Fläche von AL2 an (siehe Anhang F. Abb. XII D). Niethammer und Duguy (1992) geben den Aktionsradius der Nager mit bis zu 1.500 m² an. Insbesondere bei der

geringen Breite der zwei Ackerflächen (40-60 m) ist damit eine Abdeckung der gesamten Fläche möglich.

Es kann nicht mit abschließender Sicherheit gesagt werden, welche exakten Arten an Mäusen für das Öffnen und damit zumindest für einen Teil der Prädation der Haselnüsse verantwortlich waren. Die Nagespuren an der Haselnuss lassen sowohl auf Wühl- als auch Langschwanzmäuse schließen. Auch wenn mehr von Langschwanzmäusen geöffnete Exemplare gefunden wurden, lässt dies keine Aussage darüber zu, ob diese die primären Prädatoren darstellten. Andere Räuber, so z. B. Wühlmäuse könnten ein anderes Fraßverhalten zeigen und die Nüsse bevorzugt an einen anderen Ort verzehren. Für eine genauere Auflösung wäre die Verwendung von Fallen oder hochauflösenden Kameras nötig gewesen (van Ginkel et al. 2013). Eine Obduktion des Magens der gefangenen Tiere könnte darüber hinaus zusätzliche Informationen über die verzehrte Nahrung liefern (Holišová 1960).

Weitere Ursachen für die Saatgutverluste

Über sonstige Prädatoren lassen sich nur Mutmaßungen anstellen. Spuren von anderen Nagern wie Eichhörnchen konnten weder an der Baumhasel noch der Walnuss auffindig gemacht werden. Die auf einem Zufahrtsweg in der Nähe von AL1 gefundenen Walnüsse konnten jedoch sowohl dem Eichhörnchen (diese halbieren die Nüsse) als auch Vögeln (diese picken die Schale auf) zugeordnet werden (Bang und Dahlström 2005) (siehe Anhang F. Abb. XIII A und C). Dies beweist zumindest die Anwesenheit und Aktivität der genannten Prädatoren in der unmittelbaren Umgebung der Versuchsflächen, auch wenn die ausgebrachten Walnüsse keine vergleichbaren Spuren aufwiesen. Das ebenfalls vorkommende Wildschwein (Tab. 6) hätte theoretisch eine Gefahr für vergrabenes Saatgut darstellen können (Niethammer und Duguy 1992). Jedoch machten sich an keinen der Saatstellen der Versuchsflächen Anzeichen eines Umbrechens bemerkbar.

Für die Verluste bei den Apfelsamen, die sich über die verfaulten Samen (siehe Abb. 13 G) und die geringen Keimraten auf AL1 bemerkbar machten (Anhang E. Tab. X), dürften, wie im GH3, ebenfalls die ungünstigen Bodenbedingungen sowie die regenreiche Witterung verantwortlich gewesen sein (vgl. mit Abschnitt 5.2.1). Im direkten Vergleich des Bodens von AL1 mit dem von AL2 zeigten sich für letzteren neben der deutlich besseren Saatbettqualität ebenfalls eine dunklere Farbe. Noch deutlicher zeigte sich der Farbunterschied gegenüber den dunkleren Böden der Grünlandflächen. Dies deutet auf einen höheren Anteil organischer Substanzen hin, was sich meist positiv auf das Gefüge auswirkt (Totsche et al. 2018). Die im Vergleich zu den Ackerflächen höheren Werte sind typisch für Grünland (Düwel und Utermann 2008). Daneben förderte vermutlich auch die Dichte an Feinwurzeln der Gräser und Kräuter der Wiesenflora die Aggregatstabilität und damit die Bodenstruktur (Reid und Goss 1981).

5.3.2 Wirkung der Vergällung auf die Saatgutverluste

In diesem Versuch konnte eine Wirkung der Vergällung mit Kuhdung auf die Prädation nicht nachgewiesen werden. Das Ausbleiben des von Williams und Funk (1979) beschriebenen Effekts könnte seine Ursache im Fehlen der richtigen Prädatoren gehabt haben. Die Autoren testeten die Vergällung mit Kuhdung als wirksam gegen die Prädation zweier amerikanischer Eichhörnchenarten. Ob eine Übertragung auf das Europäische Eichhörnchen möglich ist, ist nicht bekannt. Letzteres wurde zwar am Waldrand der beiden Ackerschläge gesichtet, die genaue Einflussnahme auf die Saatgut-Prädation ist jedoch unbekannt. Auch über den Einfluss auf andere Prädatoren, wie z. B.

Mäusen bestehen keine sichern Informationen. So waren beispielsweise Langschwanzmäuse und Wühlmäuse zumindest für einen Teil der Prädation verantwortlich und dürften sich vom Kuhdung nicht nennenswert beeinflusst lassen haben. Eine weitere Rolle könnten die hohen Niederschläge im Frühjahr gespielt haben (siehe Anhang B. Tab. V). Als Folge wäre eine Auswaschung der Exkreme und damit eine Verdünnung der Wirkung denkbar. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass einerseits die ausgebrachte Menge nicht ausreichte oder das Mischverhältnis mit Stroh falsch gewählt wurde. Williams und Funk (1979) geben für beides keine Größenordnung an.

Anzumerken ist, dass es sich bei den Ergebnissen um eine Vereinfachung ohne Rücksicht auf eventuelle Interaktionen handelt. Für aussagekräftigere Resultate müsste zudem der Abstand zwischen den vergällten und unvergällten Proben vergrößert werden. Prädatoren könnten durch die unbehandelten Samen aus größerer Entfernung angelockt werden. Aufgrund der unmittelbaren Nähe (30 cm) zu den vergällten Samen wären dann auch diese auf die kurze Distanz hin einfacher ausfindig zu machen. Weiterhin müssten die tatsächlichen Saatgut-Prädatoren der Samen bestimmt werden, beispielsweise durch die bereits empfohlenen Kameras oder Fallen. Beachtung finden sollte auch das Thema des potenziellen Lerneffekts durch den Geruch der Gülle (Apfelbach et al. 2005). Ein kritischer Punkt an der Methode ist weiterhin das potenzielle Überangebot an Nährsalzen, das Schäden an den Keimlingen und Jungpflanzen verursachen könnte (Adriano et al. 1973). Aus diesem Grund sollte auch der Einfluss auf die Keimrate untersucht werden.

5.3.1 Vergleich der Saatgutverluste zwischen Grün- und Ackerland

Eine mögliche Erklärung für die deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Landnutzungsformen, insbesondere für die Baumhasel (Abb. 15 A), wurde bereits diskutiert. Demnach könnte ein Teil der höheren Saatgutverluste durch das verstärkte Vorkommen von Prädatoren wie der wühlenden Feld- und Waldmaus erklärt werden. Beide Arten fehlten auf GL1 und GL2. Allerdings haben laut Brohmer und Schaefer (2017) viele Wühlmausarten auf Grünland ihren natürlichen Lebensraum und sind dort grundsätzlich erwartbar, wenn Standortfaktoren wie z. B. die Bodenbedingungen es erlauben. In diesen Fällen sind sie gemäß Krüger (1996) sogar dafür bekannt, dort massive Schäden anrichten zu können. Für GL2 wäre die Flachgründigkeit des Bodens eine mögliche Erklärung für das vermeintliche Fehlen von wühlenden Mäusen. Beachtet werden muss bei den Versuchen die geringe Anzahl an Wiederholungen von nur zwei Acker- bzw. zwei Grünlandflächen. Eine Verallgemeinerung auf andere Schläge kann deshalb nicht erfolgen. Zu bedenken ist weiterhin die geringe Flächengröße der beiden schmalen Ackerflächen. Wie bereits besprochen, dürfte der Einfluss der Ränder auf diese so hoch sein, dass in den Versuchen kein „reines“ Ackerland verglichen wurde.

Würde eine deutlich größere Ackerfläche gewählt werden, wäre eine Abnahme der Saatgutverluste durch Nagetiere wahrscheinlich. Ackerland erleidet durch die Bodenbearbeitung eine regelmäßige und massive Störung, was sich negativ auf wühlende Mäuse auswirkt (Leukers und Jacob 2009). Die bedeutendsten Einflüsse im Grünland sind lediglich die Mahd bzw. die Beweidung, eine Bodenbearbeitung findet nicht statt. Je nach Kultur und Bewirtschaftungsweise kann der Boden des Ackerlands zudem einen Teil des Jahres komplett frei von schutzbietender Vegetation sein. Oberirdisch lebende Tiere können sich jedoch nicht auf den Schutz von unterirdischen Gängen verlassen und benötigen daher einen struktureicheren Lebensraum (Mittelbach und Gross 1984). So konnten auch Villalobos et al. (2020) zeigen, dass die Prädation mit zunehmender Vegetationshöhe- und -dichte steigt.

Ob letztendlich auf Grün- oder Ackerland die Prädation höher ausfällt, scheint stark davon abzuhängen, welche Prädatoren überhaupt vorkommen, wie die Struktur sich verhält und wie groß die Fläche bzw. der Abstand zu den Rändern ist. I. d. R. zeigen sich im Vergleich mit dem Grünland jedoch auf einem Acker die größten Störungen, sodass hier der Lebensraum aller ober- und unterirdischen Tiere zerstört wird.

5.3.2 Abhängigkeit der Saatgutverluste zur Entfernung zum Waldrand

Für die Abhängigkeit der Verluste in Bezug zur Entfernung zum Waldrand erschwerte die geringe Anzahl an Wiederholungen (mit $n = 6$ für das Grünland bzw. $n = 4$ für das Ackerland) sowie die hohe Variabilität eine aussagekräftige Bewertung. Für das Grünland kommen die geringen Verlusten hinzu. Aus diesem Grund lässt sich ebenfalls die sehr schwache Tendenz für die Baumhasel auf dem Ackerland als nicht sicher einstufen (siehe Abb. 16 A).

Abgesehen von den Ergebnissen aus Abb. 16 A-F ist eine Abhängigkeit der Verluste in Bezug zur Entfernung zum Waldrand auf den getesteten Flächen fragwürdig. Sollten Wühlmäuse und die Waldmaus tatsächlich eine wichtige Rolle in der Prädation gespielt haben, wäre die Abhängigkeit bei den beiden Ackerflächen eher eine Abhängigkeit zum Ackerrand. Die geringen Flächengrößen würden dabei ein Einwandern von bis zu drei Seiten problemlos erlauben (siehe Anhang E. Abb. VI). In diesem Fall würden die Transekte senkrecht zum Waldrand keinen Effekt haben.

Falls der Waldrand aufgrund von waldbewohnenden (jedoch nicht erfassten) Prädatoren relevant gewesen wäre, wären weiterhin sowohl der Abstand von 50 m als auch die Abstände zwischen den Subplots der einzelnen Transekte (weniger als 4 m) zu niedrig gewählt. Bei Versuchen von Russell (1971) mit Eicheln zeigten zwar bereits 30 m Abstand zum Waldrand einen deutlichen Effekt, jedoch können auch höhere Abstände nötig sein. Weber und van Sambeek (1988) sowie Farlee (2013) empfehlen, bis zu 90 m Abstand vom Waldrand zu halten, um den Faktor der Prädation bei Direktsaaten ausreichend zu minimieren. Entsprechende Distanzen erlaubte die begrenzte Auswahl an möglichen Flächen jedoch nicht. Weitergehende Versuche müssten daher ebenfalls auf größeren bzw. breiteren Schlägen durchgeführt werden. Die Ergebnisse unterstreichen, dass auch eine Erfassung der Prädatoren selbst wichtig ist, um einordnen zu können, woher diese stammen könnten.

5.3.1 Methodik

Mit der angewendeten Methode zur Ermittlung der Saatgutverluste konnte es bei allen drei Samenarten vorkommen, dass ein Samen nicht gefunden wurde, obwohl keine Prädation stattfand. Ein Samen könnte beispielsweise aufgrund eines Übersehens bei der Suche unentdeckt geblieben sein. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit des Nichtwiederfindens innerhalb einer Art gleich und sollte v. a. für die Walnuss und Baumhasel wegen den Dimensionen keine nennenswerte Rolle spielen.

Hingegen ist der Fehler für den Apfel aufgrund seiner geringen Größe bedeutsamer. Deswegen konzentrierte sich die genaue Suche bei der Überprüfung der Anwesenheit der Apfelsamen, wie bereits in Kapitel 3.5.1 der Methoden beschrieben, lediglich auf die Bereiche, die Grabspuren zeigten. Dieses Vorgehen geht davon aus, dass ein Samen lediglich im Zusammenhang mit oberflächlichen Grabeaktivitäten entnommen werden kann. Aus diesem Grund wurden alle anderen Saatstellen (ohne oberirdische Spuren) auf unterirdische Grabspuren untersucht, jedoch nur bei Auffälligkeiten weitergehend analysiert. Eine potenzielle Prädation durch kleinere Tiere wie

Insekten kann damit nicht erfasst werden. Mit dieser Technik dürfte der Fehler, einen Samen zu übersehen, etwas eingegrenzt sein. Allerdings werden die Ergebnisse durch diese Erfassungsmethode verzerrt. Überall dort, wo ein Sämling angetroffen wurde, konnte mit Sicherheit bestimmt werden, dass der Samen nicht abhandengekommen war. Ein Sämling setzt automatisch einen vorhandenen Samen voraus. Auf AL1, wo sich deutlich weniger Sämlinge entwickelten als bei den drei anderen Flächen (siehe Anhang E. Tab. X), konnten durch die beschriebene indirekte Technik weniger Samen als „eindeutig vorhanden“ eingestuft werden. Der Hintergrundfehler sollte beim Apfel eine entsprechend größere Rolle spielen. Eine weitere Fehlerquelle für den Apfel stellte die teilweise fortgeschrittene Zersetzung der Samen dar. Insbesondere auf AL1 war nicht immer eindeutig, ob es sich bei den gefundenen Objekten um die Überreste der Samenschale eines Apfelmehlkerns handelte oder um einen anderen Körper.

Die Größe und die Beschaffenheit des Apfelsamens erschweren eine genaue Erfassung des Faktors der Prädation. Eine Interpretation der Ergebnisse ist daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, die größer ist als bei den beiden anderen Gehölzarten. Um die Fehlerquelle zu reduzieren, müsste der Versuchsaufbau geschützter vollzogen werden. Erfahrungen über Prädationsexperimente mit Gehölzsamen ähnlicher Größe sind nicht bekannt. Jedoch wäre eine Möglichkeit wie bei den Versuchen von Mittelbach und Gross (1984) Plastikschaalen zu vergraben und die Samen innerhalb des Behälters zu platzieren. Allerdings wird bei diesem Versuchsaufbau eine potenzielle Prädation durch unterirdische Organismen ausgeblendet.

Weiterhin gilt es zu beachten, dass mögliche Interaktionen, die aufgrund der Kombination der Gehölzarten und der Behandlungen aufgetreten sind, nicht berücksichtigt wurden. Beispiele hierfür wäre das bereits erwähnte Anlocken durch den Geruch der Gülle nach einem Lerneffekt (Apfelbach et al. 2005) oder das Anlocken durch eine bestimmte Samenart und in Folge dessen die Entdeckung der anderen Arten. Des Weiteren gilt es zu beachten, dass die Ergebnisse aus den Experimenten lediglich eine Momentaufnahme für einen bestimmten Ort und für einen bestimmten Zeitraum lieferten. Dies macht eine generelle Übertragung auf andere Standorte, Klimata, Baumarten, Bewirtschaftungsweisen, Jahre usw. nicht ohne Weiteres möglich.

5.3.1 Entwicklung der Sämlinge

Die hohe Anzahl der bereits entwickelten Apfelsämlinge dürfte, wie bei den *Sorbus*-Arten im GH3, durch die hohe Keimrate (siehe Anhang E. Tab. XIV B) und das frühe Durchstoßen durch die Oberfläche der epigäischen Art zu erklären sein. Die (im Verhältnis zum Verlust) deutlich geringere Anzahl an Sämlingen der beiden anderen Gehölze dürfte von der geringeren Keimrate (Anhang E. Tab. XIV A & C), der späteren Keimzeit (Anhang A. Tab. I) und der höheren Saattiefe herrühren. Weiterhin liegt bei den beiden hypogäisch keimenden Nussarten der Fokus zu Beginn auf dem Wachstum der Keimwurzel (Anhang E. Abb. X). Die Reservestoffe erlauben es den Keimlingen von Baumhasel und Walnuss im Gegensatz zum Apfel erst später fotosynthetisch aktiv werden zu müssen (Bärtels 2008).

Eine eindeutige Zuordnung der aufgetretenen Schäden an den Sämlingen kann, wie auch im GH3, nicht erfolgen. Neben den attackierten Pflanzen gefundene Kotpillen von Mäusen (Anhang E. Abb. IX D, G & H) lassen jedoch ebenfalls vermuten, dass zumindest ein Teil in der Verantwortung der Nager liegen könnte. Weitere Indizien fanden sich darüber hinaus für Schnecken, Vögel und Hasen (Tab. 8) (Pigot und Leather 2008; Brohmer und Schaefer 2017; Grimmberger 2017). Darüber hinaus

sind auch hier Pathogene denkbar. Diese würden eine Erklärung für die ohne Fraßspuren aufgefundenen umgefallenen Sämlinge liefern. Das Rehwild schien auf allen Flächen eine potenzielle Gefahr darzustellen, v. a. für Jungbäume (Tab. 8). Laut den Ergebnissen der Steckholzmethode bestand lediglich auf GL2 ein geringeres Risiko (Tab. 6). Das starke Aufkommen des Rehs unterstreicht die Bedeutung der Einzäunung. Die teilweise auftretenden Fraßspuren durch Hasen (Tab. 6) deuten darauf hin, dass ein Zaun idealerweise auch gegen diese gesichert sein sollte.

6 Fazit und Reflexion

Die Ausführung einer Direktsaat mit Wertholzbäumen im GH3 des Gladbacherhofs lieferte wertvolle Informationen, insbesondere über das Verhalten von Samen und Sämlingen von Gehölzen auf einer landwirtschaftlichen Fläche. Eine Saatgutprädation konnte innerhalb der verschiedenen Saatreihen des Agroforstsystems nicht festgestellt werden. Hingegen zeigten sich deutliche Unterschiede in der Anzahl aufgegangener Sämlinge. Die z. T. schwachen Keimraten dürften dabei den schweren Lehmböden und einer unsachgemäßen Saattechnik zuzuordnen sein. Vermutlich verschärfte das niederschlagsreiche Frühjahr die Situation zusätzlich. Bei den Sämlingen offenbarten sich Schäden aufgrund von Prädatoren und Pathogenen. Die Wichtigkeit einer Umzäunung der Saatreihen zeigte sich durch vom Rehwild verursachte Beschädigungen an den bereits gesetzten Apfelbäumen, Holundersträuchern und Pappeln. Bei den Untersuchungen zur Saatgutprädation deutete sich für die Baumhasel ein auffällig höherer Verlust auf den Ackerflächen an. Dabei konnte ein Teil der verlorenen Samen mithilfe von Fraßspuren sowohl Langschwanzmäusen als auch Wühlmäusen zugeordnet werden. Über den Großteil des entwendeten Saatguts konnte jedoch keine Aussage getroffen werden. Für die Walnuss fiel die Prädation deutlich geringer aus, allerdings zeigte sich insbesondere auf den Ackerflächen ein hoher Anteil an freigelegten und nicht entwendeten Nüssen. Dies deutete eine versuchte, jedoch erfolglose Prädation an. Bei den Sämlingen fanden sich ebenfalls deutliche Schäden durch Prädatoren und Pathogene.

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Direktsaat von Wertgehölzen in Agroforstsystemen. Mithilfe der Erfahrungen von Expert*innen und dem aktuellen Wissensstand der Literatur konnten dabei die Grundlagen zur praktischen Ausführung einer solchen ermittelt und eingeordnet werden. Die dabei entstandene Orientierungshilfe bietet eine erste Zusammenfassung über das aktuell verfügbare Wissen zur Anlage von Agroforstsystemen per Direktsaat. Die praktische Umsetzung der Direktsaat im GH3 ermöglichte eine Überprüfung der eigenen Empfehlungen. Dabei zeigte sich für den Leitfaden insbesondere im Bereich der Saatbettvorbereitung die Notwendigkeit von Verbesserungen. Auch offenbarte sich, dass der Aspekt der nach der Aussaat erforderlichen Pflegemaßnahmen weiter ausgebaut werden sollte. Einerseits ist zu wenig über die Verluste von Sämlingen durch Prädatoren und Pathogene bekannt, andererseits muss die Rolle der Begleitvegetation näher untersucht werden. Die Saatgutexperimente erlaubten es, wertvolle Informationen zum Prädationsverhalten verschiedener Standorte zu gewinnen und Ereignisse im GH3 besser einordnen zu können. Für den Vergleich der Prädation zwischen Grün- und Ackerland deutete sich ein Unterschied an. Dieser schien jedoch nicht im direkten Zusammenhang mit der Vegetationsstruktur zu stehen. Für die hohen Verluste auf den Ackerflächen spielte möglicherweise die Anwesenheit wühlender Mäuse eine wichtige Rolle. Der Landnutzungstyp schien aufgrund der schmalen Versuchsflächen und damit einhergehend der geringen Distanz zu den Rändern nur eine schwache Bedeutung zu haben. Dies erschwerte ebenfalls eine verlässliche Aussage über die

Prädation in Abhängigkeit der Entfernung zum Waldrand. Für diese konnten keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Distanzen ermittelt werden. Weiterhin zeigte sich für die Saatgutverluste kein Effekt einer Vergällung mit Kuhdung. Für die Einschätzung der Anwesenheit bzw. Aktivität potenzieller Prädatoren erwiesen sich die Diagnosemethoden als hilfreich.

Der aktuelle Wissensstand erlaubt es noch nicht abschließend zu klären, wie zukunftsfähig die breite Anwendung der Direktsaat von Wertgehölzen in Agroforstsystemen wirklich ist. Vorteile gegenüber der herkömmlichen Pflanzung sind die Kosten- sowie Zeit-, Material- und Personalsparnis. Hinzu kommen die möglichen Vorteile eines gesunden und tief reichenden Wurzelsystems. Dies resultiert einerseits in einer vorteilhafteren Nährstoff- und Wasserversorgung, andererseits in einer verbesserten Standfestigkeit. Ein ausreichendes Fachwissen über die richtige Handhabung, Ausführung und Pflege ist sowohl für die Pflanzung als auch die Direktsaat notwendig. Dennoch zeigt sich bei Letzterer aufgrund zahlreicher biotischer und abiotischer Faktoren ein schwer kalkulierbares Risiko für den Erfolg. Ob die Pflanzung oder die Direktsaat die bessere Wahl ist, hängt u. a. stark vom Standort und der Baumart ab. Dies verdeutlichen die extremen Unterschiede in der Prädation der drei Baumarten dieser Arbeit - sowohl zwischen den verschiedenen Flächen als auch zwischen den verschiedenen Arten. Vor einer Entscheidung zur Direktsaat sind entsprechend stets die Standortfaktoren der Fläche zu kennen. Einen maßgeblichen Beitrag zum Erfolg stellt darüber hinaus das Wissen über die richtige technische Ausführung einer Direktsaat dar. In dieser Arbeit zeigte sich z. B. der Mangel an Kenntnissen über die nötige Saatbettqualität und Technik bei der Aussaat von (kleineren) Gehölzsamen auf schweren Böden. Weiterhin erlaubt es die Baumschule im Gegensatz zur Direktsaat in der Anfangsphase auftretende Probleme zu kontrollieren. Ebenso könnte durch verbesserte Aufzucht- und Pflanzmethoden die Wurzelqualität der Baumschulware optimiert werden, was eine Verbesserung der Stabilität und Wasserversorgung der Gehölze zur Folge haben könnte. Dies würde in einem höheren Preis bzw. Aufwand resultieren, würde jedoch den Erfolg einer Pflanzung erhöhen. Zusätzlich dürfte sich in Zukunft bei größeren Flächen auch das maschinelle Pflanzen von Agroforstsystemen etablieren, was zusätzlich Zeit und Kosten einsparen würde.

Weiterentwicklungen können jedoch auch bei der Direktsaat stattfinden und diese weiter verbessern. Vielversprechende Forschungsmöglichkeiten bestehen beispielsweise im Schutz des Saatguts vor Umweltfaktoren in Form von Repellentien oder durch Saatgut-Coating. Relevant ist ebenfalls der Einfluss von Prädatoren in Abhängigkeit zur Feldgröße. Auch die Prädation von Sämlingen auf landwirtschaftlichen Flächen muss genauer untersucht werden, um mit dem gewonnenen Wissen geeignete Schutzmechanismen entwickeln zu können. Weitere Fragen stellen sich zu den Möglichkeiten der Verbesserung des Saatbetts bei mangelhaften Böden zum Einfluss der Begleitflora auf die Baumentwicklung und zur Abwägung der Vor- und Nachteile von Mulch. Hilfreich wäre weiterhin, das Verhalten unterschiedlicher Baumarten auf unterschiedlichen landwirtschaftlichen Bodentypen mit unterschiedlichen Saattiefen zu untersuchen. In diesem Bereich existieren bisher nur Werte für die geschützten Bedingungen in Baumschulen. Darüber hinaus würde eine Mechanisierung der Aussaat und des Beikrautmanagements einen Großteil des Arbeitsaufwands einsparen.

Mit einer Intensivierung der Forschung sowie der fortschreitenden Entwicklung in der Agrartechnik und künstlichen Intelligenz könnten die aktuellen Schwächen der Direktsaat von Gehölzen weiter minimiert werden. Gleichzeitig gewinnen die Vorteile der Direktsaat stetig an Relevanz. Aufgrund der Zunahme von Trockenheit und Sturmereignissen wird der Ruf nach widerstandsfähigen und

angepassten Gehölzen lauter. Die Direktsaat könnte daher in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen, um sowohl resiliente als auch produktive Agroforstsysteme anzulegen.

7 Literaturverzeichnis

Adriano, D. C.; Chang, A. C.; Pratt, P. F.; Sharpless, R. (1973): Effect of Soil Application of Dairy Manure on Germination and Emergence of Some Selected Crops. In: *Journal of environmental quality* 2 (3), S. 396–399. DOI: 10.2134/jeq1973.00472425000200030022x.

Aizen, Marcelo A.; Woodcock, Hilary (1996): Effects of acorn size on seedling survival and growth in *Quercus rubra* following simulated spring freeze. In: *Can. J. Bot.* 74 (2), S. 308–314. DOI: 10.1139/b96-037.

Alagele, Salah M.; Jose, Shibu; Anderson, Stephen H.; Udawatta, Ranjith P. (2021): Hydraulic lift: processes, methods, and practical implications for society. In: *Agroforest Syst* 95 (4), S. 641–657. DOI: 10.1007/s10457-021-00614-w.

Alfter, Pierre; Dürr, Christoph; Gasparini, Ivo; Godi, Nadja; Godi, Francois (2021): Direktsaat im Wald. Eine Option für die Waldverjüngung?, 2021 (101, 4), S. 15–18.

Althen, F. W. von (1969): Artificial regeneration of black walnut: studies of seeding, planting, and container-planting. In: *Infor. Rep.* 0-X-107.

Amelung, Wulf; Blume, Hans-Peter; Fleige, Heinrich; Horn, Rainer; Kandeler, Ellen; Kögel-Knabner, Ingrid et al. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Aufl. 2018. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Springer eBook Collection).

Ammer, C.; Mosandl, R. (2007): Which grow better under the canopy of Norway spruce planted or sown seedlings of European beech? In: *Forestry* 80 (4), S. 385–395. DOI: 10.1093/forestry/cpm023.

Andersson, Christian (1992): The effect of weevil and fungal attacks on the germination of *Quercus robur* acorns. In: *Forest Ecology and Management* 50 (3-4), S. 247–251. DOI: 10.1016/0378-1127(92)90339-B.

Apfelbach, Raimund; Blanchard, Caroline D.; Blanchard, Robert J.; Hayes, R. Andrew; McGregor, Iain S. (2005): The effects of predator odors in mammalian prey species: a review of field and laboratory studies. In: *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 29 (8), S. 1123–1144. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2005.05.005.

Ashworth, S.; Harrison, H. (1983): Evaluation of mulches for use in the home garden. In: *Hort. Sci.* (18(2):), 180-182.

Awadhwai, N. K.; Thierstein, G. E. (1985): Soil crust and its impact on crop establishment: A review. In: *Soil and Tillage Research* 5 (3), S. 289–302. DOI: 10.1016/0167-1987(85)90021-2.

Aygun, A.; Erdogan, V.; Bozkurt, E. (2009): Effect of some pretreatments on seed germination of Turkish Hazel (*Corylus colurna* L.). In: *Acta Hort.* (845), S. 203–206. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.845.27.

Bajorienė, K.; Jodaugienė, D.; Pupalienė, R.; Sinkevičienė, A. (2013): Effect of organic mulches on the content of organic carbon in the soil. In: *Estonian J. Ecol.* 62 (2), S. 100. DOI: 10.3176/eco.2013.2.02.

Balandier, P.; Collet, C.; Miller, J. H.; Reynolds, P. E.; Zedaker, S. M. (2006): Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation. In: *Forestry* 79 (1), S. 3–27. DOI: 10.1093/forestry/cpi056.

Balandier, Philippe; Frochot, Henri; Sourisseau, Agnès (2009): Improvement of direct tree seeding with cover crops in afforestation: Microclimate and resource availability induced by vegetation composition. In: *Forest Ecology and Management* 257 (8), S. 1716–1724. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.01.032.

Banda, A. Z.; Maghembe, J. A.; Ngugi, D. N.; Chome, V. A. (1994): Effect of intercropping maize and closely spaced *Leucaena* hedgerows on soil conservation and maize yield on a steep slope at Ntcheu, Malawi. In: *Agroforest Syst* 27 (1), S. 17–22. DOI: 10.1007/BF00704831.

Bang, Preben; Dahlström, Preben (2005): *Tierspuren. Fährten, Fraßspuren, Losungen, Gewölle und andere.* 2., durchges. Aufl. München: blv (BLV Bestimmungsbuch).

Barnett, James P.; Varela, Sue (2004): A Review of Chemical Treatments to Improve Germination of Longleaf Pine Seeds. In: *Native Plants Journal* 5 (1), S. 18–24. DOI: 10.1353/npj.2004.0003.

Bärtels, Andreas (2008): *Gehölzvermehrung. Aussaat - Veredlung - Steckholz - Steckling.* 5th ed. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Bartsch, Norbert; Lüpke, Burghard von; Röhrig, Ernst (2020): *Waldbau auf ökologischer Grundlage.* 8. vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: utb GmbH.

Behm, A. (2004): Stabilität fängt bei der Wurzel an LWF aktuell (46), S. 29–30.

Bellot, J. (2002): The effects of treeshelters on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. In: *Forestry* 75 (1), S. 89–106. DOI: 10.1093/forestry/75.1.89.

Birkedal, Maria; Fischer, Anders; Karlsson, Matts; Löf, Magnus; Madsen, Palle (2009): Rodent impact on establishment of direct-seeded *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* and *Quercus petraea* on forest land. In: *Scandinavian Journal of Forest Research* 24 (4), S. 298–307. DOI: 10.1080/02827580903055125.

Birkedal, Maria; Löf, Magnus; Olsson, Gert E.; Bergsten, Urban (2010): Effects of granivorous rodents on direct seeding of oak and beech in relation to site preparation and sowing date. In: *Forest Ecology and Management* 259 (12), S. 2382–2389. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.03.014.

BMEL (2023): *Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2022.* Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldzustandserhebung-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 04.05.2023.

Bochet, E.; Poesen, J.; Rubio, J. L. (2006): Runoff and soil loss under individual plants of a semi-arid Mediterranean shrubland: influence of plant morphology and rainfall intensity. In: *Earth Surf. Process. Landforms* 31 (5), S. 536–549. DOI: 10.1002/esp.1351.

Bolarinwa, Islamiyat F.; Orfila, Caroline; Morgan, Michael R. A. (2015): Determination of amygdalin in apple seeds, fresh apples and processed apple juices. In: *Food Chemistry* 170, S. 437–442. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.083.

Bonner, F. T. (1987): *Seed Biology and Technology of Quercus.* U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.

Bosch, S.; Lurz, P. (2011): Erfassungsmethoden für Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*) und andere Hörnchenarten im Rahmen faunistischer Untersuchungen. In: Maus (17/9).

Bringezu, A. (1982): Grundlagen der Gehölzproduktion. Lehrbuch für die Berufsausbildung Gärtner - Baumschule. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.

Brinkmann, K.; Langer-Kettner, G.; Polle, A. (2003): Auswirkungen des Pflanzschocks auf Überlebensrate und Gewebequalität in jungen Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Frankfurt am Main: J. D. Sauerlanders Verlag.

Brix, Mathias; Bender, Bela; Spiecker, Heinrich (2009): Wertholzproduktion in Agroforstsystemen. In: Anbau und Nutzung von Bäumen auf Landwirtschaftlichen Flächen: John Wiley & Sons, Ltd, S. 251–261.

Brohmer, Paul; Schaefer, Matthias (2017): Brohmer - Fauna von Deutschland. Ein Bestimmungsbuch unserer heimischen Tierwelt. 24., komplett überarbeitete Auflage. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag (Quelle & Meyer Bestimmungsbücher).

Bullard, Steven; Hodges, John D.; Johnson, Robert L.; Straka, Thomas J. (1992): Economics of Direct Seeding and Planting for Establishing Oak Stands on Old-Field Sites in the South. In: Southern Journal of Applied Forestry 16 (1), S. 34–40. DOI: 10.1093/sjaf/16.1.34.

Bytheway, Jenna P.; Carthey, Alexandra J. R.; Banks, Peter B. (2013): Risk vs. reward: how predators and prey respond to aging olfactory cues. In: Behav Ecol Sociobiol 67 (5), S. 715–725. DOI: 10.1007/s00265-013-1494-9.

Caceres, Y.; Pulido, F.; Moreno Marcos, F. (2017): Tree regeneration in grazed wood pastures. Hg. v. AGFORWARD.

Calder, C. J.; Gorman, M. L. (1991): The effects of red fox *Vulpes vulpes* faecal odours on the feeding behaviour of Orkney voles *Microtus arvalis*. In: Journal of Zoology 224 (4), S. 599–606. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1991.tb03788.x.

Camargo, Jose Luis Campana; Ferraz, Isolde Dorothea Kossman; Imakawa, Angela Maria (2002): Rehabilitation of Degraded Areas of Central Amazonia Using Direct Sowing of Forest Tree Seeds. In: Restor Ecol 10 (4), S. 636–644. DOI: 10.1046/j.1526-100X.2002.01044.x.

Castellano-Hinojosa, Antonio; Strauss, Sarah L. (2020): Impact of Cover Crops on the Soil Microbiome of Tree Crops. In: Microorganisms 8 (3). DOI: 10.3390/microorganisms8030328.

Castro, Jorge; Leverkus, Alexandro B.; Fuster, Francisco (2015): A new device to foster oak forest restoration via seed sowing. In: New Forests 46 (5-6), S. 919–929. DOI: 10.1007/s11056-015-9478-4.

Ciccarese, L. (1998): Performance in pieno campo di noce comune (*Juglans regia*) da legno: confronto dopo 4 anni dall'impianto tra semina diretta, semenzali a radice nuda e in contenitore. In: Monti e Boschi (3/4: 51-8).

Cram, M. M.; Fraedrich, S.W (2010): Seed diseases and seedborne pathogens of North America. In: Tree Planters' Notes (53(2)), S. 35–44.

Cubera, Elena; Moreno, Gerardo; Solla, Alejandro (2009): *Quercus ilex* root growth in response to heterogeneous conditions of soil bulk density and soil NH₄-N content. In: *Soil and Tillage Research* 103 (1), S. 16–22. DOI: 10.1016/j.still.2008.09.002.

Dey, Daniel C.; Jacobs, Douglass; McNabb, Ken; Miller, Gary; Baldwin, V.; Foster, G. (2008): Artificial Regeneration of Major Oak (*Quercus*) Species in the Eastern United States—A Review of the Literature. In: *for sci* 54 (1), S. 77–106. DOI: 10.1093/forestscience/54.1.77.

Döring, Thomas F.; Brandt, Michael; Heß, Jürgen; Finckh, Maria R.; Saucke, Helmut (2005): Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. In: *Field Crops Research* 94 (2-3), S. 238–249. DOI: 10.1016/j.fcr.2005.01.006.

Dörken, V. (2013): Winterhärte und Frostresistenz von Pflanzen. In: *Jahrb. Bochumer Bot. Ver.* (4), S. 308–319.

Drew, Malcolm C. (1997): OXYGEN DEFICIENCY AND ROOT METABOLISM: Injury and Acclimation Under Hypoxia and Anoxia. In: *Annual review of plant physiology and plant molecular biology* 48, S. 223–250. DOI: 10.1146/annurev.arplant.48.1.223.

Dupraz, Christian; Liagre, Fabien (2019): *Agroforesterie. Des arbres et des cultures.* [2e édition]. Paris: Groupe France agricole (Agriproduction).

Düwel, O.; Utermann, J. (2008): Humusversorgung der (Ober-)Böden in Deutschland. Status quo.

DWD (2023): Deutschlandwetter im Juni 2023. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de>, zuletzt aktualisiert am 02.07.2023.

Ellenberg, Heinz; Leuschner, Christoph (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen.* In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht; 203 Tabellen. 6., vollst. neu bearb. und stark erw. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB Botanik, Ökologie, Agrar- und Forstwissenschaften, Geographie, 8104).

Esen, Derya; Yildiz, Oktay; Cicek, Emrah; Kulac, Semsettin (2006): Effects of different pretreatments on the germination of different wild cherry (*Prunus avium* L.) seed sources (38(3)), S. 735–743.

Fagerholm, Nora; Torralba, Mario; Burgess, Paul J.; Plieninger, Tobias (2016): A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. In: *Ecological Indicators* 62, S. 47–65. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.11.016.

Farlee, Lenny D. (2013): Direct seeding of fine hardwood tree species. In: *Proceedings of the Seventh Walnut Council Research Symposium*, S. 31–47.

Fernández, J. E.; Moreno, F.; Cabrera, F.; Arrue, J. L.; Martín-Aranda, J. (1991): Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. In: *Plant and Soil* 133 (2), S. 239–251. DOI: 10.1007/BF00009196.

Fiedler, Paula M. A.; Lapparent, Alice de; Razafitsalama, Jeremie; Sanamo, Justin; Steffens, Kim J. E.; Ganzhorn, Jörg U. (2021): Secondary seed removal in a degraded forest habitat in Madagascar. In: *Scientific reports* 11 (1), S. 16823. DOI: 10.1038/s41598-021-96306-7.

Fleming, R. L.; Groot, A.; Adams, M. J.; van Damme, L.; Foreman, F. F. (2001): Direct Seeding. In: *Regenerating the Canadian Forest: Principles and Practice for Ontario*, S. 351–373.

Fleming, R. L.; Mossa, D. S. (1995): Direct seeding of black spruce in northwestern Ontario: Temporal changes in seedbed coverage and receptivity. In: *The Forestry Chronicle* 71 (2), S. 219–227. DOI: 10.5558/tfc71219-2.

Frenne, Pieter de; Zellweger, Florian; Rodríguez-Sánchez, Francisco; Scheffers, Brett R.; Hylander, Kristoffer; Luoto, Miska et al. (2019): Global buffering of temperatures under forest canopies. In: *Nature ecology & evolution* 3 (5), S. 744–749. DOI: 10.1038/s41559-019-0842-1.

Gardiner, E. S. (2001): Ecology of bottomland oaks in the southeastern United States. In: *Int. Oaks* (12), S. 48–55.

Gardiner, E. S.; Hodges, J. D. (1996): Physiological, morphological and growth responses to rhizosphere hypoxia by seedlings of North American bottomland oaks. In: *Ann. For. Sci.* 53 (2-3), S. 303–316. DOI: 10.1051/forest:19960213.

Gerhard, Wezel; Buch, Reis; Joachim, Reis (2019): Rückblick und Ausblick zum Forstpflanzenmarkt. In: *Holz-Zentralblatt* (38), S. 795.

Gómez, José M. (2004): Importance of microhabitat and acorn burial on *Quercus ilex* early recruitment: non-additive effects on multiple demographic processes. In: *Plant Ecol* 172 (2), S. 287–297. DOI: 10.1023/B:VEGE.0000026327.60991.f9.

Gómez-Aparicio, Lorena; Zamora, Regino; Gómez, Jose M.; Hódar, Jose A.; Castro, Jorge; Baraza, Elena (2004): Applying plant facilitation to roest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. In: *Ecological Applications* 14 (4), S. 1128–1138. DOI: 10.1890/03-5084.

Granatstein, David; Mullinix, Kent (2008): Mulching Options for Northwest Organic and Conventional Orchards. In: *horts* 43 (1), S. 45–50. DOI: 10.21273/HORTSCI.43.1.45.

Greenly, Katrina; Rakow, Donald (1995): The Effect of Wood Mulch Type and Depth on Weed and Tree Growth and Certain Soil Parameters. In: *AUF* 21 (5), S. 225–232. DOI: 10.48044/jauf.1995.036.

Grimmberger, Eckhard (2017): *Die Säugetiere Mitteleuropas. Beobachten und Bestimmen.* Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag.

Grossnickle, Steven; Ivetić, Vladan (2017): Direct Seeding in Reforestation – A Field Performance Review. In: *REFOR* (4), S. 94–142. DOI: 10.21750/REFOR.4.07.46.

Grossnickle, Steven C. (2000): *Ecophysiology of northern spruce species. The performance of planted seedlings.* Ottawa: NRC Research Press.

Grossnickle, Steven C.; El-Kassaby, Yousry A. (2016): Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. In: *New Forests* 47 (1), S. 1–51. DOI: 10.1007/s11056-015-9476-6.

Grube KG (2023): Arcelor Wildzaun-Knotengeflecht 160/20/15. Online verfügbar unter <https://www.grube.de/p/arcelor-wildzaun-knotengeflecht-1602015/P73-721A-01/>, zuletzt geprüft am 02.07.2023.

Grünwald, Niklaus J.; Garbelotto, Matteo; Goss, Erica M.; Heungens, Kurt; Prospero, Simone (2012): Emergence of the sudden oak death pathogen *Phytophthora ramorum*. In: *Trends in microbiology* 20 (3), S. 131–138. DOI: 10.1016/j.tim.2011.12.006.

Hallett, Lauren M.; Standish, Rachel J.; Jonson, Justin; Hobbs, Richard J. (2014): Seedling emergence and summer survival after direct seeding for woodland restoration on old fields in south-western Australia. In: *Ecol Manag Restor* 15 (2), S. 140–146. DOI: 10.1111/emr.12110.

Harmer, R. (1995): Natural regeneration of broadleaved trees in Britain: III. Germination and establishment. In: *Forestry* 68 (1), S. 1–9. DOI: 10.1093/forestry/68.1.1-b.

Hauschild, Michael (2022): Foto des GH3, 12.11.2022.

Heiligmann, Randall B.; Schneider, Gary; White, Donald P. (2006): Effects of Wind Barrier Protection on Eleven-Year Growth of Black Walnut Seedlings. In: *Northern Journal of Applied Forestry* 23 (2), S. 83–86. DOI: 10.1093/njaf/23.2.83.

Helms, John A. (Hg.) (1998): *The dictionary of forestry*. Society of American Foresters. Wallingford: CABI Publishing.

Heroldová, Marta; Tkadlec, Emil (2011): Harvesting behaviour of three central European rodents: Identifying the rodent pest in cereals. In: *Crop Protection* 30 (1), S. 82–84. DOI: 10.1016/j.cropro.2010.09.002.

Hewitt, Nina; Kellman, Martin (2004): Factors influencing tree colonization in fragmented forests: an experimental study of introduced seeds and seedlings. In: *Forest Ecology and Management* 191 (1-3), S. 39–59. DOI: 10.1016/j.foreco.2003.11.003.

Heydeck, Paul; Dahms, Christine (2012): Zur Bedeutung pilzlicher Organismen als Risikofaktoren bei der Realisierung des Waldumbauprogramms im Bundesland Brandenburg. In: *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch. ökol.* (35), S. 77–82.

HLNUG (2023): BodenViewer Hessen. Online verfügbar unter <https://www.hlnug.de/themen/boden/information/internetviewer/bodenviewer-hessen>, zuletzt geprüft am 25.06.2023.

Holišová, V. Holišová. (1960): Food requirements of the wood mouse *Apodemus sylvaticus* L. of the Czech-Moravian Highland. In: *Zool. Listy* (9), S. 135–158.

Hooper, Elaine; Condit, Richard; Legendre, Pierre (2002): Response of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. In: *Ecological Applications* 12 (6), S. 1626–1641. DOI: 10.1890/1051-0761(2002)012[1626:RONTST]2.0.CO;2.

Howard, W. E.; Marsh, R. E.; Cole, R. E. (1968): Food detection by deer mice using olfactory rather than visual cues. In: *Animal behaviour* 16 (1), S. 13–17. DOI: 10.1016/0003-3472(68)90100-0.

Hübner, Rico; Böhm, Christian; Zehlius-Eckert, Wolfgang (2020): Rechtliche und politische Hemmnisse für die Agroforstwirtschaft: Lösungsvorschläge zu deren Überwindung, aktuelle Kompromisslösungen und besondere Fallstricke - Loseblatt #49.

Huth, Franka; Wehnert, Alexandra; Tiebel, Katharina; Wagner, Sven (2017): Direct seeding of silver fir (*Abies alba* Mill.) to convert Norway spruce (*Picea Abies* L.) forests in Europe: A review. In: *Forest Ecology and Management* 403, S. 61–78. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.08.017.

Iliev, Nasko; Petrakieva, Anna; Milev, Milko (2012): Seed dormancy breaking of wild cherry (*Prunus avium* L.). In: *Forestry ideas* (Vol. 18, No 1 (43)), S. 28–36.

Ivetić, V.; Devetaković, J.; Nonić, M.; Stanković, D.; Šijačić-Nikolić, M. (2016): Genetic diversity and forest reproductive material - from seed source selection to planting. In: *iForest* 9 (5), Artikel 1577, S. 801–812. DOI: 10.3832/ifor1577-009.

Janzen, Daniel H. (1970): Herbivores and the Number of Tree Species in Tropical Forests. In: *The American Naturalist* 104 (940), S. 501–528. DOI: 10.1086/282687.

Jayaraman, Somasundaram; Naorem, A. K.; Lal, Rattan; Dalal, Ram C.; Sinha, N. K.; Patra, A. K.; Chaudhari, S. K. (2021): Disease-Suppressive Soils-Beyond Food Production: a Critical Review. In: *Journal of soil science and plant nutrition* 21 (2), S. 1437–1465. DOI: 10.1007/s42729-021-00451-x.

Jõgiste, K.; Metslaid, M.; Uri, V. (2016): Restoration of Boreal and Temperate Forests. Afforestation and land use dynamics in the Baltic States.

Johnson, P. S.; Shifley, S. R.; Rogers, R. (2009): *The ecology and silviculture of oaks*. UK: CABI.

Johnson, R. L. (1981): Oak Seeding—It Can Work. In: *Southern Journal of Applied Forestry* 5 (1), S. 28–33. DOI: 10.1093/sjaf/5.1.28.

Joyce, P. M.; Huss, J.; McCarthy, R.; Pfeiffer, A. (1998): *Growing Broadleaves for Ash, Sycamore, Wild Cherry*. Dublin: COFORD, National University of Ireland.

Justus-Liebig-Universität Gießen (2023): Gladbacherhof. Online verfügbar unter https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/forschung/lehreinrichtungen/Standorte_neu/gh, zuletzt geprüft am 20.06.2023.

Kadereit, Joachim W.; Körner, Christian; Kost, Benedikt; Sonnewald, Uwe (2014): *Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*. 37. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Kankaanhuhta, Ville; Saksa, Timo; Smolander, Heikki (2009): Variation in the results of Norway spruce planting and Scots pine direct seeding in privately-owned forests in southern Finland. In: *Silva Fenn.* 43 (1). DOI: 10.14214/sf.217.

Kausch-Blecken von Schmeling, Wedig (1992): *Der Speierling. Sorbus domestica L. : Arterhaltung durch Nachzucht*. Bovenden.

Keppel, Herbert; Pieber, Karl; Weiss, Josef (2018): *Obstbau. Biologisch und integriert : inklusive Verarbeitung*. Unter Mitarbeit von Wolfgang Mazelle und Peter Modl. 3., völlig neu bearbeitete Auflage des Buchs "Obstbau". Graz, Stuttgart: Leopold Stocker Verlag (Praxis).

Khurana, Ekta; Singh, J. S. (2001): Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. In: *Current Science* 80 (6), S. 748–757.

Kramer, Horst; Akça, Alparslan (2002): *Leitfaden zur Waldmeßlehre*. 4. Aufl. Frankfurt am Main: Sauerländer.

Krüger, F. (1996): Steckhölzer für die Abundanz- und Schadprognose oberirdisch fressender Kurzschwanzmäuse (Microtinae), eine Alternative zum Fallenfang. In: *Anz. Schadlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 69 (6), S. 130–135.

Kubista, Claudia; Rotter, Birgit (2020): Fraßspuren-Bestimmungshilfe. Haselmäuse anhand ihrer Nagespuren an Haselnüssen nachweisen. Hg. v. Österreichische Bundesforste.

Kudernatsch, T. (2017): Verbiss richtig ansprechen. In: LFW-Faltblatt.

Kutschera, Lore; Lichtenegger, Erwin (2013): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. 2. Aufl. Graz: Stocker (Wurzelatlas-Reihe, 6).

Lamichhane, Jay Ram; Dürr, Carolyne; Schwanck, André A.; Robin, Marie-Hélène; Sarthou, Jean-Pierre; Cellier, Vincent et al. (2017): Integrated management of damping-off diseases. A review. In: Agron. Sustain. Dev. 37 (2), S. 1–25. DOI: 10.1007/s13593-017-0417-y.

Lamichhane, Sagar; Thapa, Rabin; Thapa, Praseed; Ahamad, Kafil (2021): Effect of Different Pre-Sowing Treatments on Germination of Persian Walnut (*Juglans Regia* L.) in Rukum (East) District, Nepal. In: Turkish JAF Sci.Tech. 9 (6), S. 1165–1171. DOI: 10.24925/turjaf.v9i6.1165-1171.4424.

Larcher, Walter (2001): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Streßbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt ; 77 Tabellen, 8 Boxen. 6., neubearb. Aufl. Stuttgart: Ulmer (UTB Botanik, Agrar- und Forstwissenschaften, Ökologie, Geographie, 8074).

Ledgard, N. J. (1976): Research into the direct seeding of woody plants in high country revegetation. In: N. Z. Journal of Forestry.

Leukers, A.; Jacob, J. (2009): Ausbreitungsmuster von Feldmäusen (*Microtus arvalis*). In: Nachwuchswissenschaftlerforum (424), S. 75–76.

Leverkus, Alexandro B.; Levy, Laura; Andivia, Enrique; Annighöfer, Peter; Cuyper, Bart de; Ivetic, Vladan et al. (2021): Restoring oak forests through direct seeding or planting: Protocol for a continental-scale experiment. In: PLoS ONE 16 (11), e0259552. DOI: 10.1371/journal.pone.0259552.

Liebold, Renate; Trinczek, Rainer (2009): Handbuch Methoden der Organisationsforschung. Quantitative und qualitative Methoden. 1. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Lindström, A.; Rune, G. (Hg.) (1999): Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. Unter Mitarbeit von Plant and Soil: Springer Netherlands (Developments in plant and soil sciences, Volume 217).

Löf, Magnus; Castro, Jorge; Engman, Mattias; Leverkus, Alexandro B.; Madsen, Palle; Reque, Jose A. et al. (2019): Tamm Review: Direct seeding to restore oak (*Quercus* spp.) forests and woodlands. In: Forest Ecology and Management 448, S. 474–489. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.06.032.

Löf, Magnus; Thomsen, Anton; Madsen, Palle (2004): Sowing and transplanting of broadleaves (*Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., *Prunus avium* L. and *Crataegus monogyna* Jacq.) for afforestation of farmland. In: Forest Ecology and Management 188 (1-3), S. 113–123. DOI: 10.1016/j.foreco.2003.07.013.

Löf, Magnus; Welander, Nils Torkel (2004): Influence of herbaceous competitors on early growth in direct seeded *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. In: Ann. For. Sci. 61 (8), S. 781–788. DOI: 10.1051/forest:2004075.

Lösing, Heinrich (2012): Per Maschine Korn für Korn. In: Deutsche Baumschule (7), S. 42–43.

Mariotti, Barbara; Maltoni, Alberto; Chiarabaglio, Pier Mario; Giorcelli, Achille; Jacobs, Douglass F.; Tognetti, Roberto; Tani, Andrea (2015): Can the use of large, alternative nursery containers aid in field establishment of *Juglans regia* and *Quercus robur* seedlings? In: *New Forests* 46 (5-6), S. 773–794. DOI: 10.1007/s11056-015-9505-5.

Matsuda, Kozue; McBride, Joe R. (1989): Germination Characteristics of Selected California Oak Species. In: *American Midland Naturalist* 122 (1), S. 66. DOI: 10.2307/2425684.

Meuser, Michael; Nagel, Ulrike (2009): Das Experteninterview — konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. In: *Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft: VS Verlag für Sozialwissenschaften*, S. 465–479.

Minarsch, E. M. (2022): Fotos der Agroforstsysteme, 09.11.2022.

Mitrová, A.; Sendecky, M.; Martinik, A. (2022): Initial insights and experiences from the establishment of an alley cropping research and demonstration plot in Žabčice. In: *Proceedings of Central European Silviculture*.

Mittelbach, Gary G.; Gross, Katherine L. (1984): Experimental studies of seed predation in old-fields. In: *Oecologia* 65 (1), S. 7–13. DOI: 10.1007/BF00384455.

Moreno, G.; Franco, M. D. (2013): Efecto diferencial de la jara (*Cistus ladanifer*) en la supervivencia de plántulas emergidas y plantadas de encina (*Quercus ilex*). In: *6° Congreso Forestal Espanol*.

Morhart, Christopher; Sheppard, Jonathan; Douglas, Gerry C.; Lunny, Rory; Spiecker, Heinrich; Nahm, Michael (2015): Wertholzproduktion in Agroforstsystemen – ein Leitfaden für die Praxis.

Mößmer, Albert (2018): *Das große Buch der Landtechnik. Vom Grabstock zum Feldroboter*. München: GeraMond.

Nahrstedt, A. (1972): Zur cyanogenese von *prunus avium*. In: *Phytochemistry* 11 (11), S. 3121–3126. DOI: 10.1016/s0031-9422(00)86360-8.

Nair, P. K. R.; Kang, B. T.; Kass, D. C. L. (1995): Nutrient Cycling and Soil-Erosion Control in Agroforestry Systems. In: *ASA Special Publications*, S. 117–138. DOI: 10.2134/asaspecpub60.c7.

Neilson, Jacqui (2004): Thinking outside the box: feline elimination. In: *Journal of Feline Medicine and Surgery* 6 (1), S. 5–11. DOI: 10.1016/j.jfms.2003.09.008.

Newton, G. W.; Schmidt, E. S.; Lewis, J. P.; Conn, E.; Lawrence, R. (1981): Amygdalin toxicity studies in rats predict chronic cyanide poisoning in humans. In: *The Western journal of medicine* 134 (2), S. 97–103.

Niethammer, Jochen; Duguy, Raymond (Hg.) (1992): *Handbuch der Säugetiere Europas*. Unter Mitarbeit von Shela S. Anderson. Wiesbaden: AULA-Verl.

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) (2007): Mäuse in forstlichen Verjüngungen. Arten, Schäden, Prognose, Bekämpfung. In: *Praxis-Information*.

Nörr, R.; Baumer, M. (2002): Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität? Die Bedeutung wurzelschonender Pflanzung und ihre Umsetzung im Forstbetrieb. 37. Aufl.: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF).

O'Hanlon-Manners, D. L.; Kotanen, P. M. (2006): Losses of seeds of temperate trees to soil fungi: effects of habitat and host ecology. In: *Plant Ecol* 187 (1), S. 49–58. DOI: 10.1007/s11258-006-9132-5.

Oliet, Juan A.; Vázquez de Castro, Alberto; Puértolas, Jaime (2015): Establishing *Quercus ilex* under Mediterranean dry conditions: sowing recalcitrant acorns versus planting seedlings at different depths and tube shelter light transmissions. In: *New Forests* 46 (5-6), S. 869–883. DOI: 10.1007/s11056-015-9495-3.

Owston, Peyton W.; Walters, Gerald A.; Molina, Randy (1992): Selection of planting stock, inoculation with mycorrhizal fungi, and use of direct seeding. In: Hobbs SD, Tesch SD, Owston PW, Stewart RE, Tappeiner II JC, Wells GE (eds) *Reforestation practice in southwestern Oregon and northern California.*, S. 310–327.

Palma, Ana Cristina; Laurance, Susan G.W. (2015): A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? In: *Appl Veg Sci* 18 (4), S. 561–568. DOI: 10.1111/avsc.12173.

Palmerlee, Alex P.; Young, Truman P. (2010): Direct seeding is more cost effective than container stock across ten woody species in California. In: *Native Plants Journal* 11 (2), S. 89–102. DOI: 10.2979/NPJ.2010.11.2.89.

Pandey, D. P.; Prakash, N. P. (2014): Tropical Dry Forest Restoration. Science and Practice of Direct Seeding in a Nutshell. In: *RSPCB Occasional Paper* (7).

Parratt, Matt; Jinks, Richard (2013): Species preference of small mammals for direct-sown tree and shrub seeds. Farnham: Forestry Commission (Research note (Forestry Commission), FCRN013).

Partel, Victor; Charan Kakarla, Sri; Ampatzidis, Yiannis (2019): Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence. In: *Computers and Electronics in Agriculture* 157, S. 339–350. DOI: 10.1016/j.compag.2018.12.048.

Perata, P.; Pozueta-Romero, J.; Akazawa, T.; Yamaguchi, J. (1992): Effect of anoxia on starch breakdown in rice and wheat seeds. In: *Planta* 188 (4), S. 611–618. DOI: 10.1007/BF00197056.

Pérez-Ramos, Ignacio M.; Marañón, Teodoro (2008): Factors affecting post-dispersal seed predation in two coexisting oak species: Microhabitat, burial and exclusion of large herbivores. In: *Forest Ecology and Management* 255 (8-9), S. 3506–3514. DOI: 10.1016/j.foreco.2008.02.032.

Peterken, G. F.; Game, M. (1984): Historical Factors Affecting the Number and Distribution of Vascular Plant Species in the Woodlands of Central Lincolnshire. In: *The Journal of Ecology* 72 (1), S. 155. DOI: 10.2307/2260011.

Pigot, Alex L.; Leather, Simon R. (2008): Invertebrate predators drive distance-dependent patterns of seedling mortality in a temperate tree *Acer pseudoplatanus*. In: *Oikos* 117 (4), S. 521–530. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2008.16499.x.

Pramanik; P.; Bandyopadhyay; K., K.; Bhaduri; Debarati et al. (2015): Effect of mulch on soil thermal regimes - A review. In: *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology* 8 (3), S. 645–658.

Prévosto, Bernard; Monnier, Yogan; Ripert, Christian; Fernandez, Catherine (2011a): Can we use shelterwoods in Mediterranean pine forests to promote oak seedling development? In: *Forest Ecology and Management* 262 (8), S. 1426–1433. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.06.043.

Prévosto, Bernard; Monnier, Yogan; Ripert, Christian; Fernandez, Catherine (2011b): Diversification of *Pinus halepensis* forests by sowing *Quercus ilex* and *Quercus pubescens* acorns: testing the effects of different vegetation and soil treatments. In: *Eur J Forest Res* 130 (1), S. 67–76. DOI: 10.1007/s10342-010-0396-x.

Quero, José Luis; Villar, Rafael; Marañón, Teodoro; Zamora, Regino; Poorter, Lourens (2007): Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. In: *American journal of botany* 94 (11), S. 1795–1803. DOI: 10.3732/ajb.94.11.1795.

Rehman, Hafeez ur; Iqbal, Hassan; Basra, Shahzad M. A.; Afzal, Irfan; Farooq, Muhammad; Wakeel, Abdul; WANG, Ning (2015): Seed priming improves early seedling vigor, growth and productivity of spring maize. In: *Journal of Integrative Agriculture* 14 (9), S. 1745–1754. DOI: 10.1016/S2095-3119(14)61000-5.

Reid, J. B.; Goss, M. J. (1981): Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. In: *Journal of Soil Science* 32 (4), S. 521–541. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1981.tb01727.x.

Ren, Jun; Tao, Ling; Liu, Xin-Min (2002): Effect of sand burial depth on seed germination and seedling emergence of *Calligonum* L. species. In: *Journal of Arid Environments* 51 (4), S. 603–611. DOI: 10.1006/jare.2001.0979.

Richardson, B.; Vanner, A.; Ray, J.; Davenhill, N.; Coker, G. (1996): Mechanisms of *Pinus radiata* growth suppression by some common forest weed species. In: *N. Z. J. For. Sci.* (26 (3)), S. 421–437.

Russell, T. E. (1971): Seeding and planting upland oaks. In: *Oak Symposium Proceedings.*, S. 49–54.

Sánchez-González, Mariola; Gea-Izquierdo, Guillermo; Pulido, Fernando; Acácio, V.; D., McCreary; Cañellas, Isabel (2015): Restoration of open oak woodlands in Mediterranean ecosystems of Western Iberia and California, S. 377–399.

Schaefer, Matthias (2003): *Wörterbuch der Ökologie*. 4., neu bearb. und erw. Aufl. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verl.

Schmidt, Lars (2008): A review of direct sowing versus planting in tropical afforestation and land rehabilitation. In: *Forest & Landscape*.

Schmidtlein, Lilly (2022): Der syntropische Agroforst wurde gepflanzt. Online verfügbar unter <https://hofverde.de/2022/12/05/der-syntropische-agroforst-wurde-gepflanzt/>, zuletzt aktualisiert am 15.07.2023.

Schulz, Franz (2012): Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Grundbodenbearbeitung. Effekte auf Flächenproduktivität, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit. Zugl.: Gießen, Univ., Diss., 2012. 1. Aufl. Berlin: Köster (Giessener Schriften zum ökologischen Landbau, Bd. 5).

Schulz, Franz; Brock, Christopher; Schmidt, Harald; Franz, Klaus-Peter; Leithold, Günter (2014): Development of soil organic matter stocks under different farm types and tillage systems in the Organic Arable Farming Experiment Gladbacherhof. In: Archives of Agronomy and Soil Science 60 (3), S. 313–326. DOI: 10.1080/03650340.2013.794935.

Schütt, Peter; Aas, Gregor (Hg.) (2007): Lexikon der Baum- und Straucharten. Das Standardwerk der Forstbotanik; Morphologie, Pathologie, Ökologie und Systematik wichtiger Baum- und Straucharten. Lizenzausg. Hamburg: Nikol.

Seho, Muhidin; Konnert, Monika; Huber, Gerhard (2016): Baumhasel - Saatgut und Vermehrung im Fokus. In: Deutsche Baumschule (08).

Shukla, P. R.; Skea, J.; Calvo Buendia, E.; Masson-Delmotte, V.; Pörtner, H.; Roberts, D. C. et al. (2019): IPCC Report 2019 Climate Change and Land. An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCL-Full-Report-Compiled-191128.pdf>.

Silvertown, J. W. (1980): The evolutionary ecology of mast seeding in trees. In: Biological Journal of the Linnean Society 14 (2), S. 235–250. DOI: 10.1111/j.1095-8312.1980.tb00107.x.

Sluder, E. (1965): Direct Seeding Scarlet Oak in the North Carolina Mountains. In: Res. Note SE-41. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 2 p. 041.

Sluderj, R.; Olson, D.; Jarrett, T. (1961): Tests on Direct Seeding of Oak in the Piedmont and Southern Appalachians of North Carolina. In: Station Paper (134).

Smit, Christian; Kuijper, Dries P.J.; Prentice, David; Wassen, Martin J.; Cromsigt, Joris P.G.M. (2012): Coarse woody debris facilitates oak recruitment in Białowieża Primeval Forest, Poland. In: Forest Ecology and Management 284, S. 133–141. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.07.052.

Smit, Christian; Ouden, Jan; Díaz, Mario (2008): Facilitation of *Quercus ilex* recruitment by shrubs in Mediterranean open woodlands. In: Journal of Vegetation Science 19 (2), S. 193–200. DOI: 10.3170/2007-8-18352.

Sokalska, D. I.; Haman, D. Z.; Szewczuk, A.; Sobota, J.; Dereń, D. (2009): Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system. In: Agricultural Water Management 96 (6), S. 917–924. DOI: 10.1016/j.agwat.2008.12.003.

Souza Gomes Guarino, Ernestino de; Scariot, Aldicir (2014): Direct seeding of dry forest tree species in abandoned pastures: effects of grass canopy and seed burial on germination. In: Ecol Res 29 (3), S. 473–482. DOI: 10.1007/s11284-014-1143-4.

Stanturf, J.A.; Schoenholtz, S.H (1998): Soils and landforms. In: Southern forested wetlands: Ecology and management Messina, M.G., and W.H. Conner (eds.) (9), S. 123–147. DOI: 10.4324/9780429342653.

Stenseth, Nils C.; Viljugin, Hildegunn; Jędrzejewski, Włodzimierz; Myrsterud, Atle; Pucek, Zdzisław (2002): Population dynamics of *Clethrionomys glareolus* and *Apodemus flavicollis*:

seasonal components of density dependence and density independence. In: *Acta Theriol* 47 (S1), S. 39–67. DOI: 10.1007/BF03192479.

Suchomel, Josef; Šipoš, Jan; Čepelka, Ladislav; Heroldová, Marta (2019): Impact of *Microtus arvalis* and *Lepus europaeus* on apple trees by trunk bark gnawing. In: *Plant Prot. Sci.* 55 (2), S. 142–147. DOI: 10.17221/64/2018-pps.

Sullivan, T. P.; Sullivan, D. S.; Crump, D. R.; Weiser, H.; Dixon, E. A. (1988): Predator odors and their potential role in managing pest rodents and rabbits: Proceedings of the Thirteenth Vertebrate Pest Conference.

Töpfer, Katharina; Karopka, Manuel (2010): Baum des Jahres 2010: Die Vogelkirsche - Verbreitung, Standortsansprüche und Holzverwendung. In: *FVA-einblick* (01/10), 3-4.

Totsche, Kai Uwe; Amelung, Wulf; Gerzabek, Martin H.; Guggenberger, Georg; Klumpp, Erwin; Knief, Claudia et al. (2018): Microaggregates in soils. In: *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 181 (1), S. 104–136. DOI: 10.1002/jpln.201600451.

Tsonkova, Penka; Böhm, Christian; Quinkenstein, Ansgar; Freese, Dirk (2012): Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. In: *Agroforest Syst* 85 (1), S. 133–152. DOI: 10.1007/s10457-012-9494-8.

Twedt, D.; Wilson, R. (2002): Development of oak plantations established for wildlife. In: *Forest Ecology and Management*.

Udawatta, Ranjith P.; Krstansky, J. John; Henderson, Gray S.; Garrett, Harold E. (2002): Agroforestry practices, runoff, and nutrient loss: a paired watershed comparison. In: *Journal of environmental quality* 31 (4), S. 1214–1225. DOI: 10.2134/jeq2002.1214.

Umweltbundesamt (2022): Weltweite Temperaturen und Extremwetterereignisse seit 2010. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/weltweite-temperaturen-extremwetterereignisse-seit#Chronik>, zuletzt aktualisiert am 05.12.2022.

Vahdati, K.; Hoseini, S. H. (2005): Introducing an innovative procedure for large commercial seed lots stratification in Persian walnut. In: *Acta Hort.* (705), S. 355–357.

van Ginkel, H.A.L.; Kuijper, D.P.J.; Churski, M.; Zub, K.; Szafrńska, P.; Smit, C. (2013): Safe for saplings not safe for seeds: *Quercus robur* recruitment in relation to coarse woody debris in Białowieża Primeval Forest, Poland. In: *Forest Ecology and Management* 304, S. 73–79. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.04.037.

VELA (2014): *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau*. 13th ed. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Villalobos, Adrian; Olsson, Gert; Birkedal, Maria; Löf, Magnus (2019): The effects of four repellents on bank vole consumption and germination of beech nuts and acorns. In: *New Forests* 50 (2), S. 241–254. DOI: 10.1007/s11056-018-9660-6.

Villalobos, Adrian; Schlyter, Fredrik; Olsson, Gert; Witzell, Johanna; Löf, Magnus (2020): Direct seeding for restoration of mixed oak forests: Influence of distance to forest edge, predator-derived repellent and acorn size on seed removal by granivorous rodents. In: *Forest Ecology and Management* 477, S. 118484. DOI: 10.1016/j.foreco.2020.118484.

Wang, Bo (2020): Seed density affects post-dispersal seed predation: evidence from a seed removal experiment of 62 species. In: *Integrative zoology* 15 (2), S. 135–143. DOI: 10.1111/1749-4877.12421.

Wasem, U.; Häne, K. (2006): Einflüsse von Mäusen, Rehen und Brombeeren auf natürlich verjüngte Stieleichen. In: *Wald Holz* (87 3/06), S. 49–51.

Watson, Alex J.; Tomblason, Jeff D. (2002): Toppling in juvenile pines: A comparison of the root system characteristics of direct-sown seedlings, and bare-root seedlings and cuttings. In: *Plant and Soil* 239 (2), S. 187–196. DOI: 10.1023/A:1015036105630.

Wauer, A. (2008): Beiträge zur Walnuss: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). In: *LWF Wissen* 60.

Weber, Barbara C.; van Sambeek, J. W. (1988): Walnut Notes: Preventing Animal Damage. In: North Central Forest Experiment Station (Note: 5.06). Online verfügbar unter <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/11777>.

Wenk, M. (2016): Mäuse. *Waldschutz-Merkblatt 55*: Ministerium für Ländliche Entwicklung Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg.

Wennström, Ulfstand; Bergsten, Urban; Nilsson, Jan-Erik (2007): Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year. In: *Silva Fenn.* 41 (2). DOI: 10.14214/sf.298.

Werners, Ingo (2016): *Walderneuerung und Erstaufforstung. Hinweise für Waldbesitzer: Staatsbetrieb Sachsenforst.*

Wieland, H. (1983): Die Feldmausbekämpfung als Bestandteil der Produktionsverfahren mehrjähriger Futterkulturen, S. 105–106.

Williams, R. D.; Funk, D. T. (1979): Cow manure deters rodents from stealing seeded black walnut. In: *Annual Report of the Northern Nut Growers Association* (69), S. 43–48.

Willoughby, I. (2004a): Factors affecting the success of direct seeding for lowland afforestation in the UK. In: *Forestry* 77 (5), S. 467–482. DOI: 10.1093/forestry/77.5.467.

Willoughby, Ian (2004b): *Creating new broadleaved woodland by direct seeding.* Edinburgh: Forestry Commission.

Winterling, Andrea (2023): *Agroforstsysteme in Bayern.* Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Wiström, Björn; Busse Nilsen, Anders; Bjørn, Mona Chor (2018): Use of cover crops when establishing woody plantings. Frederiksberg: University of Copenhagen, Department of Geosciences and Natural Resource Management (IGN report).

Wühlisch, G. von (2011): Anlage von Kurzumtriebsplantagen mit Robinie durch Aussaat. In: *AFZ - Der Wald* (18), S. 4–5.

Xiong, Hongchun; Kakei, Yusuke; Kobayashi, Takanori; Guo, Xiaotong; Nakazono, Mikio; Takahashi, Hirokazu et al. (2013): Molecular evidence for phytosiderophore-induced improvement

of iron nutrition of peanut intercropped with maize in calcareous soil. In: *Plant, cell & environment* 36 (10), S. 1888–1902. DOI: 10.1111/pce.12097.

Yeomans, P. A. (Hg.) (1954): *The Keyline Plan*. Sidney: Waite & Bull.

Yunusa, I. A. M.; Mead, D. J.; Pollock, K. M.; Lucas, R. J. (1995): Process studies in a *Pinus radiata*-pasture agroforestry system in a subhumid temperature environment. I. Water use and light interception in the third year. In: *Agroforest Syst* 32 (2), S. 163–183. DOI: 10.1007/BF00711571.

Zomer, Robert J.; Neufeldt, Henry; Xu, Jianchu; Ahrends, Antje; Bossio, Deborah; Trabucco, Antonio et al. (2016): Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. In: *Sci Rep* 6 (1), S. 29987. DOI: 10.1038/srep29987.

Zubaidah, S.; Mansur, I.; Budi, S. W.; Yusmur, A. (2022): Seedball Coating Material Formulation to Enhance Germination and Growth of Fruit and Forest Seeds. In: *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 959 (1), S. 12039. DOI: 10.1088/1755-1315/959/1/012039.

8 Danksagung

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei meinem Betreuer Dr. Philipp Weckenbrock. Zum einen wegen der großen Unterstützung, zum anderen für die Idee dieses einzigartigen Themas.

Des Weiteren danke ich Prof. Dr. Miriam Athmann, sowohl für die Betreuung als auch die Möglichkeit, das Thema der Direktsaat von Gehölzen behandeln zu dürfen.

Weiterhin möchte ich Eva-Maria Minarsch von der Universität Gießen für ihren wertvollen Input, die Ideen und ihre Unterstützung danken. Gleiches gilt für das ganze Team rund um den Gladbacherhof und des Projekts Agroforstsysteme Hessen.

Ein besonderer Dank gilt weiterhin Rosanna Gahler, Renke de Vries, Simon Junge und Peter Markgraf, die mit ihrer Expertise und Erfahrung zur Direktsaat von Gehölzen einen wertvollen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

9 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

10 Anhang

Abbildungsverzeichnis Anhang

Anhang A. Abb. I: Für die Aussaat im GH3 verwendete Baumsamen.	II
Anhang A. Abb. II: Baumsamen der Prädationsexperimente.	II
Anhang B. Abb. III: Niederschlagsdiagramm für den Gladbacherhof.	III
Anhang D. Abb. IV: Bodenstruktur des Saatbetts im GH3.	VIII
Anhang D. Abb. V: Fertiger Zaun um einen Saatstreifen im GH3.	IX
Anhang E. Abb. VI: Übersicht über die vier Versuchsflächen der Prädationsexperimente.	X
Anhang E. Abb. VII: Übersicht über die Versuchsanordnung des Prädationsexperiments.	XI
Anhang E. Abb. VIII: Versuchsaufbau für das Prädatorenexperiment.	XII
Anhang E. Abb. IX: Fraßschäden an den Sämlingen des Prädationsexperiments.	XX
Anhang E. Abb. X: Verschiedene Entwicklungsstadien von Sämlingen.	XXI
Anhang F. Abb. XI: Gefundene Exkreme auf und um die Versuchsflächen.	XXII
Anhang F. Abb. XII: Spuren von Wildtieren auf und um die Versuchsflächen.	XXIII
Anhang F. Abb. XIII: Fraßspuren an Pflanzenteilen auf und um die Versuchsflächen.	XXIV

Tabellenverzeichnis Anhang

Anhang A. Tab. I : Keimbedingungen der verwendeten Baumarten.	I
Anhang A. Tab. II: Informationen zum Pflanzgut der Wertholzbäume des GH3.	I
Anhang A. Tab. III: Keimraten der vier im GH3 verwendeten Samenarten.	I
Anhang A. Tab. IV: Informationen zu den Baumsamen der Prädationsexperimente.	II
Anhang B. Tab. V: Niederschläge am Gladbacherhof.	III
Anhang B. Tab. VI: Übersicht über die Wald- und Saumarten der getesteten Flächen.	III
Anhang C. Tab. VII Zusatzinformationen zu den interviewten Personen.	IV
Anhang D. Tab. VIII: Spuren ermittelter Prädatoren im und um das GH3 herum.	IX
Anhang E. Tab. IX: Datensatz des Saatgutverlusts der Prädationsexperimente.	XIII
Anhang E. Tab. X: Datensatz der vorgefundenen Sämlinge der Prädationsexperimente.	XIV
Anhang E. Tab. XI: Absolute Häufigkeiten für den Vergleich von unvergällt und vergällt.	XV
Anhang E. Tab. XII: Absolute Häufigkeiten für den Vergleich von Acker- und Grünland.	XVI
Anhang E. Tab. XIII: Absolute Häufigkeiten für die Distanz zum Waldrand.	XVII
Anhang E. Tab. XIV: Keimraten der Samenarten des Prädationsexperiments.	XXI

Interviewverzeichnis Anhang

Anhang C. Interview I mit Rosanna Gahler.....	IV
Anhang C. Interview II mit Simon Junge.....	VI
Anhang C. Interview III mit Peter Markgraf.....	VI

Anhang A

Anhang A. Tab. I : Keimbedingungen der verwendeten Baumarten. Mit der Nummer (1) versehene Arten werden in der Aussaat im GH3 verwendet und solche mit der Nummer (2) im Prädationsexperiment.

	Art	Aussaatzeit	Keimzeit	Stratifikation	Quelle
(2)	<i>C. colurna</i>	Mär/Apr	Mai	2-5 Monate feucht-kalt	Seho et al. (2016); Richter (2019)
(1), (2)	<i>J. regia</i>	Mär/Apr	Mai/Jun	1-3 Monate feucht(-kalt)	Vahdati und Hoseini (2005)
(2)	<i>M. domestica</i>	Feb/Mär	Mär/Apr	3-4 Monate feucht-kalt	Daskalyuk (2002)
(1)	<i>P. avium</i>	Mär/Apr	Apr/Mai	3-5 Monate feucht-kalt	Suszka (1996), Iliev et al. (2012)
(1)	<i>S. domestica</i>	Feb/Mär	Mär/Apr	3-4 Monate feucht-kalt	Kausch-Blecken von Schmeling (1992), (Drvodelić et al. 2018)
(1)	<i>S. torminalis</i>	Feb/Mär	Mär/Apr	3-5 Monate feucht-kalt	Var et al. (2010)

Anhang A. Tab. II: Informationen zum Pflanzgut der Wertholzbäume des GH3.

Art	Höhe [cm]	Alter	Form	eingekauft bei	Herkunft
Speierling	50-80	2-jährig	Topfballen	Darmstädter Forstbaumschulen*	Unbekannt, Holland
Elsbeere	50-80	2-jährig	QP 15**	Darmstädter Forstbaumschulen	Wehretal, HE
Wildkirsche	50-80	2-jährig	wurzelnackt	Darmstädter Forstbaumschulen	Liliental, BW
Echte Walnuss	20-30	1-jährig	wurzelnackt	Baumschule Schott***	Sasbach-Leiselheim, BW

* forstbaumschule.com; ** Multitopf-Anzuchtplatte aus Kunststoff; *** nusspezialist.de.

Anhang A. Tab. III: Keimraten der vier im GH3 verwendeten Samenarten. Getestet wurden jeweils 50 Samen. Die getrockneten Walnüsse wurden für eine schnellere Keimung für 14 Tage in Wasser stratifiziert, was laut Vahdati und Hoseini (2005) zu etwas besseren Keimergebnissen führt als die klassische Stratifikation unter Feldbedingungen. Für die restlichen drei Arten wurde das bereits stratifizierte Saatgut bei Zimmertemperatur in einem feuchten Sand-Boden-Gemisch gelagert. Die Bestimmung der Keimraten erfolgte mit Ausnahme der Walnuss (14. Juli) am 24. April.

Art	Keimrate [%] im Topf	Keimrate [%] Literatur	Quelle
Elsbeere	92	53,3-96,6	Var et al. (2010)
Speierling	94	60-100	Kausch-Blecken von Schmeling (1992)
Echte Walnuss	66	70-100	Forest Tree Seed Directory (1962)
Wildkirsche	64	51-73	Iliev et al. (2012)



Anhang A. Abb. I: Für die Aussaat im GH3 verwendete Baumsamen. Links: Speierling (oben), Wildkirsche (mittig) und Elsbeere (unten). Rechts: Walnuss. Fotos: Goldenberg 2023.

Anhang A. Tab. IV: Informationen zu den Baumsamen der Prädationsexperimente. Abgebildet sind Gewicht, Herkunft und Inhaltsstoffe der verwendeten Samen.

Art	Gewicht pro Samen [g]	Herkunft	Nährwerte & Inhaltsstoffe	Quelle
Baumhasel	1,7	Allee in der Gnauthstraße 35390 Gießen 50°34'40.9"N 8°40'37.6"E	hoher Kaloriengehalt (654 kcal pro 100 g); hoher Anteil an Fetten und Proteine	U.S. Department of Agriculture (2023)
Walnuss	6	Solitärbaum Oberer Gladbacherhof 50°23'44.1"N 8°14'57.6"E	hoher Kaloriengehalt (628 kcal pro 100 g); hoher Anteil an Fetten und Proteine	U.S. Department of Agriculture (2023)
Kulturapfel	0,6	Einzelbaum, Streuobstwiese Vitos Klinik 35394 Gießen 50°34'45.8"N 8°41'54.8"E	hoher Anteil an Fetten und Proteinen; Amygdalin	Bolarinwa et al. (2015); Ferrentino et al. (2020)

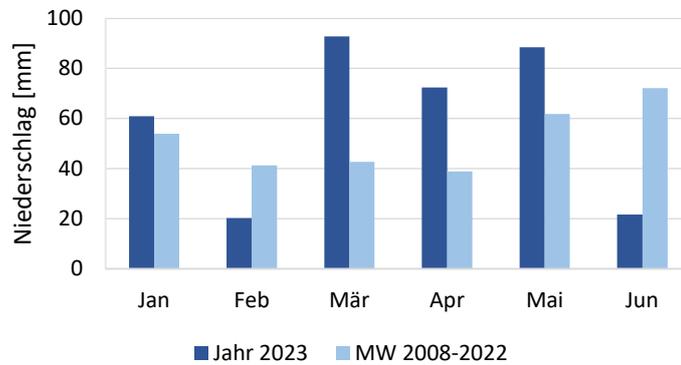


Anhang A. Abb. II: Baumsamen der Prädationsexperimente. Von oben nach unten: Walnuss, Baumhasel, Kulturapfel. Fotos: Goldenberg 2023.

Anhang B

Anhang B. Tab. V: Niederschläge am Gladbacherhof. Daten für die Niederschlagssumme [mm] von Januar bis Juni 2023. Weiterhin der Mittelwert (MW) der letzten 15 Jahre (2008-2022). Quelle: Wetterstation Gladbacherhof 2023.

Monat	Niederschlag [mm]	Niederschlag MW [mm] (2008-2022)
Januar	92,7	53,8
Februar	20,3	41,3
März	92,7	42,7
April	72,4	38,9
Mai	88,4	61,8
Juni	21,6	72,1



Anhang B. Abb. III: Niederschlagsdiagramm für den Gladbacherhof. Zeitraum von Januar bis Juni. Verglichen wurden die Werte [mm] für das Jahr 2023 mit dem Mittelwert (MW) der letzten 15 Jahre (2008-2022). Quelle: Wetterstation Gladbacherhof 2023.

Anhang B. Tab. VI: Übersicht über die Wald- und Saumarten der getesteten Flächen.

Familie	Trivialname	GH3	AL1	AL2	GL1	GL2
Birkengewächse (Betulaceae)	<i>Corylus avellana</i>	X	X	X		
	<i>Carpinus betulus L.</i>	X	X	X		
Buchengewächse (Fagaceae)	<i>Fagus sylvatica</i>		X	X	X	
	<i>Quercus spp.</i>	X				X
Hartriegelgewächse (Cornaceae)	<i>Cornus sanguinea L.</i>	X	X	X		X
Moschuskrautgewächse (Adoxaceae)	<i>Sambucus nigra</i>	X				X
Ölbaumgewächse (Oleaceae)	<i>Ligustrum vulgare L.</i>		X			
Rosengewächse (Rosaceae)	<i>Rubus sect. Rubus</i>	X	X	X		X
	<i>Prunus spinosa L.</i>	X	X	X		X
Seifenbaumgewächse (Sapindaceae)	<i>Acer campestre L.</i>	X	X	X		X

Anhang C

Anhang C. Tab. VII Zusatzinformationen zu den interviewten Personen.

Betrieb	Person	Hintergrund	Form des Interviews
Gut&Bösel	Rosana Gahler	B.Sc in Waldwirtschaft und Umwelt; Management des Agroforstbereichs von Gut&Bösel seit ca. 3 Jahren	Interview vor Ort + Praktikum
Apfelsternwarte	Simon Junge	vierjährige freie Ausbildung für Biologisch-Dynamische Landwirtschaft; seit über 10 Jahren als Landwirt tätig	Interview vor Ort + Führung
Obstsortensammlung Waldeshöhe	Peter Markgraf	Land- & Forstwirt mit jahrzehntelanger Erfahrung	Interview per Telefon

Anhang C. Interviews Themenkomplexe für die Expert*inneninterviews. Die im Folgenden genannten Bereiche waren die Basis für die durchgeführten Interviews.

1. Gründe für die Verwendung der Direktsaat
2. Anwendungsbereiche für die Direktsaat
3. Praktische Durchführung einer Direktsaat
 - a. Saatgut
 - b. Saatbettvorbereitung
 - c. Aussaat - Techniken, Saattiefe, Saattedichte
 - d. Mulch
 - e. Schutz
4. Pflege der Saat
 - a. Beikrautkontrolle
 - b. Ausdünnen
5. Standortbedingungen der Saatflächen
6. Auftretende Schwierigkeiten
 - a. Prädatoren
 - b. Beikräuter
 - c. Trockenheit
7. Kenntnisse über andere Betriebe mit ähnlichen Methoden
8. Persönliche Meinung zur Direktsaat
 - a. Arbeitsaufwand
 - b. Wirtschaftlichkeit
9. Wichtige Themen für zukünftige Forschung

Anhang C. Interview I mit Rosanna Gahler. Persönliches Gespräch am 08.11.2023.

1. Gründe für die Verwendung der Direktsaat
 - Ziel: unabhängiges System (von externem Input), dass sich selbst versorgt; möglichst viel Fotosyntheseleistung in Zeit und Raum, Biomasseaufbau
 - Trockentoleranz
 - Schnelle und günstige Methode
2. Anwendungsbereiche für die Direktsaat
 - Forst, Agroforst, Hecken, Säume, Pfahlholz-, Obstproduktion
3. Praktische Durchführung einer Direktsaat

- a. Saatgut: Gemisch aus selbstgesammelten (lokalem) Saatgut, Trester, teilweise zugekauft
- b. Saatbettvorbereitung:
 - fräsen und tiefenlockern gleichzeitig mit einer Rhenustek-Fräse (Kombination aus Bodenfräse und Grubber) im Sommer -> Beikraut kommt hoch und mulchen ist erforderlich
 - Bessere Alternative: Grubber und Tiefenlockerung im September und Aussaat im November: Risiko, dass es nass ist, aber besser gegen Beikräuter -> Mulch ist nicht nötig
 - Fräsen muss an Witterung angepasst werden: im Sommer trockener als im Herbst
- c. Aussaat - Techniken, Saattiefe, Saattedichte:
 - 1. Mulchen (20-30 cm) 2. Furche in Mulch 3. Aussäen 4. Schließen 5. Sägemehl auftragen
 - Säen: ins gefräste Saatbeet, Samen kommen richtig in den Boden, dann Erde drüber mit Rechen; Bodenschluss ist wichtig
 - „Steckstäbe“ mit denen man 7-10 cm tiefe Löcher vorbereitet und im Anschluss Samen ablegt
 - Aussaat: Ein Eimer (zehn Liter) auf 20 m Reihe mit Samengemisch befüllt aussäen
 - Saattiefe: 5-7 cm für große Samen (Walnuss, Eiche), Kräuter, Kirsche, Ahorn etc. von oben
- d. Mulch:
 - Mulch: vorteilhaft für Mäuse, aber durch viele andere Effekte letztendlich wertvoll
 - gegen Beikräuter; Grasland wird an die Reihe gemulcht (Saatmischung mit Fabaceae und Kräutern); später kommt gehäckseltes Material der Gehölze hinzu sowie heruntergeschnittene Begleitvegetation
 - Material: Sägemehl und Stroh bzw. Cover crops (Lupine, Erbse, Phacelia...)
- e. Schutz:
 - Kreuzblättrige Wolfsmilch (Wühlmaus-Wolfsmilch) - *Euphorbia lathyris* L.: soll gegen Mäuse helfen [eigene Anmerkung: Fischer und Pelz (2008) meinen, eindeutiger Schutz ist nicht unbedingt gegeben]
 - Vielfalt an Pflanzen gegen Mäuse
 - Saatgutbeize: Samen in Hackschnitzel von Götterbaum (*Ailanthus Altissima* (Mill.) Swingle) tränken als Schutz gegen Mäuse
 - Zaunbau gegen Schalenwild
 - für Schatten und Schutz: Gesäte Beikräuter (z. B. Beifuß, Estragon, Lavendel, Beinwell ...)
- 4. Pflege der Saat
 - a. Beikrautkontrolle: Grubbern, Mulchen; Jäten per Hand (1x pro Jahr)
 - b. Ausdünnen: ja, nach Bedarf beim Jäten; später werden Bäume sukzessive rausgenommen, am Ende alle 3 m ein Gehölz
- 5. Standortbedingungen der Saatflächen: sandig, z. T. lehmiger Boden (ca. 20-30 Bodenpunkte); < 415 mm Niederschlag, viele Sonnenstunden
- 6. Auftretende Schwierigkeiten
 - a. Prädatoren: Wild, Hasen, Mäuse (oberirdisch)
 - b. Beikräuter: Verwendung von Mulch; Abflammen
 - c. Trockenheit: auf Mulch setzten; im äußersten Notfall Bewässerung
- 7. Kenntnisse über andere Betriebe mit ähnlichen Methoden: Apfelsternwarte
- 8. Persönliche Meinung zur Direktsaat: positiv inspiriert von Ernst Götsch
 - a. Arbeitsaufwand: Zeit zu viert bei 600 m Länge -> 2-3 Tage (Jäten, Mulchen mit Sägespänen etc.)
 - b. Wirtschaftlichkeit: bisher noch keine nennenswerten Einnahmen erzielt; viel Freiwilligenarbeit; jedoch guter Absatzmarkt für Produkte in Berlin möglich

9. Wichtige Themen für zukünftige Forschung:
 - Vergleich: Samen mit und ohne Beikräuter aussäen?
 - Vergleich: Samen mit Kompost und ohne aussäen?

Anhang C. Interview II mit Simon Junge. Persönliches Gespräch am 07.11.2023.

1. Gründe für die Verwendung der Direktsaat
 - Gesundes Wurzelwerk: trocken tolerant und mit autonomer Nährstoffversorgung im Kontrast zu moderner Obstanlage (mit schwacher Wurzelunterlage)
 - Genetische Vielfalt der Unterlagen (-> u. a. Weniger Einsatz von Spritzmitteln)
 - Schnelle und günstige Methode
2. Anwendungsbereiche für die Direktsaat
 - Forst, Agroforst, Obstanlagen, Hecken
3. Praktische Durchführung einer Direktsaat
 - a. Saatgut: Tresteraussaat (Apfel, Pfirsich...), idealerweise aber reines Saatgut
 - b. Saatbettvorbereitung: Tiefenlockerung von 60-80 cm Tiefe -> gut für die Wurzelbildung (Basis für ganzes Thema)
 - c. Aussaat - Techniken, Saattiefe, Saattedichte: Mit Gemüsekippe in Saattrinne kippen; auf Masse
 - d. Mulch: Ja, gegen Beikräuter und Wasserhaushalt
 - e. Schutz: Schottersaat gegen Mäuse; Wolfsmischung ausbringen gegen Mäuse (viel Leguminosen) -> Diversität; Gründung; auf weite Reihe säen -> Mit Grubber fahrbar, wodurch Mäuse gestört werden können; Zaun gegen Hasen (mindestens Hüfthöhe); Mobiler Katzenstall
4. Pflege der Saat
 - a. Beikrautkontrolle: Unterstockbearbeitung mit Scheibenecke mit Taster
 - b. Ausdünnen: ja, nach Bedarf
5. Standortbedingungen der Saatflächen: sandiger Boden
6. Auftretende Schwierigkeiten
 - a. Prädatoren: Wild, Hasen, Mäuse (oberirdisch)
 - b. Beikräuter: Verwendung von Mulch; Abflammen
 - c. Trockenheit: Mulch; bei Wertholz für die ersten drei Jahre Bewässerung, sonst nicht
7. Kenntnisse über andere Betriebe mit ähnlichen Methoden: Gut&Bösel
8. Persönliche Meinung zur Direktsaat: positiv - Erfahrungen mit Pfirsich und Apfel gemacht; für Wertholz fragwürdig
 - a. Arbeitsaufwand: insbesondere bei der Ernte (Obstanlage) - mit Leiter bei gutem Behang und Mittelstamm: 300 kg / Tag.
 - b. Wirtschaftlichkeit: Ja
9. Wichtige Themen für zukünftige Forschung: Mischaussaat (Kombination verschiedener Baumarten - was ist technisch machbar und pflanzensoziologisch sinnvoll?), Mechanisierung generell

Anhang C. Interview III mit Peter Markgraf. Telefonat am 15.02.2023.

1. Gründe für die Verwendung der Direktsaat
 - Schnelle und günstige Methode für Hecken und Säume: müssen sonst dicht gepflanzt werden, was viel Material und Zeit kostet
 - Neue Sorten für Obst

- Trockenresistente Gehölze
 - Kein Pflanzschock: Baumschulbäume bilden erst im 2-3 Jahr wieder Tiefenwurzeln, vorher werden nur Feinwurzeln gebildet. Gesäte Pflanzen bilden sofort Tiefenwurzeln und gehen auch insgesamt tiefer.
2. Anwendungsbereiche für die Direktsaat
 - Aufforstung, Obstanlage, Hecken, Säume
 3. Praktische Durchführung einer Direktsaat
 - a. Saatgut: bei dichten, grasigen Standorten: Eiche, Birke, Kiefer (im Norden); bei Flächen mit Bodenbearbeitung und Gras (lockerer Boden) ist bereits höheres Artenspektrum möglich: Wildobst (Apfel, Birne, Weißdorn, Rose etc. -> diese Arten können der Vergrasung entkommen und rauswachsen
 - b. Saatbettvorbereitung: Scheibenegge bei Acker, Anbaufräße bei Gräsern
 - c. Aussaat - Techniken, Saattiefe, Saattedichte: Trester in Saattrinne; auf Masse säen, Aussaat im Herbst (maximal ein Monat Lagerbarkeit des Tresters); Umgedrehte Harke zum Zuziehen der Saattrinne; Andrücken
 - d. Mulch: nein, erhöht extrem Probleme mit Scher-, Rötel- & Feldmaus
Schutz:
 - Bei wenigen Bäumen Einzelschutz, später mit Manschetten
 - Abwehrreaktion vom Apfel: Dornenbildung bei Fraß
 - Apfel: Anfangs immer buschiges Wachstum, später nach 20-30 Jahren, kann sich ein einzelner geschützter Stämmeling ggf. durchsetzen
 4. Pflege der Saat
 - a. Beikrautkontrolle: nicht nötig bei dichter Saat
 - b. Ausdünnen: ja, alles was krank und schwach erscheint zugunsten der gesünderen und stärkeren Exemplare
 5. Standortbedingungen der Saatflächen: sandiger Boden
 6. Auftretende Schwierigkeiten
 - a. Prädatoren:
 - Mäuse: großes Problem wegen Rindenfraß und für Sämlinge, gehen an den Trester -> deshalb auf Masse sähen; wenn genug Obst am Boden liegt, dann wird zuerst dieses von Mäusen gefressen.
 - Wildschwein: sucht insbesondere bei bereits weichem Erdreich (weniger Arbeit): Frisst Fruchtmiss, Samen, Mäuse
 - Rehwild: frisst Terminalknospen und Triebe, Blätter; Rehbock -> Schälern
 - Hirsch: wenn Baum groß ist: Äste werden runtergerissen, um an Früchte zu kommen > große Schäden
 - b. Beikräuter: Beim Vereinzeln mit Hake jäten, sonst auf Dichtigkeit Säen
 - c. Trockenheit: Gepflanzte Anlagen mussten die letzten Jahre bewässert werden, die gesäten wurden es nicht
 7. Kenntnisse über andere Betriebe mit ähnlichen Methoden: nein
 8. Persönliche Meinung zur Direktsaat: positiv für Hecken, Säume, Sortenfindung; für Wertholz zweifelhaft
 - a. Arbeitsaufwand: weniger als bei Pflanzung, bei ähnlichem Ergebnis
 - b. Wirtschaftlichkeit: Ja, für Hecken, Säume, Sortenfindung
 9. Wichtige Themen für zukünftige Forschung: Sortenfindung, weitere Anwendungsgebiete für die Direktsaat erproben

Anhang D



Anhang D. Abb. IV: Bodenstruktur des Saatbetts im GH3. A) Saatbett mit größeren Aggregaten und plastischer Konsistenz im östlichen Reil von Reihe 1; **B) & C)** etwas feineres Saatbett im westlichen Teil von Reihe 4. Fotos: Goldenberg 2023.

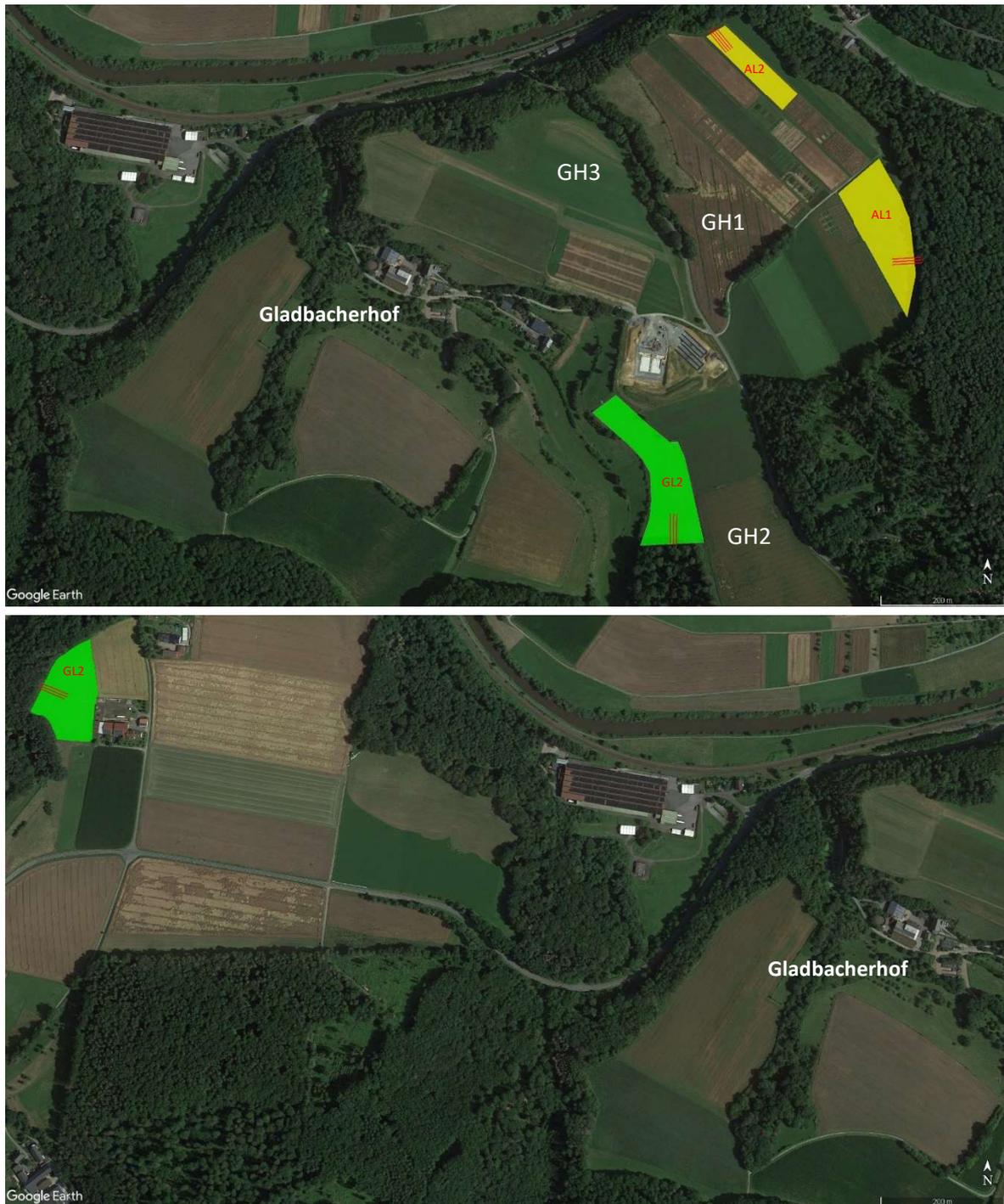


Anhang D. Abb. V: Fertiger Zaun um einen Saatstreifen im GH3. Am 16. Mai (links) und am 25. Juni (rechts). Fotos: Goldenberg 2023.

Anhang D. Tab. VIII: Spuren ermittelter Prädatoren im und um das GH3 herum. Die Zahlen der Spalte „Hinweis“ spiegeln die Fundart wider und sind wie folgt definiert: 1 = Exkremete; 2 = Fährten und Fußspuren; 3 = Fraßspuren; 4 = Sichtung; 5 = Andere Spuren (z. B. Löcher, Fegeschäden).

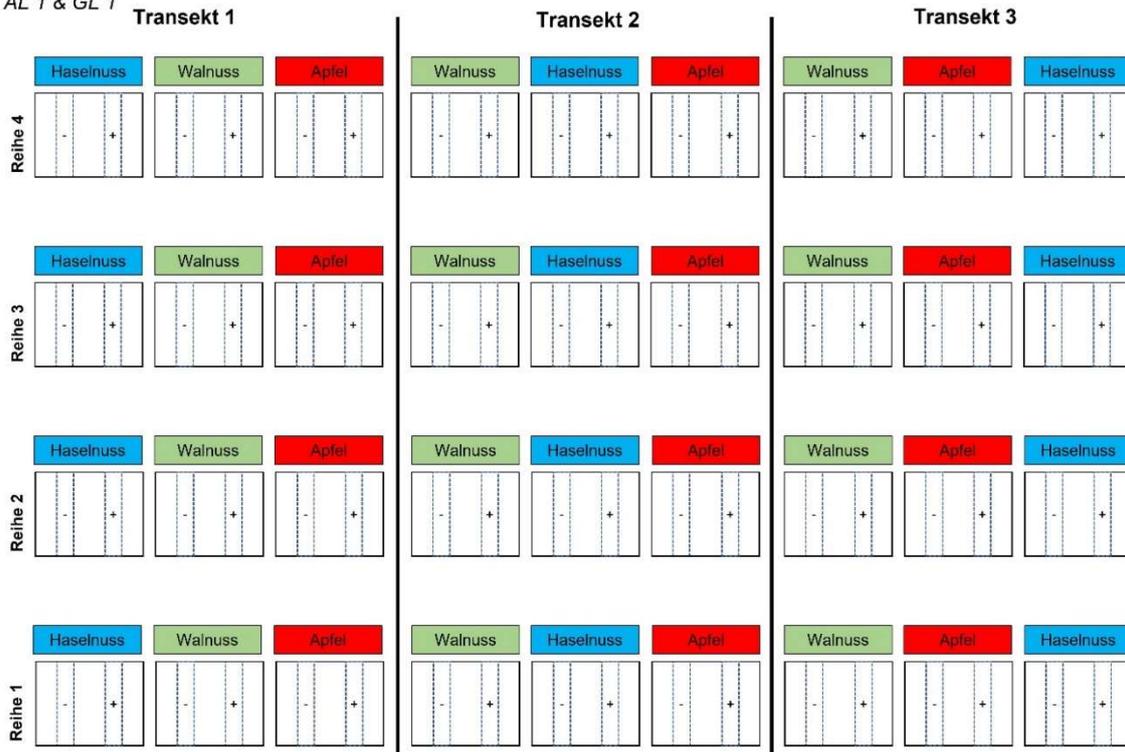
Einordnung	Gruppierung	Hinweis
Paarhufer	Rehwild	1 - 4
	Schwarzwild	1 / 2
Nagetiere	Mäuseartige	1 / (3)
Hasenartige	Hase / Kaninchen	1 / 4
Vögel	<i>Unbekannt</i>	1
Schnecken	Nacktschnecke	4

Anhang E

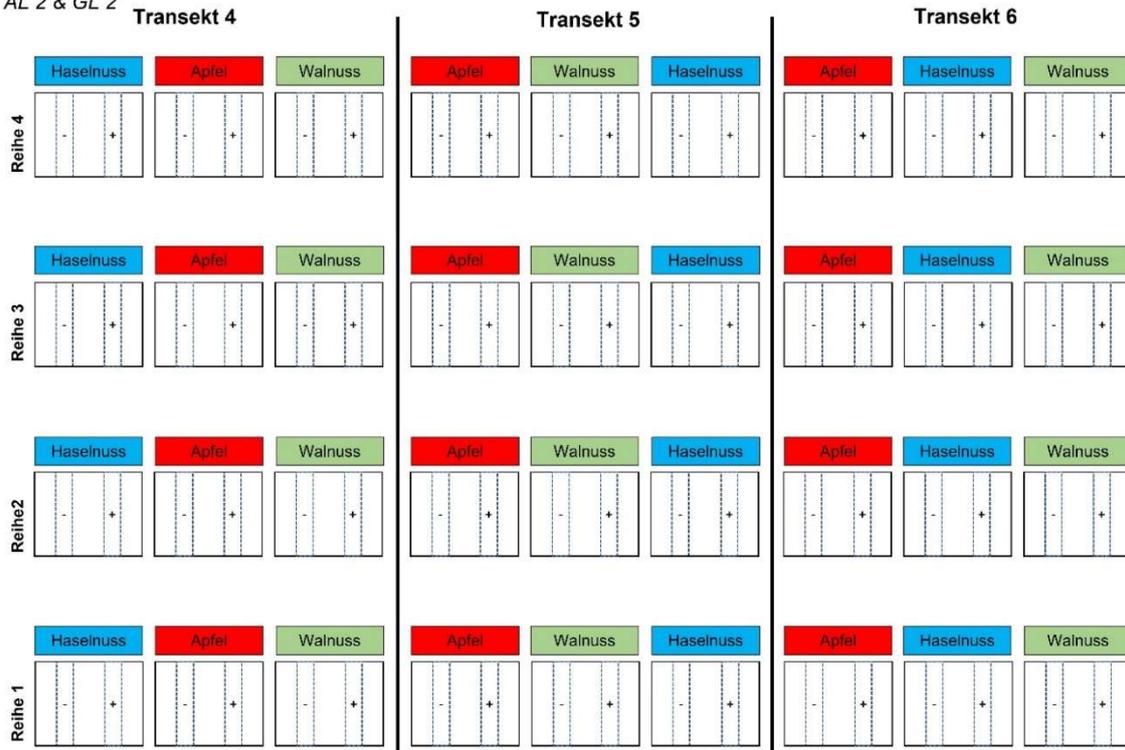


Anhang E. Abb. VI: Übersicht über die vier Versuchsflächen der Prädationsexperimente. In Gelb die Ackerflächen AL1 und AL2, in Grün die Grünlandflächen GL1 und GL2. Die roten Linien bilden die Transekte ab. Basiskarte: Google Satellite 2023.

AL 1 & GL 1



AL 2 & GL 2



Anhang E Abb. VII: Übersicht über die Versuchsanordnung des Prädationsexperiments. Unvergällt (-) und vergällt mit Kuhdung (+).



Anhang E. Abb. VIII: Versuchsaufbau für das Prädatorenexperiment. A) Holzrahmen für eine genaue Abstandseinhaltung und das spätere Wiederfinden der Samen; **B)** Samen der Walnuss auf AL1; **C)** ausgebrachte Samen der Baumhasel auf AL2; **D)** Subplot Ende März; **E)** fertiger Plot auf Grünland. Fotos: Goldenberg 2023.

Anhang E. Tab. IX: Datensatz des Saatgutverlusts der Prädationsexperimente. Die Tabelle gibt die Anzahl an wiedergefundenen Samen an jedem Subplot wieder. (-) steht für unvergällt, (+) steht für vergällt. N/A bedeutet nicht aufgenommen (hier aufgrund eines Konflikts mit einem anderen Experiment in AL2).

Saatgut

Ackerland			AL1				AL2			
			Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1	Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1
Transekt 1	Has	-	2	2	0	0	0	0	0	N/A
		+	1	3	0	1	1	1	1	N/A
	Wal	-	4	5	5	5	5	5	3	N/A
		+	5	5	5	5	5	4	3	N/A
	Apf	-	5	5	5	5	3	5	4	N/A
		+	5	5	5	5	4	5	5	N/A
Transekt 2	Has	-	2	0	1	0	0	1	1	N/A
		+	1	2	0	1	2	0	0	N/A
	Wal	-	5	3	5	5	5	5	5	N/A
		+	4	5	5	5	5	5	5	N/A
	Apf	-	5	5	5	4	5	3	5	N/A
		+	5	5	3	5	5	5	3	N/A
Transekt 3	Has	-	1	2	0	0	1	0	2	0
		+	0	1	1	0	0	0	0	0
	Wal	-	5	5	4	5	4	5	5	5
		+	5	5	5	5	5	4	5	4
	Apf	-	5	4	5	5	5	2	5	3
		+	5	4	5	5	5	5	4	5
Grünland			GL1				GL2			
			Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1	Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1
Transekt 1	Has	-	5	5	5	5	5	5	5	5
		+	5	5	5	5	5	4	5	5
	Wal	-	5	5	5	5	5	5	5	5
		+	4	5	5	5	5	5	5	5
	Apf	-	4	5	5	2	5	5	5	5
		+	5	5	4	5	5	5	4	5
Transekt 2	Has	-	5	5	5	5	5	4	5	5
		+	5	5	5	5	5	5	5	5
	Wal	-	5	5	5	5	5	5	5	5
		+	5	5	5	5	5	5	5	5
	Apf	-	5	5	5	5	4	5	5	5
		+	5	5	4	5	5	5	4	5
Transekt 3	Has	-	5	5	5	5	5	5	5	4
		+	5	5	5	5	5	5	5	5
	Wal	-	5	5	5	5	5	5	5	5
		+	5	5	5	5	5	5	5	5
	Apf	-	5	5	5	5	5	5	5	5
		+	5	5	5	5	5	5	5	5

Anhang E. Tab. X: Datensatz der vorgefundenen Sämlinge der Prädationsexperimente. Die Tabelle gibt die Anzahl an aufgefundenen Samen an jedem Subplot wieder. (-) steht für unvergällt, (+) steht für vergällt. N/A bedeutet nicht aufgenommen.

Sämlinge

Ackerland			AL1				AL2			
			Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1	Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1
Transekt 1	Has	-	0	1	0	0	0	0	0	N/A
		+	0	0	0	0	0	0	0	N/A
	Wal	-	0	0	0	0	0	0	0	N/A
		+	0	0	0	0	0	0	0	N/A
	Apf	-	1	1	2	0	2	3	4	N/A
		+	0	1	2	1	3	2	2	N/A
Transekt 2	Has	-	0	0	0	0	0	1	0	N/A
		+	0	0	0	0	0	0	0	N/A
	Wal	-	0	1	0	0	0	0	0	N/A
		+	0	0	0	0	0	0	0	N/A
	Apf	-	1	1	1	0	3	2	3	N/A
		+	2	2	1	1	3	5	2	N/A
Transekt 3	Has	-	0	1	0	0	0	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wal	-	0	0	0	0	0	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0
	Apf	-	2	0	1	0	2	2	1	2
		+	0	0	0	0	5	3	4	3
Grünland			GL1				GL2			
			Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1	Reihe 4	Reihe 3	Reihe 2	Reihe 1
Transekt 1	Has	-	1	0	0	0	0	0	0	1
		+	1	0	0	0	0	1	0	0
	Wal	-	0	0	0	1	0	0	0	1
		+	0	0	0	0	0	0	0	0
	Apf	-	3	3	5	1	5	4	5	4
		+	5	4	4	4	4	5	4	4
Transekt 2	Has	-	2	0	0	0	0	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wal	-	0	1	0	0	0	0	1	0
		+	0	0	0	0	0	0	1	0
	Apf	-	5	3	3	2	2	4	3	0
		+	5	5	4	3	2	3	4	0
Transekt 3	Has	-	0	0	0	0	1	0	0	0
		+	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wal	-	0	2	0	0	1	0	1	0
		+	1	2	0	0	1	0	1	2
	Apf	-	4	3	4	3	3	3	4	3
		+	3	2	3	4	3	2	3	4

Anhang E. Tab. XI: Absolute Häufigkeiten für den Vergleich von unvergällt und vergällt. Angegeben ist die absolute Häufigkeit (H) und die relative Häufigkeit (h) an unvergällten bzw. vergällten Subplots mit 5, 4, 3, 2, 1 oder 0 gefundenen Samen. Für Grünland gilt: n = 24, für Ackerland: n = 22. # = Anzahl. gef. = gefundener.

<u>Ackerland</u>				<u>Grünland</u>			
Haselnuss	A			B			
		# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
	unvergällt (-)	5	0	0,00	5	22	91,67
		4	0	0,00	4	2	8,33
		3	0	0,00	3	0	0,00
		2	5	22,73	2	0	0,00
		1	5	22,73	1	0	0,00
		0	12	54,55	0	0	0,00
	vergällt (+)	5	0	0,00	5	23	95,83
		4	0	0,00	4	1	4,17
		3	1	4,55	3	0	0,00
		2	2	9,09	2	0	0,00
1		9	40,91	1	0	0,00	
0		10	45,45	0	0	0,00	
Walnuss	C			D			
		# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
	unvergällt (-)	5	17	77,27	5	24	100,00
		4	3	13,64	4	0	0,00
		3	2	9,09	3	0	0,00
		2	0	0,00	2	0	0,00
		1	0	0,00	1	0	0,00
		0	0	0,00	0	0	0,00
	vergällt (+)	5	17	77,27	5	23	95,83
		4	4	18,18	4	1	4,17
		3	1	4,55	3	0	0,00
		2	0	0,00	2	0	0,00
1		0	0,00	1	0	0,00	
0		0	0,00	0	0	0,00	
Apfel	E			F			
		# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
	unvergällt (-)	5	15	68,18	5	21	87,50
		4	3	13,64	4	2	8,33
		3	3	13,64	3	0	0,00
		2	1	4,55	2	1	4,17
		1	0	0,00	1	0	0,00
		0	0	0,00	0	0	0,00
	vergällt (+)	5	17	77,27	5	20	83,33
		4	3	13,64	4	4	16,67
		3	2	9,09	3	0	0,00
		2	0	0,00	2	0	0,00
1		0	0,00	1	0	0,00	
0		0	0,00	0	0	0,00	

Anhang E. Tab. XII: Absolute Häufigkeiten für den Vergleich von Acker- und Grünland. Angegeben ist die absolute Häufigkeit (H) und die relative Häufigkeit (h) an Subplots mit zwischen 10 bis 0 gefunden Samen. Für Grünland gilt: n = 24, für Ackerland: n = 22. # = Anzahl. gef. = gefundener.

A				
	Ackerland	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
Baumhasel		10	0	0,00
		9	0	0,00
		8	0	0,00
		7	0	0,00
		6	0	0,00
		5	1	4,55
		4	0	0,00
		3	3	13,64
		2	3	13,64
		1	11	50,00
	0	4	18,18	

B				
	Grünland	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
		10	21	87,50
		9	3	12,50
		8	0	0,00
		7	0	0,00
		6	0	0,00
		5	0	0,00
		4	0	0,00
		3	0	0,00
		2	0	0,00
		1	0	0,00
		0	0	0,00

C				
	Ackerland	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
Walnuss		10	13	59,09
		9	7	31,82
		8	1	4,55
		7	0	0,00
		6	1	4,55
		5	0	0,00
		4	0	0,00
		3	0	0,00
		2	0	0,00
		1	0	0,00
	0	0	0,00	

D				
	Grünland	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
		10	23	95,83
		9	1	4,17
		8	0	0,00
		7	0	0,00
		6	0	0,00
		5	0	0,00
		4	0	0,00
		3	0	0,00
		2	0	0,00
		1	0	0,00
		0	0	0,00

E				
	Ackerland	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
Apfel		10	12	54,55
		9	3	13,64
		8	5	22,73
		7	2	9,09
		6	0	0,00
		5	0	0,00
		4	0	0,00
		3	0	0,00
		2	0	0,00
		1	0	0,00
	0	0	0,00	

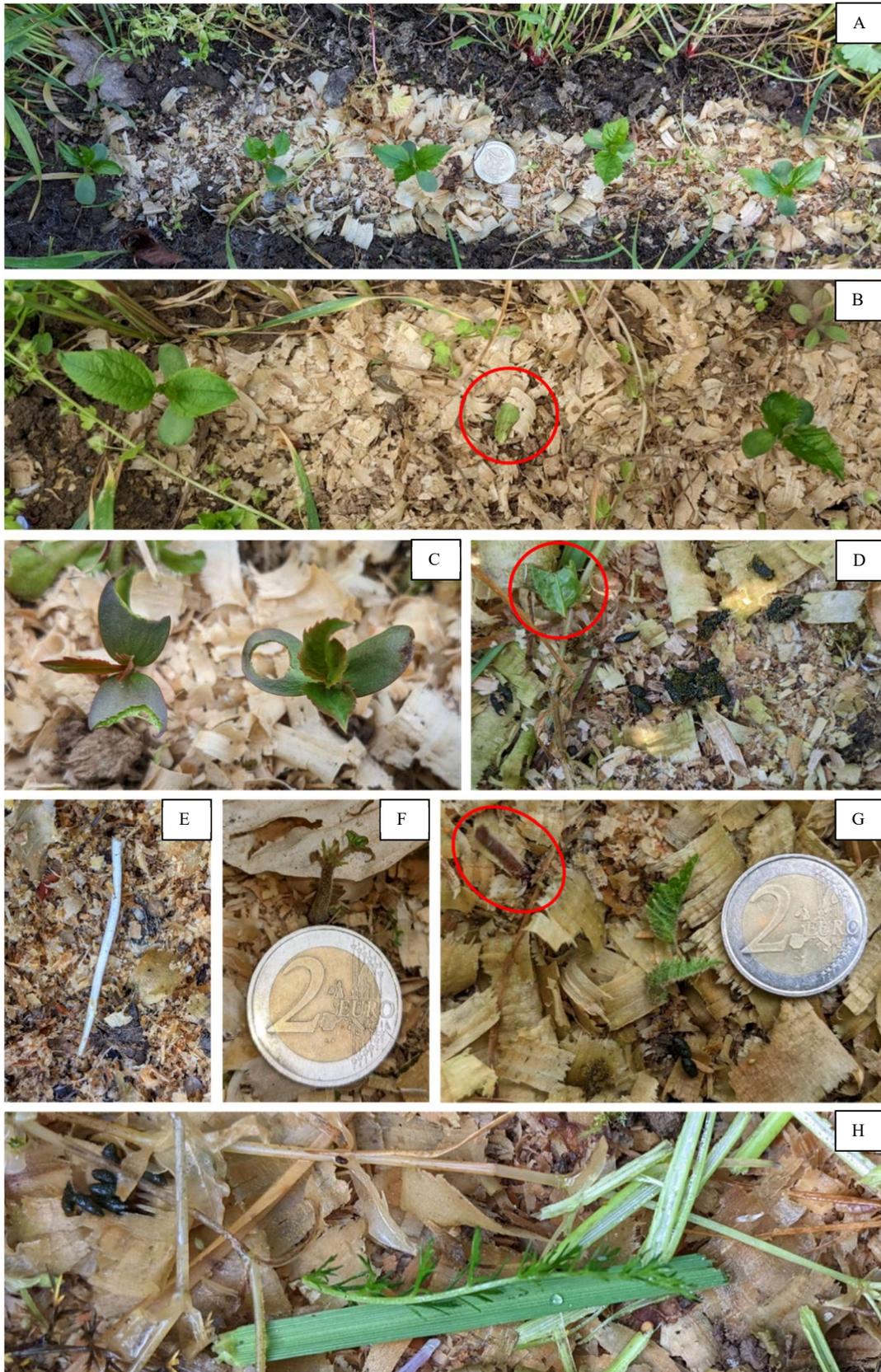
F				
	Grünland	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]
		10	17	70,83
		9	6	25,00
		8	0	0,00
		7	1	4,17
		6	0	0,00
		5	0	0,00
		4	0	0,00
		3	0	0,00
		2	0	0,00
		1	0	0,00
		0	0	0,00

Anhang E. Tab. XIII: Absolute Häufigkeiten für die Distanz zum Waldrand. Angegeben ist die absolute Häufigkeit (H) und die relative Häufigkeit (h) an Subplots mit zwischen 10 bis 0 gefunden Samen für die vier Entfernungen zum Waldrand. n = 6; außer für Reihe 1 des Ackerlands, hier ist n = 4. # = Anzahl. gef. = gefundener.

		<u>Ackerland</u>			<u>Grünland</u>				
	A	# gef. Samen pro	H gef.	h gef.	B	# gef. Samen pro	H gef.	h gef.	
		Subplot	Subplots	Subplots [%]		Subplot	Subplots	Subplots [%]	
Baumhasel	Reihe 4	10	0	0,00	Reihe 4	10	6	100,00	
	50 m	9	0	0,00	50 m	9	0	0,00	
		8	0	0,00		8	0	0,00	
		7	0	0,00		7	0	0,00	
		6	0	0,00		6	0	0,00	
		5	0	0,00		5	0	0,00	
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	2	33,33		3	0	0,00	
		2	1	16,67		2	0	0,00	
		1	3	50,00		1	0	0,00	
		0	0	0,00		0	0	0,00	
		Reihe 3	10	0	0,00	Reihe 3	10	4	66,67
		37,5 m	9	0	0,00	37,5 m	9	2	33,33
			8	0	0,00		8	0	0,00
			7	0	0,00		7	0	0,00
			6	0	0,00		6	0	0,00
			5	1	16,67		5	0	0,00
			4	0	0,00		4	0	0,00
			3	1	16,67		3	0	0,00
			2	1	16,67		2	0	0,00
			1	2	33,33		1	0	0,00
			0	1	16,67		0	0	0,00
		Reihe 2	10	0	0,00	Reihe 2	10	6	100,00
		25 m	9	0	0,00	25 m	9	0	0,00
			8	0	0,00		8	0	0,00
			7	0	0,00		7	0	0,00
			6	0	0,00		6	0	0,00
			5	0	0,00		5	0	0,00
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	0	0,00		3	0	0,00	
		2	1	16,67		2	0	0,00	
		1	4	66,67		1	0	0,00	
		0	1	16,67		0	0	0,00	
	Reihe 1	10	0	0,00	Reihe 1	10	5	83,33	
	12,5 m	9	0	0,00	12,5 m	9	1	16,67	
		8	0	0,00		8	0	0,00	
		7	0	0,00		7	0	0,00	
		6	0	0,00		6	0	0,00	
		5	0	0,00		5	0	0,00	
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	0	0,00		3	0	0,00	
		2	0	0,00		2	0	0,00	
		1	2	50,00		1	0	0,00	
		0	2	50,00		0	0	0,00	

		<u>Ackerland</u>			<u>Grünland</u>				
C				D					
	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]		# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]		
Walnuss	Reihe 4	10	3	50,00	Reihe 4	10	5	83,33	
	50 m	9	3	50,00	50 m	9	1	16,67	
		8	0	0,00		8	0	0,00	
		7	0	0,00		7	0	0,00	
		6	0	0,00		6	0	0,00	
		5	0	0,00		5	0	0,00	
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	0	0,00		3	0	0,00	
		2	0	0,00		2	0	0,00	
		1	0	0,00		1	0	0,00	
		0	0	0,00		0	0	0,00	
		Reihe 3	10	3	50,00	Reihe 3	10	6	100,00
		37,5 m	9	2	33,33	37,5 m	9	0	0,00
			8	1	16,67		8	0	0,00
			7	0	0,00		7	0	0,00
			6	0	0,00		6	0	0,00
			5	0	0,00		5	0	0,00
			4	0	0,00		4	0	0,00
			3	0	0,00		3	0	0,00
			2	0	0,00		2	0	0,00
			1	0	0,00		1	0	0,00
			0	0	0,00		0	0	0,00
		Reihe 2	10	4	66,67	Reihe 2	10	6	100,00
		25 m	9	1	16,67	25 m	9	0	0,00
			8	0	0,00		8	0	0,00
			7	0	0,00		7	0	0,00
			6	1	16,67		6	0	0,00
			5	0	0,00		5	0	0,00
			4	0	0,00		4	0	0,00
			3	0	0,00		3	0	0,00
			2	0	0,00		2	0	0,00
			1	0	0,00		1	0	0,00
		0	0	0,00		0	0	0,00	
	Reihe 1	10	3	75,00	Reihe 1	10	6	100,00	
	12,5 m	9	1	25,00	12,5 m	9	0	0,00	
		8	0	0,00		8	0	0,00	
		7	0	0,00		7	0	0,00	
		6	0	0,00		6	0	0,00	
		5	0	0,00		5	0	0,00	
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	0	0,00		3	0	0,00	
		2	0	0,00		2	0	0,00	
		1	0	0,00		1	0	0,00	
		0	0	0,00		0	0	0,00	

		<u>Ackerland</u>			<u>Grünland</u>				
E				F					
	# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]		# gef. Samen pro Subplot	H gef. Subplots	h gef. Subplots [%]		
Apfel	Reihe 4	10	5	83,33	Reihe 4	10	4	66,67	
	50 m	9	0	0,00	50 m	9	2	33,33	
		8	0	0,00		8	0	0,00	
		7	1	16,67		7	0	0,00	
		6	0	0,00		6	0	0,00	
		5	0	0,00		5	0	0,00	
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	0	0,00		3	0	0,00	
		2	0	0,00		2	0	0,00	
		1	0	0,00		1	0	0,00	
		0	0	0,00		0	0	0,00	
		Reihe 3	10	3	50,00	Reihe 3	10	6	100,00
		37,5 m	9	0	0,00	37,5 m	9	0	0,00
			8	2	33,33		8	0	0,00
			7	1	16,67		7	0	0,00
			6	0	0,00		6	0	0,00
			5	0	0,00		5	0	0,00
			4	0	0,00		4	0	0,00
			3	0	0,00		3	0	0,00
			2	0	0,00		2	0	0,00
			1	0	0,00		1	0	0,00
			0	0	0,00		0	0	0,00
		Reihe 2	10	2	33,33	Reihe 2	10	2	33,33
		25 m	9	2	33,33	25 m	9	4	66,67
			8	2	33,33		8	0	0,00
			7	0	0,00		7	0	0,00
			6	0	0,00		6	0	0,00
			5	0	0,00		5	0	0,00
			4	0	0,00		4	0	0,00
			3	0	0,00		3	0	0,00
			2	0	0,00		2	0	0,00
			1	0	0,00		1	0	0,00
			0	0	0,00		0	0	0,00
		Reihe 1	10	2	50,00	Reihe 1	10	5	83,33
		12,5 m	9	1	25,00	12,5 m	9	0	0,00
			8	1	25,00		8	0	0,00
		7	0	0,00		7	1	16,67	
		6	0	0,00		6	0	0,00	
		5	0	0,00		5	0	0,00	
		4	0	0,00		4	0	0,00	
		3	0	0,00		3	0	0,00	
		2	0	0,00		2	0	0,00	
		1	0	0,00		1	0	0,00	
		0	0	0,00		0	0	0,00	



Anhang E. Abb. IX: Fraßschäden an den Sämlingen des Prädationsexperiments. A) unangetastete Apfelreihe im Grünland; B) Apfelreihe mit geräubertem Sämling (rot umrandet); C) angefressene Keimblätter des Apfels; D) abgefressener Apfel (rot umrandet) mit Mäusekot; E) beim Ausgraben gefundene Wurzel eines Apfels; F) abgefressener Sämling der Baumhasel; G) abgefressener Sämling einer Baumhasel (rot umrandet), die Primärblätter liegen daneben, genauso wie Kotpillen einer Maus; H) Mäusekot und abgefressenem Gras und Kräutern an einer Saatstelle. Fotos: Goldenberg 2023.

Anhang E. Tab. XIV: Keimraten der Samenarten des Prädationsexperiments. Getestet wurden jeweils 100 Samen. Das Saatgut wurde ab März bei Zimmertemperatur in einem feuchten Sand-Boden-Gemisch gelagert. Die Keimrate bezieht sich auf die Anzahl aufgegangener Samen bis zum 01. Mai (und ist daher nur bedingt mit den Literaturwerten zu vergleichen). Insbesondere bei der Baumhasel und Walnuss ist noch mit einer Zunahme zu rechnen (siehe Anhang A. Tab. II).

Art	Keimrate bis zum 1. Mai [%]	Keimrate Literatur [%]	Quelle
(A) Baumhasel	17	79-88	Richter (2019)
(B) Apfel	98	87-99	Daskalyuk (2002)
(C) Echte Walnuss	70	70-100	Forest Tree Seed Directory (1962)

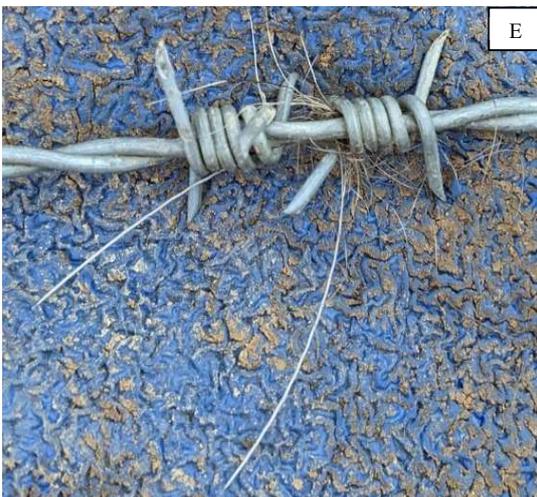


Anhang E. Abb. X: Verschiedene Entwicklungsstadien von Sämlingen. Walnuss (links) und Baumhasel (rechts). Fotos: Goldenberg 2023.

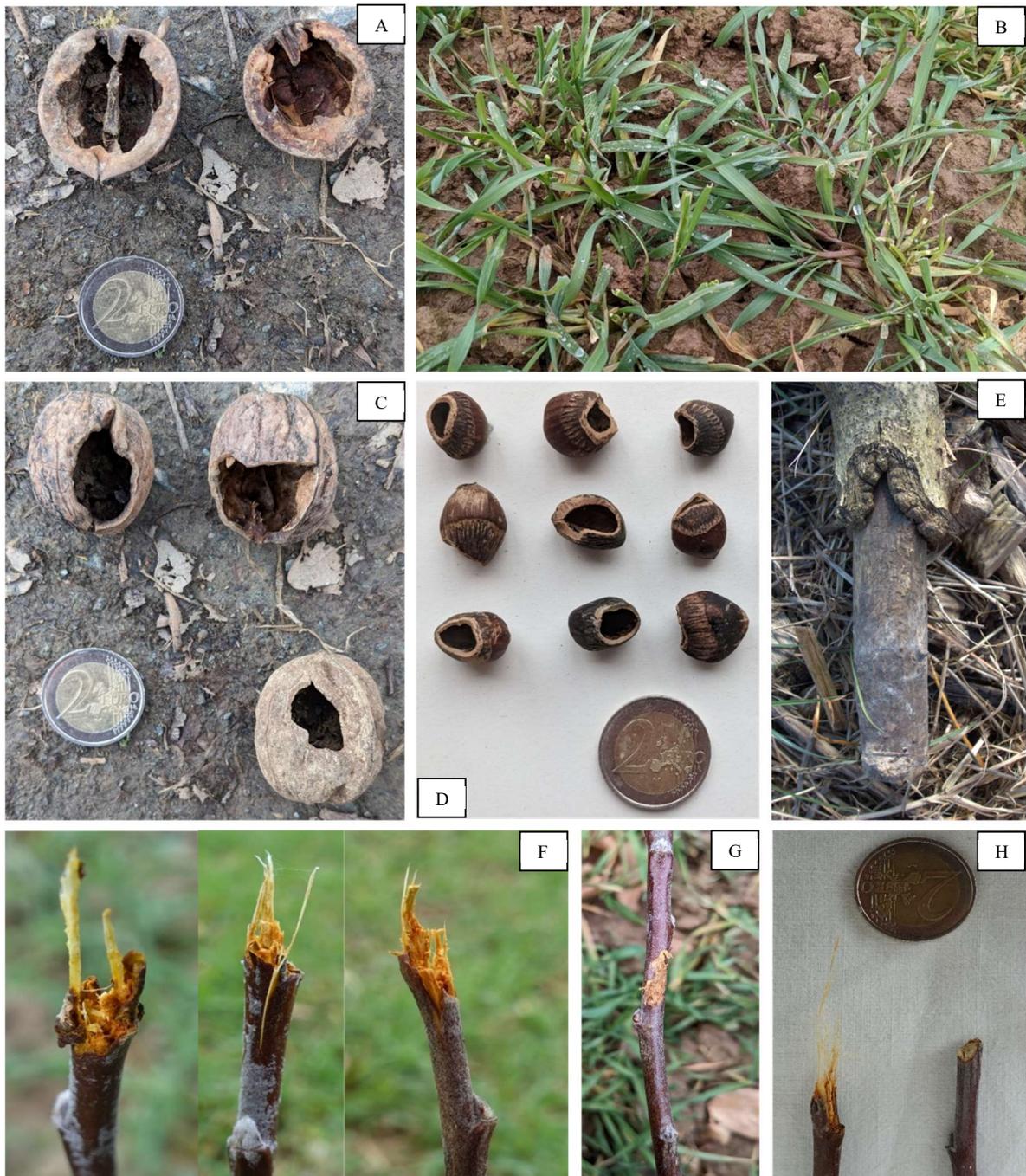
Anhang F



Anhang F. Abb. XI: Gefundene Exkremente auf und um die Versuchsflächen. A) Hase; B) Rotfuchs; C) Rehwild; D) Wildschwein; E) Europäischer Dachs und F) Vogel (unbekannt). Fotos: Goldenberg 2023.



Anhang F. Abb. XII: Spuren von Wildtieren auf und um die Versuchsf lächen. A) Trittsiegel, womöglich vom Wildschwein; B) Trittsiegel vom Reh mit sichtbarer Afterzehe (Geäfter); C) vom Wildschwein umgebrochenes Grünland; D) Mäusebau auf Acker mit Laufspur und abgefressenem Weizen; E) Haare und Borsten vom Wildschwein an Weidezaun; F) Wildwechsel am Waldrand. Fotos: Goldenberg 2023.



Anhang F. Abb. XIII: Fraßspuren an Pflanzenteilen auf und um die Versuchsflächen. A) durch ein Eichhörnchen aufgebelte Walnuss; B) vermutlich durch Maus oder Reh angefressener Weizen; C) durch Vögel aufgepickte Walnüsse; D) durch Mäuse geöffnete Haselnüsse; E) abgestorbene Pappel im GH1 - im Splintholz sind bei genauerem Hinschauen die Spuren der Nagezähne von Mäusen zu erkennen; F) durch Rotwild verbissene Terminalknospen der Apfelreiser; G) Nagespuren an Rinde eines Apfelreisers durch eine Wühlmaus; H) Vergleich der Bisspuren von Reh (links) und Hase (rechts). Fotos: Goldenberg 2023.