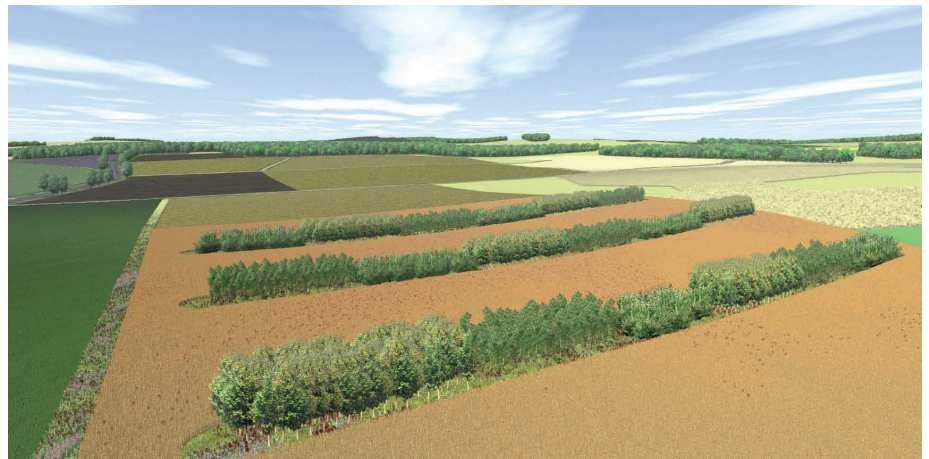




LfL

Baye ische Landesanstalt für Land irtschaft

Agroforstsysteme zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau



Schriftenreihe

7

2019

ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 71-3640

1. Auflage: Oktober 2019

Druck: C. Maurer GmbH & Co. KG, 73303 Geislingen/Steige

Schutzgebühr: 15,00 Euro

© LfL



**Endbericht zum Forschungsprojekt
„Entwicklung und Erprobung eines
Agroforstsystems zur Energieholzer-
zeugung im ökologischen Landbau“**

Projektförderung: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF)

Projektlaufzeit: 04/2009-06/2018

Projektleiter: Dr. Klaus Wiesinger, Koordination Ökologischer Landbau, Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (LfL, IAB 3a)

Thomas Huber (bis 12/2010), Dr. Herbert Borchert, Abteilung 4 Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz (LWF)

Projektbearbeiter: Andrea Winterling, Benjamin Blumenthal, Robert Brandhuber, Johannes Burmeister, Heiko Höge, Irene Jacob, Michael Kistler, Dr. Thomas Kreuter, Dr. Marc Marx, Björn Mehlhaff, Roswitha Walter, Dr. Martin Wiesmeier

Unter Mitwirkung von: Armin Baur, Josef Braun, Dr. Frank Burger, Thomas Eckl, Dr. Heidi Heuberger, Nicola Lenz, Lisa Ott, Georg Salzeder, Martin Schmidt, Simon Tangerding

Herausgegeben im: Oktober 2019

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis	17
Vorwort und Danksagung	19
Zusammenfassung	21
Abstract	25
1 Einleitung	29
1.1 Einleitung und Zielsetzung	29
1.2 Übersicht der Teilprojekte und Kooperationen	29
1.3 Versuchsstandorte	30
1.4 Witterungsverläufe im Versuchszeitraum (2009-2016)	31
2 Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau	33
2.1 Einleitung und Zielsetzung	33
2.2 Material und Methoden	33
2.2.1 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung	33
2.2.2 Erhebungen	35
2.2.3 Ökonomie	36
2.3 Ergebnisse	39
2.3.1 Wirksamkeit Beikrautregulierung	39
2.3.2 Wuchs- und Ertragsleistung	40
2.3.3 Ökonomie	46
2.4 Diskussion	50
2.5 Zusammenfassung	54
3 Wirkung von Energieholzstreifen auf landwirtschaftliche Kulturen	56
3.1 Einleitung und Zielsetzung	56
3.2 Material und Methoden	56
3.2.1 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung	56
3.2.2 Erhebungen an den landwirtschaftlichen Kulturen	61
3.2.3 Erhebungen an den Gehölzen	62
3.2.4 Ökonomie	62
3.3 Ergebnisse	63

3.3.1	Einfluss der Gehölzstreifen auf Winterweizen.....	63
3.3.2	Einfluss der Gehölzstreifen auf Hafer.....	67
3.3.3	Einfluss der Gehölzstreifen auf Klee gras.....	71
3.3.4	Gehölze.....	74
3.3.5	Ökonomie.....	76
3.4	Diskussion.....	78
3.5	Zusammenfassung.....	81
4	Bestandsklima und Boden.....	83
4.1	Einleitung und Zielsetzung.....	83
4.2	Bestandsklima.....	83
4.2.1	Material und Methoden.....	83
4.2.2	Ergebnisse.....	85
4.2.3	Diskussion.....	97
4.3	Humushaushalt.....	98
4.3.1	Material und Methoden.....	98
4.3.2	Ergebnisse.....	98
4.3.3	Diskussion.....	101
4.4	Zusammenfassung.....	102
5	Bodenfauna eines Agroforstsystems.....	104
5.1	Einleitung und Zielsetzung.....	104
5.2	Regenwürmer.....	106
5.2.1	Material und Methoden.....	106
5.2.2	Ergebnisse.....	108
5.2.3	Diskussion.....	113
5.3	Epigäische Bodenfauna.....	116
5.3.1	Material und Methoden.....	116
5.3.2	Ergebnisse.....	118
5.3.3	Diskussion.....	125
5.4	Bodenmesofauna.....	130
5.4.1	Material und Methoden.....	130
5.4.2	Ergebnisse.....	131
5.4.3	Diskussion.....	136
5.5	Zusammenfassung.....	138
6	Tastversuche.....	140
6.1	Baumartensichtung und Beikrautregulierung.....	140

6.1.1	Einleitung und Zielsetzung.....	140
6.1.2	Material und Methoden	140
6.1.3	Ergebnisse	143
6.1.4	Diskussion	144
6.2	Erprobung einer Untersaat von zwei Ansaatmischungen aus autochthonen Wald- bzw. Waldsaumarten	145
6.2.1	Einleitung und Zielsetzung.....	145
6.2.2	Material und Methoden	145
6.2.3	Ergebnisse	147
6.2.4	Diskussion	151
6.3	Anbau von Bärlauch in einem Agroforstsystem zur Energieholzerzeugung	152
6.3.1	Einleitung und Zielsetzung.....	152
6.3.2	Material und Methoden	152
6.3.3	Ergebnisse	153
6.3.4	Diskussion	154
6.4	Zusammenfassung	154
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	156
8	Praxisempfehlungen.....	158
	Literaturverzeichnis	161
	Anhang	171

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Übersicht Teilprojekte und Tastversuche im Projekt „Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“	30
Abbildung 2: Witterungsverlauf Standort Neuhof (Daten der LfL-Agrarmeteorologie Station Neuhof; rote Linie: Monatsmittelwerte der Temperatur in 2 m Höhe; grüne Linie Mitteltemperatur der Wetterstation 1992-2016 in 2 m Höhe; blaue Balken: Monatsniederschlagssumme; schwarze Striche: mittlere Monatsniederschläge der Wetterstation 1995-2016).....	31
Abbildung 3: Witterungsverlauf Standort Pulling (Daten der LfL-Agrarmeteorologie Station Freising; rote Linie: Monatsmittelwerte der Temperatur in 2 m Höhe; grüne Linie Mitteltemperatur der Wetterstation 1995-2016 in 2 m Höhe; blaue Balken: Monatsniederschlagssumme; schwarze Striche: mittlere Monatsniederschläge der Wetterstation 1995-2016).....	32
Abbildung 4: Versuchsplan, Standort Neuhof	34
Abbildung 5: Ermittlung des oberirdischen Biomasseaufwuchses der Bäume in Pulling durch motormanuelle Ernte (links oben), Vermessung (rechts oben), Wiegen (links unten) und Hacken zur Ermittlung der Trockensubstanz (rechts unten).....	36
Abbildung 6: Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen zur Beikrautregulierung im Etablierungsjahr im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle	39
Abbildung 7: Schwarzerle mit Brennesselunterwuchs 2015 (links), Beikrautdeckung Pappelparzelle 2013 (rechts), Standort Neuhof	40
Abbildung 8: Baumhöhe im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Neuhof. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$).....	42
Abbildung 9: Baumhöhe im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Pulling. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. Wuchshöhen 2015/2016 (SNK-Test, $p < 0,05$).....	43
Abbildung 10: Laufender jährlicher (oben), durchschnittlicher (Mitte) und kumulierter Höhenzuwachs (unten) der verschiedenen Baumarten in der ersten Umtriebszeit (2009-2015) an den Standorten Neuhof und Pulling	44
Abbildung 11: Biomasseertrag der Bäume 2015 nach Baumarten. Mittel über alle Varianten der Beikrautregulierung. Verschiedene Groß- bzw. Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. Neuhof bzw. Pulling (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung, Standort Pulling Verrechnung mit Bodentrendmodell	45
Abbildung 12: Biomasseertrag der Bäume 2015 nach Varianten zur Beikrautregulierung im Etablierungsjahr. Mittel über alle Baumarten. Verschiedene Groß- bzw. Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. Neuhof bzw. Pulling (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken =	

MW±Standardabweichung, Standort Pulling Verrechnung mit Bodentrendmodell	45
Abbildung 13 Ein- und Auszahlungen der KUP-Fläche mit der Pappelsorte 'Max 3' und einer Winterroggen-Untersaat während ihrer Standzeit in Pulling	47
Abbildung 14: Höhenwuchsleistung der Pappelsorten auf den Versuchsstandorten in Pulling und Neuhof im Vergleich zu denen anderer bayerischer Versuchsflächen (Burger et al., 2012), U = Umtriebszeit, j = jährlich	52
Abbildung 15: Biomasseerträge der Pappelsorten auf den Versuchsstandorten in Pulling und Neuhof im Vergleich zu denen anderer bayerischer Versuchsflächen (Burger et al., 2012), U = Umtriebszeit, j = jährlich	52
Abbildung 16: Versuchspläne a) Neuhof, b) Pulling	58
Abbildung 17: Rodung des Energieholzstreifens am Standort Neuhof mit einem Forstmulchgerät (links) und einer Rodungsfräse mit Rückverdichtung (Mitte) zur Wiederherstellung einer ackerfähigen Fläche (rechts)	59
Abbildung 18: Rodung des Energieholzstreifens am Standort Pulling mit einer Forstraupe mit Forstmulchgerät (links) und einer an einen Schlepper angehängten Rodungsfräse (rechts)	60
Abbildung 19: Marktwarenertrag (Sortierung>2 mm) bei Winterweizen. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung	64
Abbildung 20a-c: Marktwarenertrag (Sortierung>2 mm) bei Winterweizen. Mittel über verschiedene Abstände zum EHS in verschiedenen Versuchsjahren. N. S. = nicht signifikant (Variante ohne EHS), verschiedene Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede (Variante mit EHS) (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung (links Luv, rechts Lee)	65
Abbildung 21: Qualitäten von Winterweizen. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung	67
Abbildung 22: Marktwarenertrag (Sortierung>2 mm) bei Hafer. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung	68
Abbildung 23a-d: Marktwarenertrag (Sortierung>2 mm) bei Hafer. Mittel über verschiedene Abstände zum EHS in verschiedenen Versuchsjahren. N. S. = nicht signifikant (Variante ohne EHS), n. s. bzw. verschiedene Kleinbuchstaben bei signifikanten Unterschieden (Variante mit EHS) (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung (links Luv, rechts Lee)	70
Abbildung 24: Hektolitergewicht bei Hafer. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung	71
Abbildung 25: Tausendkornmasse bei Hafer. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p<0,05$), Fehlerbalken = MW±Standardabweichung	71

Abbildung 26: Trockenmasseertrag bei Klee gras (Summe über alle Schnitte). Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standard-abweichung.....	72
Abbildung 27 a-d: Trockenmasseertrag bei Klee gras (Summe über alle Schnitte). Mittel über verschiedene Abstände zum EHS in verschiedenen Versuchsjahren. N. S. = nicht signifikant (Variante ohne EHS), verschiedene Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede (Variante mit EHS) (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung (links Luv, rechts Lee)	74
Abbildung 28: Energieertrag von Klee gras. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung	74
Abbildung 29: Baumhöhe im Jahr 2015 (siebtes Standjahr) und jährliche Zuwächse in den Energieholzstreifen sowie die Biomasseerträge (inkl. 1,5 m Saum an den Rändern des Energieholzstreifens)	75
Abbildung 30: Mittlerer Biomasseertrag der einzelnen Baumreihen von Ost (Reihe 1) nach West (Reihe 5), berechnet inkl. 1,5 m Saum an den Außenrändern des Energieholzstreifens.....	76
Abbildung 31: Zahlungsströme bei der Bewirtschaftung des Ackers mit Energieholzstreifen in Pulling.....	76
Abbildung 32: Vergleich der Erlöse und Kosten getrennt nach Kostengruppen und umgerechnet in Annuitäten für den Versuchsstandort Pulling.....	77
Abbildung 33: Anemometer und Regenmesser in Neuhof und Pulling	84
Abbildung 34: Mittlere Windgeschwindigkeit von Westwinden (240° - 300°) relativ zur Referenz in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen am Standort Neuhof zwischen dem 06.05.2014 und dem 24.09.2014.....	87
Abbildung 35: Mittlere Windgeschwindigkeit von Westwinden (240° - 300°) relativ zur Referenz in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen am Standort Pulling zwischen dem 17.03.2014 und dem 28.07.2014	88
Abbildung 36: Bodenfeuchte am Standort Neuhof zwischen dem 03.06.2015 und 13.07.2015 in 15 und 40 cm Tiefe im Energieholzstreifen sowie in 5, 10 und 50 m Entfernung (im Lee), sowie Niederschlag im Energieholzstreifen. Bodenfeuchte und Niederschlag stündlich erfasst	89
Abbildung 37: Bodenfeuchte an zwei Terminen am Standort Neuhof und Pulling gemessen mit TDR-Sensoren in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen.....	90
Abbildung 38: Tagesgang der Bodentemperatur für die Zeitreihen der einzelnen Messzeiträumen und unterschiedliche Messpunkte	92
Abbildung 39: Temperaturen zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Neuhof für 139 Tage (x kennzeichnet Mittelwert).....	94
Abbildung 40: Temperaturen zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Pulling für 87 Tage (x kennzeichnet Mittelwert).....	95
Abbildung 41: Relative Luftfeuchte zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Neuhof für 139 Tage (x kennzeichnet Mittelwert).....	96
Abbildung 42: Relative Luftfeuchte zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Pulling für 87 Tage (x kennzeichnet Mittelwert).....	96

Abbildung 43: C _{org} -Gehalte (%) in 0 – 15 cm Tiefe am Standort Neuhof in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahren 2009, 2013 und 2016.....	99
Abbildung 44: C _{org} -Vorräte (kg/m ²) in 0 – 15 cm Tiefe (bzw. äquivalente Bodenmassen) am Standort Neuhof in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahren 2009, 2013 und 2016.....	100
Abbildung 45: C _{org} -Gehalte (%) in 0 – 15 cm Tiefe am Standort Pulling in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahre 2009, 2013 und 2016.....	100
Abbildung 46: C _{org} -Vorräte (kg/m ²) in 0 – 15 cm Tiefe (bzw. äquivalente Bodenmassen) am Standort Pulling in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahre 2009, 2013 und 2016.....	101
Abbildung 47: Lage der Regenwurmprobestellen im Agrofrostsystem an den beiden Untersuchungsstandorten Neuhof (links) und Pulling (rechts)	106
Abbildung 48: Regenwurmerfassung in der Ackerfläche entlang eines Gradienten zum EHS in Pulling im Jahr 2013 (links) und im Jahr 2015 (rechts)	107
Abbildung 49: Regenwurmprobestelle im EHS 2015 (links: Pulling, rechts: Neuhof).....	107
Abbildung 50: Regenwurmerfassung (links: Austreibung, rechts: anschließende Handauslese)	107
Abbildung 51: Die häufigsten Regenwurmartentypen an den beiden Untersuchungsstandorten, oben: <i>Lumbricus terrestris</i> (links), <i>Aporrectodea caliginosa</i> (rechts), unten: <i>Aporrectodea rosea</i> (links), <i>Allolobophora chlorotica</i> (Mitte), <i>Octolasion lacteum</i> (rechts)	110
Abbildung 52: Gesamtanzahl (oben) und Gesamtbiomasse (unten) der Regenwürmer in 2013 und 2015 in räumlicher Lage zum Energieholzstreifen EHS in Neuhof (links) und Pulling (rechts) (Mittelwerte je n=3 Stichproben)	111
Abbildung 53: Siedlungsdichte (oben) und Biomasse (unten) der Regenwürmer für die endogäischen Arten und die Gattung <i>Lumbricus</i> (nahezu ausschließlich Tiefgräber <i>Lumbricus terrestris</i>) entlang eines Entfernungsgradienten zum (EHS) in Neuhof und Pulling in 2013 und 2015 (Mittelwerte mit Standardabweichung, je n=6).....	112
Abbildung 54: Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer unter verschiedenen Baumarten und auf einer ökologisch und pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche in den Jahren 2014 und 2015 in Pulling.....	113
Abbildung 55: Lageplan der Bodenfallen (links in Neuhof, rechts in Pulling).....	116
Abbildung 56: Richtungsfallen im Acker (links oben), am Rand der Energieholzstreifen (rechts oben), Anordnung im Feld (links unten) und schematischer Aufbau (rechts unten)	117
Abbildung 57: Habitatpräferenzen der 2013 und 2015 gefangenen Laufkäfer, links in Prozent der Individuen, rechts: Anzahl der Arten.....	119
Abbildung 58: Über Fangperioden aufsummierte Aktivitätsdichte von <i>Anchomenus dorsalis</i> in Pulling für die Jahre 2013 und 2015.....	120

Abbildung 59: Habitatpräferenzen der 2013 und 2015 gefangenen Spinnen und Weberknechte, links: in Prozent der Individuen, rechts: Anzahl der Arten.....	122
Abbildung 60: Gemeinsame Laufkäfer und Spinnentierarten für die Entfernungen und den Energieholzstreifen (Schnittmengen im Venn-Diagramm) aus den Jahren 2013 und 2015.....	122
Abbildung 61: Zeitlicher Verlauf der mit Richtungsfallen ermittelten Aktivitätsdichten für Laufkäfer, Spinnen und Weberknechte (jeweils die Summe aus zwei Fallen) im Randbereich des Energieholzstreifens in Pulling (gepunktete Linien entsprechen den Leerungsterminen).....	123
Abbildung 62: Zeitlicher Verlauf der mit Richtungsfallen ermittelten Aktivitätsdichten für Laufkäfer, Spinnen und Weberknechte (jeweils die Summe aus zwei Fallen) auf der Ackerfläche, gepunktete Linien entsprechen den Leerungsterminen.....	124
Abbildung 63: Unterwuchs aus Löwenzahn im EHS in Pulling (links), Randstreifen mit Walderdbeeren in Neuhof (mitte), Pflugkante in Neuhof (rechts)	128
Abbildung 64: Stechzylinderprobenahme (links) und Berlese-Tullgren Apparatur (rechts).....	130
Abbildung 65: Lageplan der Stechzylinder-Probenahmepunkte.....	131
Abbildung 66: Kumulative Artenkurve der Springschwänze, Mittelwerte aus resampling für die 24 Stichproben aus den Jahren 2013 und 2015.....	133
Abbildung 67: Anzahl gefangener Individuen für drei ausgewählte Springschwanzarten für die Jahre 2013 und 2015	133
Abbildung 68: Siedlungsdichten der Springschwänze und Milben im Mittel aus den Jahren 2013 und 2015 (Fehlerbalken = Standardabweichung, n = 12).....	135
Abbildung 69: Gemeinsame und exklusive Arten der Bodenmesofauna (Springschwänze und Raubmilben) für den Energieholzstreifen (EHS) und in einer Entfernung von 5 m (+5 m) und 20 m (+20 m) aus den Aufnahmen von 2013 und 2015	136
Abbildung 70: Anlageschema Tastversuch Acker	141
Abbildung 71: Anlageschema Tastversuch Hofweide	141
Abbildung 72: Pflanzschema des Energieholzes.....	142
Abbildung 73: Jährlicher Zuwachs und Wuchshöhe in 2017 im Tastversuch Baumartensichtung und Beikrautregulierung.....	144
Abbildung 74: Lage der Flächen der Vegetationsaufnahmen im Energieholzstreifen (südlich der Ortsverbindungsstraße Dürneck-Pulling).....	147
Abbildung 75: Autochthone Walduntersaat in Pappel ('Max 3'), Juni 2016, mit Bestandesaspekt und hohen Deckungsgraden <i>Brachypodium sylvaticum</i> und <i>Stachys sylvatica</i>	148
Abbildung 76: Autochthone Waldranduntersaat in Pappel ('Max 3'), Mai 2015, mit Bestandesaspekt <i>Origanum vulgare</i> und <i>Humulus lupulus</i> (Spontanvegetation) (als Liane)	148
Abbildung 77: Lageplan des Bärlauchs in den Parzellen (links) und Bärlauchparzellen (Variante 1) am 02.03.2013	153
Abbildung 78: Bärlauch-Ernterträge 2015 und 2016	154
Abbildung-A 1: Brusthöhendurchmesser (BHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Neuhof. Verschiedene Klein- bzw.	

Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$).....	171
Abbildung-A 2: Brusthöhendurchmesser (BHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Pulling. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$).....	171
Abbildung-A 3: Wurzelhalsdurchmesser (WHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Neuhof. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$).....	172
Abbildung-A 4: Wurzelhalsdurchmesser (WHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Pulling. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$).....	172

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Materialkosten Untersaaten.....	38
Tabelle 2: Ausfälle gepflanzter Bäume im Anlagejahr 2009 in Pulling	38
Tabelle 3: Ausfälle gepflanzter Bäume im Anlagejahr 2009 in Neuhof.....	39
Tabelle 4: Anwuchs-, Austriebserfolg 2009 nach Baumarten. Verschiedene große (Pulling) bzw. kleine Buchstaben (Neuhof) = signifikante Unterschiede (SNK -Test, $p < 0,05$).....	40
Tabelle 5: Anwuchs-, Austriebserfolg 2009 nach Varianten der Begleitvegetationsregulierung. Verschiedene große Buchstaben = signifikante Unterschiede (Neuhof), n. s. = nicht signifikant (Pulling) (SNK-Test, $p < 0,05$).....	41
Tabelle 6: Wiederaustriebserfolg der verschiedenen Baumarten nach der Energieholzernte im Winter 2015/2016 am Standort Neuhof.....	46
Tabelle 7: Biomasseerträge in Pulling in Trockenmasse pro Hektar und Jahr.....	46
Tabelle 8: Biomasseerträge in Neuhof in Trockenmasse pro Hektar und Jahr	46
Tabelle 9 Zahlungen bei der KUP-Versuchsfläche mit der Pappelsorte 'Max 3' während ihrer Standzeit in Pulling in €/ha.	47
Tabelle 10: Die mit dem Anbau verschiedener Baumarten bzw. Sorten in Kurzumtriebsplantagen über die gesamte Standzeit erzielbaren Annuitäten in €/ha und Jahr bei unterschiedlichen Verfahren der Beikrautregulierung oben in Pulling, unten in Neuhof und bei Berücksichtigung lediglich der variablen Kosten (analog Deckungsbeitrag)	48
Tabelle 11: Die mit dem Anbau verschiedener Baumarten bzw. Sorten in Kurzumtriebsplantagen über die gesamte Standzeit erzielbaren Annuitäten in €/ha und Jahr bei unterschiedlichen Verfahren der Beikrautregulierung oben in Pulling, unten in Neuhof und bei Berücksichtigung auch der fixen Arbeitserledigungskosten.....	50
Tabelle 12: Versuchsaufbau landwirtschaftliche Versuchspartellen.....	57
Tabelle 13: Kulturdaten für die verschiedenen Feldfrüchte (Versuchsjahre 2009-2015).....	60
Tabelle 14: Leistung, Kosten und Überschüsse umgerechnet in Annuitäten der Anbausysteme mit und ohne Energieholzstreifen an den beiden Versuchsstandorten.	77
Tabelle 15: Messperioden der Windgeschwindigkeit an den Standorten Neuhof und Pulling	84
Tabelle 16: Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s am Standort Neuhof in den Jahren 2012 bis 2015 und im Durchschnitt der Jahre	86
Tabelle 17: Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s am Standort Pulling in den Jahren 2012 bis 2016 und im Durchschnitt der Jahre	87
Tabelle 18: Durchschnittliche Bodenfeuchte (Vol. %) in 15 cm und 40 cm Tiefe, am Standort Neuhof, in den Messperioden 2013, 2014 und 2015	88
Tabelle 19: Mittlere Bodentemperatur °C (15 cm Tiefe) in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen am Standort Pulling in den Messperioden 2012 bis 2015.....	91
Tabelle 20: Niederschlag (mm) in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen und der Referenz am Standort Neuhof in den	

Messperioden 2012 - 2015, sowie dem relativen Gesamtniederschlag (% Referenz = 100 %) im Zeitraum 2012 - 2015	92
Tabelle 21: Mittelwerte für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Tagesmittel, Tagesmaximum, Tagesminimum, Tagesamplitude) am Standort Neuhof im Zeitraum von 08.05. – 23.09.2014	93
Tabelle 22: Mittelwerte für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Tagesmittel, Tagesmaximum, Tagesminimum, Tagesamplitude) am Standort Pulling im Zeitraum von 27.05 – 21.08.2013	93
Tabelle 23: Lebensformen der bodenbewohnenden Regenwurmarten	108
Tabelle 24: Regenwurmabundanz (Individuen/m ²) auf einer 50 m langen Ackerfläche mit (+) und ohne (-) Energieholzstreifen (EHS) für die Standorte Neuhof und Pulling von 2011 bis 2015 (Mittelwerte, in 2011 jeweils n=24, in 2013 und 2015 je n=42).....	109
Tabelle 25: Regenwurmbiomasse (g/m ²) auf einer 50 m langen Ackerfläche mit (+) und ohne (-) Energieholzstreifen (EHS) für die Standorte Neuhof und Pulling von 2011 bis 2015 (Mittelwerte, in 2011 jeweils n=24, in 2013 und 2015 jeweils n=42)	109
Tabelle 26: Standzeiten der Bodenfallen.....	117
Tabelle 27: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Laufkäferfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling (* Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Lorenz, 2003))	118
Tabelle 28: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Laufkäferfauna in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre (* Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Lorenz, 2003)).....	119
Tabelle 29: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Spinnen- und Weberknechtfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling (n=12) für drei Jahre (* Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Blick & Scheidler, 2004; Muster & Blick, 2004)).....	121
Tabelle 30: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Spinnen- und Weberknechtfauna in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre (* Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Blick & Scheidler, 2004; Muster & Blick, 2004)).....	121
Tabelle 31: Winteraktivität einiger Tiergruppen sortiert nach Anteil am Gesamtfang, der Anteil der Winterperiode (22.11.2013 – 07.02.2014) an der Gesamtfangperiode beträgt 34 %	125
Tabelle 32: Probenahmeterminen und Sichtprobenumfang zur Erfassung der Bodenmesofauna	130
Tabelle 33: Siedlungsdichte und Artenzahlen der Springschwanzfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling	132
Tabelle 34: Siedlungsdichten (Individuen/m ²) und Artenzahlen der Springschwanzfauna in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre	132
Tabelle 35: Siedlungsdichte und Artenzahlen der Milbenfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling	134
Tabelle 36: Siedlungsdichten, Individuensummen der Horn- und Raubmilben und Artenzahlen der Raubmilben in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre	135

Tabelle 37: Anwuchs-, Austriebserfolg im Tastversuch Baumartensichtung und Beikrautregulierung.....	143
Tabelle 38: Zusammensetzung der Mischung „autochthone Waldarten“	146
Tabelle 39: Zusammensetzung der Mischung „autochthone Waldsaumarten“	146
Tabelle 40: Mischungsanteil der ausgebrachten Arten sowie deren Deckungsgrad im Jahr 2015 (Mittelwerte nach WILMANNNS (1984) und LONDO (1984) zit. in DIERSCHKE (1994)).....	149
Tabelle 41: Mischungsanteil der ausgebrachten Arten sowie deren Deckungsgrad im Jahr 2016 (Mittelwerte nach WILMANNNS (1984) und LONDO (1984) zit. in DIERSCHKE (1994))	150
Tabelle-A 1: Bonituren bei Hafer.....	173
Tabelle-A 2: Bonituren bei Klee gras.....	173

Abkürzungsverzeichnis

AHWI	AHWI Maschinenbau GmbH
AWG	Amt für Waldgenetik
AKh	Arbeitskraftstunde
atro	Tonne absolut trockenes Holz
BBCH	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BHD	Brusthöhendurchmesser
BSA	Bundessortenamt
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
C.A.R.M.E.N.	Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk
C _{org}	organischer Bodenkohlenstoff
dt	Dezitonne
DWD	Deutscher Wetterdienst
€	Euro
EHS	Energieholzstreifen
e.V.	eingetragener Verein
et al.	und andere
F&E	Forschung und Entwicklung
FM	Frischmasse
FoVG	Forstvermehrungsgutgesetz
°C	Grad Celsius
g	Gramm
ha	Hektar
hl	Hektoliter
kg	Kilogramm
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
KULAP	Kulturlandschaftsprogramm
KUP	Kurzumtriebsplantage
kW	Kilowatt
LD	Lagerungsdichte

LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Lkr.	Landkreis
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
m	Meter
MAS	Maschinenarbeitsstunde
m ²	Quadratmeter
µm	Mikrometer
mm	Millimeter
MJ	Megajoule
MW	Mittelwert
MwSt.	Mehrwertsteuer
nFK	nutzbare Feldkapazität
NN	Normalnull
Nt	Gesamtstickstoff
NEL	Netto-Energie-Laktation
ÖVF	ökologische Vorrangfläche
PIAF	Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für Feldversuche
PIK	Produktionsintegrierte Kompensation
SNK-Test	Student-Newman-Keuls-Test
StMELF	Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
SRm	Schüttraummeter
t	Tonne
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
u. a.	und andere
UNB	Untere Naturschutzbehörde
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.
vgl.	vergleiche
WHD	Wurzelhalsdurchmesser
z. B.	zum Beispiel

Vorwort und Danksagung

Wir möchten uns ganz herzlich bei allen bedanken, die über viele Jahre an der Entwicklung und Durchführung des Forschungsprojektes mitgewirkt haben.

Ideengeber und Initiator für dieses Projekt war Sepp Braun, der zusammen mit seiner Frau Irene den Biolandhof Braun in Pulling seit 1989 biologisch bewirtschaftet. Seine intensive Beschäftigung mit den Themen Bodenfruchtbarkeit, Biodiversität und Klimawandel führte ihn in den letzten 20 Jahren zu den Potentialen von Agroforstsystemen. Seit fast 15 Jahren erzeugt er mit der Holzgastechnik nachhaltige Energie aus Holzhackschnitzeln in einem betrieblichen Blockheizkraftwerk und seit 2009 hat er auf inzwischen rund fünf Hektar selbst Baumstreifen angelegt.

Gemeinsam mit Dr. Klaus Wiesinger (Koordinator Ökolandbau), Rupert Fuchs (damals Arbeitsgruppenleiter Öko-Pflanzenbau; beide Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz der LfL) und Dr. Thomas Huber (LWF) wurde in mehreren Planungssitzungen das Konzept für ein interdisziplinäres F&E-Projekt entwickelt, das dann in einen Forschungsförderantrag an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) mündete.

Sepp Braun trug mit seinen Anregungen entscheidend zur Konzeption und zur Entwicklung eines praxistauglichen Agroforstsystems zur Energieholzerzeugung für den ökologischen Landbau in Bayern bei. Ihm und seiner Familie gilt unser besonderer Dank – für das große Engagement, insbesondere beim Wissenstransfer, die Bereitstellung der Versuchsfelder und für die langjährige, sehr gute Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis auf Augenhöhe!

Die Durchführung der Feldversuche, d. h. sämtliche pflanzenbaulichen Arbeiten am Feld und die Aufbereitung der Ernteproben erledigten immer gewissenhaft und mit großem Sachverstand der Versuchsingenieur am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Georg Salzeder (am Versuchsstandort Pulling) und der Versuchstechniker Armin Baur (Versuchsstation Neuhof, der zweite Versuchsstandort) mit ihren jeweiligen Versuchsmannschaften. Wir bedanken uns ganz herzlich für die langjährige Versuchsdurchführung! Zudem danken wir allen studentischen Hilfskräften für ihren Einsatz in den Feldversuchen.

Dem Sachgebiet Versuchswesen und Biometrie der LfL danken wir für die gute Zusammenarbeit und die Unterstützung bei der Planung und die Verrechnung der Versuche zur „Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“ und zur „Wirkung von Energieholzstreifen auf landwirtschaftliche Kulturen“.

Zudem möchten wir uns bei den Mitarbeitern der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU der LfL), die die Analysen zu sämtlichen Qualitätseigenschaften am Erntegut aller Fruchtarten durchführten, bedanken.

Das StMELF ermöglichte durch die finanzielle Förderung die Durchführung dieses mit neun Jahren relativ lange laufenden Projekts – damals bereits aus Mitteln des Klimaschutzes, zu einer Zeit als nur einige wenige die Potentiale von Agroforstsystemen zur Abmilderung der Klimaerwärmung sahen. Für diese vorausschauende Entscheidung und die damit verbundene Projektförderung unser herzlicher Dank!

Das Projekt „Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems für den ökologischen Landbau“ war damals das erste große Forschungskooperations-Projekt der beiden Landes-

anstalten LfL und LWF. Möglicherweise war diese Zusammenarbeit wegweisend für künftige Konzepte der Landnutzung, die mit Klimaerwärmung, Artensterben, hohen Stickstoffsalden usw. eine Vielzahl von Herausforderungen zu berücksichtigen haben. Mit diesen Herausforderungen nimmt auch der Bedarf an inter- und transdisziplinären und damit ressortübergreifenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für innovative Landnutzungskonzepte zu.

Zusammenfassung

In Bayern gibt es bisher kaum Erfahrung mit Agroforstsystemen zur Energieholzgewinnung und mit dem Anbau von Energieholz im ökologischen Landbau. Deshalb beschäftigte sich das Kooperationsprojekt der beiden Bayerischen Landesanstalten für Landwirtschaft und für Wald und Forstwirtschaft „Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems im ökologischen Landbau zur Energieholzerzeugung“ von 2009 bis 2018 mit der Entwicklung eines solchen Systems in Südbayern unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) gefördert. Die Versuchsstandorte waren der pfluglos wirtschaftende Biolandhof Braun in Pulling (Lkr. Freising) und die LfL-Versuchsstation Neuhoﬀ (Lkr. Donau-Ries). Hier wurde 2009 für das Forschungsprojekt eine Teilfläche auf ökologischen Landbau umgestellt.

Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau

Um die Eignung von schnellwachsenden, zu Stockausschlag fähigen Baumarten für die holzige Biomasseproduktion in einem Agroforstsystem im ökologischen Landbau zu testen und um Möglichkeiten einer herbizidfreien, kostengünstigen Begründung zu untersuchen, wurden im April 2009 an den Standorten Pulling und Neuhoﬀ zwei Exaktversuche angelegt. Geprüft wurden die beiden im bayerischen Energieholzanbau üblichen Hybrid-Pappelsorten 'Max 1' und 'Max 3' – Kreuzungen aus der Balsampappel (*Populus maximo-wiczii*) und der Schwarzpappel (*Populus nigra*) – sowie die heimischen Baumarten Grau- und Schwarzerle in einer 7-jährigen Umtriebszeit. Zur Beikrautregulierung wurden vier verschiedene Untersaaten (Gelb-, Weißklee, Winterroggen als Frühjahrssaat, Leindotter) ausgesät und eine selbstabbaubare Mulchfolie auf der Basis von Maisstärke ausgebracht. Die Untersaaten und die Folienabdeckung wurden mit einer Kontrollvariante verglichen, bei der, abgesehen von der mechanischen Bodenvorbereitung, keine Beikrautregulierung durchgeführt wurde.

Der Anwuchs bzw. Austrieb war in allen Varianten erfolgreich. Die Ertragsunterschiede zwischen den Baumarten bzw. Sorten waren erheblich, wobei auf beiden Standorten jeweils die Pappelsorte 'Max 3' vor 'Max 1' die höchsten Erträge erzielte. Grauerle und Schwarzerle folgten mit weitem Abstand. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die guten Erträge der Pappelklone vor allem einer starken Wuchsleistung in den ersten Vegetationsperioden zuzuschreiben sind und die Erlen ihr Potenzial hinsichtlich der Wuchsleistung erst in späteren Standjahren entfalten, d. h. die Wachstumsraten ihr Maximum später erreichen und langsamer abklingen. Trotzdem erreichen die Erlen als Wildformen nicht die Ertragsleistung der gezüchteten Pappelsorten.

Die getesteten Maßnahmen zur Beikrautregulierung zeigten 2009 an beiden Standorten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle eine gute Wirksamkeit. Sowohl die Untersaaten als auch die Folie haben den Deckungsgrad der natürlichen Begleitvegetation deutlich verringert. Die Variante „Folie“ erbrachte an beiden Standorten die höchsten Erträge. Die Untersaaten Weißklee, Winterroggen und Leindotter beeinflussten die Wuchshöhe und die Ertragsleistung der Bäume im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (keine Untersaat, nur Bodenvorbereitung) weder positiv noch negativ. Gelbklee hatte zwar als Untersaat die stärkste beikrautunterdrückende Wirkung, kann jedoch aufgrund der großen Konkurrenzkraft und damit verbundener geringerer Erträge nicht als Maßnahme zur Beikrautregulierung im Energieholzanbau empfohlen werden.

Die ökonomische Bewertung bestätigt die große wirtschaftliche Überlegenheit der Pappel-Hybride gegenüber den züchterisch nicht bearbeiteten Erlenarten bei der Energieholzproduktion im Kurzumtrieb.

In diesem Versuch wurde gezeigt, dass die Etablierung von Energieholz auch bei natürlichem Aufkommen einer Konkurrenzvegetation gelingen kann. Eine Begründung ohne Beikrautregulierung wird aufgrund des deutlich höheren Beikrautdrucks für die Praxis dennoch nicht empfohlen. Höhere Kosten bei der Verwendung von Mulchfolie können durch einen höheren Energieholz-Ertrag im ersten Umtrieb nicht kompensiert werden. Aus diesem Grund wird die Steuerung der Begleitvegetation mit Hilfe der Untersaaten Leindotter, Winterroggen und Weißklee empfohlen, auch wenn dies mit etwas höheren Begründungskosten verbunden ist.

Wirkung von Energieholzstreifen auf landwirtschaftliche Kulturen

In einem zweiten Teilprojekt wurde die Wirkung von mehrreihigen Baumstreifen in einem Agroforstsystem zur Energieholzerzeugung auf die Erträge und die Qualitäten landwirtschaftlicher Feldfrüchte untersucht. Aufgrund der weitgehend übereinstimmenden Angaben in der Literatur wurde ein positiver Effekt von regelmäßig geernteten Baumstreifen auf den Ertrag der dazwischen liegenden landwirtschaftlichen Kulturen erwartet. Außerdem wurde untersucht, ob in einem Agroforstsystem die Biomasseerzeugung im Vergleich zur reinen landwirtschaftlichen Nutzung höher ist und wie sich die Ökonomie dieses Systems unter bayerischen Standortbedingungen darstellt. Zur Beantwortung der genannten Fragestellungen wurden in der zweiten Aprilhälfte 2009 an den beiden Standorten Pulling und Neuhof zwei Exaktversuche angelegt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Anbau von Energieholz in Agroforstsystemen während der ersten Rotationsperiode der Bäume unter südbayerischen Standortverhältnissen sowohl positive als auch negative Einflüsse auf die räumliche Ertragsverteilung von Hafer, Winterweizen und Klee gras hatte. Der Gesamtertrag wurde aber durch die Energieholzstreifen, verglichen mit den Erträgen im angrenzenden freien Feld, nicht beeinträchtigt. Im Nahbereich der Gehölze ($\pm 5-10$ m) gemessene Mindererträge bei Getreide und Klee gras wurden durch eine Ertragssteigerung in weiter vom Gehölzstreifen entfernt liegenden Bereichen kompensiert. Die Qualität von Getreide wurde durch den Anbau von Energieholzstreifen nicht vermarktungswirksam beeinflusst, die Gesamtenergieleistung von Klee-Gras-Gemenge änderte sich ebenfalls nicht.

An beiden Standorten zeigte 'Max 3' etwas höhere Biomasseerträge als 'Max 1'. Durch ungünstigere Standortverhältnisse zeigten die Pappeln am Standort Neuhof deutlich geringere Erträge als in Pulling. In den Randreihen der Energieholzstreifen waren die Erträge höher als in den mittleren Reihen.

Überlegungen zur ökonomischen Bewertung zeigen, dass auf einem günstigeren Standort wie Pulling der Anbau der Ackerkulturen mit Energieholzstreifen unter Einbeziehung praxisnaher Erträge mindestens genauso wirtschaftlich sein kann, wie ein Anbau ohne Energieholzstreifen.

Boden und Bestandesklima

Die Untersuchungen zum Bestandes- und Bodenklima konnten einige erwartete Effekte der Energieholzstreifen bestätigen. So reduzierten diese die Windgeschwindigkeit insbesondere bei Westwinden (im Lee) bis etwa 40 m ins Feld hinein sehr deutlich. Dies kann einen Einfluss auf bestandes- und bodenklimatische Faktoren, sowie die Evaporation und Transpiration haben. Da Pappeln in der Regel einen höheren Wasserbedarf und eine

nachweislich geringere Sickerwasserbildung durch höhere Interzeptions- und Transpirationsverluste zeigen als landwirtschaftliche Kulturen, war der Boden im Energieholzstreifen in Neuhof und auch in Pulling vergleichsweise trocken. In welchem Umfang die Pappelpflanzen auch die Ackerfläche beeinflusst haben, konnte nicht abschließend geklärt werden. Am Standort Neuhof waren die Messungen durch verstopfte Drainagen nicht repräsentativ. In Pulling traten Probleme mit der Messtechnik auf. Die Bodentemperatur bestimmt die Vegetationsperiode der Kulturpflanzen. Deutliche pflanzenbaulich bedeutsame Unterschiede für die mittleren Temperaturen in den einzelnen Messperioden konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Jedoch konnte gezeigt werden, dass der Energieholzstreifen einen Einfluss auf den Tagesgang der Bodentemperaturen auch noch in 15 cm Tiefe hat. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Schattenwurf und reduzierte Windgeschwindigkeit das Mikroklima im Agroforstsystem beeinflussen. Doch gab es auch standortsspezifische Unterschiede und Abweichungen innerhalb der Vegetationsperiode oder in Abhängigkeit der Witterung, die bei der Beurteilung pflanzenbaulicher Aspekte berücksichtigt werden müssen.

Die innerhalb der Versuchslaufzeit beobachteten Rückgänge der Gehalte an organischem Kohlenstoff sind vermutlich durch die während der gesamten Versuchsdauer aus versuchsmethodischen Gründen ausgesetzte organische Düngung zu erklären. Ein wichtiger Punkt für die Bewertung der C_{org} -Gehalte und C_{org} -Vorräte ist die Ausgangssituation der Böden und ihre Bewirtschaftung. Mit der Anlage der Energieholzstreifen wurde sowohl am Standort Neuhof als auch in Pulling die zuvor regelmäßig erfolgte organische Düngung ausgesetzt. Ein Rückgang des C-Eintrags an den untersuchten Standorten ist sehr wahrscheinlich die Hauptursache für den deutlichen Rückgang des C_{org} -Gehalts, der insbesondere in Pulling ein sehr hohes Ausgangsniveau von über 4 % hatte. Mit der Etablierung der Energieholzstreifen ergaben sich zwar zusätzliche ober- und unterirdische C-Einträge in deren Einflussbereichen, diese konnten die durch die ausbleibende Düngung rückläufigen C-Einträge jedoch nicht kompensieren. Um die Auswirkungen der Anlage eines Agroforstsystems auf den Humushaushalt besser abschätzen zu können, wäre eine Ausweitung der Untersuchungen auf Unterböden sinnvoll.

Bodenfauna

Die Untersuchungen zur Bodenfauna im Agroforstsystem konnten deutliche Unterschiede in der Faunenzusammensetzung zwischen der Ackerfläche und dem Energieholzstreifen für mehr oder weniger alle untersuchten Indikatorgruppen feststellen. Der Energieholzstreifen bereichert entsprechend die Nischenvielfalt und die Biodiversität der Fläche. So kamen bei Laufkäfern und Spinnen im Streifen vermehrt Arten vor, die typisch für Wälder oder Übergangsbereiche sind. Energieholzstreifen können folglich eine Funktion für den Biotopverbund erfüllen. Ein deutlicher Unterschied der Reaktion der Bodenfauna im Energieholzstreifen in Neuhof im Vergleich zu der in Pulling zeigte, dass die Auswirkungen auf die Bodenfauna stark standorts- und womöglich bewirtschaftungsspezifisch waren. So waren die Unterschiede zwischen Acker und Gehölz in Neuhof ausgeprägter als in Pulling. Die Regenwurmfauna und Bodenmesofauna profitierte in Neuhof stärker von den Energieholzstreifen. Eine Erklärung könnte die besonders umweltverträgliche, und bodenschonende Bewirtschaftung in Pulling sein, während in Neuhof jährliches Pflügen die Bedingungen auf der Ackerfläche prägt.

Ein sicherer Nachweis eines Effektes des Energieholzstreifens auf die Artenvielfalt und Abundanz von Regenwürmern und Bodenmesofauna oder der Artenvielfalt von Laufkäfern und Spinnen auf der Ackerfläche entlang eines Entfernungsgradienten konnte nicht

erbracht werden. Dennoch konnte beobachtet werden, dass Austauschprozesse zwischen Ackerfläche, Rand- und Energieholzstreifen stattfinden, wie z. B. für die Laufkäferart *Anchomenus dorsalis* festgestellt wurde. Die Erfahrungen des vorliegenden Projektes und die allgemeinen Empfehlungen der agrarökologischen Literatur lassen Agroforstsysteme mit Energieholzstreifen als eine gut geeignete Maßnahme erscheinen, um ausgeräumte Agrarlandschaften mit Strukturelementen zu bereichern, den Biotopverbund von Saum- und Gehölzlebensräumen zu verbessern und die Biodiversität zu fördern.

Tastversuche

Zur Klärung offener Fragen wurden im Frühjahr 2011 und 2012 am Standort Pulling auf den Betriebsflächen des Biolandhof Braun weitere Baumstreifen gepflanzt und in diesen Tastversuche angelegt. Ein wesentliches Ziel dieser Versuche war es, anhand einer Baumartensichtung die Eignung von verschiedenen zu Stockausschlag fähigen Baumarten für die Energieholzerzeugung in Agroforstsystemen zu prüfen. Des Weiteren sollte der Einsatz der im Teilprojekt „Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“ zur Beikrautunterdrückung verwendeten selbstabbaubaren Mulchfolie im Vergleich zu einer betriebsüblichen Beikrautregulierung in der Praxis untersucht werden. Verschiedene Pflanzgutherkünfte wurden ebenfalls getestet. Zwei weitere Tastversuche hatten zum Ziel, die Einsaaten von zwei Mischungen aus autochthonen Wald- bzw. Waldsaumarten zur Erhöhung der Artenvielfalt sowie den Anbau von Bärlauch in einem Energieholzstreifen zu erproben.

Die heimischen Baumarten Grauerle, Silberweide und Flatterulme zeigten gegenüber den züchterisch bearbeiteten Pappelklonen einen sehr guten Austriebserfolg und eine zufriedenstellende bis gute Höhenwuchsleistung. Ein geringer Anwuchs- bzw. Austriebserfolg sowie eine schlechte Wuchsleistung von nicht zertifiziertem Pflanzmaterial bestätigten die Wichtigkeit der Sortenwahl und der Zuverlässigkeit der Herkunft des Pflanzenmaterials beim Anbau von Energieholz. Pappeln, die in selbstabbaubare Mulchfolie gesteckt wurden, erzielten höhere Zuwächse als bei maschineller Unkrautbekämpfung. Zwei Saatgutmischungen aus autochthonen, naturräumlichen Herkünften (Waldmischung, Waldsaummischung) konnten erfolgreich in einem Pappelstreifen etabliert werden. Aus der Waldmischung mit 18 Arten konnten fünf bzw. sechs Jahre nach der Ansaat insgesamt zwölf Arten in den Vegetationsaufnahmen wiedergefunden werden (67 %), aus der Waldsaummischung mit 16 Arten hingegen nur drei Arten (19 %). Die Waldmischung funktioniert daher zufriedenstellend. Die Waldsaummischung war mit nur 19 % Etablierungsrate nicht befriedigend. Hier besteht weiterer Optimierungs- und Entwicklungsbedarf im Hinblick auf die Auswahl der Arten, Saattiefe, Saatzeitpunkt oder das Management der Ansaaten. Der Tastversuch zum Anbau von Bärlauch zeigte, dass eine Kultivierung zwischen weiten Reihen junger Agroforstanlagen möglich ist. Die Erntemengen waren im ersten Erntejahr 2015 zwar relativ niedrig, sie stiegen jedoch 2016 bereits deutlich an. Die Qualitäten waren ansprechend. Aus dieser Versuchsanlage können noch keine generellen Rückschlüsse gezogen werden. Die Tastversuche lieferten aber gute Anhaltspunkte für eine mögliche weitere Bearbeitung der Fragestellungen in Exaktversuchen.

Abstract

Experience with agroforestry systems for production of energy wood and with the cultivation of fast-growing tree species for coppicing in organic agriculture in Bavaria has, thus far, been limited. The Bavarian State Research Center for Agriculture (LfL) and the Bavarian State Institute of Forestry (LWF) therefore, since 2009, have been working on the development of such systems for organic farming under Bavarian conditions in the joint project "Development and Testing of an Agroforestry System combining Organic Agriculture and Short Rotation Coppice". This project was funded by the Bavarian Ministry of Food, Agriculture and Forestry (StMELF). The experimental sites were situated on an organic farm with no-till cultivation in Pulling (Freising County), located on the Munich Gravel Plain, and at the LfL experimental farm "Neuhof" in the Franconian Jura near Kaisheim. Parts of the experimental areas were converted to organic farming for the research project in 2009.

Establishment and growth performance of fast-growing trees for production of wood biomass for energy utilisation in organic farming

In order to test the suitability of fast-growing tree species to be coppiced for woody biomass production for energy utilisation in an agroforestry system in organic farming, and to investigate options for herbicide-free, cost-efficient establishment, two trials were carried out at both the experimental sites in Pulling and Neuhof.

The two types of hybrid poplar 'Max 1' and 'Max 3', crosses between the balsam poplar (*Populus maximowiczii*) and black poplar (*Populus nigra*), which are common in Bavarian cultivation, were studied, as well as the autochthonous tree species grey and black alder. All tree species were tested in a rotation period of 7 years. For weed control in the first year the undersown crops black medic (*Medicago lupulina*), white clover (*Trifolium repens*), false flax (*Camelina sativa*), rye (*Secale cereale*, sown in spring) and a biodegradable mulch membrane were compared with an untreated control plot (same tillage as the other treatments).

Establishment and shoot growth were successful in all treatments. The yield differences between the tree species and varieties were significant. The poplar species 'Max 3' had the highest yields at both sites, followed by 'Max 1'. Grey and black alder had much lower yields. The results indicate, however, that the good yields of the poplar clones can be mainly attributed to good growth performance during the first two vegetation periods. The alders seem to achieve their potential regarding growth performance later. This means that maximum growth rates are reached later and decrease more slowly. Nevertheless, the wild form of the alder will never achieve the yield of the poplar varieties that have been bred for biomass production.

The weed control measures tested in 2009 showed good efficacy compared to the untreated control at both sites. Both the undersown crops and the mulch membrane significantly reduced coverage by natural vegetation. The treatment 'mulch membrane' had the highest yields at both locations. The undersown crops rye, white clover and false flax did not (positively) influence the growth rate and the tree yield compared to the untreated control. Although black medic had the strongest weed-suppression effect, it cannot be recommended due to its competitiveness and associated lower tree yields.

The economic analysis confirmed the economic superiority of poplar hybrids over wild alder species in short rotation coppice for energy utilisation. This experiment showed that

the establishment of short rotation coppice can be successful even with competition from natural vegetation. But an establishment without weed control is not recommended for the practice due to the significantly higher weed pressure. Higher costs when using the biodegradable mulch membrane cannot be compensated with higher yields in the first rotation. We therefore recommend weed control using false flax, winter rye or white clover, even if this is associated with slightly higher justification costs.

Effect of tree stripes in an alley-cropping system for woody biomass production on the yields and quality of agricultural crops

In a second subproject, the effect of multi-row tree strips in an alley cropping system for woody biomass production on the yields and quality of agricultural crops was examined. Due to the largely consistent results reported in the literature, it was expected that periodically harvested tree strips would have a positive effect on the yield of integrated agricultural crops.

Further analyses included whether the total biomass production per unit area could be increased sustainably in an agroforestry system compared to treeless management and an analysis of the economic performance of this system under Bavarian conditions. To answer these questions, two field trials were set up in the second half of April 2009 at the two experimental sites Pulling and Neuhof.

First results showed that there were no significant differences in the overall yield of winter wheat, oats and grass-clover in the agroforestry system compared to the reference site without trees. The spatial distribution of the yield, however, differed significantly. A significant reduction in the marketable yield in close proximity to the tree strips was measured. These lower yields were offset by higher yields at distances further away from the tree strips.

In summary, the cultivation of wood biomass for energy utilisation in agroforestry systems had positive as well as negative effects on the spatial distribution of the yields of wheat, oats and grass-clover during the first rotation period of the trees under southern Bavarian conditions. The total yield was not affected. A significant reduction in yield was measured in close proximity to the tree strips (± 5 -10 m). These lower yields were offset by higher yields at distances further away from the tree strips. Cereal quality was not negatively influenced by the cultivation of tree strips. The total energy performance of grass-clover mixtures also did not change.

'Max 3' had slightly higher biomass yields than 'Max 1' at both sites. Due to less favourable site conditions, poplar yield in Neuhof was significantly lower than in Pulling. Yields were higher in the border rows than in the inner rows of the wood strips.

Economic considerations show that cultivating arable crops in an alley cropping system using normal cultivation methods can be at least as cost-effective as cultivation without trees.

Stand conditions and soil

Analyses of soil and stand conditions verified some of the impacts expected from short rotation coppice strips. Wind speeds, especially of westerly winds, were clearly reduced at distances of up to 40 m inside the field. This can influence the microclimate, as well as transpiration and evaporation. Because poplars normally have a higher water demand and less percolating water than field crops due to higher interception and transpiration losses, the soil in the short rotation coppice strip was comparatively dry. To what extent poplars influenced soil moisture within the field could not be clarified. At Neuhof, measurements

were not representative due to clogged soil drainage pipes. Problems with measurement devices occurred in Pulling. The soil temperature determines the vegetation period of many crops. Clear differences in mean soil temperatures relevant for crop production were not found for the periods investigated. However, the impact of the short rotation coppice strips on the diurnal cycle of soil temperature, even at a depth of 15 cm, was apparent. Furthermore, it was obvious that shade and the reduced wind speed within the agroforestry system influenced the microclimate. But there were also site-specific differences and variation over the vegetation period, also depending on local weather conditions, which have to be considered when estimating the effects on crops.

Observed reductions in organic carbon contents can probably be explained by fertilization being discontinued. An important point for the assessment of organic carbon content and stocks is the initial state of the soil and the cultivation techniques. With the establishment of the short rotation coppice strips, the regular application of fertilisers ceased. A reduction in carbon input due to fertilization being discontinued is probably the main cause of the clear reduction in organic carbon content, especially at Pulling where the initial content was very high at 4%. The establishment of short rotation coppice strips resulted in additional above- and belowground carbon inputs in these areas, but these were not enough to compensate for the decrease in total carbon input. For a better assessment of the effects of an agroforestry system on humus balances, analyses should include subsoils.

Soil fauna

The survey of soil fauna in the agroforestry systems revealed distinct differences between the arable fields and the short rotation coppice strips for more or less all the indicator organism groups studied. Thus, the short rotation coppice strips enriched the niche diversity and biodiversity of the whole field. More ground beetles and spiders typical for woods or wood-field edges were found within the short rotation coppice strips. Short rotation coppice strips can thus enhance habitat connectivity. The response of soil fauna within the short rotation coppice strips clearly varied between the two study sites. Therefore, we believe the effects of the short rotation coppice strips are probably site- and management-specific. The differences between arable fields and tree strips were more pronounced in Neuhof than in Pulling. Earthworms and soil mesofauna in Neuhof benefitted more from the agroforestry system. One explanation of these differences could be the conservation tillage applied in Pulling, whereas in Neuhof yearly ploughing influences the soil.

Significant proof that the short rotation coppice strips enhanced species richness of ground beetles and spiders in a distance gradient was not found. Nevertheless, there was an interchange between the arable fields, the strips and the edges. This could be verified for the ground beetle *Anchomenus dorsalis*. Lessons learned from the present study and general recommendations from the agroecology literature point to agroforestry systems as systems that can be used to remediate deficits in landscape structure, improve habitat connectivity for woodland and semi-natural habitats, and retain biodiversity.

Provisional experiments

To clarify open questions, further alley cropping systems were planted in the spring of 2011 and 2012 at the experimental site Pulling on areas of the Bioland-Hof Braun. Provisional experiments were started in these tree strips. The main aim of these experiments was to examine the suitability of different tree species for coppicing for the production of wood biomass for energy utilisation in agroforestry systems. Furthermore, the use of the biodegradable mulch membrane used in the subproject "Establishment and growth per-

formance of fast-growing tree species for production of wood biomass for energy utilisation in organic farming" for weed suppression was compared with the weed control normally used on the organic farm. In addition, different plant sources were tested.

Two further trials had the aim of testing the sowing of two mixtures of autochthonous forest and forest-edge species to increase agrobiodiversity and to examine the cultivation of wild garlic in an alley cropping system.

The native tree species grey alder, silver willow and European white elm showed - compared to the poplar species - very good shoot development and growth performance ranging from satisfactory to good. Poor establishment and shoot development as well as poor growth performance of non-certified plant material confirmed the importance of variety selection and the reliability of the source of the plant material in the cultivation of wood biomass. Poplars planted in the biodegradable mulch membrane achieved higher growth rates than with mechanical weed control.

Two seed mixtures from autochthonous, natural sources (forest mix, forest-edge mix) were successfully established when undersown in a poplar strip. 5 respectively 6 years after sowing the forest mixture, a total of 12 out of 18 species was found in vegetation surveys (67 %), whereas only 3 species (19 %) were found from the 16 forest-edge species. The forest mix therefore was satisfactory. The forest-edge mixture, with an establishment rate of only 19 %, was not convincing. There is a need for further optimization and development regarding species selection, sowing depth, sowing dates and plant management after sowing.

In addition, the provisional tests showed that cultivation of wild garlic between wide rows of young agroforestry systems is possible. Yields were relatively low in the first harvest in 2015, but they increased significantly in 2016. The quality was appealing. No general conclusions can be drawn from these trials. However, the provisional tests are a good guide for future field trials examining these topics.

1 Einleitung

1.1 Einleitung und Zielsetzung

Ein wichtiges Ziel im ökologischen Landbau ist es, die Abhängigkeit von betriebsexternen und nicht erneuerbaren Energiequellen zu vermindern und diese durch regenerative Energieträger zu ersetzen. Aufgrund von zahlreichen Umweltleistungen wie beispielsweise Kohlenstoffsequestrierung (Cardinael et al., 2017; Jose & Bardhan, 2012), Erhöhung der Artenvielfalt (Kaeser et al., 2011) oder Erosionsschutz (Palma et al., 2007) und einer hohen Energieeffizienz (Burger, 2010) eignet sich hier besonders der Anbau von Energieholz in Agroforstsystemen. Dabei werden schnellwachsende, zu Stockausschlag fähige Laubbaumarten streifenförmig in die landwirtschaftlichen Kulturen integriert. In Bayern gibt es bisher noch kaum Erfahrung mit dem Anbau von Energieholz in Kombination mit landwirtschaftlichen Feldfrüchten. Deshalb beschäftigte sich das vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) geförderte Kooperationsprojekt der beiden Bayerischen Landesanstalten für Landwirtschaft (LfL) und für Wald und Forstwirtschaft (LWF) „Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems im ökologischen Landbau zur Energieholzerzeugung“ seit 2009 mit der Entwicklung eines solchen Systems für den ökologischen Landbau unter südbayerischen Standortbedingungen. In einem Teilversuch wurden eine effiziente Etablierung und die Wuchsleistung verschiedener schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im Hinblick auf die Vorgaben des Ökolandbaus (Herbizidverzicht, verringerte Stickstoffversorgung) untersucht. Eine weitere, zentrale Fragestellung des Projektes war der Einfluss mehrreihiger Gehölzstreifen aus schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb auf den Ertrag und die Qualität der dazwischen angebauten landwirtschaftlichen Feldfrüchte und die Ökonomie dieses Systems unter bayerischen Standortbedingungen. Außerdem wurde untersucht, ob in einem Agroforstsystem die Biomasseerzeugung und die Produktivität im Vergleich zur reinen landwirtschaftlichen Nutzung höher sind. Aus der Ertragserfassung in definierten Abständen zu den Baumstreifen sollte zudem der für den Standort optimale Abstand der Baumstreifen ermittelt werden. Eine weitere Fragestellung war die Entwicklung des Humusgehalts in einem Agroforstsystem während einer Umtriebszeit von sieben Jahren sowie die Effekte von Energieholzstreifen auf Schlüsselgruppen der Bodenfauna, den Boden und das Bestandesklima, d. h. das Klima innerhalb oder unmittelbar oberhalb eines Pflanzenbestandes. Im Laufe des Projektes wurden auch verschiedene Tastversuche zur Klärung offener Fragen angelegt. In diesem Rahmen wurden der Anbau von Bärlauch in Energieholzsystemen getestet, Baumarten gesichtet und zur Erhöhung der Biodiversität Untersaatmischungen aus Wald(-saum)arten ausgebracht.

1.2 Übersicht der Teilprojekte und Kooperationen

Eine Besonderheit des Projekts war die erstmalige Kooperation der beiden Bayerischen Landesanstalten für Landwirtschaft (LfL) und für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Seitens der Abteilung Forsttechnik, Betriebswirtschaft, Holz an der LWF wurde federführend der Teilversuch zur „Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“ betreut sowie alle, die Gehölze, die Arbeits- und die Betriebswirtschaft betreffenden, Fragestellungen beantwortet.

Der Teilversuch zur „Wirkung von Energieholzstreifen auf landwirtschaftliche Kulturen“ wurde federführend von der Arbeitsgruppe Koordination Ökologischer Landbau am Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz der LfL geleitet. Die Feldversuche wurden in Zusammenarbeit mit den LfL-Versuchsmannschaften für Spezi-

alversuche am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und der Versuchsstation Neuhoﬀ sowie dem Biolandhoﬀ Braun durchgeführt. An den Teilversuch waren die Teilprojekte zur Untersuchung der Agrarfauna und die bodenkundlichen und mikroklimatischen Erhebungen angegliedert, die von den Arbeitsgruppen Bodentiere, Bodenphysik/Bodenmonitoring und Humushaushalt/Umwelt-Mikrobiologie des Arbeitsbereiches Boden an der LfL bearbeitet wurden. Am Tastversuch zur Bärlauchproduktion in Energieholzstreifen war die Arbeitsgruppe Heil- und Gewürzpflanzen am Institut für Pflanzenzüchtung der LfL beteiligt. Die nachfolgende Abbildung gibt eine Übersicht über die Projektstruktur.

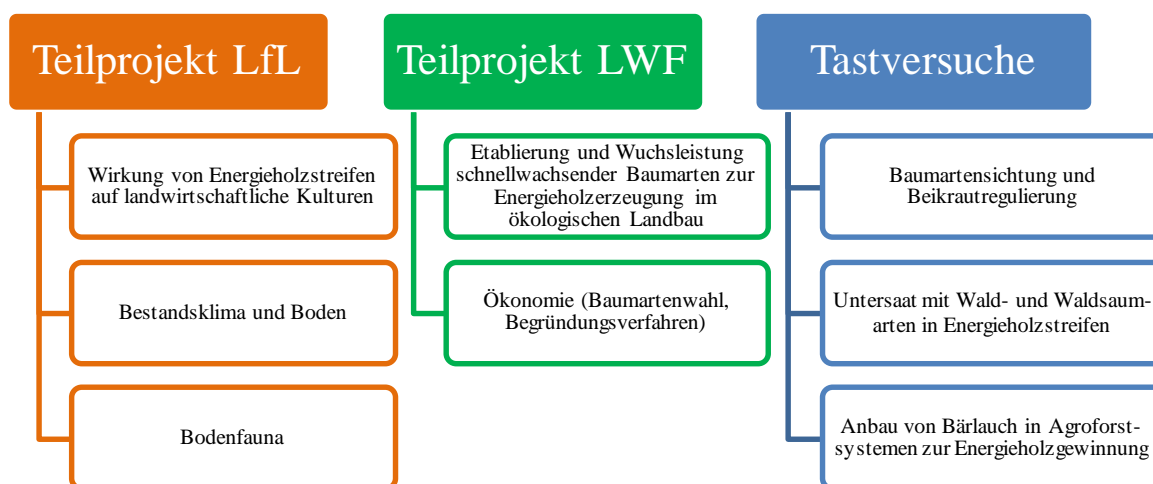


Abbildung 1: Übersicht Teilprojekte und Tastversuche im Projekt „Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“

1.3 Versuchsstandorte

Versuchsstandorte waren ein pfluglos wirtschaftender Bioland-Betrieb in Pulling (Lkr. Freising, 48° 21' 43" N, 11° 42' 50" E) und die LfL-Versuchsstation Neuhoﬀ (Lkr. Donau-Ries, 48°46'41" N, 10°48'9" E). Hier wurde 2009 für das Forschungsprojekt eine Teilfläche auf ökologischen Landbau umgestellt.

Die Versuchsflächen am Neuhoﬀ befanden sich auf 520 m über NN auf der Schwäbischen Alb (Riesalb) im südlichen Jura. Das Mittel der Jahresniederschläge liegt bei 820 mm. Die jährliche Durchschnittstemperatur bei 8,2 °C (Daten des DWD langjähriges Mittel 1981-2010). Die Ackerzahl der Flächen beträgt 60 Punkte. Der Bodentyp ist überwiegend eine Braunerde aus Jura-Verwitterung (z. T. Pseudogleye aus Lösslehm bzw. Decklehm). Die Bodenart des Teilversuchs der LfL ist ein schluffiger Lehm bzw. schluffiger Ton, wobei der südliche Teil der Versuchsfläche tendenziell leicht höhere Tongehalte aufweist. Im LWF-Versuch ist der Schluffgehalt etwas geringer (schwach und mittel toniger Lehm). Der Humusgehalt der Krume war zu Versuchsbeginn als mittel humos einzustufen (C_{org} -Gehalt 2009: 1,6 %). Der pH-Wert lag zu Versuchsbeginn bei 6,7.

Der Versuchsstandort in Pulling liegt auf 450 m über NN in der nördlichen Münchner Schotterebene im Boden-Klimaraum Tertiärhügelland Donau-Süd. Das Mittel der langjährigen Jahresniederschläge beträgt 820 mm. Die jährliche Durchschnittstemperatur liegt bei 8,5 °C (Daten des DWD langjähriges Mittel 1981-2010). Die geologische Herkunft der Böden ist das Alluvium. Bodentyp ist fast ausschließlich eine Pararendzina (Teilversuch LfL) bzw. im Übergang zu einem kalkhaltigen Gley (Teile des Teilversuchs LWF) jeweils

über Schotter. Die Bodenart ist als schluffiger Lehm anzusprechen (Teilversuch LfL und Teilversuch LWF). Die Ackerzahl der Flächen liegt bei 54 Punkten, der pH-Wert lag zu Versuchsbeginn bei 7,4. Die Böden sind in der Krume stark humos mit einem sehr hohen über standorttypischen Humusgehalt (C_{org} -Gehalt 2009: 4,0 %).

1.4 Witterungsverläufe im Versuchszeitraum (2009-2016)

Die Feldversuche wurden im April 2009 bei sehr trockener, warmer und sonnenscheinreicher Witterung ohne Spätfröste begründet. Auch die Versuchsjahre 2010 bis 2015 waren geprägt von überdurchschnittlich trockenen Frühjahren. Im Mai 2011 und 2012, Juli 2013, Juni 2014 sowie Juli und August 2015 kam es zu teils extremer Trockenheit bei hohen Temperaturen. Diese ausgeprägten Trockenphasen wechselten sich in diesen Versuchsjahren in den (Früh-)Sommermonaten mit unbeständiger und überdurchschnittlich niederschlagsreicher Witterung ab, die teilweise zu Staunässe führte.

Abbildung 2 zeigt die Durchschnittswerte von Temperatur und Niederschlag der Versuchsjahre 2009-2016 für den Standort Neuhof (LfL-Agrarmeteorologie, Standort Neuhof). Für den Zeitraum seit der Begründung des Agroforstsystems 2009 bis zum Versuchsende 2016 wurden an der Wetterstation im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (Daten des DWD, langjähriges Mittel 1981-2010) in Neuhof deutlich geringere Jahresniederschläge (Differenz 110 mm) und um 0,8 °C höhere Jahresdurchschnittstemperaturen erreicht.

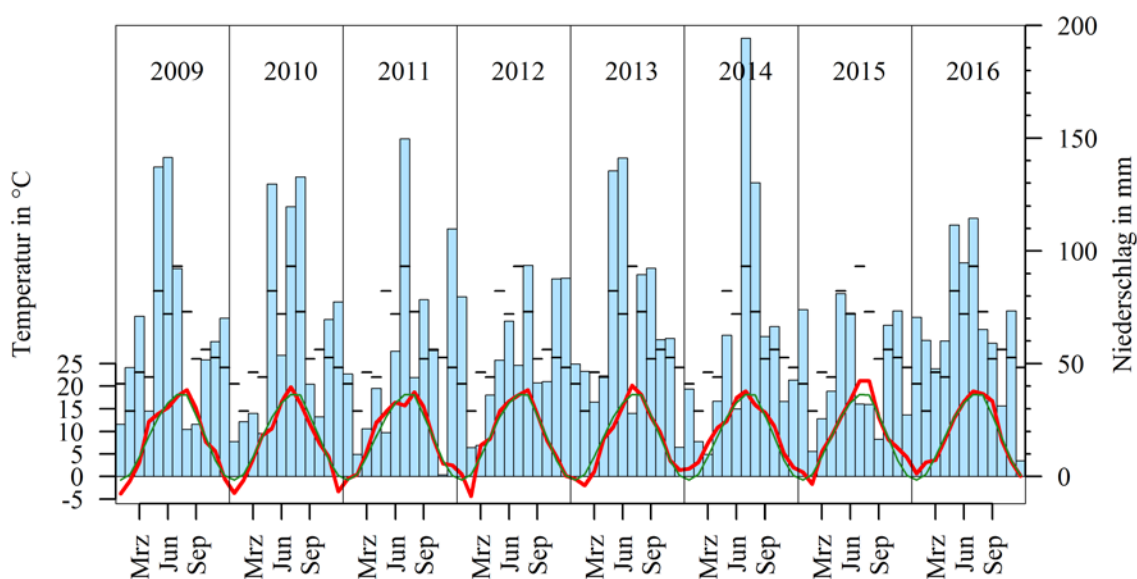


Abbildung 2: Witterungsverlauf Standort Neuhof (Daten der LfL-Agrarmeteorologie Station Neuhof; rote Linie: Monatsmittelwerte der Temperatur in 2 m Höhe; grüne Linie Mitteltemperatur der Wetterstation 1992-2016 in 2 m Höhe; blaue Balken: Monatsniederschlagssumme; schwarze Striche: mittlere Monatsniederschläge der Wetterstation 1995-2016)

Abbildung 3 zeigt den Witterungsverlauf für den Standort Pulling (LfL-Agrarmeteorologie, Standort Pulling) für die Versuchsjahre 2009-2016. Im Vergleich zum langjährigen Mittel (Daten des DWD, langjähriges Mittel 1981-2010) wurden im Mittel ähnliche Jahresniederschläge (830 mm) und etwa 0,3 °C höhere Jahresdurchschnittstemperaturen erreicht.

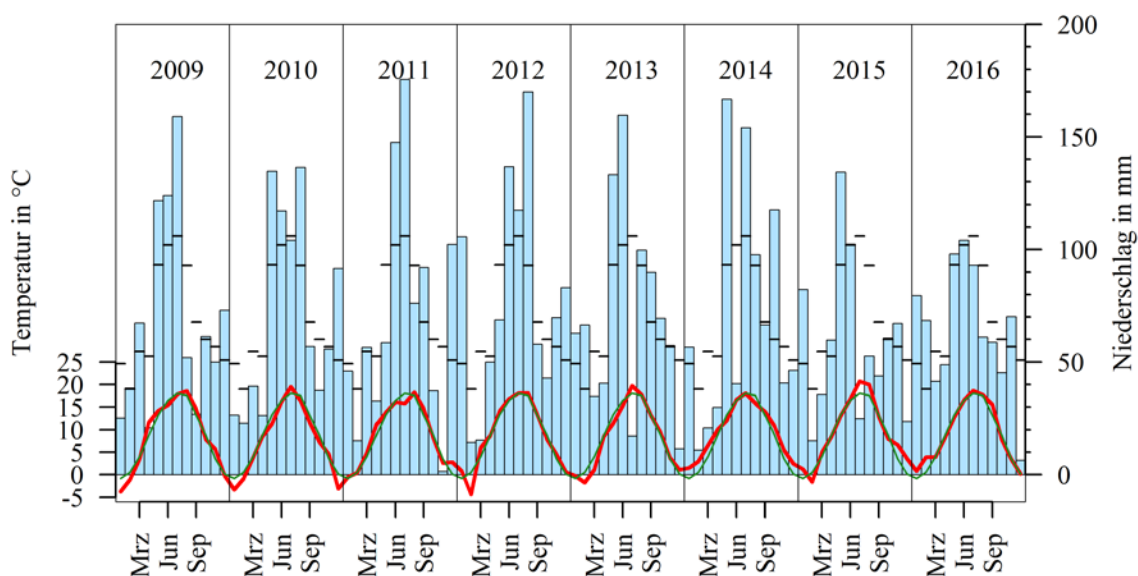


Abbildung 3: Witterungsverlauf Standort Pulling (Daten der LfL-Agrarmeteorologie Station Freising; rote Linie: Monatsmittelwerte der Temperatur in 2 m Höhe; grüne Linie Mitteltemperatur der Wetterstation 1995-2016 in 2 m Höhe; blaue Balken: Monatsniederschlagssumme; schwarze Striche: mittlere Monatsniederschläge der Wetterstation 1995-2016)

2 Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Baumarten zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau

*Andrea Winterling, Klaus Wiesinger, Josef Braun, Frank Burger, Thomas Eckl,
Heiko Höge, Thomas Huber, Martin Schmidt, Simon Tangerding, Herbert Bor-
chert*

2.1 Einleitung und Zielsetzung

Bisher gab es in Deutschland wenig Erfahrung mit dem Anbau von schnellwachsenden Baumarten im ökologischen Landbau. Die Regulierung der Begleitvegetation im ersten Jahr ist entscheidend für den Anbauerfolg. Beschattende Bodenvegetation und Konkurrenz um Wasser etc. kann zu Ausfällen und Wachstumsverzögerung führen. In der konventionellen Landwirtschaft wird zur Etablierung eine Kombination aus mechanischer und chemischer Unkrautbekämpfung empfohlen (vgl. KTBL, 2008). Da Herbizide in der ökologischen Landwirtschaft nicht zugelassen sind, war die Unkrautregulierung eine wesentliche Komponente dieses Teilversuchs. Eine weitere Fragestellung war die nach der Baumartenwahl im ökologischen Landbau. Der Teilversuch sollte deshalb Aufschluss darüber geben, welche schnellwachsenden, zu Stockausschlag fähigen Baumarten sich für die holzige Biomasseproduktion in einem Agroforstsystem zur Energiegewinnung im ökologischen Landbau eignen und wie ein solches, ohne die Verwendung von Herbiziden, kostengünstig begründet werden kann.

In diesem Teilversuch sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Anwuchserfolg und Wuchsleistung von im konventionellen Energieholzanbau üblichen Hybridpappelklonen im Vergleich zu heimischen Baumarten unter den gegebenen standörtlichen Bedingungen in einer Umtriebszeit von sieben Jahren
- Anwuchsverhalten und Wuchsleistung von Balsampappelhybriden auf einem Standort mit einem pH-Wert > 7 (Teilversuchsfläche Pulling)
- Wirksamkeit, Kosten und Arbeitsaufwand von verschiedenen Untersaaten und einer Mulchfolie (biologisch abbaubar, aus nachwachsendem Rohstoff hergestellt) zur Begleitvegetationsregulierung als Alternative zur üblichen Herbizidbehandlung in konventioneller Bewirtschaftung

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

Im April 2009 wurden an den Standorten Pulling und Neuhof zwei Exaktversuche in Form einer zweifaktoriellen Streifenanlage mit fünf Wiederholungen angelegt (Abbildung 4). Geprüft wurden die beiden im bayerischen Energieholzanbau üblichen Hybrid-Pappelklone 'Max 1' und 'Max 3' – Kreuzungen aus der Balsampappel (*Populus maximowiczii*) und der Schwarzpappel (*Populus nigra*) – sowie die heimischen Baumarten Grau- und Schwarzerle. Es wurden auch Versuchparzellen mit der Gemeinen Esche (*Fraxinus excelsior*) bepflanzt, die jedoch am Ende der ersten Vegetationsperiode aufgrund eines Befalls

mit Eschentriebsterben gerodet werden mussten. Die Lücken im Versuch wurden 2010 durch Silberweide (*Salix alba*) ersetzt.

Eine Parzelle war 75 m² groß und bestand aus vier Reihen mit jeweils zehn Bäumen, welche in einem Verband von 1,5 m x 1,25 m gesetzt wurden. Die Erlen wurden als bewurzelt Material mit dem Hohlspaten gepflanzt. Bei den beiden Pappelklonen wurden nach Bohrung eines Pflanzlochs 20 cm lange Steckhölzer mit dem Steckeisen ebenerdig abgesteckt, sodass ein guter Bodenschluss gewährleistet war.

Zur Beikrautregulierung wurden nach der mechanischen Bodenvorbereitung mit Pflug und Kreiselegge kurz vor dem Stecken bzw. Setzen der Bäume vier verschiedene Untersaaten (Gelb-, Weißklee, Winterroggen als Frühjahrssaat, Leindotter) ausgesät und eine selbstabbaubare Mulchfolie (Mater-Bi/Örlemans, 15 µm, schwarz) auf der Basis von Maisstärke ausgebracht. Die Untersaaten und die Folienabdeckung wurden mit einer Kontrollvariante verglichen, bei der, abgesehen von der mechanischen Bodenvorbereitung, keine Beikrautregulierung durchgeführt wurde. Darüber hinaus gab es im gesamten Versuchszeitraum in allen Varianten keine weitere Unkrautbekämpfung.

Im April 2010 wurden sämtliche Ausfälle nachgepflanzt. Die Ausbesserung erfolgte mit aus derselben Baumschule zugekauftem Material, analog zur Vorgehensweise bei der Pflanzung 2009. Die Umtriebszeit der Bäume betrug sieben Jahre. Die motormanuelle Energieholzernte fand im Winter 2015/2016 statt.



Datenquelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de

Abbildung 4: Versuchsplan, Standort Neuuhof

2.2.2 Erhebungen

Alle Erhebungen wurden zur besseren Vergleichbarkeit an beiden Standorten nach dem gleichen Schema und mit möglichst geringem zeitlichem Abstand durchgeführt. Im Anlagejahr wurde der prozentuale Anwuchs- bzw. Austrieberfolg durch die Kontrolle jedes einzelnen Pflanzplatzes festgestellt. Zudem wurde die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen zur Regulierung der Begleitvegetation an fünf Terminen in regelmäßigen Abständen über die erste Vegetationsperiode hinweg erfasst. In den Folgejahren wurde die Entwicklung der Begleitvegetation an vier Terminen, verteilt über die Vegetationszeit, aufgenommen. Die Wuchsleistung der Bäume wurde jeweils im Winter anhand einer 40 %-Stichprobe durch die Bestimmung der Höhe und des Brusthöhendurchmessers (1,3 m) sämtlicher Triebe je Stock sowie des Wurzelhalsdurchmessers (0,1 m) gemessen. Im Kernbereich jeder Parzelle wurden dazu 16 Messbäume mit Pflanztermin im Jahr 2009 markiert, sodass eine genaue Bestimmung der jährlichen Zuwachsraten möglich war. Im Winter 2013 konnten am Standort Neuhof keine Wuchsleistungsmessungen durchgeführt werden, da die Bäume aufgrund eines Sturmschadens umgebogen waren. Im Verlauf der Vegetationsperiode 2014 richteten sie sich wieder auf, sodass ab dem Winter 2014/2015 wieder Messungen möglich waren.

Die Ernte der Bäume fand nach sieben Vegetationsperioden im Winter 2015/2016 statt (Abbildung 5). Je Baumart wurden über alle Parzellen und Wiederholungen 60 Bäume motormanuell geerntet, vermessen (Höhe, Brusthöhendurchmesser) und mit einer an die Frontlader-Gabel eines Traktors angehängten Waage gewogen. Nach der Gewichtsfeststellung wurden die Bäume haufenweise abgelegt und anschließend kranbeschickt gehackt. Zur Bestimmung der Trockensubstanz wurden baumartenspezifisch 20 Hackschnitzelproben entnommen und diese nach der DIN-Norm EN ISO 18134-2:2015 (DIN Norm EN ISO 18134-2:2015, 2015) im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Die Ermittlung des oberirdischen Biomasseertrages erfolgte anschließend über das Massenlinienverfahren nach KOPETZKY-GERHARDT (Kramer & Akca, 1995). Dieses basiert auf der linearen Beziehung zwischen dem Volumen und der Grundfläche eines Baumes. Da die Masse über die Holzdichte linear mit dem Volumen zusammenhängt, kann diese Beziehung auch zur direkten Ermittlung der Masse aus der Grundfläche mittels Regression herangezogen werden.

Die erhobenen Daten wurden in PIAF (Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für Feldversuche) erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem über eine Datenschnittstelle an PIAF angebundenen Programm SAS 9.3. Die Daten wurden mit der SAS-Prozedur PROC Mixed mit Student-Newman-Keuls-Test (SNK-Test) verrechnet. Am Standort Pulling wurde ab 2011 ein Bodentrendmodell angewendet, um festgestellte Bodenunterschiede auszugleichen. Boniturdaten (Schätzwerte) wurden nicht verrechnet und werden nur deskriptiv dargestellt.



Abbildung 5: Ermittlung des oberirdischen Biomasseaufwuchses der Bäume in Pulling durch motormanuelle Ernte (links oben), Vermessung (rechts oben), Wiegen (links unten) und Hacken zur Ermittlung der Trockensubstanz (rechts unten)

2.2.3 Ökonomie

Da es sich bei Kurzumtriebsplantagen um Dauerkulturen mit im Zeitablauf sehr unterschiedlichen Zahlungsströmen handelt, wurde die Vorteilhaftigkeit der Anbauvarianten mit Hilfe der Annuitätenmethode berechnet. Dabei werden die Ein- und Auszahlungen während des gesamten Investitionszeitraums auf den Beginn diskontiert und aus dem Kapitalwert die Annuität berechnet. Es wurde mit einem Zinssatz von 2 % kalkuliert. Vier Ernten mit Umtriebszeiten (Rotationen) von je sieben Jahren wurden angenommen. Dies ergibt eine Standzeit von 28 Jahren. Für das 29. Jahr wurde die Rekultivierung angenommen. Als Kosten für die Rekultivierung wurden 2.000 €/ha angesetzt, ein Betrag der zwischen den von STOLL et al. (2016) beschriebenen Kosten von 2.047 € bzw. 1.880 € brutto liegt.

Die Erträge sind nur für den ersten Umtrieb bekannt. Die Anbauerfahrungen zeigen, dass die Erträge ab der zweiten Ernte regelmäßig zum Teil deutlich größer sind als bei der ersten Ernte (Burger et al., 2012). Die höchsten Holzerträge bei der ersten Ernte wurden bei allen Baumarten bzw. Sorten dann erzielt, wenn die Beikräuter anfangs durch eine Mulchfolie unterdrückt wurden. Es ist unwahrscheinlich, dass sich die höhere Ertragsleistung bei der Mulchfolie auch nach der ersten Ernte noch fortsetzen wird. Es wurde deshalb für die folgenden Umtriebe angenommen, dass bei allen Varianten der Beikrautregulierung die

Holzerträge mit Mulchfolie des ersten Umtriebs zuzüglich einer Ertragssteigerung von 10 % erzielt werden.

Die Materialkosten (Pflanzgut, Saatgut, Folie) und die Pflanzungskosten (Unternehmerleistung) entsprechen den tatsächlichen Kosten. Für das Auslegen der Folie wurde der in einer Zeitstudie gemessene Arbeitsaufwand herangezogen und mit variablen Lohnkosten von 11,50 €/AKh bewertet. Der Arbeitszeitaufwand bei der Bodenbearbeitung und Aussaat sowie die Maschinenkosten wurden mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitsrechners kalkuliert (www.ktbl.de). Es wurde ein Pflug mit vier Scharen und 1,6 m Arbeitsbreite eingesetzt, der in Pulling von einem 96 kW-Schlepper und in Neuhof von einem 88 kW-Schlepper gezogen wurde. Das Eggen erfolgte auf einer Arbeitsbreite von 2,5 m. Es wurden aus dem KTBL-Feldarbeitsrechner jeweils die Verfahren herangezogen, die den tatsächlichen am nächsten kamen bzw. Mittelwerte aus den zwei ähnlichsten Verfahren gebildet. Der Zeitaufwand für die Maschinenarbeiten wurde mit fixen Lohnkosten von 17,50 €/AKh bewertet. Die Ernte wurde motormanuell durchgeführt, die Bäume vorkonzentriert und mit einem kranbeschickten Hacker mittlerer Größe gehackt. Für die motormanuelle Fällung und das Vorkonzentrieren wurde die von BURGER (2010) beschriebene Leistung von 1,6 Tonne_{atro}/Std. Gesamtarbeitszeit unterstellt, da diese eher der über einen längeren Zeitraum möglichen Leistung entsprechen dürfte. Auf das Vorkonzentrieren mit einem Schlepper mit Frontlader entfallen danach 28 % der Arbeitszeit. Dabei wurden die Maschinenkosten eines 67 kW Schleppers nach KTBL und fixe Lohnkosten für die Arbeit mit der Maschine wie oben angenommen. Für das Hacken wurde Unternehmerleistung angenommen. Die Produktivität wurde mit der von KUPITZ et al. (2015) hergeleiteten Formel $SRm/MAS = 0,2823 \times kW^{0,9571}$ kalkuliert, wobei ein Hacker von 150 kW Leistung sowie 160 €/MAS unterstellt wurden. Für den Hackschnitzeltransport zum Hof wurde wiederum Eigenleistung unterstellt und die Arbeitszeit und Maschinenkosten mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitsrechners kalkuliert.

Für den Einsatz der materiellen Betriebsmittel (z. B. Pflanzen) werden keine Zinskosten veranschlagt.

Für die Hackschnitzel wurde ein Erlös von 110 €/t_{atro} unterstellt. Nach C.A.R.M.E.N. e.V. (2018) lag der Preis für Waldhackschnitzel 2017 im Süden Deutschlands bei 80,50 Euro pro Tonne bei einem Wassergehalt von 35 %, was einem Preis von 124 €/t_{atro} entspricht. Die Erhebung von C.A.R.M.E.N. e.V. stützt sich allerdings auf Angebotspreise von Hackschnitzellieferanten. Nach TUROWSKI (2018) wurde bei einer Ausschreibung für die Versorgung eines staatlichen Heizwerks ein Preis von 80 €/t bei einem Wassergehalt von 30 % erzielt, was umgerechnet 114 €/t_{atro} sind. Da KUP-Hackschnitzel nach den Verbrennungseigenschaften eher ein schwieriger Brennstoff sind (Kupitz & Dietz, 2018) wird hier mit 110 €/t_{atro} ein etwas niedrigerer Preis angesetzt.

Wie bei der Berechnung eines Deckungsbeitrags, wird zunächst die Annuität für die Leistung abzüglich der variablen Kosten berechnet. Da für die großen Kostenbestandteile die Arbeitserledigung durch Fremdleistung angenommen wurde, wird bei dieser Berechnung bereits ein Großteil der Kosten berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeit eines Produktionsverfahrens lässt sich unabhängig von den Eigentumsverhältnissen an den Arbeitsmitteln (Eigen- oder Fremdleistung) beurteilen, wenn auch die fixen Arbeitserledigungskosten berücksichtigt werden. Aus diesem Grund werden die Annuitäten schließlich auch mit Berücksichtigung der fixen Kosten (Maschine und Löhne) dargestellt. Einzig an dieser Stelle werden auch kalkulatorische Kosten berücksichtigt, das sind die Zinskosten für die Ma-

schine und der Lohnansatz für die eigene Arbeitskraft. Einzelkosten, wie Pacht oder Grundsteuer, sowie allgemeine Kosten, wie Verwaltungskosten, die nicht den einzelnen Produktionsverfahren zugeordnet werden können, werden nicht betrachtet. Es wird also lediglich die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung in Form einer Annuität dargestellt.

2.2.3.1 Arbeitsvorgänge

Pulling

06.04.2009 Pflug (Bearbeitungstiefe 20 cm).

07.04.2009 Kreiselegge (Bearbeitungstiefe 4 cm).

08.04.2009: Aussaat Untersaaten (Säbreite 2,50 m, Reihenabstand 6 cm); Ausbringen der Mulchfolien Mater-Bi und Örlmans: 15 µ, Breite 1,4 m, Länge pro Rolle 1.000 m, 1 Rolle 209,44 € incl. MwSt. (195,74 € Netto), Dauer mit 4 Arbeitskräften: 3 Minuten für eine 25 m-Bahn. Umlegen der Folienrolle ist eingerechnet. Die Bahnen wurden flächig mit 10 cm Überlappung zweier Folienbahnen ausgelegt.

Tabelle 1: Materialkosten Untersaaten

	Gelbkle	Weißkle	Winterroggen	Leindotter
Menge (kg/ha)	19,13	11,37	144,00	8,43
Stückkosten (€/kg)	6,45	4,50	1,40	6,50
Summe (€/ha)	123,39	51,17	201,60	54,80

22.04.2009 Pflanzung: Forstunternehmen mit eigener land- und forstwirtschaftlicher Ausrüstung zu 0,20 €/Steckling (20 cm) mit Steckeisen und 0,35 €/Stück Erlen mit Hohlspatenpflanzung, zuzüglich 19 % MwSt.; Bestandesdichte 5.333 Pflanzen/ha im Verband 1,25 m x 1,5 m; Pflanzenkosten: Pappelstecklinge 0,23 €/Stück, wurzelnackte Pflanzen Schwarzerle 1/1 50-80 cm zu 0,584 €/Stück und Grauerle 1/0 50-80 cm zu 0,34 €/Stück, zuzüglich 7 % MwSt.

10.11.2009 Aufstellen Sitzstangen für Greifvögel (Mäusebekämpfung).

Frühjahr 2010 Nachpflanzung der Ausfälle (Nachbesserung): Forstunternehmen wie oben, Steckrutenpflanzung (Pappelklone) mit 0,20 €/Stück + MwSt. und Hohlspatenpflanzung (Grauerle, Schwarzerle) mit 0,35 €/Stück + MwSt.; Pflanzenkosten: Setzruten zu 0,86 €/Stück, Schwarzerle 1/1 80-120 cm zu 0,75 €/Stück und Grauerle 1/1 80-120 cm zu 0,94 €/Stück, incl. 7 % MwSt.

Tabelle 2: Ausfälle gepflanzter Bäume im Anlagejahr 2009 in Pulling

Baumart/Sorte	Begleitvegetationsregulierung					
	Kontrolle	Gelbkle	Weißkle	Winterroggen	Leindotter	Folie
Pappel 'Max 1'	1,7%	9,3%	2,2%	0,7%	4,0%	0,0%
Pappel 'Max 3'	0,5%	2,3%	0,7%	1,7%	1,3%	1,8%
Grauerle	14,7%	24,0%	14,0%	8,3%	17,3%	19,0%
Schwarzerle	36,0%	21,9%	20,7%	28,3%	20,0%	23,3%

Neuhof

22.04.2009 Pflug (Bearbeitungstiefe 28 cm).

23.04.2009 Kreiselegge (Bearbeitungstiefe 8 cm), Aussaat Untersaaten, Ausbringen Mulchfolie (vgl. oben).

26.04.2009 Pflanzung: Forstunternehmen wie in Pulling, Kosten und Verfahren wie dort.

01.11.2009 Aufstellen Sitzstangen für Greifvögel (Mäusebekämpfung).

Frühjahr 2010 Nachpflanzung der Ausfälle: Kosten und Verfahren wie in Pulling.

Tabelle 3: Ausfälle gepflanzter Bäume im Anlagejahr 2009 in Neuhof

Baumart/Sorte	Begleitvegetationsregulierung					
	Kontrolle	Gelbklee	Weißklee	Winterroggen	Leindotter	Folie
Pappel 'Max 1'	4,5%	10,7%	2,7%	0,7%	3,3%	1,0%
Pappel 'Max 3'	3,3%	11,3%	5,2%	4,3%	2,7%	3,2%
Grauerle	16,0%	20,0%	11,3%	16,0%	13,5%	11,3%
Schwarzerle	27,3%	28,0%	29,5%	28,7%	31,5%	24,7%

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Wirksamkeit Beikrautregulierung

Abbildung 6 zeigt die Mittelwerte der Erhebungen zur Wirksamkeit der Beikrautregulierung über alle fünf Boniturtermine im Anlagejahr 2009. Am Standort Neuhof war die Verunkrautung insgesamt etwas stärker ausgeprägt als am Standort Pulling. Sowohl die Untersaaten als auch die Folie haben den Deckungsgrad der natürlichen Begleitvegetation im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle mit 80 % Beikrautdeckungsgrad am Neuhof und 66 % in Pulling an beiden Standorten deutlich verringert. Gelbklee hatte mit einer Reduzierung des Unkrautbesatzes um rund 90 % die stärkste Beikraut unterdrückende Wirkung, gefolgt von Leindotter mit 76 % bzw. 68 % Reduzierung. Bei Winterroggen und Weißklee war im Mittel rund 30 % der Parzellen mit Beikraut bedeckt und damit der Deckungsgrad ebenfalls um mehr als 50 % reduziert. Bei der Variante mit Folie war mit über 70 % unbedecktem Boden der höchste Anteil ohne Bewuchs festzustellen.

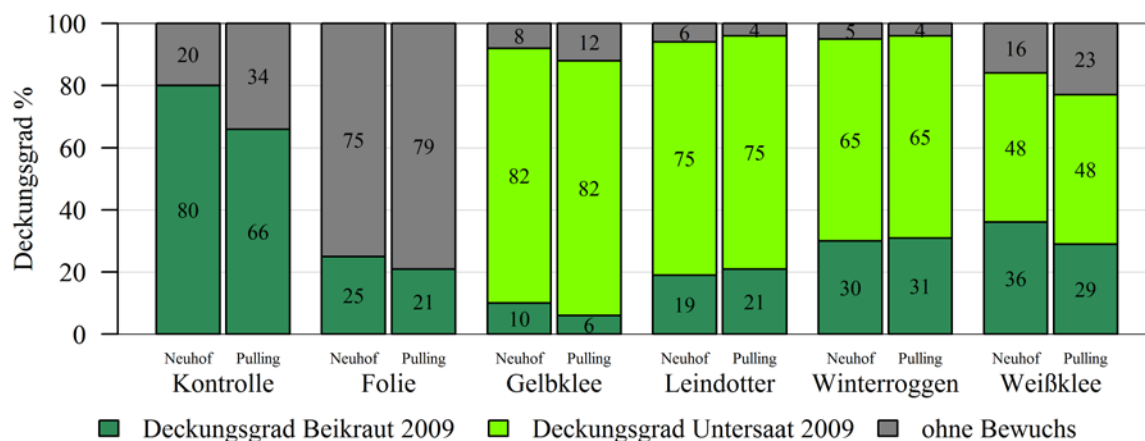


Abbildung 6: Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen zur Beikrautregulierung im Etablierungsjahr im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle

Insgesamt zeigte sich an beiden Standorten mit einem Rückgang krautiger Vegetation (ubiquitäre Arten der Segetal- und stickstoffliebenden Ruderalfluren) und der Zunahme von Gräsern und von Sträuchern, wie Brombeere (Neuhof) sowie Hartriegel und Holunder (Pulling), eine einheitliche Entwicklungstendenz. Am Standort Neuhof waren in den Erlen-Parzellen vermehrt Brennnesseln zu finden (Abbildung 7, links). Dies liegt vermutlich an der Symbiose der Erlen mit Bakterien, die Stickstoff aus der Luft binden, und einem daraus resultierenden höheren Stickstoffangebot als in den Pappelparzellen. Die im ersten Jahr als Untersaat eingesäten Arten waren nach dem ersten Versuchsjahr weitgehend verschwunden. Aufgrund der Schattenwirkung der Bäume wuchs ab dem fünften Versuchsjahr in den Versuchspartellen kaum bzw. kein Beikraut mehr (Abbildung 7, rechts). Es kam zu keinem spontanen Auftreten geschützter Arten.



Abbildung 7: Schwarzerle mit Brennnesselunterwuchs 2015 (links), Beikrautdeckung Pappelparzelle 2013 (rechts), Standort Neuhof

2.3.2 Wuchs- und Ertragsleistung

Die Ergebnisse der Versuchsjahre 2009-2016 zeigen für beide Standorte ein ähnliches Bild in Bezug auf die nachfolgend vorgestellten Erhebungen.

Der Austriebserfolg der Pappeln (Stecklinge) war mit 95 % bis 99 % signifikant höher als der Anwuchserfolg der Erlen (wurzelnackte Pflanzen) (Tabelle 4). Die Grauerle wies mit 85 % bzw. 84 % einen signifikant höheren Anwuchserfolg als die Schwarzerle (72 % bzw. 75 %) auf.

Tabelle 4: Anwuchs-, Austriebserfolg 2009 nach Baumarten. Verschiedene große (Pulling) bzw. kleine Buchstaben (Neuhof) = signifikante Unterschiede (SNK -Test, $p < 0,05$)

	Pappel 'Max 1'	Pappel 'Max 3'	Grauerle	Schwarzerle
Neuhof	96 % A	95 % A	85 % B	72 % C
Pulling	97 % a	99 % a	84 % b	75 % c

In Bezug auf die Beikrautregulierung gab es in Neuhof einen signifikanten Unterschied zwischen dem Anwuchs- bzw. Austriebserfolg der Bäume auf Folie und der Variante mit Gelbklee als Untersaat. In Pulling unterschieden sich die Varianten nicht signifikant (Tabelle 5).

Tabelle 5: Anwuchs-, Austriebserfolg 2009 nach Varianten der Begleitvegetationsregulierung. Verschiedene große Buchstaben = signifikante Unterschiede (Neuhof), n. s. = nicht signifikant (Pulling) (SNK-Test, $p < 0,05$)

	Folie	Weißklee	Winterroggen	Leindotter	Ohne	Gelbklee
Neuhof	90 % A	88 % AB	88 % AB	87 % AB	87 % AB	83 % B
Pulling	89 % n. s.	91 %	90 %	89 %	87 %	86 %

Der Vergleich der verschiedenen Baumarten zeigt für beide Standorte, dass die Pappelsorte 'Max 3' mit 10 m bzw. 12 m in der ersten Umtriebszeit hinsichtlich der Wuchshöhe (höchster Trieb) am besten abschnitt, gefolgt von 'Max 1' mit 9,7 m bzw. 10,3 m und der Grauerle mit 8,8 m bzw. 9,5 m – jeweils mit statistischen Unterschieden. Die Schwarzerle war mit einer Höhe von 7,2 m bzw. 6,6 m signifikant am niedrigsten (Abbildung 8 und Abbildung 9).

Betrachtet man die Wuchsleistung in Hinblick auf die verschiedenen Varianten zur Beikrautregulierung, schnitten am Neuhof die Bäume auf Folie mit knapp 10 m signifikant am besten ab. Auf Gelbklee waren die Bäume am niedrigsten (8,5 m) – verglichen mit den Bäumen auf Mulchfolie, der unbehandelten Kontrolle und den beiden Untersaaten Winterroggen und Leindotter mit einer Wuchshöhe von rund 9 m.

Am Standort Pulling waren die Bäume auf Folie mit 10 m signifikant höher als in den Varianten mit Kleeuntersaat. In der Kontrolle (9,8 m), sowie in den Untersaatvarianten mit Winterroggen und Leindotter (9,6 m) und Weißklee (9,4 m) waren die Bäume signifikant höher als auf Gelbklee (9,1 m).

Die Analyse der jährlichen Höhenzuwächse zeigte für den Standort Neuhof für die ersten vier Jahre eine höhere Wachstumsrate der Pappeln im Vergleich zu den Erlen (Abbildung 8, Abbildung 10 oben). Ab der fünften Vegetationsperiode glichen sich die Zuwächse der verschiedenen Baumarten aneinander an, was besonders in Abbildung 10 (oben) deutlich wird.

Grau- und Schwarzerle zeigten 2014 sogar höhere Zuwächse als die Pappeln, mit statistischen Unterschieden zwischen der Schwarzerle und den beiden Pappelsorten sowie zwischen der Grauerle und 'Max 1'. Im Jahr 2015 waren die Höhenzuwächse zwischen den verschiedenen Baumarten nicht signifikant unterscheidbar.

Wie aus Abbildung 8 ersichtlich, basieren bei den verschiedenen Varianten der Beikrautregulierung die unterschiedlichen Ergebnisse in der Endwuchshöhe auf den Zuwächsen der ersten beiden Vegetationsperioden. Ab der dritten Vegetationsperiode gab es keine statistischen Unterschiede mehr in Bezug auf die jährlichen Zuwächse, mit Ausnahme eines signifikant geringeren Zuwachses der Bäume auf selbstabbaubarer Mulchfolie 2012. Die jährlichen Zuwächse im Brusthöhen- und im Wurzelhalsdurchmesser sind für beide Standorte in den Abbildungen 1 bis 4 im Anhang aufgeführt (Abbildung-A 1,

Abbildung-A 2, Abbildung-A 3, Abbildung-A 4). Die Ergebnisse werden hier jedoch nicht weiter vertieft.

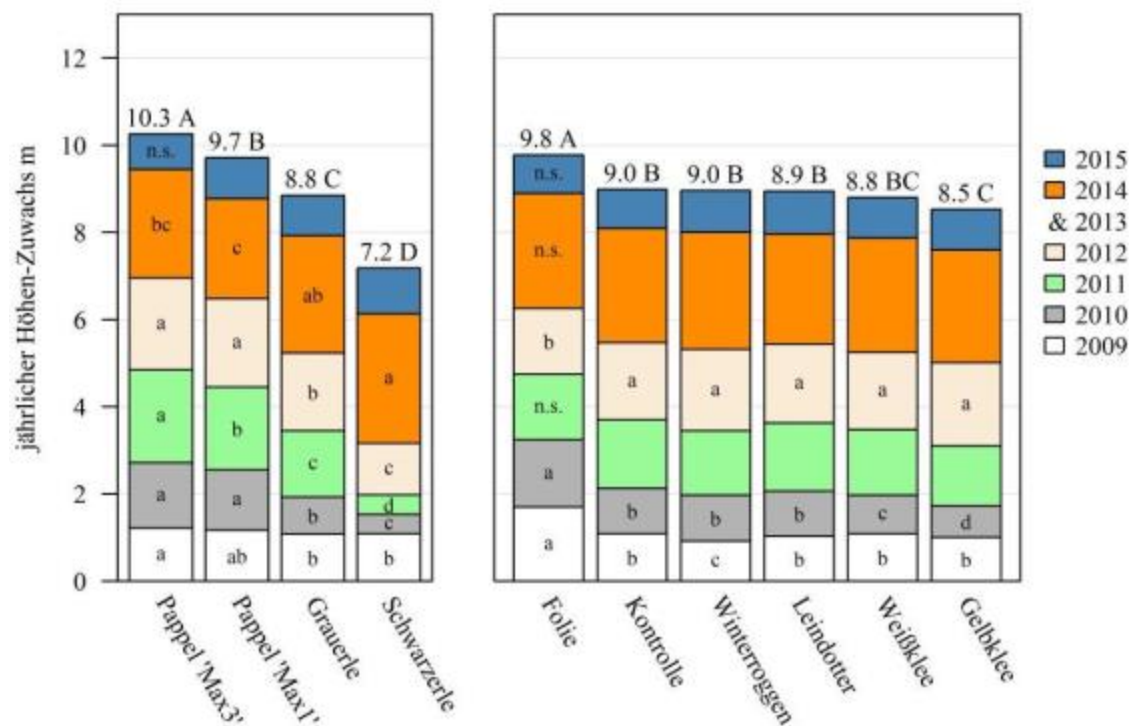


Abbildung 8: Baumhöhe im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Neuhof. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$)

Am Standort Pulling waren die jährlichen Zuwächse im ersten Jahr bei den beiden Pappeln am höchsten. Im zweiten Jahr gab es bei der Grauerle keinen statistischen Unterschied zu 'Max 1'. In den Jahren 2011 und 2012 ließen sich die Höhenzuwächse zwischen beiden Pappelsorten und der Grauerle statistisch nicht voneinander unterscheiden. Bei Betrachtung des laufenden jährlichen Zuwachs in Abbildung 10 (oben) zeigt sich, dass der Zuwachs bei der Grauerle 2011 sogar größer war als der der Pappelsorte 'Max 1' und im siebten Jahr größer als der beider Pappelsorten. 2014 gab es zwischen der Grauerle und 'Max 3' keinen signifikanten Unterschied im Höhenzuwachs. Im Jahr 2015 zeigte die Grauerle sogar einen statistisch absicherbar größeren Höhenzuwachs als die Pappel 'Max 1'. Die Schwarzerle zeigte in den ersten fünf Vegetationsperioden signifikant geringere Zuwächse als die Pappeln. Der Höhenzuwachs war hier zudem, mit Ausnahme des ersten Versuchsjahres, signifikant geringer als bei der Grauerle. In der sechsten Vegetationsperiode gab es keine statistischen Unterschiede im jährlichen Zuwachs im Vergleich zu 'Max 3' und zur Grauerle. Im letzten Versuchsjahr war der Höhenzuwachs der Schwarzerle statistisch nicht von den anderen Baumarten zu unterscheiden. Wie auch am Standort Neuhof zeigten die Bäume auf Folie in den ersten beiden Vegetationsperioden höhere Zuwächse als die Bäume in Untersaatenvarianten und in der Kontrolle. Im Versuchsjahr 2012 waren die Zuwächse auf Winterroggen und Weißklee höher als in den übrigen Varianten. In den restlichen Versuchsjahren gab es keine statistischen Unterschiede im jährlichen Höhenzuwachs.

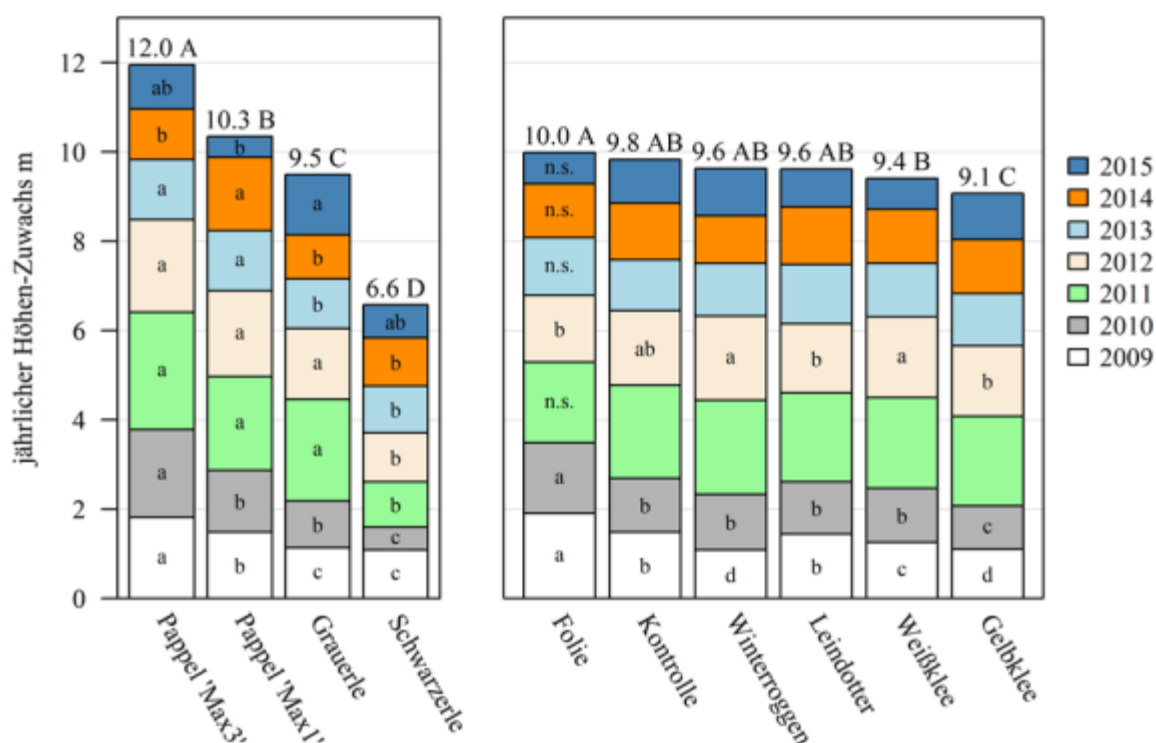


Abbildung 9: Baumhöhe im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Pulling. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. Wuchshöhen 2015/2016 (SNK-Test, $p < 0,05$)

Die durchschnittlichen und die kumulierten Höhenzuwächse waren an beiden Standorten bei 'Max 3' am höchsten, gefolgt von 'Max 1' (Abbildung 10, Mitte und unten). Zwischen den beiden Erlenarten gab es im ersten Jahr keinen Unterschied im Zuwachs. Ab dem zweiten Jahr näherte sich die Grauerle hinsichtlich des durchschnittlichen und des kumulierten Zuwachses an die beiden Pappelsorten an, die Schwarzerle zeigte dagegen deutlich niedrigere Zuwachsraten. Betrachtet man den durchschnittlichen Höhenzuwachs (Abbildung 10, Mitte), steigerte sich dieser bei den beiden Pappeln und der Grauerle am Standort Neuhof bis zum vierten Jahr, am Standort Pulling bis zum dritten Jahr, danach flachte er bei der Grauerle ab bzw. ging bei den Pappeln etwas stärker zurück. Bei der Schwarzerle dagegen erhöhte sich, mit Ausnahme des dritten Wuchsjahres am Standort Neuhof, der durchschnittliche Zuwachs stetig und erreichte in Pulling im sechsten Jahr den Höhepunkt. Auch am Standort Neuhof war der durchschnittliche Zuwachs für den betrachteten Zeitraum im sechsten und im siebten Jahr am höchsten.

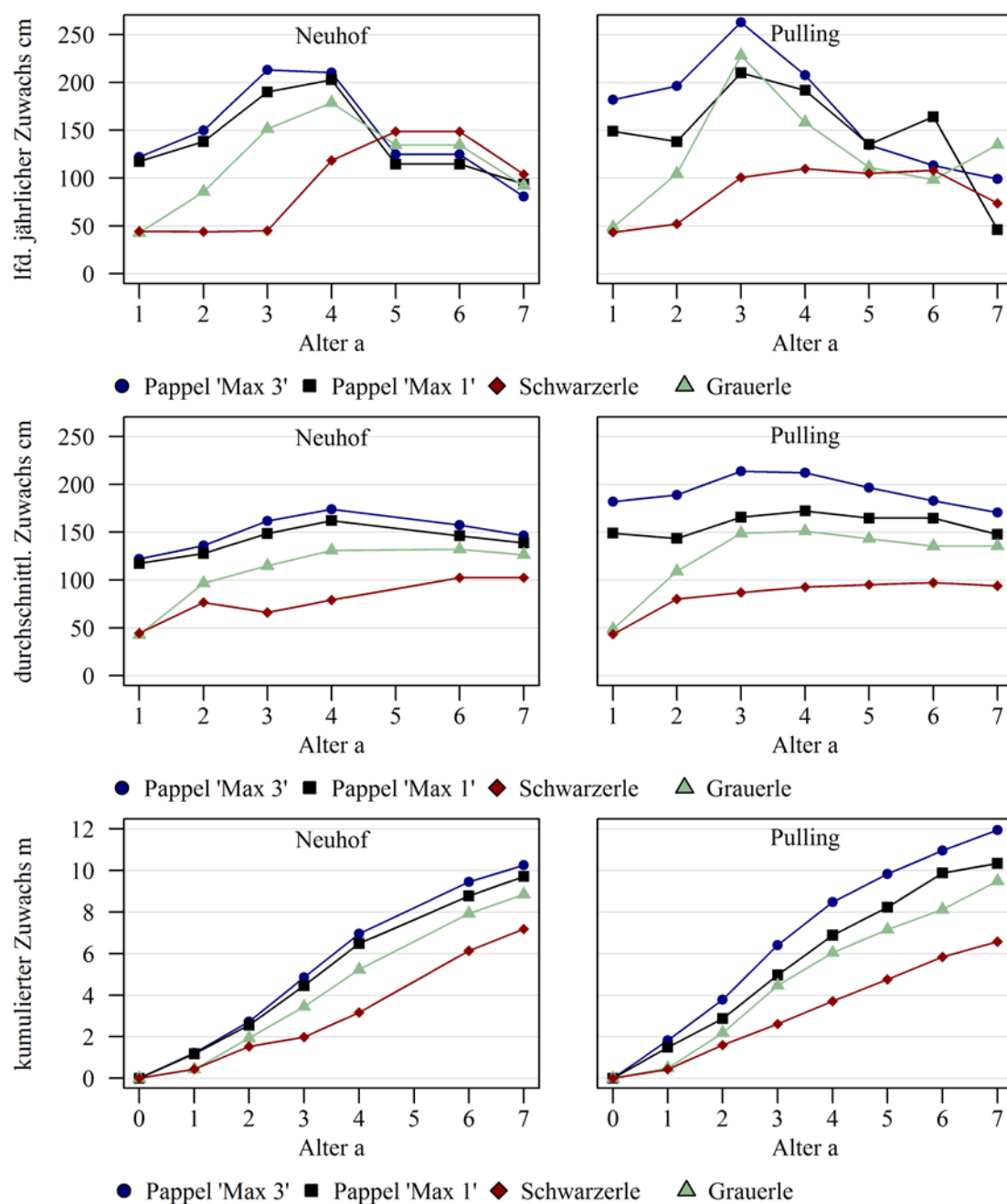


Abbildung 10: Laufender jährlicher (oben), durchschnittlicher (Mitte) und kumulierter Höhenzuwachs (unten) der verschiedenen Baumarten in der ersten Umtriebszeit (2009-2015) an den Standorten Neuhof und Pulling

In Hinblick auf den oberirdischen Biomassertrag zeigten die beiden Pappelsorten nach sieben Vegetationsperioden an beiden Standorten mit Erträgen zwischen $9,2$ und $10,7 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ die höchste Leistung. Die Grauerle erreichte am Standort Neuhof $6,9 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, in Pulling $5,8 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Die Schwarzerle erzielte mit $4,6 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ am Neuhof und $3,8 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ in Pulling die signifikant geringste Ertragsleistung (Abbildung 11).

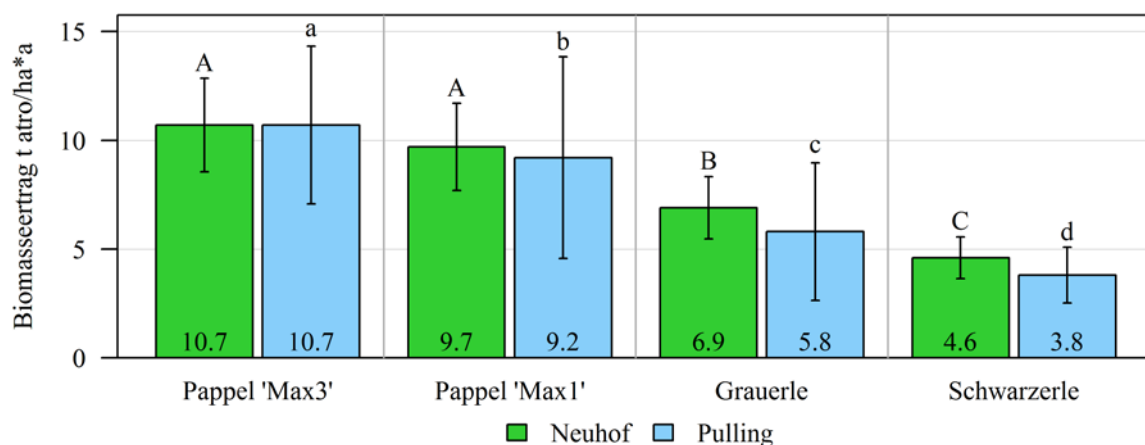


Abbildung 11: Biomasseertrag der Bäume 2015 nach Baumarten. Mittel über alle Varianten der Beikrautregulierung. Verschiedene Groß- bzw. Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. Neuhof bzw. Pulling (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm \text{Standardabweichung}$, Standort Pulling Verrechnung mit Bodentrendmodell

In Bezug auf die Beikrautregulierung hatten die Bäume auf Folie an beiden Standorten mit $10,4 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ am Neuhof und $9,3 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ in Pulling statistisch abgesichert die höchsten Biomasseerträge (Abbildung 12). Die Untersaaten brachten keinen Vorteil im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Am Standort Neuhof waren zwischen den Untersaaten und der unbehandelten Kontrolle mit Erträgen zwischen 7 und $7,8 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ statistisch keine Unterschiede abzusichern. Am Standort Pulling wiesen die Bäume auf Gelbklee im Vergleich zur Variante auf Weißklee mit $7,8 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ und der unbehandelten Kontrolle mit $7,9 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ signifikant geringere Biomasseerträge auf.

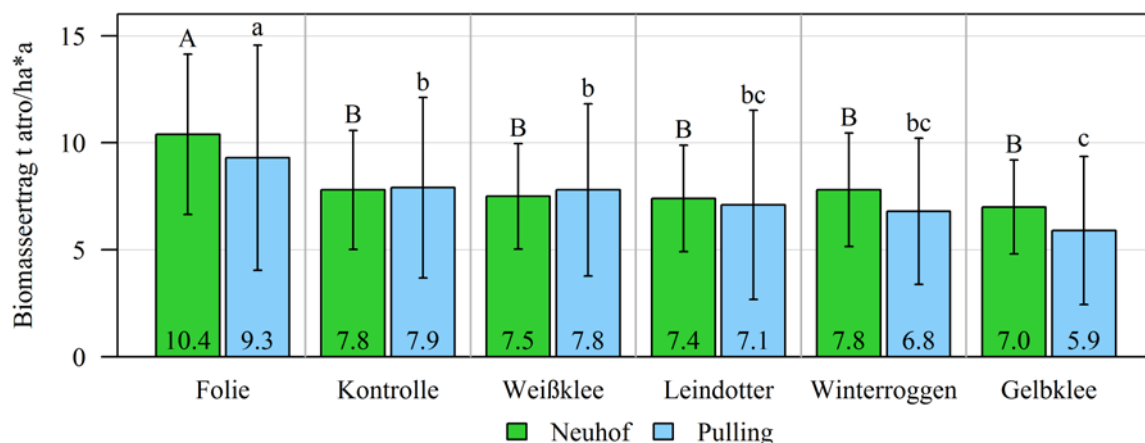


Abbildung 12: Biomasseertrag der Bäume 2015 nach Varianten zur Beikrautregulierung im Etablierungsjahr. Mittel über alle Baumarten. Verschiedene Groß- bzw. Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. Neuhof bzw. Pulling (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm \text{Standardabweichung}$, Standort Pulling Verrechnung mit Bodentrendmodell

Der Wiederaustriebserfolg lag bei den beiden Pappelsorten deutlich höher als bei den Erlen. Die Grauerle zeigte 78 % Austriebserfolg, die Schwarzerle nur 57 % (Tabelle 6). Bei der Grauerle war der Neuaustrieb mit starker Wurzelbrut verbunden. Die Triebe aus Wur-

zelbrut konnten sich in den Folgejahren gegen die Triebe aus den Stöcken nicht behaupten und starben weitgehend wieder ab oder verkümmerten.

Tabelle 6: Wiederaustriebserfolg der verschiedenen Baumarten nach der Energieholzernente im Winter 2015/2016 am Standort Neuhof

Neuhof	Pappel 'Max 1'	Pappel 'Max 3'	Grauerle	Schwarzerle
Anteil Stöcke mit Wiederaustrieb	94 %	94 %	78 %	57 %

2.3.3 Ökonomie

Die Biomasseerträge waren am Standort Neuhof insgesamt etwas höher als in Pulling, was auf die größeren Erträge beider Erlenarten dort zurückzuführen ist (Tabelle 7, Tabelle 8).

Die Ertragsunterschiede zwischen den Baumarten bzw. Sorten waren erheblich, wobei auf beiden Standorten jeweils die Pappelsorte 'Max 3' vor 'Max 1' die höchsten Erträge hatte und erst in weitem Abstand Grauerle und Schwarzerle folgten. Die Variante „Folie“ bei der Beikrautregulierung erbrachte an beiden Standorten die größten Erträge.

Tabelle 7: Biomasseerträge in Pulling in Trockenmasse pro Hektar und Jahr

Baumart bzw. Sorte	Varianten der Beikrautregulierung						Mittelwert
	Folie	Kontrolle	Weißklee	Leindotter	Winterroggen	Gelbklee	
Pappel Max 1	12,38	9,76	8,19	10,49	8,93	4,26	9,00
Pappel Max 3	13,99	11,22	11,13	10,68	8,88	9,13	10,84
Grauerle	7,07	6,94	6,28	3,66	5,2	5,61	5,79
Schwarzerle	4,46	3,51	4,32	3,49	3,85	3,41	3,84
Mittelwert	9,48	7,86	7,48	7,08	6,72	5,60	7,37

Tabelle 8: Biomasseerträge in Neuhof in Trockenmasse pro Hektar und Jahr

Baumart bzw. Sorte	Varianten der Beikrautregulierung						Mittelwert
	Folie	Kontrolle	Weißklee	Leindotter	Winterroggen	Gelbklee	
Pappel Max 1	13,21	8,61	9,43	9,42	9,59	7,93	9,70
Pappel Max 3	14,16	11,18	9,53	9,72	10,33	9,19	10,69
Grauerle	8,41	7,06	6,56	5,95	7,00	6,40	6,90
Schwarzerle	5,68	4,37	4,29	4,63	4,22	4,58	4,63
Mittelwert	10,37	7,81	7,45	7,43	7,79	7,03	7,98

Die Zahlungen während der Standzeit einer Kurzumtriebsplantage werden in Abbildung 13 exemplarisch für die Kontrollfläche der Pappel-Sorte 'Max 3' dargestellt. Die variablen Kosten der Bodenbearbeitung (erste Säule von links) sowie der Nachpflanzung (dritte Säule von links) sind so gering, dass sie im Diagramm kaum aufscheinen.

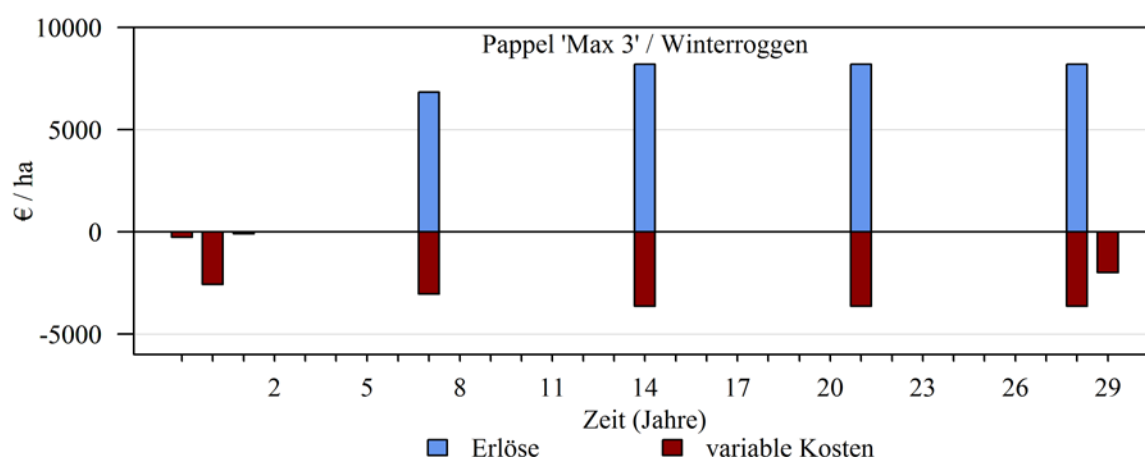


Abbildung 13 Ein- und Auszahlungen der KUP-Fläche mit der Pappelsorte 'Max 3' und einer Winterroggen-Untersaat während ihrer Standzeit in Pulling

Die Zahlungen für die Pappelsorte 'Max 3' sind als Beispiel in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9 Zahlungen bei der KUP-Versuchsfläche mit der Pappelsorte 'Max 3' während ihrer Standzeit in Pulling in €/ha.

Maßnahmen		Bodenvorbereitung/ Untersaat	Pflanzung	Nachbesserung	Ernte 1	Ernte 2	Ernte 3	Ernte 4	Rodung
Varianten	Jahr	0	0	1	7	14	21	28	29
Folie	Kosten	1.990	2.582	105	4.794	5.274	5.274	5.274	2.000
	Erlöse				10.772	11.850	11.850	11.850	
Kontrolle	Kosten	61	2.582	30	3.845	5.274	5.274	5.274	2.000
	Erlöse				8.639	11.850	11.850	11.850	
Weißklee	Kosten	123	2.582	41	3.814	5.274	5.274	5.274	2.000
	Erlöse				8.570	11.850	11.850	11.850	
Leindotter	Kosten	127	2.582	76	3.660	5.274	5.274	5.274	2.000
	Erlöse				8.224	11.850	11.850	11.850	
Winterroggen	Kosten	274	2.582	100	3.043	5.274	5.274	5.274	2.000
	Erlöse				6.838	11.850	11.850	11.850	
Gelbklee	Kosten	195	2.582	135	3.129	5.274	5.274	5.274	2.000
	Erlöse				7.030	11.850	11.850	11.850	

2.3.3.1 Wirtschaftlichkeit der Baumarten bzw. Sorten

Wie aus Tabelle 10 zu ersehen ist, variieren die erzielbaren Annuitäten zwischen -140 und 590 €/ha in Pulling und zwischen -84 und 585 €/ha in Neuhof. Dies setzt allerdings voraus, dass die Ertragssteigerung von 10 % in den späteren Ernten gegenüber den Holzerträgen beim Einsatz einer Mulchfolie im 1. Umtrieb tatsächlich erzielt wird. Sollten die Holzerträge in der 2. bis 4. Ernte genauso hoch sein wie bei der ersten, würde die im Mittel erzielbare Annuität in Pulling um 47 % und in Neuhof um 45 % niedriger ausfallen.

Tabelle 10: Die mit dem Anbau verschiedener Baumarten bzw. Sorten in Kurzumtriebsplantagen über die gesamte Standzeit erzielbaren Annuitäten in €/ha und Jahr bei unterschiedlichen Verfahren der Beikrautregulierung oben in Pulling, unten in Neuhof und bei Berücksichtigung lediglich der variablen Kosten (analog Deckungsbeitrag)

Pulling	Pappel Max 1	Pappel Max 3	Grauerle	Schwarzerle	Mittelwert
Folie	481	572	28	-195	221
Kontrolle	520	617	128	-158	277
Weißklee	489	612	116	-105	278
Leindotter	523	603	61	-117	267
Winterroggen	499	564	110	-141	258
Gelbklee	400	570	69	-127	228
Mittelwert	485	590	85	-140	255

Neuhof	Pappel Max 1	Pappel Max 3	Grauerle	Schwarzerle	Mittelwert
Folie	528	579	133	-126	278
Kontrolle	528	616	183	-67	315
Weißklee	544	580	187	-78	308
Leindotter	542	590	169	-78	306
Winterroggen	545	589	172	-83	306
Gelbklee	494	555	153	-72	282
Mittelwert	530	585	166	-84	299

Sowohl in Pulling als auch in Neuhof hat die Pappelsorte 'Max 3' das beste Ergebnis erzielt, gefolgt von der Sorte 'Max 1'. Dies ist auf die höheren Erträge von 'Max 3' zurückzuführen. In Pulling lagen sie um 20 % und in Neuhof um 10 % über denen von 'Max 1'. In Pulling kam noch hinzu, dass die Ausfälle bei 'Max 3' im ersten Jahr etwas geringer waren als bei 'Max 1' und entsprechend weniger nachgepflanzt wurde.

Negative Ergebnisse erzielte der Anbau der Schwarzerle. Dabei war der Biomasseertrag für den 1. Umtrieb im Vergleich zu anderen Anbauversuchen in Bayern gar nicht schlecht. BURGER et al. (2012) berichten von Erträgen dieser Baumart im ersten Umtrieb von 4,1 t_{atro}/Jahr , während in Pulling im Mittel 3,8 und in Neuhof 4,6 t_{atro} erreicht wurden. Würde die Schwarzerle bei der 2. bis 4. Ernte den Ertrag von 7,5 t_{atro}/Jahr erzielen, wie er auf einer Versuchsfläche in Coburg¹ im dritten fünfjährigen Umtrieb erreicht wurde (Burger, Stoll & Hentzschel-Zimmermann, 2012), würde sich immer noch eine negative Annuität von -39 €/ha in Pulling und -35 €/ha in Neuhof errechnen. Die Ausfälle bei der Schwarzerle im ersten Anbaujahr waren mit 25 % in Pulling und 28 % in Neuhof sehr groß, was hohe Kosten für die Nachpflanzungen zur Folge hatte. Ein weiterer Grund für das wirtschaftlich schlechte Abschneiden der Schwarzerle sind die hohen Begründungskosten. Die Pflanzarbeiten kosteten um 75 % und die Pflanzen um das 2,5-fache mehr als die Pappeln. Würde die Anpflanzung der Schwarzerle genauso viel kosten wie die der Pappel, ergäbe sich trotz der großen Ausfälle und niedrigen Erträge in Pulling eine Annuität von 6 €/ha und in Neuhof von 64 €/ha.

Bei der Grauerle waren an beiden Standorten die Biomasseerträge um rund die Hälfte größer als bei der Schwarzerle. Die Kosten der Pflanzen waren nur um die Hälfte höher als die der Pappelstecklinge. Die Ausfälle waren bei der Grauerle deutlich geringer als die der

¹ Die Versuchsfläche nahe Coburg ist auf einem Pelosol angelegt, einem Standort der von Natur aus vermutlich mit Schwarzerle bestockt wäre.

Schwarzerle. In Neuhof erzielte die Grauerle um 16 % höhere Erträge als in Pulling. Dies erklärt das bessere Abschneiden der Grauerle im Vergleich zur Schwarzerle sowie die höheren Annuitäten in Neuhof. Die Biomasseerträge der Grauerle erreichten in Pulling nur etwas mehr als die Hälfte derjenigen der Pappelsorte 'Max 3', in Neuhof knapp zwei Drittel. Zusammen mit den niedrigeren Begründungskosten erklärt dies die großen Unterschiede im wirtschaftlichen Ergebnis zwischen Grauerle und der Pappelsorte 'Max 3'.

2.3.3.2 Wirtschaftlichkeit verschiedener Varianten der Beikrautregulierung

Die Annuitäten streuen zwischen den verschiedenen Varianten der Beikrautregulierung wesentlich weniger als zwischen den Baumarten. In Pulling streuen sie um 10 % und in Neuhof nur um 5 %. Das beste Ergebnis in Pulling erzielte die Untersaat mit Weißklee und in Neuhof die Kontrolle, also die Variante einer Beikrautregulierung allein durch die mechanische Bodenbearbeitung vor der Anpflanzung mit einer vorausgegangenen Kultur aus Klee-Gras-Gemenge. Das vergleichsweise gute Ergebnis der Variante Weißklee in Pulling ist auf das bessere Abschneiden der Schwarzerle zurückzuführen. In Pulling waren die Ausfälle der Schwarzerle bei der Untersaat mit Weißklee geringer und die Biomasseerträge größer als im Mittel aller Varianten der Beikrautregulierung. In Neuhof steht die Variante Weißklee an zweiter Stelle.

Die Biomasseerträge waren bei allen Baumarten bzw. Sorten an beiden Standorten bei der Variante Folie stets größer als bei den anderen Varianten. In Neuhof betrug der Mehrertrag bei der Folie 38 % und in Pulling 36 % im Vergleich zu dem Durchschnitt der anderen Varianten. Auch die Ausfälle waren bei Verwendung der Folie niedriger. In Neuhof waren die Ausfälle mit Folie im Mittel am niedrigsten. In Pulling waren sie bei einigen Untersaaten zwar etwas geringer, bei der Folie aber immer noch niedriger als im Mittel der anderen Varianten. Das bessere Abschneiden bei den Erträgen und Ausfallquoten reicht jedoch nicht aus, um die Mehrkosten der Variante Folie zu kompensieren. Die Variante Folie kostet immerhin das 14-fache des Durchschnitts der anderen Varianten der Beikrautregulierung. Den Berechnungen der Annuitäten liegt allerdings die Annahme zugrunde, dass bei allen anderen Varianten ab der zweiten Ernte der Biomasseertrag der Variante Folie plus 10 % erzielt wird. Würden sich die gemessenen Erträge der ersten Ernte bei allen Varianten in den folgenden Ernten wiederholen, würde die Variante Folie mit im Mittel 185 €/ha in Pulling und 238 €/ha und Jahr in Neuhof am besten abschneiden. Außerdem wurde unterstellt, dass die Variante Folie im Vergleich zu den anderen Varianten bei den folgenden Ernten keinen höheren Ertrag mehr erzielen wird. Sollte ein Mehrertrag auch in den weiteren Ernten auftreten, könnte die Variante Folie wirtschaftlich besser abschneiden. Die Kurzumtriebsplantage (KUP) mit der Variante Folie müsste in Pulling in den folgenden Ernten im Vergleich zu den anderen Varianten einen Mehrertrag von 15 % und in Neuhof von 9 % erzielen, um die vorteilhafteste Variante zu sein. Derartige Ertragsentwicklungen sind nicht völlig auszuschließen. Bei der KUP in Neuhof können die Erträge der folgenden Ernten noch gemessen werden. Um die Vorteilhaftigkeit der Variante Folie abschließend bewerten zu können, sollten diese Messungen unbedingt durchgeführt werden. Allerdings zeigen die Untersuchungen auf anderen Versuchsflächen mit Kurzumtriebsplantagen der LWF, dass je besser die Erträge im ersten Umtrieb bereits waren, desto geringer der Mehrzuwachs in der zweiten Umtriebszeit ausfällt.

2.3.3.3 Wirtschaftlichkeit mit Berücksichtigung der fixen Arbeitserledigungskosten

Bei Berücksichtigung der fixen Kosten der Arbeitserledigung sinkt die Annuität in Pulling im Mittel um 19 % und in Neuhof um 18 % (Tabelle 11). Die Verhältnisse zwischen den Baumarten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit verändern sich dadurch nicht. Bei den Varianten der Begleitwuchsregulierung erweist sich jetzt in beiden Fällen die Kontrolle als das wirtschaftlichste Verfahren, also eine Vorkultur aus einem Klee-Gras-Gemenge und lediglich einer mechanischen Bodenvorbereitung. Die Annuitäten zeigen noch nicht den Gewinnbeitrag der Produktionsverfahren an. Dazu müssten noch Einzelkosten, wie eine eventuelle Pacht, sowie allgemeine Kosten abgezogen werden. Auch die Prämien wurden hier nicht berücksichtigt.

Tabelle 11: Die mit dem Anbau verschiedener Baumarten bzw. Sorten in Kurzumtriebsplantagen über die gesamte Standzeit erzielbaren Annuitäten in €/ha und Jahr bei unterschiedlichen Verfahren der Beikrautregulierung oben in Pulling, unten in Neuhof und bei Berücksichtigung auch der fixen Arbeitserledigungskosten.

Pulling	Pappel Max 1	Pappel Max 3	Grauerle	Schwarzerle	Mittelwert
Folie	413	496	-12	-222	169
Kontrolle	460	549	92	-180	230
Weißklee	426	539	76	-133	227
Leindotter	457	530	24	-144	217
Winterroggen	435	494	70	-168	208
Gelbklee	343	500	29	-154	180
Mittelwert	422	518	47	-167	205

Neuhof	Pappel Max 1	Pappel Max 3	Grauerle	Schwarzerle	Mittelwert
Folie	455	497	85	-160	219
Kontrolle	467	548	142	-95	266
Weißklee	476	503	141	-110	252
Leindotter	474	512	124	-111	250
Winterroggen	477	511	126	-116	249
Gelbklee	429	478	107	-105	227
Mittelwert	463	508	121	-116	244

2.4 Diskussion

Die im Rahmen des Teilversuches „Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Gehölze zur Energieholzgewinnung“ getesteten Maßnahmen zur Beikrautregulierung zeigten 2009 an beiden Standorten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle eine gute Wirksamkeit. Sowohl die Untersaaten als auch die Folie haben den Deckungsgrad der natürlichen Begleitvegetation deutlich verringert. Die im Vergleich zu den anderen Untersaaten weniger effektive Beikrautunterdrückung beim Weißklee ist darauf zurückzuführen, dass dieser sich 2009 aufgrund der Trockenheit im Frühjahr nicht ausreichend etablieren konnte und somit auch weniger Masse ausbildete. Winterroggen unterdrückte das Beikraut bis Ende Juli erfolgreich. Aufgrund eines Rostpilzbefalls an beiden Standorten ging die Masse jedoch ab Ende Juli stark zurück und das Beikraut konnte in dieser Variante besser wachsen als in den Leindotter- und Gelbkleeparzellen. Da beim Anbau von Energieholz im Kurzumtrieb als ökologische Vorrangfläche (ÖVF) im Rahmen des „Greening“ keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden dürfen, könnten diese Ergebnisse zur herbizidfreien Begründung auch für die konventionelle Landwirtschaft interessant sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Baumarten der Anwuchs erfolgreich war, auch wenn die Ausfälle bei der Schwarzerle mit bis zu 25 % sehr hoch waren. Erst bei Ausfällen von mehr als 30 % der Pflanzen wäre die Begründung aus forstlicher Sicht unbefriedigend verlaufen. So gewährt z. B. die staatliche Förderung für waldbauliche Maßnahmen in Bayern bei Anpflanzungen erst bei Ausfällen ab 30 % eine Förderung für Nachbesserungen. Der bessere Anwuchserfolg der Pappeln könnte auf die trockenen Witterungsbedingungen zur Pflanzzeit zurückzuführen sein. Die Pappelstecklinge konnten hier womöglich den Austrieb bis zu einem günstigeren Zeitpunkt hinauszögern, wohingegen die Wurzelware bereits zur Pflanzung am Austreiben war. Der höhere Anwuchserfolg der Bäume mit Folie am Standort Neuhof ist vermutlich auf gute Etablierungsbedingungen, also eine stärkere und gleichmäßigere Bodenerwärmung sowie eine höhere Bodenfeuchte unter der Folie (vgl. Kell & Henning, 2007), zurückzuführen. Andere Anbauversuche auf Grünland in Bayern konnten ebenfalls einen höheren Anwuchserfolg von Pappeln auf selbstabbaubarer Mulchfolie im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle nachweisen (Neuner & Burger, 2015).

In Hinblick auf die Höhenwuchsleistung und den oberirdischen Biomassertrag zeigen beide Pappelsorten eine gute Eignung für die untersuchten südbayerischen Standorte. Der Höhenzuwachs der Sorte 'Max 1' übertraf in Neuhof alle Höhenzuwächse die zuvor auf anderen bayerischen Versuchsflächen der LWF im ersten Umtrieb gemessen wurden. Der Höhenzuwachs von 'Max 1' in Pulling übertraf sogar die Zuwächse, die anderswo in der zweiten und dritten Rotation erreicht wurden. Auch die Höhenzuwächse der Sorte 'Max 3' in Neuhof übertrafen die bei anderen bayerischen Flächen im ersten Umtrieb erzielten Zuwächse. In Pulling übertraf der Höhenzuwachs von 'Max 3' mit 2,4 m pro Jahr sogar um 12 % den höchsten zuvor auf anderen Versuchsflächen der LWF erzielten Zuwachs. Auffällig in Abbildung 14 ist die große Streuung der Höhenzuwächse im ersten Umtrieb. Niedrige Höhenzuwächse gab es auf den anderen Versuchsflächen der LWF immer dann, wenn die Beikrautregulierung bei der Begründung nicht erfolgreich gelang. Dies kam bei den ersten Versuchsanlagen der LWF, als noch kaum Anbauerfahrungen mit KUP vorlagen, gelegentlich vor.

Die Biomasserträge beider Pappelsorten auf den Versuchsstandorten in Pulling und Neuhof waren ebenfalls größer als die auf anderen LWF-Versuchsflächen im ersten Umtrieb (Abbildung 15). Teils übertrafen sie sogar die Erträge, die anderswo im zweiten Umtrieb erzielt wurden. Es gibt aber auch Versuchsflächen der LWF, bei denen im zweiten und dritten Umtrieb erheblich höhere Erträge geerntet wurden. Steigende Erträge nach der ersten Rotation werden auf das allmählich erst heranwachsende Wurzelsystem zurückgeführt. Bei den Biomasserträgen besteht somit in Pulling und Neuhof für die folgenden Umtriebe noch das Potenzial für höhere Massenerträge. Die Annahme eines Mehrzuwachses von 10 %, wie sie der ökonomischen Kalkulation zugrunde gelegt wurde, ist eine eher vorsichtige Schätzung.

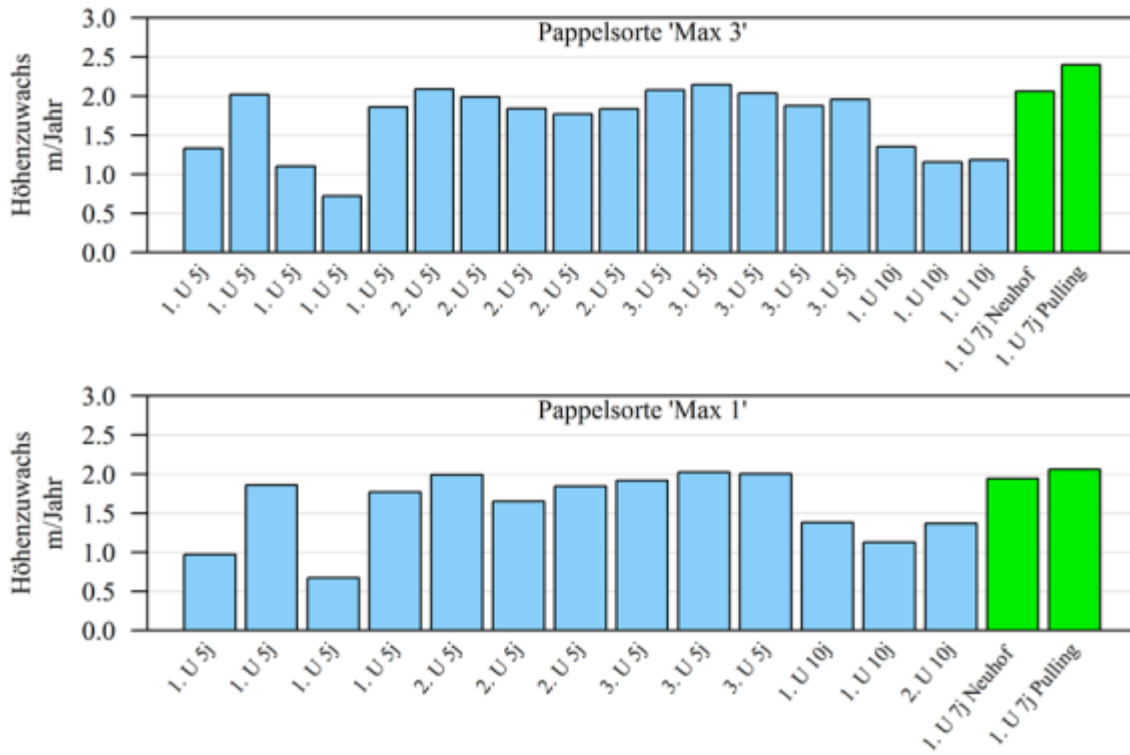


Abbildung 14: Höhenwuchsleistung der Pappelsorten auf den Versuchsstandorten in Pulling und Neuuhof im Vergleich zu denen anderer bayerischer Versuchsflächen (Burger et al., 2012), U = Umtriebszeit, j = jährlich

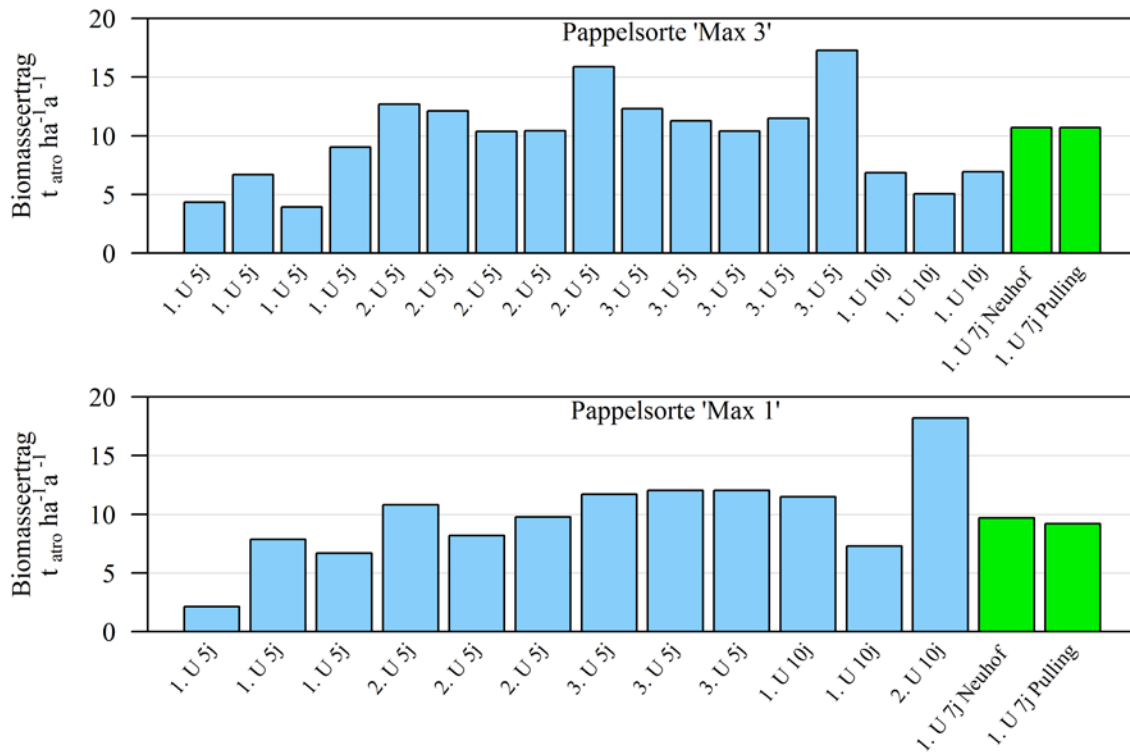


Abbildung 15: Biomasseerträge der Pappelsorten auf den Versuchsstandorten in Pulling und Neuuhof im Vergleich zu denen anderer bayerischer Versuchsflächen (Burger et al., 2012), U = Umtriebszeit, j = jährlich

Die beiden Pappelsorten zeigten auf den beiden schwach basischen Standorten also hervorragende Wuchsleistungen. Der Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb wird bisher allerdings nur auf schwach sauren bis neutralen Böden (optimaler pH-Wert 5,5 bis 6,5) empfohlen (Burger, 2010; Unseld, 2009). Nach ELLENBERG (1986) ist *Populus nigra*, also die heimische Pappelart in den Kreuzungen der beiden Klone, ein Zeiger für schwach saure bis schwach basische Böden. Von Chlorosen an Pappeln auf Böden mit hoch anstehendem Kalk auf Hochwald-Versuchsflächen des Amtes für forstliche Saat und Pflanzenzucht berichtet SCHIRMER (2018). Schwach basische Standorte scheinen nach den Ergebnissen dieses Projekts weder die Gesundheit noch die Wuchsleistung der beiden Pappelsorten zu beeinträchtigen.

Die im Vergleich zu den beiden heimischen Erlenarten deutlich höhere Wuchs- und Ertragsleistung der beiden Pappelklone lässt sich vor allem durch deren züchterische Bearbeitung erklären. 'Max 3' und 'Max 1' sind geprüfte Sorten und auf gute Wuchsleistung selektiert. Im Gegensatz dazu wurden die beiden Erlenarten nicht züchterisch bearbeitet und die Schwarzerle erzielte auch in anderen Anbauversuchen auf konventionellen bewirtschafteten Standorten in Bayern und Baden-Württemberg deutlich geringere Erträge als die Pappel (Burger, 2010; Huber et al., 2014; Unseld, 2009). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gute Wuchsleistung der Pappelklone vor allem einer starken Wuchsleistung in den ersten Vegetationsperioden zuzuschreiben ist und die Erlen ihr Potenzial hinsichtlich der Wuchsleistung erst in späteren Standjahren entfalten, d. h. die Wachstumsraten ihr Maximum später erreichen und langsamer abklingen. Die Umtriebszeit von 7 Jahren war in diesem Versuch für beide Erlenarten zumindest beim ersten Umtrieb vermutlich zu kurz gewählt, um die größtmögliche Massenleistung zu erzielen.

Eine gute Wuchsleistung von Hybrid-Pappeln auf Mulchfolie wird bei SPANGENBERG und HEIN (2011) bestätigt, vermutlich durch die gute Beikraut unterdrückende Wirkung und einen verbesserten Nährstoffaufschluss. Die beiden Kleearten als Untersaaten hatten, trotz ihrer Fähigkeit zur Stickstoff-Fixierung, keinen positiven Einfluss auf die Wuchsleistung der Bäume. Wie die Ergebnisse zeigen, beeinflussen Untersaaten die Wuchshöhe und die Ertragsleistung der Bäume im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (keine Untersaat, nur Bodenvorbereitung) nicht (positiv). Auch STOLL und DOHRENBUSCH (2009) fanden heraus, dass eingesäte Nutzpflanzen wie Buchweizen und verschiedene Kleearten die Überlebensraten und Zuwächse von Pappelsorten im Vergleich zur natürlichen Begleitvegetation nicht erhöhen. Gelbklee hatte zwar als Untersaat die stärkste beikrautunterdrückende Wirkung, kann jedoch aufgrund der großen Konkurrenzkraft nicht als Maßnahme zur Beikrautregulierung im Energieholzanbau empfohlen werden.

Die Untersuchung zur Ökonomie bestätigt die große wirtschaftliche Überlegenheit der Pappel-Hybride gegenüber den züchterisch nicht bearbeiteten Baumarten bei der Energieholzproduktion in Kurzumtriebsplantagen. Dies ist sowohl auf die bei der Stecklingspflanzung niedrigeren Begründungskosten als auch die deutlich höheren Biomasseerträge der Pappelklone zurückzuführen. Die Begründungskosten waren bei den Erlen sowohl aufgrund der Pflanzung als Wurzelware als auch aufgrund der größeren Ausfälle und erforderlichen Nachpflanzungen höher. Offenbar überstehen Stecklinge eine Frühjahrstrockenheit leichter als wurzelnackt gepflanzte Bäume. Sollten Pappel-Hybride bei der Anlage einer KUP nicht verwendet werden dürfen, kann zumindest die Grauerle auf geeigneten Standorten eine mögliche Alternative darstellen. Durch eine große Sorgfalt bei der Pflanzung können Ausfälle und kostspielige Nachpflanzungen verringert werden. Die Wirt-

schaftlichkeit könnte vermutlich auch durch die Wahl einer etwas längeren Umtriebszeit verbessert werden.

Bei den Varianten der Begleitwuchsregulierung war die rein mechanische Behandlung auf den Kontrollflächen bei Berücksichtigung auch der fixen Kosten der Arbeiterledigung auf beiden Standorten am wirtschaftlichsten. Konkurrenzvegetation, ob sie natürlich aufkommt oder durch Untersaaten gesteuert wird, mindert in jedem Fall die Wuchsleistung der Bäume in den ersten Jahren nach der Anpflanzung, wie der Vergleich mit der Variante „Folie“ zeigte. Die höheren Kosten bei der Verwendung von Mulchfolie können jedoch durch den höheren Ertrag im ersten Umtrieb bei weitem nicht kompensiert werden. Die Etablierung des Energieholzes mag auch beim natürlichen Aufkommen von Konkurrenzvegetation gelingen, wie in diesem Versuch gezeigt wurde. Es gibt jedoch aus anderen Versuchen der LWF (vgl. Abbildung 15) auch Beispiele, bei denen dies nicht gelang oder nur mit einem erheblichen zusätzlichen Aufwand durch Nachpflanzungen und mechanische Beseitigung von Begleitvegetation. Welche Artenzusammensetzung der natürlichen Begleitflora sich entwickeln und ob sie zu einer Bedrohung für die KUP-Pflanzen werden wird, lässt sich im Voraus kaum abschätzen. Aus diesem Grund wird die Steuerung der Begleitvegetation mit Hilfe von Untersaaten empfohlen, auch wenn dies mit etwas höheren Begründungskosten verbunden ist.

2.5 Zusammenfassung

Um die Eignung von schnellwachsenden, zu Stockausschlag fähigen Baumarten für die holzige Biomasseproduktion in einem Agroforstsystem zur Energiegewinnung im ökologischen Landbau zu testen und um Möglichkeiten einer herbizidfreien, kostengünstigen Begründung zu untersuchen, wurden im April 2009 an den Standorten Pulling und Neuhof zwei Exaktversuche in Form einer zweifaktoriellen Streifenanlage mit fünf Wiederholungen angelegt. Geprüft wurden die beiden im bayerischen Energieholzanbau üblichen Hybrid-Pappelsorten 'Max 1' und 'Max 3' – Kreuzungen aus der Balsampappel (*Populus maximowiczii*) und der Schwarzpappel (*Populus nigra*) – sowie die heimischen Baumarten Grau- und Schwarzerle. Zur Beikrautregulierung wurden vier verschiedene Untersaaten (Gelb-, Weißklee, Winterroggen als Frühjahrssaat, Leindotter) ausgesät und eine selbstabbaubare Mulchfolie auf der Basis von Maisstärke ausgebracht. Die Untersaaten und die Folienabdeckung wurden mit einer Kontrollvariante verglichen, bei der, abgesehen von der mechanischen Bodenvorbereitung, keine Beikrautregulierung durchgeführt wurde.

Der Anwuchs bzw. Austrieb war in allen Varianten erfolgreich. Die Ertragsunterschiede zwischen den Baumarten bzw. Sorten waren erheblich, wobei auf beiden Standorten jeweils die Pappelsorte 'Max 3' vor 'Max 1' die höchsten Erträge zeigte. Grauerle und Schwarzerle folgten mit weitem Abstand. Die Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die guten Erträge der Pappelklone vor allem einer starken Wuchsleistung in den ersten Vegetationsperioden zuzuschreiben sind und die Erlen ihr Potenzial hinsichtlich der Wuchsleistung erst in späteren Standjahren entfalten, d. h. die Wachstumsraten ihr Maximum später erreichen und langsamer abklingen. Trotzdem erreichen die Erlen als Wildformen nicht die Ertragsleistung der gezüchteten Pappelsorten. Die Grauerle neigt auch zu Wurzelbrut, möglicherweise kann diese durch eine andere Erntetechnik (höherer Schnitt) reduziert bzw. vermieden werden.

Die getesteten Maßnahmen zur Beikrautregulierung zeigten 2009 an beiden Standorten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle eine gute Wirksamkeit. Sowohl die Untersaaten als auch die Folie haben den Deckungsgrad der natürlichen Begleitvegetation deutlich verrin-

gert. Die Variante „Folie“ erbrachte an beiden Standorten die höchsten Erträge. Die Untersaaten beeinflussten mit Ausnahme des Gelbklees die Wuchshöhe und die Ertragsleistung der Bäume im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (keine Untersaat, nur Bodenvorbereitung) weder positiv noch negativ. Gelbklee hatte zwar als Untersaat die stärkste Beikraut unterdrückende Wirkung, er kann jedoch aufgrund der großen Konkurrenzkraft und damit verbundener geringerer Erträge nicht als Maßnahme zur Beikrautregulierung im Energieholzanbau empfohlen werden.

Die Untersuchung zur Ökonomie bestätigt die große wirtschaftliche Überlegenheit der Pappel-Hybride gegenüber den züchterisch nicht bearbeiteten Baumarten bei der Energieholzproduktion in Kurzumtriebsplantagen. Dies ist sowohl auf bei der Stecklingspflanzung niedrigere Begründungskosten als auch auf geringere Ausfälle und die deutlich höheren Biomasseerträge der Pappelklone zurückzuführen. Die Begründungskosten waren bei den Erlen sowohl aufgrund der Pflanzung als Wurzelware als auch aufgrund der größeren Ausfälle und erforderlichen Nachpflanzungen höher. Die Wirtschaftlichkeit könnte vermutlich auch durch die Wahl einer etwas längeren Umtriebszeit verbessert werden.

In diesem Versuch wurde gezeigt, dass die Etablierung von Energieholz auch bei natürlichem Aufkommen von Konkurrenzvegetation gelingen kann. Eine Begründung ohne Beikrautregulierung wird aufgrund des deutlich höheren Beikrautdrucks für die Praxis dennoch nicht empfohlen. Höhere Kosten bei der Verwendung von Mulchfolie können durch einen höheren Energieholz-Ertrag im ersten Umtrieb nicht kompensiert werden. Aus diesem Grund wird die Steuerung der Begleitvegetation mit Hilfe der Untersaaten Leindotter, Winterroggen und Weißklee empfohlen, auch wenn dies mit etwas höheren Begründungskosten verbunden ist.

3 Wirkung von Energieholzstreifen auf landwirtschaftliche Kulturen

Andrea Winterling, Armin Baur, Herbert Borchert, Josef Braun, Thomas Eckl, Heiko Höge, Irene Jacob, Georg Salzeder, Martin Schmidt, Klaus Wiesinger

3.1 Einleitung und Zielsetzung

In diesem Teilprojekt wurde die Wirkung von mehrreihigen Baumstreifen in einem Agroforstsystem zur Energieholzerzeugung auf die Erträge und die Qualitäten landwirtschaftlicher Feldfrüchte untersucht. Zu Projektbeginn lagen dazu noch keine Untersuchungen unter bayerischen Standortbedingungen vor. Aufgrund von weitgehend übereinstimmenden Hinweisen aus der Literatur zur Wirkung von regelmäßig beernteten Baumstreifen und Hecken (Bruckhaus & Buchner, 1995; Pretzschel et al., 1991) wurde eine positive Wirkung auf den Ertrag der landwirtschaftlichen Kulturen vermutet (Windschutz, höhere Bodenfeuchte). Neben positiven Effekten wurden aber auch negative Wechselwirkungen zwischen Energieholzstreifen und landwirtschaftlichen Kulturen erwartet, beispielsweise hinsichtlich der Konkurrenz um Licht (Ehret, 2015).

Folgende landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und agrarökologischen Fragen wurden in diesem Teilprojekt bearbeitet:

- Welche Erträge und Qualitäten liefern die landwirtschaftlichen Feldfrüchte in einem Agroforstsystem zur Energieholzerzeugung (schnellwachsende Hölzer, sieben Jahre Umtriebszeit) im Verlauf einer Fruchtfolge von sieben Jahren im Vergleich zur baumlosen Bewirtschaftung?
- Wie beeinflusst der Energieholzstreifen den Ertrag in unterschiedlichen Abständen zu den Bäumen?
- Lässt sich aus der Ertrags- und Qualitätsermittlung in definierten Abständen zum Baumstreifen der für den Standort optimale Abstand der Baumstreifen ermitteln?

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Versuchsdesign und Versuchsdurchführung

In der zweiten Aprilhälfte 2009 wurden zu den genannten Fragestellungen zwei Exaktversuche in Form einer zweifaktoriellen Streifenanlage mit drei Wiederholungen und 1,2 ha in Pulling bzw. vier Wiederholungen und 1,4 ha am Neuhof angelegt:

Faktor A: ohne Energieholzstreifen (ohne EHS)/mit Energieholzstreifen (mit EHS)

Faktor B: Lage/Abstand Ernteparzellen Feldfrüchte zum Energieholzstreifen (EHS).

Der gesamte Versuch bestand in Pulling aus 102, in Neuhof aus 128 landwirtschaftlichen Versuchspartzellen sowie jeweils zwei Energieholzpartzellen. Die landwirtschaftlichen Versuchspartzellen wurden als Doppelpartzellen mit insgesamt 3 m Breite (2 x 1,5 m) und 5 m Länge angelegt. Die Wege an den Partzellenrändern waren 20 cm breit. Beerntet wurde die gesamte Partzellenfläche. Die Erfassung der landwirtschaftlichen Erträge erfolgte partzellenweise, mit Einfluss des Energieholzstreifens (EHS) in definierten Abständen zum Baumstreifen sowie ohne Einfluss der Gehölze. Die streifenförmigen Energieholzpartzellen bestanden aus den beiden Pappelklonen 'Max 1' und 'Max 3', Kreuzungen aus der Balsampappel *Populus maximowiczii* und der Schwarzpappel *Populus nigra*. Sie wurden an

beiden Standorten fünfzeilig, weitgehend quer zur Hauptwindrichtung, in einem Verband von 1,25 m x 1,5 m und einer Länge von 30 m bzw. 42,5 m in Pulling und 43,5 m am Neuhof angepflanzt. Die Umtriebszeit war sieben Jahre. Um etwaige vermarktungsrelevante Qualitätsveränderungen bei den landwirtschaftlichen Kulturen durch den Anbau von Energieholz in Agroforstsystemen einschätzen zu können, wurde in ausgewählten Parzellen zusätzlich die Qualität des Erntegutes erhoben. Die Tabelle 12 und die Abbildung 16 geben einen Überblick über den Versuchsaufbau.

Tabelle 12: Versuchsaufbau landwirtschaftliche Versuchspartellen

Faktor A: Einfluss des EHS	Faktor B: Entfernung zum EHS	Bezeichnung	Position	Qualitätsuntersuchung
mit/ohne	25 bis 20 m	-25	luvseitig	ja
	20 bis 15 m	-20	luvseitig	
	15 bis 10 m	-15	luvseitig	
	10 bis 5 m	-10	luvseitig	
	5 bis 0 m	-5	luvseitig	ja
	0 bis 5 m	+5	leeseitig	ja
	5 bis 10 m	+10	leeseitig	ja
	10 bis 15 m	+15	leeseitig	
	15 bis 20 m	+20	leeseitig	
	20 bis 25 m	+25	leeseitig	ja
	25 bis 30 m	+30	leeseitig	
	30 bis 35 m	+35	leeseitig	ja (nur Neuhof)
	35 bis 40 m	+40	leeseitig	
	40 bis 45 m	+45	leeseitig	ja
	45 bis 50 m	+50	leeseitig	
	50 bis 55 m (nur in Pulling)	+55	leeseitig	
55 bis 60 m (nur in Pulling)	+60	leeseitig	ja	

a)



b)



Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de

Abbildung 16: Versuchspläne a) Neuhof, b) Pulling

Am Standort Neuhof wurde in der Fruchtfolge Winterweizen, Hafer, Klee gras, Winterweizen, Hafer, Klee gras und Winterweizen angebaut (Tabelle 13). Die Grundbodenbearbeitung erfolgte mit einem 4-Schar-Pflug (Bearbeitungstiefe 28 cm) und der Kreiselegge (Bearbeitungstiefe 8 cm). Zur Beikrautregulierung wurde das Getreide jeweils ein- bis zweimal gestriegelt. In den Gehölzstreifen wurden im April 2010 alle Fehlstellen nachgebessert. Um die Standortheterogenität nicht durch eine ungenaue Ausbringung zu erhöhen, wurde die organische Düngung auf der Versuchsfläche ausgesetzt.

Das Energieholz wurde im Januar bzw. März 2016 geerntet. Mitte September 2016 wurden die Energieholzstreifen am Standort Neuhof gerodet. Dazu wurde in einem ersten Arbeitsgang in zwei Überfahrten der oberirdische Aufwuchs mit einem Forstmulchgerät zerkleinert. Anschließend wurde, um die Ackerfähigkeit der Fläche wiederherzustellen, in einem zweiten Arbeitsgang das Material mit einer Rodungsfräse eingearbeitet, die Wurzelstöcke zerkleinert und der Boden mit einer Walze rückverdichtet (Bearbeitungstiefe 35 cm, eine Überfahrt) (Abbildung 17).



Abbildung 17: Rodung des Energieholzstreifens am Standort Neuhof mit einem Forstmulchgerät (links) und einer Rodungsfräse mit Rückverdichtung (Mitte) zur Wiederherstellung einer ackerfähigen Fläche (rechts)

In Pulling bestand die 7-jährige Fruchtfolge (2009-2015) aus Hafer, Winterweizen, 2-jährigem Klee gras, Hafer, Winterweizen und Hafer. Die Kulturdaten sind in Tabelle 13 dargestellt. Die Fläche wurde pfluglos bewirtschaftet. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte mit der Kreiselegge (Bearbeitungstiefe 15 cm), die Saatbettbereitung mit dem Kreiselgrubber (Bearbeitungstiefe 8 cm). Aus versuchsmethodischen Gründen wurde auf der Versuchsfläche ab dem zweiten Versuchsjahr wie auch am Standort Neuhof die organische Düngung ausgesetzt.

In den Energieholzstreifen wurde im Anlagejahr das Beikraut manuell kreisförmig um die Pappeln herum entfernt. Mitte September 2009 zeigte sich in den Energieholzstreifen eine verstärkte Zuwanderung von Wühlmäusen und es wurden erste Wurzeln abgefressen. Als Bekämpfungsmaßnahme wurden Ansitzstangen für Greifvögel in den Heckenstreifen aufgestellt sowie Fallen ausgebracht und regelmäßig überprüft. Trotz dieser Maßnahmen waren die Wühlmäuse weiterhin aktiv. Anfang März wurden die abgefressenen Pappeln im Wurzelbereich bis ins nicht befallene Holz zurückgeschnitten. Danach wurden sie als Steckruten erneut in die Erde gesteckt und angetreten. Diese Pappeln wuchsen fast vollständig wieder an. Im April 2010 wurden sämtliche Fehlstellen nachgepflanzt. Um die Wühlmauspopulation zu dezimieren, keine Deckung für die Mäuse zu bieten und um sie durch regelmäßige Störung zu vertreiben, wurden die Heckenstreifen durch regelmäßiges Fräsen und manuelles Hacken in der zweiten Vegetationsperiode 2010 weitestgehend unkrautfrei gehalten. Im dritten Versuchsjahr 2011 wurde zur Unkrautbekämpfung dreimal gemulcht. Danach waren nur noch vereinzelt Wühlmausaktivitäten zu beobachten und die Maßnahmen konnten eingestellt werden. Im Winter 2015/2016 wurde das Energieholz

nach sieben Vegetationsperioden geerntet. Die Rodung der Energieholzstreifen erfolgte am 28.03.2018 nach Beerntung des zweijährigen Pappelbestandes. In einem ersten Arbeitsgang wurde mit einer AHWI Forstraupe mit Forstmulcher der oberirdische Aufwuchs zerkleinert. Anschließend wurde in einem zweiten Arbeitsgang das Material mit einer an einen Schlepper (Fendt Vario 936) angehängten Rodefräse (AHWI, Bearbeitungstiefe 35 cm) eingearbeitet, die Wurzelstöcke zerkleinert und der Boden wieder ackerfähig gemacht (Abbildung 18).



Abbildung 18: Rodung des Energieholzstreifens am Standort Pulling mit einer Forstraupe mit Forstmulchergerät (links) und einer an einen Schlepper angehängten Rodefräse (rechts)

Tabelle 13: Kulturdaten für die verschiedenen Feldfrüchte (Versuchsjahre 2009-2015)

Neuhof	Kulturart	Sorte	Aussaat	Ernte
2009	Winterweizen	'Cubus'	21.10.2008	06.08.2009
2010	Hafer	'Tomba'	13.04.2010	26.08.2010
2011	Klee gras	'FM3'	16.09.2010	30.05./12.07./17.08./06.10.2011
2012	Winterweizen	'Achat' (Backweizen, Qualitätsgruppe E)	31.10.2011	01.08.2012
2013	Hafer	'Flocke'	15.04.2013	22.08.2013
2014	Klee gras	'FM3'	04.09.2013	20.05./17.07./28.08./30.09.2014
2015	Winterweizen	'Achat'	21.10.2014	05.08.2015
Pulling	Kulturart	Sorte	Aussaat	Ernte/Schnitttermine
2009	Hafer	'Tomba'	30.03.2009	10.08.2009
2010	Winterweizen	Zuchtstamm ('Astron' x 'Arina')	05.10.2009	09.08.2010
2011	Klee gras	'Meliorationsmischung Braun'	07.09.2010	19.05./06.07./23.08./18.10.2011
2012	Klee gras	'Meliorationsmischung Braun'		25.05./17.07./06.09.2012
2013	Hafer	'Flocke'	08.04.2013	12.08.2013
2014	Winterweizen	Zuchtstamm ('Astron' x 'Arina')	03.10.2013	28.07.2014
2015	Hafer	'Flocke'	11.03.2015	03.08.2015

3.2.2 Erhebungen an den landwirtschaftlichen Kulturen

Neben den Erträgen und den Qualitätseigenschaften wurden bei den landwirtschaftlichen Kulturen über die Vegetationsperiode hinweg in den verschiedenen Parzellen die Bestandsentwicklung und das Auftreten von Krankheiten und Schädlingen anhand der Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen des Bundessortenamtes (BSA, 2000) beurteilt. Die Ermittlung der landwirtschaftlichen Erträge erfolgte parzellenweise. Beerntet wurden die Doppelparzellen mit einem Parzellenmähdescher bzw. -grünfüttervollernter mit einer Arbeitsbreite von 1,5 m.

3.2.2.1 Getreide (Hafer, Winterweizen)

Der Kornertrag bezieht sich auf eine Trockensubstanz (TS) von 86 %. Der Marktwarenertrag ist der Kornertrag abzüglich der Körner mit einem Durchmesser kleiner als 2 mm. Nach der Ernte erfolgten sowohl bei Hafer als auch bei Weizen kornphysikalische Untersuchungen zur Tausendkornmasse (TKM), der Sortierung und dem Hektolitergewicht. Zur Ermittlung der Backeigenschaften des Weizens wurden die Qualitätsparameter Rohproteingehalt, Feuchtkleber und Sedimentationswert nach den Standard-Methoden der Internationalen Gesellschaft für Getreidechemie (International Association for Cereal Science and Technology, versch. J.) ermittelt. Je höher der Sedimentationswert ist, umso günstiger ist die Eiweißqualität zu beurteilen (Urbatzka et al., 2018). Aus Kostengründen erfolgten die Qualitätsuntersuchungen nur am Erntegut ausgewählter Parzellen. Da bei Hafer das Hektolitergewicht das vermarktungsrelevante Kriterium ist, erfolgten hier keine weiteren Analysen im Labor.

3.2.2.2 Klee-Gras-Gemenge

Mit Ausnahme des Versuchsjahres 2012 wurde das Klee gras je Versuchsjahr vier Mal geschnitten. Im Jahr 2012, dem zweiten Hauptnutzungsjahr am Standort Pulling, erfolgten aufgrund langsamer Bestandsentwicklung und geringem Massenwachstum nur drei Schnitte.

Neben dem Frisch- und dem Trockenmasseertrag wurden beim dritten Schnitt in ausgewählten Parzellen die Qualitätsparameter Rohprotein-, Rohfasergehalt und Rohasche analysiert (vgl. VDLUFA, 1993). Die Berechnung des Rohproteingehaltes erfolgte über die N-Bestimmung nach DUMAS. Mit der WEENDER-Analyse wurde der Rohfasergehalt der Proben ermittelt. Die Rohasche ist das Gewicht der Probe abzüglich der organischen Bestandteile und wird durch Verbrennen der Probe im Muffelofen bei 550°C bestimmt.

3.2.2.3 Auswertung

Da Bonituren Schätz- und keine Messwerte darstellen, wurden diese nicht verrechnet und die Ergebnisse werden nur deskriptiv dargestellt. Die statistische Auswertung der Erträge und Qualitäten von Winterweizen, Hafer und Klee gras erfolgte mit SAS 9.3. Hierfür wurde eine Varianzanalyse (PROC GLM) mit SNK-Test angewendet. Die Anlageform der zweifaktoriellen Streifenanlage erlaubt zum einen den statistischen Vergleich zwischen den Varianten mit und ohne Energieholzstreifen. Zum anderen ist ein Vergleich der Erhebungen in den Ernteparzellen in verschiedenen Distanzen zum Energieholzstreifen möglich.

3.2.3 Erhebungen an den Gehölzen

Nach der Pflanzung im Jahr 2009 wurde der Austriebserfolg der Pappelklone aufgenommen. In den Baumstreifen wurde im Winter jeden Jahres die Wuchsleistung durch Vollaufnahme des höchsten Triebes gemessen. Das Energieholz wurde im Winter 2015/2016 geerntet. Zur Erfassung des oberirdischen Biomasseertrags wurden die Bäume motormanuell gefällt, einzeln mit einer an die Frontlader-Gabel eines Traktors angehängten Waage gewogen und bündelweise abgelegt. Danach wurden sie gehackt. Aus dem Hackgut wurden zur Bestimmung der Trockensubstanz nach der DIN Norm EN ISO 18134-2:2015 (2015) 30 Hackschnitzelproben entnommen, die im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet wurden und darüber der Trockenmasseertrag berechnet. Im Herbst 2016 wurde an beiden Standorten der Wiederaustrieb anhand des prozentualen Anteils der wiederausgetriebenen Stöcke erfasst.

3.2.4 Ökonomie

Bei dem hier untersuchten Agroforstsystem sind die Energieholzstreifen Dauerkulturen mit im Zeitablauf sehr unterschiedlichen Zahlungsströmen. Deshalb wurde die Wirtschaftlichkeit mit Hilfe der Annuitätenmethode berechnet. Dabei werden die Ein- und Auszahlungen während des gesamten Investitionszeitraums auf den Beginn diskontiert und aus dem Kapitalwert die Annuität berechnet. Es wurde mit einem Zinssatz von 2 % kalkuliert. Es werden die Annuitäten des Agroforstsystems, also Acker mit Energieholzstreifen, und des Ackers ohne Energieholzstreifen (Referenz) miteinander verglichen.

Bei den aktuellen Preis- und Kostenrelationen lohnt sich die Anlage von Energieholzstreifen nur, wenn die Standzeit mehrere Rotationen umfasst. Die größten Kosten entstehen am Beginn (Begründung) und am Ende (Rodung) der Standzeit von Energieholzstreifen. Je länger die Standzeit ist, desto mehr verteilen sich diese Kosten. Es wurden wie bei der Kurzumtriebsplantage vier Ernten mit Umtriebszeiten (Rotationen) von je sieben Jahren angenommen. Dies ergibt eine Standzeit von 28 Jahren. Für den 2. bis 4. Umtrieb wurde ebenfalls ein Mehrertrag von 10 % gegenüber dem Holzertrag des 1. Umtriebs unterstellt. Im 29. Jahr erfolgt die Rekultivierung. Dafür wurden wie bei der KUP Kosten von 2.000 €/ha angesetzt.

Für den Zeitraum des 2. bis 4. Umtriebs wurde die Bewirtschaftung der Ackerkulturen ebenfalls modelliert. Für die Versuchsfläche in Pulling wurde dabei die in diesem Ökolandbaubetrieb übliche Fruchtfolge aus einjährigem Klee gras – Hafer – Winterweizen – zweijährigem Klee gras – Hafer – Winterweizen unterstellt. Für die Versuchsfläche in Neuhof wurde die im Versuch realisierte Fruchtfolge aus Winterweizen – Hafer – einjährigem Klee gras angenommen. Es wurde unterstellt, dass die gleichen Erträge wie in den sieben Versuchsjahren erzielt werden. Als Erlöse werden die von den Betrieben während des Versuchs erzielten Erlöse zugrunde gelegt. Bei den Holzhackschnitzeln wird wiederum ein Erlös von 110 €/t_{atro} angenommen. Da die Preise von Jahr zu Jahr stark schwanken können, wurden Sensitivitätsanalysen für Preisveränderungen durchgeführt.

Die Materialkosten (Pflanzgut, Saatgut, Dünger²) und die Pflanzungskosten (Unternehmerleistung) entsprechen den tatsächlichen Kosten. Der Arbeitszeitaufwand bei der Feldarbeit sowie die Maschinenkosten wurden mit Hilfe des KTBL-Feldarbeitsrechners kalkuliert (www.ktbl.de). Die Arbeitsvorgänge mit Datum wurden den Dokumentationen der

² Lediglich in Pulling wurde im Acker einmal mit kohlensaurem Kalk und weicherdigem Rohphosphat und einmal mit Elementarschwefel gedüngt.

Betriebe entnommen. Die Arbeitsweise bei der Ernte, Bergung und Trocknung des Kleegrases im Betrieb Pulling stützt sich auf die Beschreibung von OBERMAIER (2012). Auch die Kosten der Trocknung des Belüftungsheus wurden daraus entnommen.

Für den Einsatz der materiellen Betriebsmittel (z. B. Pflanzen, Saatgut) wurden keine Zinskosten veranschlagt. Im Anhalt an die Berechnung von Deckungsbeiträgen wird zunächst die Annuität für die Leistung abzüglich der variablen Kosten berechnet. Die Wirtschaftlichkeit eines Produktionsverfahrens lässt sich unabhängig von den Eigentumsverhältnissen an den Arbeitsmitteln (Eigen- oder Fremdleistung) beurteilen, wenn auch die fixen Arbeitserledigungskosten berücksichtigt werden. Aus diesem Grund werden die Annuitäten schließlich auch mit Berücksichtigung der fixen Kosten (Maschine und Löhne) dargestellt. Einzig an dieser Stelle werden auch kalkulatorische Kosten berücksichtigt, das sind die Zinskosten für die Maschine und der Lohnansatz für die eigene Arbeitskraft.

Einzelkosten, wie Gebäude, Pacht oder Grundsteuer, sowie allgemeine Kosten, wie Verwaltungskosten, die nicht den einzelnen Produktionsverfahren zugeordnet werden können, werden nicht betrachtet. Es wird also lediglich die direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung in Form einer Annuität dargestellt.³

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Einfluss der Gehölzstreifen auf Winterweizen

3.3.1.1 Bonituren

Im Versuchsjahr 2010 zeigte die Variante „mit Energieholzstreifen“ mit einer mittleren Boniturnote von 5,0 eine höhere Verunkrautung als die Variante ohne Einfluss des Energieholzstreifens (mittlere Boniturnote = 3,9), was u. a. auf einen höheren Beikrautdruck im Bereich 5 m vor bis 10 m nach dem Gehölzstreifen zurückzuführen ist (Boniturnote mit Energieholzstreifen = 3; ohne Energieholzstreifen = 5). Mitte Juli 2010 (BBCH 77) trat am Standort Pulling ein Befall mit Ährenfusarium (*Fusarium* spp.) und Blattseptoria (*S. tritici*) auf, im Versuchsjahr 2014 Ende Juni (BBCH 77) ein Befall mit Braun- und Gelbrost (*Puccinia* spp.). Es waren jedoch keine Unterschiede in der Befallsstärke zwischen den beiden Varianten „mit Energieholzstreifen“ und „ohne Energieholzstreifen“ sichtbar. Bezüglich weiterer agronomischer Merkmale wie z. B. der Lagerneigung oder der Bestandesdichte war ebenfalls kein deutlicher Einfluss des Energieholzstreifens zu erkennen.

3.3.1.2 Ertrag

Abbildung 19 zeigt den über alle Parzellen gemittelten Marktwarenertrag von Weizen für die Variante Agroforstsystem „mit Energieholzstreifen“ und die Referenz „ohne Energieholzstreifen“. Der Ertrag wird jeweils auf einen Hektar rein landwirtschaftliche Kultur bezogen.

In drei Versuchen gab es keinen signifikanten Unterschied im Gesamtmarktwarenertrag zwischen der Variante „mit Energieholzstreifen“ und der „ohne Energieholzstreifen“. Die anderen beiden Versuche mit Winterweizen am Standort Neuhof waren in den Jahren

³ Lediglich bei der Heutrocknung in Pulling sind Gebäudekosten mit enthalten, da sich diese anhand der Datengrundlage nicht ausscheiden ließen.

2009 und 2015 aufgrund des Auftretens von Staunässe nicht wertbar. Diese beeinflusste die Bestandesentwicklung des Weizens so stark, dass der Effekt der Versuchsfaktoren durch den Effekt der Staunässe auf den Winterweizenertrag überlagert wurde. Die statistische Verrechnung der Versuchsergebnisse bestätigte dies mit zu hohen Grenzdifferenzen aufgrund starker Ertragsschwankungen zwischen den einzelnen Parzellen.

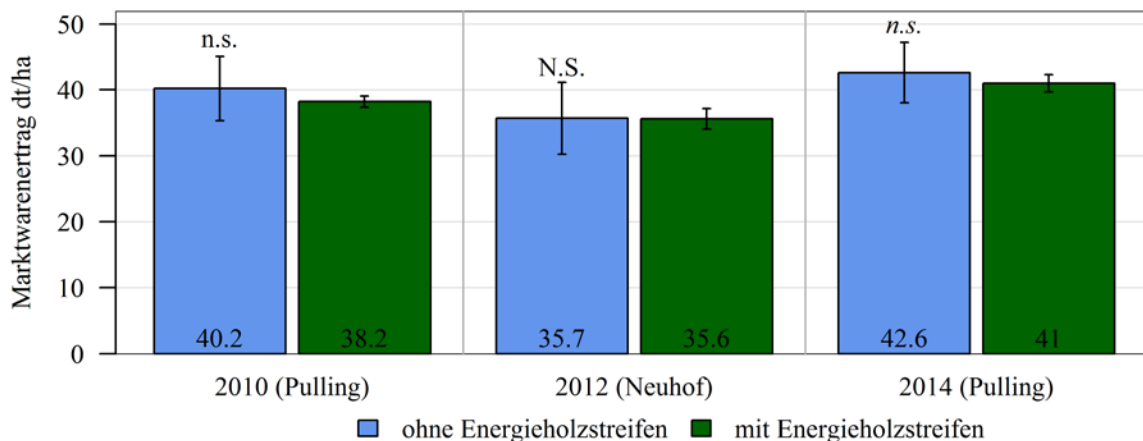
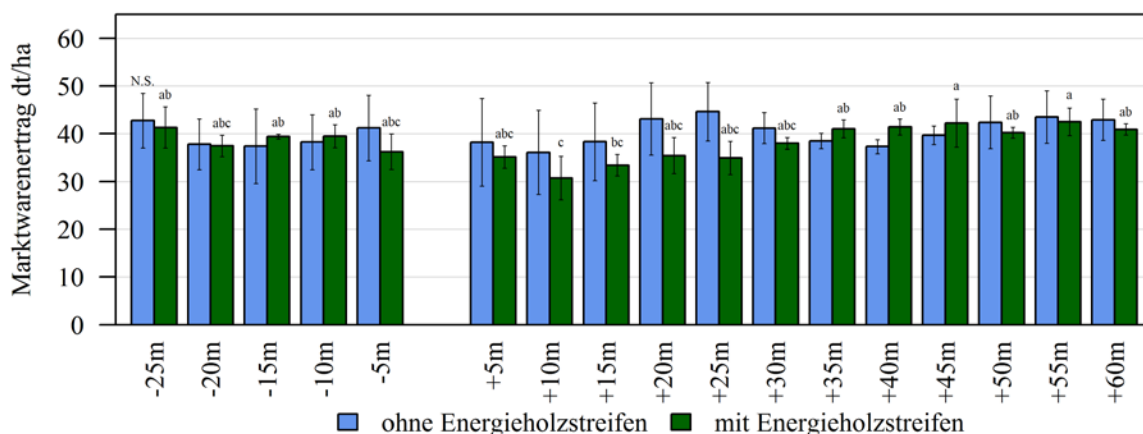


Abbildung 19: Marktwarenenertrag (Sortierung > 2 mm) bei Winterweizen. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung

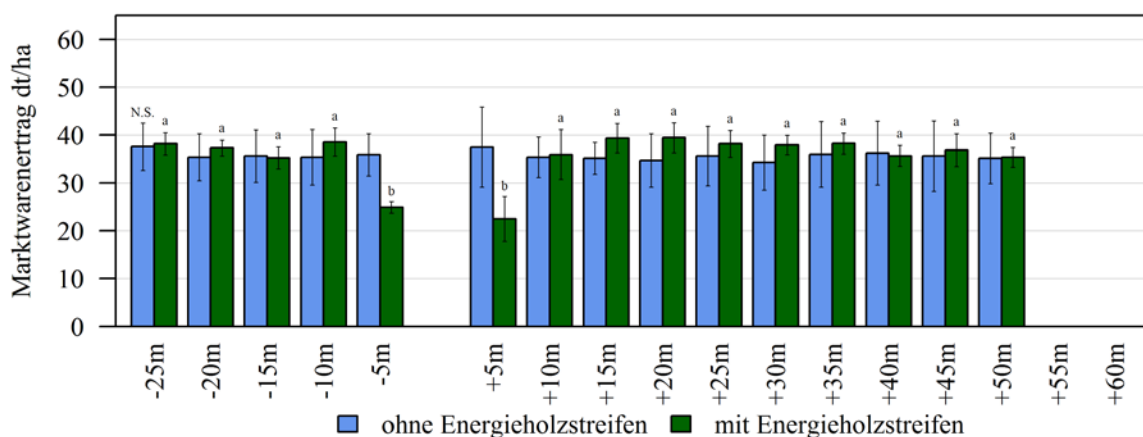
Betrachtet man die räumliche Ertragsverteilung (Abbildung 20), so zeigten Parzellen im direkten Einflussbereich des Energieholzstreifens (5 bzw. 10 m luv- und leeseitig) (teilweise signifikant) geringere Erträge als weiter vom Energieholzstreifen entfernt liegende Parzellen. In letzteren wurde der Ertrag durch den Anbau der Baumstreifen zumeist positiv beeinflusst. Der Effekt zeigte sich am stärksten am Standort Neuhof im Versuchsjahr 2012. Hier waren die Erträge in den unmittelbar an den Energieholzstreifen angrenzenden Varianten (± 5 m) signifikant geringer als in allen anderen Parzellen (Abbildung 20b). In Pulling war der Einfluss nicht so deutlich, aber auch hier war 2010 der Marktwarenenertrag in den Parzellen mit leeseitig 10 m (+10 m) Abstand zum Energieholzstreifen gegenüber dem Großteil der anderen Parzellen signifikant reduziert (Abbildung 20a). 2014 zeigten die Parzellen, die 5 m (-5 m) im Luv und 5 (+5 m) und 10 m (+10 m) im Lee des Baumstreifens lagen, signifikant geringere Erträge. Dies ließ sich gegenüber den anderen Varianten zum Großteil auch statistisch absichern (Abbildung 20c).

In der Variante „ohne Energieholzstreifen“ gab es, durch die fehlende Beeinflussung des Baumstreifens, keine signifikanten Unterschiede im Marktwarenenertrag der einzelnen Ernteparzellen.

a) Pulling 2010



b) Neuhof 2012



c) Pulling 2014

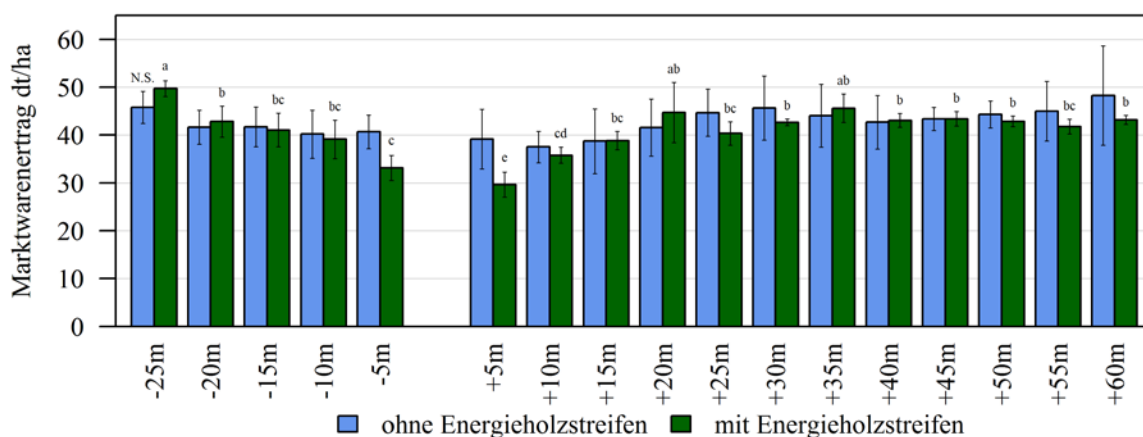


Abbildung 20a-c: Marktwarenertrag (Sortierung > 2 mm) bei Winterweizen. Mittel über verschiedene Abstände zum EHS in verschiedenen Versuchsjahren. N. S. = nicht signifikant (Variante ohne EHS), verschiedene Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede (Variante mit EHS) (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung (links Luv, rechts Lee)

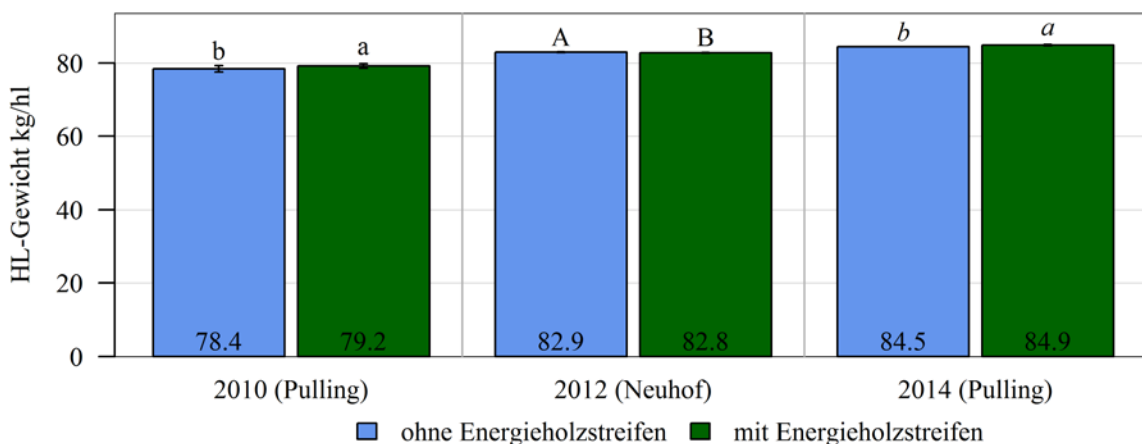
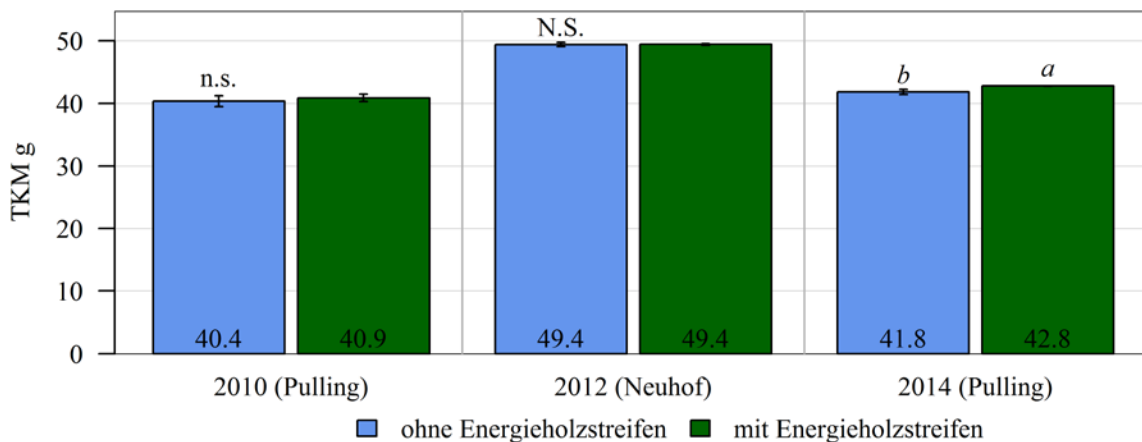
3.3.1.3 Qualität

Die Qualität des Winterweizens wurde durch den Anbau der Energieholzstreifen kaum beeinflusst.

Die kernphysikalische Untersuchung zeigte für das Versuchsjahr 2014 in Pulling zwar eine signifikant höhere Tausendkornmasse im Agroforstsystem, dies hatte aber keinen Einfluss auf das Ertragsniveau (vgl. Abbildung 19). Das Hektolitergewicht war am Standort Pulling in den beiden Versuchsjahren 2010 und 2014 unter Einfluss des Energieholzstreifens signifikant höher, am Standort Neuhof 2012 dagegen signifikant geringer. Die Unterschiede zwischen den Varianten „mit Energieholzstreifen“ und „ohne Energieholzstreifen“ bewegten sich aber lediglich in einem Bereich von 1 bzw. 0,5 % in Pulling und 0,1 % am Neuhof.

Die Analyse der Qualitätseigenschaften im Labor ergab für die Variante „mit Energieholzstreifen“ in den beiden Versuchsjahren am Standort Pulling signifikant höhere Sedimentationswerte (2010: + 2,7 %; 2014: + 10 %) und 2014 auch einen höheren Feuchtklebergehalt (+ 7,1 %). Am Standort Neuhof lag der Feuchtklebergehalt im Agroforstsystem dagegen rund 7 % unter dem Mittel der Referenz, was sich jedoch statistisch nicht absichern lies. Der Sedimentationswert unterschied sich am Neuhof nicht zwischen den beiden Varianten „mit Energieholzstreifen“ und „ohne Energieholzstreifen“ (Abbildung 21).

Betrachtet man den Rohproteingehalt, so änderte er sich in Pulling durch den Anbau der Energieholzstreifen nicht. Am Standort Neuhof zeigte sich ein signifikanter Unterschied, der aber lediglich 1 % betrug.



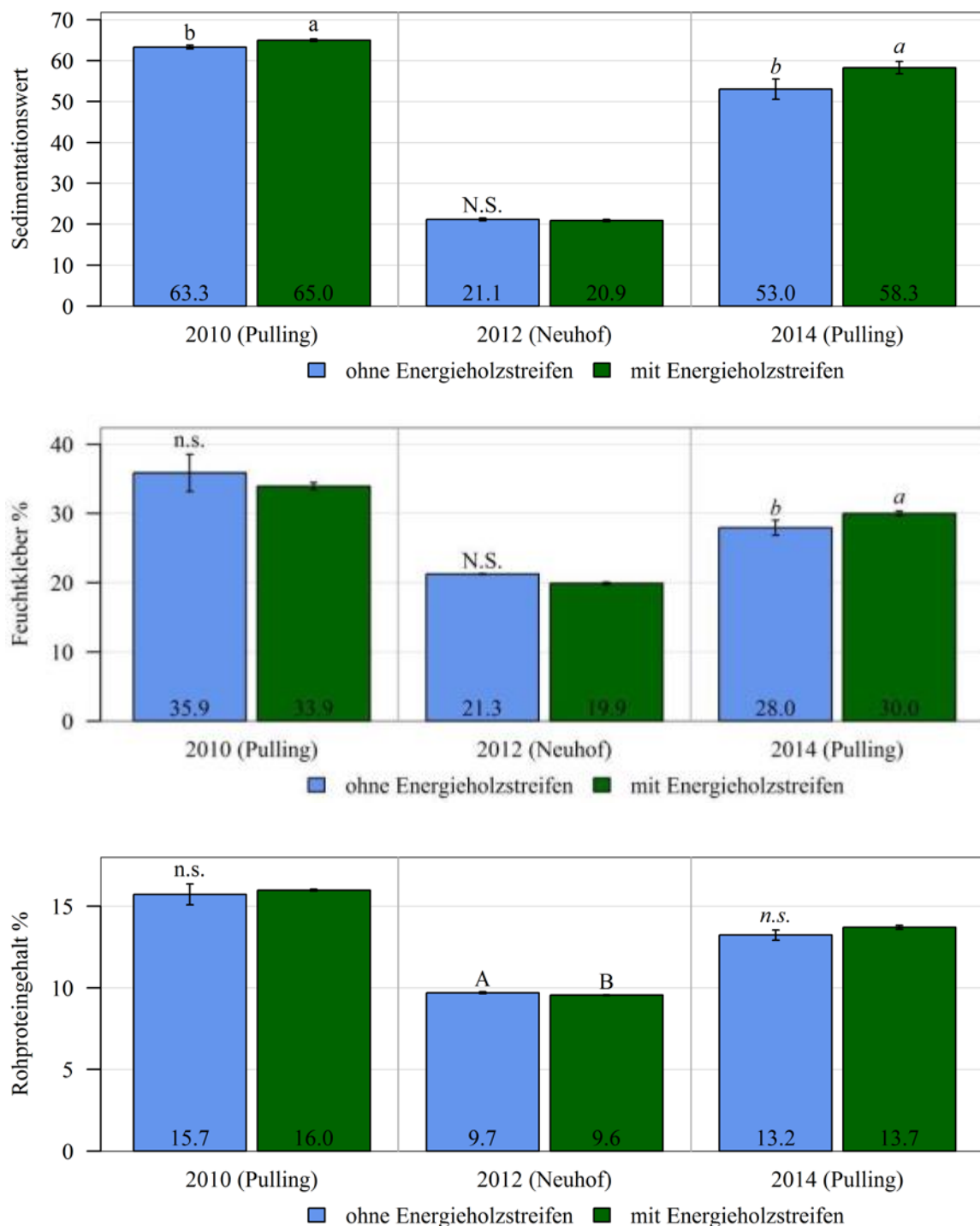


Abbildung 21: Qualitäten von Winterweizen. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung

3.3.2 Einfluss der Gehölzstreifen auf Hafer

3.3.2.1 Bonituren

Im Agroforstsystem war eine höhere Lagerneigung sowohl auf der Luv- als auch auf der Leeseite des Baumstreifens zu beobachten. 2009 lagerte am Standort Pulling ein Großteil

der Parzellen im Agroforstsystem stärker. 2015 trat Lager im Bereich 0 bis 5 m (Parzellen +5 m) nach dem Baumstreifen auf, in den anderen Parzellen dagegen nicht. Am Standort Neuhof lagerten im Jahr 2010 alle Parzellen im Luvbereich des Energieholzstreifens (-10 m) (Tabelle-A 1).

Die Verunkrautung war im ersten Versuchsjahr 2009 in Pulling in der Variante „mit Energieholzstreifen“ mit einer mittleren Boniturnote von 7,1 stärker als in der Variante „ohne Energieholzstreifen“ (mittlere Boniturnote 5,4). Am Standort Neuhof war die Variante „mit Energieholzstreifen“ 2010 ebenfalls stärker verunkrautet als die Variante ohne Energieholzstreifen (mittlere Boniturnote: mit EHS = 7,1; ohne EHS = 5,4).

Jeweils Mitte Juli traten in Pulling im Haferbestand verschiedene Pflanzenkrankheiten auf: 2009 Septoria-Blattdürre (*Septoria tritici*, BBCH 77), 2013 Haferkronenrost (*Puccinia coronata* var. *avenae*, BBCH 80) sowie 2015 Braunrost (*Puccinia recondita*, BBCH 77). Es konnte jedoch keine Differenzierung zwischen den Parzellen in den Varianten „mit Energieholzstreifen“ und „ohne Energieholzstreifen“ festgestellt werden. Bezüglich anderer agronomischer Merkmale war an beiden Standorten ebenfalls kein klarer Einfluss des Energieholzstreifens erkennbar.

3.3.2.2 Ertrag

In Abbildung 22 ist der über alle Parzellen gemittelte Marktwarenertrag von Hafer für die Variante Agroforstsystem „mit Energieholzstreifen“ und die Referenz „ohne Energieholzstreifen“ dargestellt – jeweils auf einen Hektar rein landwirtschaftliche Kultur bezogen. Im Anpflanzungsjahr der Gehölze (2009, Referenzzustand) war der Marktwarenertrag am Standort Pulling in der Variante mit Energieholzstreifen (=„Agroforstsystem“) signifikant geringer. Dies glich sich jedoch mit zunehmender Baumhöhe in den Folgejahren aus. In den drei Versuchsjahren 2010 (Neuhof), 2013 und 2015 (Pulling) gab es zwischen dem Agroforstsystem und der Referenz, wie bei Winterweizen, keinen statistischen Unterschied im Marktwarenertrag. 2016 war der Versuch am Standort Neuhof aufgrund von Staunässe in den Parzellen nicht wertbar. Die statistische Verrechnung der Versuchsergebnisse bestätigte dies mit zu hohen Grenzdifferenzen aufgrund starker Ertragsschwankungen zwischen den einzelnen Parzellen.

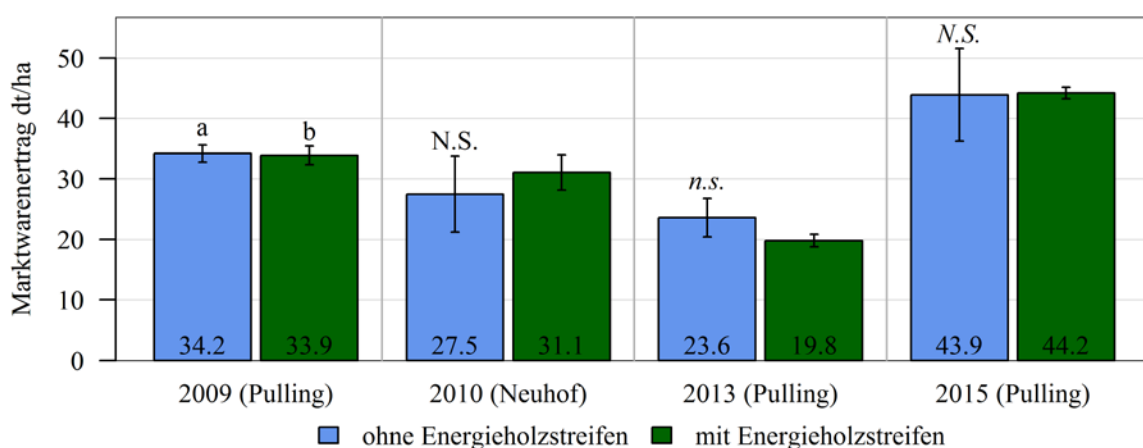
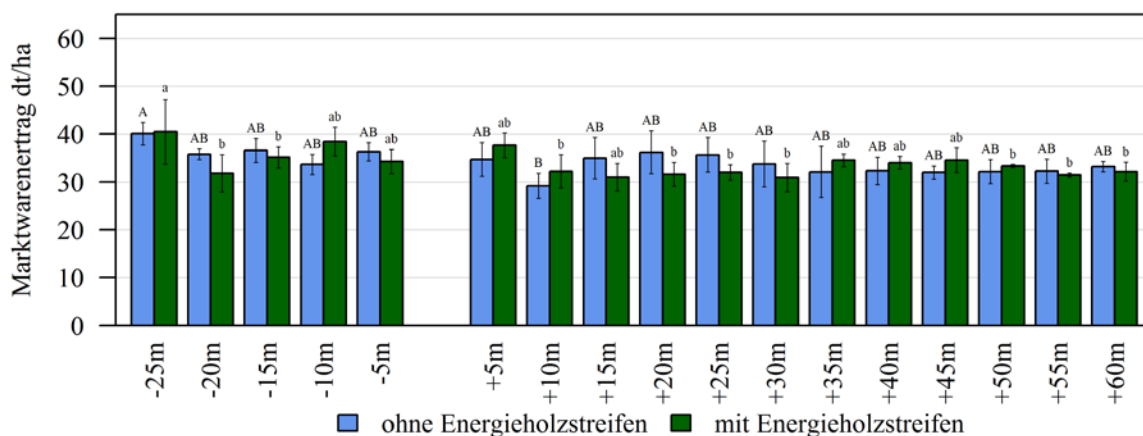


Abbildung 22: Marktwarenertrag (Sortierung >2 mm) bei Hafer. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm \text{Standardabweichung}$

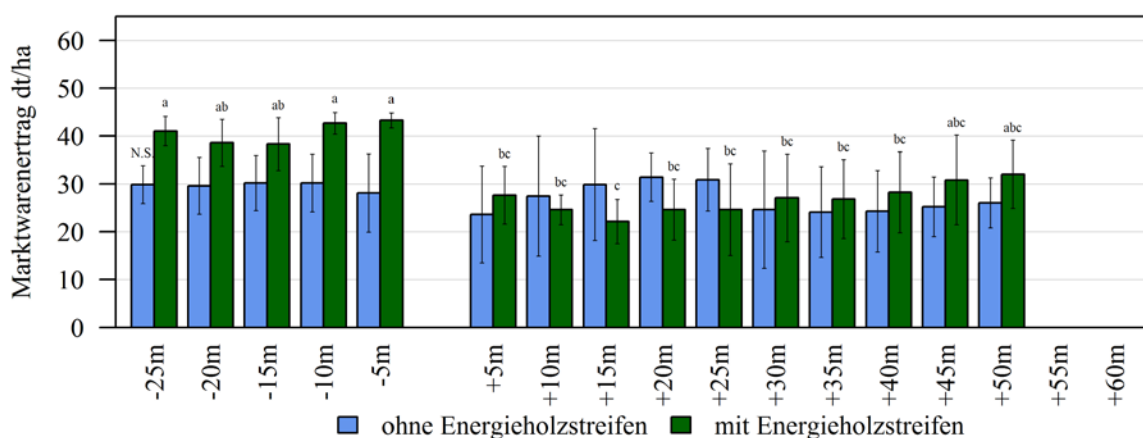
Wie auch bei Winterweizen beeinflusste die Anpflanzung der Gehölze, mit Ausnahme des Versuchsjahres 2013 in Pulling, die räumliche Ertragsverteilung des Hafers (Abbildung 23). Die Wirkung war hier jedoch nicht so eindeutig wie bei Winterweizen und eine Ertragsreduzierung im Bereich 0 bis 10 m (± 5 m, ± 10 m) zu beiden Seiten des Baumstreifens zeigte sich erst im letzten Versuchsjahr 2015 in Pulling. Diese wurde durch höhere Erträge in weiter vom Energieholzstreifen entfernt liegenden Parzellen kompensiert, so dass es keinen Unterschied im Marktwarenertrag zwischen diesen beiden Varianten gab (vgl. Abbildung 22). Am Neuhof waren die Erträge 2010 auf der Luvseite, teilweise signifikant, höher als auf der Leeseite des Energieholzstreifens.

In der Referenz „ohne Energieholzstreifen“ gab es, mit Ausnahme des Versuchsjahres 2009 am Standort Pulling, keine signifikanten Unterschiede im Marktwarenertrag der verschiedenen Parzellen. Hier zeigte die Variante im Luv mit einem Abstand von 25 m (-25 m) zum Energieholzstreifen signifikant höhere Erträge als die Variante mit leeseitig 10 m Abstand (+10 m) zum Baumstreifen. Auch unter Einfluss des Energieholzstreifens war der Ertrag in dieser Variante höher als in der Mehrheit der übrigen Parzellen.

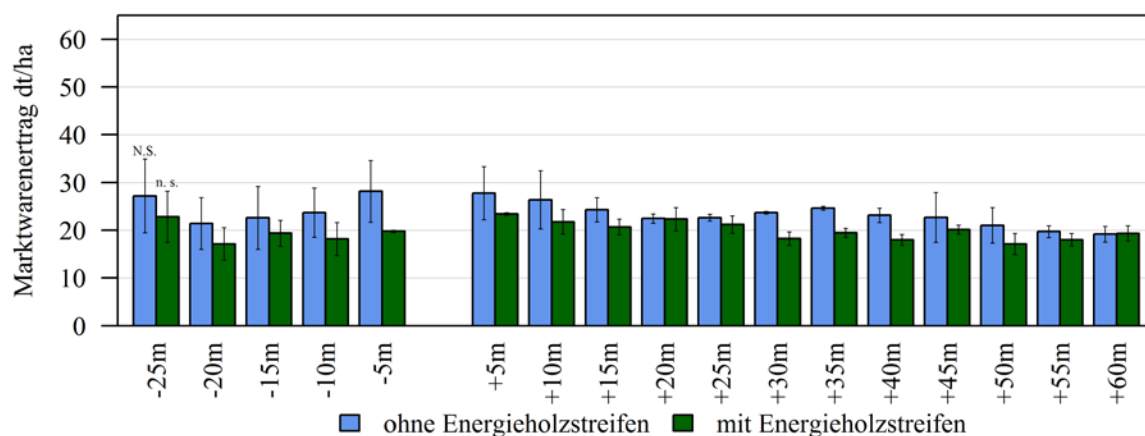
a) Pulling 2009



b) Neuhof 2010



c) Pulling 2013



d) Pulling 2015

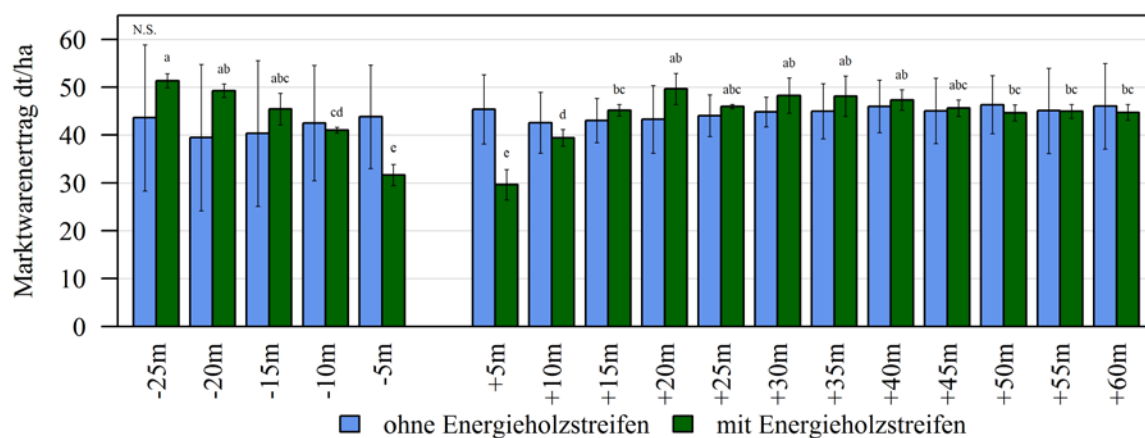


Abbildung 23a-d: Marktwarenertrag (Sortierung > 2 mm) bei Hafer. Mittel über verschiedene Abstände zum EHS in verschiedenen Versuchsjahren. N. S. = nicht signifikant (Variante ohne EHS), n. s. bzw. verschiedene Kleinbuchstaben bei signifikanten Unterschieden (Variante mit EHS) (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung (links Luv, rechts Lee)

3.3.2.3 Qualität

Wie bei Winterweizen wurde die Qualität des Hafers durch den Anbau des Energieholzes kaum beeinflusst. Im Versuchsjahr 2012 wurde zwar am Standort Neuhof unter Einfluss der Gehölzstreifen ein signifikant höheres Hektolitergewicht des Hafers ermittelt, aber am Standort Pulling 2013 ein niedrigeres. Das Tausendkorngewicht war 2013 in Pulling im Agroforstsystem höher als in der Variante ohne Energieholzstreifen. Davon abgesehen gab es keine signifikanten Unterschiede in der Qualität des Hafers zwischen dem Agroforstsystem und der Referenz „ohne Energieholzstreifen“ (Abbildung 25).

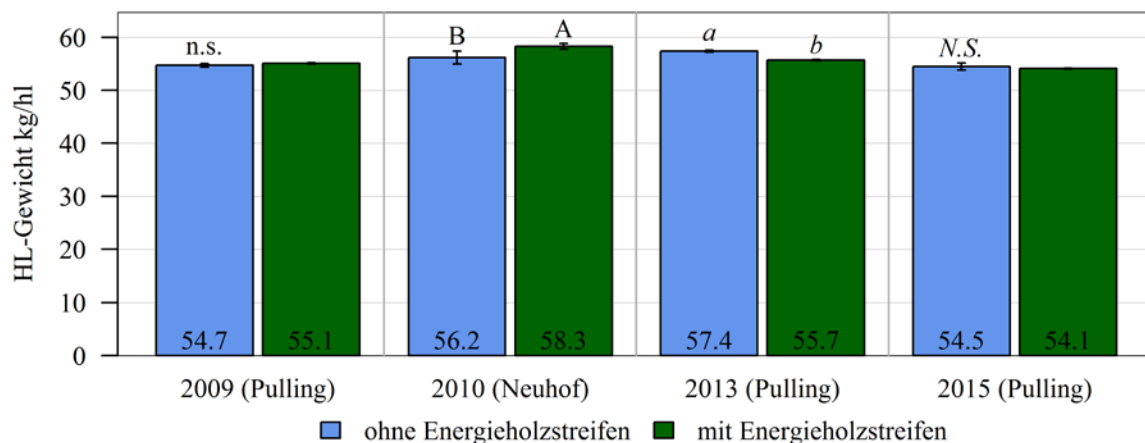


Abbildung 24: Hektolitergewicht bei Hafer. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung

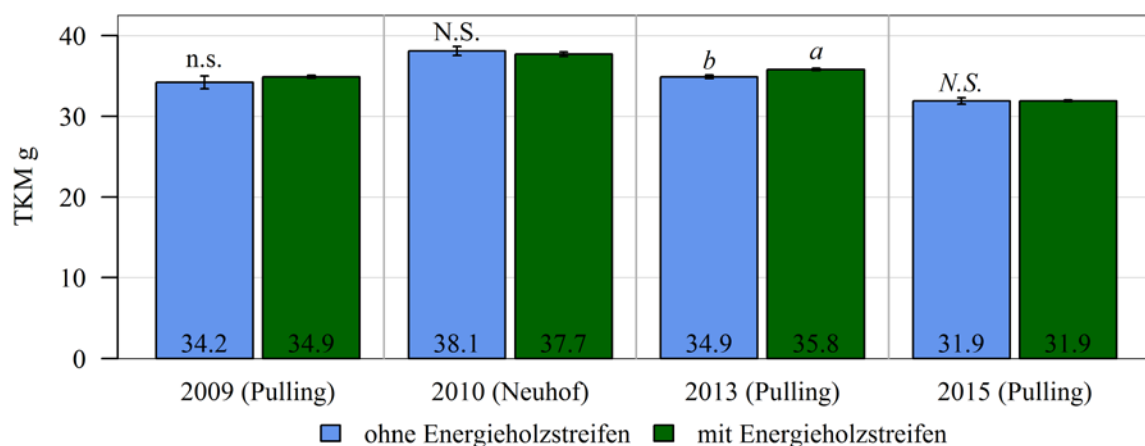


Abbildung 25: Tausendkornmasse bei Hafer. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung

3.3.3 Einfluss der Gehölzstreifen auf Klee gras

3.3.3.1 Bonituren

Am Standort Pulling war der Rotklee im Versuchsjahr 2012 mit Anthracnose (*Colletotrichum trifolii*) befallen. Hinsichtlich der Befallsstärke waren jedoch keine Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten erkennbar. Am Standort Neuhof trat 2011 und 2014 an Rotklee der Echte Mehltau (*Microsphaera trifolii*) auf – eine der häufigsten Pilzkrankungen bei Klee. Aufgrund der Kabel, die von den Messgeräten zur Bestandsklimamessung zum Datenlogger führten, konnte dort das Klee gras nicht vollständig abgemäht werden. Diese überständigen Klee grasstreifen entlang der Messgeräte beeinflussten die Infektion in der Variante „mit Energieholzstreifen“. Mit einer mittleren Boniturnote von 2,7 bzw. 3,2 fiel sie dort stärker aus als in der Variante „ohne Energieholzstreifen“ (mittlere Boniturnoten 2,0 bzw. 2,1). Im Jahr 2014 trat zudem Blattbrand (*Leptosphaerulina trifolii*) an Luzerne auf – jedoch ohne räumliche Differenzierung.

Die Bestandszusammensetzung (Anteil Klee, Gräser, Kräuter) unterschied sich in den vier Versuchsjahren kaum zwischen den Varianten „mit“ und „ohne Energieholzstreifen“ (Tabelle-A 2).

3.3.3.2 Ertrag

Abbildung 26 zeigt den über alle Parzellen gemittelten Trockenmasseertrag von Klee gras (Summe über alle Schnitte) bezogen auf einen Hektar landwirtschaftlicher Kultur.

2014 war der Ertrag am Standort Neuhof unter Einfluss des Energieholzstreifens signifikant höher als der Ertrag ohne Einfluss des Energieholzstreifens. In den Versuchsjahren 2011 (Standorte Pulling und Neuhof) und 2012 (Pulling) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Variante „mit“ und der „ohne Energieholzstreifen“.

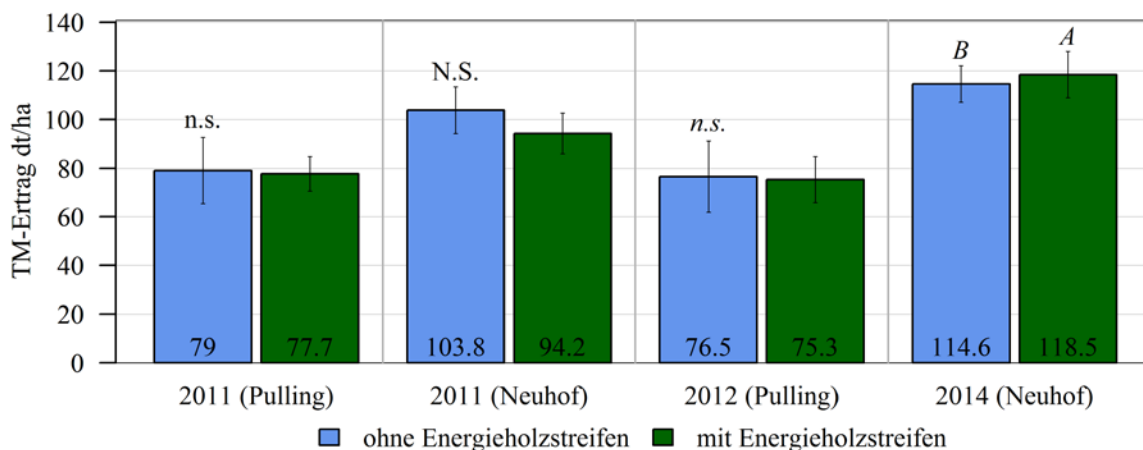


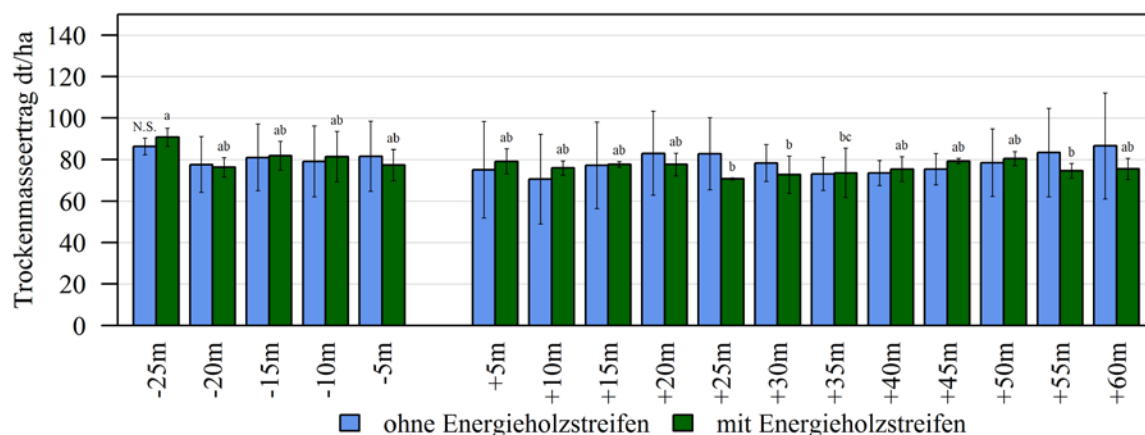
Abbildung 26: Trockenmasseertrag bei Klee gras (Summe über alle Schnitte). Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung

Die Wirkung der Energieholzstreifen auf die räumliche Ertragsverteilung war bei Klee gras geringer und, besonders im unmittelbaren Einflussbereich der Gehölze, nicht so stark ausgeprägt wie bei Getreide (vgl. Abbildung 20, Abbildung 23). Ein deutlicher Effekt zeigte sich nur am Standort Neuhof. Im Versuchsjahr 2014 war der Ertrag in den Parzellen mit luv- und leeseitig 5 m Abstand zum Energieholzstreifen (± 5 m) gegenüber den übrigen Parzellen signifikant reduziert (Abbildung 27d). Des Weiteren wiesen die Parzellen in der Variante „mit Energieholzstreifen“ zum Großteil einen höheren Ertrag auf als die Parzellen in der Kontrolle ohne Energieholzstreifen, wodurch auch der Gesamtertrag gesteigert wurde (vgl. Abbildung 26). 2011 war der Ertrag in den leeseitig direkt an den Energieholzstreifen angrenzenden Parzellen (+5 m) signifikant geringer als der Ertrag in den meisten anderen Parzellen unter Einfluss des Energieholzstreifens (Abbildung 27b).

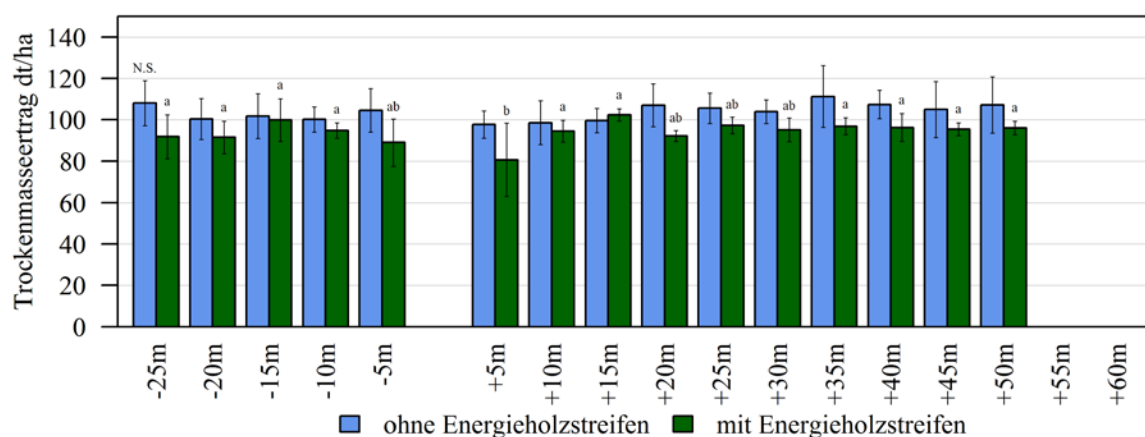
In Pulling wurde der Trockenmasseertrag des Klee grasses durch den Anbau des Energieholzes nur geringfügig beeinflusst. 2011 wies die Parzelle in luvseitig 25 m (-25 m) Entfernung höhere Erträge auf als die Parzellen auf der Leeseite in 25 m, 30 m und 55 m (+25 m, +30 m, +55 m) Entfernung zum Energieholzstreifen (Abbildung 27a). 2012 war der Trockenmasseertrag in den direkt an den Energieholzstreifen angrenzenden Parzellen sowie in 60 m Entfernung (+60 m) signifikant geringer als 25 m vor dem Energieholzstreifen (-25 m) (Abbildung 27c).

In der Variante „ohne Energieholzstreifen“ gab es, wie bei Getreide, in keinem Versuchsjahr und an keinem der beiden Standorte signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen.

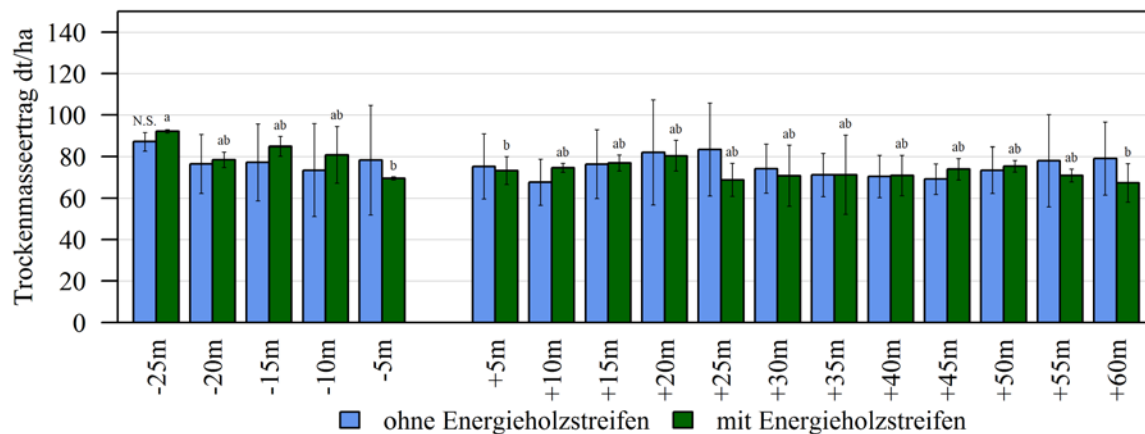
a) Pulling 2011



c) Neuhof 2011



c) Pulling 2012



d) Neuhof 2014

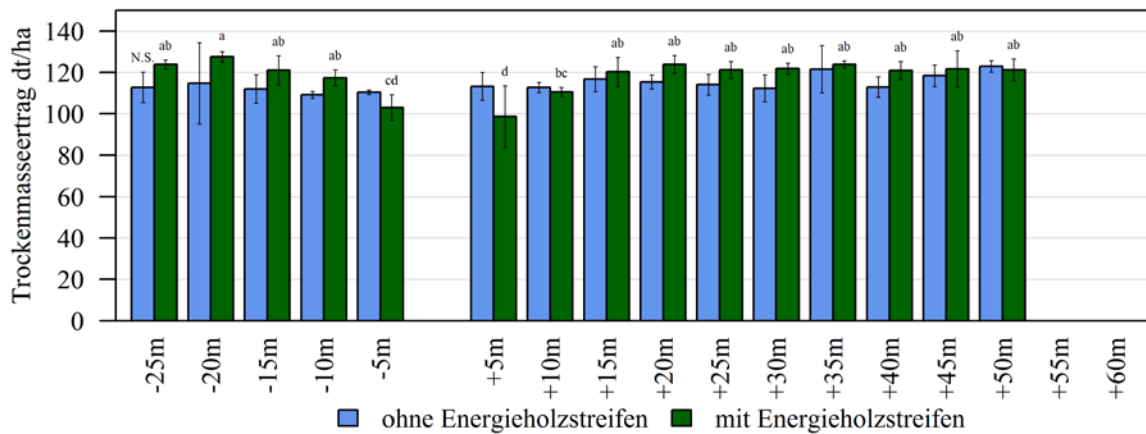


Abbildung 27 a-d: Trockenmasseertrag bei Klee gras (Summe über alle Schnitte). Mittel über verschiedene Abstände zum EHS in verschiedenen Versuchsjahren. N. S. = nicht signifikant (Variante ohne EHS), verschiedene Kleinbuchstaben = signifikante Unterschiede (Variante mit EHS) (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung (links Luv, rechts Lee)

3.3.3.3 Qualität

Betrachtet man die Energieleistung von Klee-Gras-Gemenge, so gab es, auch wenn der Energieertrag im Agroforstsystem in allen Versuchsjahren etwas geringer war, keinen statistischen Unterschied zwischen der Variante „mit Energieholzstreifen“ und der „ohne Energieholzstreifen“ (Abbildung 28).

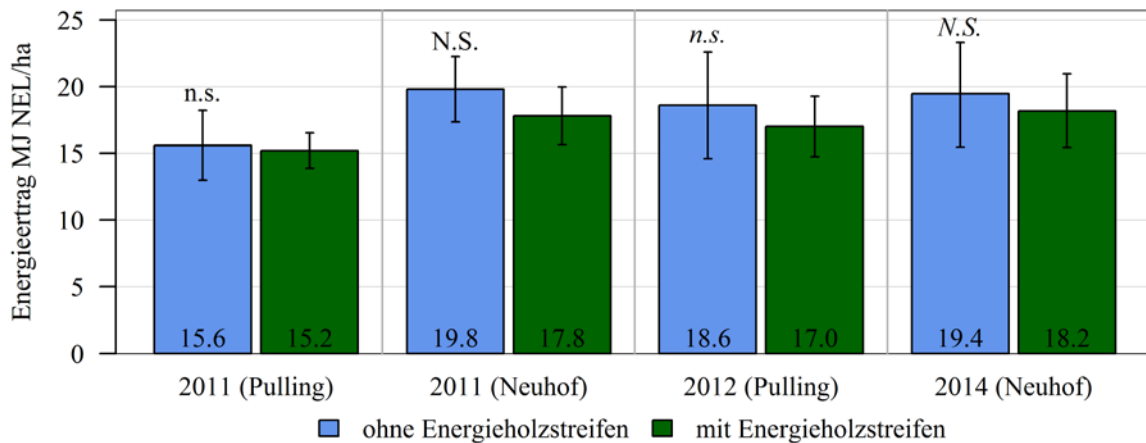


Abbildung 28: Energieertrag von Klee gras. Mittel über alle Abstände zum EHS. N. s. = nicht signifikant, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (SNK-Test, $p < 0,05$), Fehlerbalken = $MW \pm$ Standardabweichung

3.3.4 Gehölze

Der Anwucherfolg der Pappelklone lag am Neuhof bei 'Max 1' bei 98 %, bei 'Max 3' bei 99 %. In Pulling wuchsen die Pappelstecklinge bei beiden Klonen vollständig an. Durch Wühlmausschäden kam es in den Energieholzstreifen im Winter 2009/2010 zu Ausfällen von rund 25 %. Im Gegensatz zum Standort Pulling gab es in Neuhof keine Probleme mit Wühlmäusen.

Abbildung 29 zeigt die jährlichen Zuwächse in den Energieholzstreifen sowie die mittlere Wuchshöhe der Bäume vor der Energieholzernte. Die Pappelklone zeigten am Standort Pulling, vor allem ab der dritten Vegetationsperiode, eine deutlich höhere Wuchsleistung als am Standort Neuhof. In Pulling betrug die finale Wuchshöhe knapp 12 m, am Standort Neuhof rund 8 m. Rechnet man 1,5 m Saum im Übergangsbereich zwischen Gehölz und landwirtschaftlicher Kultur an den Außenrändern des Energieholzstreifens hinzu, wurde am Standort Pulling bei 'Max 1' im Mittel ein Biomasseertrag von rund $15 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ erzielt, bei 'Max 3' waren es rund $16 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Am Standort Neuhof waren die Biomasseerträge mit rund $5 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ bei 'Max 1' und $8 \text{ t}_{\text{atro}} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ bei 'Max 3' wesentlich geringer als in Pulling. Auch hier wurde ein Saum von 1,5 m eingerechnet.

Abbildung 30 zeigt, dass die Biomasseerträge des Energieholzes – mit Ausnahme der leeseitigen Außenreihe bei 'Max 3' am Neuhof – in den Randreihen höher waren als in den mittleren Reihen. Nach der ersten Ernte lag der Wiederaustrieb in Pulling bei beiden Pappelklonen bei 99 %. Die mittlere Wuchshöhe zu Vegetationsende betrug bei 'Max 1' 3,1 m und 3 m bei 'Max 3', bei einer durchschnittlichen Triebanzahl von zehn bzw. zwölf Trieben je wiederausgetriebenem Stock. Am Neuhof waren es bei 'Max 1' 99 % wiederausgetriebene Stöcke. Die mittlere Höhe lag, wie in Pulling, bei 3,1 m, die durchschnittliche Triebanzahl betrug fünf. Der Pappelklon 'Max 3' trieb vollständig wieder aus. Die Wuchshöhe nach der ersten Vegetationsperiode im zweiten Umtrieb lag ebenfalls bei 3 m, bei einer durchschnittlichen Triebanzahl von sechs Trieben je Stock.

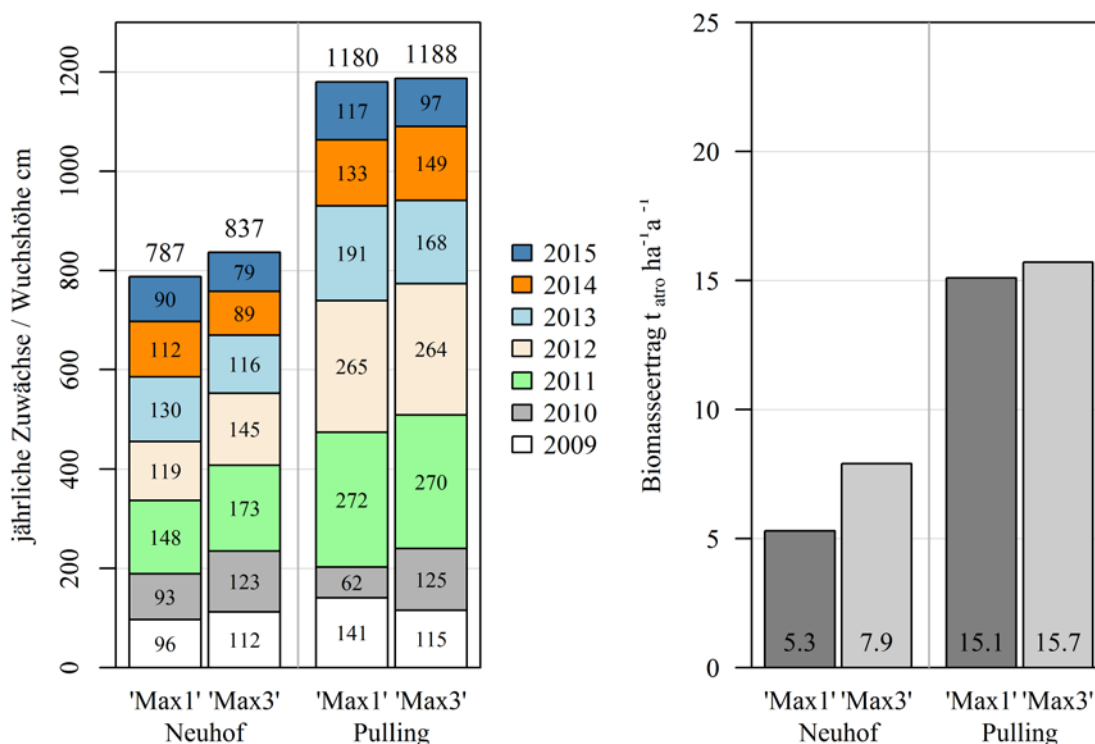


Abbildung 29: Baumhöhe im Jahr 2015 (siebtes Standjahr) und jährliche Zuwächse in den Energieholzstreifen sowie die Biomasseerträge (inkl. 1,5 m Saum an den Rändern des Energieholzstreifens)

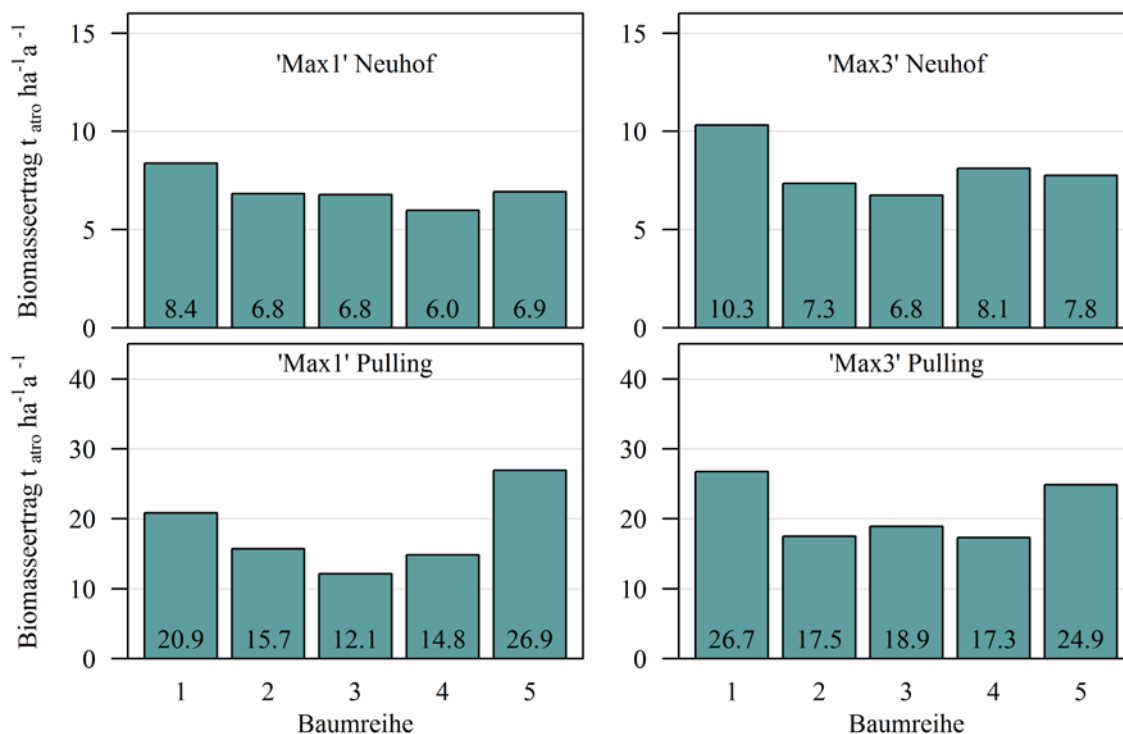


Abbildung 30: Mittlerer Biomasseertrag der einzelnen Baumreihen von Ost (Reihe 1) nach West (Reihe 5), berechnet inkl. 1,5 m Saum an den Außenrändern des Energieholzstreifens

3.3.5 Ökonomie

In Abbildung 31 sind die Zahlungsströme bei der Bewirtschaftung des Ackers mit Energieholzstreifen am Beispiel von Pulling dargestellt. Auffällig sind die großen Ausschläge in den Jahren der Energieholzernte. Die Kosten der Anlage des Energieholzstreifens am Beginn fallen aufgrund des geringen Flächenanteils dieses Streifens von 13 % kaum auf. Die Erlöse aus den Ackerkulturen unterliegen ebenfalls starken Schwankungen. Vor allem der geringe Ertrag der Haferernte 2013 wird dabei deutlich, wobei es keinen Unterschied zwischen Hafer im freien Feld und Hafer im Agroforstsystem gab.

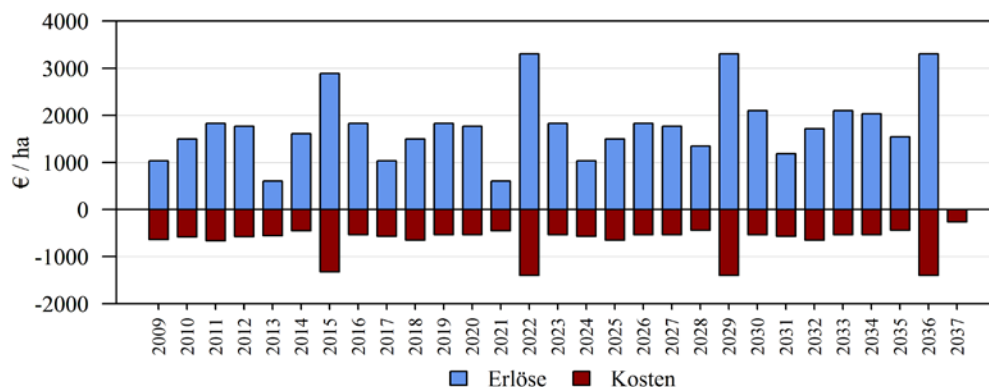


Abbildung 31: Zahlungsströme bei der Bewirtschaftung des Ackers mit Energieholzstreifen in Pulling.

Einen Vergleich der Erlöse und Kosten des Anbaus mit und ohne Energieholzstreifen zeigt Abbildung 32. Auffällig sind die höheren variablen Arbeiterledigungskosten bei

dem Anbau mit Energieholzstreifen. Dies ist auf die Kosten der Holzernte zurückzuführen. Die jährlichen Überschüsse sind aus Tabelle 14 ersichtlich. Für Pulling ist der Überschuss im Anbau mit Energieholzstreifen um 9 % geringer als ohne Energieholzstreifen. Der größere Überschuss beim Anbau ohne Energieholzstreifen ist zu 62 % auf die höheren Erträge der Ackerkulturen zurückzuführen, die bei der Betrachtung der einzelnen Jahre nach der statistischen Auswertung jedoch nicht signifikant sind. Der Rest ist auf die geringeren Überschüsse aus der Energieholzproduktion zurückzuführen.

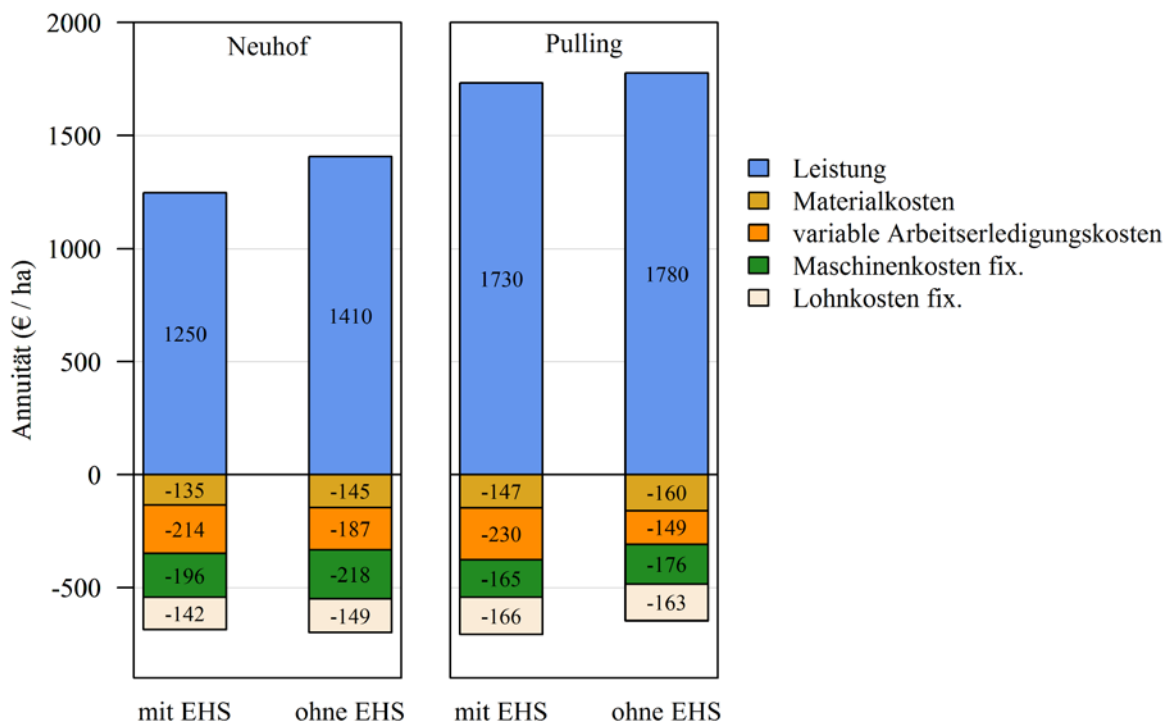


Abbildung 32: Vergleich der Erlöse und Kosten getrennt nach Kostengruppen und umgerechnet in Annuitäten für den Versuchsstandort Pulling.

Tabelle 14: Leistung, Kosten und Überschüsse umgerechnet in Annuitäten der Anbausysteme mit und ohne Energieholzstreifen an den beiden Versuchsstandorten.

in €/ha	Pulling		Neuhof	
	mit EHS	ohne EHS	mit EHS	ohne EHS
Leistung	1.733	1.778	1.248	1.407
Materialkosten	-147	-160	-135	-145
Variable Arbeiterledigungskosten	-230	-149	-214	-187
Maschinenkosten, fix	-165	-176	-196	-218
Lohnkosten, fix	-166	-163	-142	-149
Überschuss	1.025	1.131	562	708

In Neuhof kam es hauptsächlich aufgrund von Staunässe (defekte Drainage) beim Getreide mehrfach zu regelrechten Missernten. Der Ertrag beim Winterweizen erreichte im Durchschnitt nur die Hälfte, der bei Hafer nur 61 % der Erträge, die im Deckungsbeitragsrechner der LfL für Öko-Winterweizen, Öko-Hafer voreingestellt sind (LfL, 2018). Auch

der Holzertrag im Energieholzstreifen war – vermutlich ebenfalls durch die defekten Drainagen bedingt - sehr niedrig. Er betrug nur knapp zwei Drittel des Holzertrags der Pappeln im nur 200 m entfernten KUP-Versuch. Aus diesen Gründen sind die Überschüsse in NeuhoF erheblich niedriger. Der Anbau mit Energieholzstreifen erreicht in NeuhoF nur 79 % des Überschusses vom Anbau ohne Gehölze. Dieser Unterschied ist je zur Hälfte auf die höheren Erträge der Ackerkulturen ohne Energieholzstreifen und zur Hälfte auf die niedrigeren Überschüsse aus der Energieholzproduktion zurückzuführen. Die höheren Erträge beim Getreide auf den Parzellen ohne Energieholzstreifen waren allerdings nicht signifikant bzw. statistisch nicht auswertbar.

3.4 Diskussion

Für die Gestaltung von Agroforstsystemen ist das Wissen um die Wirkung der Energieholzstreifen auf die landwirtschaftlichen Kulturen unerlässlich. Die Ergebnisse zeigen, dass der streifenförmige Anbau von Energieholz unter den gegebenen südbayerischen Standortverhältnissen den Gesamtertrag der untersuchten Kulturarten Winterweizen, Hafer und Klee gras nicht bzw. geringfügig positiv beeinflusst hat, aber auf die räumliche Ertragsverteilung wirkte. Im Nahbereich der Gehölze gemessene Mindererträge bei Getreide und Klee gras wurden durch eine Ertragssteigerung in weiter vom Gehölzstreifen entfernt liegenden Bereichen kompensiert. Dies kann u. a. auf eine reduzierte Windgeschwindigkeit auf der Leeseite des Energieholzstreifens zurückgeführt werden (s. auch Kap. 4.2.2). Die Mindererträge im Nahbereich waren vermutlich durch eine Konkurrenz um Licht oder durch eine weniger präzise Bodenbearbeitung aufgrund Behinderung durch herausstehende Äste verursacht. Sie beschränkten sich überwiegend auf einen Bereich von ca. 5 bis 10 m zu beiden Seiten der Gehölze.

Versuche von PRETZSCHEL et al. (1991) zeigten bereits zu Beginn der 1990er Jahre einen positiven Einfluss von Windschutzpflanzungen auf den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen. In dieser Studie wurde bei Winterweizen, neben dem Ertragsabfall im unmittelbaren Windschattenbereich, ein Ertragsanstieg mit zunehmender Feldtiefe nachgewiesen. Auch SWIETER et al. (2017) sowie BÄRWOLFF et al. (2016) bestätigten diesen Effekt bei Winterweizen auf Versuchsstandorten in Niedersachsen und Thüringen.

Versuche von MIRCK et al. (2016) an Zuckerrübe zeigen, dass auf leichten, sandigen Böden und großflächigen, winderosionsgefährdeten Ackerschlägen in Brandenburg durch den Anbau von Energieholzstreifen (Pappelklon 'Max 1', 6-jährig) eine Steigerung des Gesamtertrages bei einer landwirtschaftlichen Kultur möglich ist. In unserer Untersuchung konnte, abgesehen von einem Versuchsjahr mit Klee-Gras-Gemenge, kein positiver Einfluss der Baumstreifen auf den Gesamtertrag der landwirtschaftlichen Kulturen nachgewiesen werden, was vermutlich an den im Vergleich zu Brandenburg günstigeren Standort- und Klimabedingungen liegt (besserer Windschutz schon vor Anbau der Baumstreifen, höhere Niederschläge, höhere nFK). Damit entfaltet die (Wind-)Schutzfunktion der Baumstreifen weniger Wirkung als unter den von MIRCK et al. (2016) beschriebenen Standortbedingungen.

Die Streuung der Werte für den Korn- bzw. Trockenmasseertrag war bei den Parzellen mit Energieholzstreifen meistens viel geringer als bei denen ohne Energieholzstreifen. Ökonomen würden daraus den Schluss ziehen, dass das Risiko bei Energieholzstreifen geringer ist. Der Streuungsunterschied war hier aber vermutlich durch die Versuchsanlage bedingt, weil bei den Energieholzstreifen mehrfach die Versuchspartellen direkt aneinander anschlossen, ohne Energieholzstreifen jedoch nicht.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anbau von Energieholzstreifen die Qualitätseigenschaften der untersuchten Getreidearten Hafer und Winterweizen und des Kleeegrases kaum beeinflusst. Das Hektolitergewicht beispielsweise ist bei Hafer ein wichtiges preisrelevantes Qualitätsmerkmal. In allen Versuchsjahren lag es in beiden Varianten mit und ohne Einfluss des Energieholzstreifens über den am Öko-Markt geforderten 54 Punkten (Beckmann et al., 2001), die festgestellten geringfügigen Unterschiede dürften daher nicht vermarktungswirksam sein. Der Sedimentationswert und der Feuchtklebergehalt waren im Agroforstsystem bei Baumhöhen über 10 m etwas höher als bei reiner Ackerbewirtschaftung, was sich bei der Vermarktung positiv auswirken könnte. BÄRWOLFF et al. (2016) konnten in ihren Versuchen in Thüringen keine vermarktungswirksamen Änderungen des Hektolitergewichts und des Rohproteingehaltes bei Winterweizen durch den Anbau von Energieholzstreifen nachweisen.

An beiden Standorten zeigte 'Max 3' etwas höhere Biomasseerträge als 'Max 1'. Der geringe Biomasseertrag beider Pappelklone am Standort Neuhof kann vermutlich durch die im Vergleich zum Standort Pulling ungünstigeren Standortverhältnisse, v. a. schwerer Boden kombiniert mit Staunässe, erklärt werden. Auch WERNER et al. (2004) beschreiben in ihren Erfahrungen zum 10-jährigen Energieholzanbau in Thüringen eine Staunässeunverträglichkeit bei Pappeln. Im Bereich des Energieholzstreifens wuchsen die Pappelwurzeln in die Drainagen ein, was diese beschädigte, die Staunässe verstärkte und die hohe Bodenfeuchte in diesem Bereich erklärt (s. auch Kap 4.2.2). Obwohl die Versuchsfäche Luftlinie nur ca. 200 m vom Teilversuch der LWF „Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Gehölze zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“ entfernt lag, waren die Energieholzerträge in den Baumstreifen wesentlich geringer als im LWF-Versuch (s. auch Kap. 2.3.2). In diesem trat im Versuchszeitraum keine Staunässe auf. Durch eine leichte Hanglage konnte das Wasser dort besser abfließen. Der schwerere und nässere Boden ist möglicherweise auch der Grund, warum sich am Standort Neuhof, im Gegensatz zum Standort Pulling, keine Wühlmäuse nach der Anlage der Energieholzstreifen ansiedelten.

Die höheren Biomasseerträge in den Randleihen der Energieholzstreifen legen die Vermutung nahe, dass aufgrund des höheren Anteils an Randleihen in einem Agroforstsystem höhere Biomasseerträge als in einer Kurzumtriebsplantage erzielt werden können. Dieser Effekt kommt vermutlich durch ein erhöhtes Licht- und Standraumangebot für die Randleebäume zustande (vgl. Lamerre et al., 2015).

Aus versuchsmethodischen Gründen wurde in dem Versuch auf eine Düngung weitgehend verzichtet, organischer Dünger wurde überhaupt nicht ausgebracht. Nicht ausreichend homogen verteilter organischer Dünger kann Versuchsfehler verursachen. Es stellt sich die Frage, ob unter diesen Bedingungen die im Rahmen der ökonomischen Bewertung des Agroforstsystems modellierten Erträge der Ackerkulturen während der zweiten bis vierten Umtriebszeit des Energieholzes überhaupt realistisch sind. Bei sinkenden Erträgen der Ackerkulturen geht deren Überlegenheit gegenüber den Gehölzstreifen zurück. Die Gehölzstreifen behalten auch ohne Düngung ihre Ertragsleistung, worauf die langjährigen Versuchsanbauten von KUP durch die LWF hindeuten. Die Annahme ist allerdings unrealistisch, dass im Ackerbau über einen so langen Zeitraum nicht oder fast nicht gedüngt wird. Dann wären die Kosten für die Düngung ebenfalls zu berücksichtigen. Die größte Kostenposition bei den Ackerkulturen entfällt normalerweise auf die Düngung, sofern die voreingestellten Werte im Deckungsbeitragsrechner der LfL für Öko-Winterweizen, Öko-Hafer und Öko-Belüftungsheu zugrunde gelegt werden. Durch Berücksichtigung von Düngekosten und durch Düngung bewirkte höhere Erträge der Ackerkulturen verändert

sich deren relative Vorzüglichkeit gegenüber dem Energieholz. Andererseits könnte die Düngung aber auch eine Ertragssteigerung bewirken und sich beides – die höheren Düngerkosten und die höheren Erlöse aus Mehrertrag – finanziell womöglich ausgleichen. Die im Versuch erzielten Erträge sollen deshalb mit den im Ökolandbau üblichen Erträgen verglichen werden. Werden die im Deckungsbeitragsrechner der LfL voreingestellten Ertragswerte als Maßstab genommen, lagen die Erträge am Standort Pulling für Öko-Winterweizen im Versuch bei 97 %, für Öko-Hafer bei 86 % und für Öko-Belüftungsheu bei 102 %. In Pulling entsprachen die Erträge während des Versuchs also ungefähr den in Bayern im Ökolandbau üblichen Erträgen. Am wahrscheinlichsten ist wohl die Annahme, dass gleichbleibende Erträge der Ackerkulturen, wie sie für den Zeitraum des zweiten bis vierten Gehölzumtriebs angenommen wurden, nur möglich wären, wenn gedüngt würde. Da Düngekosten in der Kalkulation kaum berücksichtigt wurden, dürfte der berechnete Überschuss der Ackerkulturen deutlich zu hoch sein. Somit ist es sehr wahrscheinlich, dass der Anbau der Ackerkulturen mit Energieholzstreifen am Standort Pulling bei üblicher Bewirtschaftungsweise mindestens genauso wirtschaftlich ist, wie ein Anbau ohne Energieholz.

Aufgrund der besonderen Ertragssituation im Versuch am Standort Neuhof sollte der Wirtschaftlichkeitsvergleich dort nicht als typisch bewertet werden.

Nach den Marktbeobachtungen von C.A.R.M.E.N. e.V. schwankte der Preis für Waldhackschnitzel in dem 10-jährigen Zeitraum von 2008 bis 2017 in einem Rahmen von 3 % unter und 22 % über dem Preis von 2017. Ein Preisrückgang von deutlich mehr als 3 % ist unwahrscheinlich, weil der Absatz von Hackschnitzeln dann völlig unrentabel wird. Bei einem Preisrückgang von 5 % wächst die Differenz der Annuitäten zwischen dem Anbau mit und ohne Energieholzstreifen von 9 auf 10 %. Bei einem Preisanstieg von 25 % sinkt die Differenz auf 4 %. Die Hackschnitzelpreise müssten um 45 % steigen, damit der Anbau mit Energieholz auch ohne Berücksichtigung von zusätzlichen Düngekosten genauso wirtschaftlich wird wie der ohne.

Die Preise für Getreide sind ebenfalls sehr volatil. Der Preis für Brotweizen schwankte in dem 10-jährigen Zeitraum von 2008 bis 2017 in einem Rahmen von -27 % bis +46 % bezogen auf den Preis von 2017 (Statistisches Bundesamt, 2018). Niedrigere Erlöse für die landwirtschaftlichen Erzeugnisse verringern den Unterschied zwischen den Anbausystemen mit und ohne Energieholz, steigende Erlöse vergrößern ihn jedoch. Lägen die Erlöse um 50 % höher, würde die Differenz von 9 %-Punkte auf 12 %-Punkte wachsen. Wären die Erlöse der Feldfrüchte um 30 % niedriger, schrumpft die Differenz zwischen beiden Anbausystemen auf knapp 4 %-Punkte. Lägen die Erlöse sogar um 39 %-Punkte niedriger, wäre der Anbau mit Energieholzstreifen auch ohne Berücksichtigung von weiteren Düngekosten vorteilhafter.

Die Entscheidung für ein bestimmtes Anbauverfahren kann durch die staatliche Förderung beeinflusst werden. Für die Energieholzstreifen im Ackerbau wird inzwischen eine Ökopremie gewährt. Mit Berücksichtigung der Ökopremie erhöht sich der Überschuss bei beiden Anbausystemen in gleichem Maße. Damit macht die staatliche Förderung gegenwärtig den Anbau mit Energieholzstreifen für Ökolandbaubetriebe ökonomisch weder vorteilhafter noch unattraktiver.

Die Rodung der Energieholzstreifen am Ende der Nutzungsdauer ist mit nicht unerheblichen Kosten verbunden. Anbaugeräte zum Roden von Wurzelstöcken bis in ausreichende Tiefe gibt es bislang noch nicht sehr häufig. Sollen dafür Lohnunternehmer eingesetzt werden, können je nach Lage des landwirtschaftlichen Betriebes größere Anfahrtstrecken

notwendig sein. Die Kosten dafür entstehen unabhängig von der Größe der zu rodenden Fläche. Die hier zugrunde gelegten Kosten für die Rodung beziehen sich auf Erfahrungen auf KUP-Versuchsflächen der LWF. Die Rodungsflächen umfassten dort allerdings 2 ha bzw. 2,4 ha. Bei der Rodung von Energieholzstreifen dürften solch große Flächen eher selten vorkommen. Je kleiner die Rodungsfläche ist, desto größer werden die flächenbezogenen Rodungskosten. Bei einer Verdoppelung der Rodungskosten würde die Differenz zwischen dem Anbau mit und ohne Energieholz um 0,6 %-Punkte steigen. Dieser eher geringe Effekt ist darauf zurückzuführen, dass die Rodung am Ende des Betrachtungszeitraums stattfindet und die Kosten durch die Diskontierung über den langen Zeitraum erheblich reduziert werden.

Die dargestellten Ergebnisse bilden die Grundlage für eine effiziente Gestaltung eines Agroforstsystems zur Energieholzgewinnung. Um einen möglichst hohen Biomassertrag bei den Gehölzen zu erzielen, könnte beispielsweise die Breite, d. h. die Anzahl der inneren Reihen eines Baumstreifens, reduziert werden. Legt man Wert auf hohe Erträge bei den Ackerkulturen, empfiehlt es sich, die Auswirkungen der negativen Effekte im Übergangsbereich zwischen den Bäumen und der landwirtschaftlichen Kultur auf den gesamten Flächenertrag dadurch gering zu halten, dass man möglichst breite Baumstreifen mit größeren Abständen zueinander, anstelle schmaler Baumstreifen mit engeren Abständen zueinander, anlegt. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sind die Hackschnitzelpreise bzw. die Preise für die Ackerbaukulturen entscheidend.

3.5 Zusammenfassung

In diesem Teilprojekt wurde die Wirkung von mehrreihigen Baumstreifen in einem Agroforstsystem zur Energieholzerzeugung auf die Erträge und die Qualitäten landwirtschaftlicher Feldfrüchte untersucht. Aufgrund der weitgehend übereinstimmenden Angaben in der Literatur wurde ein positiver Effekt von regelmäßig geernteten Baumstreifen auf den Ertrag der dazwischen liegenden landwirtschaftlichen Kulturen erwartet. Außerdem wurde untersucht, ob in einem Agroforstsystem die Biomasseerzeugung im Vergleich zur reinen landwirtschaftlichen Nutzung höher ist und wie sich die Ökonomie dieses Systems unter bayerischen Standortbedingungen darstellt. Zur Beantwortung der genannten Fragestellungen wurden in der zweiten Aprilhälfte 2009 an den beiden Standorten Pulling und Neuhof zwei Exaktversuche angelegt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Anbau von Energieholz in Agroforstsystemen während der ersten Rotationsperiode der Bäume unter südbayerischen Standortverhältnissen sowohl positive als auch negative Einflüsse auf die räumliche Ertragsverteilung von Hafer, Winterweizen und Klee gras hatte. Der Gesamtertrag wurde aber durch die Energieholzstreifen, verglichen mit den Erträgen im angrenzenden freien Feld, nicht beeinträchtigt. Im Nahbereich der Gehölze ($\pm 5-10$ m) gemessene Mindererträge bei Getreide und Klee gras wurden durch eine Ertragssteigerung in weiter vom Gehölzstreifen entfernt liegenden Bereichen kompensiert. Die Qualität von Getreide wurde durch den Anbau von Energieholzstreifen nur geringfügig beeinflusst. Die Gesamtenergieleistung von Klee-Gras-Gemenge änderte sich nicht.

An beiden Standorten zeigte 'Max 3' etwas höhere Biomasserträge als 'Max 1'. Durch ungünstigere Standortverhältnisse zeigten die Pappeln am Standort Neuhof deutlich geringere Erträge als in Pulling. In den Randreihen der Energieholzstreifen waren die Erträge höher als in den mittleren Reihen.

Überlegungen zur ökonomischen Bewertung zeigen, dass auf einem günstigeren Standort wie Pulling der Anbau der Ackerkulturen mit Energieholzstreifen unter Einbeziehung praxisnaher Erträge mindestens genauso wirtschaftlich sein kann, wie ein Anbau ohne Energieholzstreifen.

4 Bestandsklima und Boden

Johannes Burmeister, Michael Kister, Marc Marx, Benjamin Blumenthal, Martin Wiesmeier, Robert Brandhuber

4.1 Einleitung und Zielsetzung

Energieholzstreifen können das Bestandes- und Bodenklima, sowie möglicherweise die Nährstoff- und Humusversorgung der Produktionsflächen innerhalb eines Agroforstsystems beeinflussen. In Abhängigkeit vom Standort und der Bewirtschaftung (z. B. Fruchtfolge, Bodenbearbeitung) können die Änderungen für die Kulturpflanzen eher positiv oder negativ ausfallen. Um die Auswirkungen auf Boden und Bestandsklima unter süddeutschen Bedingungen zu prüfen, wurden im Einflussbereich des Energieholzstreifens verschiedene Parameter erfasst. Dazu zählen die Gehalte der organischen Bodensubstanz (Humus) sowie das Bestandsklima, die Bodenfeuchte, die Bodentemperatur, der Niederschlag und die Windgeschwindigkeit. Ziel der genannten Erhebungen war es, den Einfluss des Energieholzstreifens zu bestimmen und gegebenenfalls mögliche Erklärungen für Ertragsschwankungen, Krankheits- und Schädlingsbefall zu liefern. Insbesondere sollte den Fragen nachgegangen werden inwiefern das Wurzelwachstum und der Laubfall des Energieholzstreifens zu einem erhöhten Kohlenstoffeintrag und damit zu höheren C_{org} -Vorräten im Boden führt, ob eine Verlagerung von Nährstoffen aus dem Unterboden an die Bodenoberfläche stattfindet, wie die Energieholzstreifen den Bodenwasserhaushalt beeinflussen und wie sich die Windgeschwindigkeiten im Agroforstsystem verändern.

4.2 Bestandsklima

4.2.1 Material und Methoden

4.2.1.1 Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit wurde 2012 bis 2016 jährlich in 25 m und 5 m im Luv, sowie in 5, 10, 20, 40 und 50 m im Lee des Energieholzstreifens gemessen. Als Referenz wurde die Windgeschwindigkeit und gleichzeitig die Windrichtung an einem Punkt ohne Beeinflussung durch den Energieholzstreifen ermittelt. Die Erfassung der Windgeschwindigkeit erfolgte stündlich in einer Höhe von 2,5 m über dem Boden mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5$ m/s und einen Anlaufwert von 0,21 m/s. Die in den Jahren unterschiedlich langen Messperioden sind für beide Standorte der Tabelle 15 zu entnehmen.



Abbildung 33: Anemometer und Regenmesser in Neuhof und Pulling

Tabelle 15: Messperioden der Windgeschwindigkeit an den Standorten Neuhof und Pulling

Jahr	Neuhof		Pulling	
	Aufbau	Abbau	Aufbau	Abbau
2012	10.05.2012	31.07.2012	10.07.2012	27.09.2012
2013	23.05.2013	08.08.2013	17.05.2013	06.08.2013
2014	06.05.2014	24.09.2014	17.03.2014	28.07.2014
2015	13.05.2015	21.07.2015	19.05.2015	28.07.2015
2016	keine Windmessung		02.05.2016	23.06.2016

4.2.1.2 Bodenfeuchte

Die Messung der Bodenfeuchte am Standort Neuhof erfolgte zwischen 2013 und 2015 mit FDR-Sensoren (Frequent Domain Reflectometry). Ermittelt wurde die Bodenfeuchte als volumetrischer Wassergehalt im Energieholzstreifen sowie in 5, 10 und 50 m Entfernung im Lee der Energieholzstreifen jeweils in 15 und 40 cm Tiefe. Die Messungen erfolgten im Zeitraum vom 08.07.2013 – 08.08.2013, vom 28.05.2014 – 24.09.2014 und vom 03.06.2015 – 14.07.2015. Der Aufbau der Sensoren fand bei beginnendem Wasserverbrauch der Kultur statt. Der Abbau der Sensoren im jeweiligen Jahr war abhängig von der angebauten Kultur und der anstehenden Bodenbearbeitung. Pro Messpunkt und Tiefe wurde mit drei FDR-Sensoren mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ stündlich unabhängig voneinander die Bodenfeuchte festgestellt.

In Pulling wurde mit Equitensimetern die Saugspannung ermittelt. Allerdings fielen von diesen eine große Anzahl aus oder lieferten fehlerhafte Messdaten. Insbesondere das Niveau der Messungen war stark Sensor spezifisch, so dass durch Gerät oder den Einbau im Boden verursachte systematische Fehler wahrscheinlich sind. Um zumindest einen Anhaltspunkt für Unterschiede zwischen der Ackerfläche und dem Energieholzstreifen zu gewinnen, wurden für die Ackerfläche Mittelwerte von Sensordaten mit ansatzweise plau-

siblen Messwerten berechnet und diese mit den Werten aus dem Energieholzstreifen verglichen.

Zusätzlich wurde im Jahr 2013 in Neuhof und Pulling an zwei Terminen (Neuhof 07.06.2013 und 02.07.2013, Pulling 27.06.2013 und 10.07.2013) mit TDR-Sensoren (Time Domain Reflectometry) die Bodenfeuchte in 0 – 20 cm Tiefe gemessen. Die Messungen wurden im Energieholzstreifen sowie in 5, 10 und 50 m im Lee der Energieholzstreifen mit 20 Einzelmessungen pro Parzelle an vier Punkten durchgeführt.

4.2.1.3 Bodentemperatur

Die Bodentemperatur wurde am Standort Pulling im gleichen Zeitraum wie bei den Messungen zur Windgeschwindigkeit erfasst. Installiert waren die Temperaturreiseger in einem Abstand von 4 m im Luv, im Energieholzstreifen sowie in 9 m, 18 m und 54 m im Lee. Die Aufzeichnung erfolgte stündlich in einer Tiefe von 15 cm und mit einer Genauigkeit des Sensors von $\pm 0,1$ K bei 0°C .

4.2.1.4 Niederschlag

Die Niederschlagsmenge wurde in Neuhof zwischen 2012 und 2015 jährlich in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen (Referenz, 25 m im Luv sowie in 10 m und 50 m im Lee) in einer Höhe von 1 m an beiden Standorten ermittelt. Der Messzeitraum war identisch mit dem der Windmessung. Mit einer Auffangfläche von 330 cm^2 hatte der Niederschlagsmesser eine Auflösung von 0,1 mm.

4.2.1.5 Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte wurde in Pulling vom 27.05.2013 bis 21.08.2013 und in Neuhof vom 08.05.2014 bis zum 23.09.2014 stündlich ermittelt. Die Messung erfolgte in einem Meter Höhe mit Datenloggern, die die Lufttemperatur mit einer Genauigkeit von $\pm 0,6^\circ\text{C}$ erfassten und die Luftfeuchtigkeit mit $\pm 3\%$ bestimmten. Neben der Referenz wurde die Lufttemperatur in 5, 10 und 20 m Abstand im Lee der Energieholzstreifen ermittelt.

4.2.2 Ergebnisse

4.2.2.1 Windgeschwindigkeit

Die Messung der Windrichtung, ohne Einfluss des Energieholzstreifens, ergab eine Hauptwindrichtung über alle Untersuchungszeiträume am Standort Neuhof von Westen ($240 - 300^\circ$) und am Standort Pulling von Südwest bis West ($230 - 280^\circ$). Durch die Ausrichtung der Energieholzstreifen in Nord-Südrichtung kann bei dieser Hauptwindrichtung erwartungsgemäß in eine Luv- (West-Seite) und eine Lee- Seite (Ost-Seite) des Energieholzstreifens unterteilt werden.

An den Versuchsstandorten Pulling und Neuhof kam es zu einer Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit im Einflussbereich des quer zur Hauptwindrichtung platzierten Energieholzstreifens (Tabelle 16) und (Tabelle 17). So zeigte sich an beiden Standorten ein deutlicher Trend: Je näher am Energieholzstreifen gemessen wurde desto geringer war die Geschwindigkeit des Windes. Dieser Effekt war abhängig von der vorherrschenden Hauptwindrichtung. Insgesamt ist die Windgeschwindigkeit auf der Westseite (Luv) des Energieholzstreifens in Neuhof mit $1,28\text{ m/s}$ (25 m) und $1,03\text{ m/s}$ (5 m) deutlich höher als

im Windschatten (Lee, Hauptwindrichtung West s.o.) mit z. B. 0,83 m/s (5 m) oder 0,90 m/s (10 m).

In Neuhof lag die Windgeschwindigkeit am Referenzpunkt (ohne Einfluss des Energieholzstreifens) im Mittel der Messperioden bei 1,30 m/s. Betrachtet man die einzelnen Messpunkte, so ist die mittlere Windgeschwindigkeit 25 m im Luv mit 1,28 m/s höher als 5 m im Luv mit 1,03 m/s. Beim Wechsel auf die Lee-Seite war 5 m im Lee die durchschnittliche Windgeschwindigkeit mit 0,83 m/s am geringsten. Mit steigendem Abstand zum Energieholzstreifen reduziert sich die windbremsende Wirkung, so stieg die Windgeschwindigkeit bereits 10 m im Lee auf 0,90 m/s an. 20 m im Lee erhöhte sie sich auf 0,96 m/s, gefolgt von 1,18 m/s (40 m im Lee) und 1,23 m/s (50 m im Lee).

Am Standort Pulling zeigte sich die gleiche windreduzierende Wirkung des Energieholzstreifens, mit Ausnahme der Messperiode 2016. Im Winter 2015/2016 wurde der Energieholzstreifen geerntet und hatte daher 2016 keinen reduzierenden Einfluss auf die Windgeschwindigkeit. Somit lag die mittlere Windgeschwindigkeit bei allen Messstellen zwischen 1,5 m/s und 1,8 m/s (Tabelle 17). Der Referenzpunkt hatte im Mittel der Messperioden 2012 – 2015 eine Windgeschwindigkeit von 1,31 m/s. Im Luv fiel sie von 1,34 m/s (25 m im Luv) auf 0,98 m/s (10 m im Luv) ab. Auf der Lee-Seite erhöhte sich die Windgeschwindigkeit mit steigendem Abstand zum Energieholzstreifen. Die geringste Windgeschwindigkeit hat der Messpunkt 5 m im Lee mit 0,70 m/s gefolgt von 0,77 m/s (10 m im Lee), 0,92 m/s (20 m im Lee), 1,10 m/s (40 m im Lee) und 1,28 m/s (50 m im Lee).

Tabelle 16: Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s am Standort Neuhof in den Jahren 2012 bis 2015 und im Durchschnitt der Jahre

Messstelle	2012 m/s	2013 m/s	2014 m/s	2015 m/s	2012 – 2015 m/s
Referenz	1,4	1,3	1,3	1,2	1,30
-25 m (Luv)	1,4	1,2	1,3	1,1	1,28
-5 m (Luv)	1,2	1,0	1,0	0,9	1,03
EHS					
+5 m (Lee)	1,1	0,8	0,8	0,7	0,83
+10 m (Lee)	1,2	1,0	0,7	0,8	0,90
+20 m (Lee)	1,2	1,0	0,9	0,8	0,96
+40 m (Lee)	1,3	1,2	1,1	1,0	1,18
+50 m (Lee)	1,4	1,4	1,1	1,1	1,23

Bei Westwind (240 – 300°) war die windbremsende Wirkung des Energieholzstreifens mit einer Reduzierung von bis zu 63 % (Neuhof 2014, 10 m im Lee) deutlich größer als im Durchschnitt der Messperioden (Wind aus allen Richtungen), hier waren es lediglich bis zu 47 % (Pulling 2012 – 2015, 5 m im Lee) bzw. 36 % (Neuhof 2012 – 2015, 5 m im Lee).

Tabelle 17: Mittlere Windgeschwindigkeit in m/s am Standort Pulling in den Jahren 2012 bis 2016 und im Durchschnitt der Jahre

Messstelle	2012 m/s	2013 m/s	2014 m/s	2015 m/s	2016 m/s	2012 – 2015 m/s
Referenz	1,3	1,3	1,3	1,1	1,5	1,31
-25 m (Luv)	1,3	1,4	1,4	1,2	1,7	1,34
-5 m (Luv)	0,9	1,0	1,0	0,9	1,7	0,98
EHS						
+5 m (Lee)	0,6	0,6	0,8	0,7	1,6	0,70
+10 m (Lee)	0,6	0,6	0,9	0,8	1,7	0,77
+20 m (Lee)	0,9	0,9	1,0	0,8	1,7	0,92
+40 m (Lee)	1,1	1,1	1,1	0,9	1,7	1,10
+50 m (Lee)	1,3	1,3	1,3	1,1	1,8	1,28

Abbildung 34 zeigt den Einfluss des Energieholzstreifens auf die Windgeschwindigkeit für Westwinde. In 25 m im Luv des EHS war die relative Windgeschwindigkeit mit 100,7 % minimal höher als am Referenzpunkt. Näher am EHS (5 m im Luv) reduzierte sich die relative Windgeschwindigkeit bereits auf 85,1 %. Mit dem Wechsel ins Lee des EHS fiel sie nochmals deutlich ab und erhöhte sich mit steigendem Abstand zum EHS wieder. 5 m im Lee des EHS fiel sie auf 40,2 %, 10 m im Lee nahm sie nochmals um 3,2 % auf 37 % ab, bevor sie wieder auf 44,9 % (20 m im Lee), 72,3 % (40 m im Lee) und 78,9 % (50 m im Lee) anstieg.

In Pulling zeigte sich ein ähnliches Bild, allerdings war die windbremsende Wirkung des Energieholzstreifens bei Westwind (240° - 300°) mit etwa 50 % in 5 bis 20 m im Lee etwas geringer als in Neuhof. In 50 m Entfernung wurden ähnlich wie in Neuhof 80 % der Windgeschwindigkeit an der Referenz erreicht.

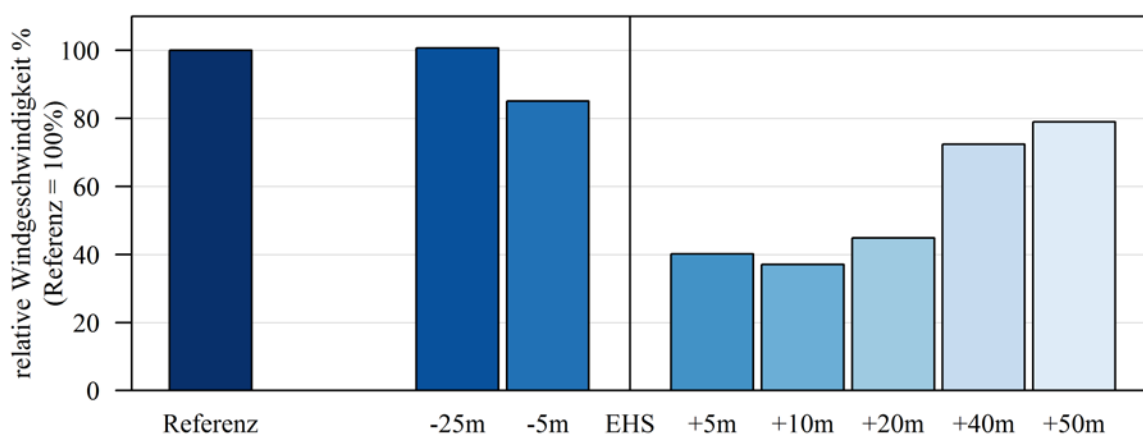


Abbildung 34: Mittlere Windgeschwindigkeit von Westwinden (240°-300°) relativ zur Referenz in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen am Standort Neuhof zwischen dem 06.05.2014 und dem 24.09.2014

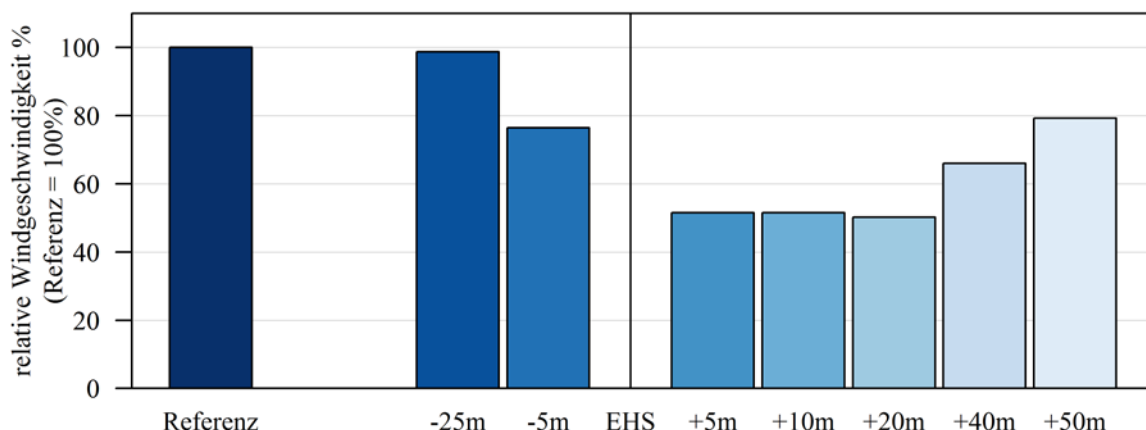


Abbildung 35: Mittlere Windgeschwindigkeit von Westwinden (240° - 300°) relativ zur Referenz in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen am Standort Pulling zwischen dem 17.03.2014 und dem 28.07.2014

4.2.2.2 Bodenfeuchte

Die Messung der Bodenfeuchte zeigte in NeuhoF über alle Untersuchungsperioden, dass es im Energieholzstreifen mit 15,0 bis 18,6 Vol. % (15 cm Tiefe) und 19,5 bis 26,5 Vol. % (40 cm Tiefe) trockener war als auf der Ackerfläche (Tabelle 18). Am deutlichsten war der Unterschied im Jahr 2015, jedoch waren hier auch die im Abstand von 5 und 10 m gelegenen Messungen von Staunässe beeinflusst (s. u.). Auch die Feldmitte in 50 m Entfernung zeigte eine deutlich höhere Bodenfeuchte als der Energieholzstreifen. 2014 war die Bodenfeuchte näher am Rand des Energieholzstreifens höher als in 50 m Entfernung. Die Bodenfeuchte in 40 cm Tiefe war grundsätzlich höher als in 15 cm (pro Messpunkt und Untersuchungsperiode). Nur nach Niederschlägen stieg der Wassergehalt in 15 cm Tiefe kurzfristig über den Gehalt in 40 cm an (Abbildung 36). Aufgrund der kurzen Messperiode und der geringen Niederschläge (28,1 mm) im Juli 2013 war die durchschnittliche Bodenfeuchte über alle Messstellen in 15 cm Tiefe mit 17,4 Vol. % geringer als in den Jahren 2014 (21,1 Vol. %) und 2015 (21,4 Vol. %). Ähnlich wie in der oberen Bodenschicht gilt dies auch für 40 cm Tiefe, so war das Jahr 2013 mit 19,9 Vol. % Bodenfeuchte trockener als die Jahre 2014 (28,1 Vol. %) und 2015 (25,3 Vol. %).

Tabelle 18: Durchschnittliche Bodenfeuchte (Vol. %) in 15 cm und 40 cm Tiefe, am Standort NeuhoF, in den Messperioden 2013, 2014 und 2015

Jahr (Zeitraum)		EHS	+5 m (Lee)	+10 m (Lee)	+50 m (Lee)
2013 (08.07.2013 – 08.08.2013)	15cm	15,0	18,1	18,5	17,9
	40cm	19,9	21,4	18,4	20,0
2014 (28.05.2014 – 24.09.2014)	15cm	18,6	24,8	22,6	18,5
	40cm	26,5	28,3	29,5	27,9
2015 (03.06.2015 – 14.07.2015)	15cm	15,8	30,9	23,8	24,8
	40cm	23,8	36,9	33,6	26,8

Im Jahr 2014 und 2015 war Staunässe auf Grund einer verstopften Drainage in unmittelbarer Nähe zum Energieholzstreifen zu beobachten (Abbildung 36). Durch die Verstopfung konnte das Wasser nicht mehr abfließen und staute sich im Feld. Dies wirkte sich besonders auf den Messpunkt 5 m im Lee des Energieholzstreifens und in 40 cm Tiefe aus. Die

Bodenfeuchte lag hier 2015 während der gesamten Messperiode zwischen 34,7 und 38,0 Vol. %, also nahe der Feldkapazität von 36 Vol. %.

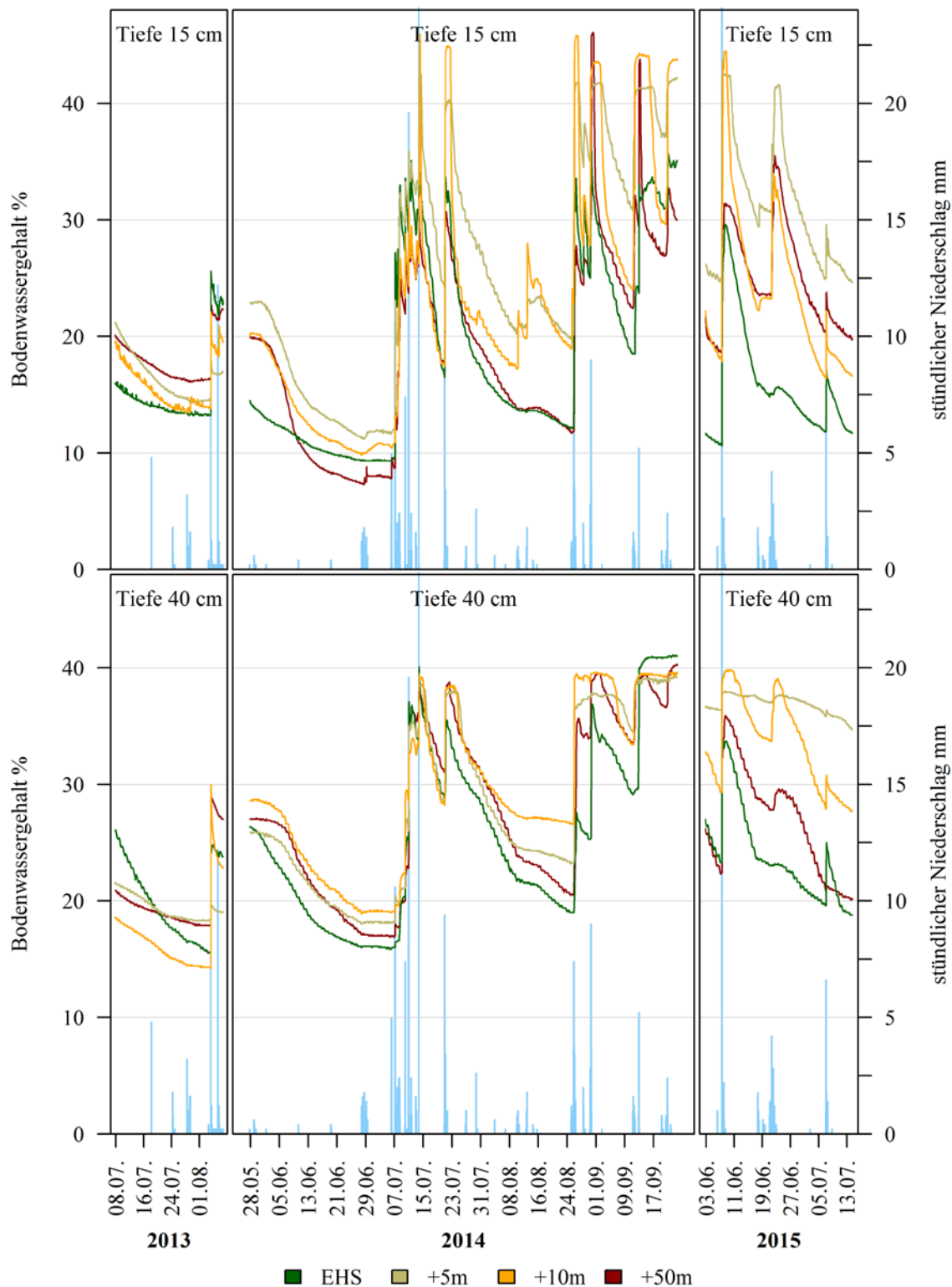


Abbildung 36: Bodenfeuchte am Standort Neuhof zwischen dem 03.06.2015 und 13.07.2015 in 15 und 40 cm Tiefe im Energieholzstreifen sowie in 5, 10 und 50 m Entfernung (im Lee), sowie Niederschlag im Energieholzstreifen. Bodenfeuchte und Niederschlag stündlich erfasst

Die Messungen der Saugspannung in Pulling sind auf Grund wiederholt auftretender Probleme mit den Sensoren nur sehr vorsichtig zu interpretieren (s. o.). Die Mittelwerte mehrerer Sensoren auf der Ackerfläche im Vergleich mit den Sensoren des Energieholzstreifens in allen drei Jahren ist eine Tendenz zu erkennen, dass der Boden in 60 cm Tiefe unter dem Energieholzstreifen bei zunehmender Trockenheit eine höhere Saugspannung zeigt als auf der Ackerfläche. Auch im Oberboden bei 15 cm Tiefe neigt der Energieholzstreifen zur schnelleren Austrocknung.

Die Untersuchungen mit TDR-Sensoren im Jahr 2013 zeigten in Neuhof die höchste Bodenfeuchte 5 m im Lee bei beiden Messungen mit 43,0 Vol-% bzw. 40,6 Vol-% (Abbildung 37). Trotz des Niederschlags zwischen den beiden Messterminen (106 mm, LfL Wetterstation Neuhof) reduzierte sich die Bodenfeuchte vom 06.06.2013 zum 02.07.2013 auf allen Parzellen um durchschnittlich etwa 4 Vol-%. Am Standort Pulling stieg die Bodenfeuchte an beiden Messterminen mit dem Abstand zum Energieholzstreifen an (Abbildung 37). Besonders im Energieholzstreifen und Ende Juni in 5 m Entfernung waren die Messwerte deutlich geringer als in 50 oder auch 10 m Entfernung. Zwischen den beiden Messterminen fielen in Pulling 9,6 mm Niederschlag (LfL-Wetterstation Freising) und die Bodenfeuchte nahm durchschnittlich um 11,5 Vol-% ab.

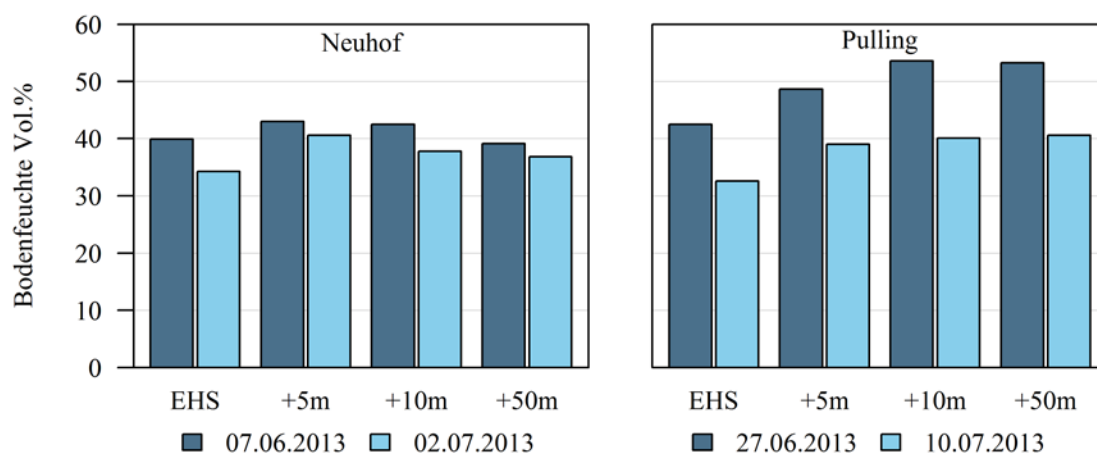


Abbildung 37: Bodenfeuchte an zwei Terminen am Standort Neuhof und Pulling gemessen mit TDR-Sensoren in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen

Auf beiden Standorten nahm die Bodenfeuchte von der ersten Messung auf die zweite ab. Dennoch war Anfang Juli mit durchschnittlich 37,4 Vol-% in Neuhof und 38,1 Vol-% in Pulling noch ausreichend pflanzenverfügbares Wasser im Boden. Der Totwasseranteil am Standort Neuhof liegt bei 19 Vol-% (pF-Stufe 4,2).

4.2.2.3 Bodentemperatur

In allen vier Untersuchungszeiträumen war die mittlere Bodentemperatur im Lee in einer Tiefe von 15 cm in 54 m Entfernung vom Energieholzstreifen um mehr als 0,5 °C niedriger als in 9 m Entfernung. Jedoch liegen die Unterschiede zwischen den mittleren Bodentemperaturen der einzelnen Messperioden (Tabelle 19) immer unter 1 °C.

Da die Messzeiträume bis auf die Untersuchungsperiode 2014 relativ spät begannen, konnte der entscheidende Zeitraum für eine mögliche Beeinträchtigung der Sommerkultur nur in der Messperiode 2014 beobachtet werden. So lag zwischen dem 15.04. und 15.05. die mittlere Bodentemperatur zwischen 9,3 und 9,9 °C. Mit jeweils 9,9 °C war die Bodentemperatur 4 m im Luv und 9 m im Lee gleich. Im Energieholzstreifen lag sie mit 9,6 °C

um 0,1 °C niedriger als am Messpunkt 18 m im Lee. Die niedrigste mittlere Bodentemperatur wurde in 54 m Entfernung (Lee) mit durchschnittlich 9,3 °C gemessen. Auch in den anderen Jahren war hier die Temperatur durchschnittlich am geringsten.

Betrachtet man die Stundenzahl mit einer Bodentemperatur von unter 5 °C, so lag diese auf allen Messpunkten außer in einer Entfernung von 54 m Lee zwischen 0 und 4 Stunden. Abweichend hierzu war sie in 54 m im Lee mit 19 Stunden deutlich höher als an den anderen Messstellen. Das spiegelte sich auch in der mittleren Bodentemperatur wieder, diese war um 0,6 °C kühler als im unmittelbaren Einflussbereich des Energieholzstreifens. In Pulling Mitte April bis Mitte Mai schien im Energieholzstreifen und dessen Umfeld die Ausstrahlung geringer und das Auftreten von niedrigen Temperaturspitzen reduziert zu sein.

Tabelle 19: Mittlere Bodentemperatur °C (15 cm Tiefe) in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen am Standort Pulling in den Messperioden 2012 bis 2015

Jahr (Zeitraum)	-4 m (Luv)	EHS	+9 m (Lee)	+18 m (Lee)	+54 m (Lee)
2012 (10.07.2012 - 27.09.2012)	15,3	15,3	15,7	15,6	15,0
2013 (17.05.2013 - 06.08.2013)	14,6	14,3	15,2	15,2	14,3
2014 (17.03.2014 - 28.07.2014)	11,9	12,1	12,0	12,1	11,4
2015 (19.05.2015 - 28.07.2015)	15,5	15,9	16,0	16,0	15,4

Abbildung 38 zeigt den Tagesgang der Bodentemperatur an den einzelnen Messpunkten. Für die Jahre 2013 bis 2014 war zu erkennen, dass sich der Boden in 15 cm Tiefe im Energieholzstreifen nach der Nacht weniger stark abkühlte, als auf der im Lee gelegenen Ackerfläche und sich darauf wieder schneller erwärmte. Die Temperaturamplitude war auf der Ackerfläche deutlich höher. Der Tagesgang der Bodentemperatur auf der Luv Seite in 4 m Entfernung wich von dem auf der Lee-Seite in 9 m Entfernung ab. Auf Grund der Schattenwirkung erwärmte sich der Boden hier nach Sonnenaufgang vermutlich langsamer. Die unterschiedlichen Messzeiträume und damit einhergehende abweichende Wetter- und Temperaturverhältnisse sowie jahreszeitlich bedingte Unterschiede in der Sonneneinstrahlung beeinflussten die Ergebnisse ebenso wie der Energieholzstreifen (Höhe, Schatten, Reflexion, Wind, Bodenfeuchte).

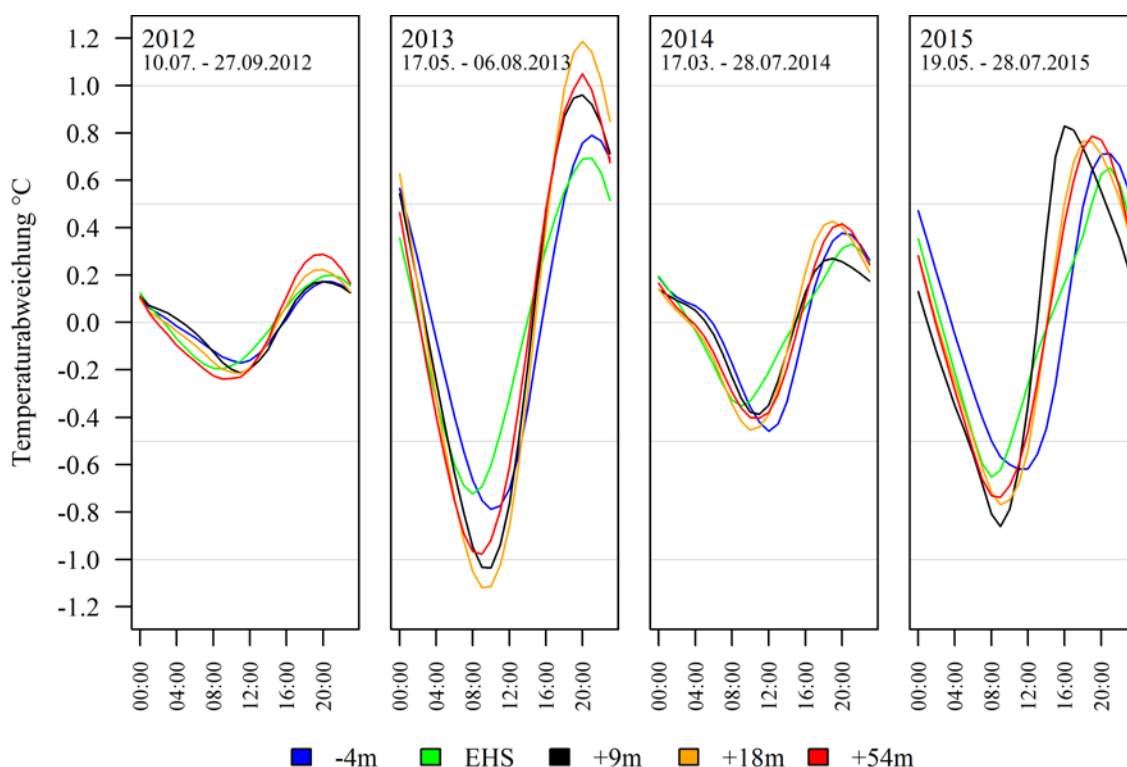


Abbildung 38: Tagesgang der Bodentemperatur für die Zeitreihen der einzelnen Messzeiträume und unterschiedliche Messpunkte

4.2.2.4 Niederschlag

Die Messung der Niederschlagsmenge ergab am Standort Neuhof während der Messperioden (2012 – 2015) im unmittelbaren Einflussbereich (25 m im Luv und 10 m im Lee) des Energieholzstreifens einen um 1,7 % (25 m im Luv) bzw. 2,3 % (10 m im Lee) geringeren relativen Niederschlag als am Referenzpunkt (Tabelle 20). Mit Ausnahme der Messperiode 2013 war der Niederschlag am Referenzpunkt höher als bei allen anderen Messpunkten. Im Jahr 2013 war der Niederschlag 50 m im Lee um 16,5 mm höher als die Referenz.

Tabelle 20: Niederschlag (mm) in verschiedenen Abständen zum Energieholzstreifen und der Referenz am Standort Neuhof in den Messperioden 2012 - 2015, sowie dem relativen Gesamtniederschlag (%; Referenz = 100 %) im Zeitraum 2012 - 2015

Messstelle	2012	2013	2014	2015	2012 - 2015 relativ (%)
	Mm	mm	Mm	mm	
Referenz	177,3	314,1	476,5	123,0	100,0
25 m im Luv	175,5	307,6	466,5	122,4	98,3
10 m im Lee	169,6	308,9	468,9	118,3	97,7
50 m im Lee	172,5	330,6	474,4	121,4	100,7

4.2.2.5 Lufttemperatur und relative Luftfeuchte

Während der Messungen der Lufttemperaturen und der relativen Luftfeuchte im Jahr 2013 in Pulling (27.05. – 21.08.) lag die mittlere Lufttemperatur zwischen 19,5 °C und 20,5 °C (Tabelle 22). In Neuhof 2014 (08.05 – 23.09.) unterschieden sich die einzelnen Messpunkte mit 0,1 °C nur kaum (Tabelle 21). In Neuhof wurden am Referenzpunkt im Mittel die niedrigsten Tagesmaxima und die höchsten mittleren Tagesminima ermittelt. In Pulling waren in 20 m Entfernung vom Energieholzstreifen sowohl die höchsten mittleren Tagesmaxima als auch mittleren Tagesminima bei der niedrigsten Amplitude festzustellen. Diese Ergebnisse sind insofern überraschend, da in der Nähe des Energieholzstreifens (+5 m) der stärkste mikroklimatische Effekt erwartet wurde, hier die Unterschiede zur Referenz aber im Mittel nicht größer sind als in 10 oder 20 m Entfernung.

Tabelle 21: Mittelwerte für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Tagesmittel, Tagesmaximum, Tagesminimum, Tagesamplitude) am Standort Neuhof im Zeitraum von 08.05. – 23.09.2014

Mittelwerte	Referenz	+5 m	+10 m	+20 m
Tagestemperatur °C (Mittelwert)	16,3	16,3	16,4	16,3
Tagestemperatur °C (Maximum)	22,6	23,0	23,6	23,4
Tagestemperatur °C (Minimum)	11,0	10,9	10,7	10,7
Tagesamplitude der Temperatur °C	11,6	12,1	12,8	12,7
rel. Luftfeuchte %	77	76	76	79
rel. Luftfeuchte % (Maximum)	94	91	94	94
rel. Luftfeuchte % (Minimum)	55	54	53	57
Tagesamplitude der Luftfeuchte %	39	37	41	43

Tabelle 22: Mittelwerte für die Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Tagesmittel, Tagesmaximum, Tagesminimum, Tagesamplitude) am Standort Pulling im Zeitraum von 27.05 – 21.08.2013

Mittelwerte	Referenz	+5 m	+10 m	+20 m
Tagestemperatur °C (Mittelwert)	19,8	19,5	19,7	20,5
Tagestemperatur °C (Maximum)	27,2	27,0	27,5	27,9
Tagestemperatur °C (Minimum)	12,6	12,8	12,6	13,8
Tagesamplitude der Temperatur °C	14,7	14,2	14,9	14,0
rel. Luftfeuchte %	72	73	72	68
rel. Luftfeuchte % (Maximum)	92	92	92	87
rel. Luftfeuchte % (Minimum)	47	49	47	44
Tagesamplitude der Luftfeuchte %	45	43	45	43

In Pulling konnten deutliche Unterschiede der mittleren Lufttemperaturen für unterschiedliche Tageszeiten festgestellt werden (jeweils 4 Stunden gemittelt, Abbildung 40). Am Nachmittag (16:00-19:00) waren die Temperaturen der Luft am Rande des Energieholzstreifens (+5m) deutlich geringer als an der Referenzmessstelle und in 20 m Entfernung vom Energieholzstreifen. Dieser Effekt war tendenziell auch in der ersten Nachthälfte und in 10 m Entfernung zu beobachten. Vermutlich ist dies auf die Beschattung auf der Ost(Lee)seite zurückzuführen. Bemerkenswert ist, dass nach 00:00 bis in die frühen Morgenstunden die Temperaturen in 20 m Entfernung vom Energieholzstreifen höher als an den übrigen Messstellen waren. In Neuhof lagen die Temperaturen von 08:00 bis 15:00 im Agroforstsystem leicht höher als an der Referenzmessstelle (Abbildung 39). Durch reduzierte Windgeschwindigkeiten kann sich die Luft hier möglicherweise stärker erwärmen. Nur ein geringer Einfluss des Schattens ist ab 16:00 angedeutet, obwohl der Untersuchungszeitraum in stärkerem Maße Tage mit niedrigerem Sonnenstand umfasste als am Standort Pulling (Abbildung 40).

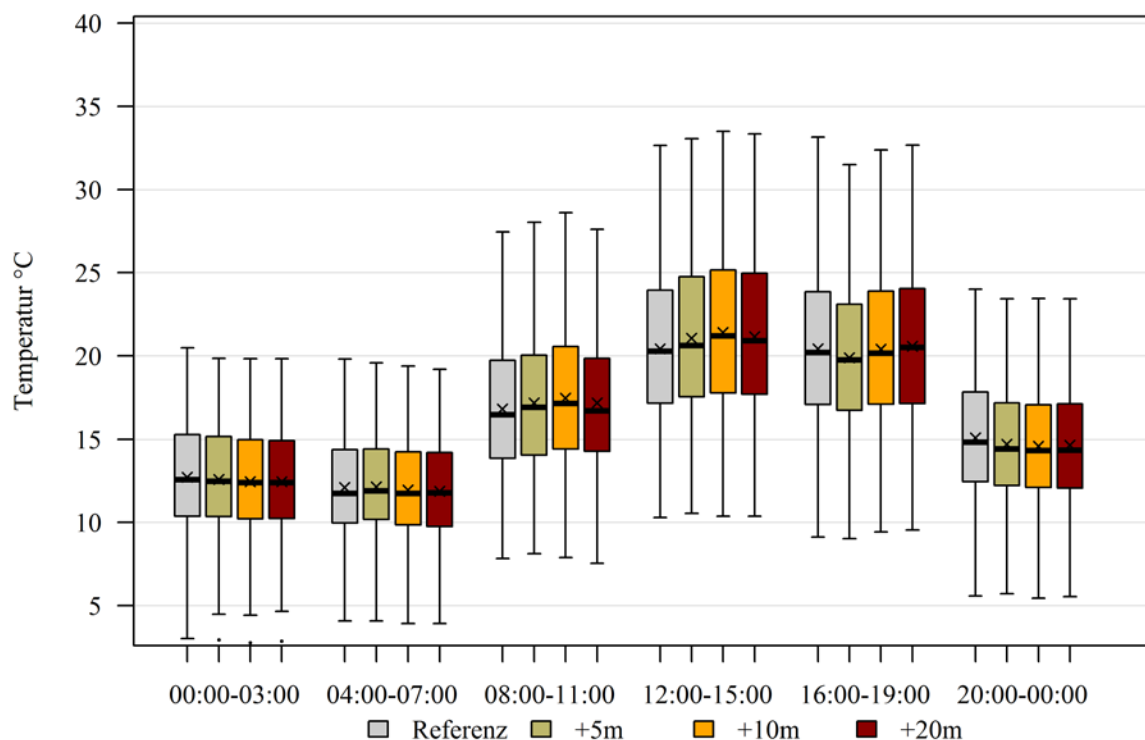


Abbildung 39: Temperaturen zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Neuhof für 139 Tage (x kennzeichnet Mittelwert)

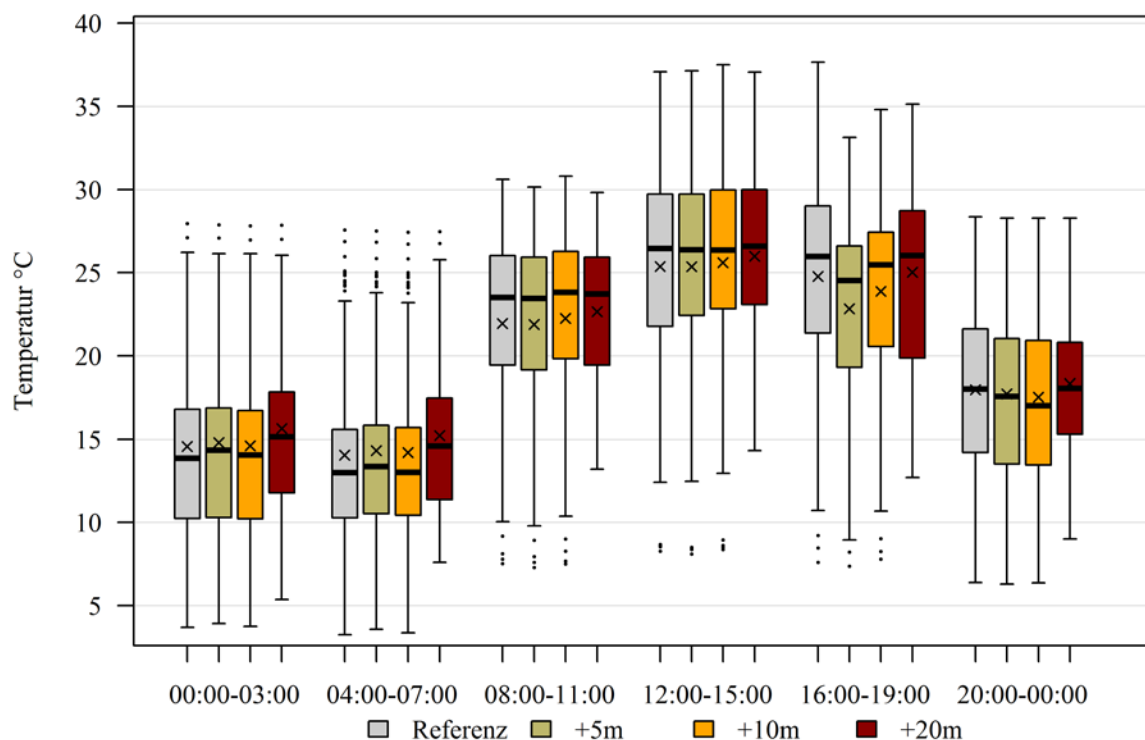


Abbildung 40: Temperaturen zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Pulling für 87 Tage (x kennzeichnet Mittelwert)

Die relative Luftfeuchte ist unter anderem abhängig von der Lufttemperatur. Die Verteilung der rel. Luftfeuchte in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen für die einzelnen Tage zeigen Abbildung 41 und Abbildung 42. In Neuhof war die rel. Luftfeuchtigkeit in 20 m Entfernung in der Nacht und morgens (20:00-11:00) höher als an den anderen Messstellen. In 5 m Entfernung vom Energieholzstreifen war in Neuhof überraschenderweise eher eine geringere relative Luftfeuchtigkeit festzustellen. In Pulling waren die Verhältnisse deutlich abweichend. Hier traten in der zweiten Nachthälfte und frühmorgens (00:00-07:00) öfter eine rel. Luftfeuchtigkeit nahe oder am Taupunkt auf. Aber auch Nächte mit einer rel. Luftfeuchte unter 60 % waren in Pulling festzustellen und sind im Boxplot als Ausreißer gekennzeichnet. In 20 m Entfernung vom Energieholzstreifen waren solche Nächte deutlich häufiger (24) als an der Referenz oder in 5 und 10 m Abstand (14). Ab Mittag war die Luftfeuchtigkeit im Randbereich (+5 m) etwas höher als an den übrigen Punkten.

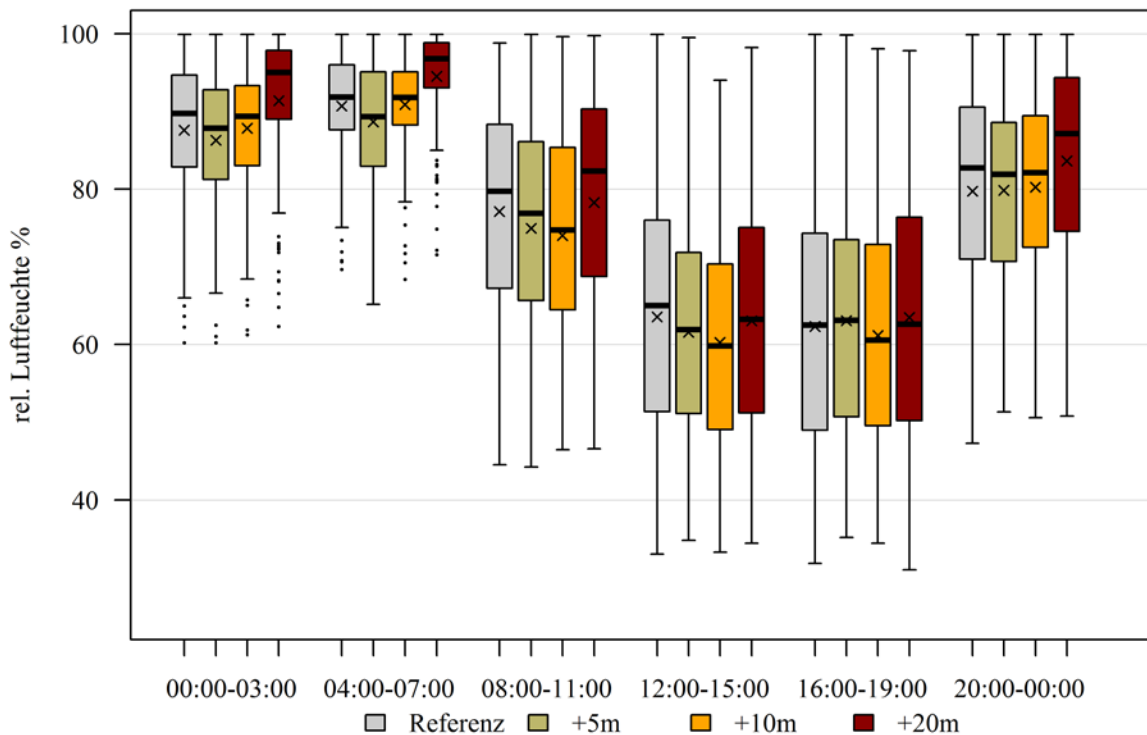


Abbildung 41: Relative Luftfeuchte zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Neuhoof für 139 Tage (x kennzeichnet Mittelwert)

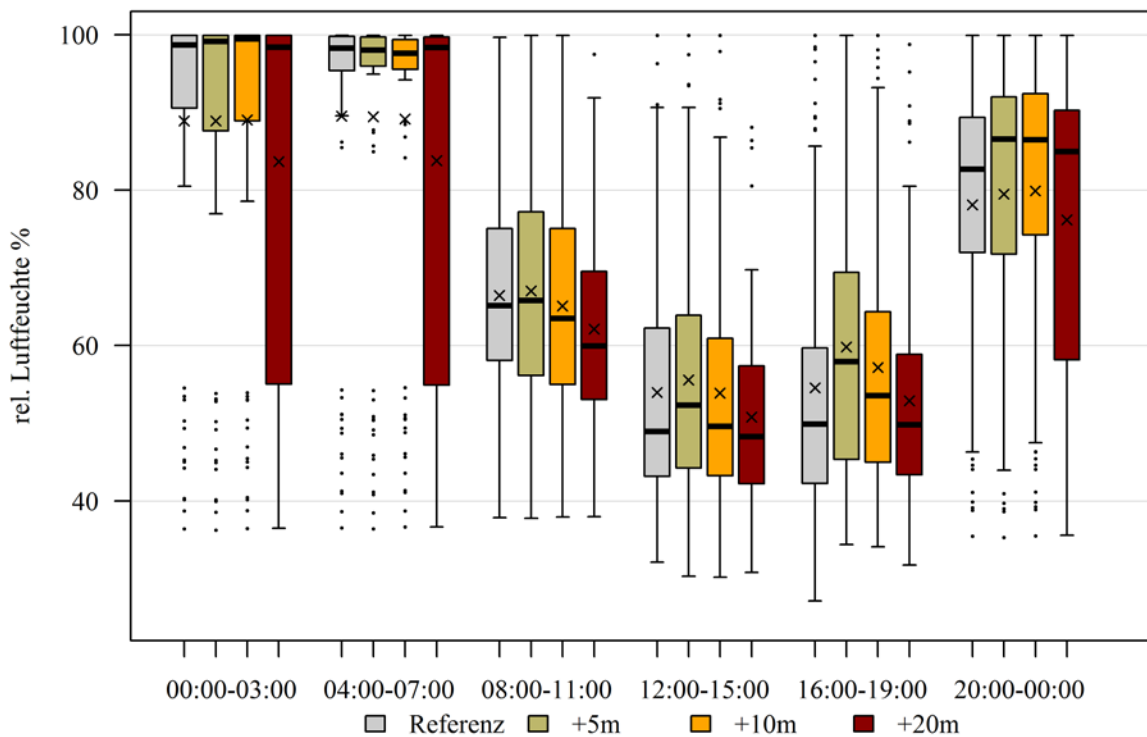


Abbildung 42: Relative Luftfeuchte zu unterschiedlichen Tageszeiten am Standort Pulling für 87 Tage (x kennzeichnet Mittelwert)

4.2.3 Diskussion

Die Untersuchungen zum Bestandsklima- und Boden konnten einige erwartete Effekte der Energieholzstreifen bestätigen. So reduzierten diese die Windgeschwindigkeit im Lee insbesondere bei Westwinden sehr deutlich. In der Regel geht man von einer Windschutzwirkung von Hecken bis zu einem mehrfachen der Wuchshöhe aus. Auch BÖHM et al. (2014) konnten für Energieholzstreifen in Brandenburg im Mittel mehrerer Jahre einer Rotation in der Mitte von 24 m breiten Feldern eines Agroforstsystems eine windreduzierende Wirkung über 50 % nachweisen. Bei den vorliegenden Messungen an den Standorten Neuhof und Pulling waren die Unterschiede zur Referenz in 50 m Entfernung vom Energieholzstreifen bereits eher gering und ein mit dem Höhenwachstum der Pappeln zunehmender Effekt auf die Intensität und Reichweite der Windschutzwirkung konnte für den Standort Pulling nicht und in Neuhof nur für den Vergleich mit dem Jahr 2012 beobachtet werden. Tatsächlich reduzierte sich die Windgeschwindigkeit im Mittel auch auf der Luv-Seite des Energieholzstreifens, was zeigt, dass auch Winde die nicht aus der Hauptwindrichtung kamen und die während des Messzeitraums vorherrschende Wetterlage den auf der Fläche wirksamen Wind beeinflussen. Die deutlich reduzierte Windgeschwindigkeit bis etwa 40 m ins Feld hinein hat vermutlich Einfluss auf bestands- und bodenklimatische Faktoren, sowie die Evaporation und Transpiration (z. B. Grace & Russell, 1982). Auch Schaden an Feldfrüchten kann durch Wind und damit einhergehender physikalischer Belastung verursacht werden (Cleugh et al., 1998). Eine vorbeugende Wirkung gegen Winderosion ist gegeben auch wenn diese unter derzeitigen bayerischen Klima- und Bodenverhältnissen von geringer Bedeutung ist.

Da Pappeln in der Regel einen höheren Wasserbedarf und eine nachweislich geringere Sickerwasserbildung durch höhere Interzeptions- und Transpirationsverluste zeigen als landwirtschaftliche Kulturen (Petzold et al., 2009; Zacios & Zimmermann, 2016) war der Boden im Energieholzstreifen in Neuhof und auch in Pulling erwartungsgemäß vergleichsweise trocken. In welchem Umfang die Pappelpflanzen auch die Ackerfläche „drainiert“ haben konnte nicht geklärt werden. Man kann aber von einem gewissen Einfluss ausgehen, wie dies die Messungen mit den TDR Sensoren am Standort Pulling nahelegen. In nur flachbearbeiteten Böden wie in Pulling ist das Einwachsen der Wurzeln in den Ackerbereich leichter und in geringerer Tiefe möglich als bei regelmäßig gepflügten. Möglicherweise ist auch die hohe Amplitude der Bodentemperatur und schnelle Erwärmung des Bodens in Pulling zum Ende des Umtriebs 2015 von unterschiedlichen Bodenfeuchtebedingungen beeinflusst. Für den Standort Neuhof stellt sich die Frage, welchen Einfluss die zunehmend verstopfte Drainage auf die Bodenfeuchte hatte und in welchem Zeitraum dies geschah. Dass Pappeln und andere Gehölze mit ihren Wurzeln in Drainagen einwachsen und diese zerstören oder verstopfen können ist bekannt. Aus diesem Grund wird von einer Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf drainierten Böden abgeraten (Unsel'd & Burger, 2008). Für Energieholzstreifen und Agroforstsysteme gilt das Gleiche. Im Jahr 2014 wiesen die Tageswerte der Bodenfeuchte in 40 cm Tiefe noch auf eine funktionsfähige Drainage hin. Das bedeutet, dass bei allen vier Messstellen bei Trockenheit die Bodenfeuchte abnimmt und nach Niederschlägen wieder ansteigt. Auf eine beginnende Verstopfung der Drainage könnte der vergleichsweise geringe Rückgang der Bodenfeuchte Anfang September 2014 in 40 cm Tiefe und 5 m hinter dem Energieholzstreifen hinweisen.

Die Bodentemperatur bestimmt maßgeblich die Vegetationsperiode der Kulturpflanzen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Temperatur im Bereich des abgelegten Saatguts. Die Saattiefe liegt abhängig von der Kultur normalerweise um die 4 – 5 cm. Da die Bo-

denerwärmung an der Oberfläche beginnt und vorwiegend durch die Strahlungsbilanz bestimmt wird, kann man im Saathorizont von einer höheren Bodentemperatur ausgehen, als in 15 cm Tiefe. Deutliche pflanzenbaulich bedeutsame Unterschiede für die mittleren Temperaturen in den einzelnen Messperioden konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Für (Sommer-) Kulturen sind ohnehin trockene Saatbedingungen und die Vermeidung von Bodenverdichtungen wichtiger als die Bodentemperatur. Jedoch konnte gezeigt werden, dass die Energieholzstreifen einen Einfluss auf den Tagesgang der Bodentemperaturen auch noch in 15 cm Tiefe hat. So sind die täglichen Temperaturschwankungen im Energieholzstreifen wesentlich geringer und der Tagesgang der Beschattung noch erkennbar. Für bodenbiologische Prozesse können diese Faktoren und ihr Zusammenwirken mit der Bodenfeuchte von Bedeutung sein.

Viele Pilzkrankheiten im Getreide werden durch die Luftfeuchtigkeit und auch die Taubildung beeinflusst. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass jedoch kein verallgemeinerbarer gleichgerichteter Effekt des Agroforstsystems auf die Luftfeuchtigkeit abzuleiten ist, sondern Standort, Jahreswitterung und auch die Tageszeit einen starken zusätzlichen Einfluss haben. In wie weit gefundene Unterschiede von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte von pflanzenbaulicher und phytosanitärer Relevanz sind, wäre weiter zu untersuchen.

4.3 Humushaushalt

4.3.1 Material und Methoden

4.3.1.1 Humus

In den Jahren 2009, 2013 und 2016 wurden in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen die Gehalte an organischem Bodenkohlenstoff (C_{org}) und Gesamtstickstoff (Nt) nach der VDLUFA-Methode A 4.1.3.2 mittels eines CN-Analysators (Elementar Vario EL Cube) bestimmt. Die Probenahme erfolgte auf den gleichen Parzellen und zu den gleichen Zeitpunkten wie die Nährstoffuntersuchung (Kapitel 4.3.1.1) in 0 - 15 cm Tiefe. Auf jeweils 18 Parzellen in Neuhof und Pulling wurde zudem die Lagerungsdichte (LD) mit je zwei Stechzylindern (100 cm^3) in 0 – 15 cm Tiefe nach DIN ISO 11272 ermittelt. Für alle untersuchten Parzellen wurden unter Berücksichtigung identischer Bodenmassen (Ellert & Bettany, 1995; Wiesmeier et al., 2015) Vorräte an C_{org} und Nt berechnet. In Neuhof lagen die beprobten Parzellen 25 m im Luv, im Energieholzstreifen und 5 m im Lee. Auf der Versuchsfläche in Pulling wurden Standorte 25 m im Luv, im Energieholzstreifen, 5 m im Lee und 60 m im Lee für Lagerungsdichte beprobt. Zusätzlich wurden auf beiden Standorten Parzellen ohne Einfluss des Energieholzstreifens in den gleichen Abständen wie im Einflussbereich des EHS beprobt.

4.3.2 Ergebnisse

4.3.2.1 Humus, pH-Werte und Lagerungsdichte

Die mittlere LD am Standort Neuhof stieg von $1,29\text{ g/cm}^3$ (2009) über $1,48\text{ g/cm}^3$ (2013) auf $1,50\text{ g/cm}^3$ im Jahr 2016 an (Daten hier nicht dargestellt). Alle Messpunkte zeigten im Beobachtungszeitraum einen Anstieg. Im Energieholzstreifen war der Anstieg mit durchschnittlich $0,1\text{ g/cm}^3$ am geringsten. Im Einflussbereich des Energieholzstreifens war der Anstieg der Lagerungsdichte 25 m im Luv und 5 m im Lee mit $0,25\text{ g/cm}^3$ identisch, in 55 m im Lee stieg sie um $0,35\text{ g/cm}^3$ an. Ohne Einfluss des Energieholzstreifens lag die

Erhöhung zwischen $0,21 \text{ g/cm}^3$ (55 m im Lee) und $0,26 \text{ g/cm}^3$ (5 m im Lee). Am Standort Neuhof wurden mittlere pH-Werte von 6,7 (2009) und 6,5 (2016) gemessen, eine signifikante Veränderung im Untersuchungszeitraum konnte nicht festgestellt werden.

Über alle Parzellen (mit und ohne EHS) war im Untersuchungszeitraum ein rückläufiger Trend der C_{org} -Gehalte festzustellen (Abbildung 43). Ohne Einfluss des Energieholzstreifens zeigte sich ein tendenzieller Rückgang des mittleren C_{org} -Gehalts von 1,59 % (2009) auf 1,55 % (2016). Im Einflussbereich des Energieholzstreifens war der rückläufige Trend zwischen 2009 und 2016 mit 0,08 % etwas deutlicher ausgeprägt. Allerdings zeigten sich grundsätzlich große Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen. Den stärksten Rückgang verzeichnete der Messpunkt 5 m im Lee des EHS mit einer Abnahme des C_{org} -Gehalts von 0,18 %. Im Gegensatz zu C_{org} zeigte sich für Nt ein Anstieg der mittleren Gehalte von 0,11 % (2009) auf 0,14 % im Jahr 2016, wobei sich kein grundsätzlicher Unterschied hinsichtlich des Einflussbereichs des EHS ergab. Aufgrund der Zunahme der Nt-Gehalte und der tendenziellen Abnahme der C_{org} -Gehalte änderte sich auch das C/N-Verhältnis am Standort Neuhof deutlich. Im Mittel reduzierte es sich von 13,9 (2009) auf 11,0 (2016).

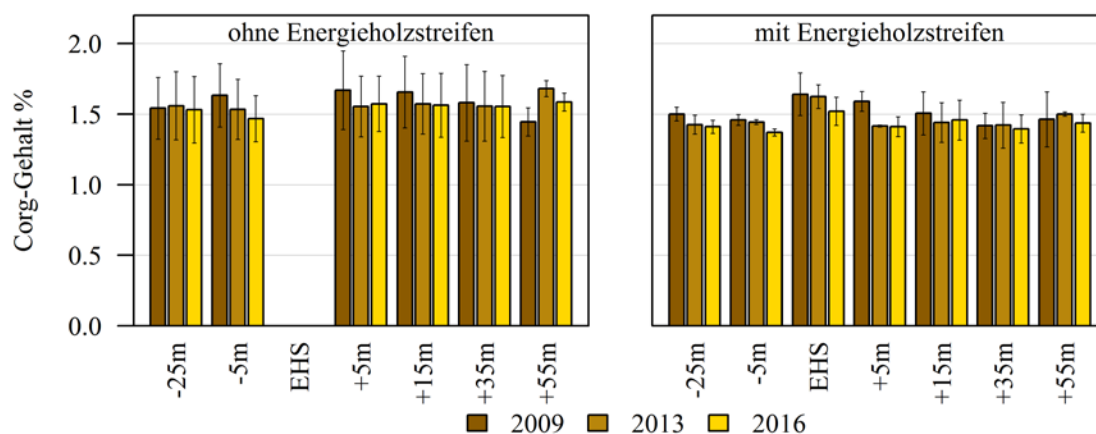


Abbildung 43: C_{org} -Gehalte (%) in 0 – 15 cm Tiefe am Standort Neuhof in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahren 2009, 2013 und 2016

Werden die C_{org} -Vorräte am Standort Neuhof betrachtet, so zeigt sich generell ein rückläufiger Trend im Untersuchungszeitraum (Abbildung 44). Ohne Einfluss des Energieholzstreifens reduzierte sich der C_{org} -Vorrat von durchschnittlich $2,52 \text{ kg/m}^2$ (2009) auf $2,46 \text{ kg/m}^2$ (2016). Im Einflussbereich des Energieholzstreifens ergab sich im gleichen Zeitraum ein mittlerer Rückgang von $2,40 \text{ kg/m}^2$ auf $2,27 \text{ kg/m}^2$. Mit einer Reduzierung um $0,29 \text{ kg/m}^2$ war der Rückgang des C_{org} -Vorrats 5 m im Lee des Energieholzstreifens am größten. Es folgen die Abstände 5 m im Luv (ohne EHS) mit einer Reduzierung um $0,26 \text{ kg/m}^2$ und im Energieholzstreifen mit $0,19 \text{ kg/m}^2$. Lediglich in 55 m im Lee ohne EHS erhöhte sich der C_{org} -Vorrat von $2,30 \text{ kg/m}^2$ (2009) auf $2,52 \text{ kg/m}^2$ (2016).

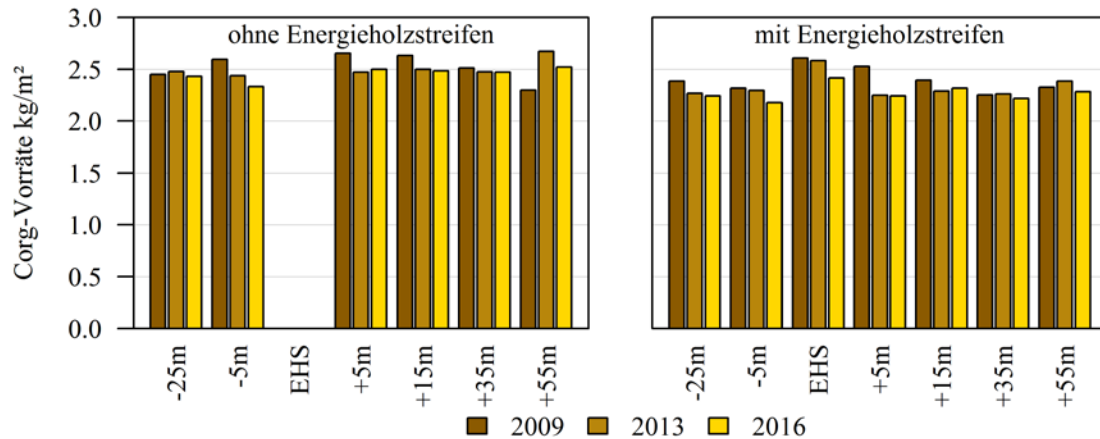


Abbildung 44: C_{org} -Vorräte (kg/m^2) in 0 – 15 cm Tiefe (bzw. äquivalente Bodenmassen) am Standort Neuhof in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahren 2009, 2013 und 2016

Am Standort Pulling blieb die mittlere LD über die Untersuchungsperiode annähernd unverändert. Werden die einzelnen Parzellen betrachtet, zeigt sich ein uneinheitliches Bild mit sowohl Zu- als auch Abnahmen, ein Zusammenhang mit dem Einflussbereich des Energieholzstreifens ist nicht erkennbar. Hinsichtlich des pH-Wertes wurden mittlere Werte von 7,4 (2009) und 7,5 (2016) im Untersuchungszeitraum gemessen, eine signifikante Veränderung konnte nicht festgestellt werden.

Wie am Standort Neuhof zeigte sich auch in Pulling über alle untersuchten Parzellen eine generelle Abnahme der C_{org} -Gehalte zwischen 2009 und 2016 (Abbildung 45). Die mittleren C_{org} -Gehalte gingen im Einflussbereich des Energieholzstreifens von 4,24 % (2009) auf 3,63 % (2016) zurück, ohne EHS von 4,15 % (2009) auf 3,67 % (2016). Da wie am Standort Neuhof die Nt-Gehalte tendenziell einen Anstieg verzeichneten, ergab sich auch hier eine deutliche Verengung des C/N-Verhältnisses von im Mittel 10,4 (2009) auf 8,4 (2016).

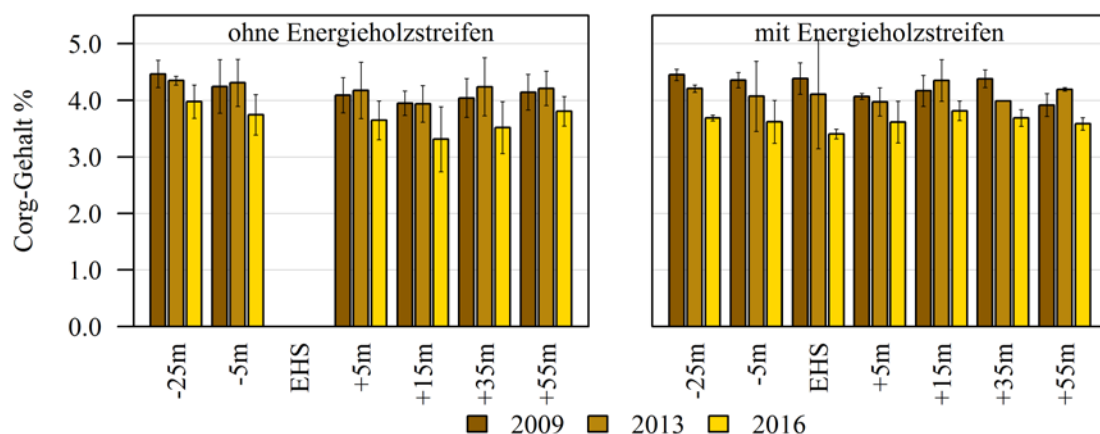


Abbildung 45: C_{org} -Gehalte (%) in 0 – 15 cm Tiefe am Standort Pulling in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahre 2009, 2013 und 2016

Bei der Betrachtung der C_{org} -Vorräte zeigte sich wie am Standort Neuhof generell ein Rückgang der C_{org} -Vorräte, wobei diese mit durchschnittlich $5,83 \text{ kg}/\text{m}^2$ mehr als doppelt

so hoch waren wie in Neuhof ($2,36 \text{ kg/m}^2$). Zwischen 2009 und 2016 reduziert sich der C_{org} -Vorrat auf der gesamten Fläche um $0,83 \text{ kg/m}^2$, wobei der Rückgang in der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraums mit $0,04 \text{ kg/m}^2$ deutlich geringer ausfällt als in der zweiten Hälfte (Abbildung 46). Dabei fiel der Rückgang ohne Einfluss des Energieholzstreifens mit $0,78 \text{ kg/m}^2$ etwas geringer aus als mit EHS ($0,88 \text{ kg/m}^2$). Allerdings war auf der Luv-Seite des Energieholzstreifens die Abnahme mit $1,22 \text{ kg/m}^2$ (25 m) und $1,17 \text{ kg/m}^2$ (5 m) stärker ausgeprägt als ohne Energieholzstreifen ($0,79 \text{ kg/m}^2$, 25 m ; $0,78 \text{ kg/m}^2$, 5 m). Im Energieholzstreifen nahm der C_{org} -Vorrat um $1,56 \text{ kg/m}^2$ ab. Die Lee-Seite zeigte in 5 m Entfernung einen annähernd gleichen Rückgang der C_{org} -Vorräte von $0,70 \text{ kg/m}^2$ ohne EHS und $0,72 \text{ kg/m}^2$ mit EHS. In 15 m Entfernung war die Abnahme mit $1,01 \text{ g/m}^2$ ohne Energieholzstreifen fast doppelt so hoch wie im Einflussbereich des EHS ($0,56 \text{ kg/m}^2$). Bei einer Entfernung von 55 m vom EHS war der C_{org} -Rückgang von $0,54 \text{ kg/m}^2$ (ohne EHS) und $0,53 \text{ kg/m}^2$ (mit EHS) nahezu identisch.

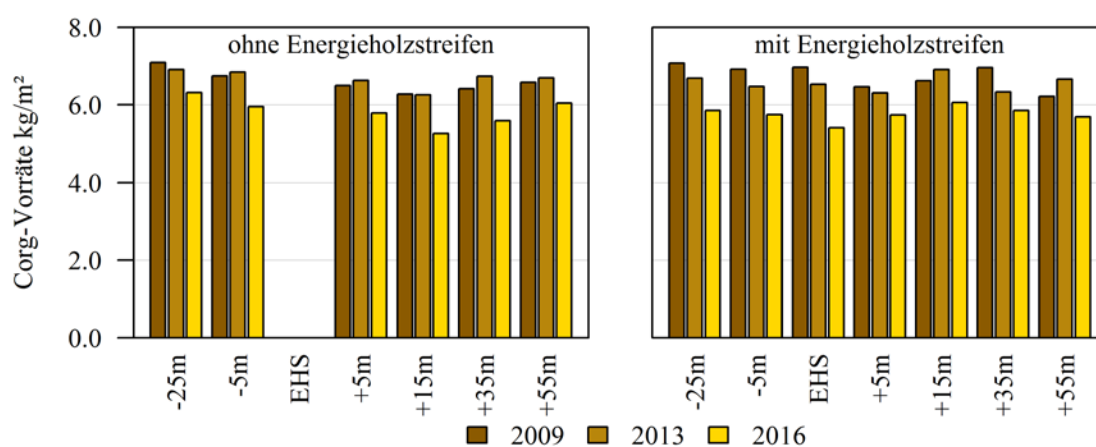


Abbildung 46: C_{org} -Vorräte (kg/m^2) in 0 – 15 cm Tiefe (bzw. äquivalente Bodenmassen) am Standort Pulling in unterschiedlichen Abständen zum Energieholzstreifen, sowie ohne (links) und mit (rechts) Einfluss des Energieholzstreifens in den Jahre 2009, 2013 und 2016

4.3.3 Diskussion

Ein wichtiger Punkt für die Bewertung der C_{org} -Gehalte und C_{org} -Vorräte ist die Ausgangssituation der Böden und ihre Bewirtschaftung. Die Versuchsfläche in Neuhof wurde bis zur Etablierung des Energieholzstreifens konventionell bewirtschaftet, was eine Düngung mit mineralischen N-, P- und K- Düngern sowie chemischen Pflanzenschutz beinhaltete. Mit der Anlage des Energieholzstreifens wurde die zuvor regelmäßig erfolgte organische Düngung auf der Versuchsfläche im Jahr 2009 ausgesetzt und auf biologischen Landbau umgestellt. Im Jahr 2012 wurde die Viehhaltung auf dem gesamten Versuchsbetrieb in Neuhof aufgegeben. Ähnlich war es auf der Versuchsfläche in Pulling, die seit 1988 nach den organisch-biologischen Richtlinien von Bioland bewirtschaftet wird. Mit der Anlage des Energieholzstreifens wurde die organische Düngung 2009 ausgesetzt. Bis dahin wurde der aus der Tierhaltung anfallende Festmist mit Strauchschnitt, Basaltgesteinsmehl und Holzkohle aus einer Holzgasanlage kompostiert und auf die Ackerfläche ausgebracht, was die außergewöhnlich hohen C_{org} -Gehalte und -Vorräte des Standorts Pulling erklärt.

Ein durch die Aufgabe der organischen Düngung verursachter Rückgang des C-Eintrags an den untersuchten Standorten ist sehr wahrscheinlich die Hauptursache für den beobachteten Rückgang der C_{org} -Gehalte und -Vorräte. Mit der Etablierung der Energieholzstreifen ergaben sich zwar zusätzliche ober- und unterirdische C-Einträge in deren Einflussbereichen, die aber offensichtlich nicht ausreichend waren, um die rückläufigen C-Einträge zu kompensieren. Weder am Standort Neuhof noch am Standort Pulling konnte im Einflussbereich des Energieholzstreifens ein verlangsamter C_{org} -Rückgang beobachtet werden verglichen zu den Parzellen ohne Energieholzstreifen.

Das Ausbleiben eines positiven Effekts der Anlage eines Energieholzstreifens auf den Humusvorrat ist also sehr wahrscheinlich der Bewirtschaftungsänderung sowie des relativ kurzen Betrachtungszeitraums geschuldet. In der Literatur werden bei längerfristiger Betrachtungsweise vorwiegend Anstiege der C_{org} -Vorräte in Agroforstsystemen temperierter Regionen berichtet (de Stefano & Jacobson, 2018; Kim et al., 2016; Singhet al., 2018; Udawatta & Jose, 2012). In einer Meta-Analyse zur C-Sequestrierungsleistung von Kurzumtriebsplantagen in Mitteleuropa zeigten sich allerdings keine positiven Effekte (Walter et al., 2015). In vielen Studien wurde auf die Bedeutung von Unterböden für die C_{org} -Speicherung verwiesen (Cardinael et al., 2017; Lorenz & Lal, 2014). Um die Auswirkungen der Anlage eines Agroforstsystems auf den Humushaushalt noch besser abschätzen zu können, wäre eine Ausweitung der Untersuchungen auf Unterböden sinnvoll.

4.4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zum Bestands- und Bodenklima konnten einige erwartete Effekte der Energieholzstreifen bestätigen. So reduzierten diese die Windgeschwindigkeit insbesondere bei Westwinden (im Lee) bis etwa 40 m ins Feld hinein sehr deutlich. Dies kann einen Einfluss auf bestandes- und bodenklimatische Faktoren, sowie die Evaporation und Transpiration haben. Da Pappeln in der Regel einen höheren Wasserbedarf und eine nachweislich geringere Sickerwasserbildung durch höhere Interzeptions- und Transpirationsverluste zeigen als landwirtschaftliche Kulturen, war der Boden im Energieholzstreifen in Neuhof und auch in Pulling vergleichsweise trocken. In welchem Umfang die Pappelpflanzen auch die Ackerfläche beeinflusst haben, konnte nicht abschließend geklärt werden. Am Standort Neuhof waren die Messungen durch verstopfte Drainagen nicht repräsentativ. In Pulling traten Probleme mit der Messtechnik auf. Die Bodentemperatur bestimmt die Vegetationsperiode der Kulturpflanzen. Deutliche pflanzenbaulich bedeutsame Unterschiede für die mittleren Temperaturen in den einzelnen Messperioden konnten in der vorliegenden Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Jedoch konnte gezeigt werden, dass der Energieholzstreifen einen Einfluss auf den Tagesgang der Bodentemperaturen auch noch in 15 cm Tiefe hat. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Schattenwurf und reduzierte Windgeschwindigkeit das Mikroklima im Agroforstsystem beeinflussen. Doch gab es auch standortsspezifische Unterschiede und Abweichungen innerhalb der Vegetationsperiode oder in Abhängigkeit der Witterung die bei der Beurteilung pflanzenbaulicher Aspekte berücksichtigt werden müssen.

Die innerhalb der Versuchslaufzeit beobachteten Rückgänge der Gehalte an organischem Kohlenstoff sind vermutlich durch die während der gesamten Versuchsdauer (8 Jahre) aus veruchsmethodischen Gründen ausgesetzte organische Düngung zu erklären. Ein wichtiger Punkt für die Bewertung der C_{org} -Gehalte und C_{org} -Vorräte ist die Ausgangssituation der Böden und ihre Bewirtschaftung. Mit der Anlage der Energieholzstreifen wurde sowohl am Standort Neuhof als auch in Pulling die zuvor regelmäßig erfolgte organische Düngung ausgesetzt. Ein durch die Aufgabe der organischen Düngung verursachter Rückgang des C-Eintrags an den untersuchten Standorten ist sehr wahrscheinlich die Hauptur-

sache für den deutlichen Rückgang des C_{org} -Gehalts, der insbesondere in Pulling ein sehr hohes Ausgangsniveau von über 4% hatte. Mit der Etablierung der Energieholzstreifen ergaben sich zwar zusätzliche ober- und unterirdische C-Einträge in deren Einflussbereichen, diese konnten die rückläufigen C-Einträge jedoch nicht kompensieren. Um die Auswirkungen der Anlage eines Agroforstsystems auf den Humushaushalt besser abschätzen zu können, wäre eine Ausweitung der Untersuchungen auf Unterböden sinnvoll.

5 Bodenfauna eines Agroforstsystems

Johannes Burmeister, Theo Blick, Alfred Griegel, Sebastian Wolfrum, Roswitha Walter

5.1 Einleitung und Zielsetzung

Die Erhaltung und sogar die Förderung der Biodiversität in der Agrarlandschaft wird in der Bayerischen Biodiversitätsstrategie von 2009 (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, 2009) gefordert und findet auch in den geförderten Maßnahmen des bayerischen Kulturlandschaftsprogramms durch einen eigenen Schwerpunkt seinen Raum. Neben der Bewahrung der Artenvielfalt aus ethischen, ästhetischen und pädagogischen Gründen zeigen aktuelle Forschungsergebnisse die Bedeutung einer reichhaltigen und vielfältigen Lebensgemeinschaft für die landwirtschaftliche Produktion (Altieri, 1999; Bender et al., 2016; Lavelle et al., 2006; Nielsen et al., 2015). Wichtige Leistungen der Tierwelt sind die natürliche Schädlingsregulation, die Umsetzung von organischer Substanz und gebundenen Nährstoffen, die Bodenstrukturbildung und die Bestäubung. In der vorliegenden Untersuchung wurden Regenwürmer, die Bodenmesofauna (Springschwänze und Milben) und epigäische Raubarthropoden (hier Spinnen und Laufkäfer) als Indikatoren für die Biodiversität und funktionale Prozesse in und auf dem Boden von landwirtschaftlichen Nutzflächen herangezogen. Ziel der Untersuchungen war es, sowohl den Effekt der Energieholzstreifen auf die Fauna der Ackerfläche zu untersuchen, als auch den Beitrag des Agroforstsystems zum Erhalt der Biodiversität zu beurteilen.

Regenwürmer sind auf Grund ihrer hohen Biomasse Schlüsselorganismen im Boden und für die Bodenfruchtbarkeit von großer Bedeutung. Sie arbeiten organisches Material in den Boden ein, schaffen ein luft- und wasserführendes Porensystem und verbessern so die Struktur und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens (Bieri & Cuendet, 1989; Blouin et al., 2013; Dunger, 2008). In Deutschland sind 49 Regenwurmarten bekannt, von denen die meisten bodenbewohnend sind.

Springschwänze (Collembolen) sind ebenfalls an wichtigen Prozessen im Boden beteiligt. So katalysieren sie den mikrobiellen Abbauprozess (Castro-Huerta et al., 2015; Lavelle et al., 2006) und können auf Grund ihrer Artenvielfalt (vgl. Rusek, 1998) auch als Indikatoren für die Boden-Biodiversität herangezogen werden. Springschwänze sind auch wichtige Akteure beim Abbau pflanzenpathogener Pilze im Boden (Schrader et al., 2014). Wichtige Streuzersetzer mit z. T. hoher indikatorischer Aussagekraft sind auch Hornmilben (Römbke et al., 2012). Bodenbewohnende Raubmilben sind eine eher selten untersuchte Artengruppe, die sich vorwiegend von Springschwänzen und Nematoden ernährt (Koehler, 1997).

Laufkäfer und Spinnen gehören neben den Kurzflüglern zu den wichtigsten an der Bodenoberfläche lebenden natürlichen Schädlingsregulatoren. Da die meisten, der auf landwirtschaftlichen Nutzflächen häufigen Arten dieser Gruppen, relativ unspezialisierte Räuber sind (Symondson et al., 2002), können sie auch bei geringer Dichte von Schädlingen, wie Blattläusen, Schnecken und verschiedenen Insekten, durch die Nutzung alternativer Beutetiere große Populationen aufbauen. Dies hat den Vorteil, dass eine natürliche Regulation schon früh und kontinuierlich einsetzen kann. Im Vergleich mit stärker spezialisierten Schädlingsantagonisten (z. B. Schlupfwespen) ist die Effektivität dieser funktionalen Gruppe jedoch geringer. Zudem kann ein Angebot an alternativer Nahrung den „Fraßdruck“ auf die Schädlinge reduzieren (z. B. Madsen et al., 2004). Laufkäfer und Spinnen werden häufig als Indikatoren bei agrarökologischen Fragen herangezogen (Duellli & Obrist, 1998; Luka, 1996), da sie in großer Dichte und Vielfalt vorkommen, eng an

Standort und Bewirtschaftung angepasst sind und mit Bodenfallen leicht erfasst werden können.

Forschungsergebnisse zur Bedeutung von Hecken und Feldrainen für Arthropoden (z. B. Dennis & Fry, 1992), Regenwürmern (z. B. Hof & Bright, 2010) und auch die Bodenmesofauna (z. B. Alvarez et al., 2000) bestätigen die Bedeutung dieser Strukturelemente für die Fauna in der Agrarlandschaft. Insbesondere beim Vergleich von reich- mit gering strukturierten, stark ackerbaulich geprägten Landschaften sind positive Effekte auf verschiedene Ökosystemleitungen nachgewiesen (z. B. Bianchi et al., 2006; Ricketts et al., 2008; Rusch et al., 2016). Eine Zunahme an linearen Grenzstrukturen wie Feldrainen, Übergangszonen und somit der landschaftlichen Heterogenität ist für Agroforstsysteme mit Energieholzstreifen charakteristisch. Hecken sind besonders wichtig für eine multifunktionale Agrarlandschaft (Baudry et al., 2000). Bei vielen Gemeinsamkeiten mit Energieholzstreifen unterscheiden sich Hecken jedoch in einigen Punkten. Im Wesentlichen fehlen den Energieholzstreifen die Vielfalt und Reife der Gehölze sowie Strukturen wie z.B. Blüten, Totholz und Steine. LECQ et al. (2017) konnten feststellen, dass besonders Strukturen wie Steine, Stämme und Wurzeln wichtig für die Diversität in Hecken sind. Weiterhin besitzen Energiehölzer durch ihr starkes Wachstum einen hohen Wasserbedarf (Zacios & Zimmermann, 2016). Auch wenn in der Agrarlandschaft aktuell ebenfalls ein regelmäßiger Umtrieb der Hecken angestrebt wird (Heckenpflege) ist das Intervall hier doch deutlich länger als bei Energiehölzern, so dass lichte Phasen vermutlich häufiger in diesen neuen, genutzten Landschaftselementen auftreten.

Energieholzstreifen sind somit eher lineare Kurzumtriebsplantagen mit Feldrain und mit je nach Breite und Rotationsphase vom Offenland abweichendem Mikroklima und Lichtverhältnissen und dem prägenden jährlichen Laubfall. Kurzumtriebsplantagen wurden hinsichtlich ihrer Fauna schon vermehrt untersucht (z. B. Schulz, et al., 2009 u. v. m.). Bisherige Studien zum Regenwurmbestand von Agroforstsystemen oder Kurzumtriebsplantagen konzentrierten sich auf einen Vergleich von Energieholzanzpflanzungen mit Ackerflächen oder auf einen Baumartenvergleich (Burmeister et al. 2016; Huber et al., 2013; Schmitt et al., 2010). Zur Bedeutung von KUPs für die Biodiversität und die Laufkäferfauna in der Agrarlandschaft schlussfolgert MÜLLER-KROEHLING (2015), dass KUPs besonders für Arten lichter und junger Wälder, Säume und Feuchtwälder einen Lebensraum darstellen können, sowie den Biotopverbund und genetischen Austausch zwischen Waldinseln fördern können. Für das Agroforstsystem sind im Gegensatz zur KUP stärkere Austauschprozesse und Wechselwirkungen zwischen der Ackerfläche und den Energiehölzern anzunehmen.

In Anbetracht dieser besonderen Eigenschaften von Agroforstsystemen mit Energieholzstreifen ist es naheliegend, einen Effekt auf die drei genannten Indikatorgruppen (Regenwürmer, Springschwänze und Milben, Laufkäfer und Spinnen) anzunehmen. Sowohl die Eigenschaften des Energieholzstreifens als Habitat, als auch seine Wirkung auf die biotischen und abiotischen Bedingungen auf der Ackerfläche können Abundanz, Artenvielfalt und Funktionalität der Tierwelt beeinflussen. In der vorliegenden Studie sollte die Fauna der Agroforstsysteme in Neuhof und Pulling beschrieben und Reaktionen auf den Energieholzstreifen untersucht werden. Hierfür wurden in mehreren Jahren in einem Entfernungsgradienten zum Energieholzstreifen die Vielfalt und Abundanz bzw. Aktivität der Regenwürmer, Springschwänze und Milben sowie der Laufkäfer und Spinnen untersucht.

5.2 Regenwürmer

Roswitha Walter, Sebastian Wolfrum, Johannes Burmeister

5.2.1 Material und Methoden

Die Probenahmen der Regenwürmer fanden an beiden Standorten auf den ökologisch bewirtschafteten Äckern in jeweils sechs unterschiedlichen Abständen zu den im Jahr 2009 angelegten Energieholzstreifen (EHS) statt (siehe Abbildung 47, Abbildung 48) in Hauptwindrichtung: 10 m und 5 m vor sowie 5 m, 10 m, 20 m und 30 m nach dem EHS). Zum Vergleich diente ein parallel dazu verlaufender Ackerstreifen ohne Pappelanpflanzung. Je Entfernungsstufe zum EHS wurden im Frühjahr 2011 jeweils vier Stichproben und im Frühjahr 2013 und 2015 jeweils sechs Stichproben genommen. Der EHS selbst wurde in den Jahren 2013 und 2015 beprobt (Abbildung 49). In Neuhof musste 2015 aufgrund einer defekten Drainage im Umfeld des westlichen EHS die gesamte Probenahme mit dem gleichen Versuchsdesign auf den östlichen Energieholzstreifen verlegt werden.

Angewendet wurde eine Austreibungsmethode mit einer stark verdünnten 0,2 %igen Formaldehydlösung, die verteilt auf zwei Gaben (insgesamt 40 l/m²) auf eine 0,25 Quadratmeter große Fläche je Stichprobe aufgegossen wurde (Abbildung 50). Nach jeder Gabe erfolgte ein Aufsammeln der Regenwürmer von mindestens 15 Minuten Dauer. Anschließend wurde ein Teil der Probestelle (1/16 m²) zirka 30 cm tief ausgegraben und das Bodenmaterial von Hand zerkrümelt und auf Regenwürmer durchsucht. Die gefangenen Regenwürmer wurden in 96 % Ethanol konserviert, im Labor gezählt und gewogen sowie die adulten geschlechtsreifen Tiere auf ihre Art bestimmt.

Zur Auswertung wurden die bodenbewohnenden Regenwurmarten entsprechend ihrer Lebensweise in epigäische, endogäische und anezische Arten eingeteilt (Tabelle 23).

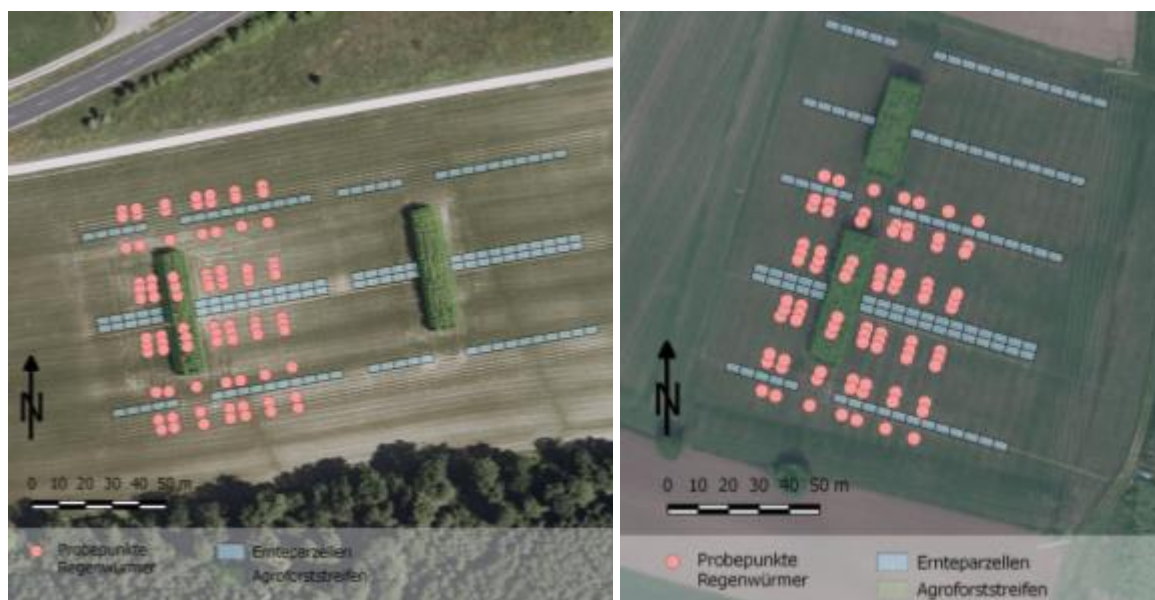


Abbildung 47: Lage der Regenwurmprobestellen im Agroforstsystem an den beiden Untersuchungsstandorten Neuhof (links) und Pulling (rechts)



Abbildung 48: Regenwurmerfassung in der Ackerfläche entlang eines Gradienten zum EHS in Pulling im Jahr 2013 (links) und im Jahr 2015 (rechts)



Abbildung 49: Regenwurmprobestelle im EHS 2015 (links: Pulling, rechts: Neuhof)



Abbildung 50: Regenwurmerfassung (links: Austreibung, rechts: anschließende Handauslese)

Tabelle 23: Lebensformen der bodenbewohnenden Regenwurmart

Streubewohner epigäische Arten	Flachgräber/ Mineralbodenformen endogäische Arten	Tiefgräber anezische Arten
<ul style="list-style-type: none"> • dunkel pigmentierte Arten • leben oberflächennah in der Streu und Humusauflage • bilden keine oder nur temporäre Röhren 	<ul style="list-style-type: none"> • hell pigmentierte Arten • leben im Mineralboden bis ca. 60 cm Tiefe und graben ständig neue auch horizontale Röhren • tragen zur Feindurchmischung von organischer Substanz mit dem Mineralboden bei 	<ul style="list-style-type: none"> • vorne dunkel, hinten hell pigmentiert • legen nahezu senkrechte, tief in den Unterboden reichende stabile Röhren an • sammeln organisches Material an der Oberfläche ein, das sie in ihre Röhren ziehen

In den Jahren 2014 und 2015 wurde als Ergänzung der Einfluss verschiedener Baumarten auf die Regenwurmfaua in der KUP-Versuchsanlage (Teilprojekt Energieholz – LWF) am Standort Pulling untersucht. Hierfür wurden 2014 am 24. und 27.10.2014 in allen vier Seiten im Ausbau des Versuches unter den Baumarten Pappel ('Max3'), Grauerle und Schwarzerle Proben genommen. Je Baumart und Seite (4) wurden jeweils drei Probestellen mit derselben Erfassungsmethode wie bei der Beprobung des Energieholzstreifens untersucht. Als Vergleich wurden sechs Probestellen auf der benachbarten Ackerfläche (Teilprojekt Agroforst – LFL) mit gleicher Methodik untersucht. Im Jahr 2015 wurden am 13. und 14.10.2015 die Untersuchungen der Regenwurmfaua unter den drei Baumarten am Standort Pulling diesmal in den Versuchspartellen mit jeweils drei Stichproben wiederholt. Als Vergleichsfläche diente wiederum die Ackerfläche mit dem Energieholzstreifen.

5.2.2 Ergebnisse

Auf einer Ackerlänge von ca. 50 m konnten im Mittel über alle gemessenen Entfernungsstufen keine statistisch gesicherten Unterschiede in der Gesamt-Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer zwischen den beiden Varianten mit und ohne Energieholzstreifen (EHS) nachgewiesen werden (gemischtes lineares Modell - Biomasse: F-Wert = 0,22; Abundanz: F-Wert = 0,55). Vielmehr waren an beiden Standorten die Populationschwankungen der Regenwürmer zwischen den Jahren größer als der Einfluss des darin angelegten EHS (Tabelle 24 und Tabelle 25). Die größten Regenwurmbestände wurden an beiden Standorten im Jahr 2013 nachgewiesen.

In Neuhof wurden insgesamt 6 und in Pulling 7 Regenwurmartarten erfasst. Wenngleich die Artenvielfalt an beiden Standorten sehr ähnlich ist und flachgrabende, endogäisch lebende Mineralschichtbewohner dominierten, prägte in Neuhof *Aporrectodea caliginosa* und in Pulling *Octolasion lacteum* die Lebensform der endogäischen Arten. Die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* (Tauwurm) trat in der pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche in Pulling in einer wesentlich höheren Siedlungsdichte als in Neuhof auf und bildete dort den Großteil der Regenwurmbiomasse. So zeichnet sich der Standort Pulling in allen Untersuchungsjahren durch eine höhere Regenwurmbiomasse aus, als der jährlich gepflügte Standort Neuhof. Dennoch wurde in Neuhof in allen Jahren eine durchschnittlich höhere Individuendichte der Regenwürmer nachgewiesen, die auf das Vorkommen von kleineren Arten und Individuen (v.a. juvenile Tiere) zurückzuführen ist. Der Anteil juveniler Tiere lag in Neuhof mit 70 – 85 % etwas höher als in Pulling mit 60 -70 %.

An beiden Standorten waren die streubewohnenden Arten in sehr geringer Dichte vertreten, wobei *Lumbricus castaneus* ausschließlich in Neuhoof und *Lumbricus rubellus* ausschließlich in Pulling auftrat (Tabelle 24 und Tabelle 25).

Tabelle 24: Regenwurmabundanz (Individuen/m²) auf einer 50 m langen Ackerfläche mit (+) und ohne (-) Energieholzstreifen (EHS) für die Standorte Neuhoof und Pulling von 2011 bis 2015 (Mittelwerte, in 2011 jeweils n=24, in 2013 und 2015 je n=42)

	Neuhoof						Pulling					
	2011		2013		2015		2011		2013		2015	
	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS
Juvenile Lumbricus spec.	84,8	83,2	28,4	36,3	9,2	21,6	42,3	49,2	26,8	34,6	8,3	12,6
Juvenile Flachgräber			202,5	190,9	59,1	70,8			82,9	92,9	59,3	82,4
adulte Streubewohner												
<i>Lumbricus castaneus</i>			0,1	0,4	0,1	0,0						
<i>Lumbricus rubellus</i>							0,2	0	1,1	0	0,2	0,7
adulte Flachgräber												
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	19,8	15,7	33,2	23	21,8	25,5	1,3	0,7	1	0,8	0,5	1,1
<i>Allolobophora chlorotica</i>	4,8	4,7	5,5	2,8	6,6	3,2			0,6	2,7	0,9	0,2
<i>Aporrectodea rosea</i>	4,3	2,2	3,4	3,7	0,9	4,6	3,8	7,2	3,8	4,4	3,2	8,4
<i>Octolasion lacteum</i>	0,2	0					16	15,5	38,4	30,4	23	18,3
<i>Octolasion cyaneum</i>											0	0,2
adulte Tiefgräber												
<i>Lumbricus terrestris</i>	3,5	1,8	4,2	5,4	2,6	4,2	5,8	6,5	18,8	16,6	14,6	11,7
Gesamt Individuen/m²	117,5	107,5	277,4	262,4	100,2	129,9	69,5	79	173,3	182,2	110	135,5
Artenzahl	5	4	5	5	5	5	5	4	6	5	6	7

Tabelle 25: Regenwurmbiomasse (g/m²) auf einer 50 m langen Ackerfläche mit (+) und ohne (-) Energieholzstreifen (EHS) für die Standorte Neuhoof und Pulling von 2011 bis 2015 (Mittelwerte, in 2011 jeweils n=24, in 2013 und 2015 jeweils n=42)

	Neuhoof						Pulling					
	2011		2013		2015		2011		2013		2015	
	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS	- EHS	+ EHS
Juvenile Lumbricus spec.	25,5	21,6	14,5	14,5	3,2	6,7	13,5	17,6	18,0	24,4	6,9	7,3
Juvenile Flachgräber			21,2	21,6	10,9	16,6			17,6	16,5	13,1	11,1
adulte Streubewohner												
<i>Lumbricus castaneus</i>			0,01	0,04	0,03	0						
<i>Lumbricus rubellus</i>							0,1	0	0,9	0	0,2	0,4
adulte Flachgräber												
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	12,4	9	21,0	18	14,8	15,2	0,8	0,3	0,4	1,7	0,3	0,4
<i>Allolobophora chlorotica</i>	1	1,5	1	0,6	1	0,5			0,1	0,3	0,1	0
<i>Aporrectodea rosea</i>	1,5	0,4	0,6	0,8	0,4	1,0	1,1	1,7	0,9	0,9	0,7	1,7
<i>Octolasion lacteum</i>	0,2	0,0					23	22,2	38,0	28,2	26,5	20,2
<i>Octolasion cyaneum</i>									0	0	0	0,2
adulte Tiefgräber												
<i>Lumbricus terrestris</i>	12,3	6,1	15,9	18,1	7,6	13,3	24,8	24,9	64,6	54,0	58,3	44,6
Teilstücke			1,9	1,5	0,8	0,8			3,8	1,9	0	0,7
Gesamt Biomasse g/m²	52,8	38,8	76,1	75,2	38,8	54,1	63,2	66,7	144,3	127,9	106,1	86,6



Abbildung 51: Die häufigsten Regenwurmart an den beiden Untersuchungsstandorten, oben: *Lumbricus terrestris* (links), *Aporrectodea caliginosa* (rechts), unten: *Aporrectodea rosea* (links), *Allolobophora chlorotica* (Mitte), *Octolasion lacteum* (rechts)

An beiden Versuchsstandorten zeigte sich über den Untersuchungszeitraum kein eindeutiger Einfluss des Energieholzstreifens (EHS) auf die Regenwürmer im Acker entlang eines Entfernungsgradienten zum EHS ab (Abbildung 52). Vielmehr sind standort- und jahrespezifisch unterschiedliche Effekte zu erkennen. Auffallend ist, dass innerhalb des EHS die Regenwurmbiomasse im Jahr 2013 am Standort Neuhof sehr hoch und in Pulling trotz hoher Abundanz deutlich niedriger lag als im umgebenden Ackerboden (Abbildung 52). So war in Neuhof die Individuendichte und Biomasse der *Lumbricus* Arten, v.a. des tiefgrabenden Tauwurms, *Lumbricus terrestris* im Frühjahr 2013 innerhalb des EHS um ein mehrfaches höher als in der umgebenden mit Hafer angebauten Ackerfläche nach einer vorausgehenden rauhen unbedeckten Winterfurche (Abbildung 52). In 2015 im Winterweizen bestätigte sich dieses Ergebnis in Neuhof nicht. Auch die überdurchschnittlich hohe Abundanz juveniler endogäischer Tiere ca. 10 m nach dem EHS in Neuhof war 2013 eine einmalige Beobachtung.

Am Standort Pulling profitierten dagegen sowohl in 2013 als auch 2015 die kleineren endogäischen Regenwurmart vom Energieholzstreifen (Abbildung 53), zu erkennen an der hohen Regenwurmabundanz. Im Gegensatz zum Standort Neuhof war in Pulling 2013 die Biomasse der *Lumbricus* Arten (v. a. von *L. terrestris*) unter dem EHS deutlich niedriger als im umgebenden, pfluglos bewirtschafteten Ackerboden. Im Jahr 2015 wies nicht nur der EHS sondern auch das angrenzende Ackerumfeld in Pulling bis zu 10 m Abstand zum EHS niedrigere Biomassewerte der Gattung *Lumbricus* auf (Abbildung 53). Durch den Rückgang des Tiefgräbers *Lumbricus terrestris* und die gleichzeitige Zunahme der endogäischen Arten unter dem EHS kam es dort zu einer Änderung der Dominanzstruktur der Regenwurmart.

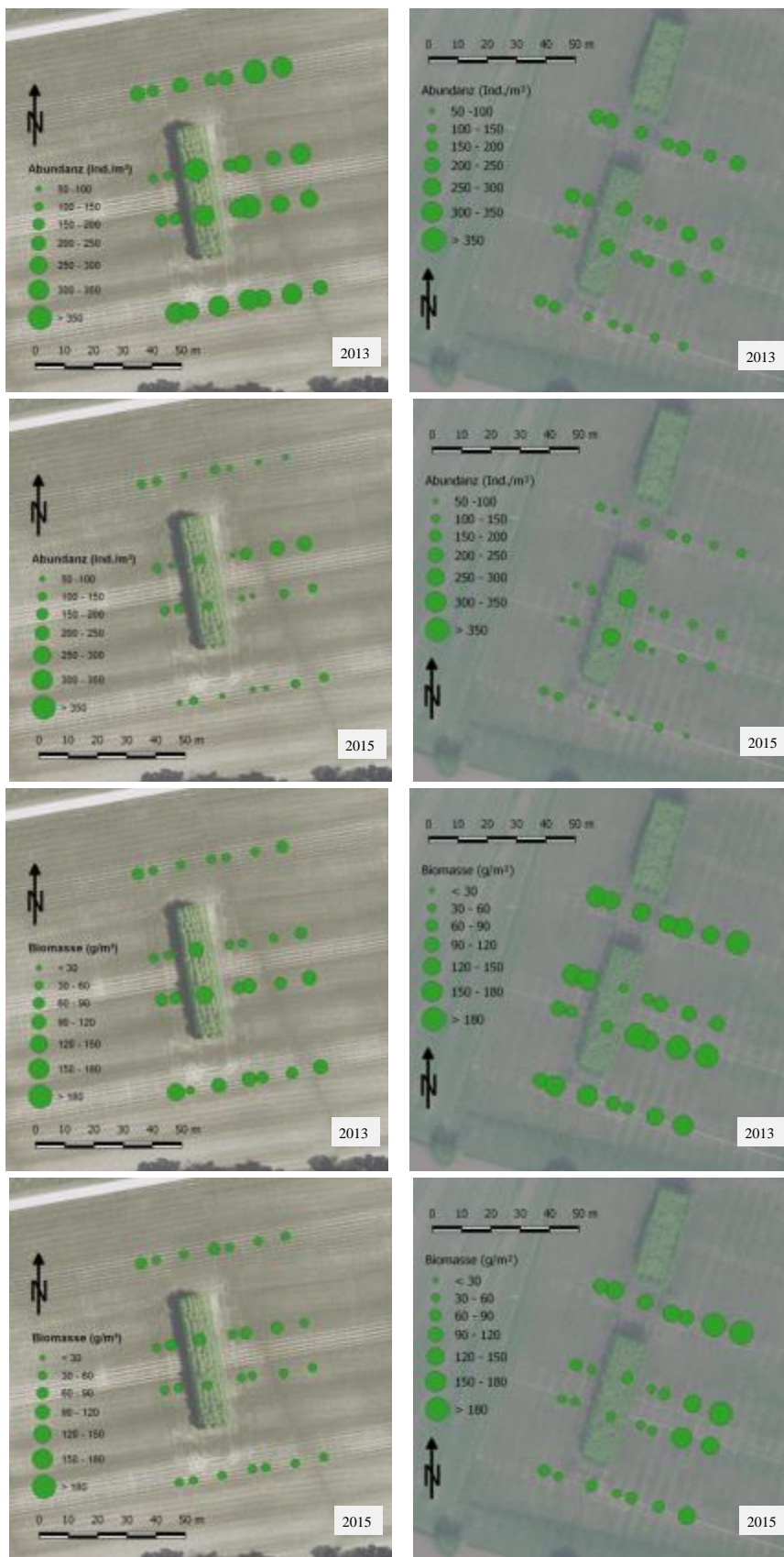


Abbildung 52: Gesamtabundanz (oben) und Gesamtbiomasse (unten) der Regenwürmer in 2013 und 2015 in räumlicher Lage zum Energieholzstreifen EHS in Neuuhof (links) und Pulling (rechts) (Mittelwerte je n=3 Stichproben)

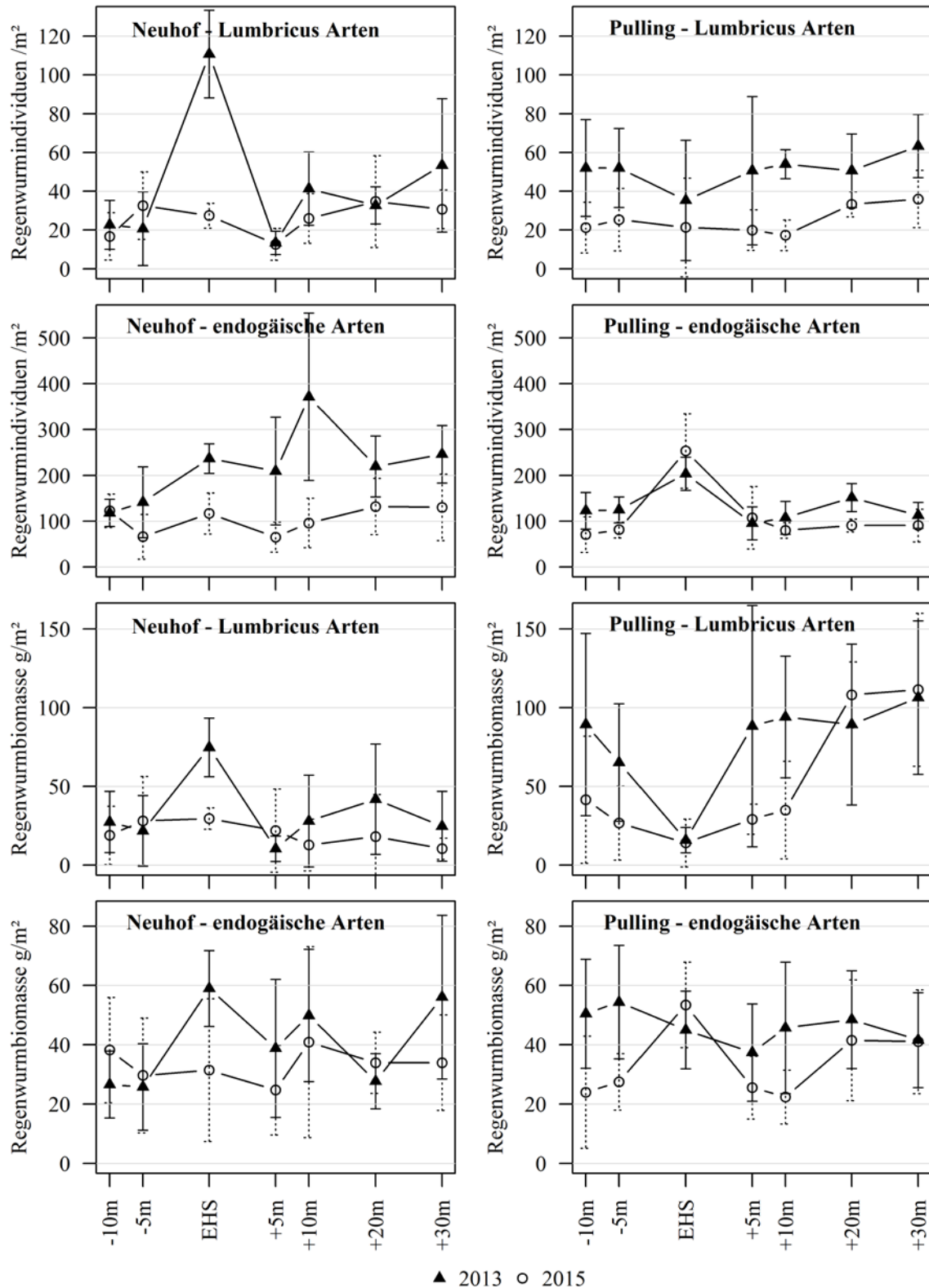


Abbildung 53: Siedlungsdichte (oben) und Biomasse (unten) der Regenwürmer für die endogäischen Arten und die Gattung *Lumbricus* (nahezu ausschließlich Tiefgräber *Lumbricus terrestris*) entlang eines Entfernunggradienten zum (EHS) in Neuhoof und Pulling in 2013 und 2015 (Mittelwerte mit Standardabweichung, je n=6)

Der Vergleich der Regenwurmbesiedlung unter Pappelhybriden mit Schwarz- und Grauerle in Pulling ergab sowohl für das Jahr 2014 als auch für 2015 unter Erlen eine höhere Re-

genwurmbiomasse (Abbildung 54). Auch die im Boden der pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche erfasste höhere Regenwurmbiomasse im Vergleich zur Pappelanpflanzung ist auf die Gattung *Lumbricus* und insbesondere auf die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* zurückzuführen.

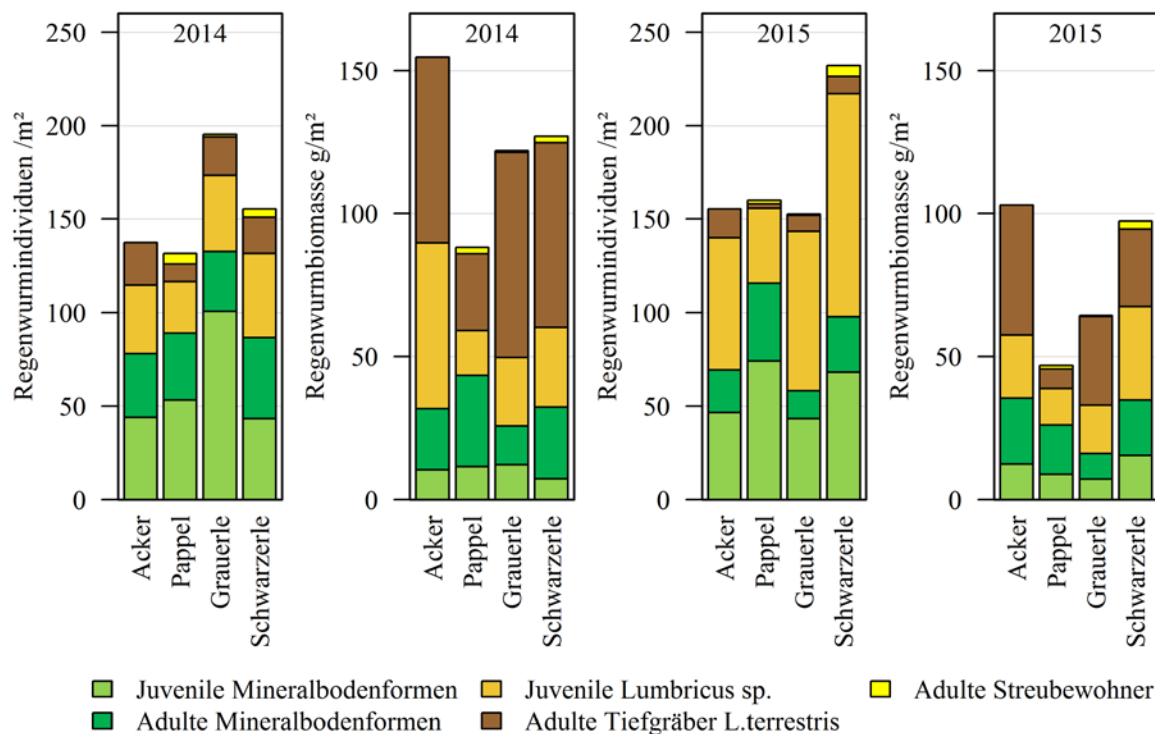


Abbildung 54: Siedlungsdichte und Biomasse der Regenwürmer unter verschiedenen Baumarten und auf einer ökologisch und pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche in den Jahren 2014 und 2015 in Pulling

5.2.3 Diskussion

Die an beiden Standorten nachweisbaren großen Populationsschwankungen der Regenwürmer zwischen den Jahren zeigen, dass Regenwurmbestände stark von Witterungseinflüssen, wie z. B. lange heiße und trockene Sommer oder lange harte Winter (Ehrmann, 2012; Timmerman et al., 2006) sowie auch von Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Fruchtfolgegestaltung (z. B. Klee-grasanbau), Vorfruchtwirkung (Walter & Daschner, 2014) und Bodenbearbeitung (Emmerling, 2001; Nuutinen, 1992; Peigné et al., 2009; van Capelle et al., 2012) beeinflusst werden. Für bayerische Äcker überdurchschnittliche Regenwurmbestände wurden an beiden Standorten im Jahr 2013 nachgewiesen. Zu dem Populationsanstieg trug sicherlich der zuvor zweijährige Klee-grasanbau in Pulling (2011 und 2012) entscheidend bei, denn humusmehrende Kulturen wie Gras-Leguminosen-Gemenge führen zur erhöhten Reproduktion bei Regenwürmern, die meist noch deutlich in der Folgekultur zu erkennen sind. So war in einem ökologisch bewirtschafteten Dauerversuch die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Winterweizen nach einjährigem Klee-grasanbau um den Faktor 2 signifikant höher als im Winterweizen mit Kartoffel als Vorfrucht (R. Walter, 2017a). Auch der einjährige Klee-grasanbau in Neuhof im Jahr 2011 kann sich noch positiv bis in das Jahr 2013 hinein ausgewirkt haben. Allerdings lag 2015 im Winterweizen die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer in Neuhof niedriger, obwohl Klee-gras als Vorfrucht in 2014 angebaut wurde. Neben Witterungseinflüssen, wofür auch

der gleiche Trend in Pulling spricht, ist zudem in Neuhof ein Einfluss durch den Probeflächenwechsel auf den östlichen Energieholzstreifen, der aufgrund einer defekten Drainage im Umfeld des westlichen EHS erforderlich war, nicht auszuschließen.

Für die insgesamt deutlich höhere Abundanz der tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* am Standort Pulling ist sicherlich, die seit langem dort praktizierte, pfluglose Bodenbearbeitung verantwortlich. Die positiven Wirkungen einer nicht wendenden Bodenbearbeitung auf Regenwürmer insbesondere auf die tiefgrabende Art *L. terrestris* bestätigen viele Studien (Jossi et al., 2011; Krück et al., 2001; Walter, 2017b). Dagegen sind die kleineren endogäischen Regenwurmartentoleranter gegenüber einer vollwendenden Bodenbearbeitung (Walter, 2017b). Darauf weisen auch die hohen Regenwurmabundanzen dieser Lebensform an dem jährlich gepflügten Standort Neuhof hin. Eine Studie von VAN SCHAİK et al. (2016) weist allerdings auf die große räumliche Variabilität der Regenwurmverkommen hin. Dies lässt darauf schließen, dass neben Bodeneigenschaften und Bodenbearbeitung noch andere Faktoren einen Einfluss haben.

Sowohl in Neuhof als auch in Pulling konnten keine eindeutigen Effekte auf den Regenwurmbestand entlang eines Entfernungsgradienten in die angrenzende Ackerfläche nachgewiesen werden, genauso wie auch in einer Studie in Wendhausen bei Braunschweig (Lamerre et al., 2016). Dennoch kam es innerhalb der Energieholzstreifen und teilweise in dessen Umfeld zu Veränderung im Regenwurmbestand. Diese waren sowohl zwischen den Standorten Neuhof und Pulling als auch z. T. jahres- und artspezifisch unterschiedlich. Ähnliche positive Effekte von Randstrukturen, in Abhängigkeit von der betrachteten ökologischen Gruppe, konnten in einer Untersuchung in Baden-Württemberg gezeigt werden (van Schaik et al., 2016). Sowohl die sich verändernden Bedingungen mit zunehmendem Alter der Pappeln, als auch Einflüsse wie Witterung, Fruchtfolge oder Bodenbearbeitung der umgebenden Ackerfläche können dabei eine Rolle gespielt haben. Bei einer rauen unbedeckten Winterfurche, wie dies für den Winter 2012/2013 in Neuhof zutraf, liefert ein Pappelstreifen vermutlich günstigere Lebensbedingungen für die Jugendentwicklung von *L. terrestris* als der umgebende Acker (Stauffer et al., 2014). Daraufhin deutet die hohe Dichte juveniler Individuen der Gattung *Lumbricus* im Pappelstreifen im Frühjahr 2013. Zudem weisen die geringen Bestandszahlen von *Lumbricus spec.* im Abstand von + 5 m zum EHS auf eine Einwanderung, in den bei rauher unbedeckter Winterfurche attraktiveren EHS, hin. Viele Studien, die in EHS höhere Regenwurmsiedlungsdichte als in Äckern nachweisen konnten, führen deshalb den höheren Regenwurmbestand in Energieholzstreifen gerne auf die Bodenruhe (keine Bodenbearbeitung) und durchgehende Bodenbedeckung unter EHS zurück (Huber et al., 2013; Lagerlöf et al. 2012; Lamerre et al., 2016; Makeschin, 1994; Schmitt et al., 2010; Stauffer et al., 2014).

Auffallend ist, dass am Standort Pulling im Vergleich zu Neuhof die kleineren endogäischen Arten vom EHS profitierten. Möglicherweise bietet der durch einen höheren Grundwasserstand geprägte Standort stets gute Bodenfeuchtebedingungen für diese Lebensform. Allerdings meidet am Standort Pulling die Gattung *Lumbricus* und hier insbesondere die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* den Energieholzstreifen. Im Unterschied zu Neuhof wird der Standort Pulling seit vielen Jahren nicht nur pfluglos bearbeitet, sondern es werden auch artenreiche Untersaaten angebaut. So bietet der Acker für den Tauwurm *L. terrestris* stets eine Bodenbedeckung sowie möglicherweise ein attraktiveres Nahrungsangebot (mit günstigem C/N Verhältnis) als der EHS. Auch eine Änderung in der Beschattung oder eine stärkere Ausbreitung der Pappelwurzeln bei einer pfluglosen Bodenbearbeitung in den Acker hinein, könnten eine Rolle gespielt haben. Dies zeigt sich z. B. daran, dass am Ende der Umtriebszeit im Jahr 2015 auch das Umfeld des EHS bis zu einem Abstand von 10 m eine viel geringere Siedlungsdichte der Gattung *Lumbricus* auf-

wies. In einer Kurzumtriebsplantage mit Pappeln bei Kaufering war über deren Entwicklungszeit ebenfalls ein Rückgang adulter Tiere von *L. terrestris* zu beobachten (Burmeister, Zacios, et al., 2016). So können auch die nach einer Pappelanpflanzung sich ändernde Bedingungen im Bodenfeuchteregime eine wesentliche Rolle spielen. Aufgrund des schnellen Wachstums von Pappeln, ihrer längeren Vegetationsperiode, der größeren Blattfläche (höhere Transpiration) und der tieferen Wurzelerschließung des Bodens, haben Pappeln auch im Kurzumtrieb im Vergleich zu einjährigen Ackerkulturen einen deutlich höheren Wasserentzug (Zacios & Zimmermann, 2016). So ist die Grundwasserneubildung je nach Witterung und Alter der Pappeln um ca. 35 bis 60 % niedriger (Zacios & Zimmermann, 2016). WATTENDORF et al. (2015) führen den nach ca. 8 Jahren beginnenden Rückgang des Regenwurmbestandes auf einer mit Zitterpappeln bepflanzten Rekultivierungsfläche bei Leonberg auf den sehr hohen Wasserverbrauch der Zitterpappel zurück. So ergaben die Bodenfeuchtemessungen dort unter Zitterpappeln von Juni bis November zu trockene Bedingungen für eine Regenwurmaktivität bei ansonsten guten Boden- und Nahrungsbedingungen (Parabraunerde aus Lösslehm, guten pH-Werten, sehr gut abbaubares Streumaterial der Zitterpappel) (Wattendorf et al., 2015).

Nicht zu vernachlässigen ist zudem die insgesamt sich verändernde Zusammensetzung der Tierarten und ihrer Abundanz unter schnellwachsenden Gehölzen (Tsonkova et al., 2011). So könnte z. B. eine Zunahme von Prädatoren im EHS ebenfalls zur Verringerung der Bestände von *Lumbricus terrestris* im EHS und in deren Umfeld beigetragen haben. Die nachtaktiven Tiere von *Lumbricus terrestris* kommen nachts an die Bodenoberfläche und können dann Beute für nachtaktive räuberische Arthropoden oder Säugetiere wie z. B. Fuchs und Dachs sein.

Für den höheren Regenwurmbestand unter Erle im Vergleich zur Pappel können neben der Streuqualität und der Stickstofffixierung auch Folgen der abweichenden Wuchsleistung, wie Unterschiede in der Bodenvegetation und dem Wasserhaushalt, entscheidend sein. MAKESCHIN (1994) fand unter Weide einen höheren Regenwurmbestand als unter Pappel und führte dies auf einen geringeren Interzeptionsverlust bei Weide zurück. Im Vergleich zu seminatürlichen Feldgehölzen und Grasstreifen waren in Pappelstreifen im Kurzumtrieb in Wendhausen bei Braunschweig keine Unterschiede in der Abundanz, allerdings in der Biomasse der Regenwürmer feststellbar, als Folge einer anderen Artenzusammensetzung. So war im Grasstreifen die Dichte des tiefgrabenden Tauwurms deutlich höher als im EHS und trug dort zu der deutlich höheren Biomasse bei (Lammerre, 2016). Dagegen zeichnete sich das Feldgehölz durch das Fehlen von *Lumbricus terrestris* sowie durch einen deutlich höheren Anteil an kleineren streubewohnenden Arten aus. Diese für ältere Hecken typischen epigäischen Regenwurmartarten konnten in Neuhof sowie in Pulling auch in den 6 jährigen EHS nur in geringer Dichte nachgewiesen werden. Dabei spielt sicherlich die geringe Ausbreitungsgeschwindigkeit der Regenwürmer mit ca. 5-10 m pro Jahr sowie der geringe Bestand dieser Lebensform in beiden umgebenden Ackerflächen (geringes Besiedlungspotential) eine Rolle. Prozesse zur Besiedlung und zur Dominanzstruktur von Arten in neu erschaffenen Lebensräumen wie EHS sind nach 6 Jahren wahrscheinlich noch nicht abgeschlossen, sondern benötigen vielmehr deutlich längere Zeithorizonte bzw. mehrere Umtriebszeiten.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Regenwurmbestand von Agroforstsystemen mit Energieholzstreifen stärker von Einflüssen wie Witterung und der Ackerbewirtschaftung als vom Energieholzstreifen geprägt wird. Die Effekte können somit jährlich variieren und auch arten- und standortspezifisch unterschiedlich sein. Insbesondere in regelmäßig gepflügten Äckern können Regenwürmer vom EHS profitieren.

5.3 Epigäische Bodenfauna

Johannes Burmeister, Theo Blick, Roswitha Walter

5.3.1 Material und Methoden

Bei der Erfassung der epigäischen Bodenfauna kamen Bodenfallen zum Einsatz. Hierbei wurden Trinkgläser mit einer Öffnungsweite von 6,5 cm und einer Tiefe von 12,5 cm mit der Bodenoberfläche bündig abschließend eingegraben. Ein Dach aus Plexiglas schützte vor Regen. Als Fangflüssigkeit diente 75%iges Ethylenglycol versetzt mit einigen Tropfen Spülmittel als Detergens.

Der Ausgangszustand zum Zeitpunkt der Anlage der Energieholzstreifen wurde im Jahr 2009 durch eine Grundaufnahme mit 15 über den Schlag verteilten Fallen je Versuchsstandort erfasst. 2011 wurden in unterschiedlichen Entfernungen zu den Energieholzstreifen jeweils 24 Fallen je Versuchsstandort eingegraben. 2013 und 2015 wurde diese Konstellation um je 6 Fallen in den Energieholzstreifen erweitert.

2011, 2013 und 2015 wurden die Bodenfallen in 5, 15, 25 und 50 m Abstand auf der Ostseite des Energieholzstreifens aufgestellt (Ausnahme: 3 Fallen der 50 m Variante in Neu- hof, die auf der Westseite aufgestellt wurden). Die Anordnung der Fallen und die Leerungstermine sind in Abbildung 55 und Tabelle 26 angegeben.



Abbildung 55: Lageplan der Bodenfallen (links in Neu- hof, rechts in Pulling)

Tabelle 26: Standzeiten der Bodenfallen

Jahr	Kulturart	Neuhof		Pulling	
		Von	Bis	von	bis
2009	Neuhof: Winterweizen Pulling: Hafer	04.06.	04.07. (30 d)	03.06.	04.07. (31 d)
2011	Neuhof: Klee gras Pulling: Klee gras	31.05.	04.07. (34 d)	23.05.	27.06. (35 d)
2013	Neuhof: Hafer Pulling: Hafer	26.04.	30.07. (95 d)	17.04.	22.07. (96 d)
2015	Neuhof: Winterweizen Pulling: Hafer	21.04.	21.07. (91 d)	29.04.	28.07. (90 d)

Um die Fauna im Gehölz-Acker-Übergangsbereich zu erfassen und nähere Informationen bezüglich der Austauschprozesse zwischen Energieholzstreifen und Ackerfläche zu erhalten, wurden in einem Jahr in Pulling ergänzend Richtungsfallen installiert (Abbildung 56). Hierbei wurde eine an den Seiten zusätzlich abgegrenzte Barriere aus Schneckenblechen aufgestellt. Auf jeder Seite wurden jeweils drei Bodenfallen (Bauweise siehe Fotos) eingegraben. Im Energieholzstreifen standen auf jeder Seite zwei solcher Fallen im Randbereich – nach der äußersten Pappelreihe - über den Winter vom 11.10.2013 bis zum 23.05.2014. Auf der Ackerfläche in 5 m Entfernung vom Energieholzstreifen war die Standzeit vom 07.03.2014 bis zum 08.05.2014.

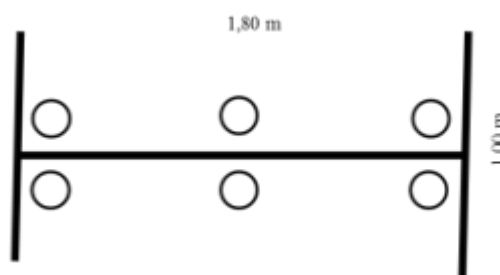
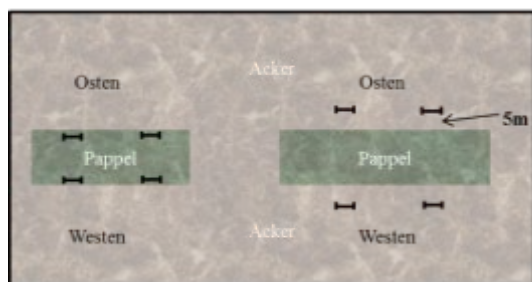
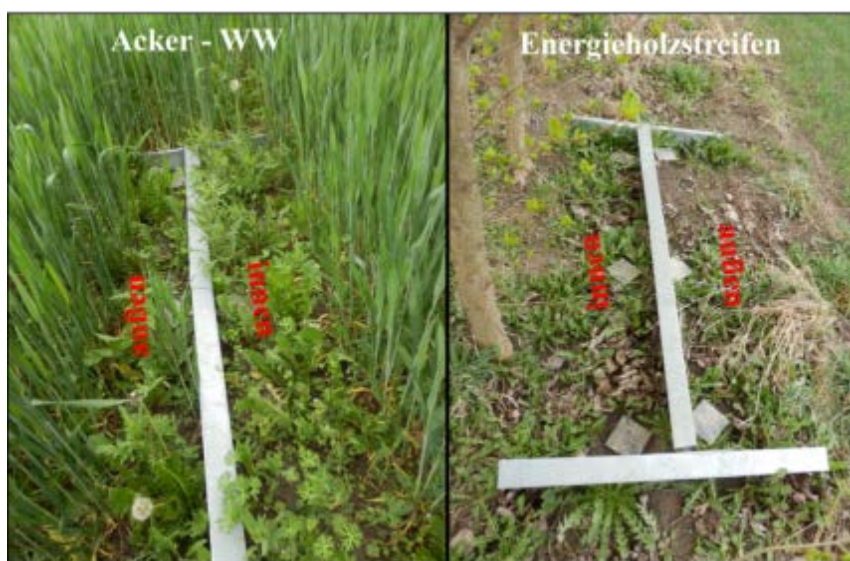


Abbildung 56: Richtungsfallen im Acker (links oben), am Rand der Energieholzstreifen (rechts oben), Anordnung im Feld (links unten) und schematischer Aufbau (rechts unten)

Die Proben wurden nach gut erfassbaren taxonomischen Gruppen (*Aranea*, *Opiliones*, *Staphylinidae*, sonstige *Coleoptera*, *Carabidae*, *Isopoda*, *Myriapoda*, *Formicidae*) sortiert. Laufkäfer sowie Spinnen und Weberknechte wurden bis zur Art determiniert. Die Bestimmung der Spinnen wurde von Theo Blick und die der Weberknechte von Christoph Muster durchgeführt. Die Laufkäfer wurden von Andreas Fritze und Johannes Burmeister bestimmt.

5.3.2 Ergebnisse

5.3.2.1 Laufkäfer

In allen Untersuchungsjahren zusammen genommen (ohne Richtungsfallen) wurden 18178 Laufkäfer aus 73 Arten nachgewiesen (Neuhof 8486 Individuen, 61 Arten; Pulling 9692 Individuen, 53 Arten, Tabelle 27). Die häufigste Art der Untersuchung war an beiden Standorten *Pterostichus melanarius*, mit insgesamt etwa 35 % der gefangenen Individuen. Weitere eudominante Arten (> 10 % der Individuen) waren in Pulling *Pterostichus melas* und *Anchomenus dorsalis* und in Neuhof *Poecilus cupreus*. Die Evenness als Maß für eine ausgeglichene Häufigkeitsverteilung innerhalb der Artengemeinschaften war in Neuhof und Pulling mit 0,53 und 0,54 sehr ähnlich.

Tabelle 27: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Laufkäferfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling (* Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Lorenz, 2003))

Jahr	2009		2011		2013		2015	
	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling
Fallenzahl	15	15	24	24	30	30	30	30
Individuen gesamt	2650	2533	1116	949	2817	3720	1903	2490
Individuen / Fallentag	5,9	5,1	1,4	1,1	1,0	1,3	0,7	0,9
Arten	31	25	32	36	41	47	37	37
Rote Liste Arten*	3	4	4	5	6	5	5	5

Trotz des viermal höheren Fallenaufwands auf dem Acker wurden in Neuhof elf Arten ausschließlich im Energieholzstreifen gefunden, in Pulling dagegen waren es nur drei Arten. An beiden Standorten war in der Feldmitte insgesamt eine höhere Aktivitätsdichte von Laufkäfern festzustellen, vor allem von weit verbreiteten, eurytopen Arten, wie *Pterostichus melanarius* und *Poecilus cupreus*. In Pulling wurde die höchste durchschnittliche Artenzahl pro Falle in 5 m Entfernung zum EHS gefunden, in Neuhof bestätigte sich dies nicht (Tabelle 30). Es wurden 11 Arten mit Erwähnung in der Roten Liste Bayerns (Lorenz, 2003) nachgewiesen.

Die Dominanz euryöker Ackerarten stieg mit zunehmender Entfernung vom Energieholzstreifen analog zur Gesamtaktivitätsdichte an beiden Standorten an (Abbildung 57, links). In den EHS stellten Individuen mit Verbreitungsschwerpunkt in Wäldern einen größeren Anteil. Mehr Arten mit einer Präferenz für Wälder und solche, die sowohl in Wäldern als auch im Offenland vorkommen (darunter Habitatwechsler, hygrophile Arten und andere), wurden in den Energieholzstreifen gefunden (Abbildung 57, rechts). Mehr Arten des Offenlandes konnten außerhalb der Energieholzstreifen gefangen werden. Die meisten Offenlandarten wurden an beiden Standorten in 25 m Abstand zum EHS festgestellt.

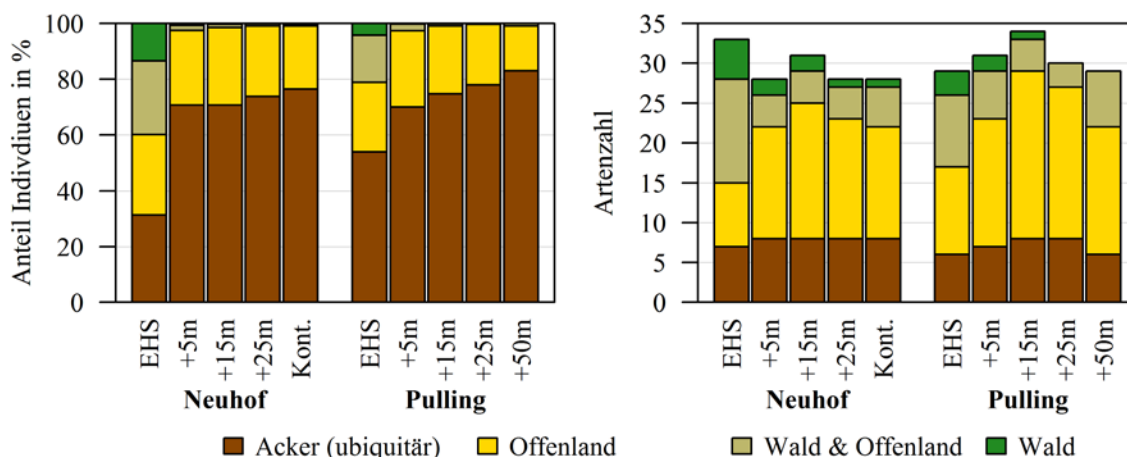


Abbildung 57: Habitatpräferenzen der 2013 und 2015 gefangenen Laufkäfer, links in Prozent der Individuen, rechts: Anzahl der Arten

Tabelle 28: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Laufkäferfauna in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre (* Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Lorenz, 2003))

Ort	Neuhof					Pulling				
	EHS	+5m	+15m	+25m	Kont.	EHS	+5m	+15m	+25m	+50m
2011										
Individuen gesamt		225	265	267	359		212	223	261	253
Arten		22	23	22	25		20	25	24	18
Arten Ø		9,7	10,2	10,3	11,0		10,2	9,0	10,2	8,5
RL Arten*		3	2	1	2		2	3	4	2
2013										
Individuen gesamt	177	478	730	719	713	667	569	704	783	997
Arten	27	23	29	24	26	23	25	29	26	25
Arten Ø	11,7	11,8	15,0	12,7	13,7	12,5	13,5	13,5	13,8	14,0
RL Arten*	2	0	3	4	2	2	4	3	4	3
2015										
Individuen gesamt	174	173	394	456	706	474	344	567	608	497
Arten	21	21	23	22	21	20	21	22	17	16
Arten Ø	8,5	10,2	12,0	13,2	13,2	9,2	10,7	10,0	10,2	9,2
RL Arten*	3	1	2	2	2	3	3	3	3	3

Als bedeutsam für die Laufkäferfauna erwiesen sich auch das Klee gras und dessen Stellung in der Fruchtfolge. So waren einige sich hauptsächlich von Samen ernärende Laufkäferarten vorwiegend bzw. ausschließlich 2011 bei Hauptfrucht Klee gras nachzuweisen (z. B. *Anisodactylus binotatus*, *Harpalus singaticornis*), andere hatten eine deutlich gesteigerte Aktivitätsdichte nach zweijährigem Klee grasanbau in Pulling 2013. So war die Aktivitätsdichte von den als erwachsene Tiere überwinterten Arten *Bembidion lampros* und *Anchomenus dorsalis* in Pulling 2013 nach zweijährigem Klee gras mehr als fünffach höher als 2015 nach Winterweizen. In Pulling konnte zudem die Wiederbesiedelung des

Haferbestandes im Jahr 2013 durch *Anchomenus dorsalis* beobachtet werden (Abbildung 58). Die Art ist ein Charaktertier von Getreidefeldern und effektiver Blattlausantagonist. Zur Überwinterung zieht sie sich in der Regel in Hecken und Feldraine zurück und wandert im Frühjahr auf die angrenzenden Felder, wo Fortpflanzung und Larvalentwicklung stattfinden.

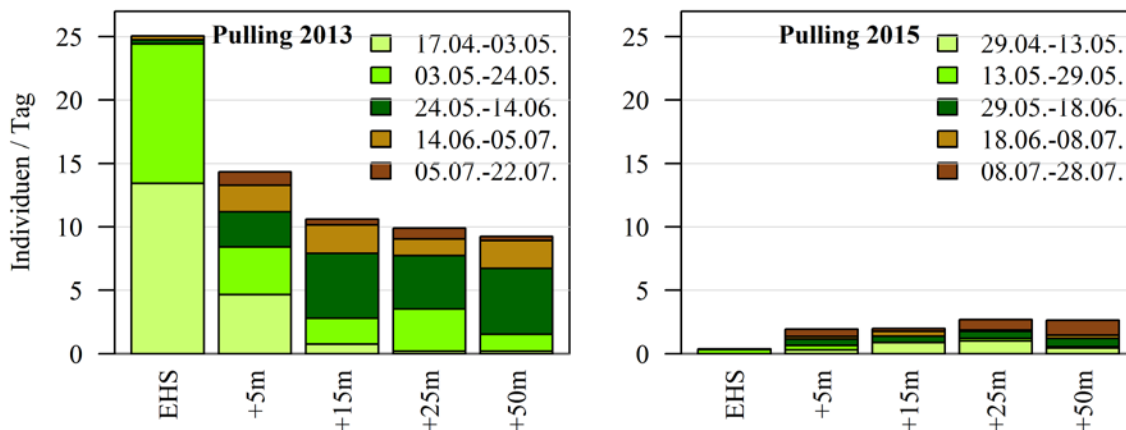


Abbildung 58: Über Fangperioden aufsummierte Aktivitätsdichte von *Anchomenus dorsalis* in Pulling für die Jahre 2013 und 2015

5.3.2.2 Spinnentiere (Spinnen und Weberknechte)

In allen Untersuchungsjahren zusammen genommen wurden 18087 Spinnen und 1382 Weberknechte aus 117 Arten nachgewiesen (Neuhof 11943 Individuen, 98 Arten; Pulling 7524 Individuen, Arten 74, Tabelle 29). Die häufigste Art der Untersuchung war *Oedothorax apicatus* die in Neuhof 54 % der gefangenen Individuen ausmachte und hier die einzige eudominante Art war. In Pulling erreichte sie lediglich 9 % und die Spinnenarten *Erigone dentipalpis*, *Pardosa prativaga*, *Pardosa agrestis* sowie der Weberknecht *Phalangium opilio* traten eudominant auf (> 10 % der Individuen). Die Evenness als Maß für eine ausgeglichene Häufigkeitsverteilung innerhalb der Artengemeinschaften war in Neuhof mit 0,44 geringer als in Pulling mit 0,64.

Auch bei den Spinnen zeigte sich in allen Jahren und an beiden Standorten eine deutliche Zunahme der Aktivitätsdichte insgesamt und besonders von eurytopen Arten (vorwiegend Linyphiidae) hin zur Feldmitte (Tabelle 30). In Neuhof war zudem 2013 und 2015 und in Pulling 2015 eine Zunahme der mittleren Artenzahl mit Abstand zum Energieholzstreifen festzustellen. Häufig ist jedoch die Zahl nachgewiesener Arten mit der Aktivitätsdichte korreliert. Ausschließlich im Energieholzstreifen wurden 10 Arten in Neuhof und 8 Arten in Pulling gefangen. Insgesamt wurden 7 Spinnen und 2 Weberknechte mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste nachgewiesen (Blick & Scheidler, 2004; Muster & Blick, 2004).

Tabelle 29: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Spinnen- und Weberknechtfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling (n=12) für drei Jahre (Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Blick & Scheidler, 2004; Muster & Blick, 2004))*

Jahr	2009		2011		2013		2015	
	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling
Versuchsstandort								
Fallenanzahl	15	15	24	24	30	30	30	30
Individuen gesamt	1834	1004	2760	2351	3609	2082	3741	2088
Individuen / Fallentag	3,9	2,1	3,4	2,8	1,3	0,7	1,4	0,8
Arten	34	27	33	35	67	59	73	51
Rote Liste Arten*	0	2	0	3	2	5	0	5

Tabelle 30: Aktivitätsdichten und Artenzahlen der Spinnen- und Weberknechtfauna in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre (Arten mit Erwähnung in der Bayerischen Roten Liste (Blick & Scheidler, 2004; Muster & Blick, 2004))*

Ort	Neuhof					Pulling				
	EHS	+5m	+15m	+25m	Kont.	EHS	+5m	+15m	+25m	+50m
2011										
Individuen gesamt		297	670	711	980		397	419	437	541
Arten		15	20	20	23		23	22	19	21
Arten Ø		6,3	10,5	10,0	11,0		12,7	11,8	11,2	12,3
RL Arten*		0	0	0	0		2	1	2	2
2013										
Individuen gesamt	134	557	638	649	821	96	124	337	413	565
Arten	38	33	34	35	34	32	34	33	30	35
Arten Ø	12,7	15,3	15,0	16,3	18,3	12,2	13,3	13,5	15,3	17,3
RL Arten*	0	0	0	1	1	3	0	2	3	3
2015										
Individuen gesamt	356	419	717	816	909	152	138	321	597	646
Arten	37	33	32	28	33	28	22	26	29	30
Arten Ø	14,3	15,5	15,8	15,3	17,5	12,3	10,5	13,3	14,8	17,0
RL Arten*	0	0	0	0	0	2	1	3	4	2

An beiden Standorten wurden sowohl mehr Arten als auch Individuen an Spinnen und Weberknechten, die typische für Wälder sind, in den Energieholzstreifen als im angrenzenden Acker nachgewiesen (Abbildung 59). In den Streifen war auch die Dominanz von Individuen, die sowohl im Offenland als auch in Wäldern anzutreffen sind, deutlich höher als auf der Ackerfläche. Auch in 5 m Entfernung vom Energieholzstreifen konnte ein erhöhter Anteil an Spinnen und Weberknechten dieser ökologischen Gruppen festgestellt werden. Allerdings zeigte sich hier keine nennenswerte Zunahme der Artenzahl im Vergleich mit der übrigen Ackerfläche. Die Energieholzstreifen wurden auch von typischen Offenlandarten besiedelt, jedoch war deren Artenzahl und Dominanz auf der Ackerfläche größer.

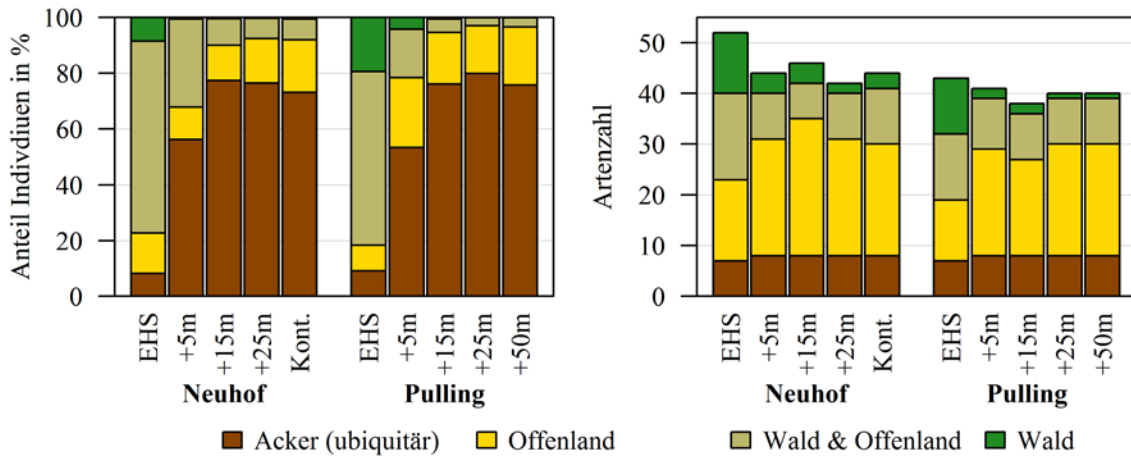


Abbildung 59: Habitatpräferenzen der 2013 und 2015 gefangenen Spinnen und Weberknechte, links: in Prozent der Individuen, rechts: Anzahl der Arten

Abbildung 60 zeigt, dass in Neuhof 23 und in Pulling 21 Arten (Laufkäfer und Spinnentiere) sowohl in allen untersuchten Entfernungsklassen zum EHS als auch im Energieholzstreifen gemeinsam auftraten und den im Agroforstsystem überall verbreiteten Artenbestand bildeten. Im Vergleich mit den Bodenfallen auf der Ackerfläche wurden deutlich mehr Arten ausschließlich in den Energieholzstreifen gefunden, in Neuhof 21 und in Pulling 11. In Neuhof sind 12 Arten den Entfernungsvarianten auf der Ackerfläche gemeinsam und fehlen im Energieholzstreifen. In Pulling waren es 8 Arten, lässt man den Randbereich (+5 m) außer Acht sind es hier doppelt so viele.

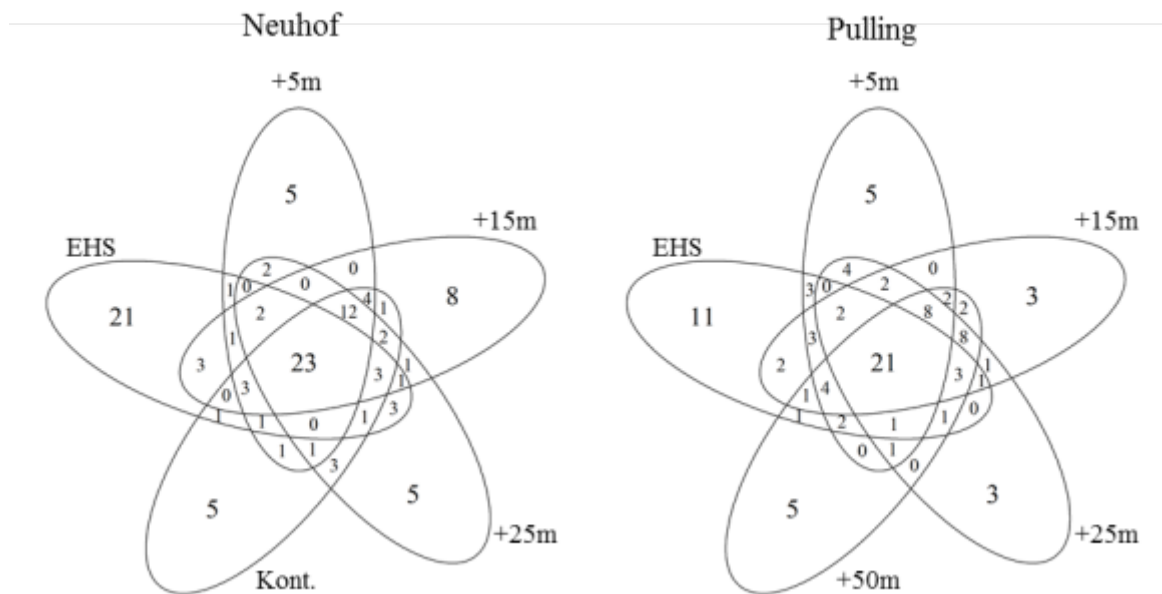


Abbildung 60: Gemeinsame Laufkäfer und Spinnentierarten für die Entfernungen und den Energieholzstreifen (Schnittmengen im Venn-Diagramm) aus den Jahren 2013 und 2015

5.3.2.3 Richtungsfallen

Insgesamt wurden mit den Richtungsfallen in Pulling 1487 Laufkäfer, 2796 Spinnen und 2426 Weberknechte im Randbereich der Energieholzstreifen gefangen sowie 1623 Laufkäfer, 1904 Spinnen und 327 Weberknechte auf der Ackerfläche. 44 % der Laufkäferindividuen waren der Art *Anchomenus dorsalis* zuzuordnen. Die Aktivität von Laufkäfern, Spinnen und Weberknechten nimmt im Energieholzstreifen vom Herbst in den Winter hinein deutlich ab (Abbildung 61).

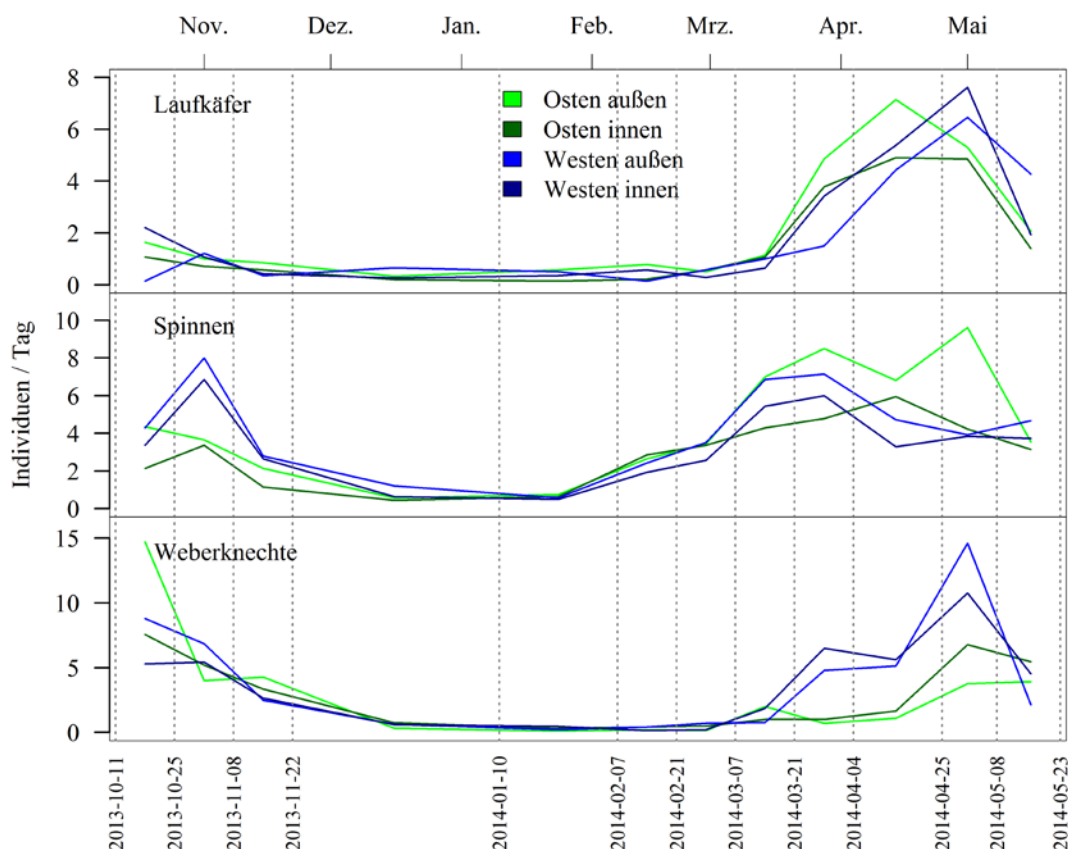


Abbildung 61: Zeitlicher Verlauf der mit Richtungsfallen ermittelten Aktivitätsdichten für Laufkäfer, Spinnen und Weberknechte (jeweils die Summe aus zwei Fallen) im Randbereich des Energieholzstreifens in Pulling (gepunktete Linien entsprechen den Leerungsterminen)

Betrachtet man die mit dem Frühling wieder steigende Aktivität, so begann diese bei den Spinnen bereits im Februar, während bei den Laufkäfern erst Anfang März ein vermehrtes Auftreten überwinterner Tiere zu registrieren war (vorwiegend *Anchomenus dorsalis*). Bemerkenswert ist, dass die Laufkäfer im Außenbereich auf der Ostseite zuerst aktiv wurden und auf der Außenseite im Westen des Energieholzstreifens deutlich verzögert auftraten. Im Westen war zudem die Aktivitätsdichte im Frühjahr im Innenbereich durchgehend deutlich höher. Auf der Ostseite hingegen blieb sie im Innenbereich deutlich hinter dem Außenbereich zurück. Dies ist wohl möglich durch die mikroklimatischen Bedingungen und die mächtige Streuschicht auf der Ostseite zu erklären. Möglicherweise wanderten die Tiere im Westen tiefer in den Energieholzstreifen ein und wurden erst später im Jahr wieder aktiv. Bei den Spinnen ließen sich keine entsprechend deutlichen Unterschieden im zeitlichen Verlauf feststellen. Allerdings war ab März auch die Aktivitätsdichte der Spinnen außen auf der Ostseite am höchsten. Im Herbst wurden jedoch auf der Westseite des

Energieholzstreifens mehr Spinnen gefangen. Bei den Weberknechten zeigte sich im Frühjahr eine Präferenz für die Westseite, ab Anfang Mai trat hier eine große Zahl an Jungtieren von *Oligolophus tridens* auf. In der ersten Leerungsperiode Mitte Oktober war eine besonders hohe Zahl an Weberknechten (vorwiegend *Phalangium opilio* und *Oligolophus tridens*) auf der Außenseite der Fallen im Osten des Energieholzstreifens aktiv. Möglicherweise wanderten die Tiere in dieser Zeit aus der Ackerfläche ab und in den EHS ein.

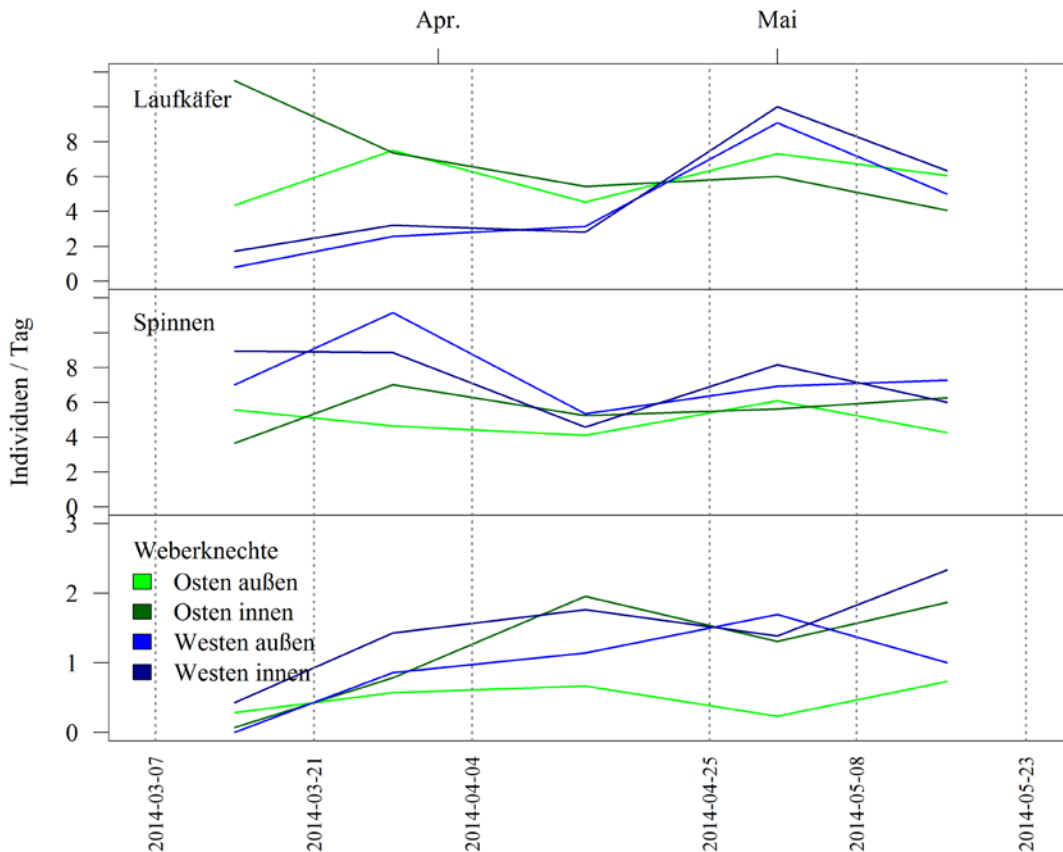


Abbildung 62: Zeitlicher Verlauf der mit Richtungsfallen ermittelten Aktivitätsdichten für Laufkäfer, Spinnen und Weberknechte (jeweils die Summe aus zwei Fallen) auf der Ackerfläche, gepunktete Linien entsprechen den Leerungsterminen

Bei den Richtungsfallen auf der Ackerfläche in 5 m Entfernung vom Energieholzstreifen fiel auf, dass in der ersten Leerungsperiode auf der Ostseite des Energieholzstreifens auf der Innenseite der Fallen (dem Energieholzstreifen zugewandt) wesentlich mehr Laufkäfer gefangen wurden, als auf der Außenseite (Abbildung 62). Dies waren vorwiegend kleine Arten der Gattung *Bembidion* (*B. lampros*, *B. quadrimaculatum*). In der darauffolgenden Leerung war für diese Arten kein Unterschied mehr festzustellen, jedoch waren wesentlich mehr Individuen von *Anchomenus dorsalis* auf der Innenseite aktiv. Dies ist ein Hinweis auf die Wiederbesiedelung der Ackerfläche aus den Energieholzstreifen heraus. Ähnlich wie im Energieholzstreifen schien die Aktivität bei den Fallen auf der Westseite erst Mitte April stärker zu zunehmen. Für die Spinnen und die nur in sehr geringer Dichte auf dem Acker nachgewiesenen Weberknechte war dieser Effekt nicht so ausgeprägt. Spinnen waren besonders im zeitigen Frühjahr auf der Westseite aktiver. Unterschiede in der Artenzahl zwischen dem Innen- und Außenbereich der Fallen konnten weder für die Laufkäfer noch für die Spinnen und Weberknechte festgestellt werden. Für die mit Richtungsfallen im Energieholzstreifen im Untersuchungszeitraum von 11.10.2013 bis zum 08.05.2014 nachgewiesenen Laufkäfer-, Spinnen- und Weberknechtarten (mehr als 5 Individuen)

konnte für 11 von 62 Arten eine Präferenz für eine Seite (Verteilung $\neq 0.5$) der Fallen nachgewiesen werden. Alle diese 11 Arten wurden auf der Aussenseite der Richtungsfallen in größere Individuenzahl erfasst.

Für viele im Winter aktive Säuger (z. B. Spitzmäuse) und insektenfressende Vögel (z. B. Rotkehlchen) ist das Angebot an tierischer Nahrung im Winter von großer Bedeutung. Die im Winter (22.11.13 – 07.02.14) mit Richtungsfallen erfassten Aktivitätsdichten für verschiedene Tiergruppen ist in Tabelle 31 dargestellt. Käferlarven (epigäische) zeigten als einzige Tiergruppe eine höhere Aktivität im Winter als im üblichen Fangzeitraum. Ähnlich wie bei den Laufkäfern (adulten) waren im Winter Käferlarven auf der Westseite eher auf der inneren Fallenseite aktiv, im Osten eher auf der äußeren. Eine vorwiegend winteraktive Art ist der Laufkäfer *Trechus quadristriatus*. In den Richtungsfallen im Rand des Energieholzstreifens wurden 143 Laufkäferlarven gefangen, besonders Larven von *Leistus ferrugineus* (58 Exemplare) und *Nebria brevicollis*. Ein Unterschied zwischen dem Außen und Innenbereich war jedoch nicht festzustellen. Ebenfalls sehr häufig im Winter waren „Schneewürmer“ (Larven von Weichkäfern). Auch Spinnen, Weberknechte und Kurzflügelkäfer waren im Winter in größerer Zahl aktiv, während für Tausendfüßer, Asseln und Ameisen nahezu keine Aktivität in den Wintermonaten festzustellen war. Zwar kann hier kein Vergleich zur Ackerfläche geliefert werden, dennoch scheinen winteraktive Insekten im Energieholzstreifen und dessen Randbereichen häufig anzutreffen zu sein.

Tabelle 31: Winteraktivität einiger Tiergruppen sortiert nach Anteil am Gesamtfang, der Anteil der Winterperiode (22.11.2013 – 07.02.2014) an der Gesamtfangperiode beträgt 34 %

Tiergruppe	im Winter (22.11.13 - 07.02.14)	Anteil am Gesamtfang (11.10.13 – 23.05.14)
Käferlarven	310	52,1%
Kurzflügelkäfer	519	9,5%
Laufkäfer	113	7,5%
Spinnen	209	7,5%
Weberknechte	145	6,0%
sonstige Käfer	146	4,0%
Asseln	12	1,2%
Tausendfüßer (Myriapoda)	11	0,9%
Ameisen	5	0,2%

5.3.3 Diskussion

Auf der Skalenebene von Feldern, Strukturelementen und Bewirtschaftungseinheiten ist die Anzahl an insgesamt vorkommenden Arten durch die Vielzahl verschiedener Habitate je Flächeneinheit bestimmt. Dieser einfache Zusammenhang gilt auch für Agroforstsysteme und konnte in dieser Studie belegt werden. So wird das Agroforstsystem im Vergleich mit der rein forstlich bzw. landwirtschaftlich genutzten Fläche durch typische Wald- bzw. Offenlandarten bereichert. Auch der Artenreichtum von Waldrändern wird neben den an die Übergangsbereiche angepassten Arten durch das Auftreten von typischen Arten der angrenzenden Habitate bedingt (Magura, 2002).

An beiden Standorten konnte gezeigt werden, dass im Energieholzstreifen Arten, die typisch für Wälder und Gehölze sind, sowie solche die keine deutliche Bindung an Ackerflächen oder generell an das Offenland zeigen, nach fünf bis sieben Jahren einen höheren

Anteil ausmachen als auf der Ackerfläche. Auch in Kurzumtriebsplantagen nehmen Waldarten mit steigendem Alter zu (Blick & Burger, 2016; Müller-Kroehling et al., 2013; Nierlich et al., 2012; Schardt et al., 2007; Wagener & Böhmer, 2013). Unter den Laufkäfern waren in den Energieholzstreifen auch relativ stenöke und wenig ausbreitungsstarke Waldarten (keine Flugfähigkeit), wie *Abax parallelepipedus* (Pulling und Neuhof) und *Carabus auronitens* (Neuhof) nachweisbar. An beiden Standorten in den Energieholzstreifen und deren näherer Umgebung (Pulling) nahmen im Laufe der Jahre die Nachweise des Weberknechtes *Lacinius ephippiatus* als typische Art erdfeuchter Wälder zu. Weiterhin konnte in Neuhof auch die Larve des Lederlaufkäfers (*Carabus coriaceus*) und ein Waldameisennest (*Formica rufa/polyctena*) im Energieholzstreifen festgestellt werden. Dies deutet in seiner Gesamtheit darauf hin, dass Agroforstsysteme einen wichtigen Beitrag zum Biotopverbund von Gehölzlebensräumen in der Agrarlandschaft leisten können und gleichzeitig bei nicht zu großer Streifenbreite eine vergleichbar geringe Barriere für Offenlandarten darstellen. Besonders in intensiv ackerbaulich genutzten Landschaften sind Gehölze und andere nicht ackerbaulich genutzte Flächen nicht nur für ausbreitungsschwache, waldbewohnende Laufkäfer (z. B. Petit & Burel, 1998) und Spinnen (z. B. Blick, 1988), sondern auch beispielsweise für Amphibien (Vos et al., 2007) wichtige Verbundelemente. Zwar stellen ökologisch bewirtschaftete Flächen bereits eine geringere Barriere dar als konventionelle (Pflanzenschutz, Klee gras), doch ist eine weitere Verbesserung durch weniger gestörte, Gehölz bestandene Habitats inkl. Randstrukturen stark anzunehmen. Die Wiederbesiedelung von aufgeforsteten Ackerflächen mit habitattypischer Fauna kann sich über mehrere Jahre hinziehen und ist auch vom Vorhandensein und der Anbindung entsprechender Spenderflächen abhängig. Eine zeitverzögerte Reaktion auf Änderungen in der Landschaftsstruktur nimmt auch PETIT & BUREL (1998) für *Abax parallelepipedus* an. In Neuhof ist der nächste Wald nur etwa 50 m vom Energieholzstreifen entfernt, in Pulling sind es etwa 400 m (getrennt durch eine Straße). Dies könnte eine mögliche Erklärung für den höheren Anteil an Laufkäfern mit stärkerer Bindung an Wälder in Neuhof sein. Für die Spinnentiere konnte kein entsprechender Unterschied zwischen den beiden Standorten gefunden werden. Doch unterscheidet sich die Faunenzusammensetzung zwischen den Standorten deutlich und in stärkerem Maße als zwischen dem Acker und dem Energieholzstreifen. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Wahl der Energiehölzer die epigäische Fauna beeinflussen kann. Beim Vergleich von Weiden mit Hybridpappeln wurde sowohl eine höhere Diversität (Nierlich et al., 2012) als auch geringere Aktivitätsdichten von Laufkäfern und Spinnen (Lammerre et al., 2016) festgestellt. Bei der naturschutzfachlichen Kritik an „fremdländischen Hybriden“ wird häufig vergessen, dass Weiden und Pappeln hinsichtlich der an sie angepassten Insekten (Wagener & Böhmer, 2013) zu den artenreichsten Baumarten zählen (Barsig, 2007). In diesem Projekt durchgeführte Kescherfänge konnten an den Pappeln der Energieholzstreifen zwölf verschiedene Blatt- und Rüsselkäfer nachweisen, darunter sechs eng an Pappeln gebundene Arten.

Die Lebensgemeinschaft in Kurzumtriebsplantagen und Energieholzstreifen unterliegt einem Entwicklungs- und Sukzessionsprozess (s. o.), der durch die Zuwanderung von Arten und der Änderung des Habitats hinsichtlich des Wachstums der Energiehölzer und der mikrostandörtlichen Bedingungen (Mikroklima, Boden) geprägt ist. Dies konnte in Pulling auch an Hand des Auftretens von Landasseln beobachtet werden. Bis 2013 war vorwiegend die auch auf Ackerflächen vorkommende Art *Trachelipus rathkei* in den Energieholzstreifen zu finden (Burmeister unveröffl.). 2015 waren *Philoscia muscorum* und *Armadillidium vulgare*, die offene Ackerflächen eher meiden, hier die häufigsten Landasseln. Haben sich solche Arten mit Gehölzpräferenz etabliert, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sie auch die kurze Lichtungsphase nach der Ernte überstehen und nicht wieder neu einwandern müssen (vgl. Sägezahnhypothese, Wagener & Böhmer, 2013). Nicht zu

vernachlässigen ist, dass auch für typische Laufkäfer von Feldrainen und Brachen, die zum einen häufig Zielarten der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft sind, zum anderen stärker an das Aufsuchen von verstreut liegenden Lebensräumen angepasst sind, geeignete Spenderflächen und ein entsprechender Biotopverbund nötig sind. Für diese Arten sind auch die Krautschicht und offene Bodenstellen wichtige Strukturparameter. Energieholzstreifen müssen nicht zwangsläufig vollkommen ohne Unterwuchs sein, wie dies Abbildung 63 links aus Pulling zeigt. Neben der natürlich aufkommenden Vegetation kann auch durch gezielte Ansaat nachgeholfen werden (vgl. Kap. 6.2). Auch Kurzumtriebsplantagen können Habitat für gefährdete Arten und Verantwortungsarten (Müller-Kroehling et al., 2013) sein und weisen im Vergleich mit verschiedenen Referenzbiotopen der Umgebung eine typische Lebensgemeinschaften einer dynamischen Sukzessionsabfolge auf (Wagener & Böhmer, 2013). Auch hier kommt dem Stockausschlagscharakter wiederum eine besondere Bedeutung zu, denn die eher lichtliebende Fauna der Säume und Randstrukturen profitiert vermutlich von der zwar kurzen aber regelmäßig auftretenden Sukzessionsphase nach der Ernte.

Im Vergleich mit Kurzumtriebsplantagen und Hecken ist für Energieholzstreifen auf Grund der geringeren Flächenausdehnung bzw. Randeffekten und dem regelmäßigen auf den Stock setzen immer mit einem hohen Anteil an Offenlandarten zu rechnen. Echte Langzeitstudien über mehr als zwei Umtriebe hierzu fehlen jedoch noch. Klar ist, dass ein Großteil der Artenvielfalt von Spinnen und Laufkäfern im Agroforstsystem mit Energieholzstreifen von typischen Arten des Offenlandes gestellt wird. Randstrukturen, Feldraine und andere Landschaftselemente stellen in der intensiv genutzten Feldflur wichtige Refugien für zahlreiche Tierarten des Offenlands dar und dienen als Überwinterungshabitate (Pfiffner & Luka, 2000). Auch in Energieholzstreifen in Niedersachsen wurden deutlich höhere Dichten an überwinternden Laufkäfern im Vergleich mit Äckern gefunden (Lamerre et al., 2016). Wider Erwarten konnten wir keine deutlich höhere Artenvielfalt in größerer Nähe zum Energieholzstreifen feststellen. Eine Studie aus Frankreich wies dahingegen mit zunehmendem Abstand von einer frisch angelegten Hecke eine Abnahme der Artenzahlen nach (Fournier & Loreau, 1999). Ein Übergreifen von einigen Arten aus dem Energieholzstreifen auf den Randbereich (+5 m) war allerdings in Pulling und Neuhof zu beobachten. Auch Untersuchungen aus Sachsen zum Feldstreifenanbau von schnellwachsenden Gehölzen stellten einen zwar geringen aber im Transekt zum jungen Gehölzstreifen nachweisbaren Effekt auf die Laufkäfer- und Spinnenfauna fest (Löffler et al., 2016). Da der (kleine) Randstreifen nicht direkt untersucht wurde, sind Aussagen zu dessen Beitrag zur biologischen Vielfalt direkt nicht möglich. Die Ergebnisse der Erhebungen mit Richtungsfallen geben aber einen Hinweis darauf, dass für die Überwinterung vieler Arten die Randbereiche von größerer Bedeutung sind als das Innere des Energieholzstreifens. Im Gegensatz zu den Untersuchungen mit Richtungsfallen von LAMERRE et al. (2016) konnten wir jedoch keine gleichgerichtete Abwanderung von räuberischen Arthropoden aus den Energieholzstreifen feststellen. Tatsächlich scheinen die Austauschprozesse an den Grenzlinien stark art- und witterungsspezifisch sowie vom Kleinklima und der Fallenart bestimmt zu sein. Randstrukturen bergen immer das Potential als Standort für Beikraut aller Art zu dienen (Abbildung 63). Dies kann sich positiv auf phytophage Insekten, wie beispielsweise auch samenfressende Laufkäfer auswirken. Andererseits erhöht sich so auch die Strukturvielfalt und Webspinnen können in der höheren z. T. überständigen Vegetation Netze anlegen (mit Bodenfallen nicht nachweisbar), oder horstbildende Gräser dienen Arthropoden als günstiges Überwinterungshabitat (Dennis & Fry, 1992). Grenzlinien zwi-

schen gepflügten und ungestörten Böden erzeugen zudem eine Kante mit offenem Boden, die für verschiedene Insekten ein Habitat darstellen kann (Abbildung 63).

Typische in den Energieholzstreifen überwinterrnde Arten wie *Anchomenus dorsalis* benötigen neben dem entsprechenden Überwinterungsquartier auch günstige Bedingungen auf der angrenzenden Ackerfläche. Optimale Bedingungen schienen 2013 nach zweijährigem Klee gras in Pulling gewährleistet zu sein.



Abbildung 63: Unterwuchs aus Löwenzahn im EHS in Pulling (links), Randstreifen mit Walderdbeeren in Neu hof (mitte), Pflugkante in Neu hof (rechts)

Die Aktivitätsdichte, sowohl der Laufkäfer als auch der Spinnen, war an beiden Standorten zur Feldmitte hin höher als im Randbereich. Dies betraf vorwiegend die Aktivität von eurytopen Ackerarten. Auch FOURNIER & LOREAU (1999) stellten ähnlich wie in der vorliegenden Untersuchung eine Zunahme der Dominanz von *Pterostichus melanarius* in zunehmendem Abstand von einer neuangelegten Hecke fest. LAMERRE et al. (2016) fanden auf Ackerflächen allerdings in einem Gradienten zu einem Energieholzstreifen höhere Aktivitätsdichten von Spinnen und Laufkäfern als im Gradienten zu einem Feldrand, wobei besonders in Streifen n ähe die Aktivität erhöht war. Die Interpretation von Aktivitätsdichten bleibt in der Regel schwierig, so kann lediglich vermutet, werden in wie weit die gefundenen Unterschiede auf abweichende Temperaturverhältnisse, unterschiedliche Aktivität auf Grund von Nahrungsangebot (Mangel oder Überfluss), methodischer Probleme (unterschiedliche Fängigkeit der Fallen, Schnecken) oder auf Besiedlungsunterschiede zurückzuführen sind.

Theoretisch wird durch die Differenzierung der mikroklimatischen Bedingungen einer Ackerfläche, wie sie auch durch die Anlage von Energieholzstreifen erfolgt (vgl. Kap. 4.2 Bestandesklima), auch das Nischenangebot im Agroforstsystem erweitert. Dies kann sich wiederum potentiell auf die biologische Vielfalt auswirken und betrifft vorwiegend die Bedingungen im inneren des Energieholzstreifens, was dort mit zur Ausbildung der oben beschriebenen typischen Laufkäfer und Spinnen Gemeinschaft führt. Aber auch die angrenzende Ackerfläche und die Felldraine sind von den Gehölzen beeinflusst. Verschiedene Studien weisen nach, dass die unterschiedlichen Seiten von Hecken eine sowohl hinsichtlich der Artengemeinschaft als auch hinsichtlich phänologischer Aspekte abweichende Ökologie aufweisen (Fuchs, 1969). In der vorliegenden Untersuchung konnten ebenfalls Unterschiede zwischen der Westseite und der Ostseite festgestellt werden. Eine entsprechende Ausdifferenzierung ist in noch größerem Umfang bei Nord-, Südorientierung oder auf geneigten Flächen (insbesondere an Südhängen) zu erwarten.

Trotz des höheren Klee grasanteils, artenreicher Untersaaten und der reduzierten Bodenbearbeitung konnten in Pulling nicht so viele Spinnen- und Laufkäferarten nachgewiesen werden wie in Neuhof. Die Faunenzusammensetzung der beiden Standorte war über die Jahre hinweg immer deutlich unterschiedlich. Dies unterstreicht die Bedeutung der naturräumlichen Artenausstattung und der umgebenden Landschaftsstruktur für die Lebensgemeinschaft auf der Ackerfläche. Großlaufkäfer (*Carabus sp.*), die auch besonders von reduzierter Bodenbearbeitung profitieren (Burmeister et al., 2016) waren in Pulling mit *Carabus ullrichi* häufiger vertreten, denn in Neuhof fehlten sie weitgehend. Arten mit Erwähnung in der Roten Liste waren bei den Spinnen in Pulling häufiger zu finden. Als für die Vielfalt des Bewirtschaftungssystems wichtiger Faktor konnte auch das zweijährige artenreiche Klee gras (Klee grasmischung) in Pulling im Jahr 2011 identifiziert werden. In diesem Jahr wurden die samenfressende Laufkäferart *Harpalus signaticornis* in ungewöhnlich hoher Dichte nachgewiesen. Diese Art gilt in Bayern zwar nicht als gefährdet, kann aber auf Grund ihrer Lebensraumsprüche (Ruderalfluren, Flussufer, Äcker, Kulturland) als wertgebend eingestuft werden. Ihr Auftreten (63 Individuen) macht deutlich, dass die Ackerfläche in Pulling ein wichtiges Spender Habitat darstellte. Ähnlich verhält es sich auch mit der gefährdeten Art *Harpalus honestus* (RL 3), die ebenfalls im Jahr 2011 im Klee gras in Pulling gefunden wurde sowie die Spinne *Pardosa paludicola* (RL 3) in Pulling.

Die Bedeutung von epigäischen Raubarthropoden als natürliche Schädlingsregulatoren ist bekannt (Symondson et al., 2002) und in komplexeren Landschaften ist das Maß an natürlicher Schädlingsregulation größer (z. B. Rusch et al., 2016) als in großräumigen und gering strukturierten Agrarlandschaften. Auch, dass Feldraine und Hecken wichtige Rückzugsräume für einige Arten sind, zeigen verschiedenen Studien (s. o.). Jedoch warnte schon THIELE (1977), zu große Erwartungen an die Effekte von Windschutzstreifen auf Schadorganismen zu stellen und TSCHARNTKE et al. (2016) stellten dar, dass viele Faktoren einen nennenswerten Effekt von natürlichen Habitaten auf die biologische Schädlingsregulation verhindern können. Unter den Laufkäfern zeigen zahlreiche auf Ackerflächen bedeutsame Schädlingsantagonisten (z. B. *Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*, *Harpalus rufipes*, *Calathus fuscipes*) eine geringe Verbindung zu Hecken (Thiele, 1977). *Anchomenus dorsalis* und *Bembidion lampros* sind zwei der auf Ackerflächen häufigsten Arten, die in Randstrukturen oder am Feldrand überwintern (Coombes & Sothertons, 1986) und auch schädlingsregulativ wirksam sind. Liegen die Überwinterungshabitate in engerem räumlichen Zusammenhang mit den Ackerflächen, werden die Flächen früher im Jahr wieder besiedelt und die natürliche Regulation setzt früher ein. Nicht zu vernachlässigen ist allerdings die möglicherweise förderliche Wirkung von Agroforstsystemen auf potentielle Schadorganismen wie Schnecken (Burmeister & Walter, 2017). Aus diesem Grund ist auch die Besiedelung des Energieholzstreifens mit natürlichen Feinden von überwinternden Schadorganismen von großer Bedeutung. Hierzu bestehen noch zahlreiche offene Fragen. Beispielsweise überwintern auch an den Pappeln schädliche Blattkäfer als Larven im Boden (z. B. *Crepidodera aurea* (Urban, 2011)), wo sie für dort lebende Prädatoren erreichbar sind.

In wie weit die Entwicklung von nützlichen Tieren im Agrarökosystem vorhergesagt werden kann und ein entsprechendes Management möglich ist bedarf weiterer Forschung. Bedenkliche Neben- und Wechselwirkungen von Pflanzenschutzmitteln sowie zunehmende Resistenzen werden in Zukunft den Bedarf an selbstregulierenden Systemen steigern. Ein interessanter Ansatzpunkt aus diesem Projekt ist, dass der Anbau von mehrjährigem Klee gras in Kombination mit Energieholzstreifen dazu führen kann verstärkt, natürliche Ge-

genspieler von Getreideblattläusen im Folgejahr auf den Flächen zu etablieren. Um solche Effekte natürlicher Regulationsmechanismen zu fördern, ist dringend der Verlust der biologischen Vielfalt aufzuhalten und eine vitale gut vernetzte Agrarlandschaft wiederherzustellen. Agroforstsysteme bieten das Potential multifunktional die Schutz- und die Nutzfunktion miteinander zu verbinden.

5.4 Bodenmesofauna

Johannes Burmeister, Alfred Griegel, Roswitha Walter

5.4.1 Material und Methoden

In den Jahren 2009, 2011, 2013 und 2015 wurde die Bodenmesofauna (Springschwänze und Milben) durch die Entnahme von Bodenproben (Stechzylindern) untersucht (Abbildung 64). Termine der Probenahme und Stichprobenzahl finden sich in Tabelle 32. Die Anordnung der Stichproben (ohne Grundaufnahme 2009) ist Abbildung 65 zu entnehmen.

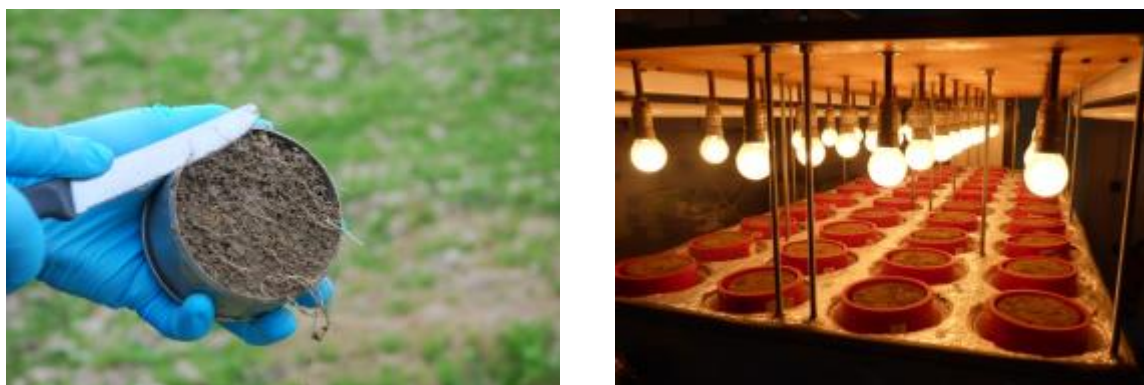


Abbildung 64: Stechzylinderprobenahme (links) und Berlese-Tullgren Apparatur (rechts)

Tabelle 32: Probenahmetermine und Sichtprobenumfang zur Erfassung der Bodenmesofauna

Jahr	2009		2011		2013		2015	
Versuchsstandort	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling
Stechzylinderproben	40	40	60	60	72	72	72	72
Probenahmetermine	15.09.	16.10.	14.04.	05.04.	30.04.	23.04.	20.04.	04.05.

Jeder Stechzylinder hatte einen Durchmesser von 8,5 cm und eine Höhe von 4,5 cm (Volumen 250 cm³). Nach Entnahme wurden die Proben zugedeckelt und gekühlt transportiert. Zur Austreibung der enthaltenen Tiere im Labor diente eine Berlese-Tullgren-Apparatur. Dabei wurden an der Oberfläche der invers eingestellten Proben (warmes/helles Milieu) zeitlich gestaffelt folgende Temperaturen erzeugt: 25°C für 72 Stunden, 30°C für 24 Stunden, 35°C für 24 Stunden. 2015 wurde die Austreibung zwei Tage bei 25°C mit Deckel, ein Tag bei 25°C ohne Deckel, darauf jeweils zwei Tage bei 30°C,

35°C und 40 C ohne Deckel durchgeführt. Die Kühlung des unteren Bereichs wurde jeweils auf ca. 15 C eingestellt. Die abwandernden Tiere werden in Röhrchen mit 80%igem Alkohol aufgefangen. Die extrahierten und gezählten Springschwänze und Milben wurden für die Untersuchungsjahre 2009 und 2011 zur Bestimmung an Herrn Dr. Griegel übergeben. Von den Milben wurden die *Gamasina* (Raubmilben) bis zur Art bestimmt. 2013 und 2015 konnten nur die Proben der Varianten in der Hecke und 5 m bzw. 20 m östlich der Hecke an jedem Standort (n=36) bis auf Artniveau bestimmt werden.

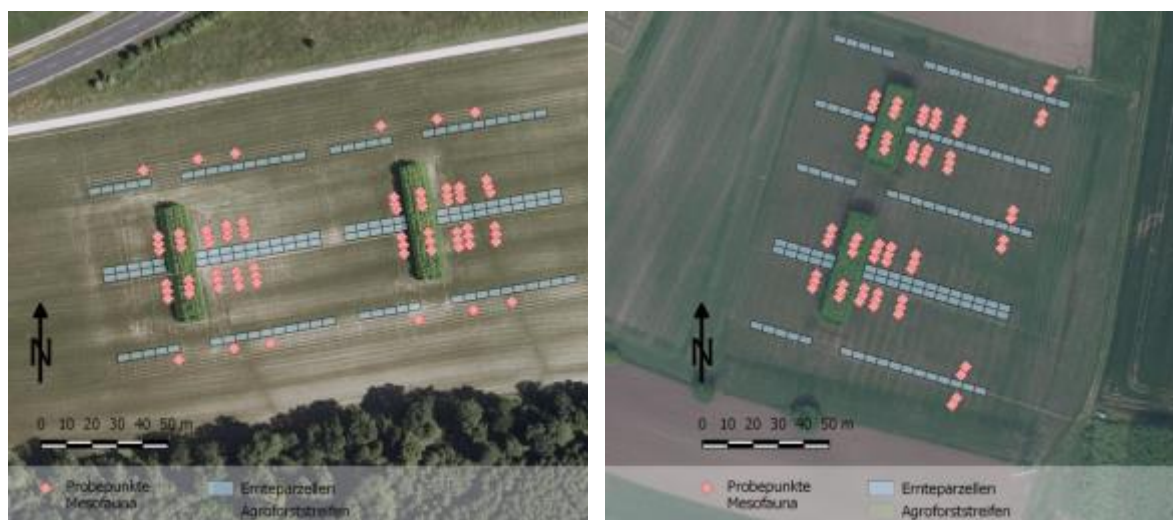


Abbildung 65: Lageplan der Stechzylinder-Probenahmepunkte

5.4.2 Ergebnisse

5.4.2.1 Springschwänze

Insgesamt wurden an den beiden Versuchsstandorten in den vier Untersuchungsjahren 7664 Springschwänze und 47 Arten erfasst (in Deutschland sind etwa 416 Arten bekannt (Schulz et al., 2005). Die im Mittel eines Erhebungsjahres festgestellten Siedlungsdichten liegen zwischen 1800 und 4330 Individuen / m² und sind mit Ausnahme des Jahres 2009 in Pulling höher (Tabelle 33). In Neuhof wurden insgesamt 38 in Pulling 35 Springschwanzarten nachgewiesen. Die Zahl nachgewiesener Arten pro Standort und Jahr liegt zwischen 23 und 28. Zu beachten ist, dass die Zahl nachgewiesener Arten auch vom Stichprobenumfang abhängig ist. Aus diesem Grund beschränkt sich die Auswertung zur Artenzahl und Zusammensetzung auf die Jahre 2013 und 2015 in denen zudem auch Daten aus dem Energieholzstreifen vorliegen.

Die Siedlungsdichten der Springschwänze wurden in allen Jahren nicht eindeutig vom Abstand zum Energieholzstreifen beeinflusst. 2013 und 2015 waren in Neuhof auf dem Feld deutlich weniger Springschwänze zu finden als in Pulling. Allerdings wies in Neuhof der Energieholzstreifen die absolut höchste Siedlungsdichte auf und unterschied sich deutlich von allen Proben auf dem Acker (

Tabelle 34). In Pulling war dieser Effekt nicht zu beobachten. Hier waren die höchsten Siedlungsdichten 2013 5 m westlich des Energieholzstreifens zu finden und im Streifen wurden 2013 und 2015 die geringsten Werte festgestellt.

Tabelle 33: Siedlungsdichte und Artenzahlen der Springschwanzfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling

Jahr	2009		2011		2013		2015	
	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling
Versuchsstandort								
Stechzylinderproben	40	40	60	60	72	72	72	72
Individuen gesamt	811	403	658	1042	1008	1295	944	1503
Springschwänze / m ²	3620	1800	1960	3050	2500	3210	2340	4330
Arten	28	23	26	25	23*	25*	21*	27*

(*für 36 von 72 Proben bestimmt)

Tabelle 34: Siedlungsdichten (Individuen/m²) und Artenzahlen der Springschwanzfauna in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre

Ort	Neuhof						Pulling					
	-5m	EHS	+5m	+10 m	+20 m	Kont	-5m	EHS	+5m	+10 m	+20 m	Kont
2011												
Ind / m ² Ø	2630		2370	3320	3450	3750	1440		1770	3600	1770	1210
Arten ges.	12		15	17	15	15	16		15	14	15	18
Arten Ø	3,5		4,0	4,2	4,1	3,1	4,8		4,4	4,7	5,2	4,9
2013												
Ind / m ² Ø	1290	8380	1090	1220	1440	1580	4420	2410	3010	2690	3560	3180
Arten ges.		19	12		14			19	15		19	
Arten Ø		6,6	2,9		4,1			5,6	5,1		6,4	
2015												
Ind / m ² Ø	1710	4640	1150	2540	1530	2470	3420	1960	5180	5550	2650	3600
Arten ges.		13	9		15			19	19		18	
Arten Ø		4,2	2,2		3,2			4,2	7,3		5,8	

Auch die Zahl nachgewiesener Arten unterschied sich 2011 zwei Jahre nach Anlage des Agroforstsystems noch nicht auffällig in dem räumlichen Gradienten zum Energieholzstreifen. 2013 war die Artenzahl an den beiden Standorten im Streifen 5 m nach der Hecke am geringsten. In Neuhof waren die meisten Arten im Energieholzstreifen zu finden, in Pulling in 20 m Abstand vom Energieholzstreifen. 2015 war in Neuhof die durchschnittliche Artenzahl im Energieholzstreifen am höchsten und in den Proben in 5 m Entfernung waren am wenigsten Springschwänze enthalten. In Pulling war die Zahl nachgewiesener Arten insgesamt ähnlich, die deutlich höchste mittlere Artenzahl war in 5 m Entfernung nachzuweisen.

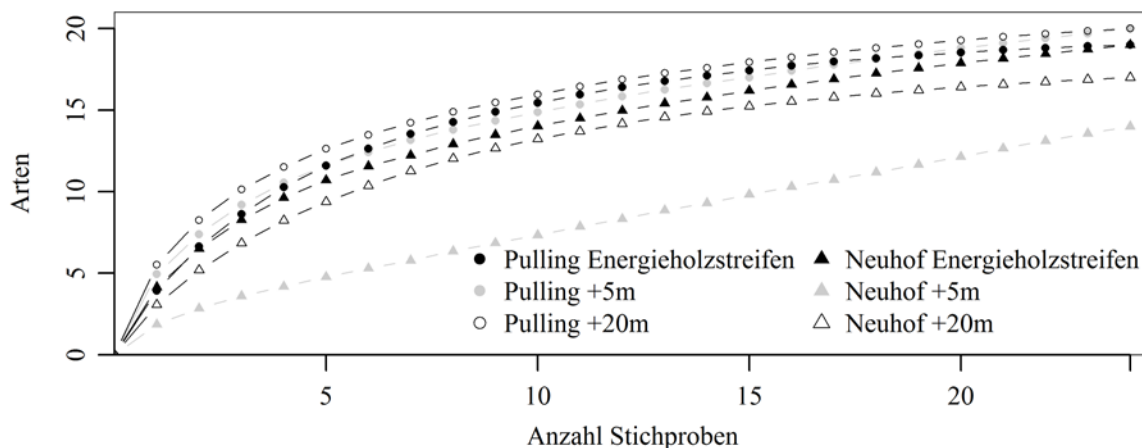


Abbildung 66: Kumulative Artenkurve der Springschwänze, Mittelwerte aus resampling für die 24 Stichproben aus den Jahren 2013 und 2015

Die Abbildung 66 zeigt, dass hinsichtlich der Artenzahlen in Pulling auch bei einer Erweiterung des Stichprobenumfangs für diesen Zeitraum nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten zu erwarten wären. In Neuhof liegt der Energieholzstreifen leicht über den Proben auf dem Acker in 20 m Entfernung (+20 m). Deutlich zu erkennen ist, dass im Randbereich des Energieholzstreifens (+5 m) in Neuhof bisher keine Sättigung der Kurve erreicht wird und das Artenspektrum hier auf Grund der Staunässe und Verdichtung in diesem Bereich nicht repräsentativ erfasst werden konnte.

Ungeachtet der hohen Streuung und der kleinräumigen Variabilität der Springschwanzfauna soll hier die Verteilung von drei Arten vorgestellt werden (Abbildung 67), die in den Jahren 2013 und 2015 auf die unterschiedlichen Entfernungsvarianten reagierten.

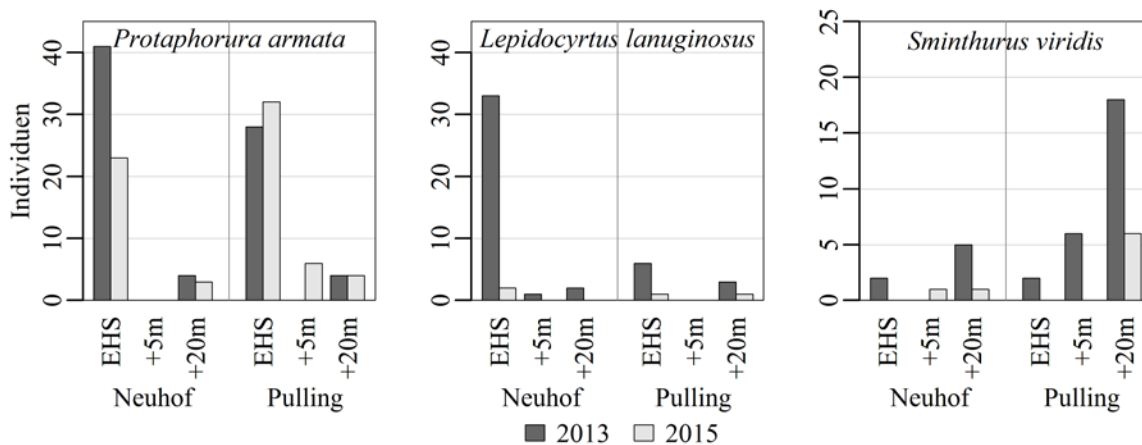


Abbildung 67: Anzahl gefangener Individuen für drei ausgewählte Springschwanzarten für die Jahre 2013 und 2015

Als blinde und pigmentlose Art ist *Protaphorura armata* ein ausschließlicher Bodenbewohner (euedaphisch) und zeichnet sich durch eine eher langsame Entwicklung aus (Hopkin, 1997). Die Art wurde in allen Jahren und an beiden Standorten mehr als fünfmal häufiger innerhalb der Energieholzstreifen gefunden als auf der Ackerfläche. *Lepidocyrtus lanuginosus* kommt sowohl im Boden von Wald als auch Offenland vor, hat also eine weite ökologische Amplitude. Als Vertreter der Entomobryidae ist seine Anpassung an das Bodeninnere weniger vollständig und ist daher je nach Entwicklungsstadium eher als he-

miedaphisch einzustufen. Besonders in Neuhof im Frühjahr 2013 und in geringerem Umfang in Pulling 2013 war diese Art verstärkt in den Energieholzstreifen zu finden. Zwei Jahre später war ihre Siedlungsdichte stark zurückgegangen. Der Luzernefloh *Sminthurus viridis* lebt vorwiegend an und von Luzerne und anderen Leguminosen und kann hier unter bestimmten Umständen auch schädlich werden (MacLagan, 1932). Diese Art wurde besonders häufig in Pulling 2013 nach zweijährigem Klee gras nachgewiesen. In allen Jahren war die Siedlungsdichte in 20 m Entfernung vom Energieholzstreifen höher als im Randbereich und sehr gering im Energieholzstreifen.

5.4.2.2 Milben

Insgesamt wurden an den beiden Versuchsstandorten in den vier Untersuchungsjahren 5628 Milben erfasst, davon wurden 1083 Raubmilben aus 28 Arten bestimmt. Die mittleren festgestellten Siedlungsdichten liegen zwischen 1100 und 6550 Individuen / m² (Tabelle 35). Die Zahl nachgewiesener Arten je Untersuchungsjahr und Ort liegt zwischen 16 und 11. In Pulling war die Siedlungsdichte der Milben mit Ausnahme der Grundaufnahme um mehr als das Doppelte höher als in Neuhof. Die Dichte an Hornmilben nahm im Vergleich zur Grundaufnahme 2009 an beiden Standorten deutlich ab, in Neuhof wird dies besonders deutlich wenn man die Proben aus den Energieholzstreifen nicht mit berücksichtigt.

Tabelle 35: Siedlungsdichte und Artenzahlen der Milbenfauna in den vier Untersuchungsjahren in Neuhof und Pulling

Jahr	2009		2011		2013		2015	
	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling	Neuhof	Pulling
Versuchsstandort								
Stechzylinderproben	40	40	60	60	72	72	72	72
Milben gesamt	1468	1029	395	768	442	1000	550	1444
Milben / m ²	6550	4590	1180	2290	1100	2480	1360	3580
Hornmilben / m ²	250	1410	20	400	290	210	170	190
Raubmilben / m ²	760	1500	260	900	320*	210*	280*	590*
Raubmilben-Arten	11	11	13	15	11*	11*	11*	16*

(*für 36 von 72 Proben bestimmt)

Ähnlich wie bei den Springschwänzen waren in Neuhof in den Energieholzstreifen in den beiden Untersuchungsjahren 2013 und 2015 fünf und siebenmal mehr Milben in den Bodenproben aus dem Energieholzstreifen enthalten als in denen aus der Ackerfläche (Abbildung 68). 2011 war hier in der Umgebung der Energieholzstreifen (-5 m, +5 m, +10 m) eine höhere Siedlungsdichte der Milben feststellbar. In den weiteren Untersuchungsjahren, bei zunehmender Höhe der Energiehölzer, zeigte sich dies nicht mehr. Am Standort Pulling war 2013 noch eine leicht erhöhte Siedlungsdichte der Milben im Energieholzstreifen gegenüber der Ackerfläche festzustellen, 2015 hatten sich die Werte angeglichen. Auch für die Hornmilben als typische Streuzersetzer konnte dieses Muster bestätigt werden. Über die unterschiedlichen Entfernungsvarianten waren keine deutlichen Unterschiede in der Gesamtsiedlungsdichte festzustellen.

Auf Grund der geringen Siedlungsdichten der Raubmilben und den großen Schwankungen zwischen den Untersuchungsjahren sind die Ergebnisse zur Anzahl nachgewiesener Arten nur vorsichtig zu interpretieren. Eine höhere Stichprobenzahl scheint nötig, um das Arten-

spektrum besser zu erfassen. In Pulling fällt ein Rückgang der Artenzahlen nach dem Jahr 2011 auf. 2015 zeigten sich hier deutlich höhere Artenzahlen im Randbereich des Energieholzstreifens. In Neuhof wurden hier die geringsten Individuen und Artenzahlen erfasst. Vermutlich war auch hier die Staunässe und die nicht repräsentative Erfassung in diesem Bereich (s. o.) dafür verantwortlich.

Tabelle 36: Siedlungsdichten, Individuensummen der Horn- und Raubmilben und Artenzahlen der Raubmilben in den unterschiedlichen Entfernungen zum Energieholzstreifen (n=12) für drei Jahre

Ort	Neuhof						Pulling						
	Variante	-5m	EHS	5m	10m	20m	Kont	-5m	EHS	5m	10m	20m	Kont
2011													
Ind / m ² Ø	1650		1260	1920	650	390	2560		2650	1470	1960	2780	
Hornmilben Ind.	1		2	1	1	1	26		21	16	36	35	
Raubmilben Ind.	19		13	40	9	6	76		88	42	42	57	
Raubmilben Arten	8		3	6	5	5	10		12	10	11	9	
Raubmilben Arten Ø	1,0		0,7	0,9	0,7	0,5	2,8		3,2	2,2	1,9	2,0	
2013													
Ind / m ² Ø	710	3320	480	570	680	820	2080	4240	2620	1860	2260	1820	
Hornmilben Ind.	4	103	3	0	1	7	9	29	12	15	15	5	
Raubmilben Ind.		27	9			29		10	17			16	
Raubmilben Arten		7	5			5		6	4			3	
Raubmilben Arten Ø		1,0	0,7			1,1		0,7	0,9			0,7	
2015													
Ind / m ² Ø	790	4900	510	520	790	680	3440	3560	4180	4350	2430	3540	
Hornmilben Ind.	2	62	2	0	0	2	10	6	22	24	6	9	
Raubmilben Ind.		41	7			17		16	82			20	
Raubmilben Arten		5	4			6		9	12			6	
Raubmilben Arten Ø		1,2	0,6			0,9		1,0	2,7			1,1	

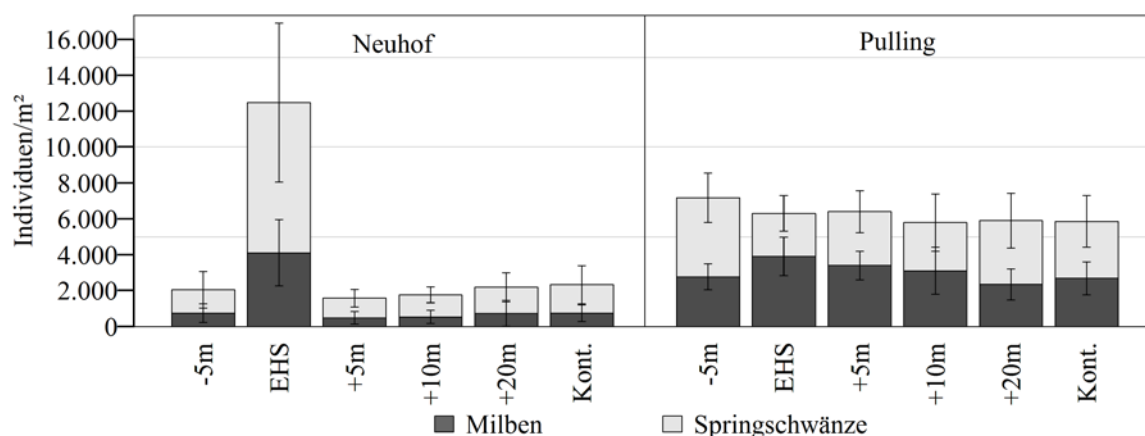


Abbildung 68: Siedlungsdichten der Springschwänze und Milben im Mittel aus den Jahren 2013 und 2015 (Fehlerbalken = Standardabweichung, n = 12)

Ein Großteil der Arten (30 Arten $\hat{=}$ 61 % in Neuhof, 36 Arten $\hat{=}$ 73 % in Pulling) traten sowohl im Boden des Energieholzstreifens (EHS), im Randbereich (+5 m) und in weiterer

Entfernung (+20 m) gemeinsam auf (Abbildung 69). Die Anzahl an insgesamt gefundenen Arten der Bodenmesofauna (Springschwänze und Raubmilben) war für die Untersuchungsjahre 2013 und 2015 zusammengenommen an den beiden Standorten identisch. Einzelnachweise und auch Arten, die in zwei Varianten gemeinsam gefunden wurden, traten eher selten auf. In Neuhof waren allerdings 7 Arten und in Pulling nur 3 Arten ausschließlich im Energieholzstreifen zu finden.

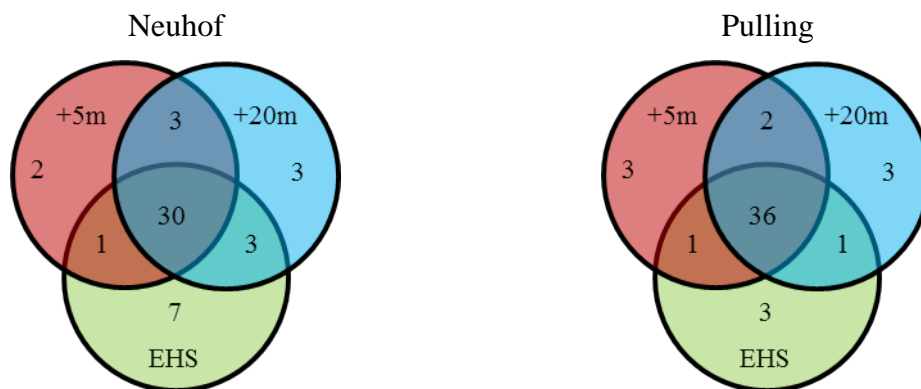


Abbildung 69: Gemeinsame und exklusive Arten der Bodenmesofauna (Springschwänze und Raubmilben) für den Energieholzstreifen (EHS) und in einer Entfernung von 5 m (+5 m) und 20 m (+20 m) aus den Aufnahmen von 2013 und 2015

5.4.3 Diskussion

Viele der häufigen und die Lebensgemeinschaft von landwirtschaftlichen Flächen prägenden Arten der Bodenmesofauna sind anpassungsfähig und zeigen hinsichtlich abiotischer Standortbedingungen geringe Ansprüche (Römbke et al., 2012). Entsprechend sind sie in einem weiten Spektrum von Lebensräumen zu finden. Daher verwundert es nicht, dass sich die Artengemeinschaften von Energieholzstreifen und Ackerfläche in der vorliegenden Untersuchung weitestgehend überschneiden. Allerdings sind auch nach sieben Jahren Versuchslaufzeit Entwicklungsprozesse im Boden und an der Bodenoberfläche sowie die Besiedelung mit verschiedenen Organismen im Energieholzstreifen noch nicht abgeschlossen.

Unterschiede in der Siedlungsdichte der Bodenmesofauna zwischen den beiden Standorten, die während der Versuchslaufzeit in Pulling deutlich höher ausfielen als in Neuhof, können möglicherweise auf die bodenschonende, pfluglose Bewirtschaftung am Standort Pulling zurückzuführen sein. So reagieren Hornmilben durchaus sensibel auf den Pflugeinsatz (Hülsmann & Wolters, 1998), was ihre besonders geringe Siedlungsdichte in Neuhof, mit jährlichem Pflugeinsatz, miterklären könnte. Für Springschwänze sind die Effekte der Bodenbearbeitung teils unterschiedlich gerichtet und von der Lebensform abhängig (van Capelle et al., 2012). Maßgeblich können auch die Bodenbedingungen sowie die Versorgung des Bodens mit organischem Material innerhalb der Fruchtfolge sein. So ist belegt, dass sowohl Milben als auch Springschwänze von Stallmistdüngung profitieren und der Effekt noch nach drei Jahren nachweisbar ist (Höller, 1962; Höller-Land, 1962). Die stetige Verringerung der Siedlungsdichte der Hornmilben in Pulling könnte demnach ein Hinweis auf die ausbleibende Ausbringung von Wirtschaftsdüngern der Flächen während der Versuchslaufzeit sein. 2011 lag die Siedlungsdichte der Hornmilben in Pulling noch deutlich über dem von RÖMBKE et al. (2012) für Ackerflächen angegebenen mittle-

ren Referenzwert (Abundanz Acker: Untergrenze 400, Mittelwerte 750, Obergrenze 1200). In den folgenden Jahren und in Neuhof lag die Dichte deutlich unter der Untergrenze dieses Referenzwertes. Förderliche Bedingungen für die Bodenfauna sind in Pulling auch durch den gegenüber Neuhof mehr als doppelt so hohen Humusgehalt anzunehmen. Für die Standortsunterschiede sind jedoch auch unterschiedliche Probenahmetermine an den Standorten sowie abweichende Witterungsbedingungen im Jahresverlauf nicht auszuschließen, besonders da nur an einem Termin pro Jahr Proben entnommen wurden. 2015 war die Frühjahrstrockenheit beispielsweise in Neuhof ausgeprägter (April - Juni 100 mm weniger Niederschlag als in Pulling). Weiterhin konnte die vorliegende Untersuchung zeigen, dass die Siedlungsdichte und die Diversität der Bodenmesofauna und besonders der Springschwänze im staunassen und vermutlich bei der Bestellung verdichteten Randbereich der Ackerfläche in Neuhof reduziert war. Hierbei sind allerdings sowohl die direkt schädigende Wirkung der Verdichtung (verringertes Porenvolumen, Sauerstoffmangel (z. B. Larsen et al., 2004)) als auch eine methodisch bedingte unzureichende Erfassung bei der Extraktion zu diskutieren.

Deutliche Unterschiede zwischen den Standorten zeigten sich beim Vergleich der Siedlungsdichten von Springschwänzen und Milben der Ackerfläche und der Energieholzstreifen. Für Hecken konnten ALVAREZ et al. (2000) nachweisen, dass einige Springschwanzarten im Randbereich häufiger sind und auch eine Wiederbesiedelung des Feldes aus diesen heraus stattfindet. Zumindest für die auch an der Bodenoberfläche lebenden Arten der Bodenmesofauna, geht man davon aus, dass Rückzugshabitate wichtig sind, um nach Eingriffen, wie intensiver Bodenbearbeitung oder Pflanzenschutzmitteleinsatz, die Populationen auf dem Feld wieder aufzubauen. Auch in neuangelegten Windschutzstreifen in Polen (Olelejniczak, 2004) wurden höhere Siedlungsdichten von Springschwänzen und Milben im Gehölzstreifen als im angrenzenden Winterweizenfeld gefunden. Für die Milbenfauna konnte eine Abnahme der Dichte zur Feldmitte hin festgestellt werden (Olelejniczak, 2004). Die vorliegende Fallstudie konnte - ähnlich wie LAMERRE et al. (2016) mit Köderstreifen - zwar keinen eindeutigen in den Acker hineinreichenden Effekt des Energieholzstreifens beweisen, zeigt aber, dass auch Energieholzstreifen mit Hybridpappeln (*P.nigra* x *P.maximowiczii*) die Siedlungsdichte der Bodenmesofauna erhöhen können. Dieser Effekt ist allerdings standorts- und möglicherweise bewirtschaftungsabhängig. Ursachen für die abweichenden Ergebnisse in Pulling und Neuhof könnten somit auch Unterschiede in der etwas anderen Fruchtfolge und der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsweise und -intensität an beiden Standorten sein, die wahrscheinlich auch die Zusammensetzung der gesamten Zersetzergemeinschaft beeinflussen. Auffällig ist, dass auch die Biomasse der Regenwürmer in Pulling im Energieholzstreifen geringer ist als auf der Ackerfläche, während in Neuhof gegenläufige Ergebnisse gefunden wurden (R. Walter & Burmeister, 2017). Asseln sind in Pulling im Energieholzstreifen ausgesprochen häufig, während sie in Neuhof nur in sehr viel geringerer Dichte auftraten. Interaktionen zwischen den einzelnen Organismengruppen sind noch nicht vollständig erforscht. Es gibt Hinweise auf Synergieeffekte (z. B. Salmon & Ponge, 1999; Zimmer et al., 2005), aber auch Konkurrenz ist denkbar, wenn beispielsweise Regenwürmer schnell einen Großteil der Streumasse in den Boden einarbeiten. Das verstärkte Vorkommen des Springschwanzes *Protaphorura armata* innerhalb des Energieholzstreifens deutet auf Änderungen innerhalb des Bodens hin. So reagieren Springschwänze beispielsweise auf das Vorhandensein geeigneter Pilze als Nahrungsquelle (Scheu & Simmerling, 2004). Auch die Verteilung des Luzerneflohs (*Sminthurus viridis*) auf dem Feld wirft weitere Forschungsfragen auf. So kann ihr verringertes Auftreten im Randbereich der Energieholzstreifen möglicherweise auf verstärkten Feind-

druck dort zurückzuführen sein. Andere Faktoren wie das Mikroklima oder das Vorhandensein von Wirtspflanzen sind jedoch mindestens ebenso wahrscheinlich.

Eine Verbesserung für die Bodenmesofauna durch Energieholzstreifen kann nach vorliegenden Untersuchungen vorwiegend auf Böden stattfinden, die bereits durch intensive Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz) und geringer Versorgung mit organischen Material hinsichtlich des Bodenlebens verarmt sind. Hierbei kann sowohl die Wiederbesiedelung der angrenzenden Ackerflächen gefördert werden, als auch im Streifen selber wichtige Nahrungsressourcen für andere Tiere bereitgestellt werden. Springschwänze sind beispielsweise eine wichtige alternative Beute von vielen Schädlingsantagonisten (Agustí et al., 2003). Von den naturschutzfachlichen Optimierungsmöglichkeiten von Agroforstsystemen, wie einer Erhöhung der Baumartenvielfalt und dem damit verbundenen vielfältigen Streuangebot, profitiert auch die Zersetzergemeinschaft (Wardle et al., 2006). Stickstofffixierende Pflanzen (z. B. Erle, Robinie) können im Vergleich zu anderen Baumarten mit weniger verdaulichen Blättern zu einer höheren Populationsdichte an Springschwänzen führen (Pinto et al., 1997). Gleichzeitig profitieren viele Arten der Bodenmesofauna von einer stetigen Streubedeckung des Bodens und damit einhergehender stabilerer Temperatur und Feuchtigkeit. Insbesondere unter trockenen Bedingungen können entsprechende Strukturen eine wichtige Rolle für kühle- und feuchtigkeitsliebende Arten spielen. Die gesamte Menge der anfallenden Streu und damit auch die Dynamik der Streuschicht sind für die von Nahrungsressourcen abhängigen Zersetzer von prägender Bedeutung. Hier kann beispielsweise die Umtriebszeit eine maßgebliche Steuerungsgröße sein. Eine Anbindung an bestehende Habitate mit Gehölzen also Hecken und Wälder kann dafür sorgen, dass offene Nischen im Ökosystem schneller geschlossen werden. Die Bodenmesofauna spielt auf Grund ihrer vermeintlichen Unscheinbarkeit, ihrer in vielen Fällen noch wenig erforschten Ökologie, der relativ aufwändigen Bestimmung und der starken Konzentration auf attraktive Arten häufig keine oder höchstens eine geringfügige Rolle bei naturschutzfachlichen Entscheidungen. Auf Grund ihrer Vielfalt und ihrer Bedeutung innerhalb der Nahrungsnetze ist die Berücksichtigung dieses Bestandteils der Biodiversität jedoch wünschenswert.

5.5 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zur Fauna eines Agroforstsystems mit Energieholzstreifen auf zwei ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen in Bayern über drei Jahre konnten deutliche Unterschiede in der Faunenzusammensetzung zwischen der Ackerfläche und dem Energieholzstreifen für mehr oder weniger alle untersuchten Indikatorgruppen feststellen. Der Energieholzstreifen bereichert entsprechend die Nischenvielfalt und auch die Biodiversität der Fläche. Bei den Laufkäfern und Spinnen kamen im Streifen vermehrt Arten vor, die typisch für Wälder oder Übergangsbereiche sind. Energieholzstreifen können folglich eine Funktion für den Biotopverbund erfüllen. Ein deutlicher Unterschied der Reaktion der Bodenfauna im Energieholzstreifen in Neuhof im Vergleich zu der in Pulling, zeigte, dass die Auswirkungen auf die Bodenfauna stark standorts- und womöglich bewirtschaftungs-spezifisch waren. So sind die Unterschiede zwischen Acker und Gehölz in Neuhof stärker als in Pulling. Die Regenwurmfauna und Bodenmesofauna profitiert in Neuhof stärker von den Energieholzstreifen. Eine Erklärung könnte die besonders umweltverträgliche, und bodenschonende Bewirtschaftung in Pulling sein, während in Neuhof jährliches Pflügen die Bedingungen auf der Ackerfläche prägt.

Ein sicherer Nachweis eines Effektes des Energieholzstreifens auf die Artenvielfalt und Abundanz von Regenwürmern oder der Bodemesofauna oder der Artenvielfalt von Lauf-

käfern und Spinnen auf die Ackerfläche entlang eines Entfernungsgradienten konnte allerdings nicht erbracht werden. Nichtsdestotrotz konnten für einzelne Arten wie den Tauwurm *Lumbricus terrestris* oder den Laufkäfer *Anchomenus dorsalis* Effekte des Energieholzstreifens beobachtet werden, die positive wie auch negative Veränderungen von Ökosystemleistungen auf der Ackerfläche nahelegen. Auch finden Austauschprozesse zwischen Ackerfläche, Rand- und Energieholzstreifen statt. Eine Bewertung scheint auf Grund der Komplexität des Agroforstsystems und seiner tierischen Bewohner jedoch nur schwer möglich zu sein.

Die Erfahrungen des vorliegenden Projektes und die allgemeinen Empfehlungen der agrarökologischen Literatur lassen Agroforstsysteme mit Energieholzstreifen als eine gut geeignete Maßnahme erscheinen, um ausgeräumte Agrarlandschaften mit Strukturelementen zu bereichern, den Biotopverbund von Saum- und Gehölzlebensräumen zu verbessern und die Biodiversität zu fördern. Mit naturnahen Habitaten wie Brachen und Hecken wird wahrscheinlich ein noch stärkerer Effekt zu erzielen sein, doch müssen auch produktive Systeme zu einer umweltverträglichen Landnutzung beitragen und deren multifunktionalen Leistungen berücksichtigt werden. Es bestehen Möglichkeiten, den Effekt entsprechender Agroforstsysteme auf die Biodiversität zu verstärken, beispielsweise durch die Wahl der Baumarten, gestaffelter Erntetermine oder der Ausgestaltung der Randbereiche und Säume. In Anbetracht der alarmierenden Situation der Fauna in der Agrarlandschaft, bei der Funktionalität und Erlebbarkeit auf dem Spiel zu stehen scheinen, und der nicht abnehmenden Flächenkonkurrenz, können Energieholzstreifen einen Kompromiss darstellen, der durchaus gute Erfolge erzielen kann.

6 Tastversuche

Die Tastversuche wurden auf betriebseigenen Agroforstflächen des Partnerbetriebes Biolandhof Braun in Pulling durchgeführt. Ziel war es offene Fragen zu klären, welche sich im Versuchszeitraum ergeben haben.

6.1 Baumartensichtung und Beikrautregulierung

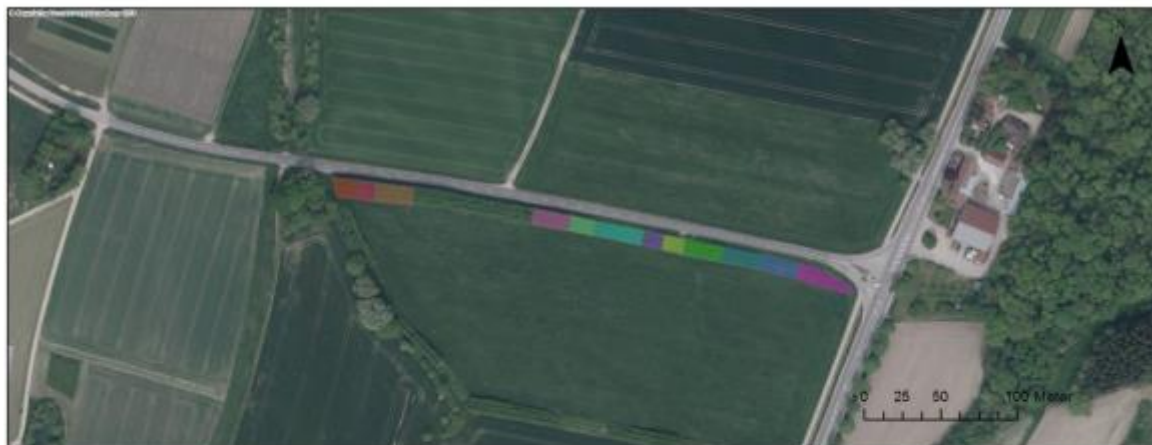
Andrea Winterling, Herbert Borchert, Klaus Wiesinger

6.1.1 Einleitung und Zielsetzung

Zur Erhöhung der Artenvielfalt in der Kulturlandschaft und mangels Eingriffsmöglichkeiten im Bereich Pflanzenschutz im ökologischen Landbau sind Baumartenmischungen (blockweiser Anbau) aus züchterisch bearbeiteten Klonen und heimischen Baumarten in Agroforstsystemen im ökologischen Landbau empfehlenswert. Ein Ziel dieses Tastversuchs war es deshalb, herauszufinden, welche heimischen, schnellwachsenden, zu Stockausschlag fähigen Baumarten sich zusätzlich zu den im Rahmen des Projekts getesteten Baumarten zur Energieholzgewinnung eignen. Ein weiteres Ziel war die Untersuchung des Einsatzes der im Teilprojekt zur Beikrautunterdrückung verwendeten selbstabbaubaren Mulchfolie im Vergleich zu einer betriebsüblichen Beikrautregulierung in der Praxis, sowie der Vergleich von für den Energieholzanbau zertifiziertem Pflanzmaterial mit dem ohne Zertifizierung.

6.1.2 Material und Methoden

Mitte April 2011 wurde auf einer Ackerfläche des Biolandhof Braun (Versuchsstandort Pulling) eine Sichtung aus Grauerle (*Alnus incana*), Silberweide (*Salix alba*, Klone 'Dravamenti'/'5.03'), Flatterulme (*Ulmus laevis*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) angelegt (Abbildung 70). Die Wuchsleistung dieser Arten wurde mit den beiden im Energieholzanbau üblichen, zugelassenen und vom Bayerischen Amt für Waldgenetik (AWG) für den Anbau in Bayern empfohlenen Pappelklonen 'Max 3' (auch im Exaktversuch) und 'Hybrid 275' (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) verglichen. Zusätzlich wurde in zwei Parzellen nicht zertifiziertes Pflanzmaterial einer Weidenmischung aus Silberweide (*Salix alba*) und Salweide (*Salix caprea*) sowie einer Pappel getestet. In einer genetischen Untersuchung wurde letztere nach der Pflanzung als Sorte 'Unal' identifiziert. Um die Biodiversität zu erhöhen, wurde in zwei Parzellen des Pappelklons 'Max 3' eine Waldarten- und eine Waldsaumartenmischung eingesät (s. Kap. 6.2). In einer weiteren Variante wurde auf zwei verschiedenen Betriebsflächen, der Ackerfläche der Baumartensichtung und einer Weidefläche (Abbildung 71), die selbstabbaubare Mulchfolie auf der Basis von Maisstärke (Bionov A, Mater-Bi; 15 µm, Breite 1,5 m schwarz) zur Beikrautregulierung im Vergleich zu einer betriebsüblichen, maschinellen Unkrautbekämpfung durch Fräsen zwischen den Doppelreihen in den ersten beiden Vegetationsperioden mit ca. 4-5 Durchgängen/Jahr geprüft.



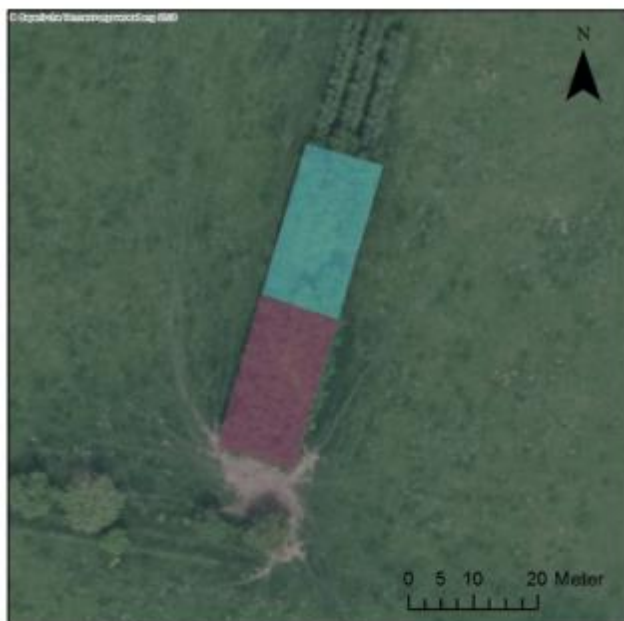
Tastversuch

Baumarten + Maßnahmen

- | | |
|--|--|
|  Pappelklon Max 3 + Waldsaummischung 1 (15 m) |  Silberweidenklon Dravamenti (14 m) |
|  Pappelklon Max 3 + Waldsaummischung 2 (10 m) |  Silberweidenklon 5.03 (14 m) |
|  Pappelklon Max 3 + selbstabbaubare Mulchfolie (25 m) |  Pappelklon Hybrid 275 (25 m) |
|  Pappelklon Max 3 + Unkrautbekämpfung betriebsüblich (25 m) |  Grauerle (25 m) |
|  Flatterulme (17 m) |  Pappelklon Unal (25 m) |
|  Bergahorn (33 m) |  Weidenmischung (35 m) |



Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de

Abbildung 70: Anlageschema Tastversuch Acker



Tastversuch Hofweide

Baumart

- | |
|---|
|  Pappelklon Max 3 + Beikrautregulierung betriebsüblich |
|  Pappelklon Max 3 + selbstabbaubare Mulchfolie |

Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodaten.bayern.de

Abbildung 71: Anlageschema Tastversuch Hofweide

Die Versuchsfläche lässt sich folgendermaßen charakterisieren: Bei der Bodenart handelt es sich um lehmigen Sand bis anmoorig tonigen Lehm, der pH-Wert liegt bei 7,7. Die Vorkultur war Klee gras. Der Umbruch der Klee-Gras-Mischung erfolgte mit der Fräse und der Kreiselegge, die Grundbodenbearbeitung nur mit der Kreiselegge. Ende März wurde die selbstabbaubare Mulchfolie flächig verlegt.

Mittels einer selbsthergestellten Konstruktion aus Striegel und Rundeisen wurden in den übrigen Parzellen Pflanzreihen gezogen. Es wurden drei Doppelreihen gepflanzt. Zwischen den Doppelreihen wurde ein Abstand von 2,5 m eingehalten. Der Abstand innerhalb der Doppelreihen betrug 0,8 m, der Abstand in der Reihe 1 m (Abbildung 72).

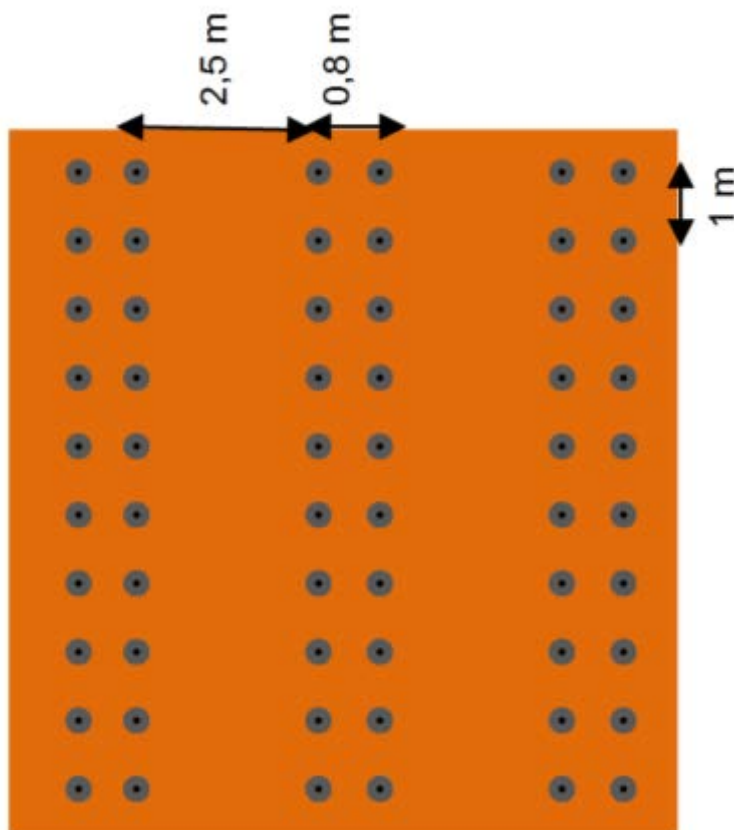


Abbildung 72: Pflanzschema des Energieholzes

Bei den beiden Pappelklonen wurden nach Bohrung eines Pflanzlochs 20 cm lange Steckhölzer mit dem Steckisen ebenerdig abgesteckt, sodass ein guter Bodenschluss gewährleistet war. Die Silberweidenklone 'Dravamenti' und '5.03' wurden als 1 m lange Steckruten gesetzt. Grauerle, Flatterulme und Bergahorn wurden als bewurzelt Material mit dem Hohlspaten gepflanzt.

Im Anlagejahr wurde der Anwuchs- bzw. Austriebserfolg der Baumarten erfasst. In den Wintermonaten 2011 bis 2017 wurde jährlich die Wuchsleistung der Baumarten durch Messung des höchsten Triebes bestimmt und daraus die jährlichen Zuwächse abgeleitet.

6.1.3 Ergebnisse

Tabelle 37 zeigt den Anwuchs- (wurzelnackte Pflanzen) bzw. den Austriebserfolg (Stecklinge) für die verschiedenen Baumarten. Flatterulme, Bergahorn, Silberweide und Grauerle zeigten mit knapp 100 % einen fast vollständigen Anwuchs, bei der Weidenmischung lag der Erfolg dagegen nur bei 34 %. Bei 'Max 3' lag der Austriebserfolg je nach Variante und Standort zwischen 84 % und 95 %, bei der Pappelsorte 'Hybrid 275' waren es knapp 90 %. Die Pappelsorte 'Unal' trieb zu 69 % aus.

Tabelle 37: Anwuchs-, Austriebserfolg im Tastversuch Baumartensichtung und Beikrautregulierung

Baumart	Anzahl Pflanzen/Baumparzelle bei Pflanzung	Ausfälle	Anwuchs-, Austriebserfolg %
Acker			
Pappelklon 'Max 3' Folie	144	23	84
Pappelklon 'Max 3' + Waldart 1	60	5	92
Pappelklon 'Max 3' + Waldart 2	60	4	93
Pappelklon 'Max 3' + Beikrautregulierung betriebsüblich	150	8	95
Flatterulme	102	1	99
Bergahorn	198	2	99
Silberweide 'Dravamenti'	84	2	98
Silberweide '5.03'	84	1	99
Pappelklon 'Hybrid 275'	150	18	88
Grauerle	150	4	97
Weidenmischung*	202	63	34
Pappelklon 'Unal'*,**	144	95	69
Hofweide			
Pappelklon 'Max 3' + Folie	142	18	87
Pappelklon 'Max 3' + Beikrautregulierung betriebsüblich	148	25	83

*Pflanzmaterial nicht zertifiziert, **für den Energieholzanbau in Bayern nicht empfohlen

Hinsichtlich der Wuchsleistung schnitten die Pappelklone 'Max 3' mit Einsaat der Waldsaummischung und auf Folie mit einer Höhe von 10-12 m am besten ab (Abbildung 73). Der Pappelklon 'Hybrid 275' wies mit 8 m im Vergleich zu 'Max 3' mit betriebsüblicher Beikrautregulierung (8,8 m) eine etwas geringere Wuchsleistung auf. Die heimischen Baumarten mit zertifiziertem Pflanzmaterial zeigten Wuchshöhen von 5,5 m bis 7,4 m, wobei die Grauerle hier am besten abschnitt. Die Pappelsorte 'Unal' wies mit 5,8 m eine deutlich geringere Höhenwuchsleistung als die empfohlenen Pappelklone auf,

die Weidenmischung war mit 3,9 m deutlich niedriger als die anderen heimischen Baumarten.

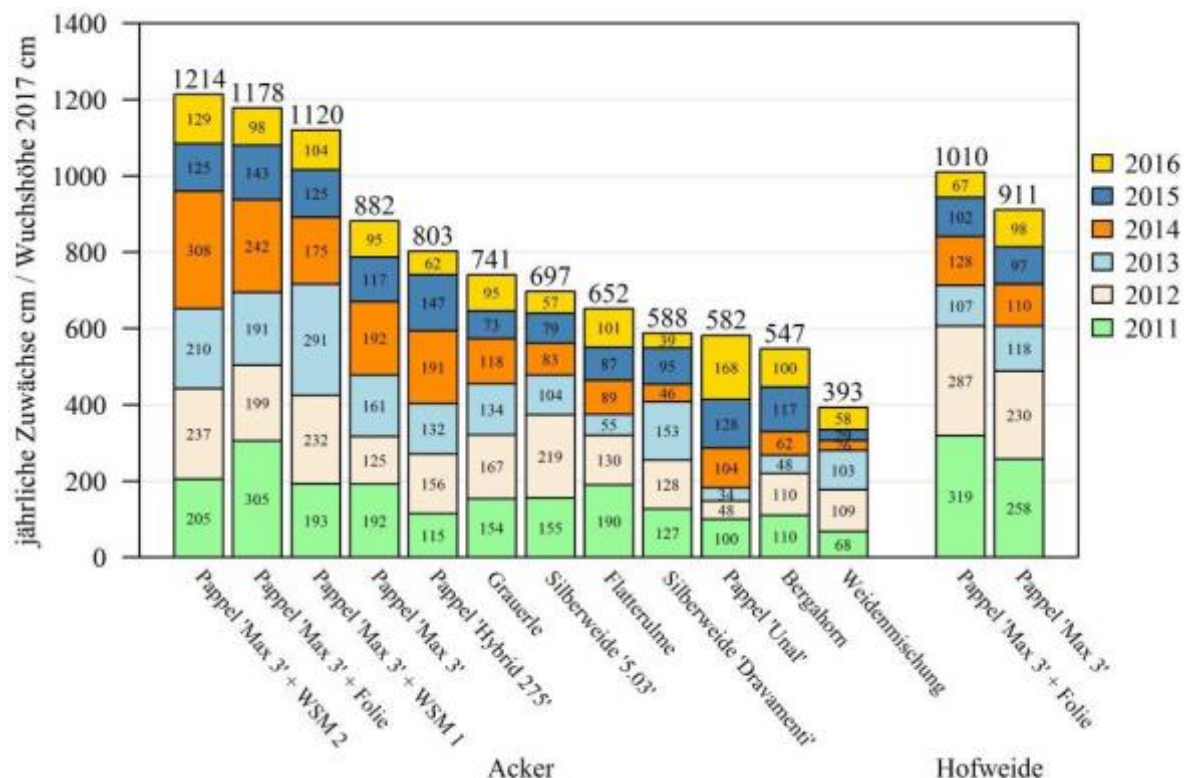


Abbildung 73: Jährlicher Zuwachs und Wuchshöhe in 2017 im Tastversuch Baumartensichtung und Beikrautregulierung

6.1.4 Diskussion

Die heimischen Baumarten Grauerle, Silberweide und Flatterulme zeigten gegenüber den züchterisch bearbeiteten Pappelklonen einen sehr guten Austriebserfolg und eine zufriedenstellende bis gute Höhenwuchsleistung, wobei die Grauerle diesbezüglich, wie auch schon im Teilversuch „Etablierung und Wuchsleistung schnellwachsender Gehölze zur Energieholzgewinnung im ökologischen Landbau“ (s. Kapitel 2.3), den beiden Pappelklonen 'Max 3' und 'Hybrid 275' am nächsten kam.

Der Anwuchs- bzw. Austriebserfolg sowie die Wuchsleistung des nicht zertifizierten Pflanzmaterials (Weidenmischung und Pappelklon 'Unal') waren nicht zufriedenstellend. Auch in Sortenversuchen des bayerischen Amts für Waldgenetik (AWG) in Teisendorf erzielte die Sorte 'Unal', die nicht für den Energieholzanbau in Bayern empfohlen wird, unbefriedigende Erträge. Im zweiten Umtrieb kam es sogar zu Totalausfällen (Schirmer, 2010).

Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, wie wichtig die Sortenwahl und die Zuverlässigkeit der Herkunft des Pflanzenmaterials beim Anbau von Energieholz ist. SCHIRMER (2010) empfiehlt, im Energieholzanbau ausschließlich Sorten der FoVG-Kategorie „Geprüft“ zu verwenden. Zusätzlich sollten diese Sorten in Bayern in der „Herkunftsempfehlungen für Forstliches Vermehrungsgut“ gelistet sein.

Sowohl auf der Hofweide als auch auf der Ackerfläche zeigten die Pappeln, die in selbst-abbaubare Mulchfolie gesteckt wurden, höhere Zuwächse als bei der maschinellen Un-

krautbekämpfung. Dies ist vor allem auf einen Wuchsvorsprung in der ersten Vegetationsperiode (Ackerfläche) bzw. in den ersten beiden Jahren (Hofweide) zurückzuführen. Es liegt vermutlich daran, dass die Folie das Unkraut im direkten Umfeld der Stecklinge gut unterdrückt hat. Dieser Bereich wird bei der maschinellen Unkrautbekämpfung nur unzureichend erfasst.

Die Einsaat der Wald(saum)arten beeinflusste den Austriebserfolg und die Wuchsleistung des Pappelklons 'Max 3' im Vergleich zum Anbau mit betriebsüblicher Beikrautregulierung nicht negativ.

6.2 Erprobung einer Untersaat von zwei Ansaatmischungen aus autochthonen Wald- bzw. Waldsaumarten

Klaus Wiesinger, Lisa Ott

6.2.1 Einleitung und Zielsetzung

Der nachfolgend beschriebene Tastversuch hatte zum Ziel, Einsaaten von zwei Mischungen aus autochthonen Wald- bzw. Waldsaumarten in einen Agroforststreifen zu erproben und den Erfolg bzw. Misserfolg zu dokumentieren. Erfolgsgrößen waren hierbei die Eignung der für die beiden Mischungen ausgewählten Arten, der Grad ihrer Etablierung, die Entwicklung der Dominanzverhältnisse und die Bodenbedeckung als Maß für den durch solche Untersaaten erreichbaren Erosionsschutz.

6.2.2 Material und Methoden

Die beiden Mischungen (Waldarten Tabelle 38, Waldsaumarten Tabelle 39) wurden gemeinsam von Klaus Wiesinger und Johann Krimmer (Produzent autochthonen Saatgutes, Pulling bei Freising) entwickelt. Da die Fläche im Grenzbereich der Naturräume Münchner Ebene und Tertiärhügelland liegt, wurden Herkünfte aus der nördlichen Münchner Ebene und dem Südrand des angrenzenden Tertiärhügellands verwendet.

Vor dem Pflanzen der Pappelstecklinge erfolgte eine Grundbodenbearbeitung mit der Kreiselegge. Anschließend wurde die Probefläche mit einem Rechen saattfertig abgezogen.

Die Einsaat erfolgte am 14.04.2010 in einen am Vortag gesteckten Pappelbestand (Klon 'Max 3', drei Doppelreihen, Reihenabstand 1,5 m und 0,5 m innerhalb der Doppelreihe) per Hand. Die Ansaatfläche war ca. 100 m² groß. Das Saatgut wurde mit gentechnikfreiem Sojaschrot vermischt, um die Handaussaat zu erleichtern und die Entmischung des Saatgutes beim Saatvorgang zu verringern. Aussaatstärke Saatgut: 20 g/m² (davon 2 g/m² Saatgut, 18 g/m² Sojaschrot). Die Aussaatmenge wurde dreigeteilt und die Fläche längs, quer und diagonal mit je einem Drittel der Aussaatmenge eingesät. Das Saatgut wurde anschließend eingereicht, da aufgrund der Pappelstecklinge das sonst übliche Anwalzen nicht durchgeführt werden konnte.

Die Aussaat der Mischungen aus Tabelle 38 „Waldarten“ erfolgte zwischen den Pappelreihen. Die Mischung aus Tabelle 39 „Waldsaumarten“ wurde auf der südexponierteren der drei Pappel-Doppelreihen und auf einem 1 m breiten Saum am Südrand des Baumstreifens ausgesät.

Tabelle 38: Zusammensetzung der Mischung „autochthone Waldarten“

Artname Deutsch	Wissenschaftlicher Artname	Mischungsanteil in Gewichts-%
Kriechender Günsel	<i>Ajuga reptans</i>	6
Knoblauchsrauke	<i>Alliaria petiolata</i>	6
Wiesen-Kerbel	<i>Anthriscus sylvestris</i>	6
Wald-Zwenke	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	8
Nesselblättrige Glockenblume	<i>Campanula trachelium</i>	4
Behaartes Weidenröschen	<i>Epilobium hirsutum</i>	2
Stinkender Storchschnabel	<i>Geranium robertianum</i>	8
Echte Nelkenwurz	<i>Geum urbanum</i>	4
Wald-Witwenblume	<i>Knautia dipsacifolia ssp dipsacifolia</i>	8
Hohe Primel	<i>Primula elatior</i>	4
Geflecktes Lungenkraut	<i>Pulmonaria officinalis</i>	3
Knolliger Hahnenfuß	<i>Ranunculus bulbosus</i>	6
Wolliger Hahnenfuß	<i>Ranunculus lanuginosus</i>	8
Kleb-Salbei	<i>Salvia glutinosa</i>	8
Flügel-Braunwurz	<i>Scrophularia umbrosa</i>	2
Rote Lichtnelke	<i>Silene dioica</i>	8
Wald-Ziest	<i>Stachys sylvatica</i>	6
Gamander-Ehrenpreis	<i>Veronica chamaedrys ssp chamaedrys</i>	3

Tabelle 39: Zusammensetzung der Mischung „autochthone Waldsaumarten“

Artname Deutsch	Wissenschaftlicher Artname	Mischungsanteil in Gewichts-%
Schwarzviolette Akelei	<i>Aquilegia atrata</i>	8
Bärenschote	<i>Astragalus glycyphyllos</i>	6
Gewöhnliche Betonie	<i>Betonica officinalis</i>	8
Wald-Zwenke	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	6
Weidenblatt-Rindsauge	<i>Bupthalmum salicifolium</i>	8
Pfirsichblättrige Glockenblume	<i>Campanula persicifolia</i>	4
Blaugrüne Segge	<i>Carex flacca</i>	6
Wiesen-Flockenblume	<i>Centaurea jacea spp jacea</i>	8
Gewöhnlicher Wirbeldost	<i>Clinopodium vulgare</i>	6
Zypressen-Wolfsmilch	<i>Euphorbia cyparissias</i>	4
Doldiges Habichtskraut	<i>Hieracium umbellatum</i>	4
Weidenblättriger Alant	<i>Inula salicina</i>	4
Nickendes Perlgras	<i>Melica nutans</i>	8
Gewöhnlicher Dost	<i>Origanum vulgare</i>	6
Gewöhnliche Braunelle	<i>Prunella vulgaris</i>	8
Echtes Seifenkraut	<i>Saponaria officinalis</i>	6

Die floristisch-statistische Methode der Vegetationsaufnahmen wurde nach FISCHER (2003) durchgeführt. Es wurden fünf rechteckige Plots mit einer Aufnahme­fläche von 2x3 m zufällig im Bestand verteilt. Dabei wurde jedoch darauf geachtet, sowohl im Randbereich als auch im Inneren des Agroforstes die Vegetation aufzunehmen.

Abbildung 74 zeigt die Verteilung der Plots in der Versuchsfläche wobei die Plots 1.2 (P1.2) und 1.4 (P1.4) am Rand und die restlichen drei Plots im Bestandesinneren liegen.



(Quelle: Bayerisches Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat, 2015)

Abbildung 74: Lage der Flächen der Vegetationsaufnahmen im Energieholzstreifen (südlich der Ortsverbindungsstraße Dürneck-Pulling)

Die Kartierung der Aufnahme­flächen fand 2015 Mitte Mai und Ende Juni (16.05.2015 und 30.06.2015) sowie 2016 Mitte Mai und Mitte Juli (20.05.2016 und 15.07.2016) statt. Die Untersaat wurde vor Ort mit der Rothmaler Exkursionsflora (Jäger, 2011) bestimmt. Der Aufnahmebogen enthält die Aufnahme­nummer, Erhebungszeitpunkt, Anteil nicht bedeckter Boden (%), Deckung Streu/Totholz (%), Deckung der Schichten (%) und Höhe der Schichten (cm). Für jede Art erfolgte eine Abschätzung der Artmächtigkeit und des Deckungsgrad (%). Es wurde die Artmächtigkeitsskala nach WILMANN (1984) und LONDO (1984) zitiert in DIERSCHKE (1994) verwendet. Die Nomenklatur der Pflanzenarten wurde nach FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz, o. J.) vorgenommen.

6.2.3 Ergebnisse

Im Sommer 2015 wurden insgesamt 18 verschiedene Arten in den fünf Plots kartiert. Davon stimmen 11 Arten mit denen der ausgesäten Mischungen überein. Von den ehemals 18 Arten in der „Waldmischung“ (=Mischung 1) sind acht Arten gefunden worden. Die Arten der Waldmischung sind auch insbesondere im Bestandesinneren (Plot 1.1, 1.3, 1.5) aufgegangen. Auffällig war der hohe Anteil des Grases *Brachypodium sylvaticum* von bis zu 60 % Deckung, welches in allen Plots vorkam und in beiden Mischungen ausgebracht worden ist. Insbesondere die Art *Stachys sylvatica* erreichte im Inneren der Fläche bis zu 40 % Deckung (Abbildung 75) und ist mit *Brachypodium sylvaticum* die dominante Art. Die Art *Sileno dioica*, die im Mai 2011 - ein Jahr nach der Aussaat - in den Plots der „Waldmischung“

aspektbildend war, war 2015 in den Aufnahmen nur noch mit geringem Deckungsgrad und 2016 gar nicht mehr vertreten.



Abbildung 75: Autochthone Walduntersaat in Pappel ('Max 3'), Juni 2016, mit Bestandesaspekt und hohen Deckungsgraden *Brachypodium sylvaticum* und *Stachys sylvatica*

Aus der Mischung „Waldsaum“ (Mischung 2) mit 16 Arten sind nur die drei Arten *Melica nutans*, *Origanum vulgare* und *Saponaria officinalis* kartiert worden (Abbildung 76). Dabei weist *Origanum vulgare* die höchste Deckung bis zu 40 % auf. *Melica nutans* war mit Deckungsgraden von bis zu 15 % vertreten, *Saponaria officinalis* und *Geranium robertianum* kommen in geringer Deckung (je <5 %) in mehreren Plots vor (s. auch Tabelle 40 und Tabelle 41).



Abbildung 76: Autochthone Waldranduntersaat in Pappel ('Max 3'), Mai 2015, mit Bestandesaspekt *Origanum vulgare* und *Humulus lupulus* (Spontanvegetation) (als Liane)

Tabelle 40: Mischungsanteil der ausgebrachten Arten sowie deren Deckungsgrad im Jahr 2015 (Mittelwerte nach WILMANN (1984) und LONDO (1984) zit. in DIERSCHKE (1994))

Mischung 1	Anteile	16.05.2015					30.06.2015				
		1,1 MW	1,2 MW	1,3 MW	1,4 MW	1,5 MW	1,1 MW	1,2 MW	1,3 MW	1,4 MW	1,5 MW
18 Arten ausgebracht											
<i>Anthriscus sylvestris</i>	6%	0.5						0.5			
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	8%	40	60	30	10	30	40	30	50	20	40
<i>Geranium robertianum</i>	8%					0.5	0.5		0.5		0.5
<i>Geum urbanum</i>	4%			0.5					2.5	0.5	0.5
<i>Primular elatior</i>	4%	0.1									
<i>Scrophularia umbrosa</i>	2%					2.5					
<i>Silene dioica</i>	8%	2.5									
<i>Stachys sylvatica</i>	6%	30				20	40	10			10
Mischung 2											
16 Arten ausgebracht											
<i>Melica nutans</i>	8%			10	10	2.5			2.5	20	10
<i>Origanum vulgare</i>	6%			20	60	0.1			20	30	10
<i>Saponaria officinalis</i>	6%	10	10	10	2.5	10		10	10	10	10
weitere Arten (Spontanvegetation)											
<i>Equisetum arvense L.</i>								0.1			
<i>Galium aparine</i>					2.5						
<i>Humulus lupulus</i>				0.5						2.5	
junge <i>Fraxinus excelsior</i>		10		2.5	2.5	10	10	2.5	10	10	10
<i>Poa trivialis</i>										0.5	
<i>Potentilla reptans L.</i>			2.5	10				10			
<i>Quercus robur L.</i>										0.1	
<i>Solidago canadensis L.</i>							10				2.5
<i>Taraxacum officinale</i>		10		30	10	30	0.5			0.5	10
<i>Urtica dioica</i>			30		2.5			30		0.5	
<i>Valeriana officinalis</i>								10			
<i>Vinca spec.</i>			0.5								

Die Aufnahmen des Jahres 2016 bestätigten im Wesentlichen die Ergebnisse des Jahres 2015, einige wenige Arten in geringer Deckung (je < 5 %) traten hinzu (z. B. *Epilobium hirsutum*, *Veronica chamaedrys*). *Brachypodium sylvaticum* und *Stachys sylvatica* waren weiterhin die dominanten Arten, wobei letztere Art im Bestandesinneren bis zu 80 % der Deckung einnahm.

Tabelle 41: Mischungsanteil der ausgebrachten Arten sowie deren Deckungsgrad im Jahr 2016 (Mittelwerte nach WILMANN (1984) und LONDO (1984) zit. in DIERSCHKE (1994))

Mischung 1	Anteile	20.05.2016					15.07.2016				
		1,1 MW	1,2 MW	1,3 MW	1,4 MW	1,5 MW	1,1 MW	1,2 MW	1,3 MW	1,4 MW	1,5 MW
18 Arten											
<i>Ajuga reptans</i>	6%		10								
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	8%	10	50	40	10	20	20	40	60	40	30
<i>Epilobium hirsutum</i>	2%						10	2.5			10
<i>Geranium robertianum</i>	8%	0.5	20			10		20			10
<i>Geum urbanum</i>	4%										2.5
<i>Knautia dipsacifolia ssp dipsacifolia</i>	8%										2.5
<i>Stachys sylvatica</i>	6%	80	10			30	70				40
<i>Veronica u. a.chamaedrys ssp chamaedrys</i>	3%					0.5					
Mischung 2											
16 Arten											
<i>Melica nutans</i>	8%			20	20					10	
<i>Origanum vulgare</i>	6%			2.5	40				10	40	
<i>Saponaria officinalis</i>	6%	0.5	0.5		20	0.1					10
weitere Arten (Spontanvegetation)											
<i>Convolvulus arvensis</i>		2.5									
<i>Galium aparine</i>					0.5						
<i>Humulus lupulus</i>				0.1							
<i>Fraxinus excelsior (juv.)</i>		0.5	0.5	20	10	20	0.1	10	10	10	2.5
<i>Poa trivialis</i>											
<i>Plantago lanceolata</i>					0.1						
<i>Potentilla reptans L.</i>			0.1								
<i>Taraxacum officinale</i>		0.5	2.5	20		10			2.5		
<i>Urtica dioica</i>			10				10	2.5			
<i>Valeriana officinalis</i>			10					10			

Der Deckungsgrad der Vegetation erreichte in der Waldmischung zwischen 45 % (Mai) und 62 % (Juni) im Jahr 2015 sowie zwischen 79 % (Mai) und 85 % (Juli) im Jahr 2016 in der Waldsaum-Mischung zwischen 30 % (Mai) und 54 % (Juni) im Jahr 2015 sowie zwischen 26 % (Juli) und 42 % (Mai) im Jahr 2016. Die Anteile offenen Bodens bewegten sich – je nach Plot und Aufnahmejahr/-monat – zwischen 5 % und 50 %, so dass Bodenbedeckungsgrade (Vegetation plus Streu/liegendes Totholz) von 50 % bis 95 % erreicht wurden. Zum Vergleich: bei Flächenkulturen geht man von einem effektiven Erosionsschutz bei einer Bodenbedeckung von >30 % aus; diese wurde durch den Agroforststreifen in allen untersuchten Plots deutlich überschritten. Die Deckungsgrade der Spontanvegetation in den übrigen Plots wurden nicht untersucht, die Streu/liegendes Totholz dürfte mit denen der Plots Vegetationsaufnahmen vergleichbar sein. Somit konnte gezeigt werden, dass Agroforststreifen mit autochthonen Untersaaten den Ansprüchen an Erosionsschutzstreifen im Ackerland entsprechen und damit einen Beitrag zum Erosionsschutz in Ackerlandschaften leisten könnten. Die hier untersuchten Monate Mai bis Juli sind für den Erosionsschutz im Ackerbau von besonders hoher Bedeutung.

Bei einer Gesamtbreite von etwa 9 m nahm die Waldmischung etwa 7 m, die Waldsaummischung (am südexponierten Rand des Baumstreifens) etwa 2 m Breite ein.

Aus den Erfahrungen dieses Tastversuchs kann eine effektive Wald-/Waldsaummischung für Gehölzstreifen im Kurzumtrieb zusammengestellt werden, die auch für ost-, west- und südexponierte Randbereiche von KUPs geeignet ist. Diese Mischung sollte aus den hier erfolgreich etablierten Arten der Wald- (12 Arten) und der Waldsaummischung (3 Arten) bestehen und umfasst damit 15 Arten. Bei einer späteren Weiterentwicklung könnte die Mischung auf 20-25 Arten ausgebaut werden.

6.2.4 Diskussion

Zwei Saatgutmischungen aus autochthonen, naturräumlichen Herkünften (Waldmischung, Waldsaummischung) konnten erfolgreich als Untersaat in einem 2010 angelegten Agroforst-Streifen mit Pappeln (Hybride 'Max 3') etabliert werden. Aus der Waldmischung mit 18 Arten konnten fünf bzw. sechs Jahre nach der Ansaat insgesamt zwölf Arten in den Vegetationsaufnahmen wiedergefunden werden (67 %), aus der Waldsaummischung mit 16 Arten wurden hingegen nur drei Arten (19 %) wiedergefunden. Die Waldmischung funktioniert daher zufriedenstellend. Die Waldsaummischung hat mit nur 19 % Etablierungsrate nicht befriedigt. Hier besteht weiterer Optimierungs- und Entwicklungsbedarf im Hinblick auf die Auswahl der Arten, Saattiefe, Saatzeitpunkt oder das Management der Ansaaten.

Zusammen mit den Arten der Spontanvegetation konnten Deckungsgrade der Vegetation (ohne Deckung der Streu) zwischen 26 und 85 % erreicht werden. Berücksichtigt man zusätzlich noch Streu und liegendes Totholz, so wurden Deckungsgrade von 50 bis 95 % erreicht. Damit könnten Baumstreifen aus schnellwachsenden Hölzern in Ackerhügellandschaften einen relevanten Beitrag zum Erosionsschutz liefern, ohne dass dafür Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen werden müssen. Die Einsaat autochthoner Wald- und Waldsaummischungen erhöht zudem den naturschutzfachlichen Wert dieser Kultur und bietet eine zusätzliche Nektar- und Pollenquelle für Insekten. Es wird vorgeschlagen, die Anlage von Energieholzstreifen mit Untersaat autochthoner Wald- und Waldsaum-Mischungen in der Weiterentwicklung des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms zu berücksichtigen.

6.3 Anbau von Bärlauch in einem Agroforstsystem zur Energieholzerzeugung

Nicola Lenz, Andrea Winterling, Heidi Heuberger

6.3.1 Einleitung und Zielsetzung

Bärlauch (*Allium ursinum*) ist eine alte Heilpflanze, die in den vergangenen Jahren auch als Gewürz wieder an großer Beliebtheit gewonnen hat. Natürlich kommt Bärlauch an schattigen bis halbschattigen Plätzen in Laub-, Misch- und Auenwäldern vor. Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich über ganz Mittel- und Osteuropa bis zum Kaukasus, Kleinasien und Nordasien (Franke et al., 2012). Der größte Teil der verkauften Ware stammt aus Wildsammlung. Ein Feldanbau von Bärlauch konnte bisher noch nicht in größerem Umfang realisiert werden, da wirtschaftliche Kulturverfahren fehlen und Bärlauch in offenen Feldlagen nicht befriedigend wächst (Heuberger & Schulz, 2014). Eine Kultivierung von Bärlauch wäre jedoch interessant, da im Gegensatz zur Wildsammlung keine Lizenz zum Ernten erforderlich ist. Zudem ist die Gefahr der Infektion mit Fuchsbandwurm besser zu kontrollieren und die Gefahr der Verwechslung mit giftigen Pflanzen wie Aronstab kann besser vermieden werden. Bei gutem Wachstum könnten auch höhere Erträge erzielt und die Ernte erleichtert werden. Ziel des Tastversuches war es deshalb zu klären, ob der Anbau von Bärlauch mit der Energieholzerzeugung in Agroforstsystemen kombiniert werden kann. Der Fokus lag dabei auf der generellen Durchführbarkeit, dem Ertrag und der Pflanzenentwicklung.

6.3.2 Material und Methoden

Der Bärlauch wurde in einem Screeningversuch im August 2013 von Hand vierreihig zwischen die Doppelreihen der 2011 bzw. 2012 angelegten Energieholzstreifen gepflanzt:

- Variante 1: Pflanzung in den Bestand des Pappelklon 'Max 3', Pflanzung der Bäume 2011
- Variante 2: Pflanzung in eine Mischung aus den Pappelklonen 'Max 1' und 'Max 3', Pflanzung der Bäume 2012
- Variante 3: Pflanzung in Grauerle, Pflanzung der Bäume 2011

Die Parzellen hatten eine Länge von 10 m und eine Breite von 1,2 m. Der Reihenabstand war 30 cm, der Abstand in der Reihe 5 cm (Abbildung 77). Pro Variante gab es nur eine Parzelle, es gab also keine Wiederholungen. Das Pflanzgut stammte aus Versuchen zum Bärlauch-Anbau auf den LfL-Versuchsgütern Baumannshof und Puch. Es wurden nur Zwiebeln der großen Sortierung verwendet. Doppelzwiebeln, die sich nicht von selbst trennten, wurden nicht getrennt und als eine Zwiebel gezählt. Die Pflanztiefe betrug etwa 5-7 cm. Als Kernparzelle dienten die mittleren vier Meter. In der Variante 1 wurde der Boden zwischen den Doppelreihen in den ersten beiden Vegetationsperioden nach Anlage der Energieholzstreifen zur Beikrautregulierung und Wühlmausbekämpfung mehrmals gefräst. In den Varianten 2 und 3 wurde keine maschinelle Beikrautregulierung durchgeführt. Nach der Pflanzung des Bärlauchs wurden keine Pflegemaßnahmen durchgeführt.

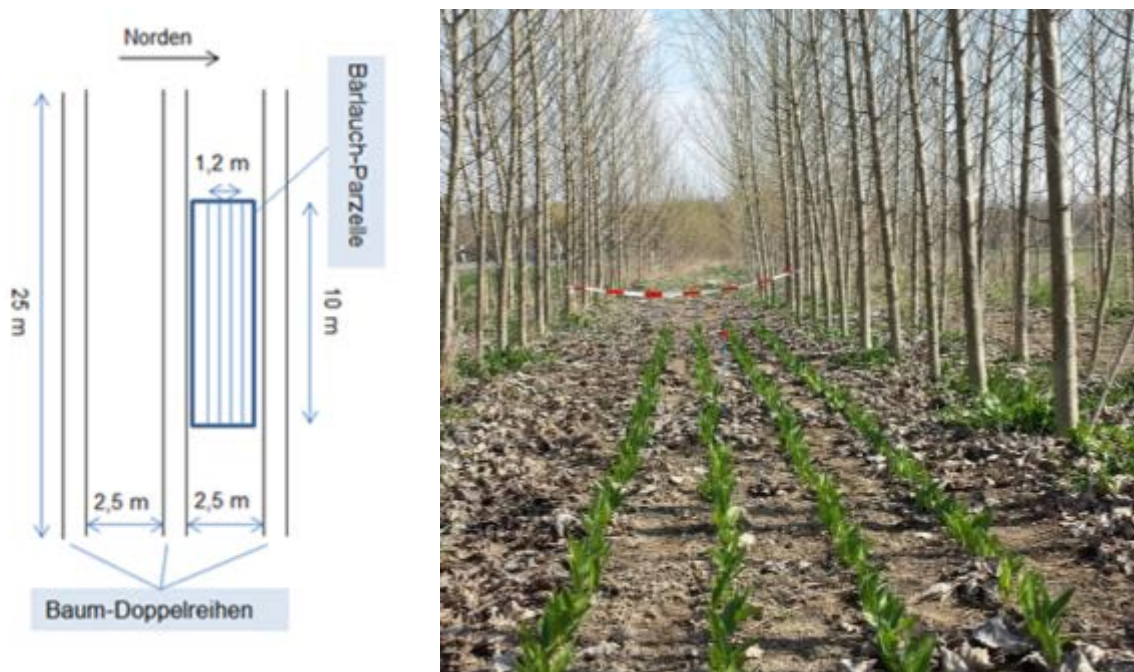


Abbildung 77: Lageplan des Bärlauchs in den Parzellen (links) und Bärlauchparzellen (Variante 1) am 02.03.2013

Während der Kulturzeit von Ende März bis Juni 2015 wurde der Vegetationsverlauf bei Bärlauch und Unkraut in unregelmäßigen Abständen erfasst. Außerdem wurde der Bestand auf Krankheits- und Schädlingsbefall kontrolliert. Vor der Ernte wurden die Fehlstellen in den Reihen gezählt. Die Ernte erfolgte am 08.04.2015 im zweiten Standjahr und am 07.04.16 im dritten Standjahr vor dem Schossen der ersten Blüten von Hand. Dabei wurden in 4 Reihen à 4 m Länge in der Mitte der Parzelle die Blätter in den Kernparzellen etwa 5 cm oberhalb des Bodens mit einem Messer abgeschnitten. Die Frischmasse der geernteten Blätter wurde gewogen und die Blätter anschließend bei 40°C getrocknet, um das Drogengewicht zu erhalten.

6.3.3 Ergebnisse

Die ersten Spitzen des Bärlauchs zeigten sich im Erntejahr 2015 Anfang März. Am 23.03.2015 war der Bärlauch in der Variante 1 bereits 4-11 cm hoch. Die Mulchschicht bestand vor allem aus Blättern und es war kaum Unkraut zu sehen. In der Variante 2 war der Bärlauch 5-11 cm hoch, die Mulchschicht war mit 6 cm wesentlich höher als in Variante 1 und bestand zusätzlich zu den Blättern auch aus abgestorbenem Gras. Ähnlich sah die Entwicklung in der Variante 3 aus. Der Bärlauch war hier 6-12 cm hoch und die Mulchschicht aus abgestorbenem Gras und Blättern ca. 7 cm. In Variante 2 und 3 trieb auch frisches Gras durch, wobei es in der Variante 3 schon wesentlich weiter entwickelt war. Schädlinge traten nicht in nennenswertem Umfang auf. Ein paar Blätter wurden von Schnecken angefressen und einige wiesen Verdrehungen auf, die Ursache hierfür wurde aber nicht bestimmt.

Die Fehlstellen waren in allen drei Varianten ähnlich. Variante 1 hatte 48 Fehlstellen, Variante 2 46 Fehlstellen und Variante 3 45 Fehlstellen. Die einzige Variante, in der Sämlinge zu erkennen waren, war die Variante 1. Bei der Ernte lieferte Variante 3 mit 74 g/m² die höchsten Erträge. Variante 2 lieferte mit 24 g/m² die niedrigsten Erträge (vgl. Abbil-

dung 78). Das Drogengewicht entsprach bei allen drei Varianten in etwa 17 % der Frischmasse. Im zweiten Erntejahr 2016 verlief die zeitliche Blattentwicklung ähnlich, der Grasbewuchs in Variante 2 und 3 war noch stärker als im Vorjahr und behinderte die Ernte erheblich. Die Erträge an frischen Blättern hatten sich verdoppelt bis verdreifacht und betragen 82 bis 164 g/m², der Ertragsvorsprung unter Grauerle (Variante 3) fiel geringer aus.

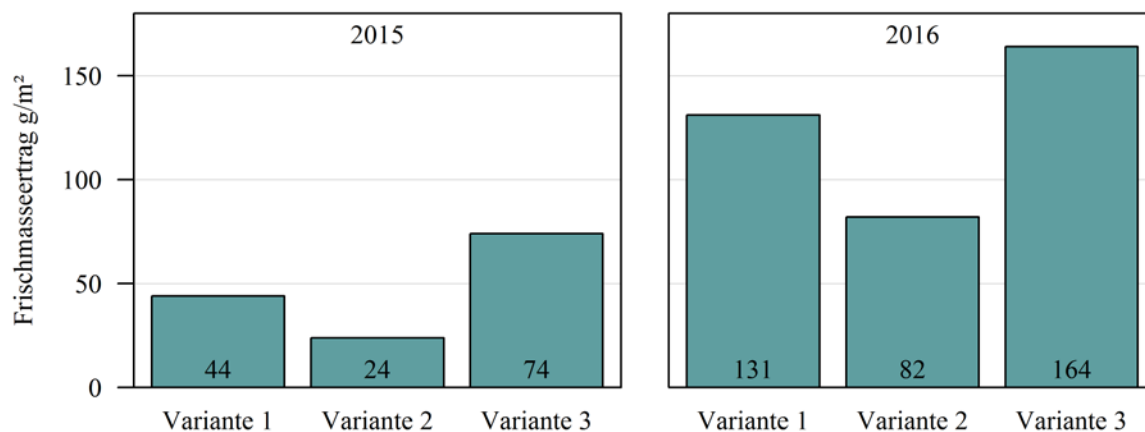


Abbildung 78: Bärlauch-Ernteerträge 2015 und 2016

6.3.4 Diskussion

Der Anbau von Bärlauch in einer Agroforstanlage ist grundsätzlich möglich. Die Konkurrenz mit anderen krautigen Pflanzen war bei Pflanzung in den älteren Pappelbestand am geringsten. Dies kann zum einen mit der intensiveren Bodenbearbeitung, zum anderen mit dem allelopathischen Effekten des Laubs der Pappel erklärt werden, möglicherweise wirkte sich bereits ein geringerer Lichteinfall aus. Dass im jüngeren Pappelbestand viel Unkraut zu finden war, widerspricht der Annahme, dass die Allelopathie der Pappel groß ist. Jedoch kann man dies mit der kürzeren Standzeit und weniger allelopathischen Stoffen im Boden erklären. Die Entwicklung des Bärlauchs verlief in allen drei Varianten ähnlich. Der größte Unterschied bestand darin, dass in der Variante 1 der Bestand durch Sämlinge vergrößert wurde. Dass dieses Phänomen nur hier auftritt, könnte auf die geringere Konkurrenz zurückzuführen sein. Die Erntemenge war, trotz des dichten Unkrautwuchses, in Variante 3 am höchsten. Um die Ernte zu erleichtern, wäre in allen Varianten eine Beikrautregulierung empfehlenswert gewesen. Insgesamt waren die Erntemengen im ersten Erntejahr relativ gering, stiegen im zweiten Erntejahr jedoch bereits deutlich an. Ein Versuch mit Mulchmaterialien an der LfL hat gezeigt, dass die Erntemengen bei Bärlauch im zweiten Standjahr gering sind und ab dem dritten Standjahr (2. Erntejahr) erheblichen Schwankungen in den verschiedenen Jahren unterliegen (Heuberger & Schulz, 2014). Aus dieser Versuchsanlage im Agroforst und den beiden Untersuchungs Jahren können deshalb keine generellen Rückschlüsse gezogen werden, welche Baumart am besten geeignet ist. Dies müsste mit systematischen Exaktversuchen über längere Zeiträume erprobt werden, auch müssten die Rahmenbedingungen genauer erfasst werden. Jedoch zeigt der Versuch, dass ein Anbau von Bärlauch zwischen weiten Reihen junger Agroforstanlagen möglich ist und zu ansprechenden Qualitäten führen kann.

6.4 Zusammenfassung

Zur Beantwortung weiterer, den Energieholzanbau in Agroforstsystemen im ökologischen Landbau betreffender, Fragestellungen wurden im Frühjahr 2011 und 2012 am Standort

Pulling auf den Betriebsflächen des Biolandhof Braun weitere Baumstreifen gepflanzt und in diesen Tastversuche angelegt.

Ein wesentliches Ziel der Tastversuche war es, anhand einer Baumartensichtung die Eignung von verschiedenen zu Stockausschlag fähigen Baumarten für die Energieholzerzeugung in Agroforstsystemen zu prüfen. Des Weiteren sollte der Einsatz der im Teilprojekt zur Beikrautunterdrückung verwendeten selbstabbaubaren Mulchfolie im Vergleich zu einer betriebsüblichen Beikrautregulierung in der Praxis untersucht und verschiedene Pflanzgutherkünfte getestet werden. Zwei weitere Tastversuche hatten zum Ziel, die Ein-saaten von zwei Mischungen aus autochthonen Wald- bzw. Waldsaumarten zur Erhöhung der Artenvielfalt sowie den Anbau von Bärlauch in einen Agroforststreifen zu erproben.

Die heimischen Baumarten Grauerle, Silberweide und Flatterulme zeigten gegenüber den züchterisch bearbeiteten Pappelklonen einen sehr guten Anwuchserfolg und eine zufriedenstellende bis gute Höhenwuchsleistung. Ein geringer Anwuchs- bzw. Austriebserfolg sowie eine schlechte Wuchsleistung des nicht zertifizierten Pflanzmaterials bestätigten die Wichtigkeit der Sortenwahl und der Zuverlässigkeit der Herkunft des Pflanzenmaterials beim Anbau von Energieholz. Pappeln, die in selbstabbaubare Mulchfolie gesteckt wurden, erzielten höhere Zuwächse als bei maschineller Unkrautbekämpfung.

Zwei Saatgutmischungen aus autochthonen, naturräumlichen Herkünften (Waldmischung, Waldsaummischung) konnten erfolgreich in einem Pappelstreifen etabliert werden. Aus der Waldmischung mit 18 Arten konnten fünf bzw. sechs Jahre nach der Ansaat insgesamt zwölf Arten in den Vegetationsaufnahmen wiedergefunden werden (67 %), aus der Waldsaummischung mit 16 Arten hingegen nur drei Arten (19 %). Die Waldmischung funktioniert daher zufriedenstellend. Die Waldsaummischung hat mit nur 19 % Etablierungsrate nicht befriedigt. Hier besteht weiterer Optimierungs- und Entwicklungsbedarf im Hinblick auf die Auswahl der Arten, Saattiefe, Saatzeitpunkt oder das Management der Ansaaten.

Der Tastversuch zum Anbau von Bärlauch zeigte, dass eine Kultivierung zwischen weiten Reihen junger Agroforstanlagen möglich ist. Die Erntemengen waren im ersten Erntejahr 2015 zwar relativ niedrig, sie stiegen jedoch 2016 bereits deutlich an. Die Qualitäten waren ansprechend.

Aus dieser Versuchsanlage können noch keine generellen Rückschlüsse gezogen werden. Die Tastversuche lieferten aber gute Anhaltspunkte für eine weitere Bearbeitung der Fragestellungen. Dafür wären allerdings Exaktversuche nötig.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen des Projektes „Entwicklung und Erprobung eines Agroforstsystems zur Energieholzgewinnung“ konnte ein praxisgerechtes System für den Anbau von Energieholzstreifen im ökologischen Landbau in Bayern entwickelt werden. Die Ergebnisse bieten auch für die konventionelle Landwirtschaft wichtige Hinweise und Anregungen (z. B. herbizidfreie Begründung). Noch ungeklärt sind verschiedene produktionstechnische Spezialfragen wie z. B. die Möglichkeiten der mechanischen Beikrautregulierung in Agroforstsystemen oder der Nachbau von landwirtschaftlichen Kulturen auf gerodeten Energieholzstreifen. Auch die Wirkung des Anbaus von Energieholzstreifen auf andere Kulturarten wie z. B. Hackfrüchte bliebe noch zu untersuchen. Aufgrund des Versuchdesigns konnten im Rahmen des Projektes keine arbeitswirtschaftlichen Kennzahlen erhoben werden. Um Agroforstsysteme hinsichtlich der Ökonomie abschließend bewerten zu können, müssten auch Kennzahlen auf Praxisbetrieben erhoben werden.

Die landwirtschaftliche Praxis, die Beratung, die Ausbildung, Wirtschaftsbeteiligte und die im Rahmen von BioRegio 2020 initiierten Öko-Modellregionen zeigen großes Interesse an Agroforstsystemen. Dennoch spielen diese in Bayern flächenmäßig aktuell nur eine geringe Rolle. Dies liegt nicht an der fehlenden Praktikabilität, wie in diesem Forschungs- und Entwicklungsprojekt gezeigt werden konnte. Neben fehlenden Förderungsmöglichkeiten und nicht-monetären Barrieren – wie z. B. unsichere rechtliche Rahmenbedingungen, langfristige Kapitalbindung der Investition und lange Flächenbindung – werden die fehlenden Erfahrungen auf weiteren Praxisbetrieben als mögliche Ursachen vermutet.

Ein weiterer Weg um Agroforstsysteme in die Fläche zu bringen, wäre eine ökonomische Aufwertung der Systeme. Möglich wäre dies über eine Erhöhung der Wertschöpfung durch neue Vermarktungswege oder die Mehrfach- und Koppelnutzung von Holz, Rinde (z. B. Weiden- oder Faulbaum-Rinde für pharmazeutische Zwecke), Früchten etc.. Eine andere Möglichkeit wäre die Mehrfachnutzung des Standraumes beispielsweise durch die Entwicklung von Systemen zur artgerechten Tierhaltung in Agroforstsystemen, welche den Weidetieren Schatten, Schutz und ggf. auch Laubfutter bieten. Die Zwischenräume der Baumreihen könnten auch zur Erzeugung von schatten- bzw. halbschattenbedürftigen Heil- und Gewürzpflanzen (z. B. Bärlauch *Allium ursinum*, Knoblauchsrauke *Alliaria petiolata*) genutzt werden.

Im Rahmen des Projektes wurden neutrale bis positive Umweltwirkungen der Agroforststreifen nachgewiesen. Um Agroforstsysteme, neben der im Projekt erprobten Einsatz von autochthonen Wald- und Waldsaumarten, im Hinblick auf Kriterien der Agrobiodiversität weiter aufzuwerten, könnten arten- und blütenreiche Säume entlang der Baumstreifen angelegt oder eine größere Vielfalt an Baumarten blockweise angebaut werden. Viele stockausschlagfähige Gehölze haben einen hohen Wert für die Fauna beispielsweise als Bienenweide (z. B. Baumweiden-Arten, Feld- und Bergahorn, Flatterulme, Traubenkirsche, Sorbus-Arten, Esskastanie). So könnten Grundlagen für die Anerkennung eines naturschutzkonformen Anbaus schnellwachsender Baumarten als produktionsintegrierte Kompensation (PIK), im Rahmen des Kulturlandschaftsprogrammes (KuLaP) oder als Greening-Maßnahme geschaffen werden und sich positive ökonomische Zusatzeffekte für den Anbau des Energieholzes ergeben. Gleichzeitig bestünde die Möglichkeit, heckenartige Strukturen in die Landschaft einzubringen, ohne dass diese als Landschaftselemente geschützt sind. Durch die Erweiterung der Liste der zugelassenen Baumarten der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Niederwald im Kurzumtrieb: KN-Code 0602 90 41; VO (EU) Nr. 1307/2013) um weitere heimische Gehölze könnten die Baum-

streifen artenreicher gestaltet werden, ohne die Betriebsprämie im Rahmen der 1. Säule der europäischen Agrarpolitik zu verlieren.

In diesem Projekt konnte nachgewiesen werden, dass die Windgeschwindigkeit durch den Anbau von Energieholzstreifen effektiv reduziert werden kann. Aufgrund der sich ändernden Klimabedingungen wären der Einfluss der Baumstreifen auf das Mesoklima, der Kühleffekt der Systeme auf Landschaftsebene sowie das Potenzial von Energieholzstreifen zur CO₂-Sequestrierung weitere wichtige, zu klärende Fragestellungen. Auch inwieweit Agroforstsysteme aufgrund der extensiven Bewirtschaftung und ihrer Funktion als Pufferstreifen einen Beitrag zum Gewässer- und Erosionsschutz in Bayern leisten könnten, wurde noch nicht untersucht. Die relativ hohen Deckungsgrade von spontaner Vegetation, Streu und Totholz sowie die mögliche Ansaat von Wald- und Waldsaumpflanzen in Baumhecken mit schnellwachsenden Hölzern und die aufgrund des lockeren Bodens vermutete hohe Wasserinfiltration legen eine Abfluss verzögernde Wirkung nahe. Bei einer die natürlichen Abflusswege in Ackerhügel-Landschaften berücksichtigenden Anlage von Agroforstsystemen könnten Synergien mit dem Erosions- und Gewässerschutz erreicht werden ohne dass dafür Flächen aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen werden, müssten. Auch der Einsatz als Ammoniak auskämmende Struktur in räumlichem Bezug freilüftenden, tiergerechten Stallanlagen wäre untersuchenswert.

8 Praxisempfehlungen

Aus den Erfahrungen und Ergebnissen des hier berichteten Forschungsprojektes sowie der im Rahmen des Projektes ausgewerteten Literatur lassen sich die folgenden Praxisempfehlungen ableiten:

Vorfrucht, Bodenvorbereitung und Beikrautregulierung

Die Strategie der Beikrautregulierung ohne den Einsatz von Herbiziden baut auf bewährten Konzepten des ökologischen Landbaus auf. Die der Pflanzung vorausgehende Regulierung erfolgt durch vorlaufenden, mindestens einjährigen Anbau eines Klee-Gras-Gemenges, den Umbruch des Klee-Grases mittels Fräse oder Kreiselegge und anschließende Pflugfurche auf 25-30 cm. Im Ökolandbau wird meist flacher bearbeitet, um aber das Stecken der 20 cm langen Pappelstecklinge zu erleichtern, empfehlen wir die genannte Pflugtiefe.

Von den im Versuch getesteten Strategien zur Beikrautregulierung nach Pflanzung empfehlen wir das Ausbringen einer Untersaat von Leindotter, Weißklee oder Winterroggen. Gelbklee ist aufgrund der in unserem Versuch festgestellten Minderung des Holzertrags (im Vergleich zu den anderen Untersaaten) nicht zu empfehlen. Naturbegrünung ist praktikabel, wir empfehlen sie jedoch – trotz gleich guten Holzertrags wie in den Varianten mit Weißklee, Winterroggen und Leindotter - nicht, da nur die Untersaaten Beikräuter effektiv unterdrücken. Leindotter und Weißklee bieten – insbesondere im Ansaatjahr - zusätzlich eine Bienenweide. Selbstabbaubare Mulchfolie funktioniert sehr gut und bringt den höchsten Holzertrag, ist aber nicht wirtschaftlich (d. h. der signifikante Mehrertrag an Holz kompensiert nicht die Mehrkosten der Folie und ihrer Verlegung) und die Ausbringung der selbstabbaubaren Mulchfolie ist arbeitswirtschaftlich viel aufwändiger als die Untersaaten.

Pflanzmaterial und Pflanzverband

Der im Versuch verwendete Pflanzverband von 1,25 m x 1,5 m (in der Reihe x Reihenabstand) erwies sich als praktikabel. Im Tastversuch wurde mit Doppelreihen mit den Maßen 1 m in der Reihe, 0,8 m zwischen den Doppelreihen, 2,5 m zwischen den beiden Doppelreihen gearbeitet, die ebenfalls praxisgerecht waren. Dies stellt jedoch keine allgemeingültige Empfehlung dar. Der geeignete Pflanzverband ist von in der Praxis gewählter Umrtriebszeit, Baumart, vorhandener Erntetechnik, Technik zur Beikrautregulierung usw. abhängig. Im Exaktversuch wurde eine fünfzeilige Anlage mit gleichem Reihenabstand, im Tastversuch eine sechszeilige Anlage, bestehend aus drei Doppelreihen, gepflanzt. Grundsätzlich können von einreihigen bis vielreihigen Baumstreifen alle Anlagentypen verwendet werden. Anlagen mit wenigen Reihen (1-3) haben den Nachteil hoher Randeffekte (Ertragsminderung angrenzender Ackerkulturen am luv- und leeseitigen Rand, herabgefallene Äste und Windwurf als Erntehindernisse, Wildverbiss, ...) dafür einen höheren Holzertrag. Je mehr Reihen die Baumstreifen aufweisen, umso weniger werden sie im Landschaftsbild als Hecken und umso mehr als KUP-Struktur wahrgenommen. Wir halten daher Pflanzverbände mit vier bis acht Reihen für günstig. Baumstreifen mit vier Reihen und mehr bieten zudem den Vorteil, dass eine Längshälfte in einem Jahr und die andere ein oder mehrere Jahre später geerntet werden können, ohne die Windschutzwirkung zu verlieren oder stark einzuschränken.

Baumartenwahl

Beide von uns verwendeten Pappelklone, 'Max 1' und 'Max 3', brachten gute Erträge. Neben diesen Pappelklonen kann auch die hinsichtlich Ertrag, Wuchsform und Wiederaustrieb überzeugende Grauerle verwendet werden. Wir empfehlen sie blockweise mit Anteilen bis max. 30 % einzubringen. Die Grauerle wäre aufgrund ihres hohen Ertragspotentials im Kurzumtrieb ein interessanter Kandidat für eine Selektion auf Ertrag, neigt jedoch nach der ersten Ernte verstärkt zur Wurzelbrut. Möglicherweise könnte diese durch einen höheren Schnitt bei der Ernte reduziert werden. Dies wurde im Rahmen des Projektes jedoch nicht untersucht. Für Baumstreifen mit Grauerlenanteilen sollten längere Umtriebszeiten (8 Jahre oder mehr) gewählt werden, weil die Erlen ihr Potenzial hinsichtlich der Wachstumsleistung erst in späteren Standjahren entfalten. Die Schwarzerle empfehlen wir für die hier untersuchten Mineralbodenstandorte aufgrund des gegenüber Pappel und Grauerle deutlich geringeren Ertrags nicht. Möglicherweise sind Schwarzerlen für Flächen mit hohem Grundwasserstand oder mit moorigen bzw. anmoorigen Böden interessant, was wir aber im Rahmen unseres Projektes nicht untersucht haben.

Blockweises Mischen von Pappeln und Grauerlen verringert das Risiko der Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen und macht die Baumstreifen im Landschaftsbild gefälliger – sie wirken dadurch etwas naturnäher. Weitere für Bayern geeignete Pappelklone können aus den aktuellen Empfehlungen des AWG Teisendorf entnommen werden [<http://www.awg.bayern.de/166070/index.php>].

Die beiden für KUP geeigneten stockausschlagfähigen Baumarten Zitterpappel und Robinie haben wir im Versuch nicht untersucht, weil diese durch Wurzelschösserbildung, welche auch in die angrenzenden Ackerflächen hineingehen, Probleme beim Mähdrusch (Haspelwickler) verursachen können. Weitere stockausschlagfähige Baumarten sind grundsätzlich für das blockweise Einmischen in Pappel-Baumstreifen geeignet, wurden aber von uns im Versuch nicht (Feldahorn, Salweide, Hainbuche, Traubenkirsche (*Prunus padus*)) oder nur im Tastversuch (Silberweide, Flatterulme, Schwarzerle, Bergahorn, Vogelbeere, Hasel) geprüft. Wir verwendeten ausschließlich Pflanzgut der FoVG-Kategorie „Geprüft“, sowohl für die Pappelstecklinge als auch für die heimischen Baumarten (Wurzelware) aus einem nach § 17(1) FoVG registrierten Forstsamen- und Forstpflanzenbetrieb [<http://www.awg.bayern.de/166070/index.php>]. Die guten Anwuchsergebnisse im Vergleich zu nicht zertifiziertem Pflanzmaterial zeigten, dass sich die möglichen Mehrausgaben dafür auszahlen.

Abstände der Baumstreifen – Wechselwirkungen mit angrenzenden Ackerkulturen

Aufgrund der Messergebnisse zum Bestandesklima und der Ertragsdaten aus den Ernteparzellen empfehlen wir einen Reihenabstand von mindestens 50-60 Metern. Eine genaue Grenze des maximal sinnvollen Abstandes zwischen zwei Baumhecken lässt sich aus unseren Versuchsergebnissen nicht ableiten, da das Messdesign aus Kostengründen und wegen der Flächenbegrenzung im Abstand von 60 m (Pulling) bzw. 50 m (Neuhof) nach den Baumstreifen endete. Abstände unter 50 m empfehlen wir nicht, da hier aufgrund der Ertragsdepression in je ca. 5-10 m luv- und leeseitig der Ertrag der Ackerkulturen unter den Ertrag des freien Feldes absinkt. In den genannten Abständen von 50 m bzw. 60 m waren noch ertragssteigernde Effekte der Baumstreifen messbar sowie eine Abbremsung der Windgeschwindigkeit auf noch 80 % gegenüber freiem Feld. Da die Baumstreifen bereits im Luv bis ~25 m Wind bremsen, können auch Abstände von ~80 m durchaus praktikabel sein. Bei Abständen >100 m dürfte unter südbayerischen Verhältnissen die windbremsende Wirkung entweder verloren gehen oder doch stark reduziert sein.

Über die Ertragseffekte solch weiter Abstände zwischen den Baumstreifen kann aufgrund fehlender Messdaten keine Aussage getroffen werden.

Pflanztechnik, Erntetechnik, Nacherntebehandlung

Wir haben im Forschungsvorhaben Standardverfahren, wie für KUP üblich, verwendet. Diese beschreiben wir hier nicht näher und verweisen auf die einschlägige Beratungsliteratur der LWF [<https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-19-energiewaelder-1.pdf>].

Pflanzenschutzmaßnahmen

Ein Einsatz von Fungiziden oder Insektiziden war weder in den sieben Jahren bis zur Ernte noch im Jahr nach der Ernte (Wiederaustrieb der Stöcke) nötig. Es erfolgte keinerlei Düngung. Ein Einsatz von Herbiziden unterblieb, da diese im ökologischen Landbau nicht zulässig sind.

Mäusebekämpfung mit Fallen ist in der Regel nicht wirtschaftlich, es sollten bei der Pflanzplanung gegebenenfalls Jahre mit hohen Mäusepopulationen (relevant ist hier die Wühlmaus, nicht die Feldmaus) vermieden werden. Das Aufstellen von Ansitzstangen für Mäusebussarde ist in jedem Fall zu empfehlen und ist jedoch in erster Linie gegen Feldmäuse wirksam.

Zäunung ist nicht wirtschaftlich, eine Erhöhung des Bejagungsdrucks auf Rehe im Pflanzjahr, ggf. auch im zweiten Jahr, ist empfehlenswert. Rehe können, insbesondere bei heimischen Baumarten, erhebliche Ausfälle hervorrufen.

Ökonomie und Arbeitswirtschaft

Baumstreifen für die Energieholzgewinnung sind grundsätzlich als arbeitsextensive Kulturen zu bezeichnen. Im Pflanz- und im Erntejahr entsteht ein deutlich höherer Arbeitszeitaufwand, während er in den übrigen Jahren auf quasi Null absinkt.

Bodenfauna

Agroforstsysteme mit Energieholzstreifen können neben holz- und landwirtschaftlichen Produkten bei guter Planung und sensibler Integration in die landschaftlichen Gegebenheiten auch Leistungen für den Natur-, Wasser- und Bodenschutz erbringen. Es lohnt sich, neben den produktionstechnischen Aspekten auch hier Synergien zu suchen und sich entsprechend beraten zu lassen (UNB, Wasserberater, Wildlebensraumberater,...).

Anhand der faunistischen Ergebnisse lassen sich konkret folgende Praxisempfehlungen ableiten:

- Anlage von Energieholzstreifen in regelmäßig gepflügten Ackerflächen mit rauher, unbedeckter Winterfurche wirkt sich günstig für Bodentiere wie Regenwürmer aus.
- Energieholzstreifen in strukturarmen Agrarlandschaften dienen als Strukturelemente und Biotopverbundachsen, vor allem zur gezielten Vernetzung von Gehölz- und Waldlebensräumen.

Des Weiteren kann die faunistische Biodiversität von Agroforstsystemen beispielsweise durch die Erhöhung der Baumartenvielfalt, durch die Anlage von Begleitsäumen entlang der Pappelstreifen sowie durch abschnittsweises Ernten gezielt gesteigert werden.

Literaturverzeichnis

Agustí, N., Shayler, S. P., Harwood, J. D., Vaughan, I. P., Sunderland, K. D. & Symondson, W. O. C. (2003): Collembola as alternative prey sustaining spiders in arable ecosystems: prey detection within predators using molecular markers. *Molecular Ecology*, 12(12), 3467–3475.

Altieri, M. A. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19–31.

Alvarez, T., Frampton, G. F. & Goulson, D. (2000): The role of hedgerows in the recolonisation of arable fields by epigeal Collembola. *Pedobiologia*, 44, 516–526.

Barsig, M. (2007): Vergleichende Untersuchungen zur ökologischen Wertigkeit von Hybrid- und Schwarzpappeln (Bundesanstalt für Gewässerkunde Ref. U3, Hrsg.). Abgerufen von https://www.bafg.de/DE/08_Ref/U3/06_Verkehrssicherheit/Pappeln.pdf

Bärwolff, M., Jung, L., Harzendorf, D., Prüfer, M. & Mürter, S. (2016): Abschlussbericht Verbundprojekt: Nachhaltige Erzeugung von Energieholz in Agroforstsystemen. Teilvorhaben 1: Ertragseffekte und Ökonomie: Standort Thüringen, Gesamtkoordination. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 47 S..

Baudry, J., Bunce, R. G. H. & Burel, F. (2000): Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management*, 60, 7–22.

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (2009): Strategie zum Erhalt der biologischen Vielfalt in Bayern. Bayerische Biodiversitätsstrategie. Abgerufen von https://www.stmuv.bayern.de/themen/naturschutz/biodiversitaet/doc/biodiv_strategie_endfassung06_2009_ba1.pdf

Beckmann, U., Grünbeck, A., Hänsel, M., Karalus, W., Kolbe, H. & Schuster, M. (2001): Getreide im ökologischen Landbau. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, 149 S..

Bender, S. F., Wagg, C. & van der Heijden, M. G. A. (2016): An Underground Revolution. Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in ecology & evolution*, 31(6), 440–452.

Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H. & Tschardtke, T. (2006): Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B*, 273, 1715–1727.

Bieri, M. & Cuendet, G. (1989): Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. *Landwirtschaftliche Forschung, Recherche agronomique en Suisse*, 28(2), 81–96.

Blick, T. (1988): Ökologisch-faunistische Untersuchungen an der epigäischen Spinnenfauna (Araneae) oberfränkischer Hecken (Diplomarbeit). Universität Bayreuth, Bayreuth.

Blick, T. & Burger, F. (2016): Die Spinnenfauna der Kurzumtriebsplantage Wöllershof von 1995 bis 2011 [The spider fauna (Arachnida: Araneae) of the short rotation coppice

- Wöllershof (Germany, Bavaria, Upper Palatinate) from 1995 to 2011]. LWF Wissen, 79, 49–60.
- Blick, T. & Scheidler, M. (2004): Rote Liste gefährdeter Spinnen (Arachnida: Araneae) Bayerns, 308–321.
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., ... Brun, J. J. (2013): A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*, 64, 161–182.
- Böhm, C., Kanzler, M. & Freese, D. (2014): Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. 579–591.
- Bruckhaus, A. & Buchner, W. (1995): Hecken in der Agrarlandschaft: Auswirkungen auf Feldfruchtertrag und ökologische Kenngrößen. *Berichte der Landwirtschaft* (73), 435–465.
- BSA (Hrsg.) (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- Bundesamt für Naturschutz (o. J.): Daten und Informationen zu Wildpflanzen und zur Vegetation Deutschlands. Abgerufen 10. Juli 2015, von FloraWeb website: <http://www.floraweb.de/pflanzenarten/oekologie.xsql?suchnr=4206&>
- Burger, F. (2010): Bewirtschaftung und Ökobilanzierung von Kurzumtriebsplantagen. Dissertation, Technische Universität München, 166 S.. Abgerufen von <http://dnb.info/1010588818>
- Burger, F., Stoll, B. & Hentzschel-Zimmermann, A. (2012): Biomasseproduktion von Kurzumtriebsplantagen in Bayern – Ertragskundliche Ergebnisse des Projekts »Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb. LWF Materialien 15, Freising, 63 S..
- Burmeister, J., Kreuter, T. & Walter, R. (2016): Der Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die Laufkäferfauna eines Feldversuches in Bayern. *Angewandte Carabidologie*, 11, 21–30.
- Burmeister, J. & Walter, R. (2017): Auswirkungen von Energieholzstreifen auf Laufkäfer und Nacktschnecken ökologisch bewirtschafteter Ackerflächen. In S. Wolfrum, H. Heuwinkel, J. Reents, K. Wiesinger & K.-J. Hülsbergen (Hrsg.): *Ökologischen Landbau weiterdenken, Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken*. Verlag Dr. Köster, Berlin, 240–243.
- Burmeister, J., Zacios, M. & Walter, R. (2016): Regenwurmbesiedlung von Kurzumtriebsplantagen in der Gemeinde Kaufering. LWF Wissen, 79.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Berale, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., ... Chenu, C. (2017): Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 236, 243–255.
- C.A.R.M.E.N. e. V. (2018): Preisentwicklung bei Waldhackschnitzel—Jahresmittelwerte. Abgerufen 2. Februar 2018, von C.A.R.M.E.N. e. V. website: <https://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel/jahresmittelwerte>

- Castro-Huerta, R. A., Falco, L. B., Sandler, R. V. & Coviella, C. E. (2015): Differential contribution of soil biota groups to plant litter decomposition as mediated by soil use. *PeerJ*, 3 e826.
- Cleugh, H. A., Miller, J. M. & Böhm, M. (1998): Direct mechanical effects of wind on crops. *Agroforestry systems*, 41(1), 85–112.
- Coombes, D. S. & Sothertons, N. W. (1986): The dispersal and distribution of polyphagous predatory Coleoptera in cereals. *Annals of Applied Biology*, 108(3), 461–474.
- de Stefano, A. & Jacobson, M. G. (2018): Soil carbon sequestration in agroforestry systems: A meta-analysis. *Agroforestry Systems*, 92, 285–299.
- Dennis, P. & Fry, G. (1992): Field margins: can they enhance natural enemy population densities and general arthropod diversity on farmland? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 40, 95–115.
- Dierschke, H. (1994): *Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden*. Stuttgart.
- DIN Norm EN ISO 18134-2:2015 (2015): Biogene Festbrennstoffe—Bestimmung des Wassergehaltes—Ofentrocknung—Teil 2: Gesamtgehalt an Wasser—Vereinfachtes Verfahren (ISO 18134-2:2015); Deutsche Fassung EN ISO 18134-2:2015.
- Duelli, P. & Obrist, M. K. (1998): In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. *Biodiversity and Conservation*, 7(3), 297–309.
- Dunger, W. (2008): *Tiere im Boden. Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften*.
- Ehret, M. N. (2015): Alley cropping of willows and grassland for bioenergy provision: Productivity, tree-crop interactions and energy balance. Dissertation, Universität Kassel, 93 S.. Abgerufen von <http://d-nb.info/1075468043>
- Ehrmann, O. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenwürmer Baden-Württembergs, 64 S..
<http://fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/101762/U13-M325-N08.pdf?command=downloadContent&filename=U13-M325-N08.pdf>
- Ellenberg, H. (1986): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen* (4. Aufl.). Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Ellert, B. H. & Bettany, J. R. (1995): Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 529–538.
- Emmerling, C. (2001): Response of earthworm communities to different types of soil tillage. *Applied Soil Ecology*, 17(1), 91–96.
- Fischer, A. (2003): *Forstliche Vegetationskunde—Eine Einführung in die Geobotanik*. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- Fournier, E. & Loreau, M. (1999): Effects of newly planted hedges on ground-beetle diversity (Coleoptera, Carabidae) in an agricultural landscape. *Ecography*, 22, 87–97.

- Franke, R., Echim, T., Schenk, R. & Stekly, G. (2012): Bärlauch (*Allium ursinum* L.). In B. Hoppe (Hrsg.): Arznei- und Gewürzpflanzen A-K. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e.V., Bernburg.
- Fuchs, G. (1969): Die ökologische Bedeutung der Wallhecken in der Agrarlandschaft Nordwestdeutschlands am Beispiel der Käfer. *Pedobiologia*, 9, 432–458.
- Grace, J. & Russell, G. (1982): The effect of wind and a reduced supply of water on the growth and water relations of *Festuca arundinacea* Schreb. *Annals of Botany*, 49(2), 217–225.
- Heuberger, H. & Schulz, H. (2014): Wirkung verschiedener Bedeckungsmaterialien auf Ertrag und Qualität von Bärlauch. Tagungsbroschüre. Vortrag gehalten auf dem 24. Bernburger Winterseminar Arznei- und Gewürzpflanzen, Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e. V, Bernburg.
- Hof, A. R. & Bright, P. W. (2010): The impact of grassy field margins on macro-invertebrate abundance in adjacent arable fields. *Agriculture, Ecosystems und Environment*, 139(1), 280–283.
- Höller, G. (1962): Die Bodenmilben des reihnischen Lößlehms in ihrer Abhängigkeit von Düngung und anderen Standortfaktoren. *Monographien zur Angewandten Entomologie*, 18, 44–78.
- Höller-Land, G. (1962): Die Abhängigkeit der bodenbewohnenden Collembolen von Düngung und anderen Standortfaktoren unter Dikopshofer Verhältnissen. *Monographien zur Angewandten Entomologie*, 18, 80–119.
- Hopkin, S. P. (1997): *Biology of the springtails: (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, 344 S..
- Huber, J., Papaja-Hülsbergen, S., Wolfrum, S., Schmid, H. & Hülsbergen, K.-J. (2013): Regenwurmpopulation in ökologisch und integriert bewirtschafteten Agroforstsystemen. In D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm & U. Köpke (Hrsg.): Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau: Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung, Verlag Dr. Köster, Berlin, 424–427
- Huber, J., Siegl, T. & Schmid, H., Hülsbergen, K. J. (2014): Aboveground woody biomass production of different tree species in silvoarable agroforestry system with organic and integrated cultivation in Southern Germany. In G. Rahmann & K. Aksoy (Hrsg.): *Building Organic Bridges Volume 2 Germany – India Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference at the Organic World Congress 2014, Istanbul*, 501–504.
- Hülsmann, A. & Wolters, V. (1998): The effects of different tillage practices on soil mites, with particular reference to Oribatida. *Applied Soil Ecology*, 9, 327–332.
- International Association for Cereal Science and Technology. (versch. J.): *ICC Standard Methods [Brief an ICC]*. Abgerufen von https://www.icc.or.at/standard_methods
- Jäger, E. J. (2011): *Rothmaler-Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband* (20. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Jose, S. & Bardhan, S. (2012): Agroforestry for biomass production and carbon sequestration: an overview. *Agroforestry systems* (86), 105–111.

- Jossi, W., Zihlmann, U., Anken, T., Dorn, B. & van der Heijden, M. (2011): Reduzierte Bodenbearbeitung schont die Regenwürmer. *Agrarforschung Schweiz*, 2(10), 432–439.
- Kaesler, A., Palma, J., Sereke, F. & Herzog, F. (2011): Umweltleistungen von Agroforstwirtschaft (Nr. 736), 12 S..
- Kell, K. & Henning, V. (2007): Einsatz von abbaubaren Mulchfolien. *Monatsschrift - Magazin für den Gartenbau-Profi*, 95(1).
- Kim, D.-G., Kirschbaum, M. U. F. & Beedy, T. L. (2016): Carbon sequestration and net emissions of CH₄ and N₂O under agroforestry: Synthesizing available data and suggestions for future studies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 226, 65–78.
- Koehler, H. H. (1997): Mesostigmata (Gamasina, Uropodina), efficient predators in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 62, 105–117.
- Kramer, H. & Akca, A. (1995): Leitfaden zur Waldmeßlehre. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Krück, S., Nitzsche, O. & Schmidt, W. (2001): Verbesserte Regenverdaulichkeit durch Regenwurmaktivität—Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 1, 18–21.
- KTBL. (2008): Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, 44 S..
- Kuptz, D. & Dietz, E. (2018): Hackschnitzel aus dem Kurzumtrieb. Brennstoffqualität und Verbrennungsverhalten. *Schule und Beratung*, 1–2, 70–73.
- Kuptz, D., Schulmeyer, F., Hüttl, K., Dietz, E., Turowski, P., Zormaier, F., ... Hartmann, H. (2015): Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel, 316 S..
- Lagerlöf, J., Palsson, O. & Arvidsson, J. (2012): Earthworms influenced by reduced tillage, conventional tillage and energy forest in Swedish agricultural field experiments. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil & Plant Science*, 62(3), 235–244.
- Lamerre, J., Langhof, M., Sevke-Masur, K., Schwarz, K.-U., Wühlisch, G., Swieter, A., ... Reith, C. (2016): Schlussbericht zum Vorhaben „Nachhaltige Erzeugung von Energieholz in Agroforstsystemen—Teilprojekt 3: Standort Niedersachsen; Strukturvielfalt und Biodiversität“, 171 S..
- Lamerre, J., Schwarz, K.-U., Langhof, M. & Greef, J.-M. (2015): Strukturelle Vielfalt und Produktivität in Agroforstsystemen. In H. Kage, K. Sieling & L. Francke-Weltmann (Hrsg.): Multifunktionale Agrarlandschaften—Pflanzenbaulicher Anspruch, Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (27), Verlag Liddy Halm, Göttingen, 79-80.
- Larsen, T., Schjønning, P. & Axelsen, J. (2004): The impact of soil compaction on euedaphic Collembola. *Applied Soil Ecology*, 26, 273–281.

- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M. & Bureau, F. (2006): Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, 3–15.
- Lecq, S., Loisel, A., Brischoux, F., Mullin, S. J. & Bonnet, X. (2017): Importance of ground refuges for the biodiversity in agricultural hedgerows. *Ecological Indicators*, 615–626.
- LfL (2018): Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Abgerufen von <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>
- Löffler, B., Schmikat, J., Lorenz, J., Stolzenburg, U. & Muster, C. (2016): Kurzumtriebsplantagen im Flächen- und Streifenanbau. *Schriftenreihe des LFULG*, 26/2016, 235.
- Lorenz, K. (2003): Rote Liste gefährdeter Lauf- und Sandlaufkäfer (Coleoptera: Carabidae s. L.) Bayerns. In Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): *Rote Liste gefährdeter Tiere Bayerns*, 102–111.
- Lorenz, K. & Lal, R. (2014): Soil organic carbon sequestration in agroforestry systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 443–454.
- Luka, H. (1996): Nützlinge und Bioindikatoren in der Landwirtschaft. *Agrarforschung*, 3, 33–36.
- MacLagan, D. S. (1932): An ecological study of the “Lucerne Flea” (*Smynturus viridis*, Linn.). *Bulletin of Entomological Research*, 23(1), 101–145.
- Madsen, M., Terkildsen, S. & Toft, S. (2004): Microcosm studies on control of aphids by generalist arthropod predators: Effects of alternative prey. *BioControl*, 49, 483–504.
- Magura, T. (2002): Carabids and forest edge: spatial pattern and edge effect. *Forest Ecology and management*, 157(1–3), 23–37.
- Makeschin, F. (1994): Effects of energy forestry on soils. *Biomass and bioenergy*, 6(1/2), 63–79.
- Mirck, J., Kanzler, M., Böhm, C. & Freese, D. (2016): Sugar beet yields and soil moisture measurements in an alley cropping system. 3rd European Agroforestry Conference. *Gehalten auf der Third European Agroforestry Conference.*, Montpellier, 282–285.
- Müller-Kroehling, S. (2015): Biodiversitätsaspekte von Kurzumtriebsplantagen. *LWF aktuell*, 105, 20–25.
- Müller-Kroehling, S., Burmeister, J. & Hammerl, R. (2013): KUPs als Lebensraum von Waldarten. *LWF aktuell*, 92, 34–37.
- Muster, C. & Blick, T. (2004): Rote Liste gefährdeter Weberknechte (Arachnida: Opiliones) Bayerns, 322–324.
- Neuner, H. & Burger, F. (2015): KUP auf Grünland—Wie geht das? *LWF aktuell*, (105), 8–10.
- Nielsen, U. N., Wall, D. H. & Six, J. (2015): Soil Biodiversity and the Environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1), 63–90.

- Nierlich, K., Seidl, F., Mastel, K., Graeff-Hönniger, S. & Claupein, W. (2012): Auswirkungen von Weiden (*Salix* spp.) und Pappeln (*Populus* spp.) im Kurzumtrieb auf die biologische Vielfalt am Beispiel von Laufkäfern (Carabidae). *Gesunde Pflanzen*, 64, 129–139.
- Nuutinen, V. (1992): Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil and Tillage Research*, 23(3), 221–239.
- Obermaier, S. (2012): Vollkostenrechnung der Erzeugung von Unterdachtrocknungsheu bei gleichzeitiger Kühlung der Photovoltaikmodule. Bachelorarbeit an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus, Freising.
- Olelejniczak, I. (2004): Communities of soil microarthropods with special reference to collembola in midfield shelterbelts. *Polish Journal of Ecology*, 52(2), 123–133.
- Palma, J. H. N., Graves, A. R., Bunce, R. G. H., Burgess, P. J., de Filippi, R., Keesman, K. J., ... Herzog, F. (2007): Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3–4), 320–334.
- Peigné, J., Cannavaciolo, M., Gautronneau, Y., Aveline, A., Giteau, J. L. & Cluzeau, D. (2009): Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil and Tillage Research*, 104(2), 207–214.
- Petit, S. & Burel, F. (1998): Connectivity in fragmented populations: *Abax parallelepipedus* in a hedgerow network landscape. *Ecology*, 321(1), 55–61.
- Petzold, R., Feger, K. & Schwärzel, K. (2009): Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen. In T. Reeg, A. Bemann, W. Konold, D. Murach & H. Spiecker, *Anbau und Nutzung von Bäumen auf Landwirtschaftlichen Flächen*, 181–190.
- Pfiffner, L. & Luka, H. (2000): Overwintering of arthropods in soils of arable fields and adjacent semi-natural habitats. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 3, 215–222.
- Pinto, C., Sousa, J. P., Graça, M. A. S. & Da Gama, M. M. (1997): Forest soil Collembola. Do tree introductions make a difference? *Pedobiologia*, 41, 131–138.
- Pretschel, M., Böhme, G. & Krause, H. (1991): Einfluss von Windschutzpflanzungen auf den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Feldwirtschaft*, 32(5), 229–231.
- Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Bogdanski, A., ... Viana, B. F. (2008): Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology Letters*, 11, 499–515.
- Römbke, J., Roß-Nickoll, M., Toschki, A., Höfer, H., Horak, F., Russell, D., ... Schmitt, H. (2012): Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 386 S..
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M. M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D. & Woltz, M. (2016): Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 198–204.

- Rusek, J. (1998): Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7, 1207–1219.
- Salmon, S. & Ponge, J.-F. (1999): Distribution of *Heteromurus nitidus* (Hexapoda, Collembola) according to soil acidity: interactions with earthworms and predator pressure. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1161–1170.
- Schardt, M., Burger, F. & Blick, T. (2007): Spinnen reagieren sensibel. *LWF aktuell*, 61, 30–31.
- Scheu, S. & Simmerling, F. (2004): Growth and reproduction of fungal feeding Collembola as affected by fungal species, melanin and mixed diets. *Oecologia*, 139, 347–353.
- Schirmer, R. (2010): Geprüfte Pappelsorten steigern Ertrag deutlich. (22/2010), 31–33.
- Schirmer, R. (2018): Mündliche Mitteilung.
- Schmitt, A., Tischer, S., Hofmann, B. & Christen, O. (2010): Lumbricidenvorkommen unter schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb auf einer Schwarzerde im mitteldeutschen Trockengebiet. Abgerufen von http://eprints.dbges.de/498/1/Schmitt_etal_25Feb10.pdf
- Schrader, S., Wolfarth, F., Oldenburg, E. & Brunotte, J. (2014): Förderung der Bodengesundheit – Bodentiere dezimieren Schadpilze und ihre Toxine. *FoRep*, 1, 4–7.
- Schulz, H. J., Bretfeld, G. & Zimdars, B. (2005): Checklist of the Collembola: Nomina Collembola Germanica. Abgerufen von <http://www.collembola.org/publicat/collgerm.htm>
- Schulz, U., Brauner, O. & Groß, H. (2009): Animal diversity on short-rotation coppices – a review. *Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research*, 3, 171–182.
- Singh, B. P., Setja, R., Wiesmeier, M. & Kunhikrishnan, A. (2018): Agricultural management practices and soil organic carbon storage. In B. P. Singh (Hrsg.): *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modelling*, 207–244.
- Spangenberg, G. & Hein, S. (2011): Herbizidfreie Begründung von Kurzumtriebsplantagen. *AFZ – Der Wald* (10/2011), 18–20.
- Statistisches Bundesamt (2018): Erzeugerpreisindizes landwirtschaftlicher Produkte. GENESIS-Online Datenbank.
- Stauffer, M., Leyval, C., Brun, J. J., Lepointier, P. & Berthelin, J. (2014): Effect of willow short rotation coppice on soil properties after three years of growth as compared to forest, grassland and arable land uses. *Plant and soil*, 377(1–2), 423–438.
- Stoll, B. & Dohrenbusch, A. (2009): Der Einfluss der Flächenvornutzung und Begleitwuchsregulierung auf den Anwuchserfolg von Energieholzplantagen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 181, 71–76.
- Stoll, B., Hüttel, K. & Dabizzi, D. (2016): Zurück auf Start. *AFZ/Der Wald*, 1, 25–27.
- Swieter, A., Langhof, M., Lamerre, J. & Greef, J. M. (2017): Vergleich der langjährigen Ackererträge eines Alley-Cropping-Agroforstsystems und einer konventionellen Ackerfläche in Norddeutschland. In H. Kage, K. Sieling & L. Francke-Weltmann (Hrsg.): An-

forderungen an den Pflanzenbau in einer sich urbanisierenden Welt, *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* (29), Verlag Liddy Halm, Göttingen, 56–57.

Symondson, W., Sunderland, K. & Greenstone, M. (2002): Can generalist predators be effective biocontrol agents? *Annual Review of Entomology*, 47, 561–594.

Thiele, H.-U. (1977): *Carabid Beetles in Their Environments: a Study on Habit Selection by Adaptations*. In J. Wieser (Übers.); *Physiology and Behaviour*, Springer-Verlag.

Timmerman, A., Bos, D., Ouwehand, J. & de Goede, R. G. M. (2006): Long-term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia*, 50, 427–432.

Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., ... Zhang, W. (2016): When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449–458.

Tsonkova, P., Böhm, C., Quinkenstein, A. & Freese, D. (2011): Ecological benefits provided by alley cropping system for production of woody biomass in the temperate region: a review. *Agroforestry Systems*, 85, 133–152.

Turowski, P. (2018, Februar 1): Mündliche Mitteilung.

Udawatta, R. P. & Jose, S. (2012): Agroforestry strategies to sequester carbon in temperate North America. *Agroforestry Systems*, 86, 225–242.

Unsel, R. (2009): *Kurzumtriebsbewirtschaftung auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden: Biomassenproduktion und bodenökologische Auswirkungen verschiedener Arten*. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Breisgau, 203 S..

Unsel, R. & Burger, F. (2008): *Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. Leitfaden für land- und forstwirtschaftliche Berater*.

Urban, J. (2011): Occurrence, bionomics and harmfulness of *Crepidodera aurea* (Geoffr.) (Coleoptera, Alticidae). *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun*, 59, 279–308.

Urbatzka, P., Rehm, A. & Schmidt, M. (2018): Versuchsergebnisse aus Bayern Jahr 2017 Ökologischer Landbau Sortenversuche zu Winterweizen—Teil 2: Qualität. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, 18 S..

van Capelle, C., Schrader, S. & Brunotte, J. (2012): Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50, 165–181.

van Capelle, C., Schrader, S., Brunotte, J. & Heinrich, J. (2012): Wie Bodentiere auf unterschiedliche Bodenbearbeitungsverfahren reagieren. *Bodenleben erhalten und fördern*, 17–22.

van Schaik, L., Palm, J., Klaus, J., Zehe, E. & Schröder, B. (2016): Potential effects of tillage and field borders on within-field spatial distribution patterns of earthworms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 228, 82–90.

- Vos, C. C., Goedhart, P. W., Lammertsma, D. R. & Spitzen-Van der Sluijs, A. M. (2007): Matrix permeability of agricultural landscapes: an analysis of movements of the common frog (*Rana temporaria*). *The Herpetological Journal*, 17(3), 174–182.
- Wagener, F. & Böhmer, J. (2013): *Nachwachsende Rohstoffe als Option für den Naturschutz... Naturschutz durch Landbau? Umwelt-Campus Birkenfeld*, 802 S.
- Walter, K., Don, A. & Flessa, A. (2015): No general soil carbon sequestration under Central European short rotation coppices. *Global change biology, bioenergy*, 7, 727–740.
- Walter, R. (2017a): Die Leistungen der Regenwürmer trotz Klimawandel erhalten. In Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): *Landwirtschaft im Klimawandel Lösungen, die Geld sparen*, 15. Kulturlandschaftstag, Schriftenreihe 5/2017, Freising, Abgerufen von http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/15-kulturlandschaft-2017_lfl-schriftenreihe.pdf
- Walter, R. (2017b): Maisanbau regenwurmfreundlich gestalten. *Mais*, 44(4), 181–185.
- Walter, R. & Burmeister, J. (2017): Auswirkungen von ökologisch bewirtschafteten Agroforstsystemen auf Regenwürmer. In S. Wolfrum, H. Heuwinkel, H.-J. Reents, K. Wiesinger & K.-J. Hülsbergen (Hrsg.): *Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau Freising-Weihenstephan*, 7. bis 10. März 2017, Verlag Dr. Köster, Berlin, 236–239.
- Walter, R. & Daschner, J. (2014): Regenwurmbestand in Fruchtfolgen mit ökologischer Bewirtschaftung. In K. Wiesinger & H. Heuwinkel (Hrsg.): *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern, Öko-Landbau-Tag 2014*, Freising, 151–157.
- Wardle, D. A., Yeates, G. W., Barker, G. M. & Bonner, K. I. (2006): The influence of plant litter diversity on decomposer abundance and diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5), 1052–1062.
- Wattendorf, P., Ehrmann, O. & Konold, W. (2015): *Langzeituntersuchungen von Boden, Vegetation und Wasserhaushalt von Deponie-Rekultivierungsschichten (Leonberg 2005)*. Abgerufen von http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/117056/bwu11003_forschungsbericht.pdf?command=downloadContent&filename=bwu11003_forschungsbericht.pdf&FIS=203
- Werner, A., Vetter, A. & Hering, T. (2004): *Ergebnisse des 10-jährigen Energieholzanbaus in Thüringen (Nr. 35)*, Potsdam, 93–98.
- Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., ... Kögel-Knabner, I. (2015): Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria: The importance of soil types. *Soil and Tillage Research*, 146, 296–302.
- Zacios, M. & Zimmermann, L. (2016): Hydrologische Aspekte von Pappel-Kurzumtriebsplantagen am Beispiel Kaufering. In Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.): *Zur Ökologie von Kurzumtriebsplantagen*, Freising, 13–39.
- Zimmer, M., Kautz, G. & Topp, W. (2005): Do woodlice and earthworms interact synergistically in leaf litter decomposition? *Functional Ecology*, 19, 7–16.

Anhang

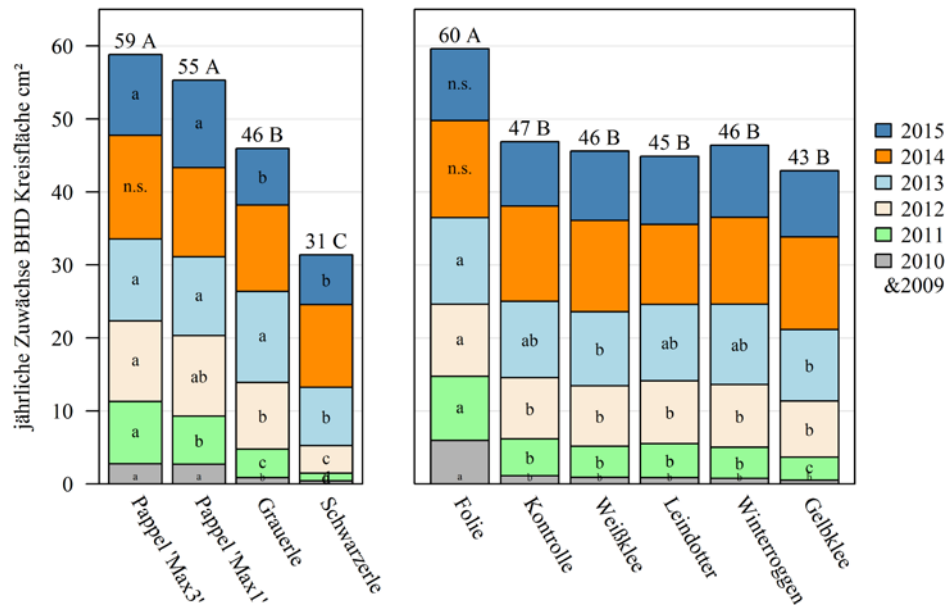


Abbildung-A 1: Brusthöhendurchmesser (BHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Neuhoof. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$)

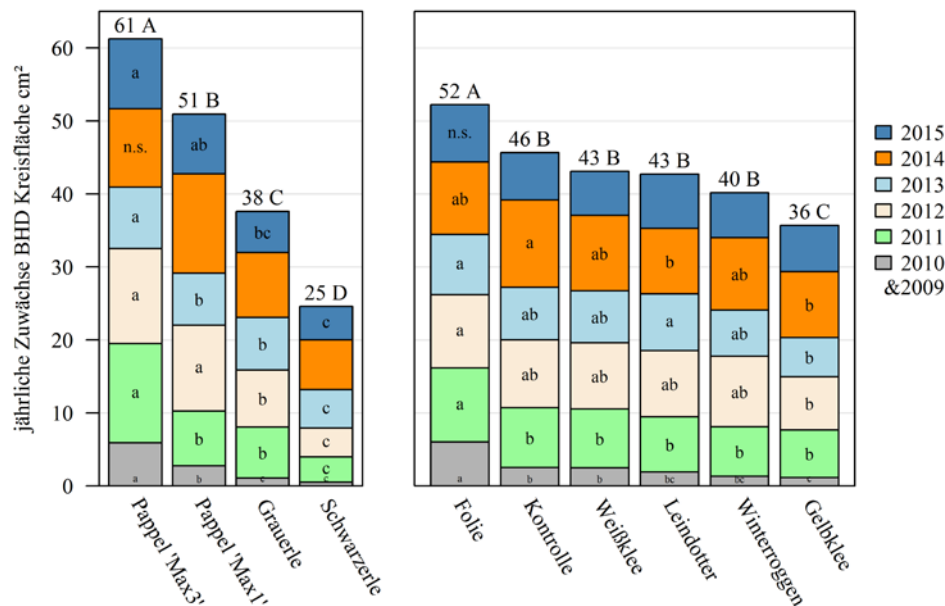


Abbildung-A 2: Brusthöhendurchmesser (BHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Pulling. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$)

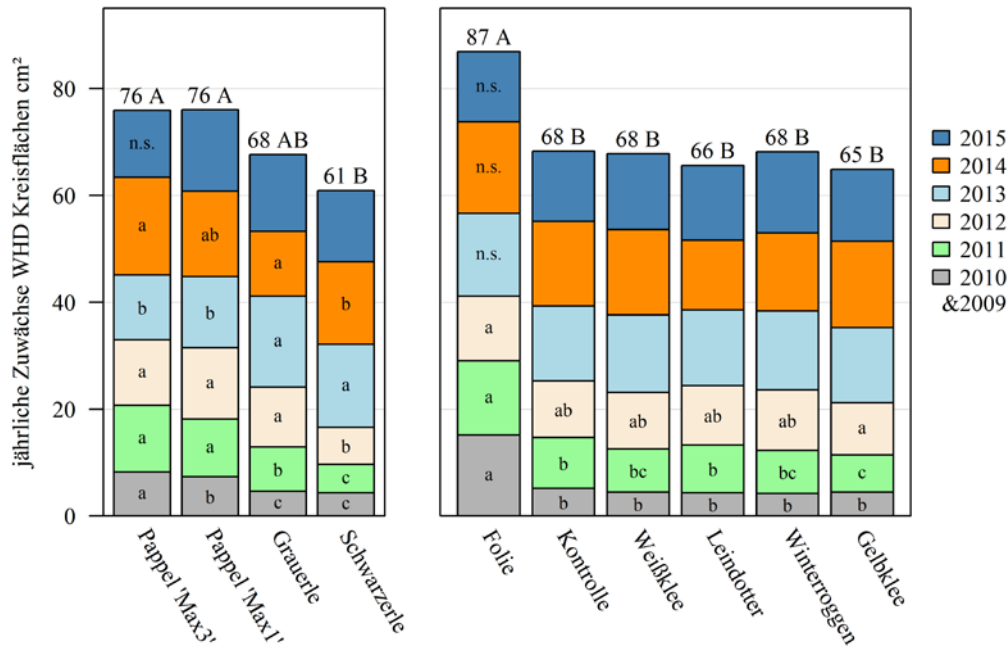


Abbildung-A 3: Wurzelhalsdurchmesser (WHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Neuendorf. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$)

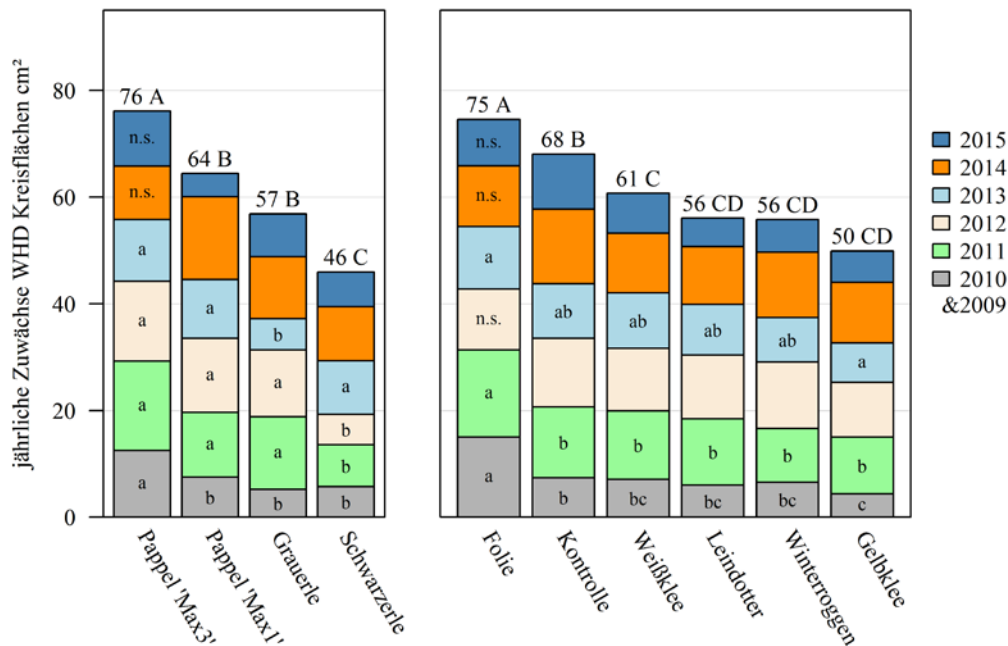


Abbildung-A 4: Wurzelhalsdurchmesser (WHD) im Jahr 2015 und jährlicher Zuwachs nach Baumarten (links) und nach Varianten der Beikrautregulierung (rechts), Standort Pulling. Verschiedene Klein- bzw. Großbuchstaben = signifikante Unterschiede bzgl. der jährlichen Höhenzuwächse bzw. der Wuchshöhe 2015 (SNK-Test, $p < 0,05$)

Tabelle-A 1: Bonituren bei Hafer

Lagerneigung*		Pulling 2009		Pulling 2015		Neuhof 2010	
Entfernung zum EHS**	Position	ohne EHS	mit EHS	ohne EHS	mit EHS	ohne EHS	mit EHS
25-20 m	Luv	6	7	1	1	1	2
20-15 m	Luv	4	3	1	1	1	2
15-10 m	Luv	5	6	1	1	1	3
10-5 m	Luv	3	6	1	1	1	3
5-0 m	Luv	3	4	1	1	1	5
0-5 m	Lee	3	6	1	3	1	1
5-10 m	Lee	2	4	1	1	1	1
10-15 m	Lee	2	3	1	1	1	1
15-20 m	Lee	4	4	1	1	1	1
20-25 m	Lee	3	3	1	1	1	1
25-30 m	Lee	2	2	1	1	1	1
30-35 m	Lee	2	2	1	1	1	1
35-40 m	Lee	2	3	1	1	1	1
40-45 m	Lee	2	5	1	1	1	1
45-50 m	Lee	2	6	1	1	1	1
50-55 m (nur in Pulling)	Lee	2	3	1	-	-	-
55-60 m (nur in Pulling)	Lee	2	2	1	-	-	-
Mittelwert		2,9	4,1	1,0	1,1	1,0	1,7

*Bonitur von 1-9 (BSA 2000), wobei 1 = gering, 9 = hoch; **EHS = Energieholzstreifen;

Tabelle-A 2: Bonituren bei Klee gras

Bonitur	Gräser %**		Kräuter %**		Klee %**		Lückigkeit***	
	ohne EHS	mit EHS	ohne EHS	mit EHS	ohne EHS	mit EHS	ohne EHS	mit EHS
Pulling 2011	5,0	4,5	24,1	27,9	70,5	67,2	4,9	6,8
Neuhof 2011	10,7	11,5	4,0	4,1	61,9	61,1	2,3	4,5
Pulling 2012	4,6	4,1	21,2	21,9	74,3	73,8	3,4	3,9
Neuhof 2014	24,5	22,5	5,5	5,5	69,9	72,2	8,4	8,8

*EHS = Energieholzstreifen; **Schätzung, Mittelwert über vier Termine (Ausnahme Pulling 2012: 3 Termine), ***Bonitur von 1-9 (BSA 2000), wobei 1 = gering, 9 = hoch, Mittelwert über drei Termine (Ausnahme Pulling 2011: 4 Termine)