Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

Bedeutung von Linsenäckern und Blühflächen zur Förderung der Biologischen Vielfalt auf Ackerstandorten des Biosphärengebiets Schwäbische Alb

Endbericht 2019

Nürtingen, 30.04.2019

Förderkennzeichen: 73-8831.21/546 91-1703GL
Mit Unterstützung der Stiftung Naturschutzfonds
gefördert aus zweckgebundenen Erträgen der Glücksspirale

Projektförderung:

Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg
Kernerplatz 9
70182 Stuttgart

Projektträger:

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt
Institut für Landschaft und Umwelt
Hechinger Str. 12
72622 Nürtingen

Projektleitung:

Prof. Dr. Konrad Reidl

Projektbearbeitung & Verfassung Endbericht:

M.Sc. Christoph Gayer

Unter Mitarbeit von:

Tobias Weiß, Robert Horvath, Caroline Fischer, Nils Engelmann, Nina Stork, Lukas Maier, Rosa Witty und Alina Biermann

Kooperationspartner:

Universität Hohenheim

Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie

August-von-Hartmann-Straße 3

70599 Stuttgart

Bearbeitung Universität Hohenheim:

Prof. Dr. Martin Dieterich

Unter Mitarbeit von:

Jochen Berger, Jutta Wieland und Vera Brosche

Projektlaufzeit:

01.05.2017 – 30.04.2019

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

2 Zielsetzung und Forschungsfragen ... 4

3 Untersuchungsgebiet ... 6

4 Material & Methoden ... 9

4.1 Studiendesign ... 9
4.2 Bewirtschaftungsdaten ... 11
4.3 Erfassungsmethoden ... 13
4.3.1 Vegetation ... 14
4.3.2 Laufkäfer und Spinnen am Boden ... 14
4.3.3 Spinnen in der Vegetation ... 14
4.3.4 Tagfalter ... 15
4.3.5 Bienen ... 15
4.4 Auswertung ... 17

5 Ergebnisse und Diskussion ... 20

5.1 Vegetation ... 20
5.1.1 Ergebnisse ... 20
5.1.2 Diskussion ... 29
5.2 Laufkäfer ... 31
5.2.1 Ergebnisse ... 31
5.2.2 Diskussion ... 41
5.3 Spinnen ... 43
5.3.1 Ergebnisse ... 43
5.3.2 Diskussion ... 50
5.4 Tagfalter ... 52
5.4.1 Ergebnisse ... 52
5.4.2 Diskussion ... 62
5.5 Wildbienen ... 65
5.5.1 Ergebnisse ... 65
5.5.2 Diskussion ... 79
5.6 Gesamtbetrachtung ... 82

6 Fazit und Empfehlungen ... 87

7 Literaturverzeichnis ... 93

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Lage der 48 Untersuchungskulturen im Jahr 2017 (Symbol mit Punkt) und 2018 (Symbol ohne Punkt) in den Landkreisen (graue Linien) Esslingen, Reutlingen und Alb-Donau-Kreis im Biosphärengebiet (BSG) Schwäbische Alb (blaue Linie) in Baden-Württemberg. 8

Abb. 2. Schematische Darstellung des Studiendesigns (links) sowie Beispiel eines Untersuchungsblocks in Frankenhofen (rechts). Die vier Untersuchungskulturen wurden jeweils entlang von Transekten am Ackerrand und im Ackerinnenbereich untersucht und gruppierten sich hinsichtlich ihrer Bewirtschaftungsweise (konventionell vs. ökologisch) und des Kulturpflanzentyps (Getreide- vs. blühende Feldfrucht). 10

Abb. 3. Photographische Darstellung einer Bodenfalle zum Fang von Laufkäfern und Spinnen (© Frederik Schüttler). 14

Abb. 4. Zwei Hummelvölker in Kartons, welche an jedem Untersuchungsfeld platziert wurden. Die Kartons wurden durch Dach und Palette von Feuchtigkeit und Sonne geschützt; rechts: Erdhummel im Einflugloch. 17

Abb. 5. Prozentuale Deckungsgrade (Mittelwerte) der Kulturpflanze im Vergleich zu Problemunkräutern und sonstigen Ackerwildpflanzen. 23

Abb. 6. Mittleres (Mittelwert ± Standardfehler) Blühangebot (Deckungsgrad aller Blüten) der Kulturen zwischen Mitte Juni und Ende Juli (Untersuchungsjahr 2017). 24

Abb. 7. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Deckungsgrad (A) und Artenreichtum (B) von Ackerwildpflanzen am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18) (2016-2018 zusammengefasst). 26

Abb. 8. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Aktivitätsdichte (A) und Artenreichtum (B) von Laufkäfern am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst). 35

Abb. 9. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Aktivitätsdichte gefährdeter Laufkäfer (nach Roter Liste BW) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18 je Kultur, alle Erfassungsjahre zusammengefasst)..... 37

Abb. 10. Dominanzanteil von Fraßtypen in Laufkäfergemeinschaften am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen. 38

Abb. 11. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz (A) und Artenreichtum (B) von Spinnen am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst). 47

Abb. 12. Gildenstruktur der Spinnen entsprechend der Jagdstrategie (nach Cardoso et al. 2011) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst). Andere Jäger – nicht spezialisierte Jäger in verschiedenen Vegetationsschichten. 49

Abb. 13. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Tagfalterabundanz (A) und Artenreichtum (B) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, beide Erfassungsjahre zusammengefasst). 57

Abb. 14. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz gefährdeter Tagfalterarten (nach Roter Liste BW oder D) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, beide Erfassungsjahre zusammengefasst).60

Abb. 15. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz (A) und Artenreichtum (B) aller Wildbienen am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst). 68

Abb. 16. Mittlere (Mittelwert) Abundanz differenziert nach Hummeln (*Bombus*), sonstigen Wildbienen und Honigbienen in den vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst). 69

Abb. 17. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz gefährdeter Wildbienen (nach Roter Liste BW oder BRD; inkl. potentiell schutzbedürftiger Arten) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, beide Erfassungsjahre zusammengefasst). 70

Abb. 18. Gewichtsverlauf aus den gemittelten Gewichtsdaten aller Hummelvölker; ab Ausbringung in Woche eins, wurde wöchentlich das Gewicht der Völker ermittelt. .. 73

Abb. 19. Median und Quartile der maximalen Gewichtszunahme (in g) an Winterweizen- (W), Blühflächen- (B), Winterdinkel- (D) und Linsenkulturen (L). 73

Abb. 20. Größenunterschiede zwischen Individuen innerhalb eines Hummelvolks; links eine sehr kleine Arbeiterin („Zwerghummel“), rechts eine Jungkönigin. 74

Abb. 21. Median und Quartile des Intertegula-Abstands (in mm) der Erdhummelarbeiterinnen an Weizenfeldern (W), Blühflächen (B), Dinkelfeldern (D) und Linsenfeldern (L)..... 74

Abb. 22. Links: Offene und geschlossene, große und kleinere Brutzellen im haufenartig angeordneten Erdhummelnest; rechts: Messung der Größe an einer Königinnen-Brutzelle. 75

Abb. 23. Median und Quartile der Anzahl der offenen (=geschlüpft) Jungköniginnen-Brutzellen der Erdhummelvölker an Weizenfeldern (W), Blühflächen (B), Dinkelfeldern (D) und Linsenfeldern (L)..... 75

Abb. 24. Anteile von Phacelia-Pollen (*Phacelia tanacetifolia*, rot) an der Gesamtpollenmenge eines Hummelvolkes..... 77

Abb. 25. Mittlere (Mittelwert) Abundanz (A) und Artenreichtum (B) der fünf untersuchten Artengruppen in den vier Untersuchungskulturen. 83

Abb. 26. Absolute Anzahl gefährdeter und potentiell schutzbedürftiger Arten nach Roter Liste Baden-Württembergs (A) und Deutschlands (B) für die fünf untersuchten Artengruppen in den vier Untersuchungskulturen..... 85

Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Absolute Flächenanteile [ha] der vier Untersuchungskulturen in den drei Landkreisen sowie landesweit (Stand 2017, nach Abfrage beim MLR BW). övF = Anrechnung als ökologische Vorrangfläche im Greening. 7

Tab. 2. Verschiedene Bewirtschaftungscharakteristika der vier Untersuchungskulturen. Angegeben sind jeweils Mittelwert ± Standardfehler sowie der festgelegte Förderbetrag, welcher derzeit (2015 - 2020) über das Agrarumweltprogram FAKT bezahlt wird. 12

Tab. 3. Zusammensetzung der zwei Saatmischungsvarianten, welche auf den FAKT Blühflächen zulässig sind. Angegeben sind pro Pflanzenart der prozentuale Gewichtsanteil in der Saatmischung und ihr Herkunftsstatus (heimisch, nicht-heimisch (Neophyt) in Deutschland). 12

Tab. 4. Prozentuale Stetigkeit [%] aller Wildpflanzenarten mit mindestens 50% Stetigkeit über alle Flächen (= 21 Arten). Fett gedruckte Artnamen markieren Problemunkräuter nach Hofmeister & Garve, (2006). Fett markierte Prozentwerte markieren Arten, welche unter den 10 stetigsten Arten der jeweiligen Kultur sind. .. 21

Tab. 5. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf Deckungsgrad, Artenreichtum und Diversität (Shannon) der Ackerwildpflanzen. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von p=0.05. 25

Tab. 6. Absolute Anzahl der gefährdeten Pflanzenarten der Regionalliste Schwäbische Alb, der Roten Liste Baden-Württembergs (beide Breunig & Demut 1999) und Deutschlands (Ludwig & Schnittler 1996) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=18 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten differenziert. 27

Tab. 7. Absolute und relative Häufigkeit sowie prozentuale Stetigkeit (in Klammern) der 20 häufigsten Laufkäferarten in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L); n=18 je Kultur). Daten über drei

Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett= Arten unter den 20 häufigsten Arten der jeweiligen Kultur). 33

Tab. 8. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf die Aktivitätsdichte, Artenreichtum und Diversität (Shannon) von Laufkäfern. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05. 34

Tab. 9. Absolute Anzahl gefährdeter Laufkäferarten der Roten Liste Baden Württembergs und Deutschlands (beide Trautner et al. 2005) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=18 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten (1-3) und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten (V – R) differenziert, sowie die Summe aller Laufkäferindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben..... 36

Tab. 10. Auflistung aller Laufkäferarten, welche signifikant mit einer Ackerkultur (Winterweizen (W) , Blühfläche (B), Winterdinkel (D), Linse (L)) oder mehreren Ackerkulturen assoziiert sind (hohe Spezifität und/oder Sensitivität für Kultur) und daher charakteristische Arten für diese Kultur(en) sind. Nicht signifikant assoziierte Arten oder Kulturen sind nicht dargestellt. Fett markiert sind naturschutzfachlich besonders bedeutsame Arten..... 39

Tab. 11. Absolute und relative Häufigkeit sowie prozentuale Stetigkeit (in Klammern) der 20 häufigsten Spinnenarten/taxa in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L); n=18 je Kultur). Daten über zwei Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett= Arten unter den 20 häufigsten Arten der jeweiligen Kultur). 44

Tab. 12. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf die Abundanz, Artenreichtum und Diversität (Shannon) von Spinnen. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05. 45

Tab. 13. Absolute Anzahl gefährdeter Spinnenarten der Roten Liste Baden Württembergs (Nährig & Harms, 2003) und Deutschlands (Blick et al., 2016) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=12 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten (1-3) und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten (V – R) differenziert, sowie die Summe aller Spinnenindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben. 48

Tab. 14. Absolute Häufigkeit (Anzahl Individuen) und prozentuale Stetigkeit (auf wieviel Prozent aller Ackerschläge einer Kultur (n=12) angetroffen) der jeweils 6 häufigsten und 6 stetigsten Arten pro Kultur. Daten über beide Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett=nur in dieser Kultur in ersten 6 Rängen vertreten)..... 54

Tab. 15. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) auf Abundanz, Artenreichtum und Shannon-Diversitätindex von Tagfaltern. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05. 56

Tab. 16. Auflistung aller Tagfalterarten, welche signifikant mit einer Ackerkultur (Winterweizen (W) , Blühfläche (B), Winterdinkel (D), Linse (L)) oder mehreren Ackerkulturen assoziiert sind (hohe Spezifität und Sensitivität für Kultur) und daher charakteristisch diese Kultur(en) sind. Nicht signifikant assoziierte Arten oder Kulturen sind nicht dargestellt. Fett markiert sind naturschutzfachlich besonders bedeutsame Arten. 57

Tab. 17. Absolute Anzahl gefährdeter Tagfalterarten der Regionalliste Schwäbische Alb, der Roten Liste Baden Württembergs (beide Ebert et al., 2008) und Deutschlands (Reinhardt & Bolz, 2012) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=12 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten differenziert, sowie die Summe aller Tagfalterindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben. 59

Tab.18. Häufigkeit und Stetigkeit (ohne Winterweizen und Winterdinkel wegen geringer Stetigkeit) aller gefährdeten Tagfalterarten mit Minimum 25% Stetigkeit in einer der vier Ackerkultur. Fett markiert: Größter Stetigkeitswert der vier Kulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L)). 59

Tab. 19. Absolute und relative Häufigkeit sowie prozentuale Stetigkeit (in Klammern) aller Wildbienenarten mit Minimum 1% relativer Häufigkeit in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L); n=18 je Kultur). Daten über zwei Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett= Arten unter den 13 häufigsten Arten der jeweiligen Kultur). 66

Tab. 20. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf die Abundanz, Artenreichtum und Diversität (Shannon) von Wildbienen. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05. 67

Tab. 21. Absolute Anzahl gefährdeter Wildbienenarten der Roten Liste Baden Württembergs (Westrich et al., 2000) und Deutschlands (Westrich et al., 2011) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=12 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten (1-3) und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten (V – R) differenziert, sowie die Summe aller Wildbienenindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben. 69

Tab. 22. Auflistung aller Bienenarten, welche signifikant mit einer Ackerkultur (Winterweizen (W) , Blühfläche (B), Winterdinkel (D), Linse (L)) oder mehreren Ackerkulturen assoziiert sind (hohe Spezifität und/oder Sensitivität für Kultur) und daher charakteristisch für diese Kultur(en) sind. Nicht signifikant assoziierte Arten oder Kulturen sind nicht dargestellt. Fett markiert sind naturschutzfachlich bedeutsame Arten (gefährdete oder potentiell gefährdete Arten). 71

Tab. 23. Absolute Individuen- und Artenanzahl aller untersuchten Taxa in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) sowie am Ackerand (R) und –zentrum (Z) (n=12 je Kultur für Spinnen, Tagfalter, Wildbienen; n=18 für Laufkäfer und Pflanzen; Daten über alle Erfassungsjahre zusammengefasst). 83

Tab. 24. Absolute Individuen- und Artenanzahl aller nach landes- und bundesweiter Roten Liste der gefährdeten (1-3) oder potentiell schutzbedürftigen (V, G, R) Individuen und Arten in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L). 84

Tab. 25. Schematische Bewertungsmatrix auf Basis einer Gesamtbetrachtung der Ergebnisse über positive (grünes Symbol) oder neutrale/negative (rotes Symbol) Effekte einer Kultur auf die 5 untersuchten Taxa. 86

1 Einleitung

Weltweit, auch in Deutschland und Baden-Württemberg, ist die Ausdehnung und Intensivierung landwirtschaftlicher Nutzflächen eine der Hauptursachen für den Verlust von Artenvielfalt und den Rückgang von Populationen (Bundesamt für Naturschutz, 2014; Dröschmeister et al., 2014; Tscharntke et al., 2005). Gerade für typische Arten der Agrarlandschaft und speziell im Ackerland, sind für viele Taxa seit Jahrzehnten zum Teil dramatische negative Bestandsentwicklungen zu verzeichnen (z.B. Flade et al., 2008; Fuchs and Saacke, 2006). So haben beispielsweise Meyer et al. (2013) für die Ackerflora einen Gesamtartenverlust von 23% seit den 1950iger Jahren und einen mittleren Artenschwund von 24 auf 7 Arten pro Standort ermittelt. Auch für Tagfalter (z.B. Weibull et al., 2000), Laufkäfer (z.B. Luka et al., 2009), Wild- und Honigbienen sind deutliche Bestandsrückgänge dokumentiert (Biesmeijer et al., 2006; Decourtye et al., 2010; Goulson et al., 2008; Kosior et al., 2007; Scheper et al., 2015).

Der Rückgang der Vielfalt und Häufigkeit von Arten kann auch das Erbringen von landwirtschaftlich bedeutenden Ökosystemdienstleistungen (ÖDL), wie die Bestäubung von Kulturpflanzen oder die Regulation von Schädlingen, negativ beeinflussen (z.B. Blaauw and Isaacs, 2015; Feltham et al., 2015; Klein et al., 2012). Daher bedarf es weiterer wissenschaftlicher Erkenntnisse, welche Maßnahmen und Kulturen auf welche Weise zur Förderung von Biodiversität und ÖDL auf Ackerstandorten beitragen. Dabei sollten die unterschiedlichen funktionellen Artengruppen in Agrarökosystemen berücksichtigt werden.

Spätestens seit Erscheinung der Studie von Hallmann et al., (2017), welche einen Rückgang der Fluginsekten von mehr als 75 % in den letzten 27 Jahren in deutschen Naturschutzgebieten zeigt, ist das Thema auch in den Fokus von Medien, Politik und Landwirtschaft gerückt. Das Bundesumweltministerium warnte im Sommer 2017 gar vor einem „verheerenden Insektensterben in Deutschland“ und erwägt aktuell einen Gesetzesentwurf für ein bundesweites Insektenschutzgesetz. Damit wurde auch die Diskussion im Naturschutz neu belebt, welche Ursachen dem

Insektenschwund zu Grunde liegen, und welche Konzepte und Maßnahmen geeignet sein könnten, diesem Trend entgegenzuwirken. Auch wenn die Ursachen für die Insektenverluste in der Kulturlandschaft multikausal sind und dem Phänomen eine Vielzahl komplexer und oftmals noch nicht vollständig entschlüsselter Ursachen - Wirkungsmechanismen zu Grunde liegen, ist es weitgehender Konsens in Wissenschaft und Gesellschaft, dass die intensive Landwirtschaft hierbei eine Schlüsselrolle einnimmt. Hinzu kommt, dass landwirtschaftlich genutzte Flächen etwa 50 % der Landfläche Deutschlands ausmachen, wobei alleine etwa 33 % Deutschlands aus Ackerflächen bestehen. Daher scheint eine Umkehr dieses Negativtrends vieler Artenbestände nicht möglich zu sein, ohne eine naturverträglichere Form der aktuellen Landwirtschaft, insbesondere des Ackerbaus, zu entwickeln. Gleiches gilt für die Zielerreichung der Naturschutzstrategie von Baden-Württemberg, welche den Erhalt der Biodiversität in Agrarökosystemen als eines der prioritären Ziele formuliert (MLR, 2013).

Es ist somit unerlässlich, Naturschutzziele in die landwirtliche Nutzung zu integrieren und im Sinne einer nachhaltigen Landnutzung biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsweisen und Maßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Dies kann auch im Sinne der Ausgestaltung von Agrarumweltmaßnahmen und sonstigen Förderprogrammen nur gelingen, wenn grundlegendes Wissen über die ökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsformen vorhanden ist.

Die Förderung von Biodiversität und anderen Umweltleistungen in europäischen Agrarlandschaften erfolgt vorrangig über Agrarumweltprogramme, welche den Landwirt für Mindererträge oder Mehrbelastungen aufgrund der Durchführung von entsprechenden Maßnahmen finanziell kompensieren (Batáry et al., 2015). In Baden-Württemberg werden Agrarumweltmaßnahmen seit 2015 über das *Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl* (*FAKT*) unterstützt. FAKT fördert eine Vielzahl von Maßnahmen im Ackerbau. Dazu gehöret die Ausweitung des ökologischen Landbaus ebenso, wie der Anbau bestimmter Zwischenfrüchte oder die vorübergehende Stilllegung bzw. Umnutzung von

Teilflächen (z. B. Blühflächen). Die Anlage einjähriger Blühmischungen (FAKT-Maßnahme E 2.1 und E.2.2 „Brachebegrünung mit Blühmischung“) ist landesweit, und gerade in der oftmals nicht mit sehr ertragsreichen Böden ausgestatten Agrarlandschaft des Biosphärengebiets (BSG) Schwäbischen Alb, zu einer sehr gut angenommenen Maßnahme mit hoher Flächenwirkung (ca. 319 ha in Kulisse des BSG) in der konventionellen Landwirtschaft geworden.

Insbesondere im BSG Schwäbische Alb werden seit einigen Jahren auch ökologisch bewirtschaftete Linsenkulturen verstärkt angebaut und als *Alb-Leisa* von der Erzeugergemeinschaft *Lauteracher Alb-Feld-Früchte* als Regionalprodukt vermarktet. Derzeit gibt es dort ca. 80 Landwirte, welche auf über 200 ha Linsen (*Lens culinaris* Medic.) in Mischkultur mit einer Stützfrucht anbauen. Die blühende Leguminose hat auf Grund des Mischkulturanbaus und des lückigen Kulturpflanzenbestandes ein hohes Potential zur Förderung der Biodiversität im Ackerbau, auch wenn diese derzeit nicht explizit als FAKT Maßnahme gefördert wird. Da Linsenkulturen überwiegend von Landwirten des ökologischen Landbaus erzeugt werden, ist bisher unklar, ob diese einen zusätzlichen Mehrwehrt für die Biodiversität im ökologischen Landbau erbringen.

2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Ziel war es grundlegendes Wissen über die Bedeutung von Blühflächen und Linsenkulturen zur Förderung der Biologischen Vielfalt im Ackerbau zu generieren. Insbesondere zu tierökologischen Auswirkungen dieser recht neuen Anbauformen (FAKT Blühflächen seit 2015, Linsenkulturen verstärkt wieder seit ca. 10 Jahren) mangelt es bisher an wissenschaftlich validierten Erkenntnissen.

Untersucht wurden naturschutzfachlich bedeutsame Artengruppen, welche unterschiedliche Funktionen im Agrarökosystem wahrnehmen und wichtige Ökosystemdienstleistungen (ÖDL), insbesondere der Schädlingskontrolle und Bestäubung, erbringen. Es wurden folgende funktionellen Gruppen untersucht:

- Primärproduzenten: Vegetation
- Prädatoren am Boden: Laufkäfer und epigäische Spinnen
- Blütenbesucher u. Bestäuber: Bienen und Tagfalter
- Bestäuber Populationen: Populationsentwicklung von Erdhummeln

Da Blühflächen als Maßnahme der Biodiversitätsförderung auf den konventionellen Landbau ausgerichtet und Linsenäcker als potentielle Biodiversitätsfördermaßnahme hauptsächlich im ökologischen Landbau vertreten sind, hat das Projekt auch die Auswirkungen der konventionellen versus ökologischen Landnutzung vergleichend betrachtet. Gleichzeitig sollte festgestellt werden, welche relativen Effekte die entsprechenden Fördermaßnahmen (Blühflächen im konventionellen; Linsen im Ökolandbau) für die jeweilige Anbauform erzielen. Deshalb wurden vergleichend auch Normalkulturen des ökologischen Anbaus (Winterdinkelkultur, *Triticum aestivum* subsp. *spelta* L.) und des konventionellen Anbaus (Winterweizenkultur, *Triticum aestivum* L.) in die Untersuchungen einbezogen.

Für das Projektgebiet im BSG Schwäbische Alb wurde darüber hinaus validiert, welchen konkreten Beitrag konventionelle und ökologisch wirtschaftende

Landwirte durch ihre Bewirtschaftung und Agrarumweltmaßnahmen zur Förderung der Artenvielfalt im Biosphärengebiet leisten. Es kann auf der Basis des vorgeschlagenen Untersuchungsansatzes gezeigt werden, inwiefern sich die unterschiedlichen Ackernutzungen hinsichtlich ihres Beitrags zur Biodiversitätsförderung im Großschutzgebiet unterscheiden oder komplementieren.

Insbesondere sollten folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Fördern Blühflächen die biologische Vielfalt in der konventionellen Landwirtschaft ?
- Fördern Linsenäcker die biologische Vielfalt im ökologischen Landbau ?
- Ist eine Integration oder Segregation von Naturschutz und Landwirtschaft auf Ackerflächen effektiver hinsichtlich der aktuellen Kosten-Nutzen Effizienz ?

Auf Basis der im Projekt erzielten Erkenntnisse sollen abschließend Empfehlungen für die Ausgestaltung zukünftiger Maßnahmen zur Förderung der Biologischen Vielfalt auf Ackerstandorten gegeben werden.

3 Untersuchungsgebiet

Insgesamt wurden in den Jahren 2017 und 2018 jeweils 24 Äcker, somit insgesamt 48 Probeflächen untersucht. Für jeder der vier Kulturen (konventioneller Winterweizen, konventionelle Blühfläche, ökologischer Winterdinkel, ökologische Linse) wurden 12 unterschiedliche Ackerschläge über zwei Jahre beprobt. Die Untersuchungsflächen verteilten sich über die Naturräume Mittlere Kuppen- und Flächenalb der Landkreise Esslingen, Reutlingen und Alb-Donau-Kreis (Abb. 1). Der überwiegende Teil der Untersuchungsäcker (36 von 48) befanden sich im Naturraum Mittlere Flächenalb. Mit Ausnahme von 8 Flächen, welche sich leicht außerhalb der Gebietskulisse befanden, waren alle Flächen innerhalb der Gebietskulisse des BSG Schwäbische Alb (Abb. 1). Die Untersuchungsäcker verteilten sich auf die Gemarkung der Ortschaften:

- **2017:** Münsingen-Bremelau, Münsingen-Bichishausen, Frankenhofen (Ehingen), Granheim (Ehingen), Sirchingen (Bad Urach), Gächingen (St. Johann), Erkenbrechtsweiler sowie Hülben.
- **2018:** Münsingen-Bichishausen, Frankenhofen (Ehingen), Altsteußlingen (Ehingen), Briel (Ehingen), Kochstetten (Hayingen), Aichelau (Hayingen), Ödenwaldstetten (Hohenstein), Bernloch (Hohenstein).

Das Untersuchungsgebiet Schwäbische Alb liegt zwischen 460-860 m NHN. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 6-7°C mit einem mittleren Jahresniederschlag von 700-1000 mm (Fischer et al., 2010). Es herrschen flachgründige, steinige Böden aus Weißjurakalkstein vor, bei den Bodentypen handelte es sich um Rendzina oder auch Pararendzina.

Die vier Untersuchungskulturen werden mit unterschiedlichen Flächenanteilen in Baden-Württemberg angebaut, sind jedoch allesamt im Untersuchungsgebiet mindestens im dreistelligen Hektarflächenbereich und insbesondere im Landkreis Reutlingen relativ weit verbreitet (Tab .1). Die in diesem Projekt als Referenzkultur herangezogene konventionelle Winterweizenkultur ist landes- wie bundesweit die

häufigste Ackerkultur und bedeckt ca. 25 % der landesweiten Ackerflächen. Die FAKT Blühflächen werden im konventionellen Landbau ebenfalls auf sehr großer Fläche und bereits 2017 (zwei Jahre nach Etablierung) von 5511 Landwirten in Baden-Württemberg angebaut (schriftliche Abfrage beim MLR, Juli 2018). Der Anteil des ökologischen Landbaus macht in Baden-Württemberg derzeit ca. 10 % aus. Weder Winterdinkel- noch Linsenkulturen gehören landesweit zu den häufigsten Kulturen des ökologischen Landbaus, allerdings werden beide im Untersuchungsgebiet häufig angebaut. Gerade der Winterdinkel gehört bei Bio-Landwirten (=Landwirte des ökologischen Landbaus) des Untersuchungsgebiets zu den am häufigsten angebauten Kulturpflanzen. Ökologische Linsenkulturen werden derzeit von ca. 80 Landwirten der Erzeugergemeinschaft *Lauteracher-Alb-Feld-Früchte* angebaut und sind derzeit noch eine regionale Besonderheit der Schwäbischen Alb mit einem Anbauschwerpunkt im Bereich der mittleren Kuppen- und Flächenalb.

Tab. 1. Absolute Flächenanteile [ha] der vier Untersuchungskulturen in den drei Landkreisen sowie landesweit (Stand 2017, nach Abfrage beim MLR BW). övF = Anrechnung als ökologische Vorrangfläche im Greening.

Bewirtschaftung	Kultur	Reutlingen	Esslingen	Alb-Donau-Kreis	Baden-Württemberg
Konventionell	Winterweizen	19.822	2.365	13.805	193.449
Konventionell	Blühfläche (ohne öVF)	482	66	400	10.225
Konventionell	Blühfläche (mit öVF)	74	37	140	3.520
Ökologisch	Winterdinkel	769	37	365	5.711
Ökologisch	Linse	178	0	47	379

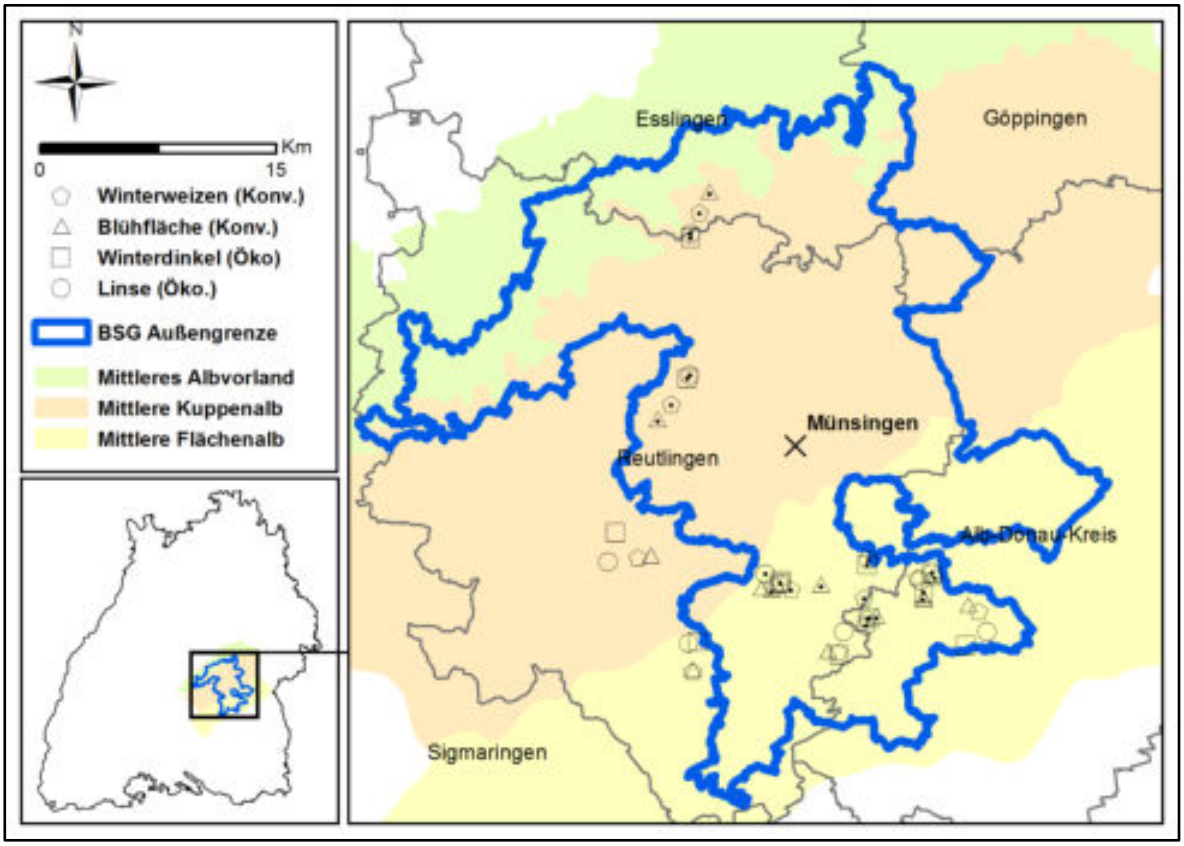

Abb. 1. Lage der 48 Untersuchungskulturen im Jahr 2017 (Symbol mit Punkt) und 2018 (Symbol ohne Punkt) in den Landkreisen (graue Linien) Esslingen, Reutlingen und Alb-Donau-Kreis im Biosphärengebiet (BSG) Schwäbische Alb (blaue Linie) in Baden-Württemberg.

4 Material & Methoden

4.1 Studiendesign

In den Jahren 2017 und 2018 wurden jeweils 4 Untersuchungskulturen in enger räumlicher Beziehung und im selben Landschaftskontext (Landwirte der gleichen Ortschaft, Flächen meist auf gleicher Gemarkung) zu einem Untersuchungsblock zusammengefasst (Abb.2). Ein Untersuchungsblock bestand jeweils aus einer konventionell bewirtschafteten Winterweizenkultur und einer einjährigen FAKT Blühfläche (Brachebegrünung mit Bühmischung) des selben konventionellen Landwirts, sowie einer ökologisch bewirtschafteten Winterdinkelkultur und einer ökologisch bewirtschafteten Linsenkultur, welche wiederum vom selben Biolandwirt bewirtschaftet wurde (Abb. 2). Neben der Bewirtschaftungsweise (konventionell vs. ökologisch) gruppierten sich die vier Untersuchungskulturen auch bezüglich ihres Kulturpflanzentyps, da zwei Wintergetreide (Halmfrucht-) -kulturen (Winterweizen, Winterdinkel) mit zwei Blütenpflanzenkulturen (Linse=blühende Leguminose, Blühfläche=Mischung von 15-18 Blütenpflanzen) verglichen wurden. Insgesamt gab es sechs solcher Untersuchungsblöcke pro Untersuchungsjahr (=24 Untersuchungsflächen pro Jahr) und damit insgesamt 48 Untersuchungsäcker. Damit wurde jede Kultur auf 12 unterschiedlichen Ackerflächen untersucht, was eine ausreichend hohe Stichprobenanzahl für eine statistisch valide, multivariate Auswertung der Daten erlaubt. Die Intensivkultur (konventioneller Winterweizen) wurde als Referenzkultur zur Messung naturschutzfachlicher Aufwertungspotentiale der drei Extensivkulturen (Blühfläche, Winterdinkel, Linse) herangezogen.

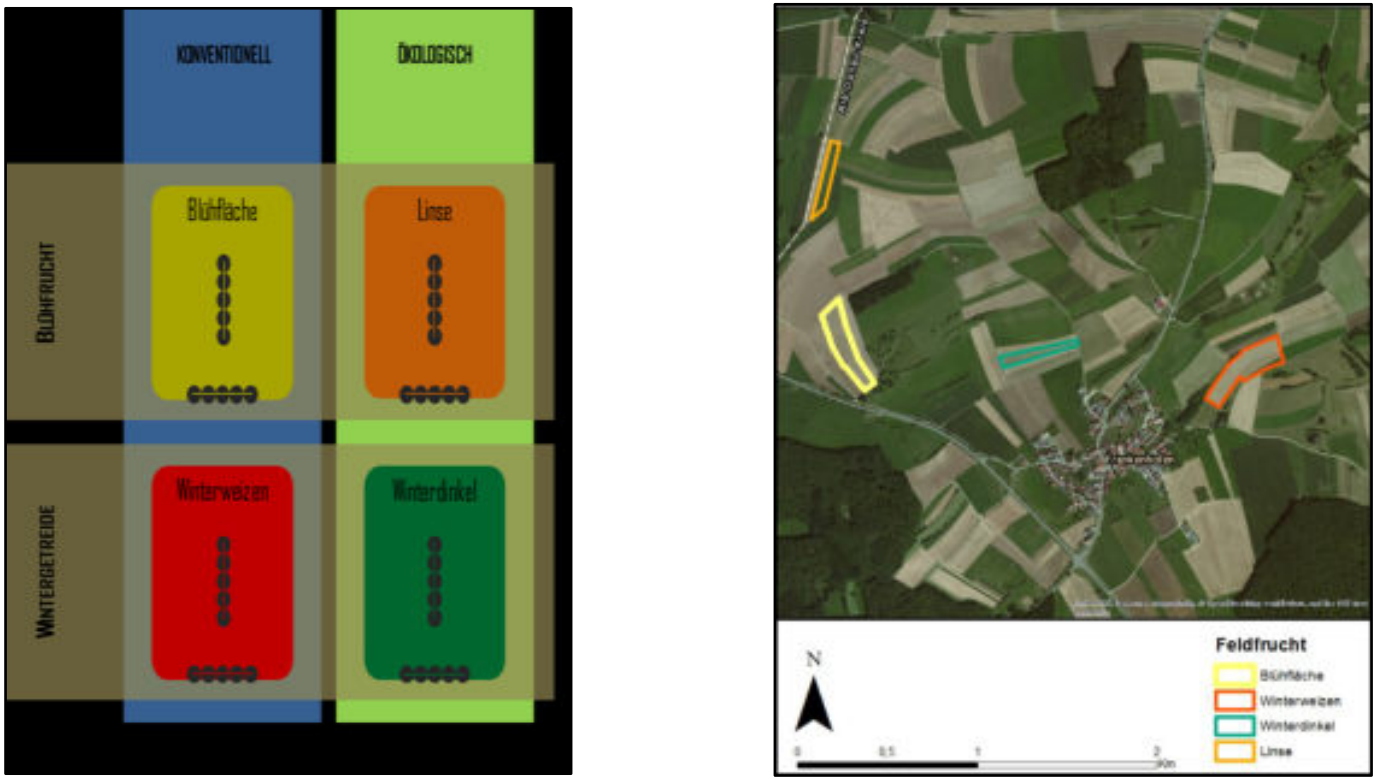

Abb. 2. Schematische Darstellung des Studiendesigns (links) sowie Beispiel eines Untersuchungsblocks in Frankenhofen (rechts). Die vier Untersuchungskulturen wurden jeweils entlang von Transekten am Ackerrand und im Ackerinnenbereich untersucht und gruppierten sich hinsichtlich ihrer Bewirtschaftungsweise (konventionell vs. ökologisch) und des Kulturpflanzentyps (Getreide- vs. blühende Feldfrucht).

4.2 Bewirtschaftungsdaten

In persönlichen Interviews im Rahmen von Vorort-Besuchen der Landwirte wurden Daten zur Bewirtschaftungsweise der einzelnen Untersuchungsäcker abgefragt, um generelle Unterschiede zwischen den Untersuchungskulturen zu identifizieren. Hierbei wurde ein standardisierter Fragebogen verwendet. Die abgefragten Daten dienten in erster Linie als Hintergrunddaten, um unterschiedliche (Biodiversitäts-) Effekte zwischen den Kulturen erklären zu können.

Die beiden Wintergetreidekulturen wurden jeweils im Oktober (des vorherigen Jahres) gesät, währenddessen Linsenkulturen im April und Blühflächen im Mai ausgesät wurden (Tab. 2). Blühflächen müssen nach der FAKT Förderrichtlinie bis spätestens 15. Mai eingesät werden. Dementsprechend war der Zeitpunkt des letzten Bodenumbruchs bei den beiden Sommerungen (Blühfläche, Linsenkultur) kürzer als bei den Wintergetreidekulturen. Dies kann gerade für die Vegetationsentwicklung, aber auch für epigäische Arten, ein wichtiger Faktor sein. Ökologisch bewirtschaftete Kulturen hatten eine diversere Fruchtfolge als konventionelle Kulturen und mineralischer Dünger und chemische Pestizide wurden nur auf Winterweizenflächen angewendet (Tab. 2). Winterweizenkulturen hatten mit Abstand die höchsten Düngegaben und auch die höchsten Erträge pro Hektar. Hinzu kommt, dass ökologische Betriebe in nahezu allen Fällen eine 2-3 jährige Kleegrasmischung in ihrer Fruchtfolge hatten, währenddessen mehrjährige Kulturen von konventionellen Betrieben nicht angebaut wurden. Eine mechanische Unkrautbekämpfung (z.B. durch striegeln oder hacken) fand nur auf Winterdinkelkulturen in substantieller Weise statt.

Linsenkulturen wurden in allen Fällen in Mischkultur mit einer Stützfrucht angebaut, dies war auf fünf Untersuchungsäckern der Hafer (*Avena sativa*), auf drei der Leindotter (*Camelina sativa*) und auf vier Flächen die Gerste (Nackt- oder Braugerste; *Hordeum vulgare*). Bei der von FAKT vorgeschriebenen Saatmischung zur Einsaat der Blühflächen stehen zwei Mischungen (M1 und M2) zur Auswahl. Die Mischung M2 enthält keine Kreuzblütler und keinen Buchweizen und umfasst somit

drei Arten weniger als M1 (Tab. 3). Von den untersuchten Blühflächen waren vier Flächen mit der Mischung M1 und acht mit der Mischung M2 eingesät. Nur zwei Arten der Mischung, Klatschmohn und Kornblume, sind heimische Blütenpflanzen (= keine Neophyten), wobei letzt- genannte Pflanzenart züchterisch verändert ist (gefüllte Blütenköpfe) und somit auch nicht der Wildform entspricht.

Tab. 2. Verschiedene Bewirtschaftungscharakteristika der vier Untersuchungskulturen. Angegeben sind jeweils Mittelwert ± Standardfehler sowie der festgelegte Förderbetrag, welcher derzeit (2015 - 2020) über das Agrarumweltprogram FAKT bezahlt wird.

	Aussaat Termin (Kalender Woche)	Fruchtfolge -glieder (Anzahl)	Düngung (*kg N ha^{-1}*)	Pestizid Anwendung (Anzahl)	Mechanische Unkrautbekämpfung (Anzahl)	Ertrag (*dt ha^{-1}*)	FAKT Förderung (*€ ha^{-1}*)
Winterweizen	40.3 ± 0.3 (Anfang Oktober)	3.9 ± 0.2	179.4 ± 11.4	2.1 ± 0.3	0.1 ± 0.1	70.3 ± 2.7	keine
Blühfläche	18.2 ± 0.2 (Anfang Mai)	3.9 ± 0.2	1.25 ± 1.25	keine	keine	keine	710 *
Winterdinkel	40.9 ± 0.2 (Anfang Oktober)	5.9 ± 0.2	58.5 ± 15.5	keine	1.7 ± 0.2	31.5 ± 1.3	230
Linsenkultur	14.7 ± 0.3 (Mitte April)	5.9 ± 0.2	6.6 ± 3.9	keine	0.2 ± 0.1	9.8 ± 2.2	230

* bei Anrechnung als ökologische Vorrangfläche 330 € pro Hektar

Tab. 3. Zusammensetzung der zwei Saatmischungsvarianten, welche auf den FAKT Blühflächen zulässig sind. Angegeben sind pro Pflanzenart der prozentuale Gewichtsanteil in der Saatmischung und ihr Herkunftsstatus (heimisch (indigene- und archeophytische Pflanzen), nicht-heimisch (Neophyt) in Deutschland).

Artname	Saatmischung M1 [%]	Saatmischung M2 [%]	Status
Anethum graveolens	2	2	nicht heimisch
Borago officinalis	2	3	nicht heimisch
Calendula officinalis	3	6	nicht heimisch
Centaurea cyanus	6	6	heimisch
Coriandrum sativum	3	5	nicht heimisch
Fagopyrum esculentum	22.5	0	nicht heimisch
Foeniculum vulgare	5	5	nicht heimisch
Guizotia abyssinica	2	7.5	nicht heimisch
Helianthus annuus	12	17	nicht heimisch
Linum usitatissimum	4	10	nicht heimisch
Onobrychis viciifolia	5	5	nicht heimisch
Papaver rhoeas	0.5	0.5	heimisch
Phacelia tanacetifolia	10	12	nicht heimisch
Raphanus sativus	2	0	nicht heimisch
Synapis alba	2	0	nicht heimisch
Trifolium incarnatum	8	10	nicht heimisch
Trifolium resupinatum	5	5	nicht heimisch
Vicia sativa	6	6	nicht heimisch
Artenzahl ∑	**18**	**15**	

4.3 Erfassungsmethoden

Alle Artengruppen wurden 2017 und 2018 jeweils im Zeitraum zwischen Ende Mai und Anfang August erfasst. Vegetationsaufnahmen, Spinnen- und Laufkäfererfassungen wurden pro Untersuchungsacker auf denselben Erfassungstransekten durchgeführt. Hierbei betrug der minimale Abstand zwischen Rand- und Zentrumstransekt 15 m als standardisierter Wert für alle Untersuchungsäcker. Laufkäfer und Spinnen wurden mit denselben Bodenfallen erfasst. Wildbienen und Tagfalter Erfassungen fanden auf jeweils anderen Erfassungstransekten jedoch auf denselben Untersuchungsäckern statt. Die Transekte für die Erfassung von Bienen und Tagfaltern wurden ausgehend von Eckpunkten der Randaufnahmeflächen entlang von 1 (Wildbienen) bzw. 2 (Tagfaltern) Ackerrändern (Randaufnahme) bzw. auf der von den Randtransekten begrenzten Ackerinnenfläche (Innenaufnahmen) mit Abstand von mindestens 15 m zum Ackerrand angelegt

4.3.1 Vegetation

Die Vegetation wurde pro Untersuchungsjahr durch dreimalige Erfassungen aller Pflanzenarten (Kultur- und Wildpflanzen) Mitte Juni, Anfang Juli und Ende Juli durchgeführt. Zwischen den Erfassungsrunden lagen mindestens 10 Tage. Dabei wurde deren Bedeckungsgrade nach *Braun-Blanquet* auf 10 Probeflächen á 5 × 1m (je 5 am Ackerrand und -zentrum) abgeschätzt, sowie der mittlere Blühdeckungsgrad und die Vegetationshöhe pro Probefläche ermittelt. Der Abstand zwischen den fünf Probeflächen eines Transekts betrug 10 m. Im Jahr 2018 wurden zusätzliche Übersichtsbegehungen auf jeweils 100 m am Rand- und Zentrum zum Erfassen seltener Ackerwildkräuter durchgeführt.

4.3.2 Laufkäfer und Spinnen am Boden

Laufkäfer und epigäische Spinnen wurden durch zweimalige Erfassungen von jeweils 10 Tagen mit 10 Bodenfallen pro Untersuchungsacker (je 5 am Ackerrand und -zentrum) im Juni und Juli 2017 und 2018 durchgeführt. Als Bodenfalle fungierte eine PVC Röhre (Ø ca. 7.2 cm), welche mit einem 200 ml *PE*-Trinkbecher (Ø ca. 7.1 cm) bestückt wurde (Abb. 3). Als Fangflüssigkeit wurde 100 ml Ethylenglykol im Mischungsverhältnis von 1:2 mit Wasser verwendet, als Konservierungsflüssigkeit der Proben diente Ethanol. Die Fallen wurden jeweils mit einem kleinen Dach (ca. 10 × 10 cm zugeschnittene Pressspannplatte) vor Regen geschützt und ein zugeschnittenes Drahtgitter (2 cm Maschenweite) diente als Präventionsmaßnahme gegen Beifänge von Kleinsäugern.

Abb. 3. Photographische Darstellung einer Bodenfalle zum Fang von Laufkäfern und Spinnen (© Frederik Schüttler).

4.3.3 Spinnen in der Vegetation

Spinnen wurden zusätzlich durch zweimalige Kescherfänge im Juni und Juli 2017 mit 2 x 50 Kescherschlägen pro Untersuchungsacker erfasst. Bereits beim Sortieren der Fänge zeigten sich jedoch sehr geringe Spinnenabundanzen mit überwiegend juvenilen Exemplaren (nicht auf Artniveau bestimmbar). Zudem zeigte sich beim Keschern, dass auf Grund des stark unterschiedlichen Vegetationswiderstands der

vier Untersuchungskulturen keine valide vergleichbaren Erfassungen möglich sind. Daher wurde diese Erfassungsmethode 2018 nicht wiederholt, sondern in Absprache mit der Stiftung Naturschutzfonds BW sowie der Naturschutzverwaltung (RP Tübingen) durch eine Untersuchung zur Populationsentwicklung von Erdhummelvölkern ersetzt. Die Ergebnisse der Kescherfänge von Spinnen wurden auf Grund der methodischen Schwierigkeiten nicht in den Endbericht integriert, da sie keine wissenschaftlich validen Erkenntnisse darstellen und ansonsten zu Fehlinterpretationen führen könnten.

4.3.4 Tagfalter

Die Tagfalter wurden entlang von Transekten erfasst. Jeweils 2 Transkete am Ackerrand und im Ackerzentrum, Abstand des Randtransektes vom Ackerrand maximal 5 m. Begehungsdauer pro Transekt jeweils 5 Minuten, zurückgelegte Distanz dabei etwa 75 m. Die Erfassung erfolgte in der Regel im Flug mit bständen von 5 zu beiden Seiten des Transektes. Im Flug nur schwer bestimmbare Arten wurden gefangen, lebend bestimmt und wieder freigelassen.

4.3.5 Bienen

Die Erfassung der Wildbienen erfolgte nach der Punkt-Stopp-Methode in jedem Acker auf einem Rand- und einem Innentransekt. Der erste Haltepunkt im Transekt wurde zufällig bestimmt, weitere Haltepunkte in jeweils 10 m Abstand vom ersten Haltepunkt. An den Haltepunkten zunächst die vorhandenen Blüten im Umfeld von jeweils 2,5 m erfasst, dann die Bienen über einen Zeitraum von 5 Minuten. Fang der Bienen mit Kescher oder Exhaustor. Entnahme von Exemplaren, die im Gelände nicht bestimmbar waren bzw. optisch nicht mit Sicherheit einer „Feldart“ zugeordnet werden konnten.

Populationsentwicklung von Erdhummeln (*Bombus terrestris*):

Das erhöhte Blühangebot in den Extensivkulturen, insbesondere das Massenblühangebot der Blühflächen, kann zu Sogwirkungen auf Bienenindividuen aus der umgebenden Landschaft führen, sodass sich die Aktivität auf diesen Flächen akkumuliert, jedoch ohne zu höheren Gesamtbeständen zu führen. Dies wäre der Fall, wenn Bienen auf den Flächen auftreten, jedoch in der Folge kein erhöhtes Populationswachstum zeigen. Da das Populationswachstum an wildlebenden Wildbienenbeständen nur schwerlich zu standardisieren und nur mit erheblichem Mehraufwand zu untersuchen ist, wurden gezüchtete (jedoch heimische) Erdhummelvölker als Indikatorart für häufige und mobile Bienen in Agrarlandschaften untersucht.

Dazu wurden je zwei heimische Erdhummelvölker von einem süddeutschen Züchter (R. Schwenk, *STB Control*) in ihrer initialen Wachstumsphase (Königin und ca. 30 Arbeiterinnen) von Ende Juni bis Ende Juli 2018 (5 Wochen) am Rand eines jeden Untersuchungsfeldes aufgestellt (Abb. 4). Nach Ablauf der fünf Wochen wurden die Völker wieder aus der Natur entnommen, noch bevor geschlechtsreife Tiere entwickelt waren. Es wurde wöchentlich das Gewicht der Völker gemessen, außerdem die Körpergröße von 15 zufällig entnommenen Arbeiterinnen pro Volk. Zur Messung des Bruterfolges wurden die Königinnenbrutzellen gezählt. Außerdem wurde von je einem Volk pro Standort je 10 Pollenproben entnommen und diese von der Landesanstalt für Bienenkunde an der Universität Hohenheim (Dr. Dr. Horn, Dr. Alkattea) analysiert. Auf diese Weise lässt sich ermitteln, welche Blütenpflanzen von den Erdhummeln überwiegend als Pollenquelle genutzt wurden.

Abb. 4. Zwei Hummelvölker in Kartons, welche an jedem Untersuchungsfeld platziert wurden. Die Kartons wurden durch Dach und Palette von Feuchtigkeit und Sonne geschützt; rechts: Erdhummel im Ausflugsloch.

4.4 Auswertung

Die erfassten Daten wurden für einfache deskriptive Darstellungen und Analysen in MS EXCEL analysiert. Für komplexere statistische Analysen und Graphiken wurde die Software *R* verwendet (R Development Core Team, 2017). Um dem wissenschaftlichen Anspruch zu genügen, das Beste zur Verfügung stehende Wissen zu nutzen, wurden für die Auswertung der Vegetation und Laufkäferfauna zusätzlich vorhandene Datensätze aus dem Jahr 2016 miteinbezogen. Diese wurden in einer Vorstudie der Hochschule Nürtingen im gleichen Untersuchungsgebiet und Studiendesign erhoben.

Zur Datenanalyse wurde für jede Artengruppe alle Erfassungsrunden eines Jahres pro Erfassungstransekt zusammengefasst (Summe der Individuen pro Art aus allen Erfassungsrunden). Außerdem wurden die fünf Bodenfallenfänge (Laufkäfer und Spinnen) pro Erfassungstransekt zusammengefasst. Bei den Vegetationsaufnahmen wurden die Deckungsgrade der einzelnen Pflanzen über die fünf Erfassungsplots pro Transekt sowie die drei Erfassungsrunden gemittelt (arithmetischer Mittelwert).

Die hohe Stichprobenanzahl (n=12) erlaubt eine statistisch valide, multivariate Auswertung der Daten. Um statistisch signifikante Unterschiede bezüglich der Abundanz, der Artenzahl und der Shannon-Diversität zwischen den Kulturen und Transekten zu untersuchen, wurden jeweils lineare gemischte Modelle (*lmer*) berechnet mit festen („fixed “) und zufälligen („random“) Faktoren, entsprechend vergleichbarer aktueller Forschungsstudien (z.B. Batary et al., 2010; Gayer et al., 2019). Gemischte Modelle werden bei ökologischen Studien mit genestetem Studiendesign, wie es auch in dieser Studie vorliegt, häufig angewandt.
Es wurden die Zusatzpackete *vegan* (Oksanen et al., 2014) und *lme4* (Bates et al., 2015) in R herangezogen. Die Faktoren „Ortschaft“, „Landwirt“ und „Kulturpflanzentyp“ (Getreide-, Blühkultur) wurden entsprechend dem genesteten Studiendesign (Abb. 2) als zufällige Faktoren in das lineare gemischte Model integriert. Die Kulturart und die Transektposition wurden als feste Faktoren (erklärende Variablen) in das Model integriert. Außerdem wurden die Modelle auf Normalverteilung und Heteroskedastizität überprüft. Lag keine Normalverteilung (auch nach Log- oder Quadratwurzeltransformierung der Daten) vor, wurde ein generalisiertes lineares Model (*glmer*) berechnet mit Poisson- oder nicht binomialer Verteilung der Daten.

Um statistisch zu untersuchen, welche der Arten eine spezifische Präferenz für eine der Untersuchungskulturen hat, wurde eine Indikatorenwert-Analyse mit Hilfe des Zusatzpakets *indicspecies* und der Funktion *multipatt* in R durchgeführt (de Caceres & Jansen, 2016). Dabei wird statistisch überprüft, welche Arten auf Grund ihrer Auftretungsverteilung eine statistisch signifikante Spezifität und Sensitivität für eine Untersuchungskultur zeigen und damit signifikant mit einer Kultur assoziiert sind. Das Verfahren wurde bereits von einigen aktuellen Studien zur Identifikation von charakteristische Arten herangezogen (z.B. Rivers et al., 2017).

Auf einen prinzipiell sinnvollen Vergleich der Ähnlichkeit der Artengemeinschaften (z.B. *Jaccard- oder Renkonen Index*) als ein Beta-Diversitätsmaß wurde auf Grund der sehr unterschiedlichen Abundanz und Artenzahlen zwischen den Kulturen verzichtet, da solche Ergebnisse ökologisch

kaum sinnvoll zu interpretieren sind. Zudem wird bei dieser Studie bereits bei Betrachtung der Dominanzstruktur über absolute Häufigkeit und Stetigkeit der Arten deutlich, dass die Kulturen für alle Artengruppen eine sehr ähnliche Dominanzstruktur aufweisen. Wie es für Ackerstandorte typisch ist, dominieren meist wenige, sehr häufige Arten die Artengemeinschaften aller Kulturen.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Vegetation

5.1.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden in den drei Erfassungsjahren **172** Wildpflanzenarten nachgewiesen (ohne Kulturarten und Arten der Blühmischung). Weitere 19 Taxa konnten nur als Gattung oder Familie beschrieben werden. Im Mittel wurden pro Erfassungstransekt (Ackerrand, Ackerzentrum) über alle drei Erhebungsrunden 26,0 ± 1,1 (Mittelwert ± Standardfehler) Pflanzenarten nachgewiesen. Nur 9 Pflanzenarten traten mit einer Stetigkeit von größer 66 % auf, waren also in mindestens zwei Drittel aller Erfassungstransekte vertreten. Dies waren allesamt für Ackerstandorte typische Pflanzenarten, welche unempfindlich hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzungsintensität sind und häufig als Problemunkräuter (nach Hofmeister & Garve, 2006) in Erscheinung treten können: *Alopecurus myosuroides*, *Cirsium arvense, Convolvulus, arvensis, Fallopia convolvulus, Galium aparine, Geranium dissectum, Polygonum aviculare, Veronica persica und Viola arvensis.*

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich absoluter Artenanzahl und Stetigkeit
Insgesamt wurden in Winterweizenkulturen 81 Ackerwildpflanzenarten nachgewiesen, auf Blühflächen 100 Arten, auf Winterdinkelkulturen 132 Arten und auf Linsenkulturen 122 Arten. Es wurden 161 unterschiedliche Arten am Ackerrand und 122 Arten im Ackerzentrum (Innenbereich des Ackerschlages) erfasst. Damit waren die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen (ökologisch vs. konventionell) größer als sonstige Unterschiede zwischen den Kulturen, mit höheren Artenzahlen auf ökologisch bewirtschafteten- (Winterdinkel und Linsen) wie auf konventionellen Ackerflächen (Blühflächen, Winterweizen). Von den insgesamt 172 Arten traten lediglich 3 Arten ausschließlich auf Winterweizenkulturen auf, dagegen 12 Arten explizit auf Blühflächen, 19 Arten explizit auf Winterdinkelkulturen und 17 nur auf Linsenkulturen.

Die mittlere Stetigkeit der Arten in den Untersuchungskulturen war in Winterweizenkulturen mit 7,1 ± 1,0 Arten geringer als in Blühflächen (16,9 ± 1,8), Winterdinkel-(15,7 ± 1,6) und Linsenkulturen (17,7 ± 1,9). Insgesamt traten nur wenige Pflanzenarten mit einer hohen Stetigkeit auf (nur 21 von 172 Arten mit >= 50 % Stetigkeit). Die vier Kulturen zeigten eine hohe Ähnlichkeit in Bezug auf die dominantesten (größte Stetigkeit) Arten (Tab. 4). Der Anteil von Problemunkräutern war dabei auf allen Kulturen hoch, mit etwas höherem Anteil auf den beiden konventionellen Kulturen im Vergleich zu den ökologisch bewirtschafteten Kulturen (Tab. 4).

Tab. 4. Prozentuale Stetigkeit [%] aller Wildpflanzenarten mit mindestens 50% Stetigkeit über alle Flächen (= 21 Arten). Fett gedruckte Artnamen markieren Problemunkräuter nach Hofmeister & Garve, (2006). Fett markierte Prozentwerte markieren Arten, welche unter den 10 stetigsten Arten der jeweiligen Kultur sind.

Pflanzenart	Winterweizen	Blühfläche	Winterdinkel	Linse
Alopecurus myosuroides	**61**	**92**	72	75
Campanula rapunculoides	25	75	39	67
Capsella bursa-pastoris	25	75	39	67
Chenopodium album	22	**83**	31	83
Cirsium arvense	**58**	72	**78**	**94**
Convolvulus arvensis	**67**	**83**	**94**	83
Fallopia convolvulus	42	69	**83**	**94**
Galium aparine	**75**	61	**94**	72
Geranium dissectum	42	**86**	75	78
Lamium purpureum	22	78	33	81
Lapsana communis	19	42	64	**89**
Myosotis arvensis	19	47	**92**	83
Phleum pratense	39	36	**81**	61
Polygonum aviculare	**56**	**81**	**89**	**94**
Sonchus asper	31	**86**	56	**89**
Stellaria media	22	56	69	83
Taraxacum officinale	**47**	72	64	69
Thlaspi arvense	8	**86**	64	**92**
Trifolium repens	14	33	**83**	75
Veronica persica	**67**	**89**	**81**	**92**
Viola arvensis	42	**92**	**92**	**97**

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich relativer Deckungsgrade von Kulturpflanzen, Problemunkräutern und sonstiger Begleitvegetation

Im Winterweizen war die Dichte der Kulturpflanze mit ca. 94 % deutlich höher als in allen anderen Kulturen (Abb. 5). Linsenkulturen hatten insgesamt die niedrigste Kulturpflanzendichte (61%), wobei beide Getreidekulturen höhere Kulturpflanzendichten erreichten als die beiden Blühkulturen. Die eingesäte Blühmischung (FAKT Mischung M1 oder M2) bedeckte im Mittel ca. 68 % der Fläche. In Winterweizenkulturen zeigten sich mit deutlichem Abstand die geringsten Deckungsgrade der Wildpflanzen mit im Mittelwert ca. 6 % Bedeckung, wobei es sich bei der Hälfte dieser Arten (3%) um Problemunkräuter handelte (Abb. 5). Auf den Blühflächen zeigte sich mit 32 % Ackerwildkrautbedeckung ein im Vergleich deutlich größerer Wildpflanzenbestand, wobei mit 18 % auch der Anteil an Problemunkräutern deutlich zunahm. Auch bei den beiden ökologisch bewirtschafteten Kulturen Winterdinkel und Linse zeigten sich im Vergleich zum Winterweizen deutlich geringere Kulturpflanzendichten sowie höhere Bedeckungsgrade der Ackerwildpflanzen und Problemunkräuter. Der relative Anteil von Problemunkräutern an der Begleitflora war in den konventionell bewirtschafteten Kulturen etwas höher als in den ökologisch bewirtschafteten Kulturen. Auch im Vergleich zwischen den Getreide- und Blühkulturen zeigte sich ein höherer Deckungsanteil an Ackerwildpflanzen und Problemunkräutern.

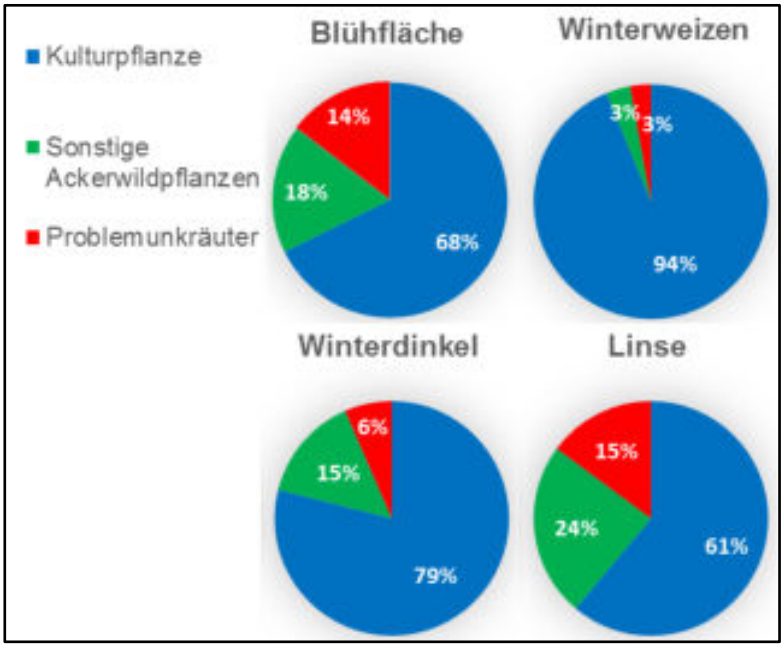

Abb. 5. Prozentuale Deckungsgrade (Mittelwerte) der Kulturpflanze im Vergleich zu Problemunkräutern und sonstigen Ackerwildpflanzen.

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich Blühangebot und Höhe der Vegetation

Das Blühangebot (Blühaspekt krautiger Blütenpflanzen) war insgesamt auf den Blühflächen am größten, jedoch zeigten auch Linsenäcker ein im Vergleich zu den beiden Getreidekulturen deutlich erhöhtes Blühangebot (Abb. 6). Auffallend war hierbei insbesondere die unterschiedliche Entwicklung der Blühaspekte von Blühflächen und Linsenkulturen zwischen Juni und Ende Juli (Abb. 6). Während Linsenäcker zwischen Mitte – Ende Juni ihr höchstes Blühangebot erreichten und sich danach ein deutlicher Rückgang auf Grund der sich fortschreitend dichter verzweigenden Linsenpflanzen zeigte, hatten Blühflächen erst ab Anfang Juli einen größeren Blühaspekt auf Grund der späten Aussaat der Blühmischung (Anfang-Mitte Mai). Somit komplementierten sich die beiden Blühkulturen in ihrem Blühangebot in den Monaten Juni und Juli.

Die mittlere Höhe der Kulturpflanzen war in Winterdinkelkulturen am höchsten (115 ± 3 cm), gefolgt von Winterweizenkulturen (70 ± 2 cm), Linsenkulturen (52 ± 2 cm) und Blühflächen (46 ± 3 cm). Dagegen war die mittlere Höhe der Ackerwildpflanzen in Linsenkulturen am höchsten (45 ± 3 cm), gefolgt von

Winterweizenkulturen (37 ± 4 cm), Blühflächen (33 ± 3 cm) und Winterdinkelkulturen (27 ± 2 cm). Beim Vergleich der Kulturpflanzen- mit der Ackerwildpflanzenhöhe wurde ersichtlich, dass die beiden Getreidekulturen (Winterweizen, Winterdinkel) ihre jeweiligen Ackerwildpflanzenbestände deutlich überragten, während bei den Blühkulturen (Blühfläche und Linse) die Höhenunterschiede nur marginal waren. Somit war in Winterweizen- und Winterdinkelkulturen die Sichtbarkeit und Zugänglichkeit zum Blühangebot der Wildpflanzen insbesondere für die blütenbesuchenden Insekten (Tagfalter und Wildbienen) erschwert, da in diesen Kulturen das vorhanden Blühangebot der Wildpflanzenbestände von den Kulturpflanzen deutlich überragt wurde.

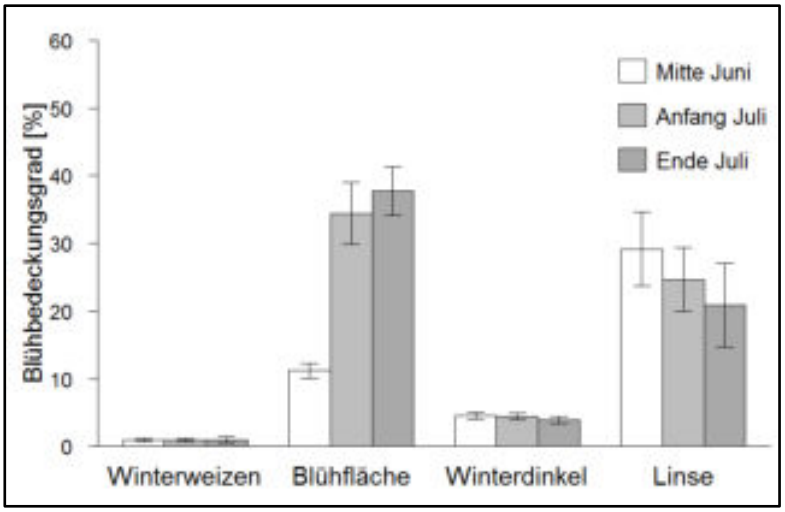

Abb. 6. Mittleres (Mittelwert ± Standardfehler) Blühangebot (Deckungsgrad aller Blüten) der Kulturen zwischen Mitte Juni und Ende Juli (Untersuchungsjahr 2017).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich mittleren Deckungsgraden, Artenreichtum sowie Diversität der Ackerwildpflanzen

Sowohl der Deckungsgrad als auch der Artenreichtum und die Diversität der Ackerwildpflanzen war im Winterweizen niedriger als in den drei Extensivkulturen (Tab .5, Abb. 7). Auf beiden ökologisch bewirtschafteten Kulturen zeigte sich darüber hinaus im Vergleich zu den konventionellen Blühflächen ein signifikant höherer Artenreichtum und auch eine höhere Diversität. Die Deckungsgrade der Begleitflora waren nur auf Linsen-, nicht aber auf Winterdinkelkulturen höher als auf Blühflächen.

Linsenkulturen hatten signifikant höhere Deckungsgrade als Winterdinkelkulturen, waren jedoch nicht signifikant artenreicher oder diverser. Außerdem waren der Deckungsgrad, der Artenreichtum und die Diversität der Ackerbegleitflora am Ackerrand signifikant größer als im Innenbereich eines Ackerschlages (Tab. 5, Abb. 7).

Tab. 5. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf Deckungsgrad, Artenreichtum und Diversität (Shannon) der Ackerwildpflanzen. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05.

Abhängige Variable	Vergleichspaar	Schätzwert	p-Wert
Deckungsgrad	W - B	-0.2579	**< 0.0001**
	W - D	-0.196	**< 0.0001**
	W - L	-0.3778	**< 0.0001**
	B - D	0.0619	0.4383
	B - L	-0.1199	**0.0042**
	D - L	-0.1818	**0.0001**
	Z - R	-0.0771	**0.0002**
Artenreichtum	W - B	-10.95	**< 0.0001**
	W - D	-18.89	**< 0.0001**
	W - L	-23	**< 0.0001**
	B - D	-7.95	**0.0041**
	B - L	-12.06	**< 0.0001**
	D - L	-4.11	0.099
	Z - R	-10.50	**< 0.0001**
Shannon-Diversität	W - B	-0.463	**0.0035**
	W - D	-0.846	**< 0.0001**
	W - L	-0.961	**< 0.0001**
	B - D	-0.382	0.0465
	B - L	-0.497	**0.0007**
	D - L	-0.115	0.7649
	Z –R	-0.455	**< 0.0001**

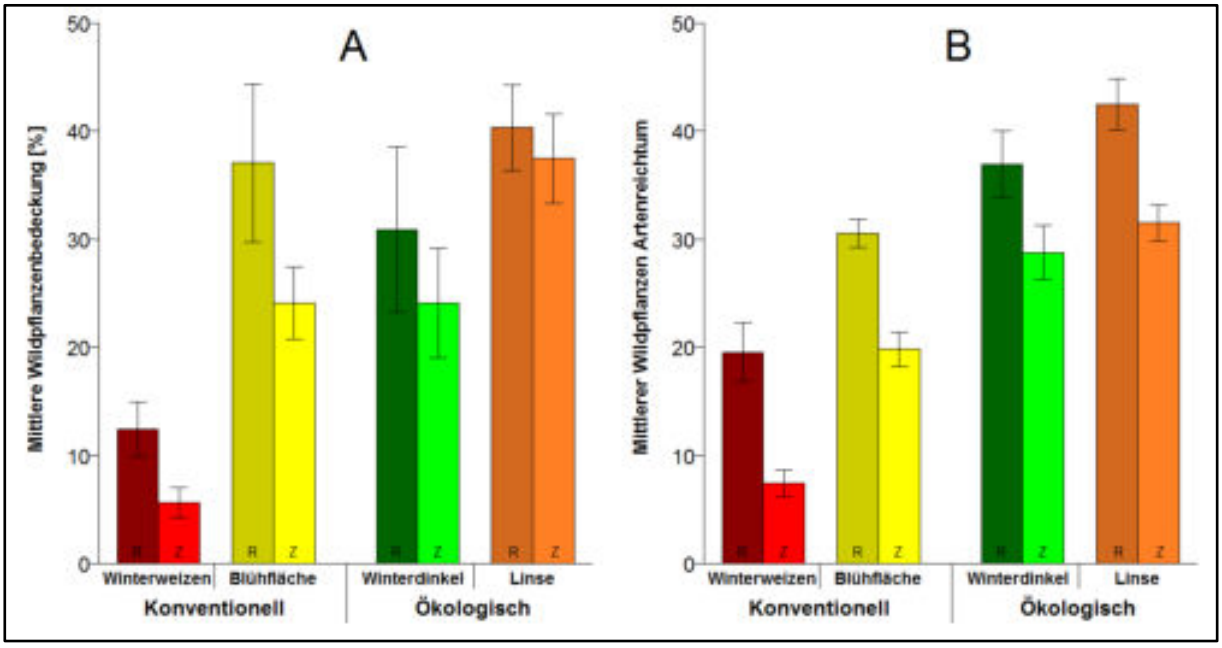

Abb. 7. Mittlerer (Mittelwert ± Standardfehler) Deckungsgrad (A) und Artenreichtum (B) von Ackerwildpflanzen am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18; 2016-2018 zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich Licht- und Nährstoffzeigerwerten

Um die Ackerstandorte in Bezug auf vorherrschende Umweltbedingungen zu charakterisieren, können die Ellenbergschen Zeigerwerte der Pflanzen als Messgröße zur Beschreibung der standörtlichen Gegebenheiten herangezogen werden. Weder die mittlere Lichtzahl der Ackerbegleitflora (Winterweizen (6,7 ± 0,1), Blühflächen (6,6 ± 0,0), Winderdinkel (6,8 ± 0,0), Linsen (6,6 ± 0,0)) noch die mittlere Nährstoffzahl (Winterweizen (6.3 ± 0.1), Blühflächen (6,3 ± 0,0), Winderdinkel (6,1 ± 0,1), Linsen (6,2 ± 0,0)) unterschied sich dabei wesentlich zwischen den Untersuchungskulturen. Die mittleren Größenordnungen (6-7) weisen auf halblichte-, und stickstoffreiche Standorte hin. Da alle Ackerstandorte im Laufe der Fruchtfolge gedüngt und durch dichte Kulturpflanzenbestände am Boden zumindest zeitweise beschattet werden, spiegeln die festgestellten Zeigerwerte die ähnlichen Umweltbedingungen innerhalb der Ackerkulturen wieder. Die übrigen Zeigerwerte (Temperatur, Kontinentalität, Feuchte und Reaktion) werden durch pflanzenbauliche Maßnahmen nicht oder lediglich marginal beeinflusst und charakterisieren damit die vorhandenen Unterschiede in der Bewirtschaftung nicht.

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich gefährdeter Arten

Insgesamt war der Anteil an gefährdeten Pflanzenarten in allen Kulturen gering. Nur 20 von 172 Arten (12%) waren gefährdet oder potentiell schutzbedürftig nach landes- oder bundesweiter Roten Liste (Breunig & Demut, 1999;Ludwig & Schnittler, 1996). Jedoch wiesen die beiden konventionell bewirtschafteten Kulturen (Winterweizen, Blühfläche) eine deutlich geringere Anzahl gefährdeter wie auch potentiell gefährdeter Pflanzenarten auf als die beiden ökologisch bewirtschafteten Kulturen (Winterdinkel, Linse; Tab. 6). Über alle Roten Listen hinweg (regional, landes-, bundesweite Liste) war die Anzahl gefährdeter Arten auf den ökologisch bewirtschafteten Kulturen zwei- bis dreifach höher als auf konventionellen Äckern. Innerhalb einer Bewirtschaftungsform waren die Unterschiede zwischen den Kulturen nur marginal ausgeprägt. Blühflächen wiesen keine erhöhte Anzahl an gefährdeten Arten im Vergleich zu Winterweizenkulturen auf. Auf Linsenäckern wurde mit dem ***Kleinen Frauenspiegel*** (*Legousia hybrida)* die einzige in Baden-Württemberg vom Aussterben bedrohte Pflanzenart der Untersuchung nachgewiesen, jedoch nur an einem Standort. Der stark gefährdete **Venuskamm** (*Scandix pecten-veneris*) wurde lediglich auf Linsen- und Winterdinkeläckern nachgewiesen.

Tab. 6. Absolute Anzahl der gefährdeten Pflanzenarten der Regionalliste Schwäbische Alb, der Roten Liste Baden-Württembergs (beide Breunig & Demut, 1999) und Deutschlands (Ludwig & Schnittler, 1996) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=18 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten differenziert.

Gefährdungskategorie	Schwäbische Alb				Baden-Württemberg				Deutschland			
	W	B	D	L	W	B	D	L	W	B	D	L
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
V	2	1	4	3	1	1	4	4	3	2	6	5
G	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	0	0
R	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
∑ RL 1-3	0	0	2	2	1	1	2	3	1	1	2	2
∑ RL gesamt	2	1	7	7	3	2	7	9	4	3	8	7

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend kann im Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich der Vegetation festgestellt werden:

- Die Ackerwildkrautflora war in allen Kulturen von häufigen, teilweise als Problemunkräuter in Erscheinung tretenden Arten dominiert und wies nur wenige gefährdete Segetalpflanzen auf.

- Das Blühangebot für blütenbesuchende Insekten war in den Blühflächen am höchsten, jedoch auch in Linsenäckern deutlich höher als in den Getreidekulturen. Die Blühaspekte beider Blühkulturen komplementieren sich in den Monaten Juni und Juli.

- Deckungsgrad, Artenreichtum und Diversität der Ackerwildpflanzen war in Winterweizenkulturen deutlich niedriger als in den drei Extensivkulturen und nahm kulturunabhängig vom Ackerrand zum Innenbereich ab.

- Unterschiede in der Bewirtschaftung wirkten sich stärker aus als Kulturpflanzenunterschiede, mit höherem Ackerwildpflanzenreichtum, Diversität sowie mehr gefährdeten Arten auf ökologisch- als auf konventionell bewirtschafteten Kulturen.

5.1.2 Diskussion

Der seit Mitte des 20. Jahrhunderts fortschreitende Rückgang der Segetalvegetation, hat seine primären Ursachen in der Intensivierung der ackerbaulichen Nutzung (Mayer & Leuschner, 2015). Verbesserte Saatgutreinigung, chemische Herbizide, mechanische Unkrautkrautbekämpfung, Düngung, dichtere Kulturpflanzenbestände sowie der Verlust von Saumstrukturen haben ganz wesentlich zur starken Gefährdung typischer Segetalarten wie Kornrade (*Agrostemma githago*), Venuskamm (*Scandix pecten-veneris*) oder Adonisröschen (*Adonis* spec.) beigetragen (Mayer & Leuschner, 2015).

Die negative Auswirkung des konventionellen Ackerbaus auf die Ackerwildpflanzen, wie er auf dem Großteil der landesweiten Ackerflächen (~ 90%) praktiziert wird, spiegelt sich auch in den Ergebnissen dieser Studie wieder. In der Intensivkultur (konventioneller Winterweizen) waren die Ackerwildpflanzenbestände deutlich geringer und von wenigen Problemunkräutern wie Ackerfuchsschwanz (*Alopecrus myosuroides*) oder Klettenlabkraut (*Galium aparine*) dominiert, welche erfolgreich an die Intensivlandwirtschaft angepasst und nur schwer durch Pflanzenschutzmaßnahmen zu bekämpfen sind. Die Beschattung durch einen sehr dichten Kulturpflanzenbestand sowie der Einsatz von chemischen Pestiziden und mineralischen Düngemitteln sind hierbei vermutlich ursächlich für eine äußerst arten- und deckungsarme Segetalflora der untersuchten Winterweizenfelder.

Bei der Anlage von Blühflächen im konventionellen Anbau wird einjährig auf Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Düngung oder Pflanzenschutzmaßnahmen verzichtet. Die Studie zeigt, dass dies einen im Vergleich zur konventionellen Normalnutzung schwach positiven Effekt auf die Ackerwildpflanzen hat. Dies betrifft jedoch lediglich häufige und teils problematische Ackerwildkräuter und nicht naturschutzfachlich wertgebende Arten. Eine verarmte Samenbank als Folge der konventionellen Bewirtschaftungshistorie sowie die Unterdrückung von Beikräutern durch die eingesäte Blühmischung könnten die Ursachen für diese geringen Effekte sein. Insgesamt stellt die Einsaat von einjährigen Blühflächen im konventionellen Landbau damit keine geeignete Maßnahme zur Förderung der heimischen

Ackerwildkrautflora dar. Auch mehrjährige Blühflächen versprechen dabei keine besseren Ergebnisse, da die meisten Ackerwildkräuter auf eine regelmäßige Bodenbearbeitung angewiesen bzw. daran angepasst und wenig konkurrenzstark gegenüber mehrjährigen Pflanzenbeständen sind.

Größere Effekte zeigten sich bei der ökologischen Bewirtschaftung, welche sich positiv insbesondere auf die Artenzahl, Diversität sowie auf das Auftreten gefährdeter Ackerwildpflanzen auswirkte. Der Anbau von Linsenkulturen wirkte sich hierbei positiv auf die Deckungsgrade und das Blühangebot und in geringerem Maße auf den Artenreichtum der Segetalflora aus, da 17 Pflanzenarten (inkl. einer vom Aussterben bedrohten Art) ausschließlich auf Linsenäckern vorkamen. Die längere und diversere Fruchtfolge, der dauerhafte Verzicht von chemischen Pestiziden und mineralischen Düngemitteln sowie die geringeren Kulturpflanzendichten bedingen die positiven Effekte des ökologischen Ackerbaus auf die Ackerwildkrautflora. Nach den Kriterien des ökologischen Landbaus wirtschaftende Betriebe leisten damit einen erkennbaren Beitrag zum Erhalt einer vielfältigen Ackerwildkrautflora, welche als Nahrungsressource auch für andere trophische Ebenen, insbesondere Herbivore, von großer Bedeutung sein kann.

Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass der Anteil an ursprünglich typischen und mittlerweile gefährdeten Arten der Segetalflora auch auf den ökologischen Flächen gering ausgeprägt ist. Dies könnte durch die insbesondere im Laufe der letzten 10-15 Jahre verbesserten intensiveren Pflanzenschutzverfahren (z.B. intensive mechanische Unkrautbekämpfung, mehrjährige Kleegrasmischungen) im ökologischen Landbau bedingt sein, sodass seltene Segetalarten auch im ökologischen Landbau oftmals nicht mehr in den Samenbanken der Ackerböden vorhanden sein dürften. Naturschutzfachlich lassen sich diese seltenen, aber ursprünglich typischen Ackerwildpflanzen daher wohl nur durch gezielte Aussaatprogramme auf Basis geeigneter Spenderflächen (z.B. Schutzäcker) fördern. Eine extensive Ackernutzung, wie die drei extensiven Untersuchungskulturen, erbringt auf Grund der mittlerweile verarmten Samenbanken und fehlender Präsenz dieser Arten im Landschaftskontext wohl keine ausreichende Förderwirkung für sehr seltene Ackerwildpflanzen. Daher tragen ökologische Ackerflächen zur Förderung

einer artenreichen Ackerwildkrautflora bei, können jedoch gezielte Artenschutzprogramme für einzelne Arten nicht ersetzen.

5.2 Laufkäfer

5.2.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden **75.787** Laufkäferindividuen von **97** Arten erfasst. Im Mittel wurden pro Erfassungstransekt (je 5 Fallen am Feldrand sowie im Zentrum) über alle Erfassungsrunden eines Jahres 526,3 ± 28,4 Laufkäferindividuen von 18,3 ± 0,4 Arten erfasst. 80% aller erfassten Laufkäferindividuen verteilten sich auf die vier häufigsten Arten. Dies waren *Pterostichus melanarius* (40% aller Individuen), *Poecilus cupreus (*19%), *Harpalus rufipes* (12%) und *Anchomenus dorsalis* (9%). Insgesamt bestimmen nur 13% der Laufkäferarten 93% aller Individuen, was die Dominanz weniger, sehr häufiger Arten in den Laufkäferzönosen der erfassten Ackerstandorte zeigt.

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich absoluter Anzahl und Stetigkeit
Insgesamt wurden auf Winterweizenkulturen 13.344 Laufkäfer von 71 Arten nachgewiesen, auf Blühflächen 20.882 Laufkäfer von 78 Arten, auf Winterdinkelkulturen 22.989 Laufkäfer von 80 Arten und auf Linsenkulturen 18.572 Individuen von 74 Arten. Die absolute Anzahl erfasster Laufkäferindividuen war damit im Winterweizen erheblich niedriger als in den drei Extensivkulturen, wohingegen die Anzahl der Arten nur geringfügig niedriger war. Es wurden 35.213 Laufkäfer von 94 Arten) am Ackerrand und 40.574 Laufkäfer von 83 Arten im Ackerzentrum erfasst. Damit war die Aktivitätsdichte (Anzahl erfasster Individuen) der Laufkäfer im Ackerinnenbereich höher als am Rand, jedoch kamen im Ackerzentrum weniger Arten vor. Von den insgesamt 97 Arten kamen drei Laufkäferarten ausschließlich auf Winterweizenkulturen, vier Arten nur in Blühflächen, 7 Arten nur in Winterdinkel- und zwei Arten nur auf Linsenäckern vor. Die mittlere Stetigkeit der Arten in den Kulturen betrug 6,0 ± 0,9 in Winterweizenkulturen, 6,7 ± 0,9 in Blühflächen, 7,3 ± 1,0 in Winterdinkel und 7,2 ± 1,0 in Linsenäckern.

Bezüglich der Artenzusammensetzung, gab es auf allen Kulturen ein sehr ähnliches Grundinventar an dominierenden Arten, welche ungeachtet der jeweiligen Bewirtschaftungsform häufig und charakterisierend waren (Tab. 7). Daneben gab es einzelne Arten, die nur auf Äckern einer bestimmten Bewirtschaftungsform besonders häufig waren. Dazu gehörten auf Winterweizenkulturen *Trechus quadristriatum* und *Epaphius secalis,* auf Blühflächen *Brachinus crepitans,* auf Blühflächen und Linsenäckern *Amara littorea,* auf Winterdinkelkulturen *Carabus granulatus*, *Carabus auratus, Poecilus verisicolor* sowie *Loricera pilicornis* und auf Linsenäckern *Amara similata* und *Amara aenae.*

Tab. 7. Absolute und relative Häufigkeit sowie prozentuale Stetigkeit (in Klammern) der 20 häufigsten Laufkäferarten in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L); n=18 je Kultur). Daten über drei Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett= Arten unter den 20 häufigsten Arten der jeweiligen Kultur).

Artname	Relative Häufigkeit [%]	Gesamthäufigkeit	Absolute Häufigkeit			
			W	B	D	L
Pterostichus melanarius	41.0	30837	5357 (100)	7999 (100)	9111 (100)	8370 (100)
Poecillus cupreus	19.2	14520	1713 (100)	4272 (100)	4400 (100)	4135 (100)
Harpalus rufipes	11.5	8708	1638 (97)	2312 (100)	3257 (100)	1501 (100)
Anchomenus dorsalis	8.9	6719	**2077 (92)**	**1200 (86)**	**1756 (94)**	**1686 (97)**
Brachinus crepitans	2.5	1927	28 (11)	**1618 (28)**	**203 (19)**	**78 (11)**
Pterostichus melas	1.5	1165	**41 (25)**	**819 (36)**	**133 (31)**	**172 (39)**
Harpalus affinis	1.5	1152	**161 (56)**	**301 (86)**	**328 (92)**	**362 (81)**
Carabus granulatus	1.4	1034	**229 (81)**	**210 (72)**	**416 (94)**	**179 (86)**
Pterostichus madidus	1.4	1034	**98 (31)**	**471 (39)**	**405 (36)**	**60 (36)**
Poecillus versicolor	1.2	937	**86 (47)**	**198 (81)**	**456 (72)**	**197 (58)**
Carabus auratus	1.1	848	**68 (33)**	**89 (33)**	**469 (67)**	**222 (75)**
Calathus fuscipes	1.0	791	**163 (69)**	**222 (75)**	**303 (67)**	**103 (61)**
Trechus quadristriatum	1.0	791	**435 (64)**	20 (39)	**311 (72)**	25 (28)
Bembidion lampros	0.9	701	**117 (58)**	**159 (81)**	**201 (75)**	**224 (75)**
Amara littorea	0.6	461	12 (14)	**215 (25)**	31 (25)	**203 (50)**
Epaphius secalis	0.6	433	**430 (14)**	1 (3)	1 (3)	1 (3)
Amara similata	0.4	338	12 (11)	**87 (64)**	12 (19)	**227 (61)**
Agonum muelleri	0.4	308	**71 (53)**	**39 (44)**	**129 (50)**	**69 (64)**
Amara aenea	0.3	250	12 (19)	33 (25)	**70 (25)**	**135 (50)**
Loricera pilicornis	0.3	223	**69 (56)**	30 (33)	**104 (50)**	20 (33)

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich mittlerer Aktivitätsdichte, Artenreichtum und Diversität der Arten (Shannon-Index)

Die Aktivitätsdichte der Laufkäfer war auf Blühflächen und Winterdinkelkulturen signifikant höher als auf Winterweizenkulturen, wohingegen Linsenkulturen eine erkennbare (Abb. 8) jedoch nicht statistisch signifikant höhere Aktivitätsdichte als die Intensivkultur aufwiesen (Tab. 8). Die mittlere Anzahl an Laufkäferarten unterschied sich stärker zwischen Ackerrand und -zentrum als zwischen den Kulturen mit signifikant höherem Artenreichtum am Ackerrand in allen Kulturen (Tab.8, Abb. 8). Im Ackerzentrum war der Artenreichtum auf allen drei Extensivkulturen höher als in Winterweizenkulturen. Insgesamt war der Artenreichtum jedoch auf beiden ökologisch bewirtschafteten Kulturen, nicht aber auf Blühflächen, höher als im Winterweizen (Tab. 8).

Die Diversität der Laufkäferzönose war am Ackerrand signifikant höher als im Ackerinnenbereich (Tab. 8). Im Vergleich der Kulturen war die mittlere Diversität der beiden ökologischen Kulturen höher als auf den konventionellen Kulturen, wobei ein signifikanter Unterschied lediglich zwischen Winterdinkel- und Winterweizenkulturen festgestellt wurde.

Tab. 8. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf die Aktivitätsdichte, Artenreichtum und Diversität (Shannon) von Laufkäfern. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05.

Abhängige Variable	Kulturvergleich	Schätzwert	*p*-Wert
Aktivitätsdichte [a]	W - B	-0.2276	**0.0072**
	W - D	-0.2623	**0.0092**
	W - L	-0.1601	0.2560
	B - D	-0.0348	0.9762
	B - L	0.0675	0.8069
	D - L	0.1022	0.3624
	Z - R	-0.0572	0.0913
Artenreichtum [b]	W - B	-0.1313	0.1062

	W - D	-0.2084	**0.0081**
	W - L	-0.1851	**0.0255**
	B - D	-0.0771	0.6193
	B - L	-0.0538	0.8349
	D - L	0.0234	0.9725
	Z - R	-0.222	**<0.0001**
Shannon-Diversität	W - B	-0.0246	0.9845
	W - D	-0.1856	**0.0200**
	W - L	-0.1605	0.1597
	B - D	-0.161	0.1576
	B - L	-0.1359	0.1321
	D - L	0.0251	0.9833
	Z - R	-0.348	**<0.0001**

[a] Log transformierte Werte für Modelkalkulation genutzt.

[b] Generalisiertes lineares Model für Modelkalkulation genutzt.

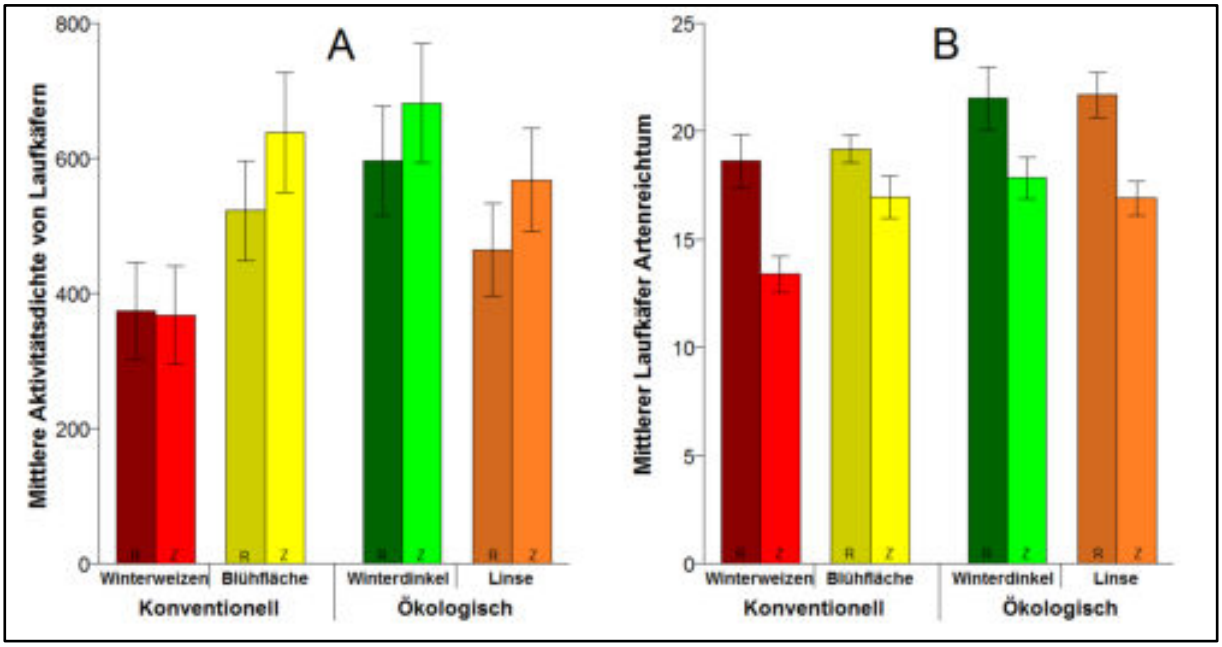

Abb. 8. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Aktivitätsdichte (A) und Artenreichtum (B) von Laufkäfern am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich gefährdeter Arten

Nur 6 % aller erfassten Laufkäferarten weisen einen Gefährdungsstatus (Status:1-3), nach bundes- oder landesweiter Roten Liste auf (Trautner, 2005). 18 % aller erfassten Arten sind gefährdet und potentiell schutzbedürftig (Status: V, G, R). In allen Kulturen traten nur wenige gefährdete Arten auf und diese stets mit sehr geringer Stetigkeit, sodass es, bezogen auf die jeweilige Kultur, vermutlich zufällige Funde waren (Tab. 9).

Wesentliche Unterschiede zeigten sich in erster Linie für Arten der Vorwarnliste. Hierbei war die Arten- und Individuenzahl in der Intensivkultur niedriger als in den drei Extensivkulturen, wobei die ökologisch bewirtschafteten Kulturen etwas mehr Arten aufwiesen als Blühflächen. Die absolute Abundanz (Summe aller Individuen) wie auch die mittlere Aktivitätsdichte der in Baden-Württemberg gefährdeten (inkl. potentiell gefährdeten) Arten war auf Blühflächen und Linsenkulturen höher als auf den beiden Getreidekulturen (Tab. 9, Abb. 9). Dies war im Wesentlich von der Art ***Amara littorea*** geprägt, welche **65%** zur Gesamtzahl an gefährdeten Individuen beiträgt. Bundesweit gefährdete Laufkäfer hatten in Blühflächen den höchsten Wert. Allerdings war dies im wesentlich durch die Art ***Brachinus crepitans*** geprägt (75% aller Individuen), welche in einzelnen Standorten in sehr großen Dichten anzutreffen war, mit nur 28% Stetigkeit jedoch auch nicht als charakteristisch für diese Kultur gelten kann. Dennoch lebt die Art räuberisch von *Amara*-Larven und indiziert damit die Präsenz pflanzenfressender Laufkäfer im System. Insgesamt zeigen somit vor allem Blühflächen und Linsenkulturen und in geringerem Maße auch Winterdinkelkulturen positive Wirkungen auf in Baden-Württemberg und Deutschland gefährdete Laufkäferarten.

Tab. 9. Absolute Anzahl gefährdeter Laufkäferarten der Roten Liste Baden Württembergs und Deutschlands (beide Trautner et al., 2005) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=18 je Kultur). In der Summierung wird zwischen

gefährdeten (1-3) und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten (V – R) differenziert, sowie die Summe aller Laufkäferindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben.

Gefährdungskategorie	Baden-Württemberg				Deutschland			
	W	B	D	L	W	B	D	L
1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	2	2	2	0	0	0	0
3	1	2	1	2	2	3	2	3
V	5	6	9	9	5	8	10	11
G	1	1	1	1	0	0	0	0
R	0	0	0	0	1	0	0	0
∑ RL 1-3	3	4	3	4	2	3	2	3
∑ RL gesamt	9	11	13	14	8	11	12	14
∑ Individuen	38	326	89	253	53	1723	252	119

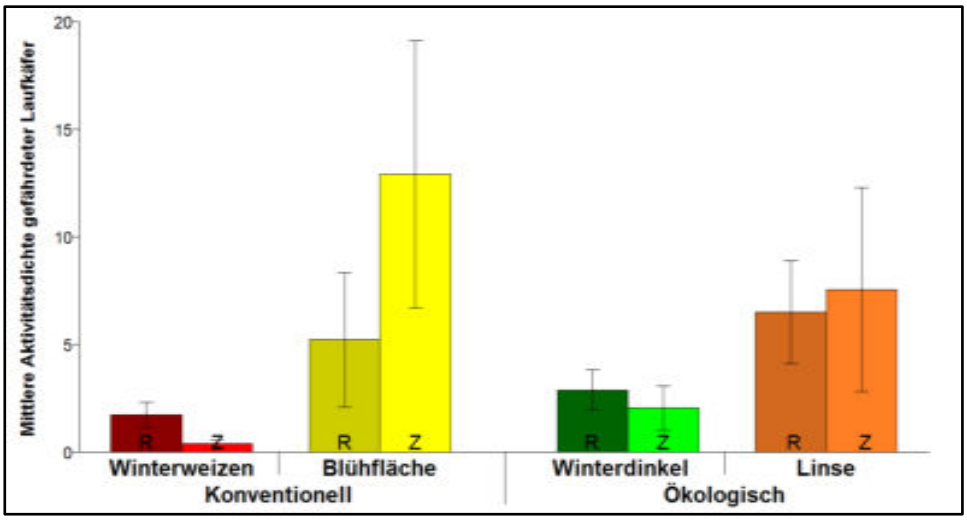

Abb. 9. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Aktivitätsdichte gefährdeter Laufkäfer (nach Roter Liste BW) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18 je Kultur, alle Erfassungsjahre zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich Nahrungstypen und charakteristischer Arten

Laufkäferarten können unterschiedlichen Fraßtypen zugeordnet werden (hier nach Larcholle 1990). Deren relativer Anteil in der Laufkäferzönose kann auf die

unterschiedliche Nahrungsverfügbarkeit (Qualität und Quantität) eines Lebensraums hinweisen. In Ackerlebensräumen kann vor allem das Angebot an pflanzlicher Nahrung (insbesondere Wildpflanzensamen) limitiert sein, wohingegen tierische Nahrung wie Schadinsekten (z.B. Blattläuse) und Bodenorganismen (z.B. Springschwänze) meist auch bei intensiver Bewirtschaftung wenig limitiert ist.

In allen vier Untersuchungskulturen war der Anteil der rein karnivoren Arten am größten, gefolgt von omnivoren- und rein herbivoren Arten (Abb. 10). In der Intensivkultur (Winterweizen) war der Anteil an herbivoren Arten, und in geringerem Maße auch Omnivoren, geringer als auf allen drei Extensivkulturen. Die Extensivkulturen unterschieden sich dagegen nicht wesentlich von einander. Allerdings wiesen alle Extensivkulturen einen höheren Anteil an herbivoren Arten am Ackerrand als im Ackerzentrum auf.

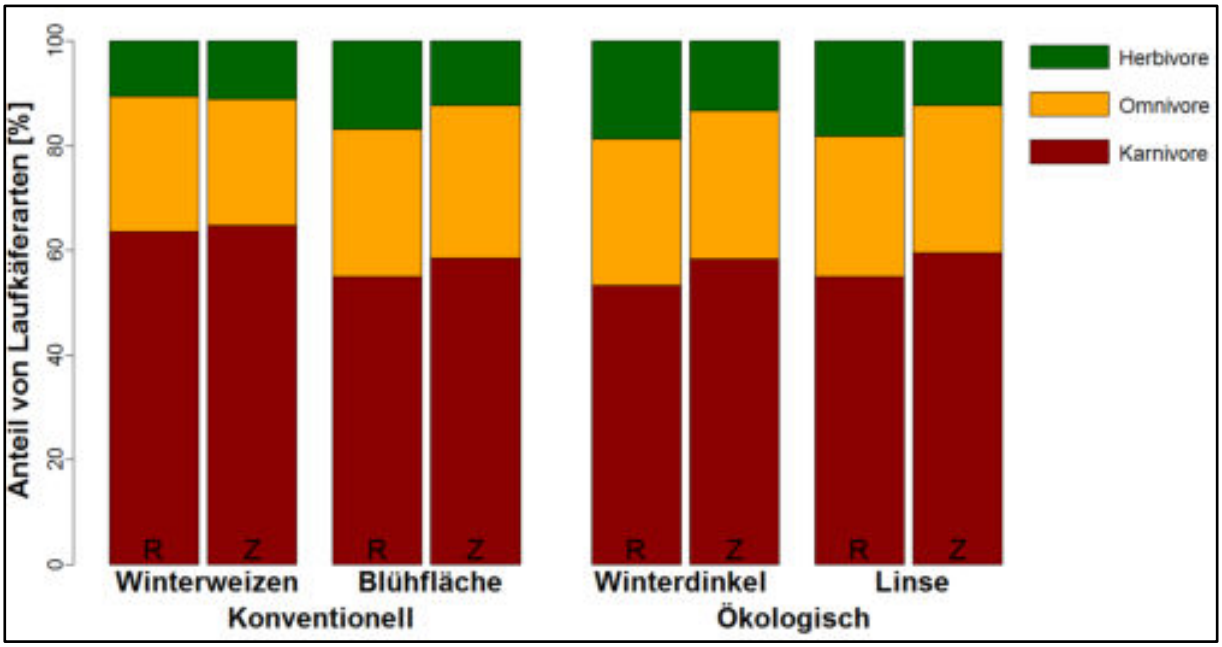

Abb. 10. Dominanzanteil von Fraßtypen in Laufkäfergemeinschaften am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen.

Insgesamt war das Auftreten von 10 der 97 Arten signifikant mit einer oder mehreren Untersuchungskulturen assoziiert, auf Grund einer hohen Spezifität

und/oder Sensitivität für die jeweilige Untersuchungskultur (Tab. 10). Sechs dieser Arten gehören der überwiegend herbivoren (teilweise omnivoren) Gattung *Amara* an, welche in allen Fällen mit Blühflächen assoziiert war. Zwei Arten gelten als potentiell gefährdet und waren mit Blühflächen (*Amara eurynota)* sowie Blühflächen und Linsenkulturen (*Amara littorea*) assoziiert. Die landesweit häufige, jedoch auf Grund ihres Verbreitungsschwerpunktes in Deutschland als Verantwortungsart eingestufte Art *Carabus auratus* zeigte genauso wie die ausschließlich granivore Art *Ophonus azureus* eine Assoziierung mit ökologisch bewirtschafteten Flächen. Bei allen anderen Arten, welche teilweise auch mit der Intensivkultur assoziiert waren, handelt es sich um landesweit häufige Arten mit karnivorer Ernährung, welche wenig sensitiv gegenüber der Bewirtschaftungsintensität sind. Insgesamt stellen somit insbesondere Blühflächen, aber auch ökologisch bewirtschaftete Ackerkulturen für einige sensitive und naturschutzfachlich bedeutende Arten einen vergleichsweise günstigen Lebensraum dar.

Tab. 10. Auflistung aller Laufkäferarten, welche signifikant mit einer Ackerkultur (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D), Linse (L)) oder mehreren Ackerkulturen assoziiert sind (hohe Spezifität und/oder Sensitivität für Kultur) und daher charakteristische Arten für diese Kultur(en) sind. Nicht signifikant assoziierte Arten oder Kulturen sind nicht dargestellt. Fett markiert sind naturschutzfachlich besonders bedeutsame Arten.

Kultur	Indikatorenart	Assoziierungswahrscheinlichkeit	*p-Wert*
B	**Amara eurynota**	0.439	0.015
B + L	Amara similata	0.762	0.015
	Amara littorea	0.583	0.038
	Amara ovata	0.539	0.015
B + L + D	Amara familiaris	0.660	0.015
B + L + W	Bembidion quadrimaculatum	0.651	0.028
D + L	**Carabus auratus**	0.76	0.021
	Ophonus azureus	0.50	0.033
D + W	Trechus quadristriatum	0.801	0.015
	Pterostichus strenuus	0.458	0.021

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend kann im Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich der Laufkäferzönose festgestellt werden:

- Die Laufkäfergemeinschaften waren in allen Kulturen von einem Grundinventar an häufigen, stetigen und ackertypischen Arten dominiert und wiesen einen geringen Anteil gefährdeter Arten auf.

- Alle drei Extensivkulturen wirkten sich positiv auf die Aktivitätsdichte aus, mit den größten Effekten bei Blühflächen und Winterdinkelkulturen.

- Der Artenreichtum und die Diversität waren in allen Kulturen stark von einem positiven Randeffekt bestimmt und profitierten in geringerem Maße auch von einer ökologischen Bewirtschaftung.

- Gefährdete Arten profitierten insbesondere von Blühflächen und Linsenkulturen, welche sich gerade auf einzelne *Amara* –Arten positiv auswirkten. Die Verantwortungsart *Carabus auratus* zeigte eine deutliche Präferenz für eine ökologische Bewirtschaftung.

- Pflanzenfressende Arten waren in allen Extensivkulturen mit höherem Anteil anzutreffen und insbesondere am Ackerrand häufiger als im Ackerinnenbereich.

5.2.2 Diskussion

Ackerland bietet in Baden-Württemberg einer hohen Zahl an Laufkäferarten einen geeigneten Lebensraum, die dort mit zum Teil hohen Aktivitätsdichten vertreten sind (Trautner, 2017). Laufkäfer können zudem sensitiv auf die Intensität landwirtschaftliche Nutzung wie Bodenbearbeitung, den Einsatz von Pestiziden oder Düngemitteln reagieren und werden deshalb in zahlreichen Studien als Indikator für ökologische und naturschutzfachliche Bewertungen herangezogen (Kromp, 1999; Trautner, 2017). Gleichzeitig sind Laufkäferzönosen auf Ackerstandorten in vielen Fällen von allgemein weit verbreiteten Arten geprägt, welche mit großer Dominanz (Häufigkeit und Stetigkeit) in Ackerlebensräumen auftreten, was eine indikatorische Aussage erschweren kann. Die dominierenden Arten dieser Studie sind weitestgehend deckungsgleich mit den von Trautner, (2017) gelisteten häufigsten und stetigsten Arten von Ackerstandorten im Naturraum Schwäbische Alb und umfassen in erster Linie Arten, welche landes- und bundesweit sowie auch in Mittel- und Nordwesteuropa zu den in Äckern allgemein verbreiteten Arten gehören (Trautner, 2017).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass eine intensive ackerbauliche Nutzung (konventioneller Winterweizen) die Aktivitätsdichte der Laufkäfer verringert, verglichen zu extensiveren Ackernutzungen wie dem ökologischen Landbau oder der Anlage einjähriger Blühbrachen im konventionellen Anbau. Ursächlich könnten der Einsatz von Pestiziden, die äußerst geringen Wildpflanzenbestände sowie dichte und homogene Kulturpflanzenbestände in der Winterweizenkultur sein. Dies bedingt ein kühles und feuchtes Mikroklima sowie eine geringere Nahrungsverfügbarkeit gerade für omnivore und herbivore Arten. Die in dieser Studie festgestellten geringeren Anteile von herbivoren Arten im Winterweizen bestätigen dies ebenso wie zahlreiche Studien über die negativen Auswirkungen einer intensiven Bewirtschaftung und des Einsatzes von Pestiziden (Geiger et al., 2010; Kromp, 1999; Volkmar & Kreuter, 2006).

Gerade auf Ackerflächen gelten Laufkäfer als Nützlinge, da sie durch den Konsum von Schadinsekten (z.B. Blattläuse) und Wildpflanzensamen eine biologische Schädlingskontrolle und somit wichtige Ökosystemdienstleistungen für die Landwirtschaften erbringen. Die Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen ist meist deutlich stärker von der Gesamtabundanz und damit von den häufigen Arten abhängig und weniger von der Artenzahl, da seltene Arten häufig redundant sind bezüglich einer Ökosystemdienstleistung (Kleijn et al., 2015; Lichtenberg et al., 2017). Insofern tragen die Extensivkulturen trotz ihres eher geringen Einflusses auf den mittleren Artenreichtum zu einer verbesserten natürlichen Schädlingskontrolle durch Laufkäfer bei, da sie die Anzahl von Laufkäferindividuen auf den Ackerflächen im Vergleich zur Intensivkultur deutlich erhöhen.

Die Ergebnisse, insbesondere bezüglich des Artenreichtums und der Diversität, verdeutlichen jedoch auch die hohe Bedeutung von nutzungsbegleitenden Saumstrukturen für die Artenvielfalt der Laufkäferzönosen von Ackerstandorten, wie sie auch in der Literatur belegt wird (Trautner, 2017). Zahlreiche Laufkäferarten nutzen die ungepflügten Saumstrukturen am Ackerrand, wie Hecken oder Grasstreifen, als Überwinterungs- und Fortpflanzungshabitat und finden dort zusätzliche Nahrungsressourcen (Trautner, 2017). Es kommt also regelmäßig zu Überlaufeffekten (spill-over) zwischen Ackerflächen- und Saumstrukturen im Jahresverlauf. Bezogen auf die Artenvielfalt und den Anteil herbivorer Laufkäfer waren die Unterschiede zwischen Ackerrand und Innenbereich sogar stärker ausgeprägt als Unterschiede zwischen den Kulturen. Daher sollten Maßnahmen zur Förderung der Artenvielfalt auf Ackerstandorten neben der Bewirtschaftungsweise und Ackerkultur auch auf den Erhalt und Etablierung von begleitenden Randstrukturen abzielen, da diese kulturunabhängig von großer Bedeutung für die Vielfalt der Laufkäferzönosen auf Ackerstandorten sind.

Die Unterschiede zwischen den drei Extensivkulturen waren insgesamt gering ausgeprägt, auch wenn gefährdete Arten etwas häufiger auf den beiden Sommerkulturen Blühflächen und Linsenkulturen waren und es durchaus komplementierende Wirkungen auf einzelne Arten gab. Offensichtlich waren die

Unterschiede im Grad der Extensivierung zwischen den Extensivkulturen zu gering, um die Laufkäferzönose stärker zu beeinflussen. Noch extensivere Maßnahmen wie beispielsweise mehrjährige Blühflächen oder Schutzäcker können allerdings stärkere Unterschiede im Vergleich zu Intensivkulturen hervorrufen (Moog et al., 2017). Für den Naturschutz bergen deren schwierige Umsetzbarkeit auf großer Fläche, die derzeitige geringe Akzeptanz bei den Landwirten sowie deren hoher Kostenumfang aber auch erkennbare Nachteile im Vergleich zu den einjährigen Blühflächen oder dem Ökolandbau.

Werden alle Ergebnisse gemeinsam betrachtet, kann festgestellt werden, dass Laufkäfer durch eine Extensivierung der Bewirtschaftung gefördert werden können, jedoch bezogen auf die Artenvielfalt wenig sensitiv gegenüber einer bestimmten Ackerkultur oder Bewirtschaftungsweise sind. Neben der Kulturart sind ackerbegleitende Saumstrukturen von großer Bedeutung für eine artenreiche Laufkäferfauna auf Ackerstandorten.

5.3 Spinnen

5.3.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden **36.438** Spinnenindividuen von **100** Taxa erfasst. Von diesen konnten 18 Taxa nicht eindeutig bis auf Artniveau bestimmt werden, sondern lediglich auf Gattungs- oder in seltenen Fällen auf Familienniveau. Im Mittel wurden pro Erfassungstransekt (je 5 Fallen am Feldrand und im Zentrum) über alle Erfassungsrunden eines Jahres 387,6 ± 23,4 Spinnenindividuen von 18,4 ± 0,4 Arten erfasst. 81 % aller erfassten Spinnenindividuen verteilten sich auf die vier häufigsten Arten/Gattungen. Dies waren *Oedothorax apicatus* (56% aller Individuen), *Pardosa palustris*, (9%), *Pardosa spec.* (8%) und *Erigone dentipalpis* (7%). Insgesamt bestimmen nur 11% der Spinnenarten 95% aller Individuen, was die Dominanz weniger, sehr häufiger Arten in den Spinnenzönosen der erfassten Ackerstandorte aufzeigt.

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich absoluter Anzahl und Stetigkeit

Insgesamt wurden im Winterweizen 9.776 Spinnen von 65 Arten nachgewiesen, in Blühflächen 8.641 Individuen aus 59 Arten, in Winterdinkel 10.079 Spinnen aus 62 Arten und in Linsenkulturen 7.942 Individuen von 68 Arten. Die absolute Anzahl erfasster Spinnenindividuen und Arten war damit in der Intensivkultur Winterweizen nicht niedriger als in den drei Extensivkulturen. In den beiden Getreidekulturen wurden mehr Spinnenindividuen nachgewiesen als in den beiden Blühkulturen (Blühfläche und Linsenkultur). Es wurden 16.572 Spinnen von 88 unterschiedlichen Taxa am Ackerrand und 19.866 Spinnen von 71 Taxa im Ackerzentrum erfasst. Damit war die Spinnenabundanz im Ackerinnenbereich höher als am Rand, jedoch kamen mehr Arten am Ackerrand als im Ackerinnenbereich vor. Von den insgesamt 100 Arten/Taxa kamen 12 ausschließlich in Winterweizenkulturen, 5 Arten nur in Blühflächen, 7 Arten nur im Winterdinkel und 12 Taxa nur auf Linsenäckern vor. Die mittlere Stetigkeit der Arten in den Kulturen betrug 4,7 ± 0,7 in Winterweizenkulturen, 4,3 ± 0,7 in Blühflächen, 4,0 ± 0,6 in Winterdinkel und 4,3 ± 0,7 in Linsenäckern.

Bezüglich der Artenzusammensetzung gab es in allen Kulturen ein sehr ähnliches Grundinventar an dominierenden Arten (Tab. 11). Es gab nur sehr wenige Arten, welche nur auf Äckern einer bestimmten Bewirtschaftungsform besonders häufig waren. Dazu gehörten *Tenuipanthes tenuis* in Winterweizenkulturen, in Blühflächen *Erigone dentipalpis*, in Linsenkulturen *Pardosa lugubris* und in Winterdinkelkulturen *Pardosa pullata*.

Tab. 11. Absolute und relative Häufigkeit sowie prozentuale Stetigkeit (in Klammern) der 20 häufigsten Spinnenarten/taxa in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L); n=18 je Kultur). Daten über zwei Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett= Arten unter den 20 häufigsten Arten der jeweiligen Kultur).

Artname	Relative Häufigkeit [%]	Gesamthäufigkeit	Absolute Häufigkeit			
			W	B	D	L
Oedothorax apicatus	56.4	20550	**5624 (100)**	**4639 (100)**	**6442 (92)**	**3845 (100)**

Pardosa palustris	9.1	3310	**717 (100)**	**670 (100)**	**1025 (92)**	**898 (100)**
Pardosa sp.	8.4	3056	**1032 (100)**	**490 (100)**	**710 (92)**	**824 (100)**
Erigone dentipalpis	7.0	2559	**386 (100)**	**1179 (100)**	**270 (79)**	**724 (100)**
Pachygnatha degeeri	3.1	1143	**434 (88)**	**193 (92)**	**376 (88)**	**140 (88)**
Agyneta rurestris	2.6	947	**262 (100)**	**300 (96)**	**173 (79)**	**212 (96)**
Pardosa agrestis	2.2	804	**158 (79)**	**275 (92)**	**96 (67)**	**275 (83)**
Pachygnatha sp.	1.9	708	**210 (83)**	**106 (79)**	**204 (83)**	**188 (92)**
Trochosa ruricola	1.7	630	**165 (79)**	**154 (83)**	**156 (83)**	**155 (92)**
Erigone atra	1.6	599	**141 (88)**	**215 (83)**	**93 (71)**	**150 (75)**
Linyphiidae sp.	1.1	417	**114 (79)**	**75 (96)**	**108 (83)**	**120 (83)**
Araeoncus humilis	0.7	241	**74 (88)**	**52 (63)**	**40 (63)**	**75 (83)**
Diplostyla concolor	0.6	211	**77 (42)**	**32 (33)**	**70 (58)**	**32 (25)**
Pardosa amentata	0.4	151	**49 (46)**	**34 (58)**	**18 (21)**	**50 (46)**
Trochosa sp.	0.3	108	**33 (38)**	**25 (42)**	**28 (54)**	**22 (33)**
Xysticus sp.	0.3	98	**20 (33)**	**28 (54)**	**39 (50)**	11 (33)
Pardosa pullata	0.3	95	10 (21)	10 (25)	**52 (42)**	**23 (42)**
Tenuiphantes tenuis	0.2	90	**43 (63)**	**23 (58)**	**11 (29)**	**13 (42)**
Pardosa lugubris	0.2	67	10 (33)	**18 (38)**	7 (17)	**32 (29)**
Walckenaeria vigilax	0.2	60	**21 (46)**	**11 (25)**	**20 (25)**	8 (17)

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich mittlerer Abundanz, Artenreichtum und Diversität der Arten (Shannon-Index)

Weder die mittlere Abundanz, noch der Artenreichtum oder die Diversität der Spinnen unterschied sich signifikant zwischen den vier Untersuchungskulturen (Tab.12; Abb. 11). Allerdings waren der Artenreichtum wie auch die Diversität der Spinnen über alle Kulturen hinweg am Ackerrand höher als im Ackerinnenbereich. Im Zentrum von Winterdinkelkulturen war die Abundanz der Spinnen höher als im Zentrum von Linsenkulturen (Abb. 11), auch wenn insgesamt keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Kulturen festgestellt wurden.

Tab. 12. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf die Abundanz, Artenreichtum und Diversität (Shannon) von Spinnen. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und

Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05.

Abhängige Variable	Kulturvergleich	Schätzwert	*p*-Wert
Abundanz [a]	W - B	0.1559	0.7159
	W - D	-0.0484	0.996
	W - L	0.2679	0.589
	B - D	-0.2043	0.7814
	B - L	0.112	0.9529
	D - L	0.3163	0.1337
	Z - R	0.155	0.1250
Artenreichtum	W - B	1.628	0.2703
	W - D	1.502	0.484
	W - L	1.867	0.3013
	B - D	-0.126	0.9994
	B - L	0.24	0.9953
	D - L	0.366	0.976
	Z - R	-3.52	**<0.0001**
Shannon-Diversität	W - B	-0.08782	0.7647
	W - D	0.10456	0.8411
	W - L	-0.08445	0.9043
	B - D	0.19238	0.4445
	B - L	0.00337	1
	D - L	-0.18901	0.1742
	Z - R	-0.481	**<0.0001**

[a] Generalisiertes lineares Model für Modelkalkulation genutzt.

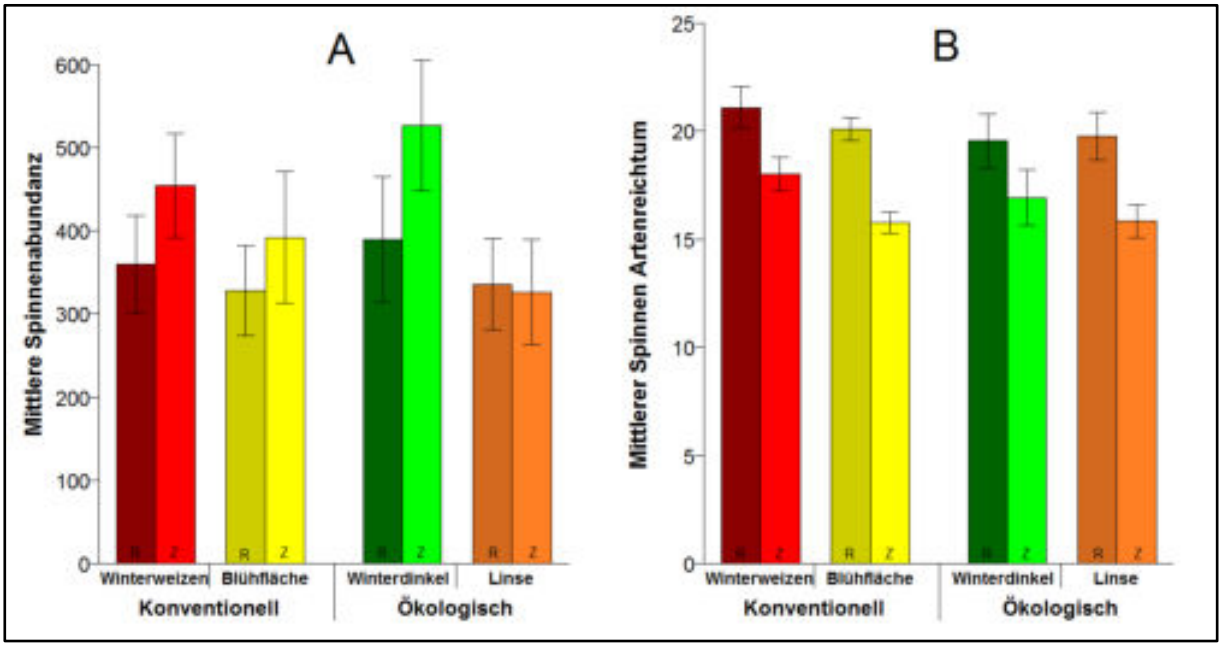

Abb. 11. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz (A) und Artenreichtum (B) von Spinnen am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich gefährdeter Arten

Nur 3 Spinnenarten (3,5 %) weisen einen Gefährdungsstatus (Status:1-3) nach bundes- oder landesweiter Roten Liste auf (Nährig & Harms, 2003; Blick et al., 2016). Weitere 3 Arten sind gefährdet und potentiell schutzbedürftig (Status: V, G, R). *Coelotes terrestris* war die einzige Art, für die auf Grund eines Verbreitungsschwerpunktes in Deutschland eine nationale Verantwortung besteht. In allen Kulturen traten extrem wenige gefährdete Arten und diese stets mit sehr geringer Häufigkeit und Stetigkeit auf, sodass es bezogen auf die jeweilige Kultur vermutlich zufällige Funde waren (Tab.13). Die Anzahl von gefährdeten Spinnenarten und Individuen unterschied sich nicht wesentlich zwischen den Kulturen (Tab. 13). Aufgrund der geringen Zahl von gefährdeten Individuen und Arten unterbleibt eine weitergehende Auswertung in Bezug auf gefährdete Arten zwischen den Bewirtschaftungsformen. Darüber hinaus sind Aussagen zur

Gefährdungssituation von Spinnen auf Äckern aufgrund der geringen Fangergebnisse in Kombination mit vorhandenen Wissensdefiziten zu Verbreitung und Bestandsentwicklung mit einer großen Unsicherheit behaftet.

Tab. 13. Absolute Anzahl gefährdeter Spinnenarten der Roten Liste Baden Württembergs (Nährig & Harms, 2003) und Deutschlands (Blick et al., 2016) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=12 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten (1-3) und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten (V – R) differenziert, sowie die Summe aller Spinnenindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben.

Gefährdungskategorie	Baden-Württemberg				Deutschland			
	W	**B**	**D**	**L**	**W**	**B**	**D**	**L**
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1	1	2	0	0	0	1
V	3	3	3	3	1	1	1	1
G	0	0	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0
∑ RL 1-3	2	1	1	2	0	0	0	1
∑ RL gesamt	5	4	4	5	1	1	1	2
∑ Individuen	29	22	18	21	3	3	3	2

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich Gildenstruktur und möglicher Indikatorarten

Die Gildenstruktur der Spinnengesellschaften zeigte, dass über alle vier Kulturen hinweg die vier Jagdstrategien Deckennetzweber, Radnetzweber, Bodenjäger und nicht spezialisierte Jäger verschiedener Vegetationsschichten (andere Jäger) dominierten (Abb. 12). Unterschiede zeigten sich vor allem zwischen Ackerrand und Innenbereich mit höherem Anteil an Bodenjägern und geringerem Anteil an Deckennetzwebern am Rand als im Zentrum eines Ackerschlags. Außerdem war in den beiden Blühkulturen (Blühfläche, Linse) der Anteil an *anderen Jägern* höher und der Anteil an Deckennetz- und Radnetzwebern niedriger als in den beiden Getreidekulturen (Winterweizen, Winterdinkel). Am Rand von Linsenäckern war der Anteil von Bodenjägern insgesamt am höchsten.

Die statistische Analyse der Indikatorwerte ergab, dass keine der Spinnenarten signifikant mit einer der Kulturen assoziiert war. Dies verdeutlicht, dass keine der Arten eine hohe Sensitivität oder Spezifität gegenüber einer bestimmten Kultur zeigte. Spinnen reagierten damit wenig sensitiv und sind damit ein schlechter Indikator für Bewirtschaftungsunterschiede zwischen einjährigen Ackerkulturen.

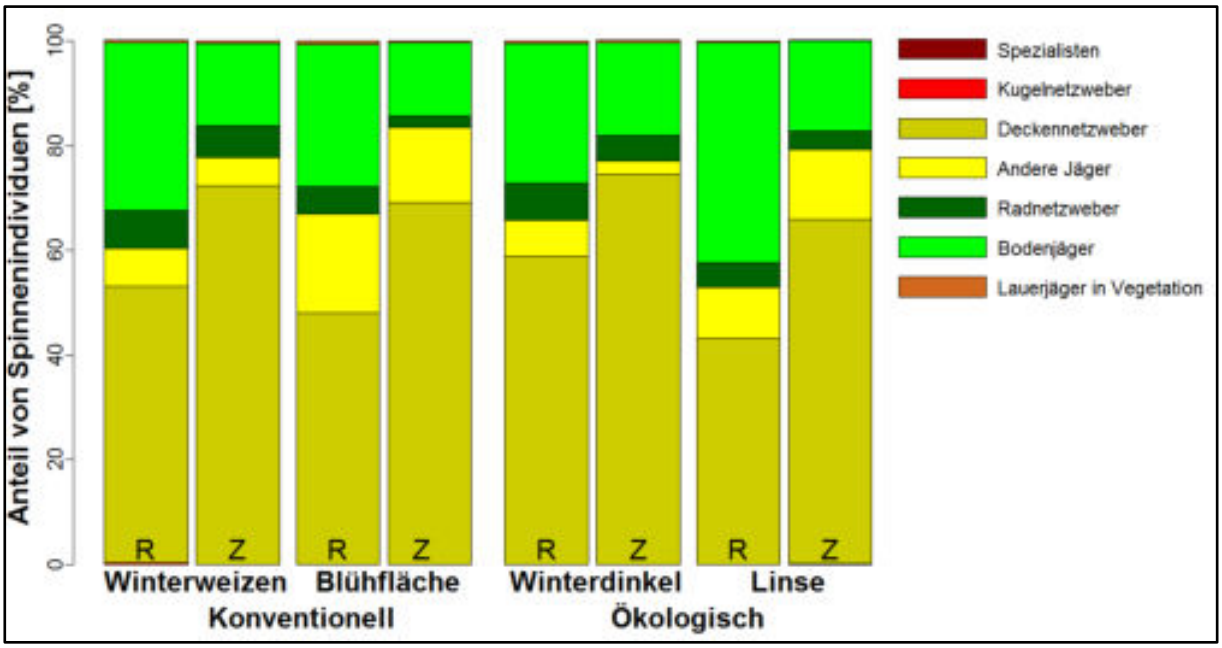

Abb. 12. Gildenstruktur der Spinnen entsprechend der Jagdstrategie (nach Cardoso et al. 2011) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst). Andere Jäger – nicht spezialisierte Jäger in verschiedenen Vegetationsschichten.

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend kann im Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich der Spinnenzönose festgestellt werden:

- Die Spinnengemeinschaften waren in allen Kulturen von einem Grundinventar an einzelnen häufigen Arten dominiert und wiesen keine charakteristischen Unterschiede hinsichtlich spezifischer Arten auf.

- Der Anteil gefährdeter Arten war marginal und unterschied sich nicht wesentlich zwischen den Kulturen, da es sich vermutlich um zufällig einstrahlende Individuen aus benachbarten Habitaten handelte.

- Die Kulturen wiesen keine signifikanten Unterschiede in der Abundanz, dem Artenreichtum oder der Diversität auf.

- Der Artenreichtum und die Diversität waren in allen Kulturen stark von einem positiven Randeffekt bestimmt, welcher auch den Anteil von Boden- und wenig spezialisierten Jagdspinnen erhöhte. Netzwebende Spinnen waren dagegen im Ackerinnenbereich häufiger als am Rand.

- Nicht spezialisierte Jagdspinnen profitierten von den beiden Blühkulturen, während netzwebende Spinnen, insbesondere Deckennetzweber, stärker von den beiden Wintergetreidekulturen profitierten.

- Die Artengruppe reagierte wenig sensitiv hinsichtlich der Unterschiede zwischen den Kulturen und eignet sich daher nur in geringem Maße als Indikator für die Bewirtschaftungsintensität einjähriger Ackerkulturen.

5.3.2 Diskussion

Grundsätzlich kommt auf Ackerstandorten in Deutschland nur ein kleiner Teil aller epigäischen Spinnenarten Deutschlands regelmäßig vor (Blick et al., 2000). Bei diesen Arten handelt es sich überwiegend um balloonende Pionierarten, welche in Mitteleuropa nahezu überall verbreitet sind (Blick, 2000). Insbesondere Arten aus der Familie *Linyphiidae* (Baldachin- und Zwergspinnen) sowie laufaktive Arten der Familie *Lycosidae* (Wolfsspinnen) dominieren die Spinnengemeinschaften von Ackerstandorten. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen dieser Studie wieder, bei der die Spinnengemeinschaften kulturunabhängig von einzelnen ackertypischen

und allgemein häufigen Arten dominiert wurden und keine der Arten eine spezifische Präferenz für eine bestimmte Kulturart zeigte. Die hohe Dominanz und Stetigkeit dieser ubiquitären Ackerarten nivellierte Unterschiede in der Gesamtabundanz und bedingte die hohe Ähnlichkeit der Spinnenzönosen zwischen den Kulturen. Seltene und gefährdete Spinnenarten sind in Mitteleuropa zudem häufig Arten von Habitaten mit extremen Umweltbedingungen (z.B. Dünen, Moore, Trockenhänge) (Blick et al. 2016). Solche Arten finden auf Ackerflächen keine geeigneten Habitatbedingungen und sind daher an solchen Standorten auch nicht zu erwarten. Dies erklärt, warum auf allen Untersuchungskulturen nahezu keine gefährdeten Arten gefunden wurden.

Darüber hinaus war bei allen Kulturen der für Ackerflächen typische Bodenumbruch ein limitierender Faktor, welcher die Diversität und Ausprägung der Spinnenzönosen unabhängig von der sonstigen Bewirtschaftungsintensität (z.B. Dünge- und Pestizideinsatz) negativ beeinflusst (Heydemann 1953) und zur Uniformität der Zönosen beitragen kann. Alle heimischen Webspinnenarten sind generalistische Prädatoren von Arthropoden (Batáry et al., 2012) und finden meist auch in intensiv genutzten Ackerflächen genügend Beutetiere, da viele bodenlebende Organismen und Schädlinge (z.B. Blattläuse) auch auf solchen Flächen in hoher Abundanz auftreten können (Haddad et al., 2000). Somit sind die Bodenbearbeitung und das nicht limitierte Auftreten von Beutetieren vermutlich ursächlich für die geringen Unterschiede zwischen den Kulturen.

Hinzu kommt, dass die meisten auf Ackerstandorten vorkommenden Spinnenarten in der Streuschicht ungepflügter Ackerrandbereiche (z.B. Grasstreifen, Feldhecken) überwintern und von dort im Frühling in den Ackerinnenbereich einwandern. Die ackerrandnahen Fallentransekte lagen im Grenzbereich zwischen Ackerkultur und einem benachbarten dauerhaften Grasstreifen. Solche Ökotone (Acker-Grünland-Übergänge) und die Nähe zu ungepflügten Saumhabitaten bedingen vermutlich die höhere Spinnendiversität am Ackerrand im Vergleich zum Ackerinnenbereich. Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen, dass solche Randhabitate eine erheblich größere Bedeutung für die Vielfalt der Spinnenzönosen

auf Ackerstandorten haben, als die Bewirtschaftungsweise der Ackerflächen selbst, zumindest wenn diese einen jährlichen Bodenumbruch beinhaltet.

Auch die Gildenstruktur der Spinnen war stärker von einem Randeffekt geprägt als von der Bewirtschaftungsweise, mit einem höheren Anteil an Jagdspinnen am Ackerrand wie im Ackerzentrum. Gerade die nicht spezialisierten Jagdspinnen profitierten auch von Blühflächen und Linsenäckern. Der höhere Pflanzenartenreichtum, die heterogenere Vegetationsstruktur und lückigere Kulturpflanzenbestände an Ackerrändern wie auch an den beiden Blühkulturen, könnte die Anzahl der Beutetiere sowie deren Verfügbarkeit für Jagdspinnen erhöht haben. Netzwebende Spinnen könnten von der homogeneren, höheren und länger andauernden (Winterkultur) Vegetationsstruktur der beiden Getreidekulturen profitiert haben, da diese das Anbringen von Netzen und damit den Beuteerfolg begünstigt.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Vielfalt der Spinnenzönose in erster Linie von ungepflügten Saumstrukturen profitiert und wenig sensitiv auf Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau reagiert. Maßnahmen zur Förderung von Spinnen in ackerbaulich geprägten Landschaften sollten sich daher in erster Linie auf die Erhöhung der Grenzliniendichte (z.B. durch Reduzierung der Schlaggrößen) im Landschaftskontext sowie den Erhalt und die Schaffung von mehrjährigen/dauerhaften Saumstrukturen fokussieren, wie beispielsweise der Schaffung von breiten, ackerbegleitenden Grünlandstreifen oder mehrjährigen Blühstreifen.

5.4 Tagfalter

5.4.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden in den beiden Erfassungsjahren **1.656** Tagfalterindividuen nachgewiesen. Diese verteilten sich auf **35** Arten sowie 10 weitere Taxa, welche nicht auf Artniveau bestimmt, jedoch einem Artkomplex, einer Gattung oder einer

Familie zugeordnet werden konnten. Im Mittel wurden pro Erfassungstransekt über alle Erfassungsrunden 17,3 ± 1,7 Tagfalterindividuen 5,7 ± 0,4 Arten erfasst.

Nur sechs Arten wurden mit mehr als 5% Anteil an der Gesamthäufigkeit nachgewiesen, dies waren der Kleine Kohlweißling (*Pieris rapae*, 28,0% aller Individuen), das Große Ochsenauge (*Maniola jurtina*, 16,1%), der Grünader-Weißling (*Pieris napi*, 8,2%), der Kleine Fuchs (*Aglais urticae,* 6,2%*),* das Tagpfauenauge (*Aglais io*, 5,2%) und der Hauhechel-Bläuling (*Polyommatus icarus*, 5,1%). Insgesamt waren damit mehr als zwei Drittel (68%) aller erfassten Individuen einer dieser sechs häufigsten Arten zuzuordnen, während nur 12 weitere Arten einen relativen Häufigkeitswert von mehr als 1% aufwiesen. Dies verdeutlicht, dass die erfasste Artengemeinschaft von wenigen, sehr häufigen Arten dominiert wird, während die meisten Arten mit sehr wenigen Individuen nachgewiesen wurden.

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich absoluter Anzahl und Stetigkeit

Insgesamt wurden auf Winterweizenkulturen 80 Individuen von 19 Tagfalterarten nachgewiesen, auf Blühflächen 681 Individuen von 31 Arten, auf Winterdinkelkulturen 228 Individuen von 27 Arten und auf Linsenkulturen 667 Tagfalter von 34 Arten. Die Unterschiede zwischen dem Ackerrand und -zentrum waren bezüglich der absoluten Häufigkeit gering, mit insgesamt 800 Tagfalter von 41 Arten am Ackerrand und 856 Tagfalter von 36 Arten, welche im Innenbereich eines Ackerschlages (Ackerzentrum) erfasst wurden. Die mittlere Stetigkeit der Arten in den Kulturen betrug 7,7 ± 2,0 in Winterweizenkulturen, 23,9 ± 3,9 in Blühflächen, 13,0 ± 3,9 in Winterdinkel und 27,6 ± 4,2 in Linsenäckern. Damit waren die absolute Individuen- und Artenzahl sowie die mittlere Stetigkeit der Arten in der Intensivkultur Winterweizen deutlich niedriger wie in allen anderen Kulturen, wobei sich die Blühkulturen (Blühfläche und Linse) insbesondere hinsichtlich der absoluten Individuenzahlen sowie der Stetigkeit der dort erfassten Arten von den Getreidekulturen (Weizen und Dinkel) abhoben.

In allen Kulturen war die landesweit sehr häufige Art *Pieris rapae* die häufigste und stetigste Art, wobei sich die ebenfalls sehr häufigen Arten *Pieris napi* und

Maniola jurtina in allen Kulturen unter den sechs häufigsten und stetigsten Arten befanden (Tab. 14). Die häufigsten Arten waren überwiegend auch die stetigsten. Die ebenfalls ubiquitäre Art *Aglais io* war nur bei den beiden Blühkulturen unter den häufigsten und stetigsten Arten vertreten, der Artkomplex *Thymelicus lineola/sylvestris* nur bei den Getreidekulturen, während sich *Polyommatus icarus* nur auf den ökologisch bewirtschafteten Kulturen (Dinkel und Linse) unter den häufigsten Arten befand. *Coenonympha pamphilus* war nur auf Weizenäckern, *Pieris brassicae* nur auf Blühflächen und *Colias alfacariensis* nur auf Linsenäckern unter den sechs dominantesten Arten der kulturen-spezifischen Artengemeinschaft. Somit war die Ähnlichkeit bezüglich der die jeweilige Artengemeinschaft dominierenden Arten zwischen den Kulturen insgesamt hoch und, mit Ausnahme von *Colias alfaceriensis,* von landesweit häufigen, meist ubiquitären Arten geprägt.

Tab. 14. Absolute Häufigkeit (Anzahl Individuen) und prozentuale Stetigkeit (auf wieviel Prozent aller Ackerschläge einer Kultur (n=12) angetroffen) der jeweils 6 häufigsten und 6 stetigsten Arten pro Kultur. Daten über beide Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett=nur in dieser Kultur in ersten 6 Rängen vertreten).

Kultur	Rang	Häufigkeitsrang	Häufigkeit	Stetigkeitsrang	Stetigkeit [%]
Winterweizen	1.	Pieris rapae	22	Pieris rapae	66
	2.	Maniola jurtina	11	Aglais urticae	42
	3.	Pieris napi	8	Maniola jurtina	33
	4.	Aglais urticae	7	Pieris napi	33
	5.	**Coenonympha pamphilus**	6	Thymelicus lineola|sylvestris	25
	6.	Thymelicus lineola|sylvestris	5	**Coenonympha pamphilus**	17
Blühfläche	1.	Pieris rapae	260	Pieris rapae	100
	2.	Maniola jurtina	139	Maniola jurtina	92
	3.	Pieris napi	53	Aglais urticae	83
	4.	Aglais urticae	39	Pieris napi	83
	5.	Aglais io	37	Aglais io	58
	6.	**Pieris brassicae**	17	**Pieris brassicae**	50

Winterdinkel	1.	Pieris rapae	46	Pieris rapae	92
	2.	Thymelicus lineola/sylvestris	34	Maniola jurtina	58
	3.	**Polyommatus coridon**	26	Pieris napi	42
	4.	Pieris napi	21	Thymelicus lineola|sylvestris	42
	5.	Maniola jurtina	20	Pieridae spec.	42
	6.	Polyommatus icarus	13	Polyommatus icarus	33
Linse	1.	Pieris rapae	135	Pieris rapae	100
	2.	Maniola jurtina	96	Maniola jurtina	92
	3.	Polyommatus icarus	56	Pieris napi	83
	4.	Pieris napi	54	Aglais urticae	83
	5.	Aglais urticae	48	**Colias alfacariensis**	83
	6.	Aglais io	45	Aglais io	67

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich mittlerer Abundanz, Artenreichtum und Diversität (Shannon-Index) der Arten

Sowohl die Tagfalterabundanz als auch der Artenreichtum und die Diversität (Shannon-Index) an Tagfaltern waren auf Blühflächen signifikant höher als im Winterweizen (Tab. 15). Dieser Unterschied war mit sehr viel höheren Arten- und Abundanzwerten auf Blühflächen sehr klar ausgeprägt (Abb. 13). Damit bereichern die Blühflächen den konventionellen Ackerbau deutlich in Bezug auf die Tagfalterfauna.

Im ökologischen Ackerbau wurde in Linsenäckern eine signifikant höhere Abundanz, Artenreichtum sowie Diversität nachgewiesen wie in Winterdinkelkulturen. Analog zur Bedeutung der Blühflächen im konventionellen Anbau, bereichern Linsenäcker die Tagfalterfauna im ökologischen Landbau durch im Vergleich zu Winterdinkelkulturen sehr viel mehr Tagfalterarten-, Individuen und einer insgesamt höheren Diversität der Artengemeinschaft. Im Gegensatz zur Linsenkultur unterschieden sich Blühflächen nicht signifikant gegenüber Winterdinkelkulturen bezüglich des Faktors Diversität, jedoch bezüglich des Artenreichtums und der

Abundanz. Dies deutet eine höhere Gleichverteilung der Individuen (evenness) in Linsenäckern im Vergleich zu Blühflächen an, auch wenn dieser Unterschied im direkten Vergleich des Faktors Diversität nicht signifikant war.
Insgesamt wirken sich die beide Blühkulturen (Blühfläche und Linse) im Vergleich zu den Getreidekulturen (Winterweizen, Winterdinkel) deutlich positiv auf die Tagfalterfauna aus, wobei bezüglich der Faktoren Abundanz und Artenreichtum jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Blühkulturen oder den beiden Getreidekulturen festzustellen waren.

Tab. 15. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) auf Abundanz, Artenreichtum und Shannon-Diversitätindex von Tagfaltern. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05.

Abhängige Variable	Kulturvergleich	Schätzwert	p-Wert
Abundanz [a]	W - L	-0.8170	**<.0001**
	W - B	-0.8490	**<.0001**
	W - D	-0.2846	0.1011
	L - B	-0.0320	0.9892
	L - D	0.5324	**0.0001**
	B - D	0.5644	**0.0003**
Artenreichtum [b]	W - L	-1.4442	**<.0001**
	W - B	-1.2276	**0.0001**
	W - D	-0.4015	0.3875
	L - B	0.2166	0.7499
	L - D	1.0427	**0.0004**
	B - D	0.8261	**0.0071**
Shannon-Diversität	W - B	-0.4229	**0.0418**
	W - D	-0.1784	0.7368
	W - L	-0.7402	**0.0013**
	B - D	0.2445	0.4364
	B - L	-0.3173	0.207
	D - L	-0.5618	**0.0023**

[a] Log transformierte Werte für Modelkalkulation genutzt.

[b] Quadratwurzel transformierte Werte für Modelkalkulation genutzt.

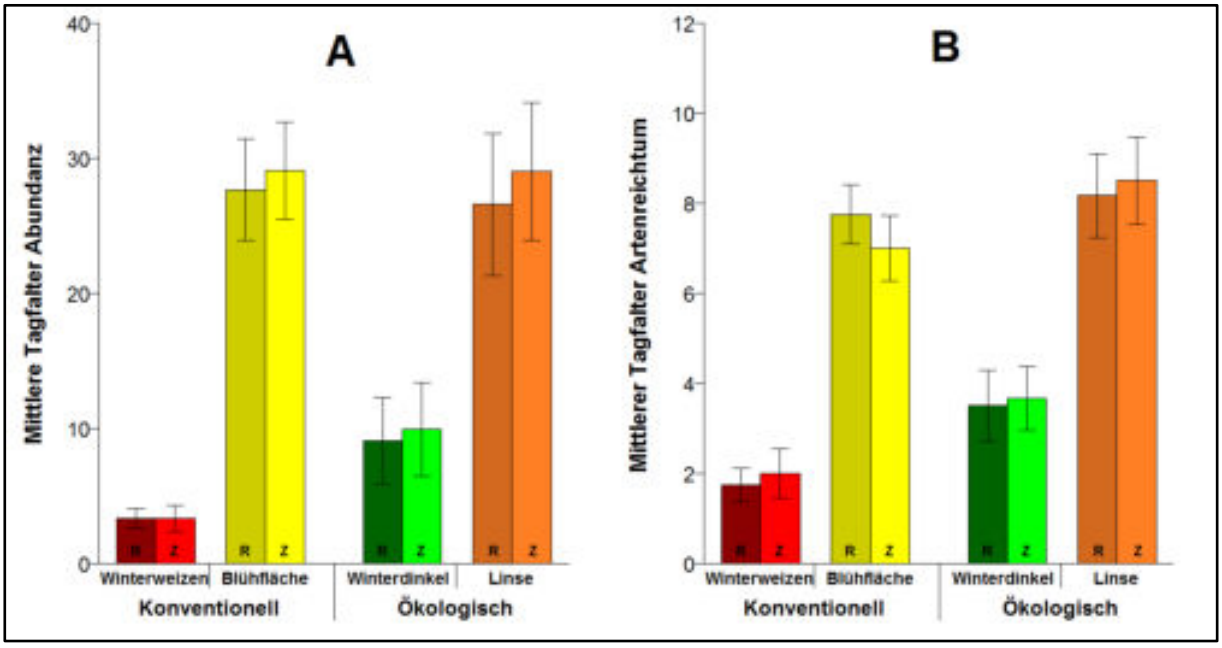

Abb. 13. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Tagfalterabundanz (A) und Artenreichtum (B) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, beide Erfassungsjahre zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich charakteristischer Arten

Insgesamt konnten sechs Tagfalterarten auf Grund ihres hohen Assoziierungsgrades als charakteristisch für eine oder mehrere Kulturen identifiziert werden (Tab.16). Die Art *Colias alfacariensis* wies eine hohe Präferenz für Linsenäcker auf. Die Arten *Maniola jurtina*, *Aglais urticae*, *Aglais io* sowie *Vanessa cardui* waren signifikant mit den beiden Blühkulturen assoziiert. P*ieris rapae* dagegen war mit allen Kulturen außer Winterweizenkulturen assoziiert. Somit waren Linsenkulturen die einzige Kultur, welche unabhängig von anderen Ackerkulturen mit einer Tagfalterart assoziiert war, währenddessen keine Tagfalterart eine spezifische Assoziierung zu Winterweizenkulturen zeigte.

Tab. 16. Auflistung aller Tagfalterarten, welche signifikant mit einer Ackerkultur (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D), Linse (L)) oder mehreren Ackerkulturen assoziiert sind (hohe Spezifität und Sensitivität für Kultur) und daher charakteristisch diese Kultur(en) sind. Nicht signifikant assoziierte

Arten oder Kulturen sind nicht dargestellt. Fett markiert sind naturschutzfachlich besonders bedeutsame Arten.

Kultur	Indikatorenart	Assoziierungswahrscheinlichkeit	*p-Wert*
L	**Colias alfacariensis**	0.816	0.009
B + L	Maniola.jurtina	0.900	0.009
	Aglais urticae	0.843	0.009
	Aglais io	0.772	0.009
	Vanessa cardui	0.677	0.014
B + L + D	Pieris rapae	0.962	0.009

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich gefährdeter Arten

Insgesamt besteht für 16 von den 35 auf Artniveau bestimmten Tagfalterarten (46%) eine Gefährdungsstatus nach landes- oder bundesweiter Roten Liste (Ebert et al., 2008; Reinhardt & Bolz, 2012). Nur 11% aller erfassten Individuen, wiesen einen Gefährdungsstatus auf. Sowohl die absolute Anzahl gefährdeter Arten, wie auch deren absolute und mittlere Häufigkeit war in den Linsenkulturen höher als in allen anderen Ackerkulturen, wobei im Winterweizen mit Abstand die wenigsten gefährdeten Arten auftraten (Tab. 17, Abb. 14). Auch in Bezug auf Tagfalter, welche im Naturraum Schwäbische Alb gefährdet sind, zeigten sich die größten Abundanzwerte in Linsenkulturen.

Um die naturschutzfachliche Bedeutung der Kulturen abschätzen zu können, ist gerade bei sehr mobilen Artengruppen neben dem Gefährdungsstatus auch die Stetigkeit der Arten auf den untersuchten Ackerschlägen von Bedeutung. Nur sechs gefährdete oder potentiell schutzbedürftige Arten wurden mit einer Stetigkeit von mindestens 25% erfasst, kamen also auf mindestens 6 von 24 Erfassungstransekten einer Untersuchungskultur vor (Tab.18). Drei dieser sechs Arten hatten auf Linsenäckern, zwei auf Blühflächen ihre höchste Stetigkeit, währenddessen keine der Arten auf Winterweizen- oder Winterdinkelkulturen eine hohe Stetigkeit erreichte. Die höchste Stetigkeit mit 83% hatte *Colias alfacariensis* auf Linsenäckern, welche dort sogar zu den stetigsten Arten aller Tagfalterarten gehörte (Tab. 14). Insgesamt haben somit beide Blühkulturen eine im Vergleich zu den Getreidekulturen höhere

Bedeutung für gefährdete Tagfalterarten, wobei die Linsenkulturen insgesamt die höchste Anzahl, Abundanz und Stetigkeit von Rote Liste Arten aufwiesen.

Tab. 17. Absolute Anzahl gefährdeter Tagfalterarten der Regionalliste Schwäbische Alb, der Roten Liste Baden-Württembergs (beide Ebert et al., 2008) und Deutschlands (Reinhardt & Bolz, 2012) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=12 je Kultur). In der Summierung wird zwischen gefährdeten und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten differenziert, sowie die Summe aller Tagfalterindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben.

Gefährdungskategorie	Schwäbische Alb				Baden-Württemberg				Deutschland			
	W	**B**	**D**	**L**	**W**	**B**	**D**	**L**	**W**	**B**	**D**	**L**
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
V	2	5	3	5	2	7	6	11	0	1	2	3
G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
∑ RL 1-3	0	1	1	2	1	1	1	2	1	0	0	1
∑ RL gesamt	2	6	4	7	3	8	7	13	1	1	2	4
∑ Individuen	2	35	10	57	4	44	42	83	1	4	7	17

Tab.18. Häufigkeit und Stetigkeit (ohne Winterweizen und Winterdinkel wegen geringer Stetigkeit) aller gefährdeten Tagfalterarten mit Minimum 25% Stetigkeit in einer der vier Ackerkultur. Fett markiert: Größter Stetigkeitswert der vier Kulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L)).

Artname	W	B	D	L	Stetigkeit L [%]	Stetigkeit B [%]
Colias alfacariensis (RL: V)	0	7	1	32	**83%**	33%
Colias hyale (RL: V)	0	8	1	0	8.30%	**25%**
Cupido argiades (RL:V)	0	0	0	4	**25%**	0%
Cupido minimus ,(RL: V)	0	3	3	11	**41%**	25%
Issoria lathonia (RL: V)	0	11	0	8	33%	33%
Nymphalis polychloros (RL: 2)	0	4	2	10	17%	**25%**

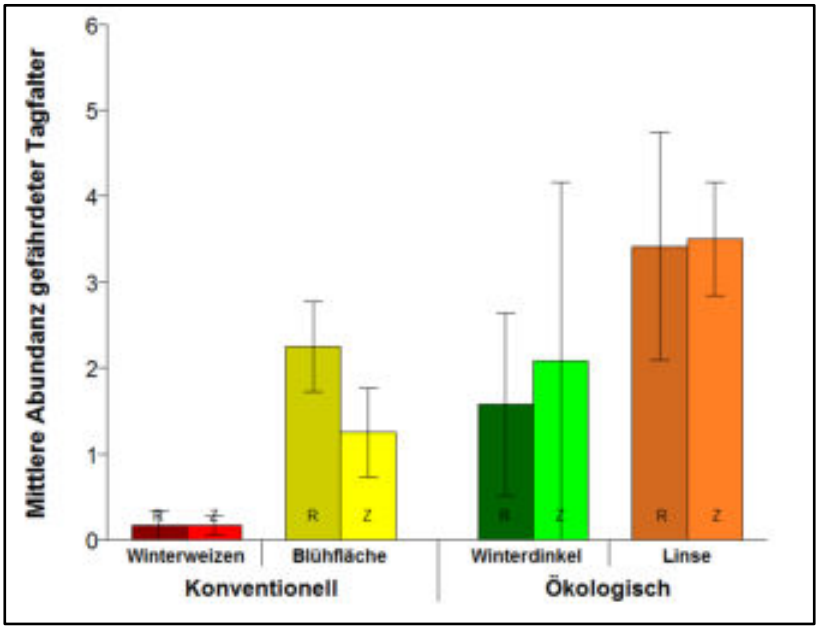

Abb. 14. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz gefährdeter Tagfalterarten (nach Roter Liste BW oder D) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, beide Erfassungsjahre zusammengefasst).

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend kann im Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich der Tagfalter-Zönose festgestellt werden:

- Die Artengemeinschaften aller Ackerkulturen werden von ähnlichen, landesweit häufigen und überwiegend ubiquitär vorkommenden Tagfalterarten dominiert, einzig in Linsenkulturen befindet sich mit *Colias alfacariensis* eine Art der Vorwarnliste unter den stetigsten Arten und kann als charakteristische Art für Linsenäcker betrachtet werden.

- Auf den beiden Blühkulturen (Linsenkultur und Blühflächen) waren die Abundanz, die Diversität und der Artenreichtum deutlich höher als auf den Getreidekulturen (Winterweizen- und Winterdinkelkulturen).

- Auf Winterdinkelkulturen waren die Abundanz, die Diversität und der Artenreichtum tendenziell höher als auf Winterweizenkulturen.

- Es gibt keine ausgeprägten Unterschiede zwischen Ackerrand und Innenbereich (Zentrum).

- Beide Blühkulturen haben eine im Vergleich zu den Getreidekulturen höhere Bedeutung für gefährdete Tagfalterarten.

- Linsenäcker haben insgesamt die höchste Anzahl, Abundanz und Stetigkeit von Rote Liste Arten und übertreffen in dieser Hinsicht auch die Blühflächen bezüglich der naturschutzfachlichen Bedeutung.

5.4.2 Diskussion

Tagfalter sind in Deutschland in ihrer Abundanz und ihrem Artenreichtum als Folge der Intensivierung der Landwirtschaft stark zurückgegangen (Habel et al., 2016). Hierbei spielen insbesondere der Einsatz von Pestiziden und fehlender Blühressourcen in der Landschaft eine wichtige Rolle. Daneben sind der Verlust von geeigneten Larvalhabitaten durch Düngung, frühe und häufige Mahd sowie der Rückgang von Grünlandhabitaten entscheidende Faktoren für den Rückgang der Tagfalterbestände.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung des Blühangebots durch Kulturen, welche im Vergleich zu Normalkulturen ein höheres Blühangebot bieten, positive Effekte auf die Tagfalterfauna haben. Sowohl konventionelle Blühflächen als auch ökologische Linsenkulturen bieten im Vergleich zu den beiden Getreidekulturen ein deutlich besseres Blüh- und damit Nahrungsangebot und tragen somit zur Förderung der Tagfalterfauna in ihren jeweiligen Anbausystemen (konventionell, ökologisch) bei. Bei den wenigen Arten und Individuen, welche auf Winterweizenkulturen nachgewiesen wurden, handelt es vermutlich um Zufallsbeobachtungen, welche überfliegend oder aus Nachbarhabitaten einstrahlend die Kultur kurzzeitig besuchten. Der fehlende Einsatz von chemischen Pestiziden auf Winterdinkel- im Vergleich zu Winterweizenkulturen zeigte nur tendenziell eine positive Wirkung, da auch dort das Blühangebot zu gering war. Zur Förderung der Tagfalterfauna auf Ackerstandorten sollte der sicherlich positive Verzicht/Reduktion von Pestiziden daher einhergehen mit einer deutlichen Erhöhung des Blühangebots.

Obwohl Blühflächen auf Grund der dort kultivierten Blühmischung ein deutlich höheres Blütenangebot als Linsenkulturen aufweisen, gingen die positiven Effekte nicht über die der Linsenkultur hinaus. Dies könnte mit der zeitlichen Komplementarität im Blühaspekt der beiden Kulturen zusammenhängen. Linsenkulturen erreichen Mitte bis Ende Juni das höchste Blühangebot, bei den Blühflächen ist das Blütenmaximum erst ab Juli erreicht. Andererseits besteht die auf Blühflächen eingesäte Blühmischung fast ausschließlich aus nicht-heimischen

Blütenpflanzen, während Linsenäcker einen deutlich höheren Anteil an heimischen Ackerwildkräutern aufweisen. Die meisten Tagfalter sind insbesondere in Bezug auf ihre Raupenfutterpflanzen auf heimische Pflanzenarten spezialisiert, auch wenn zur Nektarsuche auch nicht heimische Arten genutzt werden. Auch wenn Ackerflächen auf Grund des regelmäßigen Bodenumbruchs kaum Potential als Fortpflanzungsstätten bieten, besteht doch eine Affinität von Tagfaltern zu heimischen Blütenpflanzen, was die im Verhältnis zum Blühangebot eher geringen Effekte der Blühfläche erklärt. Die Verwendung einer heimischen Saatgutmischung zur Anlage der Blühflächen würde daher ein deutlich größeres Potential bieten, als die derzeit gebräuchliche Mischung, welche nur zwei heimische Arten enthält, darunter eine Art (*Centaurea cyanus*) mit einer züchterisch veränderten Sorte (gefüllten Blütenköpfen).

Bezüglich der Anzahl gefährdeter Tagfalter übertreffen Linsenkulturen die Effekte der Blühflächen und sind daher naturschutzfachlich die geeignetste der untersuchten Kulturen. Dies hängt - wie bereits erläutert - wohl mit dem höheren Anteil an heimischen Ackerwildkrautpflanzen zusammen und könnte zusätzlich durch eine Präferenz von einigen Tagfaltern für Leguminosen-Pflanzen zu tun haben. Gerade der mit klarer Präferenz für Linsenäcker nachgewiesene Hufeisenklee-Gelbling, *Colias alfacariensis,* aber auch andere häufige Arten wie der Hauhechel-Bläuling, *Polyommatus icarus***,** und andere Bläulinge bevorzugen Leguminosen als Raupenfutterpflanze. Da die Linse ebenfalls eine Leguminose ist, könnte dies ein weiterer positiver Aspekt für Tagfalter sein. Zuletzt könnte auch die in Linsenäckern deutlich häufiger vorkommende Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*), die Wertigkeit von Linsenäckern erhöhen, da diese auf Grund der großen und nektarreichen Blütenköpfe eine sehr beliebte Futterpflanze für Tagfalter darstellt.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sowohl Blühflächen als auch Linsenkulturen durch die Schaffung von günstigen Nahrungshabitaten erheblich zur Förderung der Tagfalterfauna auf Ackerstandorten beitragen, wobei insbesondere Linsenäcker eine hohe naturschutzfachliche Bedeutung haben. Neben der Förderung von mehr blühenden Kulturen, stellt aber auch der Erhalt und die Entwicklung

geeigneter Fortpflanzungsstätten ein wichtiges Instrument zur Förderung der Tagfalter in Agrarlandschaften dar. Dies kann auf einjährigen Ackerstandorten nicht realisiert werden. Begleitend zur Etablierung von Blühkulturen sollten daher auch geeignete Fortpflanzungshabitate, insbesondere extensives Grünland, mehrjährige Brachen und Feldgehölze, im Landschaftskontext erhalten werden.

5.5 Wildbienen

5.5.1 Ergebnisse

Insgesamt wurden **1.741** Wildbienenindividuen von **47** Arten erfasst, sowie **2.585** Honigbienen (*Apis mellifera*). Im Mittel wurden pro Erfassungstransekt über alle Erfassungsrunden eines Jahres 18,1 ± 3,0 Wildbienenindividuen von 3,5 ± 0,4 Arten erfasst. Fast 80% aller erfassten Wildbienenindividuen verteilten sich auf die fünf häufigsten Arten, allesamt aus der Gattung *Bombus* (Hummeln). Dies waren *Bombus lapidarius* (51% aller Individuen), *Bombus terrestris (*12,9%), *Bombus pascuorum* (5,6%), *Bombus sylvarum* (5.6%) und *Bombus lucorum* (4,8%). Insgesamt bestimmen nur 21% der Wildbienenarten 94% aller Individuen, was die Dominanz weniger, sehr häufiger Arten in den Wildbienenzönosen der erfassten Ackerstandorte aufzeigt. 60% aller erfassten Bienen waren Honigbienen.

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich absoluter Anzahl und Stetigkeit
Insgesamt wurden in Winterweizenkulturen 14 Wildbienen von 9 Arten nachgewiesen, in Blühflächen 1.455 Wildbienen von 39 Arten, im Winterdinkel 45 Wildbienen von 11 Arten und in Linsenkulturen 227 Individuen von 26 Arten. Die absolute Anzahl erfasster Wildbienen war damit in Blühflächen erheblich höher als in den drei anderen Kulturen. Es wurden 2.186 Wildbienen von 36 Arten am Ackerrand und 2.140 Wildbienen von 31 Arten im Ackerzentrum erfasst. Von den insgesamt 47 Arten kamen eine Art ausschließlich im Winterweizen, 15 Arten nur in Blühflächen, eine Art nur in Winterdinkel- und fünf Arten nur in Linsenäckern vor. Die mittlere Stetigkeit der Arten in den Kulturen betrug 0,3 ± 0,1 in Winterweizenkulturen, 4,9 ± 0,3 in Blühflächen, 0,8 ± 0,3 in Winterdinkel und 2,4 ± 0,7 in Linsenäckern.

Die Wildbienengemeinschaft war von einigen häufigen Hummelarten (*Bombus*) dominiert. Sonstige Wildbienen waren mit wenigen Ausnahmen deutlich weniger dominant vertreten. Im Winterweizen und in geringerem Maße auch in Winterdinkelkulturen traten nur vereinzelte Wildbienen auf (Tab. 19). Keine Art

erreichte in den Getreidekulturen eine hohe Dominanz bezüglich Häufigkeit oder Stetigkeit. Lediglich *Bombus hortorum* war in Winterdinkelkulturen relativ häufig. In Blühflächen war die Häufigkeit und Stetigkeit aller insgesamt häufigen Arten am größten, wobei insbesondere Hummelarten die Artengemeinschaft dominierten und die sonstige Wildbienen vor allem durch wenige Arten der Gattung *Lasioglossum* geprägt waren. Linsenkulturen wiesen ähnliche Dominanzstrukturen wie Blühflächen auf, jedoch mit deutlich weniger Individuen pro Art.

Tab. 19. Absolute und relative Häufigkeit sowie prozentuale Stetigkeit (in Klammern) aller Wildbienenarten mit Minimum 1% relativer Häufigkeit in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L); n=18 je Kultur). Daten über zwei Erfassungsjahre zusammengefasst (Fett= Arten unter den 13 häufigsten Arten der jeweiligen Kultur).

Artname	Relative Häufigkeit [%]	Gesamthäufigkeit	Absolute Häufigkeit			
			W	B	D	L
Bombus lapidarius	51	888	**1 (4)**	**770 (96)**	**8 (29)**	**109 (71)**
Bombus terrestris s.l.	13	225	**1 (4)**	**204 (96)**	**5 (8)**	**15 (46)**
Bombus pascuorum	6	98	**1 (4)**	**77 (83)**	0 (0)	**20 (42)**
Bombus sylvarum	6	97	**3 (13)**	**76 (71)**	**3 (13)**	**15 (46)**
Bombus lucorum s.l.	5	84	0 (0)	**80 (58)**	**1 (4)**	**3 (8)**
Lasioglossum laticeps	4	68	0 (0)	**65 (29)**	0 (0)	**3 (8)**
Lasioglossum calceatum	3	46	0 (0)	**38 (63)**	0 (0)	**8 (29)**
Lasioglossum pauxillum	3	59	**4 (8)**	**30 (58)**	**3 (13)**	**22 (25)**
Bombus hortorum	2	39	0 (0)	**19 (38)**	**18 (33)**	2 (8)
Bombus pratorum	2	41	**1 (4)**	**37 (54)**	**1 (4)**	2 (8)
Bombus humilis	1	13	0 (0)	**12 (33)**	0 (0)	1 (4)
Halictus tumulorum	1	11	0 (0)	**7 (21)**	**2 (8)**	2 (8)
Lasioglossum morio	1	9	0 (0)	4 (17)	**2 (8)**	**3 (8)**

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich mittlerer Abundanz, Artenreichtum und Diversität der Arten (Shannon-Index)

Sowohl die Abundanz als auch der Artenreichtum und die Diversität der Wildbienen war in Blühflächen erheblich höher als in allen anderen Kulturen (Tab. 20, Abb. 18). Dabei gab es keinen erkennbaren Unterschied zwischen Ackerrand und Innenbereich. Winterdinkelkulturen wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede zu Winterweizenkulturen auf. Linsenkulturen wiesen eine etwas höhere

Abundanz, einen höheren Artenreichtum sowie eine höhere Diversität an Wildbienen auf, als Winterdinkelkulturen und bereichern damit den ökologischen Landbau hinsichtlich der Wildbienenfauna.

Im Mittel war die Abundanz der Honigbienen insbesondere in den beiden Blühkulturen deutlich höher, als die der Wildbienen (Abb. 19). Die Wildbienen waren zum großen Teil Hummelarten, welche eine primitiv eusoziale Lebensweise haben. Sonstige (meist solitäre) Wildbienenarten wiesen vergleichsweise geringe Abundanzen auf. Blühkulturen, insbesondere Blühflächen wurden somit in starkem Maße von Hummeln und Honigbienen genutzt und weniger stark von solitären Wildbienen.

Tab. 20. Vergleich des Einflusses der Ackerkultur (Winterweizen (W) vs. Blühfläche (B) vs. Winterdinkel (D) vs. Linse (L)) und der Transektposition (Ackerrand (R) vs. Zentrum (Z)) auf die Abundanz, Artenreichtum und Diversität (Shannon) von Wildbienen. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse eines *linearen gemischten Models* (lmer), um signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen und Transekten zu identifizieren. Fett markiert: Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von *p*=0.05.

Abhängige Variable	Kulturvergleich	Schätzwert	*p*-Wert
Abundanz [a]	W – B	-1.597	**<0.0001**
	W – D	-0.196	0.1378
	W – L	-0.755	**<0.0001**
	B – D	1.401	**<0.0001**
	B – L	0.842	**<0.0001**
	D – L	-0.559	**<0.0001**
	Z – R	0.0405	0.3884
Artenreichtum [b]	W – B	-2.164	**<.0.0001**
	W – D	-0.327	0.0945
	W – L	-1.241	**<0.0001**
	B – D	1.837	**<0.0001**
	B – L	0.922	**<0.0001**
	D – L	-0.915	**<0.0001**
	Z – R	0.0129	0.8783
Shannon-Diversität	W – B	-1.32	**<0.0001**
	W – D	-0.291	0.0736
	W – L	-0.927	**<0.0001**

B – D	1.029	**<0.0001**
B – L	0.393	**0.0085**
D – L	-0.636	**0.0002**
Z – R	-0.0452	<0.5531

[a] Log transformierte Werte für Modelkalkulation genutzt.

[b] Quadratwurzel transformierte Werte für Modelkalkulation genutzt

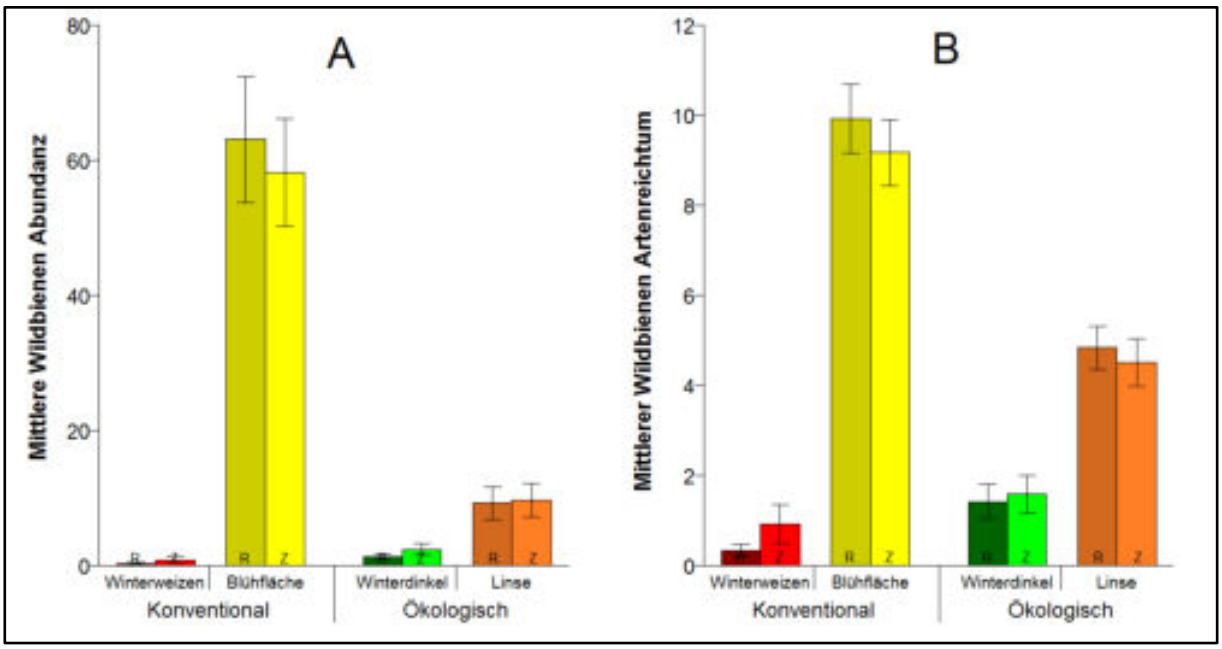

Abb. 15. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz (A) und Artenreichtum (B) aller Wildbienen am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=18 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst).

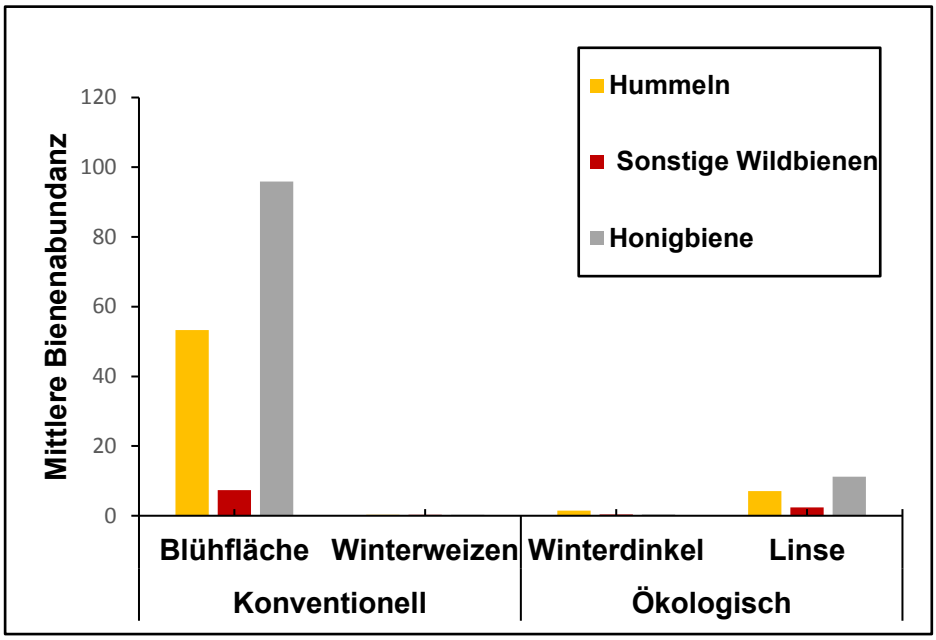

Abb. 16. Mittlere (Mittelwert) Abundanz differenziert nach Hummeln (*Bombus*), sonstigen Wildbienen und Honigbienen in den vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, Erfassungsjahre zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich gefährdeter Arten

Insgesamt waren 22 % aller erfassten Arten und nur 3 % aller Individuen gefährdet oder potentiell schutzbedürftig (Westrich et al., 2000, Westrich et al. 2011). Die Anzahl gefährdeter Arten war auf Blühflächen und Linsenkulturen höher als in den beiden Getreidekulturen, wobei die Unterschiede vor allem Arten der Vorwarnliste bestimmten. Auch die absolute und mittlere Abundanz gefährdeter Wildbienenindividuen war in beiden Blühkulturen höher als in den Getreidekulturen, jedoch in Blühflächen noch deutlich höher als in den Linsenkulturen (Tab. 21, Abb. 20). Damit ist die Anzahl gefährdeter Arten auf Blühflächen nicht wesentlich höher als auf Linsenkulturen, jedoch kommen diese auf Blühflächen in höheren Dichten vor.

Tab. 21. Absolute Anzahl gefährdeter Wildbienenarten der Roten Liste Baden Württembergs (Westrich et al., 2000) und Deutschlands (Westrich et al., 2011) in den vier Untersuchungskulturen Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) (n=12 je Kultur). In der Summierung wird zwischen

gefährdeten (1-3) und gefährdeten und potentiell schutzbedürftigen Arten (V – R) differenziert, sowie die Summe aller Wildbienenindividuen mit Gefährdungsstatus angegeben.

Gefährdungskategorie	Baden-Württemberg				Deutschland			
	W	B	D	L	W	B	D	L
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	1	2	1	1
3	1	0	0	1	1	0	0	0
V	2	5	1	5	0	1	0	2
G	0	0	0	0	0	1	0	0
R	0	0	0	0	0	1	0	1
∑ RL 1-3	1	2	0	1	2	2	1	1
∑ RL gesamt	3	7	1	6	2	5	1	4
∑ Individuen	5	97	3	21	4	91	3	18

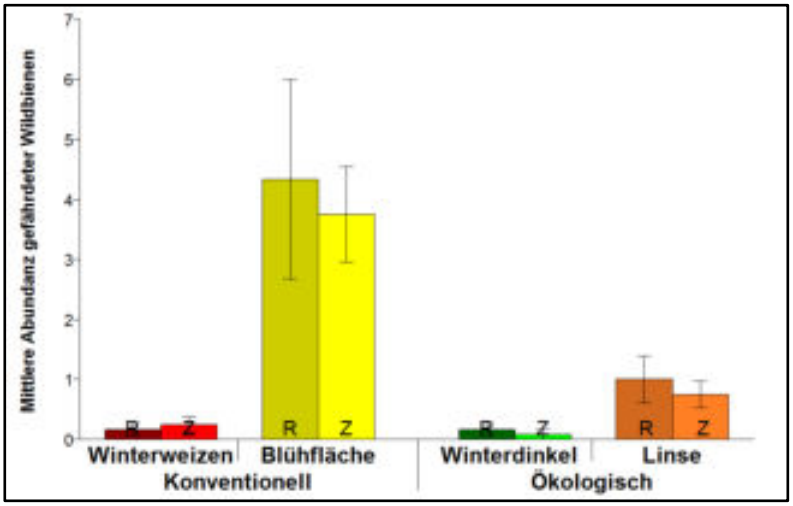

Abb. 17. Mittlere (Mittelwert ± Standardfehler) Abundanz gefährdeter Wildbienen (nach Roter Liste BW oder BRD; inkl. potentiell schutzbedürftiger Arten) am Rand (R) und Zentrum (Z) der vier Untersuchungskulturen (n=12 je Kultur, beide Erfassungsjahre zusammengefasst).

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich charakteristischer Arten

Insgesamt waren 11 der 47 Wildbienenarten sowie die Honigbiene signifikant mit einer oder mehreren Untersuchungskulturen assoziiert (Tab. 22). Neun Arten, darunter sieben Hummelarten inkl. zwei Arten der Vorwarnliste, hatten eine statistisch signifikante Präferenz für Blühflächen, während Honigbienen die Blühkulturen vor den Getreidekulturen präferierten. Mit Ausnahme der Blühfläche

zeigte keine Art eine alleinige Präferenz für eine Kultur. Damit sind Blühflächen insbesondere für einige noch recht weitverbreitete Hummelarten eine präferiertes (Nahrungs-) habitat.

Tab. 22. Auflistung aller Bienenarten, welche signifikant mit einer Ackerkultur (Winterweizen (W) , Blühfläche (B), Winterdinkel (D), Linse (L)) oder mehreren Ackerkulturen assoziiert sind (hohe Spezifität und/oder Sensitivität für Kultur) und daher charakteristisch für diese Kultur(en) sind. Nicht signifikant assoziierte Arten oder Kulturen sind nicht dargestellt. Fett markiert sind naturschutzfachlich bedeutsame Arten (gefährdete oder potentiell gefährdete Arten).

Kultur	Indikatorenart	Assoziierungswahrscheinlichkeit	*p-Wert*
B	**Bombus humilis**	0.555	0.004
	Bombus lapidarius	0.912	0.004
	Bombus lucorum	0.745	0.004
	Bombus pascuorum	0.809	0.004
	Bombus pratorum	0.699	0.004
	Bombus sylvarum	0.745	0.004
	Bombus terrestris	0.932	0.004
	Lasioglossum calceatum	0.719	0.004
	Lasioglossum laticeps	0.528	0.004
B + L	Apis mellifera	0.965	0.004
	Lasioglossum pauxillum	0.606	0.008
B + D	Bombus hortorum	0.58	0.004

Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich der Populationsentwicklung von Erdhummelvölkern (*Bombus terrestris*)

Um neben der Auftretungsfrequenz von Arten und Individuen auf der Fläche auch das Populationswachstum von Wildbienenbeständen zu untersuchen, wurden im Untersuchungsjahr 2018 gezüchtete (jedoch heimische) Erdhummelvölker (je zwei Völker pro Untersuchungsfeld) als Indikatorart herangezogen und deren Populationsentwicklung über verschiedene Parameter gemessen.

- Populationswachstum der Erdhummelvölker:

Nach Ausbringung der initialen Völker (je Königin mit ca. 30 Arbeiterinnen) nahm das Gewicht der Völker über die ersten 4 Wochen kontinuierlich zu, und nahm in der letzten Woche wieder etwas ab, was als Indikator für das Schlüpfen der neuen Jungköniginnen gilt und somit das Ende der Brutperiode anzeigt (Abb. 21).

Trotz der deutlichen Unterschiede im Blühangebot der Untersuchungskulturen (Abb. 2), konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kulturen hinsichtlich des Populationswachstums festgestellt werden (Abb. 22). Mögliche Ursachen werden im folgenden Unterpunkt „Pollenanalyse“ erläutert.

Abb. 18. Gewichtsverlauf aus den gemittelten Gewichtsdaten aller Hummelvölker; ab Ausbringung in Woche eins, wurde wöchentlich das Gewicht der Völker ermittelt.

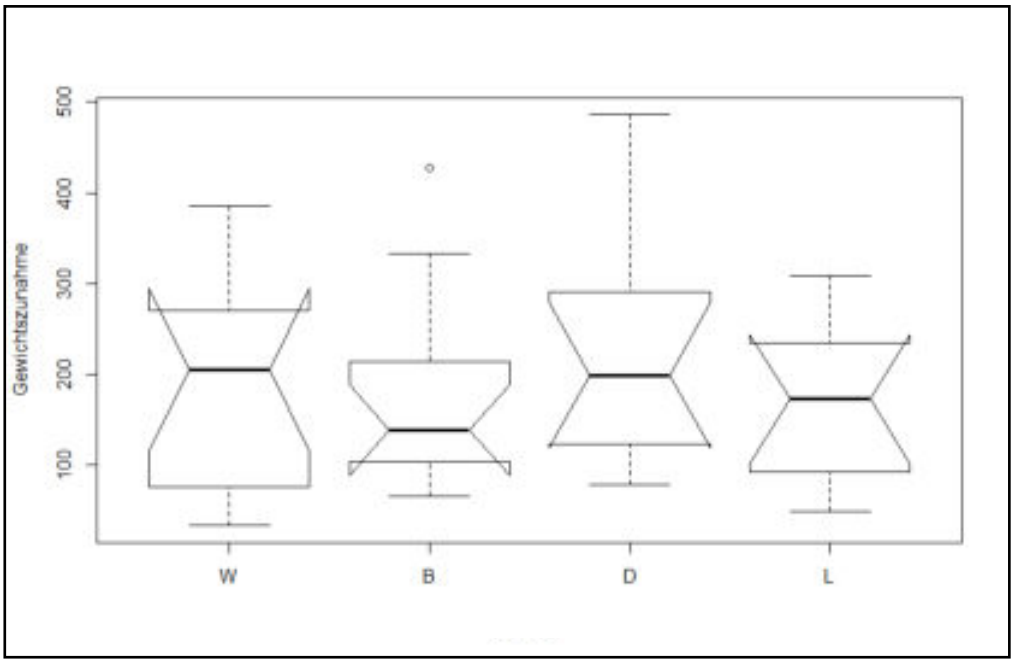

Abb. 19. Median und Quartile der maximalen Gewichtszunahme (in g) an Winterweizen- (W), Blühflächen- (B), Winterdinkel- (D) und Linsenkulturen (L).

- <u>Größe der Arbeiterinnen (Intertegula Abstand):</u>

Die Größe der Arbeiterinnen kann auf die individuelle Fitness und die Ressourcenverfügbarkeit eines Erdhummelvolkes hinweisen. Bei schlechter Ressourcenverfügbarkeit sind die sich entwickelnden Arbeiterinnen kleiner (Abb. 23). Die Arbeiterinnen waren in allen Extensivkulturen im Mittel (Median) größer als im Winterweizen (Abb .24). Im Winterdinkel waren die Arbeiterinnen im Mittel am größten.

Abb. 20. Größenunterschiede zwischen Individuen innerhalb eines Hummelvolks; links eine sehr kleine Arbeiterin („Zwerghummel"), rechts eine Jungkönigin.

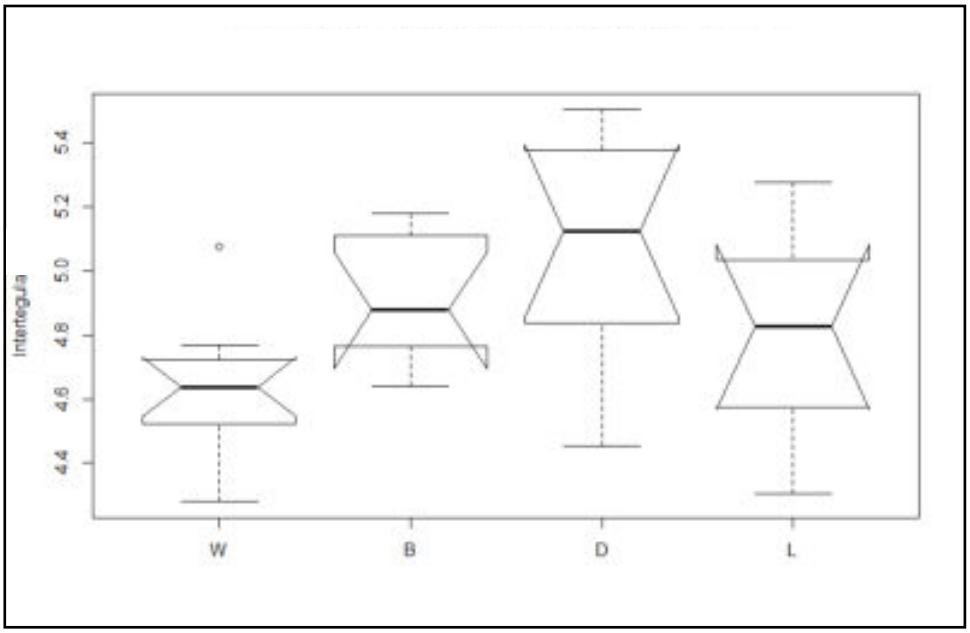

Abb. 21. Median und Quartile des Intertegula-Abstands (in mm) der Erdhummelarbeiterinnen an Weizenfeldern (W), Blühflächen (B), Dinkelfeldern (D) und Linsenfeldern (L).

- <u>Anzahl der Jungköniginnen-Brutzellen:</u>

Der Reproduktionserfolg eines Hummelvolkes kann über die Anzahl der gebildeten Jungköniginnen-Brutzellen quantifiziert werden, da potentiell jede neue Jungkönigin im Folgejahr ein eigenes Hummelvolk gründet. Jungköniginnen-Brutzellen lassen sich durch ihre Größe von den kleineren Arbeiterinnen-Brutzellen unterscheiden (Abb. 25). Tendenziell war die Anzahl der Jungköniginnen-Brutzellen in den drei

Extensivkulturen etwas höher als in Winterweizenkulturen, jedoch waren diese Unterschiede nicht signifikant ausgeprägt (Abb. 26). Somit konnte kein wesentlicher Einfluss der Kultur auf den Bruterfolg festgestellt werden.

Abb. 22. Links: Offene und geschlossene, große und kleinere Brutzellen im haufenartig angeordneten Erdhummelnest; rechts: Messung der Größe an einer Königinnen-Brutzelle.

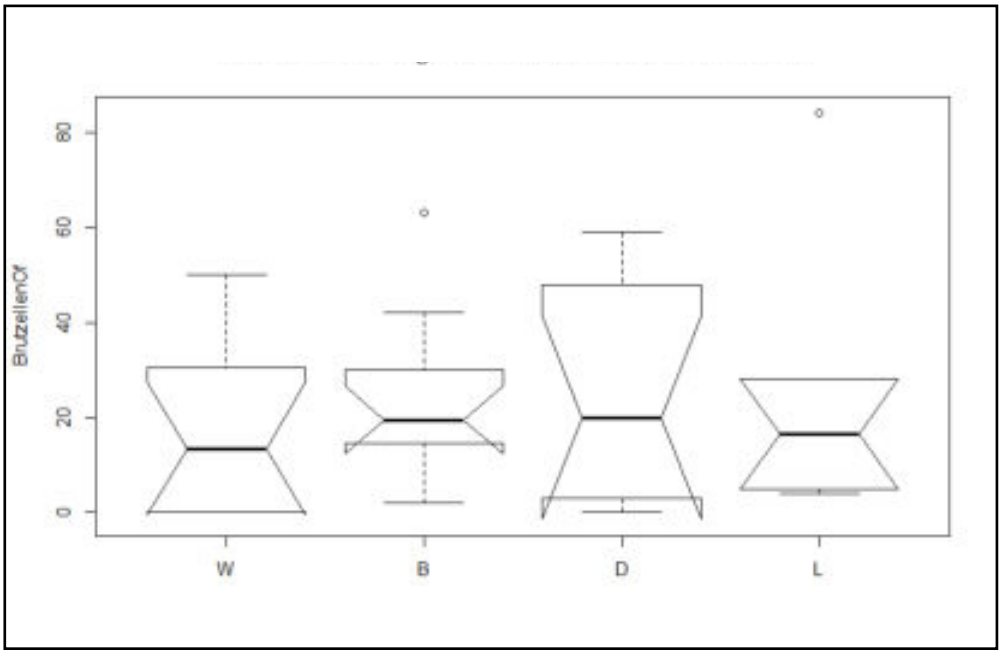

Abb. 23. Median und Quartile der Anzahl der offenen (=geschlüpft) Jungköniginnen-Brutzellen der Erdhummelvölker an Weizenfeldern (W), Blühflächen (B), Dinkelfeldern (D) und Linsenfeldern (L).

- Pollenanalyse :

Bei allen Völkern, unabhängig davon an welcher Kulturart diese platziert waren, war der Anteil an *Phacelia (Phacelia tanacetifolia*) - Pollen am größten und machte im Durchschnitt ca. 50% der Gesamtpollenmenge aus (Abb. 27). Unterschiede ergaben sich zwischen den sechs Ortschaften, jedoch nicht zwischen den Untersuchungskulturen. Da *Phacelia* im Untersuchungsgebiet nicht wild wächst (nicht frostbeständig), sondern nur in den Blühflächen als Teil der dort ausgesäten Blühmischung in großer Menge vorkommt, weisen die Ergebnisse darauf hin, dass alle Völker zur Pollensuche in die nächstgelegene Blühfläche geflogen sind, unabhängig davon, an welcher Kultur die Völker ausgebracht waren. Da Erdhummeln in aller Regel ihren Pollen im Umkreis von Minimum 500 bis 1500m um Ihren Neststandort sammeln können, und die Landschaftsanalyse ergab, dass sich im 500m Umkreis auch immer eine Blühfläche befand, liegt diese Vermutung nahe. Auch der Pollenartenreichtum unterschied sich nicht wesentlich zwischen den Kulturen, vermutlich auf Grund der Dominanz des *Phacelia* Pollens. Die Anziehungswirkung der Blühflächen auf alle Völker im Landschaftskontext war wohl auch der Grund, warum keine Unterschiede im Populationswachstum oder dem Bruterfolg zwischen den Kulturen festgestellt werden konnte. Die längere Flugdistanz der Arbeiterinnen, deren Neststandort nicht an einer Blühfläche lag, wirkte sich offensichtlich nicht negativ auf das Populationswachstum dieser Erdhummelvölker aus.

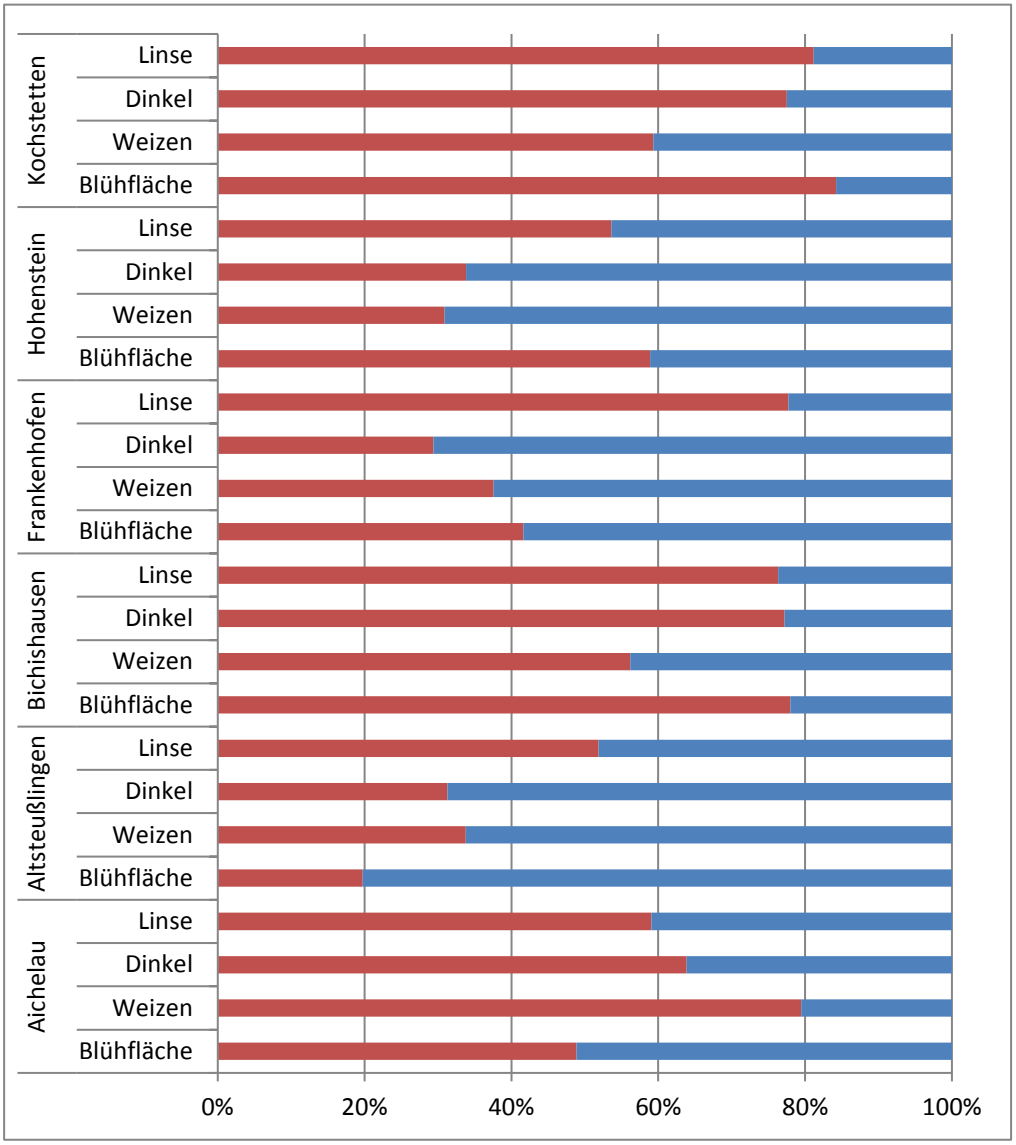

Abb. 24. Anteile von Phacelia-Pollen (*Phacelia tanacetifolia*, rot) an der Gesamtpollenmenge eines Hummelvolkes.

Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend kann im Vergleich der Ackerkulturen hinsichtlich der Wildbienen-Zönose festgestellt werden:

- Die Gesamtzönose wird von Hummelarten (und Honigbienen) dominiert, sonstige Wildbienenarten treten nur vereinzelt in hoher Abundanz und Stetigkeit auf. Beide Getreidekulturen werden nur in sehr geringem Maße von Wild- und Honigbienen aufgesucht.

- Blühflächen wirken sich deutlich positiv auf Abundanz, Artenreichtum, Diversität sowie auf einige gefährdete Wildbienenarten aus, insbesondere auf *Bombus humilis* und *Bombus sylvarum*, und erreichen höhere Wildbienendichten als alle anderen Kulturen. Blühflächen werden vor allem von häufigen Hummelarten der Agrarlandschaft sowie Honigbienen stark frequentiert.

- Ubiquitäre und hochmobile Hummelarten wie die Erdhummel (*Bombus terrestris*) profitieren in ihrer Populationsentwicklung von der Massenblühressource der Blühfläche in einem weiten Umkreis (Minimum 500m), wobei insbesondere *Phacelia tanacetifolia* als Pollenquelle genutzt wird. Diese Effekte egalisieren Unterschiede in der Populationsentwicklung von Erdhummelvölkern bezogen auf die den Neststandort umgebende Kulturart.

- Linsenkulturen bereichern den ökologischen Landbau, da die Abundanz, der Artenreichtum, die Diversität sowie die Anzahl gefährdeter Wildbienen höher ist als in Winterdinkelkulturen. Jedoch ist die Wildbienendichte deutlich geringer als auf konventionellen Blühflächen.

- Alle Extensivkulturen, insbesondere aber ökologische Winterdinkelkulturen, wirken sich positiv auf die individuelle Fitness von Erdhummelarbeiterinnen aus.

5.5.2 Diskussion

Insgesamt konnte für die Gruppe der Wildbienen im Vergleich zu den anderen Artengruppen die deutlichsten Unterschiede zwischen den vier Untersuchungskulturen festgestellt werden. Insbesondere Blühflächen zeigten für keine andere Artengruppe vergleichbar große Effekte. Letzteres war in gewisser Weise erwartbar, da Blühflächen, wie schon der Name erwarten lässt und die vegetationskundlichen Ergebnisse zeigen, auf ein möglichst großes Blühangebot hin optimiert sind. Da Blühflächen erst im Mai gesät werden, kommen diese auf Grund der benötigten Wachstumsdauer erst Ende Juni/Anfang Juli in ihre Blühphase. Zu dieser Zeit ist das sonstige Blühangebot in der Agrarlandschaft meist sehr gering, da Massenblühkulturen wie Raps bereits verblüht sind und auch Grünlandhabitate durch den bereits erfolgten ersten Schnitt ein meist sehr geringes Blühangebot aufweisen. Insofern stoßen die Blühflächen mit ihrer Hauptblühphase zwischen Ende Juni bis Ende August in eine“ Blühlücke“ wie sie im Hochsommer in vielen Agrarlandschaften zu beobachten ist.

Interessanterweise komplementieren sich Blühflächen und Linsenäcker bezüglich ihres Blühangebots während der Sommermonate, da Linsen im Monat Juni ihr größtes Blühangebot haben und ab Juli meist deutlich im Blühaspekt abnehmen. Auch wenn Linsenkulturen ein deutlich geringeres Blühangebot als Blühflächen aufweisen, leisten sie durch den früheren Blühaspekt sowie durch die stärkeren Blühaspekte heimischer Wildpflanzenarten einen positiven Beitrag für die Wildbienen-Zönose. Dagegen besteht die auf Blühflächen ausgebrachte Saatmischung mit Ausnahme von zwei Arten ausschließlich aus nicht-heimischen Pflanzenarten. Dies könnte der Grund dafür sein, dass trotz der insgesamt hohen

Frequentierungsrate durch Bienen, nur relativ wenige gefährdete und seltene Arten und Individuen nachgewiesen wurden. Gerade diese Wildbienenarten sind oftmals hochspezialisiert auf die Blütenform und das Pollenangebot weniger heimischer Pflanzenarten, Gattungen oder Familien (z.B. Glockenblumengewächse) und finden daher kein entsprechendes Nahrungsangebot durch die Pflanzenarten, der über das Agrarumweltprogramm FAKT vorgeschriebenen Blühmischung. Es konnte festgestellt werden, dass in erster Linie Arten mit großem Aktionsradius und primitiv-eusozialer Lebensweise wie Hummeln und einige häufige sonstige Wildbienenarten das große Blühangebot dieser nicht-heimischen Pflanzenarten nützt. Diese Arten sind auf Grund ihrer generalistischen Habitatansprüche, großen Mobilität und allgemeiner Verbreitung jedoch meist von geringerer naturschutzfachlicher Bedeutung. Die Verwendung von regionalem Saatgut mit heimischen Blütenpflanzen, anstelle der derzeit festgesetzten Blühmischung könnte daher die naturschutzfachliche Bedeutung von Blühflächen deutlich erhöhen.

Neben dem Blühangebot sind das Angebot an geeigneten Nisthabitaten, sowie der Einsatz von Pestiziden limitierende Faktoren für Wildbienenpopulationen in Agrarlandschaften. Erstgenanntes wird durch keine der vier Kulturarten positiv beeinflusst, da die kurze Vegetationsdauer und der regelmäßige Ackerumbruch keine geeigneten Nistplätze schaffen kann. Mehr- oder mindestens überjährige Kulturen wie etwa mehrjährige Blühflächen wären daher eine naturschutzfachlich wünschenswerte Fördermaßnahme für Wildbienen. Der Einsatz von Pestizide wirken sich durch letale und subletale Wirkungen nachweislich negativ auf Wildbienen aus (Gill et al., 2012). Daher ist der vorgeschriebene Verzicht auf Pestiziden in allen drei Extensivkulturen positiv zu bewerten, auch wenn auf Blühflächen durch die Historie einer konventionellen Bewirtschaftung Pestizidrückstände vorhanden sein könnten. Ein dauerhafter Pestizidverzicht, wie er im Ökologischen Landbau praktiziert wird, ist daher erstrebenswert, sollte aber auch dort einhergehen mit einem vergrößerten Blühangebot sowie der Schaffung von zusätzlichen Niststandorten, um Wildbienen nachhaltig in Agrarlandschaften zu fördern.

Die Ergebnisse des Erdhummelexperiments zeigten überraschenderweise keine Unterschiede im Populationswachstum zwischen Völkern, welche direkt an Blühflächen platziert waren, und Völkern, welche ihren Standort an den anderen Kulturarten hatten. Die Pollenanalyse offenbarte, dass offensichtlich alle Völker standortunabhängig Blühflächen aufsuchten und hier vor allem *Phacelia* als Pollenquelle nutzten. Dies verdeutlicht die hohe Mobilität und Flexibilität von Hummeln, welche in der Lage sind, die Landschaft in einem großen Umkreis nach der geeignetsten Blühressource abzusuchen. Lokale Unterschiede wie das Blühangebot eines Ackerschlages werden durch solche Landschaftseffekte offensichtlich überlagert. Dies zeigt die Notwendigkeit Maßnahmen auch im Kontext ihrer umgebenden Landschaft und eines möglichen Schwellenwertes im Landschaftskontext zu bewerten. Für häufige und hochmobile Blütenbesucher wie die Erdhummel reicht offensichtlich das Vorhandensein einer Blühfläche im Landschaftskontext (500-1500m), um das Nahrungsangebot zu decken. Die Schaffung weiterer Blühflächen in einer solchen Landschaft würde keine weiteren positiven Effekte für diese Populationen bringen, da ihr Nahrungsangebot bereits durch die Blühfläche im Landschaftskontext ausreichend gedeckt ist. Zumindest für häufige Blütenbesucher, welche ähnliche Lebensweisen wie Erdhummeln haben, scheint daher eine Maximaldichte von Blühflächen in einer Landschaft sinnvoll zu sein. Ist bereits eine Blühfläche in der Landschaft vorhanden, sollten andere Maßnahmen zur Förderung der Wildbienenfauna priorisiert werden, wie beispielsweise die Schaffung von Nistplätze oder Pestizidreduktion.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Erhöhung des Blühangebots durch Blühkulturen wie Blühflächen und Linsenkulturen ein sinnvolles Instrument zur Förderung der Nahrungsressourcen für Bienen in Agrarlandschaften darstellt. Zur Förderung von seltenen und naturschutzfachlich besonders bedeutsamen Arten sind diese Instrumente jedoch nur in begrenztem Umfang sinnvoll, da überwiegend häufige Wildbienen- und Honigbienen davon profitieren. Die Schaffung von mehrjährigen Blühkulturen mit heimischen Pflanzenarten sowie die gezielte Förderung von Niststandorten sind daher zukünftig zu priorisieren.

5.6 Gesamtbetrachtung

Insgesamt wurden **115.622** Individuen (exklusive Pflanzen) von **461** Arten aus fünf fünf verschiedenen Artengruppen erfasst. Die erfassten Artengruppen nehmen stellvertretend verschiedene Funktionen im „Ökosystem Acker“ war und unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer jeweiligen Habitatansprüche und Mobilität. Epigäische Prädatoren (Laufkäfer und Spinnen) wurden insgesamt deutlich häufiger und mit mehr Arten erfasst als die beiden blütenbesuchenden Insektengruppen (Tagfalter und Wildbienen) (Tab. 23). Laufkäfer dominierten hierbei die Anzahl der insgesamt erfassten Individuen, auch wenn diese über drei Jahre und nicht wie bei den anderen Artengruppen über zwei Jahre erfasst wurden. Die geringeren Fangzahlen bei blütenbesuchenden Insekten hängen mit der unterschiedlichen Erfassungsdauer/methodik zusammen, da diese nicht dauerhaft (über mehrere Tage) erfasst wurden, sondern punktuell im Rahmen einzelner Begehungen.

Die absolute wie auch die mittlere Individuen- und Artenzahl über alle Taxa hinweg war in Winterweizenkulturen geringer als in allen drei Extensivkulturen (Tab. 23; Abb. 25). Die etwas höheren Abundanzen bei Blühflächen und Winterdinkelkulturen im Vergleich zu Linsenkulturen beruhen dabei vor allem auf der höheren Laufkäferzahl in diesen Kulturen. Der Unteschied war statistisch jedoch nicht signifikant (Tab. 8). In Linsenkulturen wurden absolut und im Mittel pro Untersuchungsfläche die meisten Arten erfasst, wobei Blühflächen und Winterdinkelkulturen ähnlich viele Arten aufwiesen (Tab. 23; Abb. 25).

Am Ackerrand wurden weniger Individuen (vor allem Spinnen und Laufkäfer) jedoch deutlich mehr Arten erfasst als im Ackerzentrum (Tab. 23). Vor allem die Artengruppe der Ackerwildpflanzen, Laufkäfer und Spinnen zeigte eine deutliche Abnahme der Artenzahl vom Ackerrand zum Ackerzentrum. Dies zeigt die Bedeutung von nicht-gepflügten Saumhabitaten für den Erhalt der Artenvielfalt auf Ackerstandorten. Gerade im Zustand der Schwarzbrache und während der Bodenbearbeitung bieten nicht-gepflügte Saumhabitate wichtige Rückzugs-, Fortpflanzungs- und Überwinterungshabitate und beherbergen daher

Quellpopulationen für zahlreiche Arten, welche den Acker von diesen Randstrukturen ausgehend besiedeln.

Tab. 23. Absolute Individuen- und Artenanzahl aller untersuchten Taxa in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L) sowie am Ackerand (R) und –zentrum (Z) (n=12 je Kultur für Spinnen, Tagfalter, Wildbienen; n=18 für Laufkäfer und Pflanzen; Daten über alle Erfassungsjahre zusammengefasst).

	Individuen							Arten						
Taxon	**W**	**B**	**D**	**L**	**R**	**Z**	**∑**	**W**	**B**	**D**	**L**	**R**	**Z**	**∑**
Pflanzen	-	-	-	-	-	-	-	81	100	132	122	161	122	172
Laufkäfer	13344	20882	22989	18572	35213	40574	75787	71	78	80	74	94	83	97
Spinnen	9776	8641	10079	7942	16572	19866	36438	65	59	62	68	88	71	100
Tagfalter	80	681	228	667	800	856	1656	19	31	27	34	41	36	45
Wildbienen	14	1455	45	227	2186	2140	1741	9	39	11	26	36	31	47
∑	**23214**	**31659**	**33341**	**27408**	**54771**	**63436**	**115622**	**245**	**307**	**312**	**324**	**420**	**343**	**461**

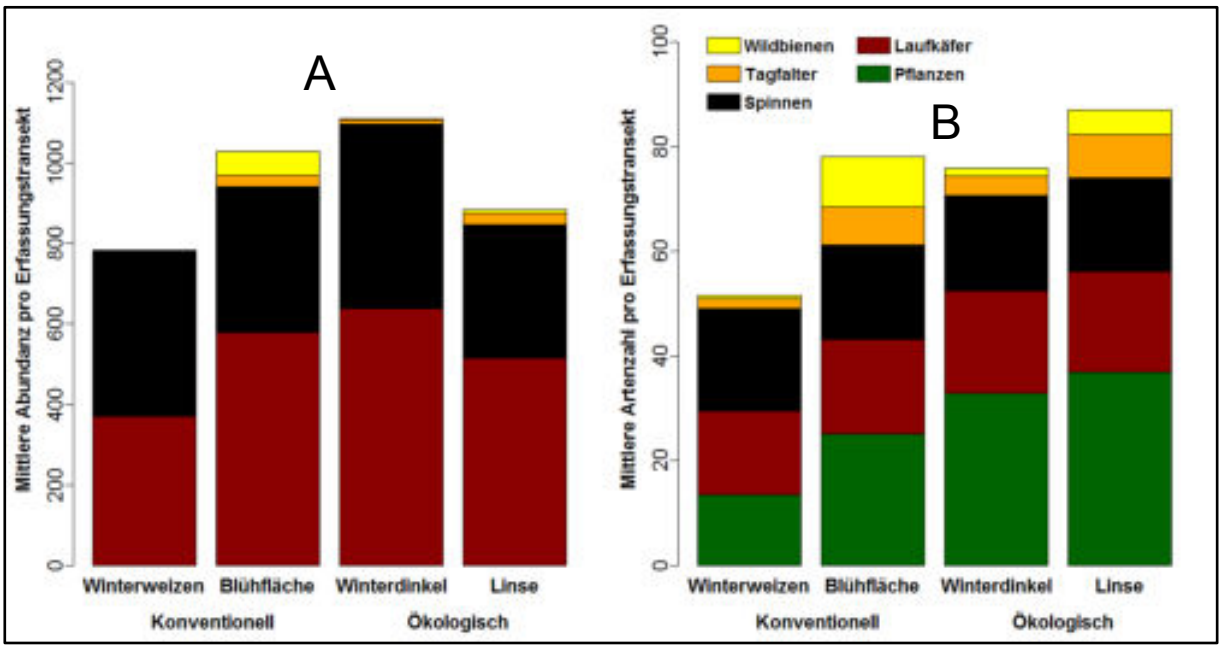

Abb. 25. Mittlere (Mittelwert) Abundanz (A) und Artenreichtum (B) der fünf untersuchten Artengruppen in den vier Untersuchungskulturen.

Für eine naturschutzfachliche Bewertung ist der Anteil der gefährdeten Arten in den einzelnen Kulturen ein entscheidendes Kriterium:
Es muss zunächst festgestellt werden, dass der Anteil an stark gefährdeten oder vom Aussterben bedrohten Arten über alle Kulturen und Artengruppen hinweg sehr gering war. Viele ehemals typische und wertgebende Bewohner von Ackerstandorten wie beispielsweise Kornrade (*Agrostemma githago*), Sommer-Adonisröschen (*Adonis aestivalis*) oder Kleiner Frauenspiegel (*Legousia hybrida*) traten gar nicht oder nur an einem einzelnen Standort auf. Vermutlich in Folge der jahrzehntelangen Intensivierung der Landwirtschaft sind diese Arten meist nicht mehr in der Samenbank (Pflanzen) oder im Landschaftskontext (Tiere) vorhanden und können somit auch nicht von einjährigen Extensivierungsmaßnahmen profitieren. Bei einem Großteil der gefährdeten Arten, welche in nennenswerter Häufigkeit und Stetigkeit vorkamen, handelt es sich um Arten der Vorwarnliste. Unabhängig von den betrachteten Kulturen und Artengruppen profitieren also in erster Linie diejenigen naturschutzfachlich bedeutenden Arten, welche bereits Bestandsrückgänge zu verzeichnen haben, jedoch insgesamt noch relativ weit verbreitet sind.

Im Vergleich der Kulturen wiesen alle drei Extensivkulturen höhere Individuen- und Artenzahlen an gefährdeter Arten auf als die Intensivkultur (Tab. 24; Abb. 26). Die Anzahl gefährdeter Arten war auf Linsenkulturen höher als auf Blühflächen und Winterdinkelkulturen, welche sich nicht wesentlich unterschieden. Dies betont die besondere naturschutzfachliche Bedeutung von Linsenkulturen für die Förderung der Artenvielfalt. Die absolute Individuenanzahl war in Blühflächen am höchsten und höher als in den artenreicheren Linsenkulturen. Dies beruhte jedoch vor allem auf dem Auftreten einzelner Arten, insbesondere der Laufkäferart *Brachinus crepitans*, welche an Einzelstandorten in großer Häufigkeit erfasst wurden, jedoch meist in geringer Stetigkeit.

Tab. 24. Absolute Individuen- und Artenanzahl aller nach landes- und bundesweiter Roten Liste der gefährdeten (1-3) oder potentiell schutzbedürftigen (V, G, R) Individuen und Arten in den vier Untersuchungskulturen (Winterweizen (W), Blühfläche (B), Winterdinkel (D) und Linse (L).

	Baden-Württemberg	Deutschland

	Individuen				Arten				Individuen				Arten			
Taxon	**W**	**B**	**D**	**L**	**W**	**B**	**D**	**L**	**W**	**B**	**D**	**L**	**W**	**B**	**D**	**L**
Vegetation					3	2	7	9					4	3	8	7
Laufkäfer	38	326	89	253	9	11	13	14	53	1723	252	119	8	11	12	14
Spinnen	29	22	18	21	5	4	4	5	3	3	3	2	1	1	1	2
Tagfalter	4	44	42	83	3	8	7	13	1	4	7	17	1	1	2	4
Wildbienen	5	97	3	21	3	7	1	6	4	91	3	18	2	5	1	4
∑	**76**	**489**	**152**	**378**	**23**	**32**	**32**	**47**	**61**	**1821**	**265**	**156**	**16**	**21**	**24**	**31**

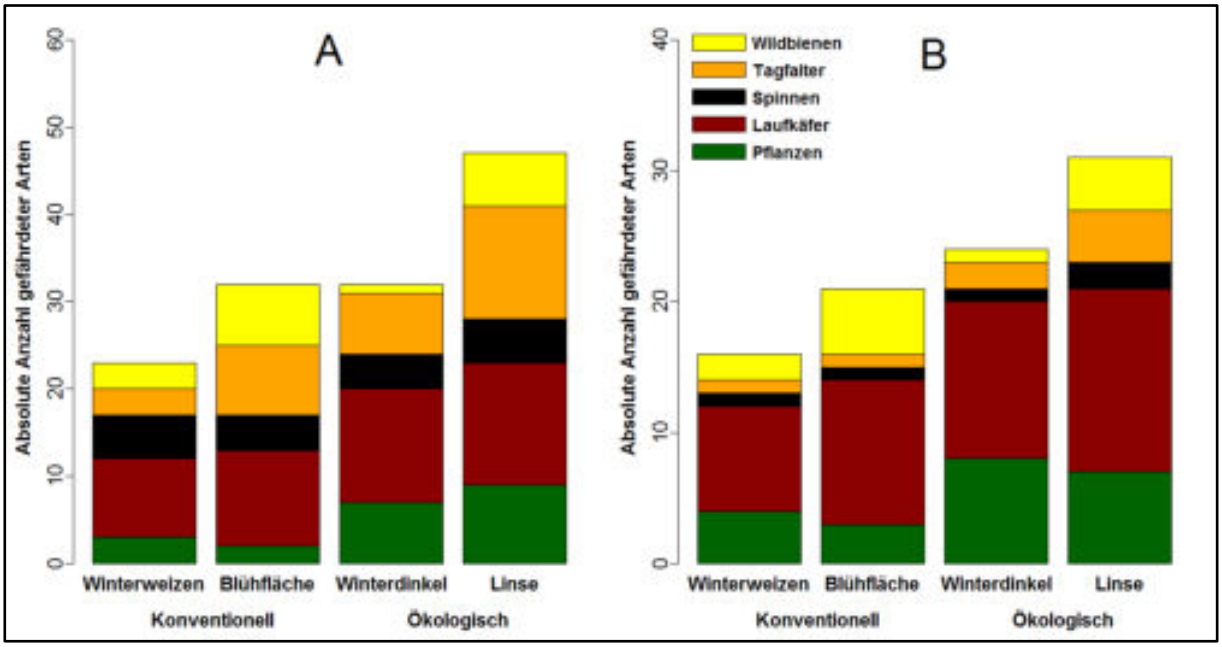

Abb. 26. Absolute Anzahl gefährdeter und potentiell schutzbedürftiger Arten nach Roter Liste Baden-Württembergs (A) und Deutschlands (B) für die fünf untersuchten Artengruppen in den vier Untersuchungskulturen.

Insgesamt kann im Zuge einer Gesamtbetrachtung festgestellt werden, dass alle drei Extensivkulturen positive Effekte für die Artenvielfalt auf Ackerstandorten erbringen, allerdings variieren die Effekte zwischen den Artengruppen und Kulturen (Tab. 25). Während Wildbienen und Tagfalter von beiden Blühkulturen profitieren, Wildbienen dabei insbesondere von Blühflächen, werden Ackerwildpflanzen kulturunabhägig durch eine ökologische Bewirtschaftungsweise gefördert. Laufkäfer profitieren von allen drei Extensivkulturen, reagieren aber stärker auf positive Randeffekte (Umfeld). Spinnen profitieren insgesamt nicht wesentlich von den

Extensivkulturen, reagieren aber ebenfalls positiv auf Saumhabitate am Ackerrand. Auffallend ist, dass - mit Ausnahme der Spinnen - alle untersuchten Artengruppen von ökologischen Linsenkulturen profitieren, was sich auch in der vergleichsweise hohen Anzahl an gefährdeten Arten wiederspiegelt (Tab. 25; Abb. 29).

Tab. 25. Schematische Bewertungsmatrix auf Basis einer Gesamtbetrachtung der Ergebnisse über positive (grünes Symbol) oder neutrale/negative (rotes Symbol) Effekte einer Kultur auf die 5 untersuchten Taxa.

Kultur	Pflanzen	Wildbienen	Tagfalter	Laufkäfer	Spinnen
Winterweizen	✗	✗	✗	✗	✗
Blühfläche	✗	✓	✓	✓	✗
Winterdinkel	✓	✗	✗	✓	✗
Linsenkultur	✓	✓	✓	✓	✗

6 Fazit und Empfehlungen

Fördern Blühflächen die biologische Vielfalt in der konventionellen Landwirtschaft ?

Blühflächen bereichern die biologische Vielfalt auf Ackerstandorten erheblich und sind somit ein effektives Instrument des Naturschutzes zur Förderung der Artenvielfalt im konventionellen Ackerbau. Im Vergleich zu Normalkulturen des konventionellen Anbaus steigern Blühflächen die Abundanz, den Artenreichtum und die Diversität von Ackerwildpflanzen, Laufkäfern, Tagfaltern und Wildbienen deutlich. Auch gefährdete und naturschutzfachlich wertgebende Arten profitieren von dieser Maßnahme. Die Etablierung von Blühflächen in Agrarlandschaften ist besonders wirksam zur Förderung häufiger, generalistischer Bienenarten (Honigbienen und Hummeln), welche dort auch in größerer Individuen- und Artenzahl anzutreffen sind als in den extensiven Kulturen des ökologischen Landbaus.

Von Seiten der Landwirtschaft besteht ein großer Vorteil der derzeit über das Agrarumweltprogramm FAKT umgesetzten Blühflächen in deren verhältnismäßig einfachen und schnellen Umsetzbarkeit auf der Fläche. Die Maßnahme wurde von Beginn an (seit 2015 als FAKT Maßnahme existent) sehr gut angenommen und wird bereits von über 5500 Landwirten auf ca. 14000 ha in Baden-Württemberg umgesetzt. Eine vergleichbare Flächenwirkung wird derzeit von kaum einer anderen Agrarumweltmaßnahme im Ackerbau erreicht. Gerade auf ertragsschwachen Ackerstandorten, wie sie im BSG Schwäbische Alb vorherrschen, bietet die derzeitige Fördersumme von 710 €/ha einen attraktiven Anreiz für Landwirte, diese Maßnahme umzusetzen. Weitere Gründe sind der geringe Arbeitsaufwand (lediglich einmalige Einsaat der Blühmischung), der reduzierte Unkrautdruck durch die Aussaat der Blühmischung im Vergleich zur selbstbegrünten Brachen, die hohe Flexibilität in der Flächenauswahl (Maßnahmenfläche kann jährlich gewechselt werden), sowie die hohe Ästhetik und Sichtbarkeit („Farbtupfer in der Landschaft“) der Maßnahme im Landschaftsbild. Der drastische Rückgang der Artenvielfalt betrifft inzwischen auch

häufige Arten der Agrarlandschaft. Aus naturschutzfachlicher Sicht sind daher auch solche Maßnahmen prioritär, welche in der Lage sind, in kurzer Zeit eine hohe Flächenwirkung zu entfalten, auch wenn seltene und sensitive Arten kaum von solchen Maßnahmen profitieren. Die einjährigen FAKT Blühflächen stellen einen solchen Maßnahmetyp dar.

Die derzeitige Ausgestaltung der Maßnahme bietet jedoch auch erheblichen Optimierungsbedarf. Die derzeit vorgeschriebene Saatmischung besteht nahezu ausschließlich aus nicht-heimischen Blütenpflanzenarten. Da viele unserer heimischen Insektenarten, gerade die seltenen Spezialisten, hochspezialisiert auf heimische Pflanzenarten sind, ist davon auszugehen, dass eine Blühmischung mit heimischen Pflanzenarten erheblich größere Wirkungen entfalten würde. Gerade die naturschutzfachlich wertgebenden seltenen Arten würden dann in stärkerem Maße gefördert werden, als durch die derzeit umgesetzte Blühmischung. Hinzu kommt, dass landesweit dieselbe Saatmischung und derselbe Saatzeitpunkt (bis 15. Mai) vorgeschrieben sind, und somit den großen klimatischen und standörtlichen Unterschieden zwischen den Naturräumen in Baden-Württemberg keine Rechnung getragen wird. Aus diesem Grund wird eine regional angepasste Mischung heimischer Blütenpflanzen naturschutzfachlich empfohlen, welche die ökologische Qualität dieser quantitativ bereits gut umgesetzten Maßnahme verbessern würde.

Darüber hinaus verschlechtert die fehlende Über- bzw. Mehrjährigkeit der derzeit umgesetzten Blühflächen deren naturschutzfachliche Qualität. Die derzeitigen einjährigen Blühflächen können bis 15. Mai gesät und bereits ab 1. September (bzw. 21.11 bei Sommerkultur als Folgefrucht) wieder umgebrochen werden und bieten damit keine Überwinterungs- oder längerfristigen Etablierungsmöglichkeiten für Arten auf diesen Flächen. Dies betrifft hoch mobile Arten wie Bienen und Tagfalter deutlich weniger stark als Arten mit geringem Aktionsradius (z.B. Laufkäfer und Spinnen), da Erstgenannte im Landschaftskontext wechselnde Blühflächen weiterhin auffinden können. Gerade in den Winter- und Herbstmonaten fehlt es an Überwinterungs-, Nahrungs- und Versteckstrukturen in der von Schwarzbrachen dominierten und damit strukturarmen Ackerbaulandschaft. Diese Lücke könnte durch über – und

mehrjährige Blühflächen geschlossen werden. Andere Bundesländer wie etwa Bayern, Hessen und Niedersachsen bieten seit einiger Zeit auch mehrjährige Blühflächen als Agrarumweltmaßnahme an. Für Bayern sind deutlich positive Wirkungen solcher mehrjährigen Blühflächen dokumentiert, wobei neben Insekten und Wirbeltieren auch Spinnen profitierten, welche von den einjährigen Blühflächen dieser Studie nicht gefördert wurden (Wagner et al., 2014). Insgesamt bietet die mehrjährige Etablierung von Blühflächen somit ein hohes Potential zur Steigerung der positiven Wirkung dieser Maßnahme und können daher naturschutzfachlich empfohlen werden. Da derzeit über das Agrarumweltprogramm FAKT bereits überjährige Blühflächen angeboten, diese jedoch in äußerst geringem Maße von den Landwirten angenommen werden, bedarf die Ausgestaltung solcher Maßnahmen einer hohen Sensibilität hinsichtlich der Umsetzbarkeit durch die Landwirtschaft. Die bereits vorhandene Etablierung dieser Maßnahme in anderen Bundesländern zeigt jedoch, dass dies durchaus sinnvoll und möglich ist.

Fördern Linsenäcker die biologische Vielfalt im ökologischen Landbau?

Der Anbau von Linsen bereichert die biologische Vielfalt im ökologischen Landbau erheblich. Vor allem blütenbesuchende Insekten, aber auch Ackerwildpflanzen profitieren deutlich von Linsenäckern. Hinsichtlich der gefundenen Artenzahl übertreffen diese sogar die konventionellen Blühflächen. Der Anbau von Linsen in Mischkultur, die insgesamt lückige Vegetationsstruktur, welche die Keimung und Etablierung von Ackerwildkräutern begünstigt, sowie das erhöhte Blühangebot sind die wesentlichen Faktoren, welche die positiven Effekte der Linsenkultur erklären. Auch frühere Studien konnten bereits positive Wirkungen auf die Ackerwildkrautflora feststellen (HfWU, 2013), die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts bestätigen dies, und zeigen, dass ökologische Linsenkulturen auch zur Förderung einer artenreichen Fauna auf Ackerstandorten erheblich beitragen. Da der Anbau von ökologischen Linsenkulturen derzeit nicht direkt über Agrarumweltmaßnahmen gefördert werden, sondern lediglich deren ökologische Bewirtschaftung, wäre es sinnvoll, diese Kultur

in den zukünftigen Maßnahmenkatalog von FAKT zu integrieren, um den Anbau gezielt zu fördern. Sollte eine landesweite Förderung über FAKT nicht möglich sein, wäre es zumindest im BSG Schwäbische Alb sinnvoll, diese regionaltypische Kultur durch gezielte Fördermaßnahmen zu erhalten und weiter auszudehnen.

Kulturunabhängig wirkt sich eine ökologische Bewirtschaftung positiv auf die Artenvielfalt im Ackerbau aus. Dies wird durch die positive Wirkung der ökologischen Normalkultur (Winterdinkel) im Vergleich zur Normalkultur des konventionellen Anbaus (Winterweizen) deutlich. Die längere Fruchtfolge, der Verzicht auf chemische Pestizide und mineralischen Dünger sowie die geringere Kulturpflanzendichte wirken sich positiv auf die Artenvielfalt von Ackerflächen aus. Eine Förderung und weitere Erhöhung des Ökolandbauanteils in Baden-Württemberg, wie sie politisch bereits angestrebt wird, kann daher grundsätzlich empfohlen werden. Die Erhöhung des Ökolandbauanteils wird allerdings nur schrittweise und über viel Jahre hinweg möglich sein und stellt somit in erster Linie ein mittel- bis langfristiges Instrument zur Förderung der Artenvielfalt dar.

Es muss allerdings festgestellt werden, dass auch im ökologischen Landbau, der Anteil von gefährdeten und naturschutzfachlich wertgebenden Arten inzwischen gering ist. Viele der ursprünglich typischen, heute stark gefährdeten oder vom Aussterben bedrohten Arten extensiver Ackerstandorte (z.B. Kornrade, Adonisröschen, Kleiner Frauenspiegel) traten gar nicht mehr oder nur als Zufallsbeobachtung an einzelnen Standorten auf. Solche Arten können nur durch gezielte Artenschutzmaßnahmen an ihren verbleibenden Standorten erhalten und gefördert werden. Im Falle von seltenen Ackerwildkräutern sind gezielte regionale Saatgutvermehrung und Wiederaussaat unverzichtbar, da die Zielarten größtenteils nicht mehr in den Samenbanken der Ackerböden vorhanden sind. Die hier betrachteten Extensivkulturen sind daher kein Ersatz für dringend benötigte gezielte Artenschutzmaßnahmen für seltene Arten der offenen Agrarlandschaft.

Ist eine Integration oder Segregation von Naturschutz und Landwirtschaft auf Ackerflächen effektiver hinsichtlich der aktuellen Kosten-Nutzen Effizienz?

Blühflächen, eine segregative Maßnahme im konventionellen Anbau, verursachen mit 710 €/ha erheblich höhere Subventionierungskosten als produktionsintegrierten Maßnahmen wie der Ökolandbau (230 €/ha), da ein kompletter Ertragsausfall kompensiert werden muss. Da die Biodiversitätswirkung von Blühflächen in der Gesamtbetrachtung zwar an den ökologischen Landbau heranreicht, ihn jedoch nicht übersteigt, ist deren Kosten-Nutzen-Effizienz pro Flächeneinheit geringer.

Trotzdem kann aus den Ergebnissen dieser Studie keine allgemeine Empfehlung für oder gegen die Umsetzung von integrativen bzw. segregativen Maßnahmen abgeleitet werden. Vielmehr wirken die unterschiedlichen Maßnahmen komplementär und ergänzen sich mit ihren spezifischen Stärken und Schwächen hinsichtlich der Förderung der Artenvielfalt auf Ackerstandorten. Während sich beispielsweise Blühflächen einer hohen Akzeptanz in der konventionellen Landwirtschaft erfreuen und gerade für häufige Bienenarten eine herausragende Rolle einnehmen, profitieren Ackerwildpflanzen in erster Linie vom Ökolandbau, welcher durch Linsenkulturen auch für blütenbesuchende Arten attraktiver wird. Andere Artengruppen, wie Laufkäfer und Spinnen, profitieren dagegen stärker von ungepflügten Saumstrukturen wie Grasstreifen und Hecken am Ackerrand und benötigen daher eine Mindestdichte an solchen Strukturen im Landschaftskontext, um Ackerflächen als Teillebensraum nutzen zu können. Dies verdeutlicht, dass es nicht die eine Optimalkultur gibt, wodurch alle Artengruppen gleichermaßen gefördert werden, sondern das eine Vielfalt von unterschiedlichen Maßnahmen in der konventionellen wie ökologischen Landwirtschaft am besten dazu geeignet ist, die Artenvielfalt auf Ackerstandorten zu fördern. Bei der Anlage von Blühflächen sollte zukünftig vor allem die Steigerung ihrer naturschutzfachlichen Qualität im Vordergrund stehen und nicht deren Ersatz durch produktionsintegrierte Extensivierungsmaßnahmen wie den Ökolandbau. Im ökologischen Landbau hat dagegen die Ausweitung des Anbaus von blühenden Extensivkulturen wie der Linse ein größeres Potential, um die Artenvielfalt zu fördern. Darüber hinaus ersetzen extensive Ackerkulturen nicht den Erhalt und die Entwicklung von halbnatürlichen

Habitaten (z.B. Hecken, Altgrasstreifen), kleinräumiger Nutzungsstrukturen und einer hohen Habitatdiversität im Landschaftskontext. Dennoch leisten sie einen wertvollen Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt auf Ackerstandorten.

Abschließend kann auf Basis der Untersuchung folgende Empfehlungen ausgesprochen werden:

- Extensivierungsmaßnahmen im Acker sind (sogar kurzfristig) wirkungsvoll und notwendig.

- Blühflächen sind ein geeignetes Instrument, um die Artenvielfalt im konventionellen Ackerbau zu bereichern, sollten aber hinsichtlich ihrer naturschutzfachlichen Qualität optimiert werden. Insbesondere die Etablierung mehrjähriger Blühflächen mit heimischen Blütenpflanzen wäre sinnvoll.

- Linsenkulturen sind ein geeignetes Instrument, um die Artenvielfalt im ökologischen Ackerbau zu bereichern.

- Maßnahmen wirken komplementär, daher wird eine Diversität von unterschiedlichen Maßnahmen und Bewirtschaftungsweisen empfohlen.

- Extensivkulturen sind kein Ersatz für den Erhalt dauerhafter Saumstrukturen wie Grasstreifen, Feldgehölze, Kleinstrukturen oder extensivem Grünland. Daher sollten auch extensiv genutzte Saumstrukturen an Ackerrandbereichen gezielt gefördert werden.

- Extensivkulturen sind kein Ersatz für gezielte Artenschutzmaßnahmen für seltene Arten. Letztere sind daher ebenfalls notwendig.

7 Literaturverzeichnis

Batáry, P., Dicks, L.V., Kleijn, D., Sutherland, W.J., 2015. The role of agri-environment schemes in conservation and environmental management. Conserv. Biol. 29, 1006–1016. https://doi.org/10.1111/cobi.12536

Batáry, P., Holzschuh, A., Orci, K.M., Samu, F., Tscharntke, T., 2012. Responses of plant, insect and spider biodiversity to local and landscape scale management intensity in cereal crops and grasslands. Agric. Ecosyst. Environ. 146, 130–136. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.018

Batary, P., Matthiesen, T., Tscharntke, T., 2010. Landscape-moderated importance of hedges in conserving farmland bird diversity of organic vs. conventional croplands and grasslands. Biol. Conserv. 143, 2020–2027. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.05.005

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. J. Stat. Softw. 67, 48.

Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E., 2006. Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. Science 313, 351–354. https://doi.org/10.1126/science.1127863

Blaauw, B.R., Isaacs, R., 2015. Wildflower plantings enhance the abundance of natural enemies and their services in adjacent blueberry fields. Biol. Control 91, 94–103. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.08.003

Blick, T., Finch, O.D., Harms, K.H., Kiechle, J., Kielhorn, K.H., Kreuels, M., Malten, A., Martin, D., Muster, C., Nährig, D., Platen, R., Rödel, I., Scheidler, M., Staudt, A., Stumpf, H., Tolke, T., 2016. Rote Liste und Gesamtartenliste der Spinnen (Arachnida: Araneae) Deutschlands. 3. Fassung, Stand April 2008, einzelne Änderungen und Nachträge bis August 2015. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70(4): 383-510.

Blick, T., Pfiffner, L., Luka, H., 2000. Epigäische Spinnen auf Äckern der Nordwest-Schweiz im mitteleuropäischen Vergleich (Arachnida: Araneae). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie (12): 267–276.

Bundesamt für Naturschutz, 2014. Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt-Stand. Internet:

http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/indikatorenbericht_2014_biolog_vielfalt_bf.pdf, abgerufen am 19.08.2015.

Cardoso, P., Pekár, S., Jocqué, R., Coddington, J.A., 2011. Global Patterns of Guild Composition and Functional Diversity of Spiders. PLOS ONE 6, e21710.

de Caceres, M., Jansen, F., 2016. Package “indicspecies”. R-Package, Version 1.7.6.

Decourtye, A., Mader, E., Desneux, N., 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. Apidologie 41, 264–277. https://doi.org/10.1051/apido/2010024

Dröschmeister, R., Ellwanger, G., Ernde, F., Ssymank, A., 2014. Die Lage der Natur in Deutschland. Ergebnisse von EU-Vogelschutz und FFH-Bericht. Bundesamt für Naturschutz.

Ebert, G., Hofmann, A., Karbiener, O., Meineke, J.U., Steiner, A., Trusch, R., 2008. Rote Liste und Artenverzeichnis der Großschmetterlinge Baden-Württembergs (Stand: 2004) unter Mitarbeit von Bartsch D., Bläsius R., Geissler-Strobel S., Hafner S., Hermann G., Meier M., Nunner A., Ratzel U., Schanowski A. und Steiner R., LUBW Online-Veröffentlichung.

Feltham, H., Park, K., Minderman, J., Goulson, D., 2015. Experimental evidence that wildflower strips increase pollinator visits to crops. Ecol. Evol. 5, 3523–3530. https://doi.org/10.1002/ece3.1444

Fischer, M., Bossdorf, O., Gockel, S., Hänsel, F., Hemp, A., Hessenmöller, D., Korte, G., Nieschulze, J., Pfeiffer, S., Prati, D., Renner, S., Schöning, I., Schumacher, U., Wells, K., Buscot, F., Kalko, E.K.V., Linsenmair, K.E., Schulze, E.-D., Weisser, W.W., 2010. Implementing large-scale and long-term functional biodiversity research: The Biodiversity Exploratories. Basic Appl. Ecol. 11, 473–485.

Flade, M., Grüneberg, C., Sudfeldt, C., Wahl, J., 2008. Birds and Biodiversity in Germany. 2010 Target. DDA, NABU, DRV, DO-G, Münster. 54 S.

Fuchs, S., Saacke, B., 2006. Arable fields as habitat for flora and fauna – a synopsis. In: Flade, M., Plachter, H., Schmidt, R. & Werner, A. [Eds.]: Nature Conservation in Agricultural.

Gayer, C., Kurucz, K., Fischer, C., Tscharntke, T., Batáry, P., 2019. Agricultural intensification at local and landscape scales impairs farmland birds, but not skylarks (Alauda arvensis). Agric. Ecosyst. Environ. 277, 21–24.

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W.W., Emmerson, M., Morales, M.B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Part, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L.W., Dennis, C., Palmer, C., Onate, J.J., Guerrero, I., Hawro, V., Aavik, T., Thies, C., Flohre, A., Hanke, S., Fischer, C., Goedhart, P.W., Inchausti, P., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic Appl. Ecol. 11, 97–105.

Gill, R.J., Ramos-Rodriguez, O., Raine, N.E., 2012. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. Nature 491, 105–108.

Goulson, D., Lye, G.C., Darvill, B., 2008. Decline and Conservation of Bumble Bees. Annu. Rev. Entomol. 53, 191–208.

Habel, J.C., Segerer, A., Ulrich, W., Torchyk, O., Weisser, W.W., Schmitt, T., 2016. Butterfly community shifts over two centuries. Conserv. Biol. 30, 754–762.

Haddad, N.M., Haarstad, J., Tilman, D., 2000. The effects of long-term nitrogen loading on grassland insect communities. Oecologia 124, 73–84.

Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., Kroon, H. de, 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLOS ONE 12, e0185809.

HfWU, 2013. Untersuchung zur Artenvielfalt auf Linsenäckern. Endbericht 2013. Studie im Auftrag der Stiftung Naturschutzfonds.

Hofmeister, H., Garve, E., 2006. Lebensraum Acker, 2nd ed. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter.

Klein, A.-M., Brittain, C., Hendrix, S.D., Thorp, R., Williams, N., Kremen, C., 2012. Wild pollination services to California almond rely on semi-natural habitat. J. Appl. Ecol. 49, 723–732.

Kosior, A., Celary, W., Olejniczak, P., Fijal, J., Król, W., Solarz, W., Plonka, P., 2007. The decline of the bumble bees and cuckoo bees (Hymenoptera: Apidae: Bombini) of Western and Central Europe. Oryx 41, 79–88.

Kromp, B., 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. Agric. Ecosyst. Environ. 74, 187–228.

Larochelle, A., 1990. The Food of Carabid Beetles:(coleoptera: Carabidae, Including Cicindelinae). Association des entomologistes amateurs du Québec, Fabreries Supplement 5, 1-132.

Luka, H., Marggi, W., Huber, C., Gonseth, Y., Nagel, P., 2009. Fauna Helvetia Carabidae Ecology - Atlas. CSCF & SEG, Neuchâtel, Suisse.

Mayer, S., Leuschner, C., 2015. 100 Äcker für die Vielfalt: Initiativen zur Förderung der Ackerwildkrautflora in Deutschland. Universitätsverlag Göttingen.

Meyer, S., Wesche, K., Krause, B., Leuschner, C., 2013. Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. Divers. Distrib. 19, 1175–1187.

MLR (Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz), 2013. Naturschutzstrategie Baden-Württemberg. Biologische Vielfalt und naturverträgliches Wirtschaften für die Zukunft unseres Landes.

Moog, D., Dieterich, M., Mück, J., Bauer, T., Berger, J., Hausberg, M., 2017. Fauna von Schutzäckern. Endbericht 2017. Studie im Auftrag der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg.

Nährig, D., Harms, K.H., 2003. Rote Listen und Checklisten der Spinnentiere Baden-Württembergs. Naturschutz Praxis, Artenschutz 7. LUBW, Greiserdruck, Rastat, 203 S.

Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H., 2014. vegan: Community Ecology Package.

R Development Core Team, 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.4.2. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Reinhardt, R., Bolz, R., 2012. Rote Liste und Gesamtartenliste der Tagfalter (Rhopalocera) (Lepidoptera: Papilionoidea et Hesperioidea) Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (3): 167–194.

Rivers, A., Mullen, C., Wallace, J., Barbercheck, M., 2017. Cover crop-based reduced tillage system influences Carabidae (Coleoptera) activity, diversity and trophic group during transition to organic production. Renew. Agric. Food Syst. 32, 538–551.

Scheper, J., Bommarco, R., Holzschuh, A., Potts, S.G., Riedinger, V., Roberts, S.P.M., Rundlöf, M., Smith, H.G., Steffan-Dewenter, I., Wickens, J.B.,

Wickens, V.J., Kleijn, D., 2015. Local and landscape-level floral resources explain effects of wildflower strips on wild bees across four European countries. J. Appl. Ecol. 52, 1165–1175.

., 2005. Rote Liste und Artenverzeichnis der Laufkäfer Baden-Württembergs. (Coleoptera: Carabiade) 3. Fassung, Stand Oktober 2005, LUBW. Naturschutz-Praxis, Artenvielfalt 9, LUBW, Karlsruhe.

Trautner, J., 2017. Die Laufkäfer Baden-Württembergs.2 Bde. Eugen Ulmer, Stuttgart.

Tscharntke, T., Klein, A., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management. Ecol. Lett. 8, 857–874.

Volkmar, C., Kreuter, T., 2006. Zur Biodiversität von Spinnen (Araneae) und Laufkäfern (Carabidae) auf sächsischen Ackerflächen. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie 97–102.

Wagner, C., Bachl-Staudinger, M., Baumholzer, S., Burmeister, J., Fischer, C., Karl, N., Köppl, A., Volz, H., Walter, R., Wieland, P., 2014. Faunistische Evaluierung von Blühflächen (No. 1/2014), Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft.

Weibull, A.-C., Bengtsson, J., Nohlgren, E., 2000. Diversity of butterflies in the agricultural landscape: the role of farming system and landscape heterogeneity. Ecography 23, 743–750.

Westrich, P., Frommer, U., Mandery, K., Riemann, H., Ruhnke, H., Saure, C., Voith, J., 2011. Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. – In: Binot-Hafke, M.; Balzer, S.; Becker, N.; Gruttke, H.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Strauch, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (3): 373-416.

Westrich, P., Schwenninger, H.R., Herrmann, M., Klatt, M., Klemm, M., Prosi, R., Schanowski, A., 2000. Rote Liste der Bienen Baden-Württembergs, Naturschutz-Praxis, Artenschutz 4, 48 Seiten.

HfWU Hochschule für Wirtschaft und Umwelt
Institut für Landschaft und Umwelt
Hechinger Str. 12
72622 Nürtingen

Tel. 07022 404-192

Fax. 07022 404-209

www.hfwu.de