

Differenzierung der Unkrautgesellschaften auf unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensitäten im Bernburger Anbausystem-Versuch

Differentiation of weed communities due to different management intensities within the Bernburg field trial "cultivation system experiment"

Philipp Dankert¹, Silke Pentschew², Wernfried Koch², Wolfgang Heyer^{3*}

¹Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,

²Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG), Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg,

³Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung, Reilstraße 128, 06114 Halle (Saale)

*Korrespondierender Autor, wolfgang.heyer@inl-mail.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.029



Zusammenfassung

In einem Feldversuch am Standort Bernburg (Sachsen-Anhalt) wurde untersucht, wie sich Anbausysteme (a1 konventionell, a2 und a3 ökologisch) in zwei Nährstoffstufen auf die Diversität (Shannon - Index), und die Individuenzahlen der Unkräuter insgesamt und Mohn auswirken. Auf Grundlage von Bewirtschaftungs- und Ertragsdaten wurde weiterhin der Energiegewinn berechnet. Es ergaben sich Hinweise, dass auch dieser Parameter den Deckungsgrad beeinflusst und thermodynamische Abhängigkeiten auch in Agrar-Ökosystemen deutlich werden.

Stichwörter: Dauerfeldversuch, Energiegewinn, Ökosystemtheorie, Unkrautdeckungsgrad

Abstract

Within a field trial at the Bernburg site (Saxony-Anhalt) it was examined how cultivation systems (a1 integrated, a2 and a3 organic) in two nutrient levels influence the diversity (Shannon index) and total number of weed individuals and poppy. On base of management and yield data furthermore the energy gain was determined. There were indications that this parameter influences weed coverage and thermodynamic dependencies also becomes clear in agri - ecosystems.

Keywords: Ecosystem theories, energy gain, long-term field experiment, weed coverage

Einleitung

Ökologische Forschungen widmen sich in letzter Zeit verstärkt der Klärung des Ökosystembegriffs. Verfolgt werden in diesem Zusammenhang verschiedene Theorieansätze, u.a. die Beschreibung von Ökosystemen auf der Grundlage von Organismengemeinschaften bzw. -assoziationen sowie thermodynamische Ökosystembetrachtungen (VOIGT, 2008). Letzterer machte immer wieder deutlich, dass Ökosysteme über den Transfer von Energie über die bestehenden trophischen Ebenen gekennzeichnet sind und über den Energiefluss Systemzusammenhänge, u.a. auf Interaktionen sowohl zwischen Artenvielfalt und Stabilität von Ökosystemen, also auf die abiotische Umwelt Einfluss genommen wird. Letzthin ist der Energiefluss Grundlage funktionaler Ökosystemleistungen, die u.a. bei SCHAEFFER (2003) ausführlich dargestellt sind. Eine Adaption und ausführliche Betrachtung thermodynamischer Ansätze zur Beschreibung des Status von Agrarökosystemen erfolgte bei STEINBORN (2000).

Im Systemversuch war auffällig, dass sich Unkrautgemeinschaften in den Intensitätsstufen des Versuches unterschieden. Diesen Unterschieden wird aus Perspektive der genannten beiden Ökosystemtheorien nachgegangen, d.h. Beschreibung der beobachteten Beziehungen im Unkrautauftreten in Abhängigkeit von Anbausystem, Fruchtart und Intensität sowie thermodynamische Betrachtungen unter Verwendung exakter acker- und pflanzenbaulicher Daten der Flächenbewirtschaftung, Bestandespflege, des Nährstoffzuflusses und der Erträge.

Mit diesem Vorgehen war die Arbeitshypothese verbunden, dass aus der Flächenbewirtschaftung abgeleitete energetische Parameter geeignet sind, Gründe für die differenzierte Ausprägung der Unkrautgesellschaften in den Betriebssystemen, Fruchtarten und Nährstoffintensitäten zu erfassen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten an der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) Sachsen-Anhalt am Versuchsstandort Bernburg im Dauerversuch „Leistungsfähigkeit verschiedener Landbausysteme, konventionell (a1) - ökologisch viehlos (a2) - ökologisch viehhaltend (a3)“. Der Versuchsaufbau ist unter LLG, (2017) im Einzelnen einzusehen. Neben den Betriebssystemen ist eine achtfeldrige Fruchtfolge betrachtet. Der Versuch steht in dreifacher Wiederholung. Von besonderer Bedeutung für die Klärung vorstehender Arbeitshypothese war die Unterersetzung der Betriebssysteme in zwei Nährstoffstufen (b1, b2). In a1 75 bzw. 112 kg N/ha als KAS, a2 ohne zusätzliche N-Gabe bzw. 38 kg N/ha als Ökodünger im Frühjahr sowie 58 bzw. 85 kg N/ha im Herbst bei a3 als Stallmist. Mit diesen Nährstoffdifferenzierungen wurde der Versuch von 1993 - 2017 geführt. Ab dem Vegetationsjahr 2017/2018 entfiel aus arbeitstechnischen Gründen dieser Prüffaktor und in der Fruchtfolge wurde Roggen durch Wintertriticale ersetzt.

Tab. 1 Erhebungen zum Beikrautaufreten; HS-Sommerhafer, EF-Futtererbse, GS-Sommergerste, BA-Ackerbohne, WW-Winterweizen, RW-Winterroggen, K-Kartoffel, LUG-Luzernegras, ZR-Zuckerrübe, LUZ – Luzerne, TIW- Wintertriticale.

Tab. 1 Investigations on the occurrence of weeds; HS-spring oats, EF-pea, GS-spring barley, BA-broad bean, WW-winter wheat, RW-winter rye, K-potato, LUG-alfalfa/grass, ZR-sugar beet, LUZ – alfalfa, TIW- winter triticale.

Jahre	Datum	Untersuchung	Fruchtarten	Auswertung	Statistik
2015	12.06.2015	Bonitur der Unkräuter, 5x 90x90 cm	BA, EF, HS, K, RW, WW, ZR, LUZ,	Individuen und Artenbestand, Berechnung Diversität	Statistische Bewertung der Diversitätsdifferenz nach McArthur 1965, Individuenzahlen wie 2018 (n=5)
2018	25.04.2018	Digitalfotos, 2	HS, LUZ, GS, TIW, WW	Digitale Berechnung des Grünanteils	Mittelwertvergleich (t-Test) der beiden Intensitäten, für die Deckungsgrade (n=6)
2018	29.05.2018	Aufnahmen je Fruchtart,	EF, ZR	(Deckungsgrad)	
2019	08.03.2019	Intensität und Wiederholung	LUZ, TIW, WW, EF, HS, LUZ, GS	und visuelle Einschätzung des Beikrautanteils	
2019	23.05.2019		K*, ZR		

*wegen mechanischer Bestandespflege keine Beikrautaufnahmen

Aufnahmen der Unkrautgemeinschaften erfolgten im Jahr 2015 durch Bonituren in den ausgewiesenen Fruchtarten (Tab. 1), wobei Arten- und Individuenzahlen erfasst wurden. Aus der Artenzahl und den Individuenanteile an der Unkrautgesellschaft wurde der Diversitätsindex (Shannon-Index) berechnet. Er ist dimensionslos, erlaubt jedoch eine statistische Bewertung von Diversitätsdifferenzen nach einem von McARTHUR (1965) beschriebenen Verfahren.

Angaben zu den Individuenzahlen beziehen sich auf alle erfassten Unkrautarten und Mohn. Die Art wurde gewählt, weil sie in allen Anbausystemen mit höherer Häufigkeit auftrat.

Die Bestimmung des Gesamtdeckungsgrades erfolgte in den Jahren 2018/2019 durch digitale Fotoaufnahmen, welche automatisiert mit Hilfe eines Bildauswertungsprogramms ausgewertet wurden. Der auf Unkräuter entfallende Deckungsanteil wurde anschließend visuell am Bildschirm eingeschätzt. Die statistische Auswertung beruht auf einem Mittelwertvergleich (t-Test) der beiden Intensitätsstufen für die Fruchtarten der Betriebssysteme auf einem Signifikanzniveau von 10%.

Die Ermittlung energetischer Parameter aus den Bewirtschaftungsangaben für die Anbausysteme erfolgte mit Hilfe der Software REPRO (Version 5.7) am Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung Halle. In der Software sind energetische landwirtschaftliche Standarddaten hinterlegt. Dies bedurfte der Erfassung der Versuchsabläufe von Aussaat bis Ernte, die Übernahme der Ertragsdaten sowie der Art und Menge eingesetzter Wirtschaftsgüter. Aus den auf einen Hektar bezogenen Daten wurden energetische Parameter abgeleitet. Im vorliegenden Fall ist der Energiegewinn für die Fruchtarten in den Intensitätsstufen im Mittel der Jahre 2015-2019 dargestellt. Er ergibt sich aus der

Energiebindung im realisierten Ertrag abzüglich der Energieaufwendungen aus der Bewirtschaftung.

Ergebnisse

Beikrautgemeinschaften und ausgewählte Arten

Die Abbildung 1 zeigt die Zuordnung der im Jahr 2015 ermittelten Unkrautgesellschaft als Diversitätsindex (Abb. 1 I) und der Individuenzahlen der Unkräuter (Abb. 1 II) bzw. des Mohns (Abb. 1 III) zu den Betriebssystemen in Untersetzung der Nährstoffstufen. Das Betriebssystem a1 wies die höchste Diversität aus. Die ökologisch geführten Systeme zeigten eine abnehmende Diversität. Die Diversitäten der Unkrautgesellschaften zwischen den Intensitätsstufen unterschieden sich in den Anbausystemen a1 und a2 signifikant, ebenfalls die Individuenzahl der Unkrautgesellschaft im Anbausystem a2 sowie die Individuenzahl des Mohns in den ökologisch geführten Anbausystemen (a2, a3).

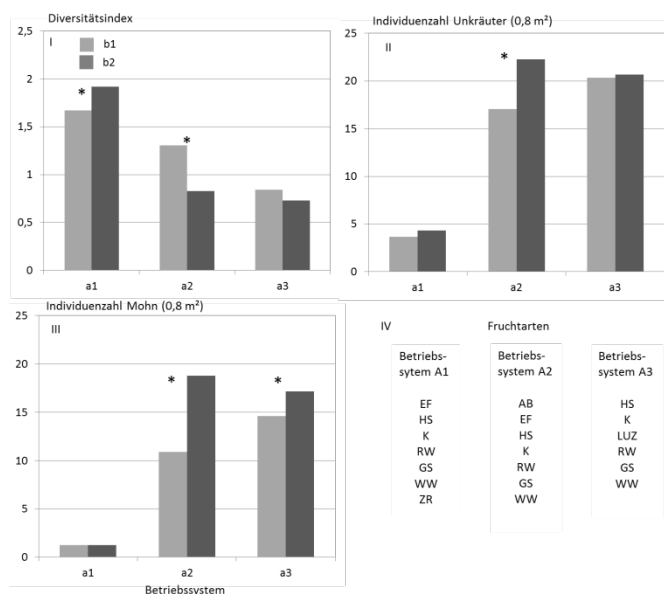


Abb. 1 Zuordnung der Verunkrautung zu den Betriebssystemen und Intensitätsstufen auf Grundlage des Diversitätsindex (nach Shannon – Wiener), Individuenzahlen aller Beikräuter und der Individuenanzahl von Mohn (*Papaver rhoeas* L.). *Signifikante Differenz zwischen b1, b2.

Fig. 1 Relation of weeds to the farming systems and intensities, assessed on basis of the Shannon – Wiener index, number of individuals and poppy (*Papaver rhoeas* L.). * significant difference between b1, b2.

Die ökologisch geführten Systeme wiesen gegenüber dem konventionell geführten System einen höheren Individuenbesatz auf, der jedoch in a3 geringer war. Dieser Befund widerspiegelt sich auch bei Klatschmohn (*Papaver rhoeas* L.) als ausgewählte Art. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die ausgewiesenen Differenzen im Beikrautaufreten zwischen den Betriebssysteme auch von den hinterlegten Fruchtarten (Abb. 1 IV) beeinflusst sind. Befundübergreifend kann jedoch geschlussfolgert werden, dass die Intensitätsstufen das Unkrautaufreten beeinflussen können.

Deckungsgrad

Mit Abbildung 2 wird der in den Untersuchungsjahren 2018/2019 registrierte Deckungsgrad in Abhängigkeit von den Bewirtschaftungsintensitäten und Betriebssystemen dargestellt. Trotz deutlicher (terminlich bedingter) Differenzierung der Deckungsgrade zwischen beiden

Untersuchungsjahren, ergab sich hinsichtlich der Intensitätsstufen ein ähnliches Bild. Die nach ökologischen Vorgaben bewirtschafteten Systeme (a2, a3) zeigten höhere Deckungsgrade, sind in der Beikrautbedeckung jedoch ebenfalls in den Intensitätsstufen differenziert. Über beide Intensitäten betrug die Differenz im Deckungsgrad letztgenannter Systeme im Jahr 2018 2,3 % und 0,5 % im Jahr 2019. Unterschiede zwischen den Intensitätsstufen wurden ebenfalls deutlich und auch im Betriebssystem a1 ergab sich ein erhöhter Beikrautbesatz in b2. Erheblicher waren jedoch die Differenzen der Intensitätsstufen in den ökologisch geführten Systemen. Sie erwiesen sich 2018 in den Systemen a2 und a3 und 2019 in a1 und a2 als statistisch bedeutend (Tab. 2).

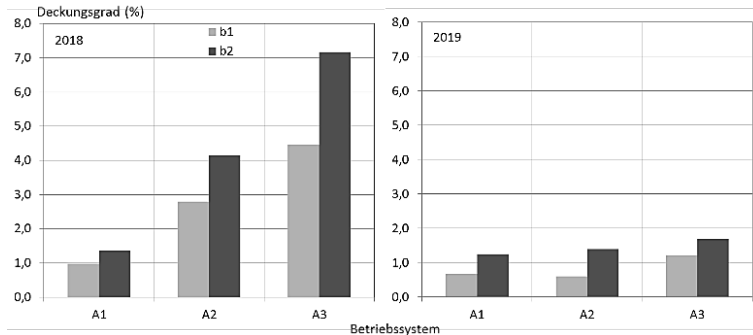


Abb. 2 Variation des Beikrautdeckungsgrades zwischen den Betriebssystemen, Nährstoffstufen und Jahren.

Fig. 2 Weed covering variation between farming systems, nutrient levels and years.

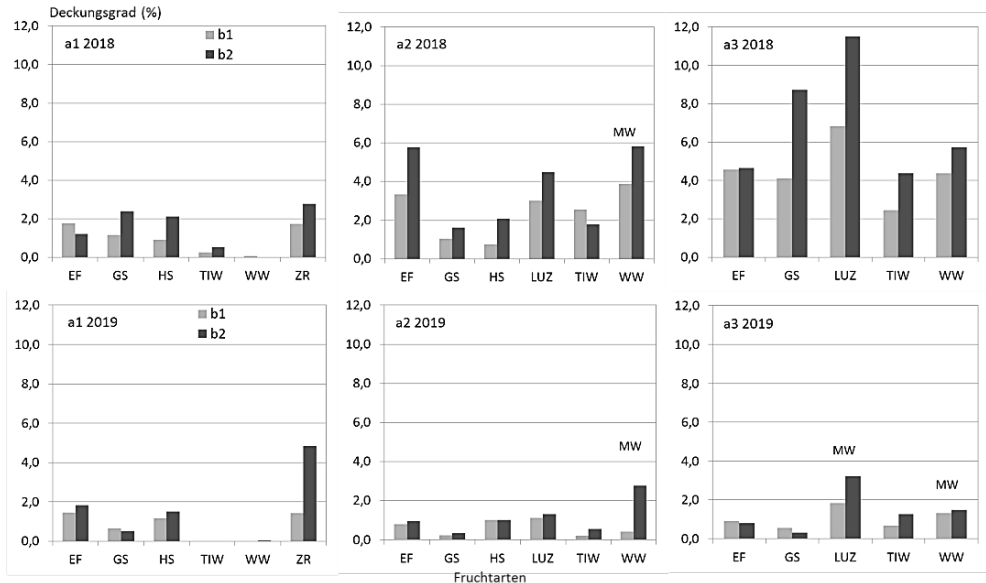
Die Betriebssysteme repräsentieren im Systemversuch jedoch auch verschiedene Fruchtarten sowie Vorfrucht-/Nachfrucht-Stellungen der Fruchtarten. Diese Differenzierung lässt sich aus der Abbildung 1 IV entnehmen. So fand sich z. B. Zuckerrübe nur im Betriebssystem a1 und der Luzerneanbau betraf lediglich das ökologisch ausgerichtete Betriebssystem a3. Daher wird mit Abbildung 3 die Variabilität der Deckungsgrade auf Ebene der den Betriebssystemen hinterlegten Fruchtarten verdeutlicht.

Aus den verschiedenen Fruchtarten und ihren Vorfrucht-/Nachfruchtbeziehungen (Tab. 3) ergaben sich insgesamt 20 Kombinationen und durch gleichartige Kombinationen über die Betriebssysteme 35 verschiedene Umweltsituationen, die für das Auftreten der Beikräuter und den Deckungsgrad bestimmend waren (a1- 9 [ohne WW und TIW], a2- 15, a3- 12). Für insgesamt ca. 44 % der aufgeführten Umweltsituationen war die Differenz zwischen der niedrigeren und höheren Intensitätsstufe statistisch abzusichern (a1 - 44,4 %, a2 - 53,3 %, a3 - 33,3 %). Bezogen auf die Untersuchungsjahre 2018 und 2019 zeigt sich, dass ca. 44 % (2018) und 38 % (2019) der Differenzen zwischen den Intensitätsstufen der Betriebssysteme auf Ebene der Fruchtarten und Fruchtfolgestellungen als statistisch bedeutend ausgewiesen wurden.

Tab. 2 Mittlere Differenzen der Deckungsgrade zwischen Nährstoffstufen (b1, b2) und statistische Relevanz der Befunde (*).

Tab. 2 Mean differences in weed cover between nutrient levels (b1, b2) and statistical relevance of findings (*).

Betriebssystem	2018			2019		
	b1	b2	Differenz	b1	b2	Differenz
a1	0,98	1,36	0,38	0,67	1,26	0,61*
a2	2,79	4,16	1,36*	0,60	1,39	0,79*
a3	4,46	7,17	2,71*	1,21	1,68	0,47



Legende: MW - Mittelwert mehrerer Fruchtfolgestellungen

Abb. 3 Der Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit von Nährstoffstufen, Betriebssystemen und Fruchtarten.

Fig. 3 Weed covering depending on nutrient levels, farming systems and crops.

Energetische Betrachtungen

Die Werte für den Energiegewinn der Anbausysteme und Intensitätsstufen sind in der Tabelle 4 aufgezeigt. Sie zeigt deutliche Unterschiede im Energieniveau der Anbausysteme. Die Intensitäten waren im Anbausystem a2 mit 16,6 GJ/ha am deutlichsten differenziert. Im konventionellen Anbausystem war die Differenz geringer (13,3 GJ/ha) und bei a3 ergaben sich auf energetischer Ebene kaum Unterschiede (-2,5 GJ/ha).

Die Punktelwolke der Abbildung 5 I zeigt den Effekt des Energiegewinns auf den Deckungsgrad in der Zusammenfassung aller Betriebssysteme, Intensitätsstufen und Fruchtarten. Ein Einfluss auf den Deckungsgrad ist nur sehr vage erkennbar. Bei Differenzierung zwischen konventionellem Betriebssystem (a1) und den ökologisch geführten Systemen (a2, a3) löst sich dieses Bild auf (Abb. 5 II, 5 III), wenn Getreidearten betrachtet werden. Betriebssystem a1 verzeichnet mit steigendem Energiegewinn eine schnelle Abnahme der ohnehin geringen Deckungsgrade. In den alternativ geführten Betriebssystemen nahm der Deckungsgrad hingegen deutlich zu. Auch für Leguminosen ist diese Tendenz angedeutet (Abb. 5 IV).

Tab. 3 Mittlerer Differenzbetrag (Dif) zwischen Nährstoffstufen (b1, b2) auf Ebene der Fruchtarten und statistische Relevanz der Befunde (*).**Tab. 3** Mean difference (Dif) between nutrient levels (b1, b2) at crop level and statistical relevance of the findings (*).

Jahr	Fruchtart /-folge	System a1			System a2			System a3			
		b1	b2	Dif	b1	b2	Dif	b1	b2	Dif	
2018	EF/WW	1,75	1,22	0,53	3,33	5,78	2,44				
	GS/RW	1,17	2,40	1,23	1,06	1,63	0,57	4,10	8,74	4,64*	
	HS/ZR	0,58	1,33	0,75*							
	TIW/K	0,24	0,51	0,28	2,54	1,79	0,75				
	ZR/HS	1,72	2,76	1,04*							
	HS/BA				0,74	2,08	1,35*				
	LUZ/HS				3,00	4,50	1,50*	6,83	11,5	4,67*	
	WW/HS	-			3,11	9,94	6,83*				
	WW/LUZ				6,83	5,13	1,71				
	WW/WW	-			1,75	2,40	0,65*	4,39	5,72	1,33	
	EF/K							4,58	4,67	0,08	
	TIW/GS							2,44	4,38	1,93	
	2019	EF/TW	1,44	1,83	0,39	0,81	0,96	0,15	0,90	0,81	0,10
		GS/WW	0,65	0,53	0,13	0,22	0,35	0,13*	0,56	0,31	0,25
HS/ZR		1,17	1,50	0,33*							
LUZ/LUZ								1,81	3,93	2,13*	
LUZ/GS					1,13	1,31	0,18	1,89	2,54	0,65	
TIW/K					0,19	0,54	0,35*	0,68	1,26	0,58	
WW/LUZ								1,72	1,42	0,31	
WW/EF					0,53	4,39	3,86*	0,92	1,53	0,61*	
WW/HS		-			0,32	1,15	0,83*				
WW/GS		-									
TIW/K		-									
ZR/GS		1,43	4,83	3,40*							
HS/LUZ				1,01	1,01	0,00					

Legende: - sehr geringes Unkrautauftreten

Diskussion

Die gefundenen Änderungen im Diversitätsindex der Segetalpflanzengesellschaften zwischen den Betriebssystemen und Intensitätsstufen ordnen sich zunächst in Befunde ein, die für Ökosysteme eine Zunahme der Biodiversität mit steigender Energieverfügbarkeit dokumentieren (z. B. JØRGENSEN, 1995; MARQUES et al., 1997). Hier bestätigt sich dieser Sachverhalt auch für Agrarflächen. Das Ergebnis steht dennoch im Widerspruch zu Untersuchungsbefunden, die eine geringere Biodiversität für konventionelle Anbausysteme zeigen (BASEDOW, 2002; MEYER et al., 2010). Dieser Widerspruch erklärt sich dadurch, dass die Bonituren im Anbausystem a1 teils vor der Aussaat der Kulturpflanzen erfolgten (z. B. Zuckerrübe), sie beziehen sich also nicht auf die gesamte Vegetationszeit. Zu Vegetationsbeginn war der Unkrautbesatz in den Intensitätsstufen bei der Zuckerrübe sehr deutlich differenziert.

Tab. 4 Mittelwerte des Energiegewinns (GJ/ha) der Betriebssysteme (a1-a3) und Nährstoffstufen (b1-b2) auf Fruchtartenebene als Mittelwerte der Jahre 2015 – 2019.

Tab. 4 Mean energy gain (GJ/ha) of farming systems (a1-a3) and nutrient levels (b1-b2) on crop level as mean of the years 2015 – 2019.

Fruchtart	a1		a2		a3	
	b1	b2	b1	b2	b1	b2
EF	44,2	51,4	37,8	39,5	44,8	44,4
GS	78,8	79,1	51,7	62,4	75,0	73,0
HS	51,7	53,2	49,8	67,6	-	-
LUZ	-	-	14,6	14,3	21,6	19,7
TIW	118,2	118,4	72,5	92,9	100,1	94,1
WW	132,9	129,4	72,9	102,7	100,4	108,0
ZR	101,7	178,3	-	-	-	-
Mittelwert	93,7	107,0	54,5	71,1	67,8	65,3

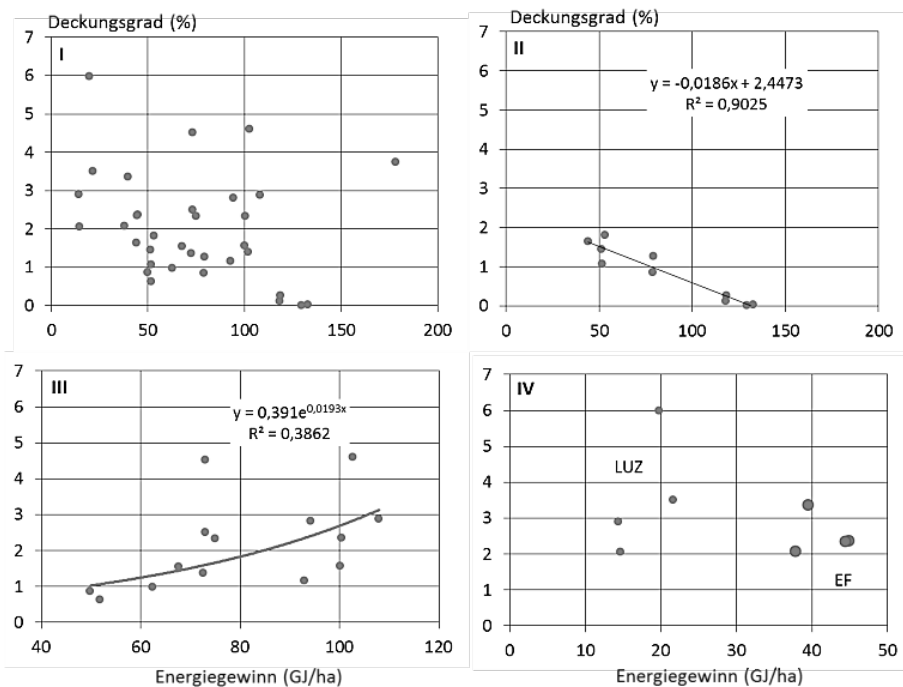


Abb. 4 Abhängigkeit des Unkrautdeckungsgrads vom Energiegewinn. I – Betriebssysteme a1, a2, a3, II – Betriebssystem a1, III – Betriebssysteme a2, a3, Getreidearten, IV – Betriebssysteme a2, a3, Leguminosen.

Fig. 4 Dependence of weed coverage on energy gain. I – farming systems a1, a2, a3, II – farming system a1, III – farming systems a2, a3, cereals, IV – farming systems a2, a3, legumes.

Bei den Betrachtungen der Individuenzahlen ergaben sich in den ökologisch geführten Betriebssystemen nicht nur erheblich höhere Besatzdichten, die Befunde dokumentieren ebenfalls eine große Streubreite der Ergebnisse. Diese zeigten sich auch in den Befunden zum Beikrautdeckungsgrad und entsprechen weiteren Literaturbefunden (PALLUT, 2000; SCHWARZ und PALLUT, 2014). Letztthin waren die beobachteten Differenzierungen der Unkrautgesellschaft in den Anbausystemen und Intensitätsstufen Anlass, den Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit von der Flächenbewirtschaftung über den Energiegewinn zu beschreiben. Dieser Ansatz entspricht theoretischen Betrachtungen zum Energiefluss über Trophieebenen (BOSSSEL, 1990) und auch der

Anwendung dieses Konzeptes auf Agrar-Ökosysteme (STEINBORN, 2000). Dabei macht STEINBORN (2000) auf die Schwierigkeit aufmerksam, den Energiestatus des Ökosystems genau zu erfassen, der hauptsächlich aus der Sonneneinstrahlung gespeist ist. Da hierfür im Regelfall keine Messdaten vorliegen, wurde stellvertretend die Energiebindung im Pflanzenertrag verwendet und die energetischen Aufwendungen (fossiler Energieeinsatz) für die Flächenbewirtschaftung berechnet. Letztere widerspiegeln die Stärke anthropogener Systemeingriffe. Aus beiden Kennzahlen berechnet sich der Energiegewinn. Er gibt Auskunft über die eigentliche Intensität der Anbausysteme und des Energiestatus der Prüffaktoren im Versuch.

Vorliegende Untersuchungen zeigten, dass der Unkrautdeckungsgrad vom Energiegewinn beeinflusst ist, dennoch weitere Faktoren, wie die Fruchtarten modifizierend wirksam werden. Für die Erfassung von Rückwirkungen der Flächenbewirtschaftung auf die belebte Umwelt und funktionale Beziehungen im Nahrungsnetz der Agrar-Ökosysteme könnte daher neben dem Energiegewinn auch die im Feld verbleibende Energie (Ernte- und Wurzelrückstände, Nährstoffzufuhr etc.) bedeutend sein. Diesen Berechnungen sind bisher jedoch durch Datenlücken Grenzen gesetzt. Es wird zukünftige Aufgabe sein diesen Bereich stärker ins Auge zu fassen.

Trotz dieser Einschränkung bestätigen die Ergebnisse die eingangs formulierter Arbeitshypothese: Es ist möglich, mit Hilfe von thermodynamischen Ansätzen einen Erkenntnisgewinn zur Verunkrautung in Abhängigkeit von der Flächenbewirtschaftung zu erzielen. Sie tragen zur Klärung der im Agrar-Ökosystem wirkenden Triebkräfte bei und beschreiben funktionale Zusammenhänge über Trophieebenen hinweg, wie von HEYER et al. (2018) auch für Arthropodengesellschaften gezeigt wurde.

Literatur

- BASEDOW, Th., 2002: Konventionelle Landwirtschaft (in ihrer gegenwärtigen Ausprägung) oder ökologische Landwirtschaft? - Für die maximale Biodiversität sind beide erforderlich. *Gesunde Pflanzen* **54**, 177-182.
- BOSSEL, H., 1990: Umweltwissen. Daten, Fakten, Zusammenhänge. Spinger Verlag Berlin Heidelberg GmbH. S. 46 – 50.
- HEYER, W., A. DETER, S. VITZTHUM VON ECKSTÄDT, F. REINICKE, 2018: Einfluss perennierender und annueller Fruchtarten auf Arthropodengesellschaften – Dynamik und Triebkräfte in Agrar-Ökosystemen. *Journal für Kulturpflanzen* **70**, 273–290.
- JØRGENSEN, S.E., 1995: The application of ecological indicators to assess the ecological condition of a lake. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* **1**, 177-182.
- LLG, LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU SACHSEN-ANHALT, 2017: https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/oeko_lb/systemvergleich_aufbau-rotation-1-bis-4.pdf, zuletzt überprüft am 21.11.2019.
- MARQUES, J.C., M.A. PARDAL, S.N. NIELSEN, S.E. JØRGENSEN, 1997: Analysis of the properties of exergy and biodiversity along an estuarine gradient of eutrophication. *Ecological Modelling* **102**, 155-167.
- MEYER, S., K. WESCHE, C. LEUSCHNER, T. VAN ELSÉN, J. METZNER, 2010: Schutzbemühungen für die Segetalflora in Deutschland – Das Projekt „100 Äcker für die Vielfalt“ – Treffpunkt Biologische Vielfalt. IX – BFN-Skripten **265**, 59-64.
- MACARTHUR, R.H., 1965: Patterns of species diversity. *Biological Review* **40**, 510–533.
- PALLUTT, B., 2000: Unkrautunterdrückung und -bekämpfung durch Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Aussaatzeit, Saatmenge und Stickstoffversorgung. – In: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze - Drittes Fachgespräch am 02.11.1999 in Kleinmachnow - "Unkrautregulierung im ökologischen Landbau". *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* **72**, 35-46.
- SCHAEFFER, M., 2003: Biozöosen und Ökosysteme: Welche Bedeutung hat die Diversität der Fauna? In: Gradstein, S.R., R. Willmann, G. Zizka (Hrsg.). *Biodiversitätsforschung – Die Entschlüsselung der Artenvielfalt in Raum und Zeit. Kleine Senckenberger Reihe* **45**, 147-160.
- SCHWARZ, J., B. PALLUTT, 2014: Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Entwicklung der Verunkrautung in einem Dauerfeldversuch. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 141-148.
- STEINBORN, W., 2000: Quantifizierung von Ökosystem-Eigenschaften als Grundlage für die Umweltbewertung. *Diss. Univ. Kiel*, 119 S.
- VOIGT, A.C.E., 2008: Theorien synökologischer Einheiten – Ein Beitrag zur Erklärung der Uneindeutigkeit des Ökosystembegriffs. *Diss. TU München*, 248 S.