



Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg



(FKZ: 22002405)

Müncheberg, den 03.09.2009

Vorhabensbezeichnung	Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)
Teilprojekt	Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus
Zuwendungsempfänger	Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. Müncheberg: Institut für Landschaftssystemanalyse Institut für Landnutzungssysteme
Gefördert durch	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
Projekträger	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Hofplatz 1, 18276 Gülzow
Förderkennzeichen	22002405
Laufzeit des Vorhabens	01.04.2005 bis 31.01.2009

Projektbearbeiter

Projektkoordination, fachliche Beratung	Institut für Landnutzungssysteme	Johannes Hufnagel
Teil I: Abiotische Folgewirkungen	Institut für Landschaftssystemanalyse	Matthias Willms, Detlef Deumlich Karl-Otto Wenkel ¹
Teil II: Biotische Folgewirkungen	Institut für Landnutzungssysteme	Michael Glemnitz, Ralph Platen ²
Autoren des Berichtes:	Matthias Willms, Michael Glemnitz, Johannes Hufnagel	

¹ Das Kapitel Erosion wurde fachlich von Detlef Deumlich bearbeitet
Das Kapitel Humusbilanzen wurden in enger Zusammenarbeit mit B. Wagner und F. Reinicke (Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung e. V., INL) und H. Schmidt (Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München, WZW TUM) erstellt. Das INL hat das Programm REPRO für Energiepflanzen angepasst und dem ZALF zur Verfügung gestellt.

² Die Artbestimmung und ökologische Charakterisierung der Blütenbesucher erfolgte als Zusammenarbeit von Dr. Christoph Saure (Büro für tierökologische Studien, Berlin). Die Artbestimmung der Laufkäfer erfolgte unter Beteiligung von Dr. Karl-Hinrich Kielhorn (Berlin) und Jurek Hampel (Dersekow). Die Datensammlung für die Avifauna wurde erarbeitet durch Sarah Fuchs (Stolzenhagen) und Adele Matthews (Bliesdorf).

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	III
1 Kurzdarstellung des Projektes	1
1.1 Aufgabenstellung.....	1
1.1.1 Arbeitsziele der AG „Abiotische Folgewirkungen“	1
1.1.2 Arbeitsziele der AG „Biotische Folgewirkungen“	2
1.2 Problemstellung.....	3
1.3 Durchführung des Vorhabens.....	4
I Abiotische Folgewirkungen	5
2 Aufgabenstellung	6
2.1 Stand des Wissens	6
3 Methoden.....	10
3.1 Nährstoffe	11
3.2 Humusbilanzen	12
3.3 Energiebilanzen	18
3.4 Wassererosion.....	19
4 Ergebnisse.....	22
4.1 Nährstoffe	22
4.1.1 Nährstoffabfuhr ausgewählter Fruchtarten	22
4.1.2 $N_{\min}$ nach der Ernte	28
4.1.3 Szenario „mit Gärrest“	30
4.2 Wie beeinflusst der Energiepflanzenanbau den Humushaushalt?	31
4.2.1 Vergleich verschiedener Humusbilanz-Methoden	33
4.2.2 Humusbilanzen in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung mit Gärrest.....	36
4.3 Energiebilanzen	39
4.3.1 Kumulativer Energieaufwand.....	39
4.3.2 Bruttoenergieerträge	42
4.3.3 Energieeffizienz der Anbauverfahren.....	43
4.4 Wassererosion.....	45
4.4.1 Standort Gülzow	45
4.4.2 Standort Ascha.....	48
4.4.3 Bewirtschaftungsalternativen einer Anbaufolge von Winterweizen und Silomais	50
5 Diskussion und Schlussfolgerungen.....	54
6 Literatur Abiotik	59

II	Biotische Folgewirkungen.....	61
1	Aufgabenstellung.....	62
1.1	Stand des Wissens.....	62
1.2	Arbeitsschritte.....	64
1.3	Ausgewählte Organismengruppen.....	65
1.4	Praxisversuche zur Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen	66
2	Material und Methoden	69
2.1	Felderhebungen.....	69
2.2	Statistische Auswertungen.....	70
3	Ergebnisse	73
3.1	Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen (Untersuchungen in Praxisbetrieben)	73
3.1.1	Beikräuter.....	73
3.1.2	Laufkäfer.....	79
3.1.3	Spinnen	85
3.1.4	Blütenbesucher.....	91
3.2	Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen durch Vögel der Offenlandschaft (Expertenbefragung)	97
3.3	Beikrautflora in Energiepflanzenfruchtfolgen (Parzellenversuche)	101
3.4	Effekte der Fruchtfolgegestaltung	105
3.4.1	Beikrautflora	106
3.4.2	Laufkäfer.....	107
3.4.3	Spinnen	108
3.4.4	Blütenbesucher.....	110
3.4.5	Brutvögel	111
3.4.6	Gesamtbewertung	113
3.5	Spezielle Aspekte des Energiepflanzenanbaus	116
3.5.1	Maisanteile in der Fruchtfolge	117
3.5.2	Ackerfutteranteile in der Fruchtfolge.....	119
3.5.3	Wintergetreideanteile in der Fruchtfolge	122
3.5.4	Verkürzte Anbauperioden durch GPS-Ernte und Zunahme von Zweit- oder Zwischenfruchtanbau.....	124
4	Diskussion und Schlussfolgerung.....	129
5	Literatur Biotik	134
III	Anhang	138

Abkürzungsverzeichnis

1. Hn	1. Hauptnutzungsjahr	oTM	organische Trockenmasse
2. Hn	2. Hauptnutzungsjahr	P	Präferenz zu einer speziellen Fruchtart
A	Apidae	PSM	Pflanzenschutzmittel
AFU	Ackerfutter	S	Syrphidae
BB	Brandenburg	SBL	Sonnenblume
BW	Baden-Württemberg	SGE,	
BY	Bayern	S. Gerste	Sommergerste
CCM	Nutzung Corn-Cob-Mix (Kolben + teilweise Lieschen)	SGet, SoG,	
DG	Deckungsgrad	S.Getreide	Sommergetreide
EWG,	Einj. Weidelgras	SMA	Silomais
Fa	Fruchtart	SN	Sachsen
Ff, FF	Fruchtfolge	Sort. Misch	Sortenmischung
FHI	Futterhirse	SP	Schwerpunktvorkommen
Gd	Nutzung Gründüngung	SRO	Sommerroggen
GJ	Giga Joule	STR	Sommertriticale
Gp	Nutzung Ganzpflanze	SUD	Sudangras
GPS	Ganzpflanzensilage	Szf, SZF	Sommerzwischenfrucht
HAS	Hafersortenmischung	TH	Thüringen
HE-Methode	Humuseinheitenmethode	TM	Trockenmasse
Hf	Hauptfrucht	TOP	Topinambur
KAR	Kartoffeln	TP	Präferenz zu einer Gruppe von Kulturarten
KEA	kumulativer Energieaufwand	U	keine Präferenz zu einzelnen Fruchtarten bzw. -gruppen (Ubiquist)
KGR	Kleegras	US	Untersaat
KMA	Körnermais	W. Roggen	Winterroggen
KMK	Körpermasseklassen	WEI	Weidelgras
Kn	Nutzung Knollen	WGet, WiG,	
Ko	Nutzung Körner	W.Getreide	Wintergetreide
KoeL	Körnerleguminosen	WRA,	
L	Liter	Raps	Winterraps
LGR	Luzernegras	WTR,	
Luz.	Luzerne	W. Triticale	Wintertriticale
mehrf.	mehrfährig	WWE, WW,	
mjAF,		W. Weizen	Winterweizen
mj AFutter	mehrfähriges Ackerfutter	WWR	Winterwickroggen
MV	Mecklenburg-Vorpommern	Wzf, WZF	Winterzwischenfrucht
MWG	Welsches Weidelgras (<i>Lolium Multiflorum</i>)	Zf	Zweitfrucht
Nb	Nischenbreite	Zwf	Zwischenfrucht
NEG	Nebenerntegut, z. B. Stroh		
Nl	Norm-Liter (Biogas)		
N _{min}	mineralischer Stickstoff im Boden: NH ₄ -N + NO ₃ -N		
NS	Niedersachsen		
ORE	Ölrettich		
ÖT	Ökologischer Typ		

1 Kurzdarstellung des Projektes

1.1 Aufgabenstellung

Das Forschungsvorhaben „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“ war Bestandteil des Verbundvorhabens „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)“. Zielstellung des Verbundvorhabens war es, verschiedene landwirtschaftliche Kulturarten unter typischen Standortbedingungen Deutschlands auf ihre Ertragsfähigkeit und Eignung als Energiepflanze zu prüfen, um mögliche Optionen des Energiepflanzenanbaus regionsspezifisch aufzuzeigen. Für typische Anbauregionen Deutschlands sollten jeweils die am besten geeigneten Anbausysteme identifiziert werden. Innerhalb dieser Gesamtzielstellung war es die Aufgabe des Teilprojektes „Ökologische Folgewirkungen“, die im Teilvorhaben I untersuchten regionalen Anbauverfahren und -systeme hinsichtlich ihrer ökologischen Folgewirkungen zu bewerten. Die im Verbundprojekt erhobenen Daten wurden am ZALF für eine ökologische Folgenabschätzung des Energiepflanzenanbaus genutzt. Die erhobenen Daten wurden verwendet, um am ZALF entwickelte bzw. vorhandene Modelle zu parametrisieren und so weiter zu entwickeln, dass diese eine fundierte und belastbare ökologische Ex-ante Abschätzungen der im Teilvorhaben I untersuchten Anbauverfahren ermöglichen. Dabei sollten gleichermaßen die Folgen auf wesentliche abiotische und biotische Merkmale untersucht und für jede der Anbausystem * Standort-Varianten bewertet werden. Um dieses Ziel zu erreichen, waren:

- Anpassungen und Weiterentwicklungen der vorhandenen Modelle erforderlich,
- eine Plattform für ein einheitliches Datenmanagement zu schaffen und der Datenaustausch mit den Verbundpartnern zu organisieren,
- eine standörtliche Charakterisierung der Versuchsstandorte zu realisieren und
- eigene Felduntersuchungen in Praxisbetrieben zu den ökologischen Folgewirkungen durchzuführen.

Für die Bearbeitung des Vorhabens wurden am ZALF die Arbeitsgruppen (AG) „Abiotik“ und „Biotik“ gebildet. Notwendige Unterstützung erfuhren diese Arbeitsgruppen durch eine ergänzende Arbeitsgruppe zur Standortcharakterisierung

1.1.1 Arbeitsziele der AG „Abiotische Folgewirkungen“

Ziel dieses Teilprojektes war es, die Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die unbelebte Umwelt („Abiotik“) zu beurteilen. Dabei wurden folgende Indikatoren bewertet:

- Quantifizierung der Nährstoff-Flüsse mit Hilfe von Nährstoffbilanzen.
- Auswirkung auf die langfristige Entwicklung der Humusmenge im Ap-Horizont. – Quantitative Abschätzung mit Hilfe der Humusbilanz.
- Bewertung der energetischen Effizienz des Anbaus von Energiepflanzen.
- Abschätzung der Wassererosionsrisiken mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG).

Alle oben genannten Indikatoren zur abiotischen Bewertung sind Teil einer Produkt-Ökobilanz. Ökobilanzen bewerten den gesamten Lebensweg eines Produktes von der Entstehung über die Nutzung bis zur Entsorgung des Produktes. Unter diesem Gesichtspunkt stellen die Energiebilanz und die Nährstoffbilanz, die wiederum ein Teil der Energiebilanz ist, einen wesentlichen Anteil einer solchen *Ökobilanzierung* von Energiepflanzen dar. Unabhängig von der Durchführung der Ökobilanz als integrierende Analyse, stellt die modellbasierte Untersuchung der oben skizzierten Teilprozesse eine wichtige Ergänzung der abiotischen Folgenabschätzung dar, weil damit entscheidungsrelevante Teilprozesse (z. B. Energiebilanz, Emissionen, Humusbilanz) vergleichend dargestellt werden können.

1.1.2 Arbeitsziele der AG „Biotische Folgewirkungen“

Ziel dieses Teilprojektes war es, mögliche Folgewirkungen der Ausweitung des Anbaus von Energiepflanzen auf die Biodiversität allgemein, die Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen und auf das Vorkommen bzw. die Entwicklung regional bedeutsamer biotischer Inventare für relevante Zönosen des Agrarraumes abzuschätzen. Dazu wurden folgende biotische Themenbereiche analysiert und bewertet:

- Beurteilung der Lebensraumeignung von typischen Energiepflanzen-Kulturarten für fünf relevante Organismengruppen der Offenlandschaften (Beikräuter, Laufkäfer, Spinnen, Blütenbesucher und Vögel),
- Durchführung von exemplarischen Felduntersuchungen in Praxisbetrieben zu den direkten Effekten des Energiepflanzenanbaus auf wildlebende, pflanzliche und zoologische Artengruppen unter Berücksichtigung unterschiedlicher naturräumlicher Rahmenbedingungen,
- Expertenstudie zu den möglichen Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen auf die Avifauna und
- Modellierung und Bewertung der Anbauverfahren aus Teilvorhaben I.

Die ökologischen Wirkungen des Energiepflanzenanbaus auf typische Arten der Agrarlandschaft konnten aufgrund der geringen Flächengrößen der Einzelparzellen und der hohen Mobilität der zu untersuchenden Organismen nicht in den Anbauversuchen des Verbundprojektes direkt ermittelt werden. Die Wirkung der Anbauverfahren auf die zu untersuchenden Arten wurde anhand des Vorhandenseins bzw. der Qualität der Lebensräume in Form einer Potenzialanalyse sowie durch Analogieschlüsse abgeschätzt. Die Grundlage für diese Analyse bildete ein systematischer Vergleich der Bestandesstruktur von typischen Kulturarten für den Energiepflanzenanbau bzw. Mischkultursystemen unter spezieller Berücksichtigung der anbautechnischen Besonderheiten (Wegfall oder Hinzukommen von Anbaumaßnahmen, spezifische Ausgestaltung von Maßnahmen) des Energiepflanzenanbaus. Als Referenz wurden in jedem Fall die aktuellen Anbauverfahren zum Marktfruchtanbau angesehen. Die Bestandesstruktur wurde als zentraler Parameter für die Beurteilung der Lebensraumeignung der Energiepflanzenbestände für die Organismengruppen angesetzt. Der Vergleich der verschiedenen Anbausysteme und -verfahren erfolgte unter

Verwendung eines am ZALF entwickelten Modells zur schlagspezifischen Beurteilung der Lebensraumeignung von Anbausystemen.

1.2 Problemstellung

Die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2004 und die Veränderung der Weltmarktpreise für Energieträger haben in kürzester Zeit dazu geführt, dass die Zahl der Biogasanlagen in Deutschland stark zugenommen hat und die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen kräftig angestiegen ist. Die staatliche Förderung der erneuerbaren Energien u.a. aus Biomasse hat wesentlich dazu beigetragen, dass der für 2010 anvisierte Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch bereits im Jahr 2007 übertroffen wurde (EEG-Erfahrungsbericht, BMU 2007). Für die Landwirtschaft bedeutet diese Entwicklung vor allem, dass auf Ackerflächen in stark zunehmendem Maße Pflanzen für eine energetische Nutzung angebaut werden. Allein der auf eine Biogasgewinnung ausgerichtete Anbau von Mais hat sich in der Bundesrepublik Deutschland von 72.000 ha im Jahr 2005 auf 150.000 ha im Jahr 2006 mehr als verdoppelt (DMK, 2007). Darüber hinaus wurden im Jahr 2007 ca. 14.000 ha Stilllegungsflächen wieder in Kultur genommen. Mit dem Wegfall der allgemeinen Stilllegungsverpflichtung und -vergütung ab dem Jahr 2008 kann davon ausgegangen werden, dass bisherige Stilllegungsflächen noch stärker als bisher für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden. Durch diese Entwicklung haben sich die Nutzungskonkurrenzen zwischen dem Energiepflanzenanbau und anderen Landnutzungsinteressen global, national und regional verstärkt. Auf der regionalen Ebene sind es vor allem zunehmende Konflikte zwischen dem Energiepflanzenanbau und dem Naturschutz bzw. dem Tourismus, die den Weg in die Öffentlichkeit gefunden haben. Parallel zur Zunahme des Energiepflanzenanbaus läuft in den Agrarlandschaften ein zunehmender Rückgang der Biodiversität ab. Vor diesem Hintergrund werden die mit der veränderten Landnutzung einhergehenden Effekte, wie z. B. eine zunehmende Verengung der ackerbaulichen Fruchtfolgen, die Rekultivierung der Stilllegungsflächen, u. a. vor allem aus Sicht des Naturschutzes zunehmend kritisch diskutiert. (DVL & NABU, 2006, SCHÖNE, 2007). Nachdem eine Integration höherer umwelt-, naturschutzfachlicher bzw. landschaftsästhetischer Standards u. a. im Rahmen der Neuausrichtung der Förderung für den Energiepflanzenanbau (EEG-Novelle) nicht realisiert werden konnte, fordern Natur- und Umweltverbände die Energieeffizienz und die Nachhaltigkeit der mit Fördermitteln subventionierten Anbauverfahren genauer auf den Prüfstand zu stellen (SCHÖNE, 2007).

Manche Anbaukonstellationen, die im Zusammenhang mit dem Energiepflanzenanbau in der Praxis zu beobachten sind, wie z. B. Grünlandumbruch (SCHÖNE, 2007), Nichteinhaltung von Anbaupausen, Anbau in Monokulturen etc. stehen nicht im Einklang mit der Guten fachlichen Praxis (GfP). Sie sind aber auch kein Spezifikum des Energiepflanzenanbaus, keine unabdinglichen, systemimmanenten Folgen des Energiepflanzenanbaus, sondern eher Ausdruck grundsätzlicher Untersetzungsdefizite bei der Ausgestaltung der sogenannten „Zweiten Säule“ der Agrarförderung. Bei näherer Betrachtung des Anbaus

von Energiepflanzen für Biogasanlagen wird deutlich, dass der Energiepflanzenanbau im Vergleich zum bisher vorherrschenden Marktfruchtanbau umfangreiche neue, bisher nicht da gewesene Gestaltungsoptionen (KARPENSTEIN-MACHAN, 2004) bietet, um Umweltschutz- und Biodiversitätsziele stärker als bisher zu berücksichtigen. Diese Optionen werden allerdings bisher kaum von der praktischen Landnutzung wahr- oder angenommen. Das EVA-Projekt hat es sich zur Aufgabe gemacht, hier umfangreiche Vorlaufforschung zu leisten. Im Rahmen der „Ökologischen Begleitforschung“ zum Projekt EVA wird im Teilprojekt „Ökologische Folgewirkungen“ vor allem der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die im Teilprojekt I sowie in Satellitenversuchen untersuchten Anbaulösungen für den Energiepflanzenanbau auf die von den Anbauflächen ausgehenden abiotischen und biotischen Umweltwirkungen haben und welche Potenziale sich für eine „Optimierung“ der Anbauverfahren aus ökologischer Sicht ergeben. Das Teilprojekt „Ökologische Folgewirkungen“ trägt damit zur Umsetzung der „Richtlinie zur Förderung von Untersuchungen zur Fortentwicklung der Gesamtstrategie zum weiteren Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE)“ vom 31.08.2004 durch die Realisierung einer ökologischen Begleitforschung zum Anbau von Energiepflanzen bei.

1.3 Durchführung des Vorhabens

Das Projekt bestand aus drei vernetzt arbeitenden Arbeitsgruppen:

Arbeitsgruppe „Standortcharakterisierung“

Aufgabe: Bodenkundliche Charakterisierung der Versuchsstandorte

Verantwortlich: Prof. Dr. Sommer, Institut für Bodenlandschaftsforschung des ZALF

Arbeitsgruppe „Abiotik und Koordination“

Aufgabe: Modellierung und Auswertung der abiotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus, Erstellung einer Datenbank zur Erfassung und Organisation der Versuchsdaten

Verantwortlich Dr. M. Willms, Institut für Landschaftssystemanalyse des ZALF

Arbeitsgruppe „Biotik“

Aufgabe: Modellierung und Auswertung der biotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus sowie Organisation und Durchführung von empirischen Erhebungen auf ausgewählten Praxisflächen

Verantwortlich: Dr. M. Glemnitz, Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie des ZALF.

I ABIOTISCHE FOLGEWIRKUNGEN

2 Aufgabenstellung

Ziel der Arbeitsgruppe abiotische Folgewirkungen ist es, die Wirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die unbelebte Umwelt („Abiotik“) zu beurteilen. Dafür wurden folgende Teilbereiche ausgewählt: Nährstoffflüsse beim Anbau von Energiepflanzen, langfristige Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit unter dem Gesichtspunkt von Humus und Erosion, energetische Effizienz des Energiepflanzenanbaus. Es sollen folgende Fragen untersucht werden:

- Welche *Nährstoffabfuhr*en für Energiepflanzen sind in den Versuchen erzielt worden und welche Nährstoffkonzentrationen im Erntegut liegen dem zugrunde?
- Wie wirkt sich der Anbau von Energiepflanzen langfristig auf die Entwicklung der *Humusmenge* im Boden aus? – Welche Rolle spielt dabei die Rückführung der Gärreste?
- Wie ist die *Energiebilanz* des Anbaus von Energiepflanzen zu bewerten?
- Welche *Erosionsrisiken* treten beim Anbau von Energiepflanzen auf?

Diese Fragen wurden mit Hilfe von bestehenden Bilanzmodellen bearbeitet, die jeweils an die speziellen Anforderungen des Energiepflanzenanbaus angepasst wurden. Für die Humusbilanzen wurde das Modell REPRO verwendet, welches von Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung e. V., (INL) zur Verfügung gestellt wurde.

2.1 Stand des Wissens

Nährstoffbilanzen

Zur Erzielung hoher Trockenmasse-Erträge von Energiepflanzen besteht ein erheblicher Nährstoffbedarf. Kenntnisse über Nährstoffflüsse beim Anbau von Energiepflanzen sind wichtig, um die Düngung der Bestände optimal zu gestalten. Andererseits besteht speziell für Stickstoff ein Emissionspotenzial in benachbarte Bereiche der Umwelt wie Grundwasser, Oberflächenwasser, Atmosphäre oder die Beeinträchtigung naturnaher, nährstoffarmer Biotope. Die mit der Ausbringung von Gärresten verbundenen Nährstoffflüsse sind bei einer solchen Betrachtung zu berücksichtigen. Im Zusammenhang mit Düngung, speziell organischer Düngung, spielen immer auch die Vorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU, 2000) eine Rolle, die eine flächendeckende Reduzierung der Stickstoffausträge fordert, um die Nährstofffracht in Grund- und Oberflächengewässer sowie in die Meere zu senken.

Landwirtschaftliche Betriebe mit Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen sind durch die Gärrestverwendung in Bezug auf Stickstoff eher mit Vieh haltenden Betrieben zu vergleichen, da ein erheblicher Anteil des Stickstoffs innerhalb des Betriebes zirkuliert. In Bezug auf die Humusbilanz gehören sie zum Typus Marktfruchtbetriebe, die das Hauptprodukt und das Nebenprodukt, z. B. Korn und Stroh, verkaufen.

Humusbilanzen

Das Wort Humus leitet sich aus dem Lateinischen ab und ist mit feuchter, fruchtbarer Boden zu übersetzen. Heute wird Humus als postmortale organische Substanz des Bodens definiert. Er trägt wesentlich zur Nährstoffumsetzung und -speicherung bei, sowie zur Verbesserung von Bodenstruktur und Wasserhaltefähigkeit. Insgesamt wird die Fruchtbarkeit eines Standortes entscheidend durch Humus geprägt.

Überschlägig lässt sich die Humusmenge im Boden wie folgt abschätzen:

Bei 30 cm Krumentiefe und einer Bodendichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ errechnet sich ein Gesamtgewicht der Ackerkrume von $4500 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Davon sind überschlägig 2 % Humus ($90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$). Bei einem Humus-Kohlenstoffgehalt von 58 % ergeben sich daraus $52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ Humus-C. Wenn in Humusbilanzen Humus-C-Änderungsraten für Getreide von $-280 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, für Silomais von $-560 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ und Klee gras $600 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (VDLUFA, 2004) berechnet werden, sind dies 1 % und weniger des Humus-C der Ackerkrume.

Der Humusgehalt eines Bodens ändert sich a) kurzfristig (~ 10 Jahre) durch die Bewirtschaftung: Fruchtarten, Bodenbearbeitung, organische Düngung, Stickstoff-Düngungsniveau, b) mittelfristig (~ 50 Jahre) in Abhängigkeit von Niederschlag, Temperatur und Grundwassertiefe, c) langfristig (> 200 Jahre) durch Änderungen des Reliefs, der Bodenart oder durch Bergbau. In den Untersuchungen dieses Projektes werden die kurzfristigen (im obigen Sinne) Auswirkungen des Anbaus von Energiepflanzen untersucht. Durch eine hohe Zufuhr an organischer Substanz kann über Jahrzehnte der Humusgehalt im Boden bis zu einer gewissen Grenze gesteigert werden. Findet jedoch eine Nutzungsänderung statt, mit einer geringeren Zufuhr organischer Materialien, wird der im Boden angereicherte Humus innerhalb weniger Jahre wieder zu CO_2 abgebaut.

Die analytische Erfassung von kurzfristigen, im Vergleich zur Gesamtmenge nur relativ geringen Veränderungen der Humusvorräte im Boden, ist zur Ableitung von Bewirtschaftungsempfehlungen nicht praktikabel: Messfehler und kleinräumige Boden-Heterogenitäten sind größer als die jährlichen Änderungen in der Humusmenge. Aus diesem Grund sind rechnerische Verfahren zur Bewertung einer realen oder geplanten Nutzung besser geeignet. Grundsätzlich eignen sich zur Bewertung der Humusmenge im Boden C-N-Modelle und Bilanzverfahren. Modelle haben den Vorteil, einzelne Prozesse des Humusauf- und -abbaus exakter zu beschreiben als Bilanzverfahren. Allerdings ist die Parametrisierung solcher Modelle sehr aufwendig. Aus diesem Grund stellen Humusbilanzen ein Instrument zur Verfügung, welches mit wenigen, einfach zu erhebenden Eingangsdaten auskommt.

Mit Humusbilanzen lassen sich keine absoluten Änderungen der Gehalte und Mengen im Boden bestimmen. Es geht bei diesem Verfahren um eine relative Einschätzung des Humusversorgungsgrades. Die Grundthese lautet: Führen Humusbedarf und Humusmehrung zu einer ausgeglichenen Bilanz, so wird sich ein standort- und nutzungstypischer Humusgehalt einstellen. Dies kann je nach Vornutzung des Schlags eine Abnahme oder Zunahme der aktuellen Humusmenge bedeuten. Dabei entscheidet die Höhe (Abweichung von Null) des Saldos über die Geschwindigkeit mit der sich der standort- und nutzungstypische Humusgehalt einstellt. Die Humusbilanz erlaubt ein Ranking unterschiedlicher

Früchte oder Fruchtfolgen. Sie erlaubt jedoch keine Rückschlüsse auf die absolute Humusmenge des Bodens (HÜLSBERGEN, 2003).

Das älteste Verfahren der Humusbilanzierung ist die ROS-Methode (= reproduktions-wirksame organische Substanz), welche auf Basis von Dauerfeldversuchen entwickelt wurde. Auf Basis dieser Versuche wurde die notwendige Zufuhr organischer Primärsubstanz für den Erhalt des standort- und nutzungstypischen Humusgehaltes ermittelt. Die Methode wurde in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelt und spiegelt die Anbau- und Ertragsbedingungen dieser Zeit wider. Bezugsbasis der ROS-Methode ist Stallmist, da dieser damals weit verbreitet war (ASMUS u. HERMANN, 1977).

Die Humuseinheiten-Methode (HE-Methode) wurde durch LEITHOLD et al. (1997) aus dem Stickstoffhaushalt abgeleitet und verknüpft C- und N-Haushalt miteinander. Die Humuseinheiten-Methode kennt neben statischen Koeffizienten für die Fruchtarten auch einen dynamischen Ansatz, welcher die Standortbedingungen, die mineralische N-Düngung und den TM-Ertrag berücksichtigt (HÜLSBERGEN, 2003). Die dynamische HE-Methode ist im Computer-Programm REPRO integriert. Einheit der Humuseinheiten-Methode ist die Humuseinheit (HE), welche 580 kg Humus-C und 55 kg N entspricht. Im Vergleich zu VDLUFA sind die Fruchtart-Koeffizienten deutlich differenzierter, z. B. wird zwischen Ganzpflanzen und Körnernutzung unterschieden.

Die VDLUFA-Methode basiert auf der ROS-Methode. Um die Bandbreite des experimentell ermittelten anbauspezifischen Humusbedarfs verschiedener Standorte anzugeben, nennt sie obere und untere Werte für den Humusbedarf verschiedener Kulturen. Die VDLUFA-Methode ist ein Bilanzansatz mit statischen Input- und Outputgrößen. Anpassungen erfolgen nur sehr grob mit der Nennung der oberen und unteren Werte.

Die VDLUFA-Methode wurde in vereinfachter Form in die Cross-Compliance Verordnung (BUNDESGESETZBLATT, 2004) übernommen. Dabei werden als Fruchtart-Koeffizienten nur die „unteren Werte“ der VDLUFA-Methode verwendet, für Strohdüngung gilt ein geänderter Koeffizient.

Energiebilanz

Ziel von Energiebilanzen technischer Prozesse ist es, den Primärenergieaufwand ins Verhältnis zum Nutzen zu stellen. Ihre Ergebnisse dienen als Maß für die energetische und flächenbezogene Effizienz. Über den Vergleich ähnlicher Prozesse können deren relative Vorzüge sowie Einsparmöglichkeiten aufgezeigt werden. Schwerpunkt der Bilanzen im Bericht bilden der kumulierte Energieaufwand (KEA) des Anbaus und der Energieertrag im Erntegut.

Erosion

Der Anbau von Energiepflanzen führt zu einer Änderung des Anbauverhältnisses der Fruchtarten z. B. Vergrößerung der Maisanbaufläche, zum Anbau neuer Fruchtarten wie Futterhirse und Sudangras sowie zur Änderung der Anbausysteme (Einkultur- und Zweikulturnutzungssysteme). Die sich ändernde Bodenbedeckung infolge anderer Standraum-

verteilung erhöht die Erosionsgefährdung im Vergleich zu „traditionellen“ Fruchtarten wie Marktfrüchten und Futterpflanzen.

Erosion wird durch Wasser oder Wind bewirkt. Im Projekt wird nur die Wassererosion bewertet. Zur Quantifizierung der Wassererosion wurde von WISCHMEIER und SMITH (1978) die „Universal Soil Loss Equation“ (USLE) aufgestellt und von SCHWERTMANN et al. (1987) Anpassungen an die deutschen Verhältnisse als „Allgemeine Bodenabtragsgleichung“ (ABAG) vorgenommen. Die ABAG wurde 2004 im Rahmen der DIN 19708 genormt.

Gegenwärtig wird eine Zunahme der Extremwetterbedingungen und eine Verschiebung beginnender Starkregenhäufigkeit in die Frühjahrsmonate beobachtet. Zusätzlich treten häufiger milde Winter auf, die bei wassergesättigten, ungefrorenen Böden die Erosion durch Oberflächenabfluss begünstigen. Auf gefrorenen Böden ist Erosion während Tauwetter insbesondere in konkav geformten Flächen anzutreffen. Während traditionelle und an das Klima angepasste Fruchtarten den Boden rasch bedecken, sind spezielle, erosionsmindernde Anbaumethoden für die „neuen“ Energiepflanzen unerlässlich. Ihr Anbau sollte aufgrund der höheren Erosionsdisposition möglichst nur auf ebenen Standorten und unter Nutzung von Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung (nicht-wendende Bodenbearbeitung, Mulchverfahren) erfolgen.

3 Methoden

Datengrundlage

Ausgewertet wurden die Versuche des Teilprojektes 1. Zur Quantifizierung der Nährstoffabfuhr wurden zusätzlich folgende Satellitenprojekte ausgewertet: Mischfruchtanbau, Erntetermine, Faktorreduzierung, reduzierte Bodenbearbeitung und Ackerfuttermischungen. Die Auswertungen erfolgten für alle Standorte. Bei den Ackerfuttermischungen wurden nur die Standorte Berge, Dornburg, Wehnen und Bramstedt in die Auswertung einbezogen. Es wurden jeweils die Jahre 2005 bis 2007 berücksichtigt.

Im Teilprojekt 1 wurden 5 Standardfruchtfolgen an sieben Standorten in Deutschland einheitlich angebaut. Zusätzlich werden 3-4 Regionalfruchtfolgen individuell an den jeweiligen Standorten angebaut. Standardfruchtfolgen und Regionalfruchtfolgen zusammen werden als Grundversuch bezeichnet. Der Grundversuch mit Beginn der Fruchtfolgen im Jahr 2005 wird als Anlage 1 bezeichnet. Um die Jahreseffekte zu verringern, wurde der Grundversuch ein zweites Mal um ein Jahr versetzt mit Beginn im Jahr 2006 angelegt. Die Fruchtfolgen aus 1. und 2. Anlage sind in Anhang 1 dokumentiert.

Alle Versuche sind mit 4-facher Wiederholung angebaut. Für die Berechnung von Mittel- und Medianwerten wurde zunächst der Mittelwert je Prüfglied aus den 4 Wiederholungen berechnet, erst dann folgten weitere Aggregationen. Die Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen (BBCH-Werte) wurden nach BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND UND FORSTWIRTSCHAFT (2001) bonitiert.

Der Grundversuch wurde an sieben Standorten angebaut. Einige Kennzahlen der Standorte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Für die Humusbilanz nach der dynamischen Humuseinheiten-Methode sind die Standorte wie folgt zu gruppieren: Güterfelde, Trossin und Werlte sind Standorte mit niedriger Ackerzahl und niedrigen Erträgen. Die Erträge sind berechnet als mittlerer Jahresertrag (1. + 2. Frucht) der Standardfruchtfolgen. Ascha und Gülzow gehören mit ihren Böden in die mittlere Gruppe, wobei in Gülzow die höchsten Erträge erzielt wurden. Die besten Böden sind in Ettlingen und Dornburg. Beide Standorte werden in der Humusbilanz relativ begünstigt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Standorte in Teilprojekt 1.

Standort	nächste Stadt	Nr	Niederschlag mm/a	Boden	Ackerzahl	jährl. TM-Ertrag* t · ha ⁻¹ · a
Ascha	Straubing	11	807	Braunerde, sandiger Lehm	47	13,4
Dornburg	Jena	16	574	Humusparabraunerde, stark toniger Schluff	65	14,7
Ettlingen	Karlsruhe	17	742	Pseudogley-Parabraunerde, schluffiger Lehm	75	13,6
Gülzow	Güstrow	18	559	Pseudogley-Parabraunerde, lehmiger Sand	50	15,1
Güterfelde	Potsdam	19	547	Sand-Tieflehm-Fahlerde, lehmiger Sand	29	9,5
Trossin	Torgau	25	574	Bänder-Parabraunerde, mittel schluffiger Sand	31	10,2
Werlte	Meppen	27	797	Humoser Sandboden, lehmiger Sand	31	11,5

* mehrjähriges Mittel der Standardfruchtfolgen

Auswertungen

Bei den Auswertungen werden die mittleren Werte berechnet und Angaben zur Streuung gemacht. Um den Einfluss von Ausreißern auszuschließen, wurde in der Regel nicht das arithmetische Mittel sondern der Median verwendet. Häufig sind Messwerte nicht normal verteilt wie z. B. Nährstoffgehalte. Daher wird zur Beschreibung der Streuung nicht die Standardabweichung sondern Quartile angegeben. Eine bewährte Darstellungsform der Lageparameter (Median, Quartile, Minimum und Maximum) sind Boxplots. Für die Boxplots, z. B. Abbildung 3, S. 26, wurde folgende Darstellung gewählt: Die Box zeigt mit ihren horizontalen Linien das 1., 2. und 3. Quartil an (identisch mit dem 25, 50, und 75 %-Perzentil). Innerhalb der Box befinden sich 50 % der Messwerte (2. und 3. Quartil). Die mittlere Linie der Box, das 50 % Perzentil (Median), teilt die Messwerte genau in zwei Hälften. Das arithmetische Mittel wird als Viereck dargestellt. Die Whisker (Schnurrhaare) stellen das 10 und 90 % Perzentil dar. Innerhalb von Box plus Whisker liegen 80 % der Messwerte. Minimum und Maximum werden mit „–“ dargestellt. Fehlt dieses Symbol, ist der Wert außerhalb der Skalierung.

3.1 Nährstoffe

Die Nährstoffgehalte und Abfuhrer wurden aus den Erntegutanalysen der Versuche berechnet. Alle Nährstoffgehalte werden in % der TM angegeben.

Für die Bewertung der Nährstoffabfuhrer der zahlreichen in den Versuchen geprüften Fruchtarten und deren Anbauzeit wurden 12 Gruppen gebildet. Eine Charakterisierung der Gruppen bezüglich ihrer Entwicklungsstadien und TM-Gehalte erfolgt in Tabelle 2. Die Gruppierung erfolgte zum einen um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, zum anderen um eine größere Stichprobenzahl bei der Berechnung der Medianwerte zu erhalten. Zum Beispiel unterscheidet sich der Aussaattermin der Zweitfrucht-Stellung von der Sommerzwischenfrucht-Stellung oft nur wenig.

Die Nährstoffbilanzen der einzelnen Versuche werden im Bericht von Teilprojekt 1 berechnet und erläutert.

Tabelle 2: Charakterisierung der untersuchten Energiepflanzen

Fruchtart	Details	BBCH	TM
			% in der FM
Silomais, Hauptfrucht		69-87	30
Silomais, Zweitfrucht		73-87	29
Sudangras Hauptfrucht		59-83	24
Sudangras Zwischenfrucht	als Zf und Szf	55-83	22
Futterhirse Zwischenfrucht	als Zf und Szf	31-59	22
Sommergetreide Hauptfrucht	Gp	59-89	35-40
Wintergetreide Hauptfrucht	Gp	51-89	30-40
Winterroggen, Winterzwischenfrucht		49-73	22
Weidelgräser, Zwischenfrucht	als Zf, Wzf, Szf	–	–
Ackerfutter	Ackerfuttermischungen aus: Satellitenprojekten und Grundversuch	–	–
Topinamburkraut Hauptfrucht		39-59	27
Sonnenblume Hauptfrucht	Gp	59-90	17

N_{min}-Untersuchungen

Die N_{min}-Proben wurden im Frühjahr zu Vegetationsbeginn, nach Ernte und im Herbst zu Vegetationsende (0-30, 30-60 und 60-90 cm Tiefe) gezogen. Der N_{min}-Wert berechnet sich aus NO₃-N plus NH₄-N.

3.2 Humusbilanzen

Prinzip der Humusbilanzierung

Das Prinzip der Humusbilanzierung besteht darin, dem *Humusbedarf* von humuszehrenden Fruchtarten wie Silomais und Getreide, die *Humuszufuhr* gegenüber zu stellen. Die Humuszufuhr erfolgt durch organische Dünger oder humusmehrnde Fruchtarten. Dazu zählen mehrjähriges Luzernegrass, Körnerleguminosen und Zwischenfrüchte. Die Bewertung der Fruchtarten als Humusmehrer oder Humuszehrer ist die Resultierende aus direkten Wirkungen wie der Menge und Qualität der Ernte-Wurzelrückstände, deren stofflicher Zusammensetzung und Umsetzbarkeit, der Dauer der Bodenbedeckung, der Teilbrachezeiten und indirekten Wirkungen wie der unterstellten Anbauverfahren, der Bodenbearbeitung und der Mineral-N-Düngung (HÜLSBERGEN, 2003). Die Humusbilanz wird vereinfacht nach der unten stehenden Formel berechnet.

$$\begin{array}{lll}
 \textbf{Humussaldo} & = & \textbf{Humuszufuhr} \quad + \quad \textbf{Humusbedarf} \\
 & & \text{Reproduktionsleistung organischer} \quad \text{anbauspezifisch} \\
 & & \text{Substanzen} \\
 \text{Abschätzung der} & \text{a) Menge und Qualität der} & \text{Humuszehrende Fruchtarten,} \\
 \text{Veränderungen} & \text{organischen Primärsubstanzen:} & \text{Bewertung in Abhängigkeit von} \\
 \text{der Humusvorräte} & \text{Stroh, Mist, Gülle, Gärrest,} & \text{Ernterückständen, Wurzel-} \\
 \text{im Boden} & \text{Kompost, Gründüngung} & \text{masse, Rhizodeposition und} \\
 & \text{b) Humusmehrnde Früchte} & \text{Anbauverfahren}
 \end{array}$$

aus HÜLSBERGEN u. SCHMIDT (2008), verändert

Methoden der Humusbilanzierung

Aufgrund der besseren Differenzierung der Fruchtarten und des Standorteinflusses wurde für die EVA-Versuche die dynamische HE-Methode verwendet. Das Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung e. V. (INL) hat dafür das Programm REPRO zur Verfügung gestellt und spezielle Anpassungen für den Anbau von Energiepflanzen vorgenommen.

Die Humusbilanzen werden wegen der besseren Verständlichkeit von der Humuseinheit (HE) in Humus-Kohlenstoff umgerechnet.

Humusbedarfs-Koeffizienten

Die fruchtartsspezifischen Humusbedarfs-Koeffizienten sind so bemessen, dass bei Zufuhr dieser Menge an organischer Substanz, der Humusabbau durch Mineralisation kompensiert wird. Da die Mineralisierung des Humus von vielen Faktoren abhängt, werden bei der VDLUFA-Methode obere und untere Werte angegeben, Tabelle 3. Für die HE-Methode sind in dieser Tabelle die statischen Faktoren angegeben. Sie werden in der dynamischen HE-Methode durch den Standort, das Ertragsniveau und die N-Düngung variiert.

Tabelle 3: Beispiele für den fruchtartsspezifischen Humusbedarf und Humusmehrung nach VDLUFA und HE-Methode.

Quellen: VDLUFA, 2004, Computerprogramm REPRO

	HE-Methode, statisch	VDLUFA unter Wert	VDLUFA oberer Wert
	kg/ha Humus-C	kg/ha Humus-C	kg/ha Humus-C
Silomais Hf, Zf	-812	-560	-800
Sudangras Hf, Zf, Szf	-406	–	–
Futterhirse, Hf, Zf, Szf	-406	–	–
Getreide Hf	-406	-280	-400
Winterroggen Wzf	87	120	160

Für den Anbau von Energiepflanzen fehlen Koeffizienten a) für einige bisher nicht angebaute Fruchtarten, b) für Fruchtarten mit geänderten Ernteterminen. Diese wurden in Zusammenarbeit mit dem (INL) auf Basis von Expertenwissen abgeleitet.

- Sudangras und Zuckerhirse werden wie Getreide bewertet.
- Ganzpflanzengetreide, geerntet zur Milch- bis Teigreife werden wie Getreide mit Körnernutzung bewertet, da die TM-Bildung der Pflanze zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen ist.

Grünschnittroggen mit spätem Erntetermin (Ährenschieben, Mitte bis Ende Mai) wird wie Futterroggen eingestuft.

Für Silomais, Sudangras und Futterhirse wird die Zweitfrucht-Stellung wie die Hauptfrucht-Stellung bewertet. Die Sommerzwischenfrucht-Stellung von Sudangras und Futterhirse wird ebenfalls wie die Hauptfrucht-Stellung bewertet.

Die Bewertung von Energiepflanzen in der Humusbilanz ist also mit methodischen Unsicherheiten verbunden. Solange keine besseren Werte auf Basis von Experimenten vorliegen,

liefern diese Koeffizienten eine erste Grundlage zur Bewertung. Die abgeleiteten Koeffizienten werden für die Humusbilanz nach VDLUFA und nach der dynamischen HE-Methode eingesetzt.

Humusreproduktion organischer Dünger

Die Humusreproduktionsleistung organischer Dünger, ausgedrückt in kg Humus-C je Tonne Substrat, ist abhängig von der stofflichen Zusammensetzung, welche den Abbau und die Humifizierung im Boden maßgeblich bestimmt.

Die Humus-Koeffizienten für organische Dünger unterscheiden sich von denen der Fruchtarten darin, dass sie je Tonne ausgebrachtes Substrat gelten. Es wird hier ein linearer Zusammenhang unterstellt. Die Humus-Koeffizienten der Fruchtarten gelten nach VDLUFA pauschal je Frucht, ohne Berücksichtigung des Ertrages; bei der dynamischen HE-Methode liegt ein nicht linearer Zusammenhang mit dem TM-Ertrag vor.

Gärreste aus Biogasanlagen sind ein zusätzlicher organischer Dünger, der bisher in seiner Wirkung auf die Humusreproduktion kaum bewertet wurde. Gärreste unterscheiden sich von unvergorener Gülle tierischer Herkunft u. a. durch einen engeren C : N-Quotienten (Tabelle 6, S. 18) und einen höheren Anteil an stabilen Kohlenstoffverbindungen wie Lignin. Die relative Anreicherung von Lignin entsteht durch den Abbau der leicht umsetzbaren Kohlenstoffverbindungen im Vergärungsprozess.

Nach VDLUFA und der HE-Methode wird die Humusreproduktion von Gärresten je Tonne FM in Abhängigkeit von der TM berechnet, Tabelle 4. Generell führt ein höherer Abbau der organischen Substanz zu einer höheren Biogasausbeute und beim Gärrest zu einem niedrigeren TM-Gehalt.

Bei sinkender TM im Gärrest nimmt nach VDLUFA die Humus-C-Menge je Tonne Gärrest zu, Tabelle 4. Offensichtlich wird davon ausgegangen, dass bei höherer Biogasausbeute die Humusreproduktionsleistung des Gärrestes je Tonne steigt. Eine differenzierte Bewertung der Gärreste nach Abbaugrad der organischen Substanz, bzw. nach Höhe der Biogasausbeute ist nicht vorgesehen. Diese Reproduktions-Koeffizienten gelten also bei einem bestimmten Abbaugrad der organischen Substanz des Substrates.

Da eine verbesserte Gärbiologie jedoch zu einer höheren Biogasausbeute und infolgedessen zu einem niedrigeren C-Gehalt des Gärrestes führt, wurde für die Auswertung ein Ansatz nach GUTSER u. EBERTSEDER (2006) gewählt, der die Humusreproduktion des Gärrestes in Abhängigkeit von dessen C-Gehalt bewertet, siehe Kap. „Umsetzung der Humusbilanzierung für die Versuche in EVA“.

Tabelle 4: Humus-Reproduktion von flüssigem Gärrest nach VDLUFA, 2004 und der dyn. HE-Methode.

TM des flüssigen Gärrestes % in der FM	Humus-C je t Gärrest-FM kg · t ⁻¹	Humus-C je t Gärrest-TM kg · t ⁻¹	Methode
4	6	150	VDLUFA
7	9	129	VDLUFA
8	–	128	dyn. HE-Methode
10	12	120	VDLUFA

Bewertung der Humussalden

Die Humussalden werden in Gruppen eingeteilt, ähnlich der Nährstoffgehaltsklassen für Bodenuntersuchungen. Dabei werden die Salden der Humusbilanz in Bezug auf die Ertragssicherheit und das Verlustpotenzial für Stickstoff bewertet, Tabelle 5.

Tabelle 5: Bewertung der Humussalden nach VDLUFA (2004)

Humussaldo in Humus-C $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$	Gruppe	Bewertung
< -200	A, sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktion und Ertragsleistung
-200 bis -76	B, niedrig	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden
-75 bis 100	C, optimal	Optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko Langfristige Einstellung standortangepasster Humusgehalte
101 bis 300	D, hoch	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E, sehr hoch	Erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste, niedrige N-Effizienz

Umsetzung der Humusbilanzierung für die Versuche in EVA

Die Humusbilanzen für die Fruchtfolgeversuche in EVA werden wie folgt berechnet: Ausgewertet wird die 1. Anlage des Grundversuches aller Standorte für die Erntejahre 2005 bis 2008. Die Humusbilanzen werden zunächst auf Basis der Versuchsdaten, ohne Gärrest berechnet. Anschließend wird in dem Szenario „mit Gärrest“ die Humuswirkung des Gärrestes untersucht.

Die Berechnungen erfolgen je Prüfglied mit dem Computer-Programm REPRO im erweiterten Modus (dynamische HE-Methode). Folgende Eingangsgrößen werden direkt aus den Versuchen übernommen: Ackerzahl, FM-Ertrag, C-, N- und TM-Gehalt des Erntegutes. Die Stickstoffsalden der Versuche sind sehr unterschiedlich. Da der fruchtartspezifische Humus-Koeffizient von der mineralischen Stickstoffdüngung abhängt, war es für vergleichbare Ergebnisse der Humusbilanz notwendig, die Stickstoffdüngung einheitlich zu definieren. Für die Druschfrüchte (Getreide und Raps) wurde die Düngung der Versuche übernommen. Diese haben positive Bilanzsalden für Stickstoff. Für die Energiepflanzen wurde die Düngung wie folgt festgelegt:

$\text{N-Düngung} = \text{N-Abfuhr mit dem Erntegut} - \text{Abzug}$

$\text{Abzug} = \text{Frühjahrs-N}_{\min}\text{-Wert } 0\text{-}90 \text{ cm}$

– anrechenbarer Anteil der atmosphärischen Stickstoffdeposition.

Der Frühjahrs- $\text{N}_{\min}$ -Wert ist der Median aller beprobten Parzellen des Standortes und Jahres. Die atmosphärische N-Deposition bezieht sich direkt auf die geografische Lage der Versuchsflächen und das Jahr 2004 (UBA, 2004). Sie beinhaltet die trockene und nasse Deposition. Da nicht die gesamte Stickstoffmenge der Deposition der Pflanze zur Verfügung steht, wurde mit einer von der Ackerzahl abhängigen Verwertungsrate gearbeitet

(REPRO, 2008). Welche Abzüge an welchem Standort vorgenommen wurden, ist in Anhang 3, S. 149 dokumentiert.

Für die Düngungsvarianten mit einer N-Versorgung des Bestandes aus Gärresten zu 0 %, 50 %, 72 % und 100 % wird diese Methode ebenfalls eingesetzt. Für den Gärrest wird ein Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) 100 % angesetzt, da von einer langfristigen Ausbringung der Gärreste ausgegangen wird.

Szenario „mit Gärrest“

Die Ausbringung von Gärresten war nicht Gegenstand der Versuche in EVA I, sie werden daher im Rahmen von Szenarien untersucht. Das Szenario „mit Gärrest“ trifft die Annahme, dass der Gärrest zu 100 % wieder auf die Fläche zurückgebracht wird, von der er stammt. Ein prinzipielles Schema der Stoffflüsse zeigt Abbildung 1. Dabei werden im Rahmen des Projektes folgende Kennziffern bestimmt: a) Silierverlust, b) theoretische Biogasausbeute, c) C-Gehalt des Gärrestes, d) Umsatzrate des Gärrest-Kohlenstoffs zu Humus-Kohlenstoff sowie e) Ausbringungsverluste für Stickstoff.

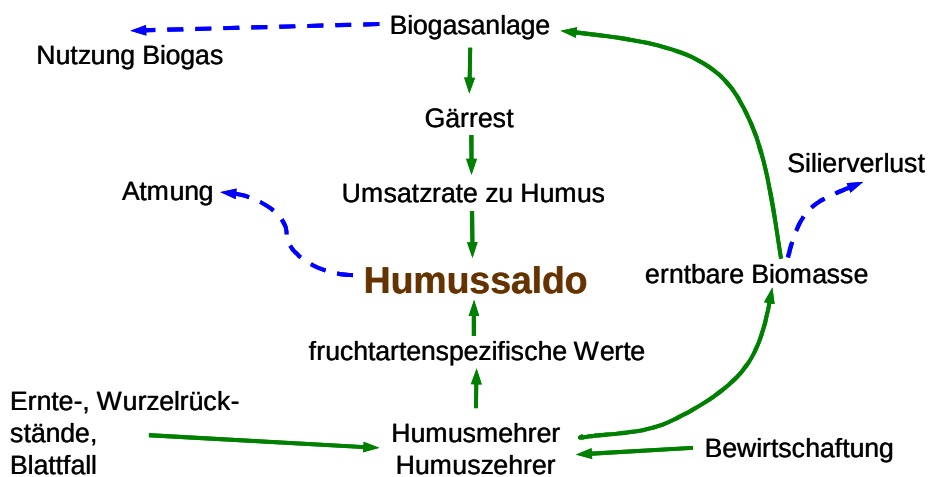


Abbildung 1: Schema zur Berechnung von Humusbilanzen in Szenario „mit Gärrest“

- a) Die Silierverluste beinhalten Transportverluste, Randverluste und gasförmige Gärverluste. Diese streuen zwischen 10 und 25 % (JEROCH et al., 1993). Unter Annahme guter fachlicher Praxis sind 15 % der TM-Erntemenge realistisch.
- b) Die theoretische Biogasausbeute wird auf Basis der Weender Futtermittelanalysen nach FNR (2006) berechnet. Bei der Berechnung der Biogasausbeute wurde vereinfachend davon ausgegangen, das Biogas nur aus CH₄ und CO₂ besteht. Die spezifischen Biogasausbeuten je kg organische Trockenmasse werden zunächst für jede Parzelle (4 Wiederholungen) berechnet, bei Mischkulturen werden die Mischungspartner anteilig berücksichtigt. Aus den Biogasausbeuten je Parzelle werden die Mittelwerte je Prüfglied berechnet. Abschließend wird der Mittelwert über alle Prüfglieder des Grundversuches je Fruchtart, Fruchtfolgestellung (Hauptfrucht, Zweitfrucht usw.), Nutzung (Ganzpflanze, Körner) und Schnitt berechnet. Bei den mehrschnittigen Kulturen wie

Ackerfutter, werden Mittelwerte für den 1. Schnitt gebildet, der 2. Schnitt und alle Folgeschnitte werden zusammengefasst. Die berechneten mittleren Biogasausbeuten sind in Anhang 4 dargestellt. Sie sind identisch mit denen des Teilprojektes Ökonomie der Universität Gießen (Bearbeiter T. Toews). Dieses Vorgehen wurde gewählt, um für jede Fruchtart die gleiche spezifische Biogasausbeute zu verwenden.

- c) Der C-Gehalt des Gärrestes wurde als Residualgröße von Erntegut minus Siliiverlusten minus Biogasnutzung berechnet.
- d) *Humus*: Eine erste Bewertung des Humusreproduktions-Koeffizienten haben ASMUS und LINKE (1987) mit vergorener Schweinegülle vorgenommen. Der damals im Modellversuch ermittelte Reproduktionsfaktor des Gärrestes liegt etwas oberhalb des Faktors für Rottemist. Gärreste aus heutigen Biogasanlagen unterscheiden sich von dem untersuchten Gärrest dadurch, dass zur Biomethanisierung nicht nur tierische Gülle, sondern auch Energiepflanzen als Substrat eingesetzt werden. Zusätzlich wird die organische Substanz der Substrate heute stärker abgebaut, welches zu einer Reduzierung der Kohlenstoffmenge im Gärrest führt.

Die derzeit übliche Bewertung von Gärresten für die Humusbilanz beruht auf Expertenbewertungen. Dabei gibt es zwei Thesen:

- Die eine besagt, dass es sich bei Gärrest um ein ausgefaultes Substrat handelt, deren leicht umsetzbare Bestandteile beim Biogasprozess bereits umgesetzt wurden. Die im Gärrest verbleibende organische Substanz ist entsprechend als stabil zu bewerten. GUTSER u. EBERTSEDER (2006) und EBERTSEDER (2007) setzen daher den Humusreproduktions-Koeffizienten für Gärreste pflanzlichen Ursprungs mit 0,4 an; und bewerten den Gärrest damit zwischen Rottemist und Kompost liegend (Tabelle 6). Dieser Koeffizient bezieht sich auf Humus-C je Dünger-C. Ob es zulässig ist, von der anaeroben Stabilität des C im Gärrest auf die aerobe Stabilität des C im Boden zu schließen, kann hier nicht bewertet werden. Das müssen Bebrütungsversuche im Labor oder Langzeitversuche im Feld zeigen.
- Die Gegenthese lautet, dass aufgrund des engen C : N-Verhältnisses im Gärrest, dieser im Boden rasch umgesetzt wird und daher mit unvergorener Gülle tierischen Ursprungs gleich zu setzen ist. Der Humusreproduktionsfaktor für unvergorene Tier-Gülle beträgt 0,22.

Experimentell ermittelte Humifizierungs-Koeffizienten für Gärreste aus heutigen Biogasanlagen liegen derzeit nicht vor, bzw. sind nicht veröffentlicht. Da beide oben genannten Thesen plausibel sind, werden die Humusbilanzen mit dem Mittel aus beiden Koeffizienten berechnet. Zusätzlich zeigen Fehlerbalken die Ergebnisse bei Verwendung der Humifizierungs-Koeffizienten von 0,22 und 0,40. Der verwendete Humifizierungs-Koeffizient von 0,31 besagt, dass dieser Anteil des C im Gärrest zu Humus-C im Boden umgewandelt wird.

Tabelle 6: Orientierungswerte zur Humuswirkung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern nach: GUTSER U. EBERTSEDER, 2006

Dünger	C/N-Quotient	Humifizierungs-Koeffizient [Humus-C/Dünger-C]
Gärrest (pflanzl. Substrate)	4-10	0,40
Klärschlamm	5	0,17
Gülle	8	0,22
Stallmist	14	0,35
Kompost	15	0,45
Stroh	80	0,15

- e) *Stickstoff*: Bei der Ausbringung von Gärresten treten gasförmige Stickstoff- und Schwefelverluste auf. Diese liegen im Bereich von 5 % (Injektionsdüngung) bis weit über 15 %. Unter Annahme guter fachlicher Praxis wird von Ausbringungsverlusten in Höhe von 15 % (LLFG, 2008) ausgegangen. Für die Nährstoffe P, K und Mg sind in der Kette von der Ernte bis zum Ausbringen des Gärrestes die Verluste wie z. B. Transportverluste, vernachlässigbar.

3.3 Energiebilanzen

Die Energiebilanzen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit erstellt. Im Bericht sind daher die Methoden und Ergebnisse nur knapp dargestellt. Die vollständige Diplomarbeit von Herrn J. Lackemann kann vom ZALF bezogen werden¹.

Die Definition des kumulierten Energieaufwands (KEA) lehnt sich an die VDI-Richtlinie 4600 von 1997 an. Der kumulierte Energieaufwand bildet die „Gesamtheit der energetischen Aufwendungen ab, die auf dem Lebensweg eines Produkts oder einer Dienstleistung entstehen bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden können“ (WIEGMANN u. FRITSCHKE, 2008).

Die stoffliche Bilanzgrundlage listet alle Sachaufwendungen auf, die im Rahmen eines Produktionsverfahrens auftreten. Darunter fallen direkte Energieeinsätze (Strom, Kraftstoffe) und Sachmittel, die im Produktionsprozess aufgewendet werden. Bei Investitionsgütern wie z. B. Maschinen, die über eine längere Zeit abgeschrieben werden, ist eine anteilige Nutzung anzurechnen. Die Listung der eingesetzten Sachaufwendungen wird im Folgenden auch als Sachbilanz bezeichnet.

Die energetische Bewertungsgrundlage ordnet jedem in die Sachbilanz aufgenommenen Produktionsmittel einen spezifischen KEA-Parameter zu. Dieser KEA-Parameter gibt bei Endenergieträgern an, wie viel Primärenergie zur Bereitstellung der eingesetzten Endenergiemenge eingesetzt werden muss. Bei Sachaufwendungen gibt er an, wie viel Primärenergie zur Produktion und zum Transport des Sachmittels aufgewendet wird.

In der Bilanz müssen demnach alle für den Produktionsprozess benötigten Sachaufwendungen über deren gesamten Lebensweg hinweg auf Energieaufwendungen untersucht

¹ Bezug über M. Willms, unter mwillms@zalf.de

werden. Diese Aufgabe ist in weiten Teilen nur durch die Verwendung der Ergebnisse vorausgehender wissenschaftlicher Untersuchungen zu bewältigen. Aus Gründen der Praktikabilität muss die Rückverfolgung der Lebenswege an einer geeigneten Stelle abgebrochen werden.

Bruttoenergieertrag

Dem kumulierten Energieaufwand wird in Energiebilanzen der Energieertrag gegenüber gestellt. Er quantifiziert den Nutzen des Gesamtsystems Biogasgewinnung. Der Bruttoenergieertrag wird auf zweierlei Art dargestellt: A) Energiegehalt der Ganzpflanzensilage und B) Energiegehalt der daraus gewinnbaren Methanmenge.

Ziel der energetischen Bewertung ist es, den Energieeinsatz beim Anbau von Energiepflanzen für die Verwertung in der Biogasanlage zu berechnen und zu bewerten. Dabei wird der Konversionsprozess der Substrate zu Biogas nicht mitbetrachtet. Die dort auftretenden Energieaufwendungen verringern den Nettoenergieertrag erheblich. In erster Näherung kann aber unterstellt werden, dass diese Energieaufwendungen für alle Substrate gleichermaßen auftreten, sodass der Vergleich unterschiedlicher Fruchtarten oder Fruchtfolgen nicht beeinträchtigt wird.

Umsetzung der Energiebilanz

Für die Energiebilanz wurde wenn nötig auf die Ergebnisse der Versuche zurückgegriffen. In vielen Fällen wurde jedoch davon abstrahiert und sogenannte Referenzanbauverfahren definiert. Bewertet werden die Fruchtfolgen und Fruchtarten am Standort Güterfelde aus dem Grundversuch. Dabei werden nur die ersten drei Jahre bewertet, da im 4. Jahr keine Energiepflanze, sondern Winterweizen als Druschfrucht angebaut wurde. Für die Düngung wurde angenommen, dass der Gärrest vollständig wieder auf die Fläche ausgebracht wird, welches einer N-Düngung aus Gärrest von 70 % entspricht. Die Erträge beruhen auf Expertenschätzung und gelten für das langjährige Mittel. Der Maschinenpark wurde für einen Betrieb mit 800-1000 ha in Brandenburg auf sandigen Böden ausgelegt. Der Dieserverbrauch wurde mit dem KTBL-Feldarbeitsrechner (KTBL, 2008) berechnet.

3.4 Wassererosion

Die standörtliche Wassererosionsgefährdung wird nach der DIN 19708, berechnet. Der langjährige mittlere potenzielle Bodenabtrag berechnet sich aus:

- Regen- und Oberflächenabflussfaktor (R-Faktor)
- Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor)
- Hanglängenfaktor (L-Faktor)
- Hangneigungsfaktor (S-Faktor)
- Management- und Bedeckungsfaktor (C-Faktor)

Der Management- und Bedeckungsfaktor (C-Faktor) integriert Erosivität des Regens, Bodenbearbeitung und Bodenbedeckung von 6 aufeinanderfolgender Abschnitten der Kulturpflanzenentwicklung. Der relative Bodenabtrag (RBA) der einzelnen Abschnitte gibt die erosionsmindernde Wirkung gegenüber dem Zustand unter Schwarzbrache mit feinkrümeligem Saatbett an.

Bodenbedeckung und Verteilung der Regenerosivität

Abbildung 2 veranschaulicht die Problematik der Erosionsdisposition von Fruchtarten. Die Regenerosivität ist ein Komplexfaktor, der die Starkregenintensität und -menge aber auch den Oberflächenabfluss repräsentiert. Sie folgt im mittleren Jahresverlauf einer standort-typischen Verteilung. Zwei Perioden im Jahr sind besonders stark erosionsdisponiert:

- zum Winterausgang wird Erosion durch oberflächlichen Wasserabfluss initiiert
- in den Sommermonaten sind bei Starkniederschlägen Erosionsereignisse möglich.

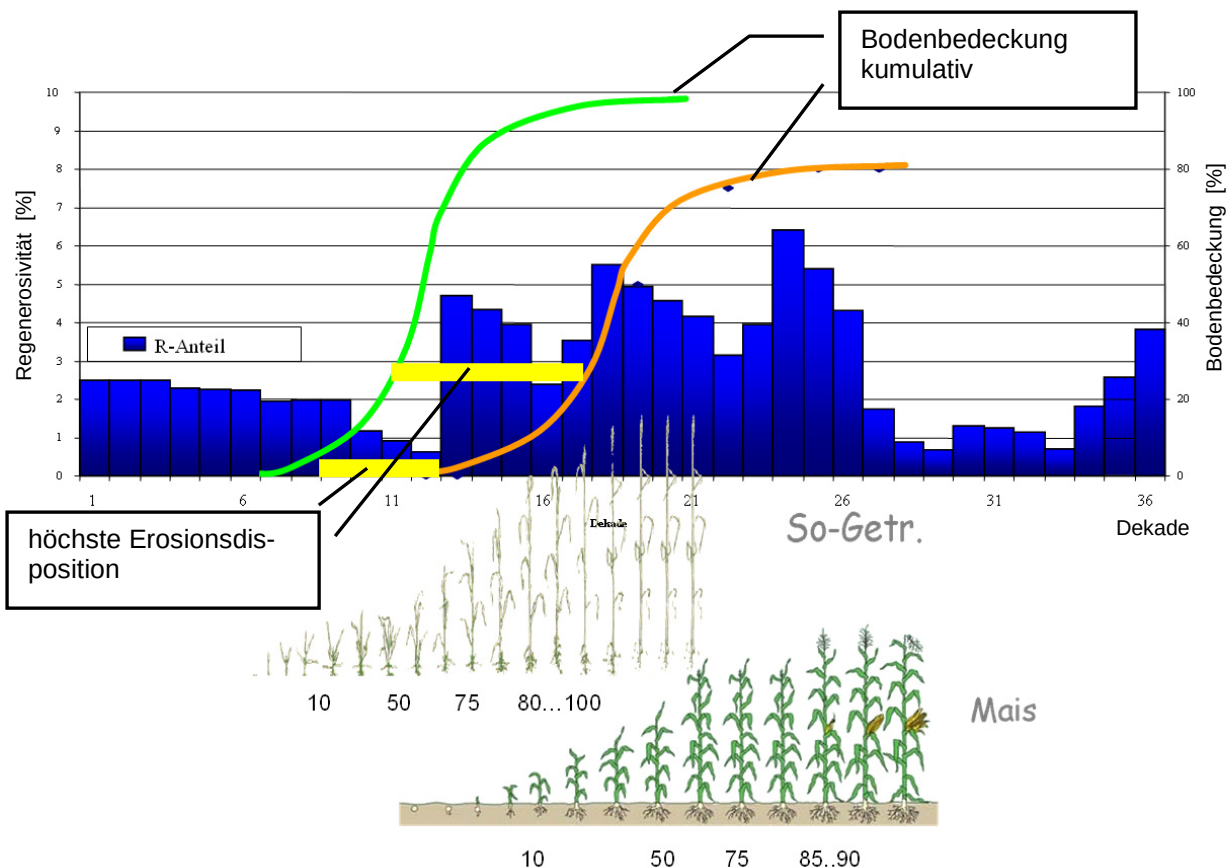


Abbildung 2: Bodenbedeckung und Regenerosivität im Jahresverlauf (Wetterstation Müncheberg)

Die Bodenbedeckung durch Pflanzen bzw. deren Rückstände vermindert Erosionsgefahr und Bodenabtrag. Die in den Versuchen angebaute C₄-Pflanzen besitzen einen höheren Wärmebedarf und sind stark durch Spätfrost gefährdet. Ihr Aufwuchs ist anfangs langsamer und liegt relativ spät im Jahr, erst Ende Juni bis Juli kommt es zum Reihenschließen. Große Reihenabstände erhöhen zusätzlich die Erosionswahrscheinlichkeit. Bis zum Reihenschluss ist der Bestand besonders stark erosionsgefährdet. In dieser Zeit steigt

bereits die Auftretswahrscheinlichkeit von Starkregen, sodass die Erosionsgefahr besonders hoch ist.

Umsetzung der Erosionsabschätzung für die Versuche

Eine optimale Anpassung des C-Faktors für Energiepflanzen kann zur Sicherung nachhaltiger Produktion beitragen. Deshalb werden in diesem Bericht die Anbaufolgen für die Standorte Ascha und Gülzow exemplarisch verglichen. Die Abschätzung des Bodenabtrags wird für die Fruchtfolgen des Grundversuches unter Verwendung der in den Versuchen erhobenen Termine für Bodenbearbeitung, Aussaat, das Erreichen von 10 %, 50 %, 75 % und 100 % Bodenbedeckung sowie dem Erntetermin vorgenommen. Nicht für alle Stufen der Bodenbedeckung wurde in den Kulturen der Termin erhoben. Fehlende Termine wurden auf Basis von Expertenwissen abgeleitet. Der langjährige mittlere C-Faktor ergibt sich aus der wiederholten Abfolge der gleichen Anbaufolgen unter Nutzung der Bewirtschaftungsdaten für die Erntejahre 2005-2008.

Die zugrunde gelegten Werte für relative Bodenabträge der einzelnen Pflanzenbauperioden basieren auf AUERSWALD & KAINZ (1998). Sie wurden für die neu eingeführten Fruchtarten aus Bodenerosionsexperimenten bekannter Fruchtarten hergeleitet. Deshalb besteht die Notwendigkeit, in den kommenden Jahren diese Werte durch Experimente und eine detaillierte Erfassung der Bodenbedeckungsgrade zu bestätigen.

Die hier vorgelegten Resultate basieren zunächst nur auf Anwendung der RBA-Werte auf Untersuchungen der Bodenbedeckungsdaten der Standorte Ascha und Gülzow. Damit werden zwei Standorte mit unterschiedlichen standörtlichen Bedingungen hinsichtlich Boden und Niederschlagserosivität analysiert. Zur Berechnung des im langjährigen Mittel potenziellen Bodenabtrags und zum Vergleich wurden als einheitliche Modellbasis 100 m Hanglänge und 3 Hangneigungsstufen, 4 %, 9 % und 14 % gewählt. Als Regenerosivität wurden regionale Datenquellen nahe gelegener Wetterstationen genutzt, für Ascha Werte von Passau und für Gülzow Werte von Neustrelitz. Die Bodenerodierbarkeitswerte (K) wurden aus den standörtlich untersuchten Bodendaten abgeleitet.

Somit unterscheiden sich die Standortverhältnisse hinsichtlich Regenerosivität (R) sowie ihrer täglichen Verteilung (Einfluss auf C-Faktor) und der Bodenerodierbarkeit. Der Topografiefaktor (LS) ist konstant für die jeweiligen Neigungsstufen.

4 Ergebnisse

4.1 Nährstoffe

Wesentliche Instrumente zur Beurteilung der Nährstoffsituation eines Pflanzenbestandes sind: Nährstoffbilanz, $N_{\min}$ -Untersuchungen und die Versorgungsklassen des Bodens für die Grundnährstoffe P, K, Mg. Im Folgenden werden: Nährstoffabfuhr und Nährstoffkonzentrationen als Komponenten der Nährstoffbilanz untersucht, die $N_{\min}$ -Werte nach Ernte und die Rückfuhr von Gärresten werden exemplarisch untersucht.

4.1.1 Nährstoffabfuhr ausgewählter Fruchtarten

Wichtiger Baustein für eine angemessene Düngung der Energiepflanzen ist die Kenntnis welche Nährstoffmengen mit dem Erntegut abgefahren werden. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Abfuhr für die Makronährstoffen N, P, K, Mg und S für ausgewählte Fruchtartengruppen ausgewertet, Abbildung 3. Zusätzlich werden in Abbildung 4, S. 27 die Konzentrationen der Nährstoffe im Erntegut dargestellt.

Stickstoff

Die Stickstoffabfuhr der einzelnen Energiepflanzen liegt im Median zwischen 90 (Weidelgras in Zwischenfruchtstellung) und $270 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in einem weiten Bereich, Abbildung 3. Abbildung 4 zeigt, dass Ackerfuttermischungen und Weidelgräser als Zwischenfrucht mit einem Median von 2,3 und 2,2 %, den höchsten Stickstoffgehalt haben. Alle übrigen Fruchtarten liegen unter 2 %. Abbildung 5, S. 28 zeigt, dass die Stickstoffabfuhr eng mit dem Ertrag korreliert ist. Dabei lassen sich die untersuchten Fruchtarten grob in zwei Gruppen teilen: Ackerfutter (Gräser, mit oder ohne Leguminosen) und übrige Früchte. Bei Ackerfuttermischungen ist der Zusammenhang zwischen Ertrag und Stickstoffabfuhr mit $r^2 = 0,82$ höher als bei den übrigen Fruchtarten ($r^2 = 0,76$).

Für die C_4 -Gräser Silomais, Sudangras und Futterhirse beträgt die Stickstoffabfuhr im Median $120\text{--}210 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Für Silomais in Hauptfruchtstellung beträgt sie $220 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, in Zweitfruchtstellung verringert sie sich auf $190 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Die Abfuhr für Sudangras in Hauptfruchtstellung beträgt 170, in Zweitfruchtstellung 150 und für Zuckerhirse in Zweitfruchtstellung $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Im Gegensatz zur Stickstoffabfuhr nimmt die Stickstoffkonzentration in der Biomasse von Silomais über Sudangras zu Futterhirse zu, Abbildung 4. Die Korrelation zwischen Biomasseertrag und Stickstoffabfuhr ist für diese Fruchtartengruppe mit $r^2 = 0,8$ relativ eng, Abbildung 6.

Die Stickstoffabfuhr für Getreide liegt im unteren Bereich. Dabei hat Wintergetreide in Hauptfruchtstellung mit $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ die höchsten Abfuhr, Sommergetreide liegt bei 100 und Winterroggen als Winterzwischenfrucht bei $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Die Stickstoffkonzentration in der Biomasse von Sommer- und Wintergetreide liegt bei etwa 1,4 %, während die des Winterroggens als Winterzwischenfrucht mit 1,9 % deutlich darüber liegt. Zwischen Biomasseertrag und Stickstoffabfuhr liegt nur eine geringe Korrelation vor, s. Abbildung 7, S. 28. Diese Abbildung weist für einige Winterroggen-Prüfglieder Erträge von $>9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ TM

aus. Diese hatten zum Erntetermin bereits ein höheres Entwicklungsstadium erreicht (Milchreife, BBCH 73) und sind dadurch mit den übrigen Prüfgliedern nur eingeschränkt vergleichbar.

Die Fruchtartengruppe Weidelgräser in Zwischenfruchtstellung und Ackerfutter in Hauptfruchtstellung zeigt extreme Unterschiede in der Stickstoffabfuhr. Für erstere beträgt sie im Median 90, für letztere 280 kg·ha⁻¹. Die höheren Abfuhr sind auf höhere Erträge und einen höheren Stickstoffgehalt im Erntegut zurück zu führen. Die Korrelation zwischen N-Abfuhr und Ertrag ist mit $r^2 > 0,8$ eng. (ohne Abbildung). Für Ackergräser mit Leguminosen werden in einigen Prüfgliedern sehr gute Erträge von > 19 t·ha⁻¹ erreicht. Diese wurden alle im Jahr 2007 erzielt, welches durch die hohen Niederschläge sehr günstige Wuchsbedingungen hatte. Die Erträge wurden auf den Standorten Berge (Brandenburg) und Dornburg erzielt und zeigen das Potenzial für günstige Jahre auf.

Die Stickstoffabfuhr von Topinamburkraut und Sonnenblume liegen im mittleren Bereich, ähnlich denen von Sudangras und Zuckerhirse. Sie beträgt für Sonnenblume 140, für Topinambur 120 kg·ha⁻¹. Bei beiden Fruchtarten streut die Abfuhr erheblich. Bei Sonnenblume besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Stickstoffabfuhr und Ertrag mit $r^2=0,94$, Abbildung 8, S. 28. Für Topinambur ist die Abhängigkeit des Ertrages von der N-Abfuhr nur schwach ausgeprägt, $r^2=0,5$.

Phosphor

Die Phosphorabfuhr für C₄-Gräser liegt im oberen und mittleren Bereich. Für Silomais in Hauptfruchtstellung beträgt sie 38, in Zweitfruchtstellung 35, für Sudangras 31 und 28 und für Futterhirse 24 kg·ha⁻¹. Während die Phosphorabfuhr in dieser Reihung der C₄-Gräser fällt, steigt die Phosphorkonzentration von Silomais (0,22 %) über Sudangras (0,26 %) zu Futterhirse (0,29 %). Silomais und Sudangras in Hauptfruchtstellung haben sehr hohe Maxima der Phosphorabfuhr. In diesen Prüfgliedern wurden bei Silomais hohe Erträge mit > 20 t·ha⁻¹ TM erzielt, bei einem Phosphorgehalt der oberhalb des Medians liegt.

Die Phosphorabfuhr von Getreide liegt im unteren Bereich. Für Sommergetreide beträgt im Median 18, für Wintergetreide 25 kg·ha⁻¹ und für Winterroggen als Winterzwischenfrucht 17 kg·ha⁻¹. Wintergetreide in Hauptfruchtstellung weist sehr große Abweichungen der Whiskers von dem Median aus. Dies ist auf die große Spreizung der Erträge von 4-18 t·ha⁻¹ TM zurück zu führen. Winterroggen als Winterzwischenfrucht hat mit 0,37 % den höchsten Phosphorgehalt. Die sehr hohen Phosphorkonzentrationen von $\geq 0,5$ % sind bei Prüfgliedern mit niedrigen Erträgen von 1-3 t·ha⁻¹ TM zu beobachten. Hier liegt die Schlussfolgerung nahe, dass die Phosphoraufnahme bereits sehr früh erfolgt, welches bei der jungen Getreidepflanzen zu einer relativ hohen Konzentration führt, die durch den Biomassezuwachs verdünnt wird.

Die Phosphorabfuhr für Weidelgräser als Zwischenfrüchte ist mit 16 kg·ha⁻¹ relativ gering, die der Ackerfuttermischungen mit 37 kg·ha⁻¹ ähnlich der von Silomais. Der Phosphorgehalt bei Weidelgräsern als Zwischenfrucht beträgt 0,34 % bei Ackerfutter 0,32 %. Sie sind damit im Vergleich zu den übrigen Früchten sehr hoch. Die Phosphorabfuhr mit

Topinamburkraut und Sonnenblume liegen im mittleren Bereich, vergleichbar mit der von Getreide. Sie beträgt 19 und 22 kg · ha⁻¹ · ha⁻¹.

Kalium

Die Kaliumabfuhr ist auf ähnlichem Niveau wie die Stickstoffabfuhr. Die C₄-Gräser liegen bei der Kaliumabfuhr im mittleren Bereich. Für Silomais in Hauptfruchtstellung beträgt sie im Median 190, in Zweitfruchtstellung 180 kg · ha⁻¹. Für Sudangras und Zuckerhirse sind die Kaliumabfuhr höher als die Stickstoffabfuhr. Sie betragen für Sudangras in Hauptfruchtstellung 210, in Zweitfruchtstellung 190 und für Zuckerhirse 140 kg · ha⁻¹. Die Kaliumgehalte von Silomais in beiden Fruchtfolgestellungen sind mit 1,2 % die niedrigsten der untersuchten Fruchtarten. Sudangras in Hauptfruchtstellung hat einen Kaliumgehalt von 1,5 %, in Zweitfruchtstellung von 1,7 %, Zuckerhirse liegt bei 1,8 %.

Die Kaliumabfuhr der Getreide liegen im unteren Bereich. Sie betragen für Sommergetreide 130, für Wintergetreide 140 und für Winterroggen als Winterzwischenfrucht ebenfalls 130 kg · ha⁻¹. Auffallend ist der hohe Kaliumgehalt von Winterroggen als Winterzwischenfrucht mit 2,78 %.

Die Kaliumabfuhr für Weidelgräser als Zwischenfrucht ist mit 110 kg · ha⁻¹ die niedrigste Abfuhr. Ackerfuttermischungen haben mit 340 kg · ha⁻¹ die höchste Kaliumabfuhr. Da bei beiden Kulturen die Kaliumgehalte mit 2,7 und 2,8 % nahe beieinander liegen, ist die große Differenz in der Abfuhr auf den Ertrag zurück zu führen.

Die Kaliumabfuhr mit Topinamburkraut und Sonnenblume ist ebenfalls hoch. Sie beträgt für Topinambur 240 und für Sonnenblume 260 kg · ha⁻¹, bei erheblichen Streuungen. Die Kaliumkonzentration von Sonnenblume ist mit 2,91 % die Höchste. Bei Sonnenblumen treten in 4 Prüfgliedern Kaliumabfuhr über 300 kg · ha⁻¹ auf. Gemeinsamkeiten dieser Prüfglieder sind: Kaliumkonzentrationen oberhalb des Medians, eine Kaliumdüngung von mehr als 200 kg · ha⁻¹ und Erträge von mehr als 14 t · ha⁻¹.

Magnesium

Die Magnesiumabfuhr betragen 6-31 kg · ha⁻¹. Sie liegen für Getreide mit 6-11 kg · ha⁻¹ am niedrigsten. Die höchsten Abfuhr wurden mit Sudangras und Sonnenblume, beide 29 kg · ha⁻¹ sowie Topinamburkraut mit 31 kg · ha⁻¹ erzielt. Die Magnesiumabfuhr für Silomais in Hauptfruchtstellung beträgt 28 kg · ha⁻¹, interessanter Weise beträgt für Silomais in Zweitfruchtstellung die Magnesiumabfuhr nur 86 % der Abfuhr in Hauptfruchtstellung (24 kg · ha⁻¹). Dies ist kein Effekt geringerer Erträge, da die Magnesiumkonzentration in Zweitfruchtstellung ebenfalls niedriger ist. Für Sudangras gibt es keinen derartigen Unterschied zwischen Haupt- und Zweitfruchtstellung. Die Magnesiumgehalte für Getreide mit 0,12 % sind die Niedrigsten. Hohe Magnesiumkonzentrationen sind mit rund 0,3 % bei Sudangras, bei Futterhirse (0,31 %), bei Topinamburkraut (0,36 %) und Sonnenblume (0,4 %) zu finden.

Schwefel

Die Schwefelabfuhr liegt von der Größenordnung her unter der Magnesiumabfuhr. Dabei liegen Silomais und Sudangras im mittleren Bereich der Schwefelabfuhr. Sie beträgt für Silomais in Hauptfruchtstellung 16 , in Zwischenfruchtstellung 13 . Ähnlich wie bei Magnesium ist die Schwefelkonzentration in Zweitfruchtstellung geringer als in Hauptfruchtstellung. Für Sudangras beträgt die Schwefelabfuhr in Hauptfruchtstellung $13 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, in Zweitfruchtstellung $9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, dabei ist die Schwefelkonzentration in Zweitfruchtstellung mit 0,12 % höher als in Hauptfruchtstellung (0,1 %). Die Schwefelabfuhr für Getreide sind im unteren Bereich und betragen $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ für Sommergetreide, $13 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ für Wintergetreide und $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ für Winterroggen als Winterzwischenfrucht. Der Schwefelgehalt von Winterroggen als Winterzwischenfrucht ist mit 0,18 % auffallend hoch. Ackerfutter und Weidelgräser als Zwischenfrucht liegen mit ihren Schwefelgehalten von 0,2 und 0,23 % im oberen Bereich. Dabei hat Ackerfutter die höchsten Schwefelabfuhr mit $24 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Die höchsten Schwefelkonzentrationen wurden mit 0,24 % bei Sonnenblume beobachtet.

Zusammenfassung

Für die Nährstoffe N, K, S hat Ackerfutter die höchsten Nährstoffabfuhr, für die übrigen Nährstoffe liegt es ebenfalls im oberen Bereich. Für die Nährstoffe N, P, K, S sind die Nährstoffkonzentrationen ebenfalls hoch. Insgesamt ist zu beobachten, dass bei physiologisch jüngeren Pflanzen wie Ackerfutter, Winterroggen als Winterzwischenfrucht die Nährstoffkonzentrationen höher liegen. Dies gilt für alle Nährstoffe mit der Ausnahme von Magnesium. In abgeschwächter Form ist dies ebenfalls für Sudangras beim Vergleich von Hauptfrucht- und Zweitfruchtstellung zu beobachten. Bei Silomais tritt dieser Effekt nicht auf. Getreide hat auffallend niedrige Magnesiumabfuhr und -gehalte.

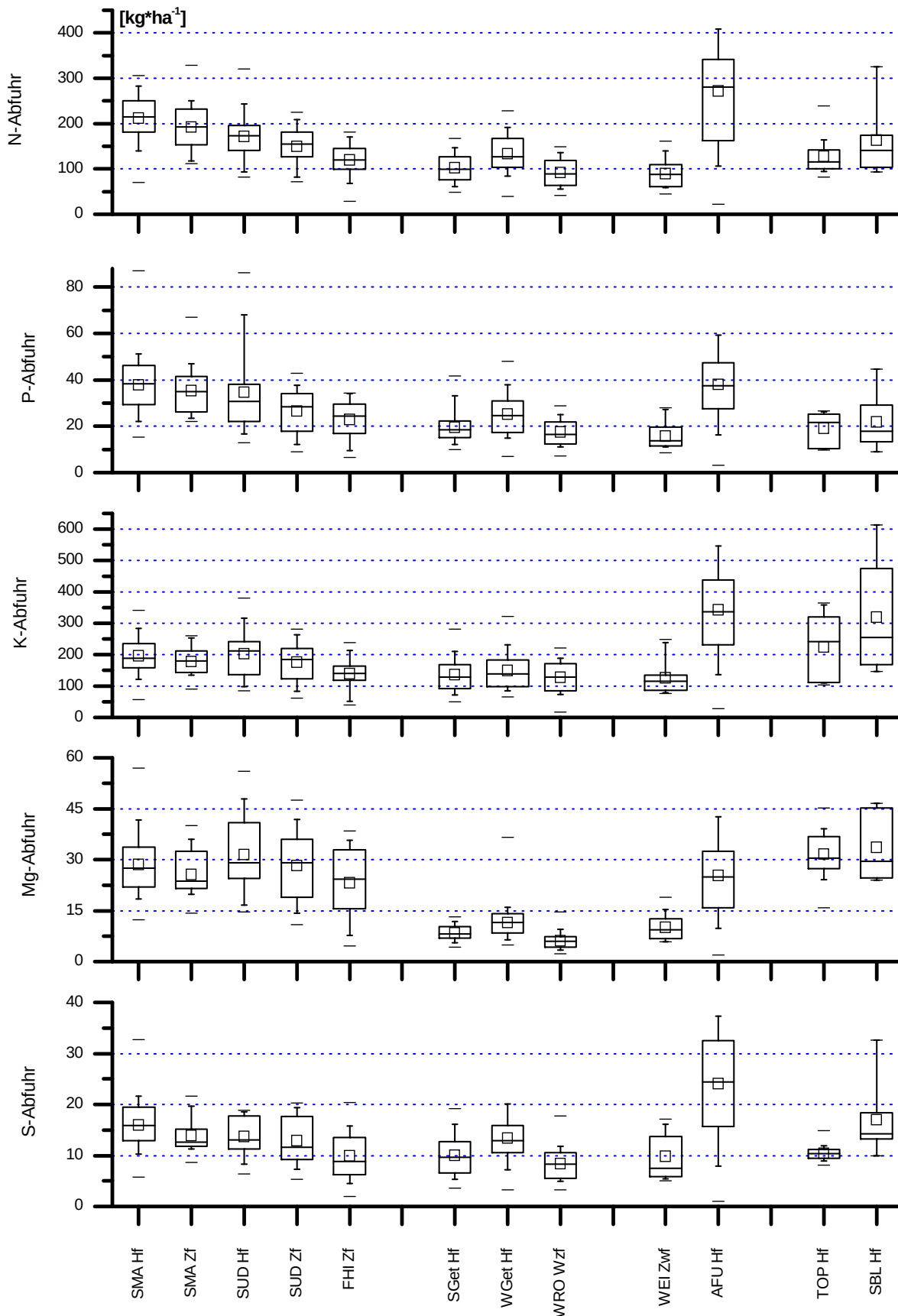


Abbildung 3: Nährstoffabfuhren ausgewählter Energiepflanzen
 Daten: Teilprojekt 1, Satellitenprojekte, Ernte 2005-2007

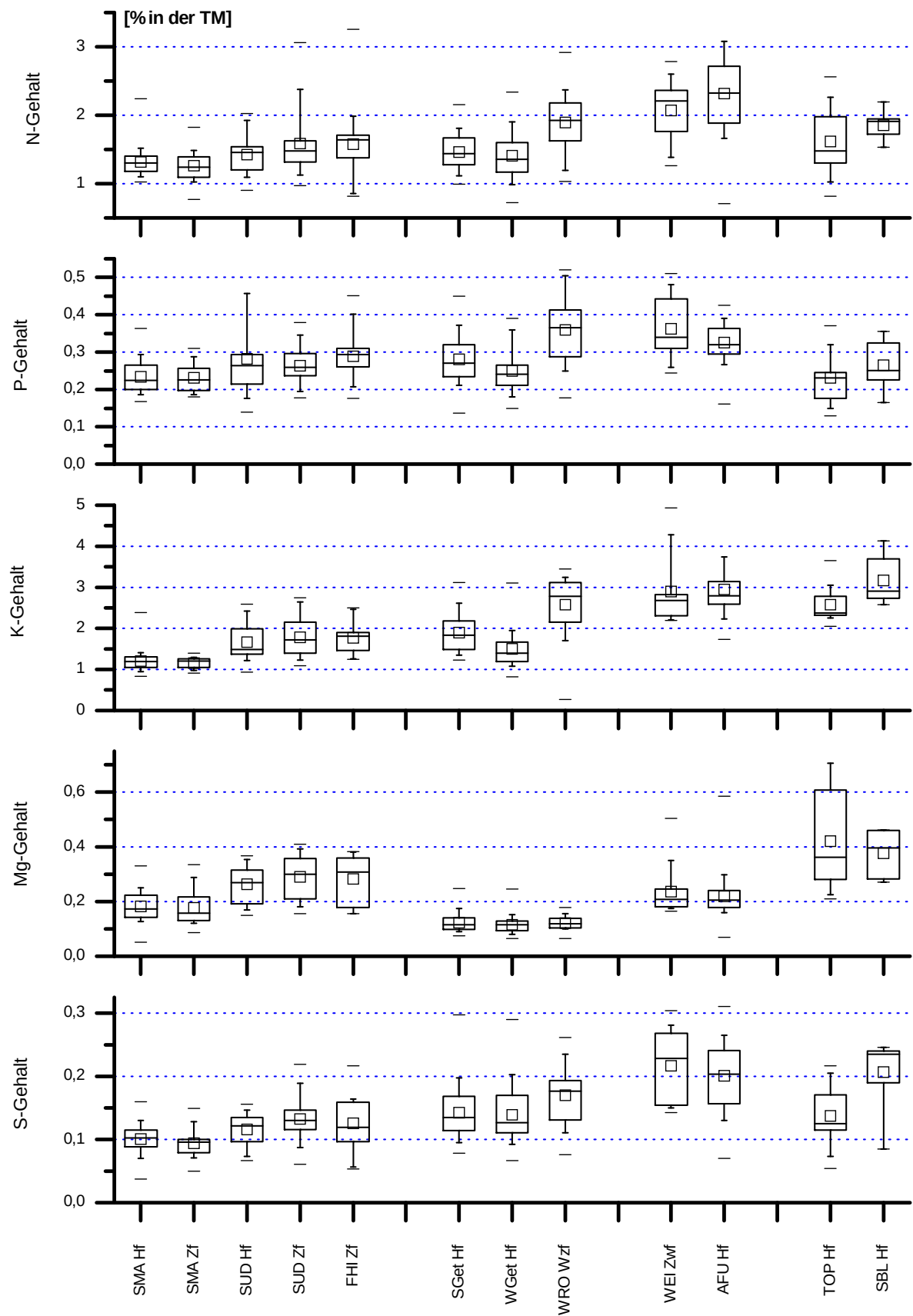


Abbildung 4: Nährstoffgehalte ausgewählter Fruchtarten
 Daten: Teilprojekt 1, Satellitenprojekte, Ernte 2005-2007

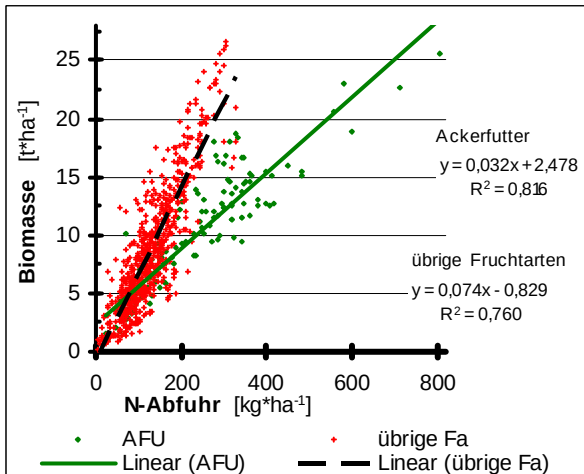


Abbildung 5: Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für Ackerfutter übrige Fruchtarten

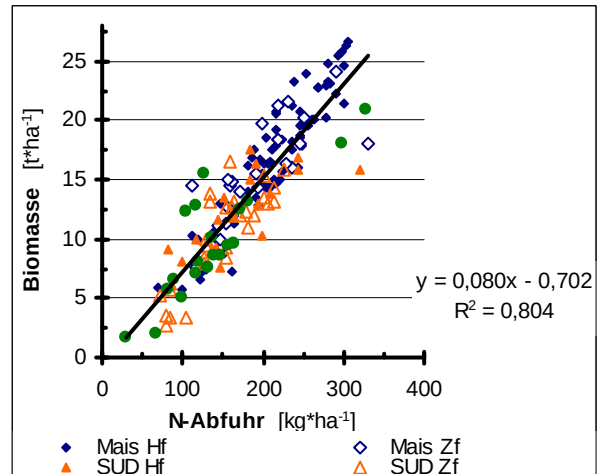
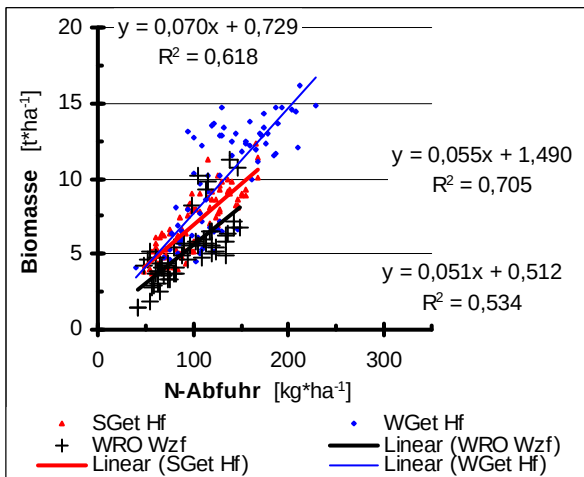
Abbildung 6: Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für die C₄-Gräser: Silomais

Abbildung 7: Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für Getreide

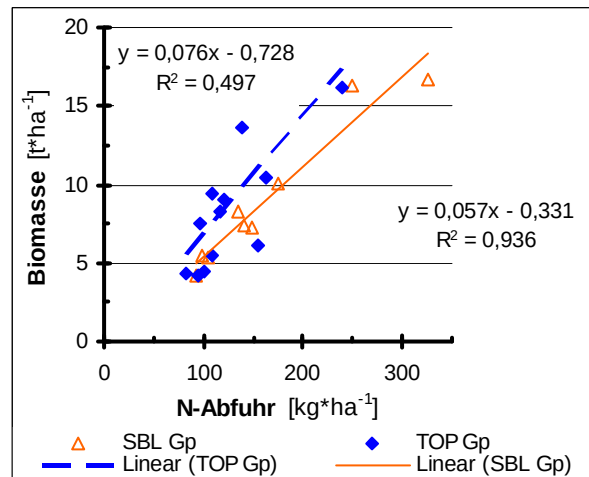


Abbildung 8: Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für Topinambur und Sonnenblume

Daten: Teilprojekt 1, Satellitenprojekte, Ernte 2005-2007

4.1.2 N_{min} nach der Ernte

Neben der Stickstoffbilanz sind die N_{min}-Mengen im Boden ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Stickstoffversorgung der Kulturen. Der N_{min}-Wert zeigt eine Momentaufnahme des mineralischen Stickstoffs im Boden. Dadurch sind Rückschlüsse auf die Mineralisationsleistung des Bodens, auf die Stickstoffversorgung des Bestandes, sowie eine erste Abschätzungen in Bezug auf die Befruchtung des Sickerwassers mit Nitrat möglich.

Die N_{min}-Werte nach Ernte sind in Abbildung 9 für ausgewählte Energiepflanzen dargestellt. Die Medianwerte liegen unter 40 kg·ha⁻¹ mit der Ausnahme von Silomais. Für Silomais beträgt der Median in Hauptfruchtstellung 56 kg·ha⁻¹, in Zweitfruchtstellung 42 kg·ha⁻¹. Auffallend ist, dass in Zweitfruchtstellung Silomais und Sudangras jeweils einen geringeren N_{min}-Wert nach Ernte haben. Bei Silomais in Zweitfruchtstellung ist er um 13 kg·ha⁻¹ oder 24 % niedriger als in Hauptfruchtstellung, bei Sudangras ist der Effekt geringer. Hier beträgt der N_{min}-Wert in Hauptfruchtstellung 34 kg·ha⁻¹, in Zweitfruchtstellung 29 kg·ha⁻¹, welches einer Reduktion um 13 % entspricht. Eine genauere Unter-

suchung der hohen $N_{\min}$ -Werte nach Silomais zeigt, dass alle $N_{\min}$ -Werte des 4. Quartils ($> 73 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) bei niedrigeren Erträgen unterhalb des Medians ($18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ TM) aufgetreten sind. Diese Erträge stammen aus den Jahren 2005 und 2006, in denen an den meisten Standorten keine optimalen Ertragsbedingungen für Silomais vorherrschten.

Die $N_{\min}$ -Werte nach Getreide (SGet, WGet) in Hauptfruchtstellung betragen im Median $36 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ und sind mit denen von Sonnenblume ($33 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) sowie Sudangras und Futterhirse vergleichbar. Winterroggen als Winterzwischenfrucht hat bei den oberen 25 % der Werte (4. Quartil) sehr hohe $N_{\min}$ -Werte. Diese sind jedoch nicht auswaschungsgefährdet, da die nachfolgende Frucht den Stickstoff aufnimmt. Aus Sicht des Trinkwasserschutzes liegt hier kein Grund zur Beunruhigung vor. Bei Topinambur im 3-jährigen Anbau wurden mit $19 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ die niedrigsten $N_{\min}$ -Werte gemessen.

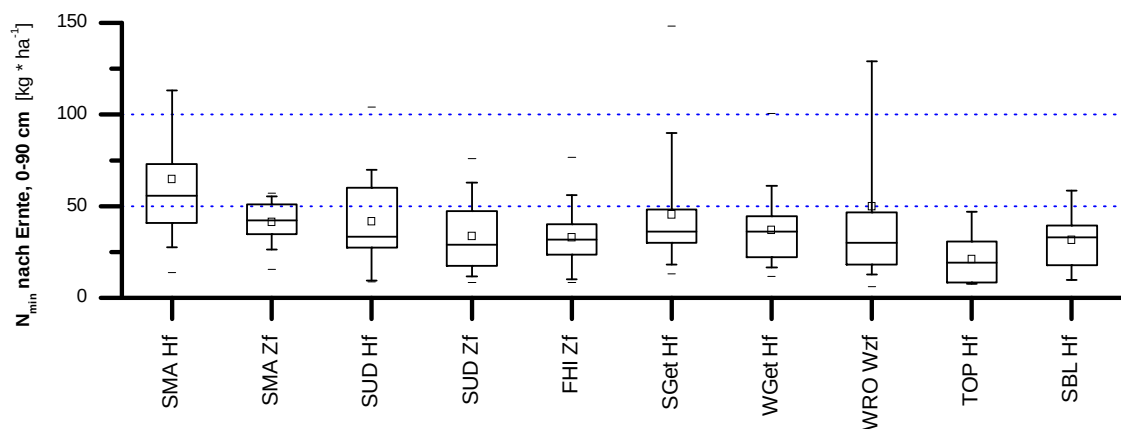


Abbildung 9: $N_{\min}$ nach Ernte in 0-90 cm Tiefe für ausgewählte Energiepflanzen

Daten: Teilprojekt 1, Ernte 2005-2007

Bewertung von Stickstoffsalden mit Hilfe von $N_{\min}$ Untersuchungen

In den Feldversuchen waren die Stickstoffsalden (Saldo = Zufuhr mit Düngung + $N_{\min}$ im Frühjahr – N-Abfuhr mit dem Erntegut) vielfach negativ. Es entsteht hier die Frage, ob diese negativen N-Bilanzen ertragslimitierend wirken. Dazu wurde von folgenden Thesen ausgegangen: Die Mineralisation des organischen Bodenstickstoffs beginnt erst bei höheren Bodentemperaturen und findet vornehmlich ab Mai, bei feuchten Bodenbedingungen statt. Für Getreide kommt dieser Stickstoff bereits zu spät. Bei den C_4 -Gräsern findet jedoch ein wesentlicher Teil der N-Aufnahme noch bis in den August hinein statt, sodass der Stickstoff aus der Mineralisation von den C_4 -Gräsern voll genutzt werden kann. Wenn die Mineralisation in ausreichender Höhe stattfindet, ist also auch bei negativem N-Saldo von einer ausreichenden Versorgung der Pflanze auszugehen. Ein Indikator dafür ist, dass die $N_{\min}$ -Menge im Boden nach Ernte *gleich* der im Frühjahr ist. Mathematisch ausgedrückt lautet diese These:

$$\text{N-Versorgung ist ausreichend wenn: } [N_{\min} \text{ n. Ernte 0-90 cm}] - [N_{\min} \text{ Frühjahr 0-90 cm}] \geq 0$$

Zur Prüfung ob die Stickstoffversorgung der C_4 -Gräser ausreicht, werden nur Prüfglieder mit einer N-Bilanz von $-50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ oder darunter gewählt.

Abbildung 10 zeigt, dass für die ausgewählten Prüfglieder der Bodenvorrat an $N_{\min}$ in der Tiefe 0-90 cm etwa gleich geblieben ist. Der Median beträgt $6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, der Bereich der Box (2. und 3. Quartil) reicht von -64 bis $32 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Das bedeutet, dass im Median die Stickstoffversorgung ausgereicht hat, für einzelne Prüfglieder jedoch möglicherweise ein Mangel vorlag.

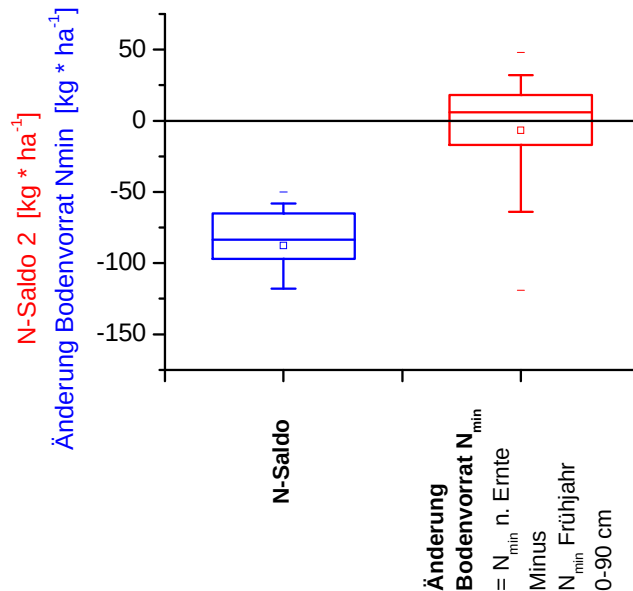


Abbildung 10: Negative N-Salden von C₄-Gräsern in Verbindung mit der Änderung des Bodenvorrats von $N_{\min}$.

Daten: Teilprojekt 1, Ernte 2005-2007, $n = 37$

4.1.3 Szenario „mit Gärrest“

Für das Szenario „mit Gärrest“ soll am Beispiel von Silomais untersucht werden welcher Anteil des Stickstoffs mit dem Gärrest wieder auf die Anbaufläche gelangt und zur Ernährung der nächsten Frucht zur Verfügung steht. Prinzipiell gilt dies auch für andere Fruchtarten.

Die Stickstoffabfuhr mit dem Erntegut ist in Abbildung 11 grün dargestellt. Bei einem TM-Ertrag in Höhe von $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ befinden sich $262 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ Stickstoff in der oberirdischen Biomasse. Dabei wird ein Stickstoffgehalt von 1,31 % in der TM unterstellt. Durch Silierung entstehen Verluste in Höhe von 15 % der TM. Die Verluste durch Ausbringung werden mit 15 % angenommen (LLFG, 2008). Da beide Verluste nacheinander berechnet werden summiert sich der rechnerische Gesamtverlust 28 % (Linien in Lila und Blau). Unter Annahme dieser Verluste gelangen 189 oder 72 % des geernteten Stickstoffs wieder auf die Anbaufläche.

Der mit Gärresten ausgebrachte Stickstoff wird nicht in gleicher Weise wirksam wie Stickstoff aus Mineraldünger. Über die Höhe des mineraldüngeräquivalenten (MDÄ) Stickstoffs von Gärresten gibt es viele Empfehlungen. GUTSER u. EBERTSEDER, 2006 geben den MDÄ von Gärresten mit >60 % an, SENSEL u. WRAGGE (2008) haben für Mais 77 % und für Sommerweizen 86 % ermittelt. Im Beispiel wird der MDÄ mit 65 % angenommen, dies

entspricht $123 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Die pflanzenbauliche Notwendigkeit den nicht mineraldüngeräquivalent wirkenden Stickstoff durch Mineraldünger zu ersetzen führt zu einem Bilanzüberschuss. Dieser beträgt im Beispiel $189 - 123 = 66 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Von diesem Bilanzüberschuss werden Anteile: a) gasförmig entbunden, b) Anteile mit dem Sickerwasser abwärts verlagert, c) in der organischen Substanz des Bodens fixiert für den Fall einer Anhebung der Humusmenge im Boden. Von dem mit dem Sickerwasser verlagerten Stickstoff können Teile von der nachfolgenden Kultur genutzt werden. Der organisch gebundene Stickstoff wurde mit 35 % von N-Gesamt im Gärrestlager angenommen. Das sind im Beispiel $78 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

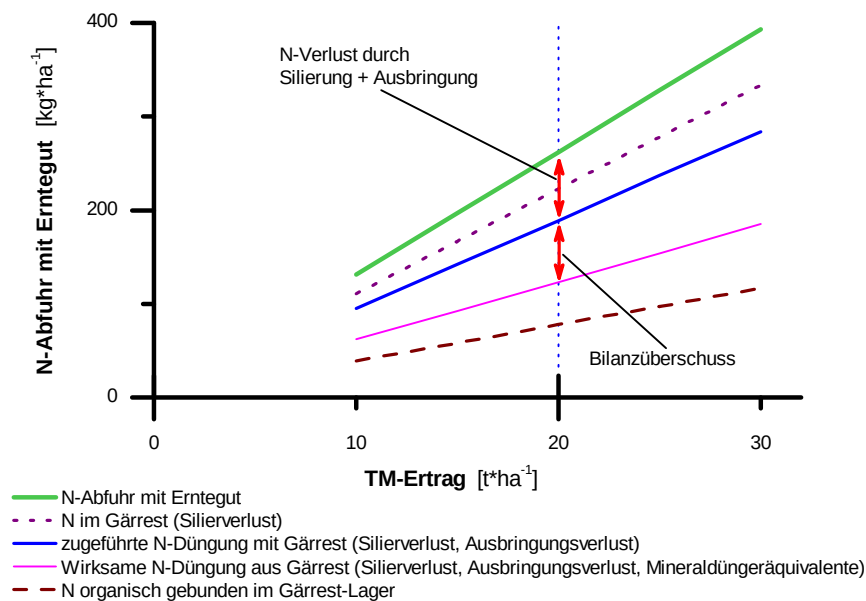


Abbildung 11: Stickstoffmengen im Erntegut und im Gärrest in Abhängigkeit vom Maisertrag bei vollständiger Rückführung des Gärrestes auf die Anbaufläche.

4.2 Wie beeinflusst der Energiepflanzenanbau den Humushaushalt?

Humusbilanzen der Versuche: Für die ausgewerteten EVA-Versuche sind die Humusbilanzen im Median aller Standorte negativ, da die meisten angebauten Haupt- und Zweitfrüchte zu einer Humuszehrung führen, Abbildung 12. Ausgenommen davon ist Fruchtfolge 4 mit mehrjährigem Klee- bzw. Luzernegrass; hier werden hohe, positive Humussalden auch ohne Gärrestausbringung erzielt. Mehrjähriges Klee- oder Luzernegrass eignet sich daher als Sanierungsfrucht für Fruchtfolgen mit stark zehrenden Früchten.

Der Humussaldo von Fruchtfolge 5 beträgt im Median $-344 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Humus-C. Verglichen mit den Fruchtfolgen 1, 2, und 3 ist dies der günstigste Saldo. Das liegt darin begründet, dass in dieser Fruchtfolge kein Silomais oder Sudangrass angebaut werden. Die Fruchtfolgen 1-3 haben niedrigere Humussalden, die im Bereich von -596 bis $-471 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Humus-C liegen. Dies liegt, wie bereits erwähnt an den Fruchtfolgegliedern Silomais und Sudangrass mit einem hohen Humusbedarf, s. Tabelle 8, S. 34). Die

Humussalden der Fruchtfolgen 1, 2, 3 und 5 liegen in Gruppe A und führen langfristig zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und der Wasserhaltefähigkeit des Bodens.

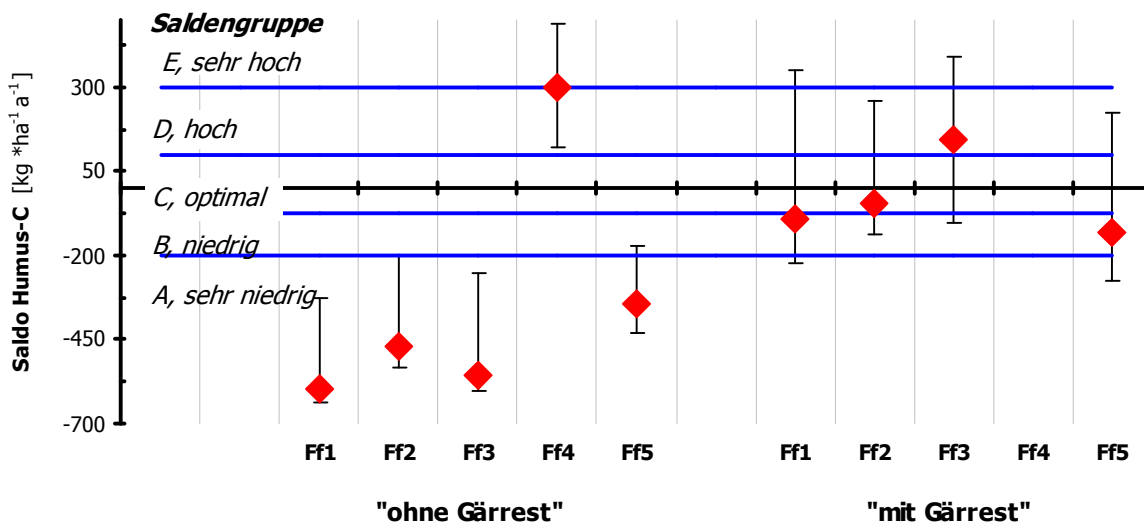


Abbildung 12: Humussaldo der Standardfruchtfolgen aller Standorte ohne Gärrest und das Szenario „mit Gärrest“.

A, B, C, D, E kennzeichnen die Gruppen der Humussalden, Fehlerbalken zeigen die Spanne der Standorte, Daten: Teilprojekt 1, 1. Anlage, Ernte 2005-2008, Methode: dynamische HE-Methode (REPRO), Gärrest nach GUTSER U. EBERTSEDER.

Die Fehlerbalken zeigen die Streuung der Humussalden zwischen den Standorten. Die Streuung ist auf die Ackerzahl und die TM-Erträge zurück zu führen. Die Maxima werden am Standort Ettlingen mit Lössboden und eine Ackerzahl von 75 erreicht. Alle übrigen Standorte liegen deutlich darunter. In Fruchtfolge 5 erreicht der Standort Ettlingen gerade noch die Humussalden-Gruppe B. Dieser Saldo ist zwar niedrig, langfristig aber noch tolerabel. Den wesentlichen Beitrag zur Humusmehrung leistet das auf dem Feld verbleibende Stroh der Druschfrüchte (Getreide und Raps) und das Ackergras in Fruchtfolge 3.

Szenario „mit Gärrest“: Durch die Ausbringung des Gärrestes auf die Anbaufläche erhalten die Fruchtfolgen eine erhebliche Zufuhr an organischer Substanz. Fruchtfolgen 2 und 3 sind im Median der Standorte langfristig ohne nachteilige Auswirkungen auf die Ertragsfähigkeit des Standortes und der Bodenfunktionen durchführbar. In Fruchtfolge 1 erreichen die Standorte Dornburg und Gülzow Humusbilanzsalden in Gruppe C, Ascha und Werlte in Gruppe B. Der Humussaldo von Ettlingen liegt mit $350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ in Gruppe E. Bemerkenswert ist der Einfluss der Gärrestdüngung in Fruchtfolge 3. Ohne Gärrest hatte sie den zweitniedrigsten Saldo; mit Gärrestaushbringung liegt der Median des Humussaldos bereits in Gruppe D. Dies ist im Wesentlichen auf die große Menge an Gärresten zurück zu führen. In Fruchtfolge 5 werden zwei Druschfrüchte mit Strohdüngung und zwei Mal Getreide zur Ernte als Ganzpflanze angebaut. Auf den meisten Standorten wird mit Gärrestrückführung in dieser Fruchtfolge ein Saldo in Gruppe B bis D erreicht.

Fruchtfolge 4 wird in dieser Darstellung ausgenommen, da eine vollständige Gärrestrückführung zu hohen Humussalden bei gleichzeitig sehr hohen N-Salden führen würde.

4.2.1 Vergleich verschiedener Humusbilanz-Methoden

Humusbilanzen nach dem Cross-Compliance, dem VDLUFA-Standpunkt und der dynamischen HE-Methode führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Wesentliche Unterschiede liegen in unterschiedlichen Koeffizienten für Fruchtarten, Strohdüngung sowie in der Berücksichtigung des Standorteinflusses bei der dynamischen HE-Methode. Eine Übersicht zu den Unterschieden der Methoden zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7 Übersicht zu den berücksichtigten Eingangsgrößen in verschiedenen Methoden der Humusbilanzierung.

Kategorie	HE-Methode dynamisch (REPRO)	VDLUFA	Cross-Compliance
Boden	Ackerzahl	a) Eingeschränkt: Humusbedarf und Humusmehrung der Fruchtarten abhängig vom Bodenzustand – „guter Kulturzustand“ des Bodens mit optimaler mineralischer N-Versorgung → „obere Werte“ – „längere Zeit mit Humus unversorgte Böden“ → „untere Werte“ b) Strohdüngung mit zwei Werten für normale Böden und abbauintensive Böden	nein
Bodenbearbeitung	nein	nein	nein
Klima	indirekt über Ackerzahl	nein	nein
Beregnung	nein	nein	nein
Düngung	mineralische N-Düngung organische Düngung: Art des Düngers, TM-Gehalt, Rottegrad je t Koeffizienten ähnlich VDLUFA	organische Düngung: Art des Düngers, TM-Gehalt, Rottegrad je t	organische Düngung: Art des Düngers, TM-Gehalt, Rottegrad je t
Gärreste	Humusreproduktion in Abhängigkeit von der TM des Gärrestes, Koeffizienten ähnlich VDLUFA, zusätzlich Möglichkeit der freien Parametrisierung	Humusreproduktion in Abhängigkeit von der TM des Gärrestes	Humusreproduktion in Abhängigkeit von der TM des Gärrestes
Verknüpfung mit der N-Bilanz	ja	nein	nein

Fortsetzung Tabelle 7:

Kategorie	HE-Methode dynamisch (REPRO)	VDLUFA	Cross-Compliance
Humuswirkung der Fruchtarten	nach Fruchtarten und deren Nutzung (Gp, Ko), zusätzlich abhängig von Ackerzahl, TM-Ertrag, N-Düngung Koeffizienten abweichend von VDLUFA	nach Fruchtartengruppen, mit „oberen“ und „unteren“ Werten, abhängig vom Bodenzustand, s. o.	nach Fruchtartengruppen nur „untere“ Werte aus VDLUFA
Ertragshöhe Hauptprodukt	TM-Ertrag Hauptprodukt	nein	nein
Strohmenge	fruchtartspezifisch je t Koeffizienten niedriger als bei VDLUFA	für Getreide, Körnermais und Raps, je t übrige Fruchtarten pauschal	für Getreide, Körnermais und Raps, je t von VDLUFA abweichender Koeffizient übrige Fruchtarten pauschal
Gründüngung	je t Gründüngung, fruchtartspezifisch Koeffizienten ähnlich VDLUFA	je t Gründüngung	je t Gründüngung

Tabelle 8 zeigt einen Vergleich des Humusbedarfs und der Humusmehrung für ausgewählte Energiepflanzen, gemittelt über alle Standorte.

Tabelle 8 Anbaubedingte Änderung der Humusvorräte für ausgewählte Energiepflanzen.
Daten: Teilprojekt 1, 1. Anlage, Ernte 2005-2008

Fruchtart	Anz. Prüfglieder	TM-Ertrag Median	anbauspezifische Änderung des Humus-C	
			dyn. HE-Methode, Median	VDLUFA
	n	t ha ⁻¹	kg · ha ⁻¹	kg · ha ⁻¹
Getreide, Hf	56	8,1	-595	-280 bis -400
Silomais, Hf, Zf	37	17,6	-969	-560 bis -800
Sudangras, alle	19	12,3	-609	–
Futterhirse, alle	12	9,0	-592	–
Grünschnittroggen Wzf	24	4,8	87	120 bis 160
Einjähriges Weidelgras Szf	8	3,7	81	100 bis 150
Klee- u. Luzernegras, Ackergras	15	10,9	829	600 bis 800

Der Humusbedarf für die humuszehrenden Früchte liegt nach der dynamischen HE-Methode in den Versuchen immer oberhalb des oberen VDLUFA-Wertes. Silomais hat mit -969 kg · ha⁻¹ den höchsten Humusbedarf. Die Humusreproduktionsleistungen von Grünschnittroggen und einjährigem Weidelgras nach der dynamischen HE-Methode, liegen mit 80 bis 90 kg · ha⁻¹ unterhalb des unteren VDLUFA-Wertes. Eine Humusmehrerleistung von unter 100 kg · ha⁻¹ Humus-C erscheint innerhalb der geprüften Fruchtfolgen relativ niedrig. Zur Bewertung dieser Zwischenfrucht muss jedoch die humusmehrnde Wirkung des Gärrestes in Höhe von 120 bis 220 kg · ha⁻¹ hinzugerechnet werden. Die humusmehrnde Wirkung von Klee- und Luzernegras, nach der dynamischen HE-Methode, liegt oberhalb der oberen Werte von VDLUFA. Bei zweijährigem Anbau können sie, abhängig vom

Standort, den Humussaldo von 2, bis 3 stark zehrenden Fruchtfolgegliedern wie Silomais, Sudangras oder Zuckerhirse, ausgleichen.

Bewertung des Gärrestes nach VDLUFA und GUTSER und EBERTSEDER

In diesem Kapitel soll untersucht werden, ob und wenn ja, welche Unterschiede zwischen der Humusreproduktionsleistung nach der nach VDLUFA und nach GUTSER und EBERTSEDER (2006) bestehen.

In Abbildung 13 wurde die Humusreproduktionsleistung je Hektar nach VDLUFA und unter Verwendung der Humusreproduktions-Koeffizienten von GUTSER u. EBERTSEDER berechnet. Dabei wurde für die Berechnung nach GUTSER und EBERTSEDER mit den Humusreproduktions-Koeffizienten 0,22 (wie Gülle), 0,31 (Mittelwert) und 0,4 (ähnlich Stallmist) gerechnet. Die Grafik zeigt, dass bei Verwendung des Koeffizienten 0,22 die Humusreproduktion ähnlich der von VDLUFA bewertet wird, für die übrigen Koeffizienten ist die Humusersatzleistung deutlich höher als die von VDLUFA Angegebene.

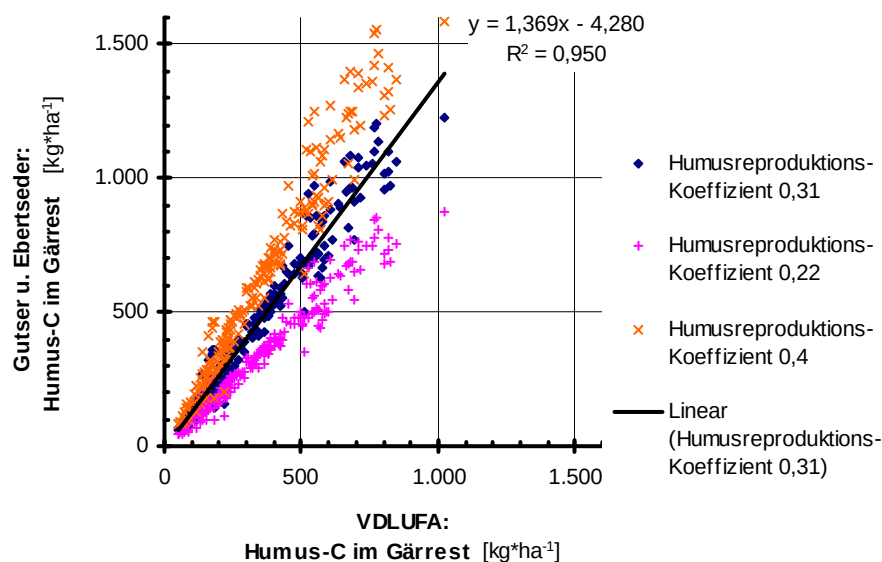


Abbildung 13: Vergleich der Humusreproduktionsleistung des Gärrestes nach VDLUFA, sowie nach GUTSER u. EBERTSEDER, (2006) am Beispiel der EVA-Versuche.

Daten: Teilprojekt 1, 1. Anlage, Ernten 2005-2008.

Tabelle 9 zeigt die Humusmenge je Tonne Gärrest bei Verwendung der Humusreproduktions-Koeffizienten. Diese Werte stellen Medianwerte über alle Prüfglieder des Grundversuches (n = 212) dar, sind also abhängig von dem Verhältnis der angebauten Fruchtarten und der der Biogasausbeute. Die zugrunde liegende Biogasausbeute ist die theoretische Biogasausbeute nach FNR, 2006. Da Experimente zum Humusreproduktions-Koeffizienten des Gärrestes fehlen, kann nach derzeitigem Wissen nicht gesagt werden, welcher der Koeffizienten den Gärrest am treffendsten bewertet. Es kann lediglich die Aussage gemacht werden, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die Humus-C-Menge je Tonne Gärrest-TM innerhalb der angegebenen Spanne liegt. Die vergleichbaren Werte nach VDLUFA und der dynamischen HE-Methode sind in Tabelle 4, S. 14 dargestellt.

Tabelle 9: Berechnete Menge Humus-C im Gärrest nach GUTSER u. EBERTSEDER, 2006.
Daten: Teilprojekt 1, 1. Anlage, eigene Berechnungen

Humusreproduktions- Koeffizient [Humus-C/Dünger-C]	Beschreibung	Humus-C je t Gärrest-TM, Median kg/t
0,22	wie Gülle tierischer Herkunft	115
0,31	Mittelwert	162
0,4	Gutser u. Ebertseder, 2007, für pflanzl. Substrate	209

4.2.2 Humusbilanzen in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung mit Gärrest

Im Rahmen von Varianten wird untersucht, welche Auswirkungen die Ausbringung der Gärreste in unterschiedlicher Höhe hat. Die Gärrestdüngung soll 0 %, 50 %, 72 % und 100 % der zu düngenden Stickstoff-Menge (siehe Methoden, Kap. Umsetzung der Humusbilanzierung) betragen. Dabei entspricht eine Stickstoffversorgung des Bestandes zu 72 % aus Gärrest einer vollständigen Rückfuhr der Gärreste auf die Anbaufläche, s. Kap. 3.1.3. Eingesetzt wird die dynamische HE-Methode mit den Humusreproduktions-Koeffizienten nach GUTSER u. EBERTSEDER und VDLUFA mit unterem und oberem Wert. Datenbasis ist die 3. Fruchtfolge des Grundversuches in Werlte mit einer Ackerzahl von 31.

Tabelle 10 zeigt die Eingangsgrößen für die Variante ohne Gärrestausbringung. Nach der HE-Methode liegt für die humuszehrenden Fruchtarten der Humusbedarf oberhalb der oberen VDLUFA-Werte. Für den Weizenanbau wird durch die Strohdüngung nach VDLUFA die jährliche Humusbilanz positiv, während bei der dynamischen HE-Methode die Strohdüngung für einen Ausgleich des jährlichen Humussaldos nicht ausreicht. Dies liegt an einem niedrigeren Humusreproduktions-Koeffizienten für Stroh bei der dynamischen HE-Methode. Da diese Variante ohne Gärrest ist, stellen die Spalten mit der Änderung des Humusvorrates auch gleichzeitig den Humussaldo dar. Der Humussaldo nach VDLUFA untere Werte befindet sich in gerade noch in Gruppe B (s. Tabelle 5, S. 15), er wird damit als niedrig, aber mittelfristig tolerierbar eingestuft. Die Humussalden nach den übrigen Methoden sind in Gruppe A einzustufen, sie führen zu einer ungünstigen Beeinflussung der Bodenfunktionen und der Ertragsleistung. Bereits an diesem Beispiel wird deutlich das die unterschiedlichen Humusbilanzmethoden mit ihren abweichenden Koeffizienten zu einer sehr unterschiedlichen Bewertung des Energiepflanzenanbaus führen.

Tabelle 10: Humusbedarf für Fruchtfolge 3 am Standort Werlte, Ackerzahl 31

Methode →									HE dynamisch	VDLUFA, unterer Wert	VDLUFA, oberer Wert
Fruchtart	Frucht- folge- stellung	Nutz- ung	An- bau- Zeit	Ernte Jahr	TM-Ertrag Feld	TM	Silier- verlust	TM-Ertrag Silage = Substrat	Humus- bedarf/- mehrung in Humus-C	Humus- bedarf/- mehrung in Humus-C	Humus- bedarf/- mehrung in Humus-C
			Monat		t · ha ⁻¹	%	%	t · ha ⁻¹	kg · ha ⁻¹	kg · ha ⁻¹	kg · ha ⁻¹
Silomais	Hf	Gp	5-10	2005	16,28	32	15	13,83	-986	-560	-800
W. Roggen	Wzf	Gp	10-5	2006	3,88	22	15	3,30	70	120	160
Sudangras	Zwf	Gp	5-10	2006	8,86	29	15	7,53	-609	-280	-400
W. Triticale	Hf	Gp	10-6	2007	7,17	41	15	6,10	-609	-280	-400
Weidelgras	Szf*	Gp	6-9	2007	5,81	16	15	4,94	133	100	150
W. Weizen	Hf	Ko	9-7	2008	5,45	89	15	4,63	-609	-280	-400
		Stroh	9-7	2008	4,88	88	–	–	452	454	625
Mittel je Jahr									-539	-181	-266

Abbildung 14 zeigt für die Varianten 0 %, 50 %, 72 % und 100 % N aus Gärrest die Humusbilanzen. Die Bilanzkomponenten Humusbedarf, Humusmehrung und Stroh variieren nur zwischen den Methoden und wurden oben bereits dargestellt. Mit wachsendem Anteil der Stickstoffbereitstellung über Gärreste, steigt die Menge an Humus-C aus Gärresten. Für die Methoden VDLUFA oberer und unterer Wert, ist die Humus-C-Menge innerhalb einer Variante gleich, da sich die unterschiedlichen Koeffizienten nur auf die Fruchtarten, nicht aber auf organische Dünger beziehen. Die berechnete Menge Humus-C nach der dynamischen HE-Methode ist höher, da je Tonne Gärrest eine höhere Humusreproduktionsleistung berücksichtigt wird, s. Tabelle 9, S. 36. Die Fehlerbalken zeigen die Unsicherheit bei der Bewertung des Humusreproduktions-Koeffizienten von Gärresten (0,22 und 0,4). Bei Verwendung des Humusreproduktions-Koeffizienten von 0,22, ist die Humus-C-Menge niedriger als nach der VDLUFA-Methode.

Abbildung 15 zeigt die durchschnittlichen jährlichen Humussalden der Varianten. In der Variante 50 % N aus Gärrest werden nach allen Methoden Humussalden in der Gruppe B und C erreicht. Dabei liefert die dynamische HE-Methode in Kombination mit den Humusreproduktions-Koeffizienten nach GUTSER u. EBERTSEDER die niedrigsten Salden. Allerdings ist der Abstand zu den VDLUFA-Methoden deutlich geringer als in der Variante ohne Gärrest, da die bessere Bewertung des Gärrestes zu einer Kompensation des hohen Humusbedarfs nach der dynamischen HE-Methode führt. An diesem Standort mit den erzielten Erträgen reicht für Humusbilanzsalden in den Klassen B bis C eine Gärrestmenge aus, die 50 % der N-Versorgung des Bestandes entspricht.

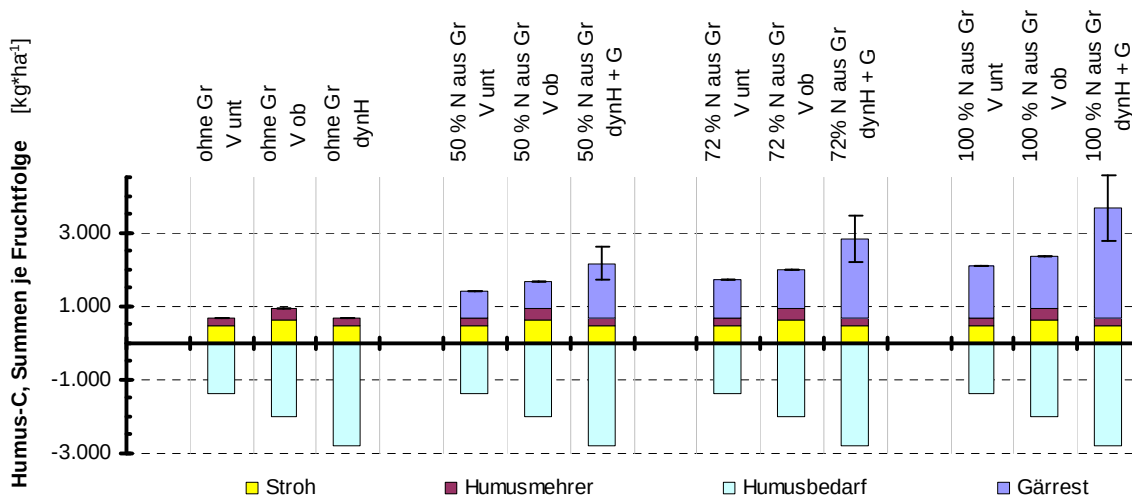


Abbildung 14: Humusbilanzen für Fruchfolge 3 mit verschiedenen Anteilen der Stickstoffdüngung aus Gärrest, nach verschiedenen Methoden.

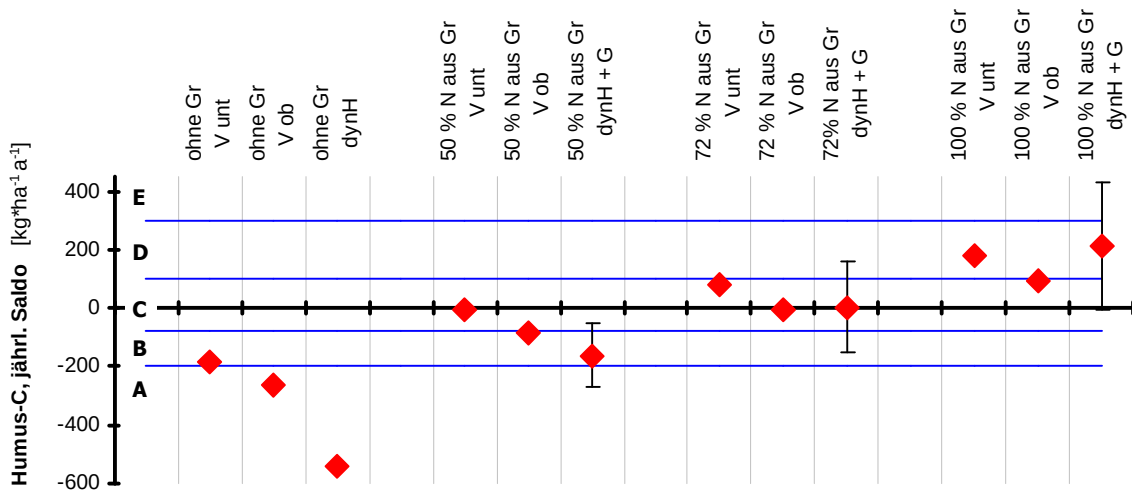


Abbildung 15: Humusbilanzen für Fruchfolge 3 mit verschiedenen Anteilen der Stickstoffdüngung aus Gärrest, nach verschiedenen Methoden.

Mit: V unt = VDLUFA unterer Wert, V ob = VDLUFA oberer Wert, dynH = dynamische Humusbilanz, dynH + G = Fruchtarten nach dynamischer Humusbilanz, Gärrest nach GUTSER U. EBERTSEDER
A, B, C, D, E kennzeichnen die Gruppen der Humussalden, Fehlerbalken kennzeichnen den unsicheren Bereich des Saldos bei Verwendung unterschiedlicher Humusreproduktions-Koeffizienten.
Daten: Teilprojekt 1, Standort Werlte, Fruchfolge 3, nach Anhang 1.

Abbildung 16 zeigt die Humussalden bei unterschiedlichen Anteilen der Stickstoffdüngung aus Gärrest. Dabei erreichen die besseren Standorte 11, 16, 18 mit einer Ackerzahl ab 47 bereits in der Variante mit 50 % N aus Gärrest Humussalden der Gruppe B und C. Standort 17 liegt bereits in E. Für die Standorte 19, 25 und 27 mit Ackerzahlen von 29 und 31 werden Humusbilanzsalden der Gruppen B und C erst bei einer N-Versorgung aus Gärresten von 72 % erreicht, welches einer vollständigen Rückfuhr der Gärreste auf die Anbaufläche entspricht.

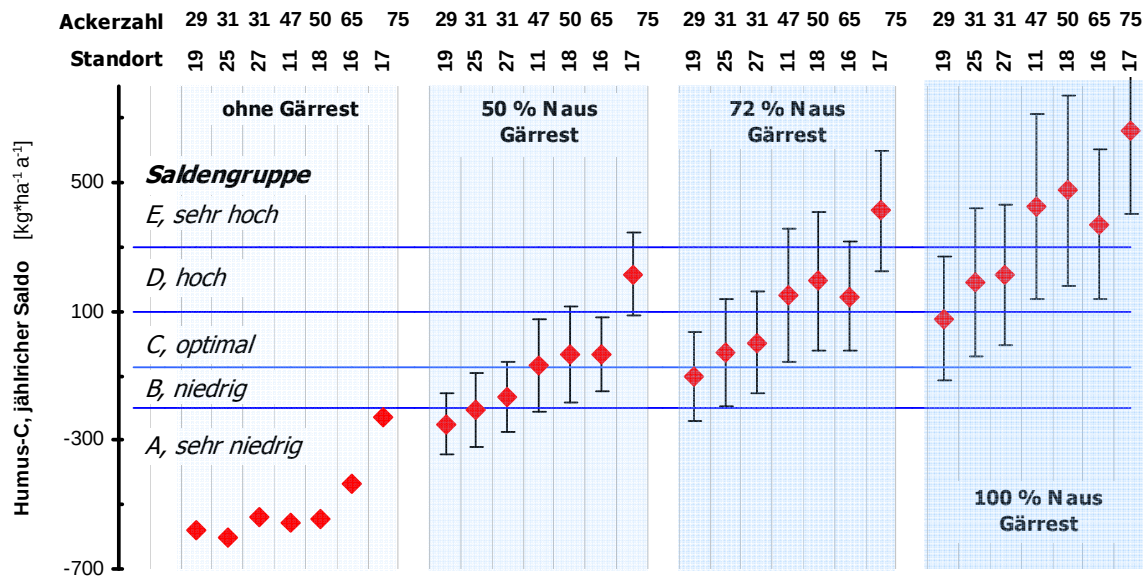


Abbildung 16: Humussalden aller Standorte für Fruchtfolge 3 bei unterschiedlichem Anteil der Stickstoffdüngung aus Gärrest.

Mit: 11 = Ascha, 16 = Dornburg, 17 = Ettlingen, 18 = Gülzow, 19 = Güterfelde, 25 = Trossin, 27 = Werlte
A, B, C, D, E kennzeichnen die Gruppen der Humussalden, Fehlerbalken kennzeichnen den unsicheren Bereich des Saldos bei Verwendung unterschiedlicher Humusreproduktions-Koeffizienten.

Daten: Teilprojekt 1, Fruchtfolge 3, nach Anhang 1, Methode: Fruchtarten mit dynamischer HE-Methode, Gärrest nach GUTSER U. EBERTSEDER.

4.3 Energiebilanzen

4.3.1 Kumulativer Energieaufwand

Abbildung 17 zeigt den kumulativen Energieaufwand (KEA) der 12 untersuchten Referenzanbauverfahren. Bei Betrachtung von Abbildung 17 wird zweierlei deutlich: (1) Der KEA aller Referenzanbauverfahren wird dominiert vom Aufwand für Mineraldünger, Maschinen und Diesel; Pflanzenschutzmittel und Saatgut spielen eine untergeordnete Rolle. Ihr Anteil übertrifft nur in drei Fällen 10 % vom KEA.² (2) Der KEA der Anbauverfahren liegt zwischen 6,6 und 16,1 GJ·ha⁻¹. Die Zweikulturnutzungssysteme Futterroggen-Sudangras und Futterroggen-Silomais weisen den höchsten KEA auf, es folgt der Anbau von Wintertriticale mit Futterhirse bzw. einjährigem Weidelgras als Sommerzwischenfrucht vor den beiden C4-Gräsern Silomais und Sudangras. Der KEA aller weiteren Einzelfruchtanbauverfahren liegt unter 8 GJ·ha⁻¹.

² Das sind: SuGr: 10,9 %, WiTrit-FHirse: 11,3 % und WRaps: 12,9 %.

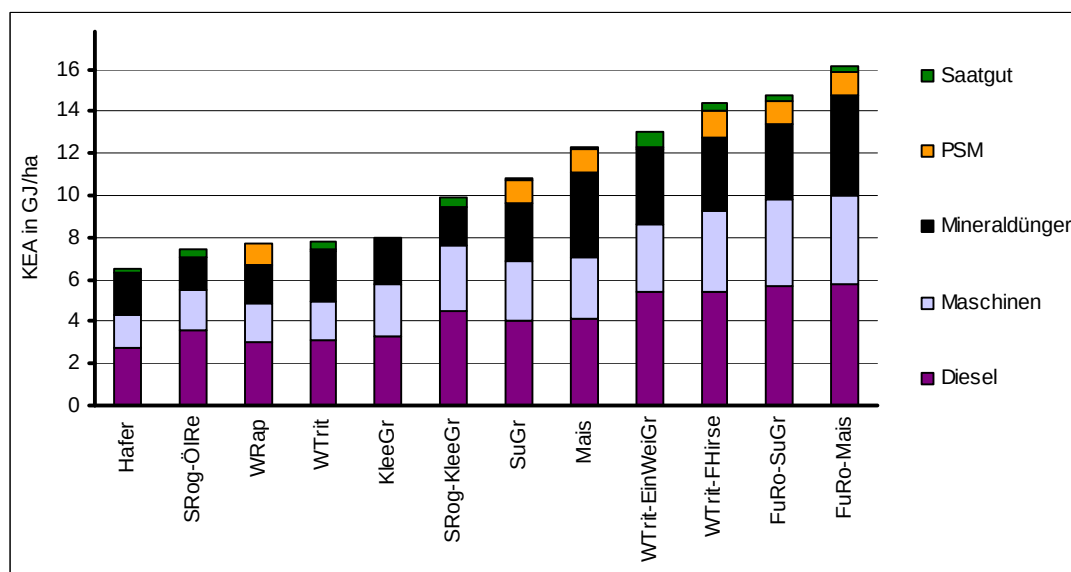


Abbildung 17: Höhe und Zusammensetzung des KEA der Referenzanbauverfahren

Analyse des KEA

Tabelle 11 zeigt TM-Ertrag, KEA je Hektar und den spezifischen KEA je Tonne TM. Daraus wird ersichtlich, dass die KEA-Spanne je Hektar zum Teil durch deren unterschiedliche Erträge erklärt wird.

Tabelle 11: Erträge der Referenzanbauverfahren, KEA pro Hektar sowie KEA pro Tonne Trockenmasse

Referenzanbauverfahren	Trockenmasseertrag Erstfrucht	Trockenmasseertrag Zweitfrucht	Gesamtertrag	KEA pro Hektar	KEA pro Tonne Trockenmasse
	t/ha	t/ha	t/ha	GJ/ha	GJ/t
Hafer	10		10	6,6	0,66
SRog-ÖlRe	8	*0	8	7,4	0,93
WRap	9		9	7,7	0,86
WTrit	12		12	7,8	0,65
KleeGr	12		12	8,0	0,66
SRog-KleeGr	8	4	12	9,9	0,83
SuGr	15		15	10,8	0,72
Mais	18		18	12,3	0,68
WTrit-EinWeiGr	12	4	16	13,0	0,81
WTrit-FHirse	12	6	18	14,4	0,80
FuRo-SuGr	7	12	19	14,8	0,78
FuRo-Mais	7	14	21	16,1	0,77

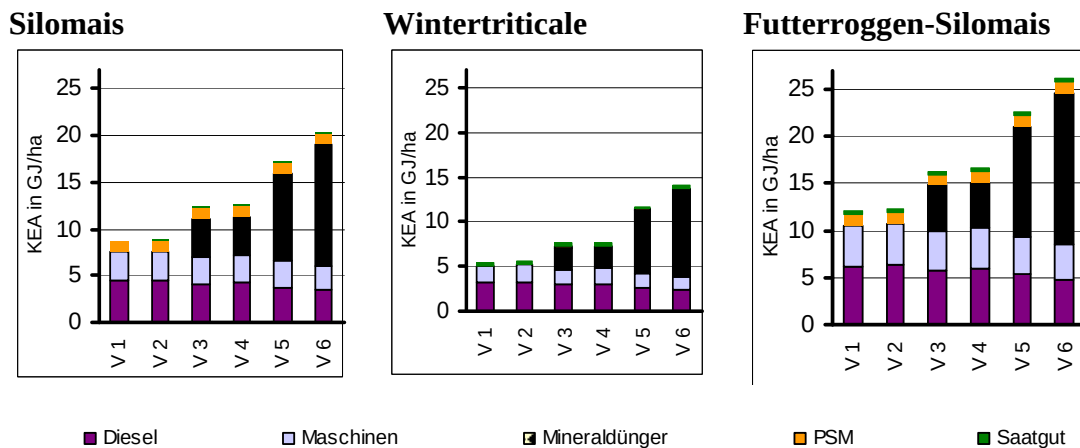
* Ölertrich wird zur Bodenverbesserung angebaut und im Frühjahr untergepflügt.

Die Spanne des spezifischen KEA je Tonne TM ist mit 0,65 GJ/t bis 0,93 GJ/t geringer als die in Abbildung 17 gezeigte Spanne des KEA pro Hektar. Der höchste Wert (SRog-ÖlRe) liegt 143 % über dem geringsten (WTrit), während bei der flächenbezogenen Ausweisung des KEA der höchste Wert (FuRo-Silomais, 16,1 GJ·ha⁻¹) 246 % über dem geringsten

(Hafersortenmischung, $6,6 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) liegt. Es liegt folglich eine engere Korrelation zwischen dem KEA und dem Ertrag vor als zwischen dem KEA und der Anbaufläche.

KEA der Düngungsvarianten

Am Beispiel der Anbauverfahren Silomais, Wintertriticale und dem Zweikultur-nutzungssystem Futterroggen-Silomais zeigt die Untersuchung der Düngungsvarianten, dass die Entscheidung zwischen organischer und mineralischer Stickstoffdüngung großen Einfluss auf den KEA hat (Abbildung 18). Einen nur geringen Einfluss auf den KEA hat dagegen die Anzahl der Ausbringungstermine der Gärreste.



- V1: 0 % (des Stickstoffzugs) durch mineralische Düngung gedüngt, 100 % durch Gärrest, Eine Gärrestgabe
 V2: wie 1, zwei Gaben
 V3: 30 % mineralische Düngung, 70 % durch Gärrest, Eine Gärrestgabe (entspricht den Referenzanbauverfahren)
 V4: wie 3, zwei Gaben
 V5: 70 % mineralische Düngung, 70 % durch Gärrest, 1 Gärrestgabe, 1 Gabe mineralischer Stickstoffdünger
 V6: 100 % mineralische Düngung, 1 Gabe

Abbildung 18: Höhe und Zusammensetzung des KEA von Silomais, Wintertriticale und Futterroggen-Silomais in Abhängigkeit von der Düngungsvariante

Bei allen drei untersuchten Fruchtarten nimmt der KEA mit zunehmendem Anteil der mineralischen Stickstoffdüngung deutlich zu. Die Zunahme von Variante 6 gegenüber Variante 1 beträgt beim Silomais $11,6 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ oder 132 %, bei Wintertriticale $8,7 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ (159 %) und bei Futterroggen-Silomais $14,2 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ (120 %). Der Energieeinsatz für Diesel und Maschinen verringert sich dagegen im Zuge zunehmenden Mineraldüngereinsatzes absolut, weil weniger Gärrest ausgebracht wird. Seine Abnahme beträgt von Variante 1 nach Variante 6 bei Silomais $1,5 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ oder 19,5 % (WTrit: $1,1 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, 21,8 %; FuRo-Silomais: $1,9 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, 17,7 %). Ausschlaggebend für die Gesamtentwicklung ist der stark zunehmende Energieaufwand für den verwendeten Mineraldünger. Sein Anteil am KEA beträgt bei rein mineralischer Düngung bis zu 69,1 % (WTrit).

Der zusätzliche Energieaufwand für eine Aufteilung der Gärrestgabe auf zwei Termine liegt mit nur 0,1 bis $0,3 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ fast um zwei Zehnerpotenzen unter den Mehraufwendungen für eine rein mineralische Stickstoffdüngung. Damit spielt der Mehraufwand für eine zusätzliche Fahrt mit dem Düngerstreuer aus energetischer Sicht eine unter-

geordnete Rolle. Wesentlich deutlicher beeinflusst wird der KEA vom mineralischen Anteil der Stickstoffdüngung. Aus pflanzenbaulicher und ökologischer Sicht ist eine Splittung der Gärrestgaben erwünscht, da so die Düngung mehr an den Bedarf der Kulturen angepasst werden kann.

4.3.2 Bruttoenergieerträge

Abbildung 6 zeigt den Energiegehalt der produzierten Biomasse, einmal als Bruttofeldenergieertrag und einmal als Bruttomethanenergieertrag. Diese liegen etwa um den Faktor 10 bzw. 20 über dem KEA der Referenzanbauverfahren (6,6 bis 17,2 GJ·ha⁻¹, Abbildung 17, S. 40) – ein Zusammenhang der später bei der Darstellung der Erntefaktoren aufgegriffen wird.

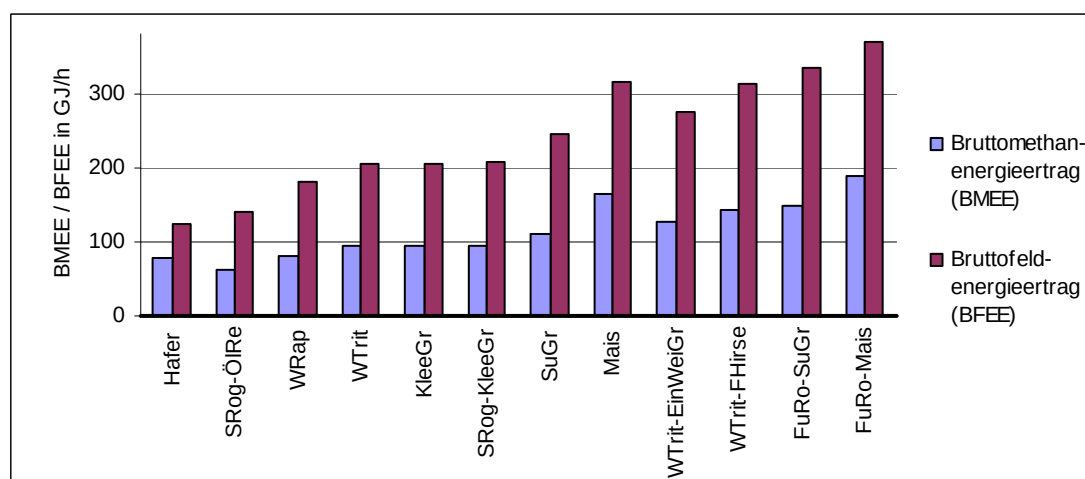


Abbildung 19: Bruttomethanenergieertrag und Bruttofeldenergieertrag der Referenzanbauverfahren

Die beiden Zweikulturnutzungssysteme erzielen mit 368 GJ·ha⁻¹ (FuRo-Silomais) und 333 GJ·ha⁻¹ (FuRo-SuGr) die größten Bruttofeldenergieerträge. Es folgt Silomais mit einem Bruttofeldenergieertrag von 316 GJ·ha⁻¹ noch vor den beiden Referenzanbauverfahren mit Sommerzwischenfrüchten (WTrit-FHirse, 311 GJ·ha⁻¹ und WTrit-EinWeiGr, 275 GJ·ha⁻¹). Mittlere Bruttofeldenergieerträge erreichen noch Sudangras mit 244 GJ·ha⁻¹, Sommerroggen-Klee gras mit 208 GJ·ha⁻¹ sowie Klee gras im Hauptnutzungsjahr und Wintertriticale mit jeweils 206 GJ·ha⁻¹. Winterraps erzielt mit 179 GJ·ha⁻¹ mehr als Hafer und Sommerroggen-Ölrettich mit 124 bzw. 139 GJ·ha⁻¹.

Die blauen Säulen in Abbildung 19 zeigen die Bruttomethanenergieerträge der Referenzanbauverfahren. Sie sind nur etwa halb so hoch wie die Bruttofeldenergieerträge, weil im Prozess der Biogasgewinnung nicht die gesamte in der Biomasse gebundene Energie ausgenutzt werden kann. Der Bruttofeld- und der Bruttomethanenergieertrag sind nicht über einen konstanten Faktor miteinander verknüpft (Abbildung 20). Das liegt an den unterschiedlichen Biogasausbeuten und Methanausbeuten je kg TM des Erntegutes. Im Mittel der Referenzanbauverfahren beträgt der Bruttomethanenergieertrag 47 % des Bruttofeldenergieertrags. Ein besonders günstiges Verhältnis von Methanenergieertrag zu

Feldenergieertrag weist Silomais (52 %) auf, was dazu führt, dass Silomais bei einer Betrachtung des Bruttomethanenergieertrages sogar den zweithöchsten Wert unter den Referenzanbauverfahren erzielt. Ein unterdurchschnittliches Verhältnis weist Sudangras (42 %) auf. Alle anderen Fruchtarten liegen zwischen 44 und 48 %. Es drängt sich hier die Frage auf, ob die Kennzahlen zur Biogasausbeute von Sudangras möglicherweise zu niedrig liegen.

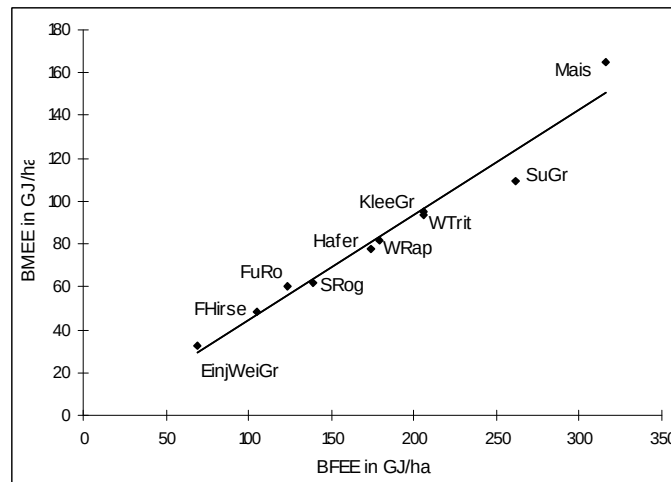


Abbildung 20: Verhältnis zwischen Bruttomethanenergieertrag und Bruttofeldenergieertrag in GJ je Hektar

4.3.3 Energieeffizienz der Anbauverfahren

Die Untersuchung der Effizienz des Energieeinsatzes kann durch den Vergleich von Anbauverfahren Hinweise auf bestehende Sparpotenziale geben. Ein Maß für die Effizienz des Energieeinsatzes ist der Erntefaktor. Dabei stehen hohe Erntefaktoren für einen effizienten Energieeinsatz. Es wird hier nur der Methan-Erntefaktor dargestellt. Er gibt an wie viele Einheiten Bruttomethanenergieertrag durch den Einsatz einer Einheit KEA erzielt werden.

Methan-Erntefaktor

Die größten Methan-Erntefaktoren werden von Einkulturnutzungen erzielt, Tabelle 10. Unter diesen weist der Anbau von Silomais den besten Erntefaktor von 13,4 auf, gefolgt von Klee gras (Hauptnutzungsjahre) und Wintertriticale mit jeweils 12,0. Die Zweikulturnutzungssysteme erzielen mittlere Methan-Erntefaktoren, da ihre Zweitfrüchte vergleichsweise hohe Methan-Erntefaktoren haben (Silomais 12,5 und Sudangras 9,8). Dagegen weisen die Zweitfrüchte Futterhirse, Einjähriges Weidelgras und Klee gras nur Methan-Erntefaktoren zwischen 6,0 und 7,0 auf.

Tabelle 12: Methan-Erntefaktor der Erst- und Zweitfrüchte und der gesamten Referenzanbauverfahren

Referenzanbauverfahren	Methan-Erntefaktor		Referenzanbauverfahren
	Erstfrucht	Zweitfrucht	
Mais, HF			13,4
Kleegras, Hauptnutzungsjahr			12,0
Wintertriticale, HF			12,0
Hafersortenmischung, HF			11,9
ZKN Futterroggen, Mais	10,2	12,5	11,6
Winterraps, HF			10,5
Sudangras, HF			10,1
ZKN Futterroggen, Sudangras	10,2	9,8	10,0
Wintertriticale, Futterhirse	12,0	6,3	9,8
Wintertriticale, Einj. Weidelgras	12,0	6,0	9,7
Sommerroggen, Kleegras	11,0	7,0	9,5
Sommerroggen, Ölrettich	11,0	0,0*	8,4

* Ölrettich wird zur Bodenverbesserung angebaut und im Frühjahr untergepflügt.

Methan-Erntefaktor der EVA-Hauptfruchtfolgen

Tabelle 13 zeigt den Methan-Erntefaktor der Fruchtfolgen 1-5. Dabei zeigt sich, dass die Methan-Erntefaktoren in dem engen Bereich zwischen 10,3 und 11,5 liegen.

Tabelle 13: KEA, Bruttomethanenergieertrag, Nettomethanenergieertrag und Methan-Erntefaktor der EVA-Hauptfruchtfolgen am Standort Güterfelde

Fruchtfolge	KEA	BMEE	NMEE	Methan-Erntefaktor
	GJ /ha	GJ/ha	GJ/ha	dimensionslos
FF 1	35,8	369	333	10,3
FF 2	35,3	392	356	11,1
FF 3	40,9	439	398	10,7
FF 4	26,1	285	259	10,9
FF 5	22,1	253	231	11,5

FF1: Sommerroggen-Ölrettich, Silomais, Wintertriticale-Futterhirse

FF2: Sudangras, Futterroggen-Silomais, Wintertriticale

FF3: Silomais, Futterroggen-Sudangras, Wintertriticale-Einjähriges Weidelgras

FF4: Sommerroggen-Kleegras, Kleegras, Kleegras

FF5: Hafersortenmischung, Wintertriticale, Winterraps

Die Betrachtung des KEA der EVA-Hauptfruchtfolgen zeigt, dass diese keine nennenswerten Unterschiede in der Effizienz des Energieeinsatzes aufweisen, wenn die bei der Biogaserzeugung anfallenden Gärreste vollständig auf die Flächen zurückgeführt werden. Die Nettoenergieerträge sind damit vor allem von der Höhe der Erträge abhängig. Mit den ertragsstarken Fruchtfolgen 1-3 wird pro Hektar deutlich mehr Methan produziert, als mit den Fruchtfolgen 4 und 5. Das bedeutet, dass die Fruchtfolgen 1-3 mit den eingesetzten Flächen effizienter umgehen. Da die Fläche für die Produktion von Biomasse begrenzt ist, hat die Erzielung großer Nettoenergieerträge Priorität. Demzufolge sind die Fruchtfolgen

1-3 aus Sicht des effizienten Umgangs mit den eingesetzten Flächen den Fruchtfolgen 4 und 5 vorzuziehen.

Methan-Erntefaktor der Düngungsvarianten

Tabelle 14 zeigt die Methan-Erntefaktoren der Düngungsvarianten (s. Abbildung 18, S. 41) der Anbauverfahren für Silomais, Wintertriticale und Futterroggen – Silomais sowie Klee-gras.

Bei den Referenzanbauverfahren liegt der Methan-Erntefaktor von Klee-gras mit 12,1 im Bereich der anderen Referenzanbauverfahren mit Erntefaktoren zwischen 11,5 und 13,3. Bei ausschließlich mineralischer Düngung (Variante 6) ändert sich dieses Ergebnis zu-gunsten von Klee-gras. Dessen Erntefaktor liegt hier mit 12,1 deutlich vor den anderen Fruchtarten mit Erntefaktoren zwischen 6,6 und 8,1.

Tabelle 14: Methan-Erntefaktor der Düngungsvarianten 3 (=Referenzanbauverfahren) und 6 (nur mineralische Düngung)

Fruchtart	Methan-Erntefaktor	
	Düngungsvariante 3 (Referenzanbauverfahren)	Düngungsvariante 6 (nur mineralische Düngung)
Mais	13,3	8,1
Wintertriticale	12,3	6,6
Futterroggen - Mais	11,5	7,2
Klee-gras (Hauptnutzungsjahr)	12,1	12,1*

* Beim Anbau von Leguminosen wie Klee-gras (im Hauptnutzungsjahr) hat die Düngungsvariante keinen Einfluss auf den KEA, weil keine Stickstoffdüngung nötig ist

Damit zeigt sich, dass die Energieeffizienz im Anbau von Energiepflanzen – mit Aus-nahme des Leguminosenanbaus – durch die Düngung mit Gärresten erhöht wird. Der Erntefaktor verbessert sich bei einer vollständigen Rückführung der Gärreste auf die An-bauflächen im Vergleich zur ausschließlich mineralischen Düngung von 7,3 (im Mittel der betrachteten Anbauverfahren ohne Klee-gras) auf 12,4.

4.4 Wassererosion

4.4.1 Standort Gülzow

In Tabelle 15 sind für die in Gülzow getesteten Fruchtarten und deren Anbaufolge die mittleren C-Faktoren (Management- und Bedeckungsfaktor) aufgeführt. Am günstigsten sind jene Fruchtfolgen (Ff) einzuschätzen, die dem Prinzip „Grünes Band bzw. dauerhafte Bodenbedeckung“ nahe kommen. In Gülzow ist Ff1 von den Standardfruchtfolgen die am stärksten erosionsdisponierte. In ihr sind mehrere erosionsgefährdete Fruchtarten enthalten: Sommergerste, Silomais, Futterhirse und Winterweizen im letzten Fruchtfolgeglied 2008. Winterweizen ist stärker erosionsgefährdet als andere Wintergetreidearten, da die Be-stockung erst im Frühjahr erfolgt. Dieser Fakt ist im C-Faktor derzeit noch unter-

repräsentiert. Die dem Prinzip „Grünes Band“ nahe kommende Ff4 mit der Untersaat Klee gras ist die am geringsten erosionsgefährdete mit den zugrunde liegenden Standortparametern.

Die lehmigen Böden in Gülzow besitzen eine mittlere Bodenerodierbarkeit. Im Vergleich zu den tonigeren Böden bei Ascha weisen sie jedoch höhere Bodenerodierbarkeitswerte auf.

Die Regenerosivität im Norddeutschen Tiefland ist aufgrund geringerer Häufigkeit konvektiver Niederschläge und insgesamt geringerer Niederschlagshöhen, niedriger als in Süddeutschland (DEUMLICH, 1999). Dadurch liegen die Bodenabträge bis 9 % Hangneigung z. T. noch im Bereich zu tolerierender Werte. Allerdings liegen die berechneten Bodenabträge in der Neigungsstufe 9 und 14 % weit über der Bodenneubildungsrate. Annähernd 1 t/(ha*a) ist als standortübliche Abtragsrate im Jungmoränengebiet akzeptabel. Oberhalb dieses Wertes sind stärkere negative Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit zu erwarten. Fruchtfolge 4, gefolgt von Fruchtfolge 5 des Grundversuchs sind am günstigsten hinsichtlich ihrer Abtragsgefährdung einzuschätzen, Tabelle 15. Die Regionalvariante Ff8 ist aber noch etwas günstiger im Abtragspotenzial als Ff5 einzuschätzen. Durch Nutzung boden- und ressourcenschonender Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung, hier repräsentiert durch Tabelle 16, lassen sich Bodenabträge im Sinne von § 17 „Gute fachliche Praxis“ des Bodenschutzgesetzes (BBoSchGes) deutlich gegenüber den Vergleichsvarianten der konventionellen Bewirtschaftung (Tabelle 15) senken.

Tabelle 15: Erosion für die Standort Gülzow

R = Regenerositätsfaktor mit min = 35 und max. = 50 N/(h*a) nach DEUMLICH (1999), k = Bodenerodierbarkeitsfaktor, LS = Hanglängen- und -neigungsfaktor, bei 100 m Hanglänge, BA4; BA9; BA14: = Bodenabtrag bei 4, 9 bzw. 14 % Hangneigung, min. = Multiplikation der kleinsten Werte, max. = Multiplikation der größten Werte

	Ff1 + C-Wert	Ff2 + C-Wert	Ff3 + C-Wert	Ff4 + C-Wert	Ff5 + C-Wert	Ff6(reg) + C-Wert	Ff7(reg) + C-Wert	Ff8(reg) + C-Wert
1. Jahr	SGE, Hf, Gp 0,028 ORE, Szf, Gp 0,173	SUD, Hf, Gp 0,14	SMA, Hf, Gp 0,143	SGE, Hf, Gp 0,039 KGR, Us, Gp	HAS, Hf, Gp 0,052	SMA, Hf, Gp 0,145	SMA, Hf, Gp 0,145	SRO+STR, Hf, Gp 0,029
2. Jahr	SMA, Hf, Gp 0,191	WRO, Wzf, Gp 0,017 SMA, Zwf, Gp 0,16	WRO, Wzf, Gp 0,017	KGR, 1. Hn 0,01	WTR, Hf, Gp 0,084	Gerstgras, Hf, Gp 0,093	WRO, Wzf, Gp 0,017	WRA, Hf, Ko 0,122
3. Jahr	WTR, Hf, Gp 0,083 FHI, Szf, Gp 0,149	WTR, Hf, Ko 0,089 WWE, Hf, Ko 0,039	WTR, Hf, Gp 0,078 EWG, Szf, Gp 0,042	KGR, 2. HN 0,008	WRA, Hf, Ko 0,123	WRA, Hf, Ko 0,043	MWG, Hf, Gp 0,047	WWE, Hf, Ko 0,092
4. Jahr	WWE, Hf, Ko 0,089		WWE, Hf, Ko 0,099	WWE, Hf, Ko 0,097	WWE, Hf, Ko 0,097	WWE, Hf, Ko 0,097	WWE, Hf, Ko 0,097	WWE, Hf, Ko 0,097
c-Wert Ff	0,714	0,445	0,516	0,154	0,356	0,378	0,306	0,340
jährl. c-Wert	0,179	0,111	0,128	0,038	0,089	0,094	0,103	0,085
Rang	1	3	2	8	6	5	4	7
kmin	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
kmax	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
R-min	35	35	35	35	35	35	35	35
R-max	50	50	50	50	50	50	50	50
LS4	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
LS9	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
LS14	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
BA0min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,17	0,11	0,13	0,04	0,09	0,09	0,10	0,08
BA4min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	1,14	0,71	0,81	0,24	0,57	0,60	0,65	0,54
BA9min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	3,74	2,34	2,68	0,81	1,87	1,98	2,15	1,78
BA14min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	7,30	4,55	5,22	1,57	3,64	3,86	4,19	3,48
BA0max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,29	0,18	0,21	0,06	0,14	0,15	0,17	0,14
BA4max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	1,89	1,18	1,35	0,41	0,94	1,00	1,08	0,90
BA9max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	6,21	3,87	4,45	1,34	3,10	3,29	3,57	2,96
BA14max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	12,10	7,55	8,66	2,60	6,04	6,40	6,95	5,77

Tabelle 16: Erosionsgefährdung am Standort Gülzow bei Nutzung von Minimalbodenbearbeitung für ausgewählte Früchte

kursiv unterstrichen: Minimalbodenbearbeitung

R = Regenerositätsfaktor mit min = 35 und max. = 50 N/(h*a) nach DEUMLICH (1999),

k = Bodenerodierbarkeitsfaktor, LS = Hanglängen- und -neigungsfaktor, bei 100 m Hanglänge, BA4; BA9;

BA14: = Bodenabtrag bei 4, 9 bzw. 14 % Hangneigung, min. = Multiplikation der kleinsten Werte,

max. = Multiplikation der größten Werte

	Ff2 kons.	Ff3 kons.	Ff7(reg) kons.
1. Jahr	<u>SUD, Hf, Gp 0,019</u>	<u>SMA, Hf, Gp 0,019</u>	<u>SMA, Hf, Gp 0,019</u>
2. Jahr	WRO, Wzf, Gp 0,017 SMA, Zwf, Gp 0,16	WRO, Wzf, Gp 0,018 SUD, Zwf, Gp 0,018	WRO, Wzf, Gp 0,017 MWG, Zf, Gp 0,047
3. Jahr	WTR, Hf, Ko 0,089	<u>WTR, Hf, Gp 0,014</u> EWG, Szf, Gp 0,042	MWG, Hf, Gp 0,047
4. Jahr	<u>WWE, Hf, Ko 0,039</u>	<u>WWE, Hf, Ko 0,028</u>	WWE, Hf, Ko 0,097
c-Wert Ff	0,323	0,140	0,181
jährl. c-Wert	0,081	0,034	0,061
kmin	0,28	0,28	0,28
kmax	0,325	0,325	0,325
R-min	35	35	35
R-max	50	50	50
LS4	0,65	0,65	0,65
LS9	2,14	2,14	2,14
LS14	4,17	4,17	4,17
BA0min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 0,08	0,03	0,06
BA4min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 0,52	0,22	0,39
BA9min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 1,70	0,72	1,27
BA14min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 3,32	1,41	2,48
BA0max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 0,13	0,06	0,10
BA4max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 0,86	0,36	0,64
BA9max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 2,82	1,20	2,11
BA14max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹] 5,50	2,33	4,10

4.4.2 Standort Ascha

In Tabelle 17 sind für die in Ascha getesteten Fruchtarten und deren Abfolge die mittleren C-Faktoren (Management- und Bedeckungsfaktor) aufgeführt. An diesem Standort sind die regionalen Fruchtfolgen 6 und 8 als ungünstigste und Ff4 als günstigste Variante im Sinne des Bodenschutzes vor Wassererosion einzuschätzen. Ff5 und die regionale Variante Ff7 folgen als nächst günstigste Anbaufolgen.

Aufgrund der höheren Regenerosität im Vergleich zu Gülzow, erreichen die Bodenabtragswerte bei stärkerer Hangneigung schnell größere Werte und liegen damit außerhalb tolerabler Werte. Das unterstreicht die Feststellung, die zur Energiegewinnung gedachten Fruchtarten auf ebenen Flächen anzubauen bzw. sie nur unter Nutzung konservierender Bodenbearbeitungsverfahren (Tabelle 18) in die Fläche zu stellen.

Tabelle 17: Erosionsgefährdung am Standort Ascha

R = Regenerositätsfaktor mit min = 35 und max. = 50 N/(h*a) nach DEUMLICH (1999), k = Bodenerodierbarkeitsfaktor, LS = Hanglängen- und -neigungsfaktor, bei 100 m Hanglänge, BA4; BA9; BA14: = Bodenabtrag bei 4, 9 bzw. 14 % Hangneigung, min. = Multiplikation der kleinsten Werte, max. = Multiplikation der größten Werte

	Ff1	Ff2	Ff3	Ff4	Ff5	Ff6(reg)	Ff7(reg)	Ff8(reg)
1. Jahr	SGE, Hf, Gp 0,031 ORE, Szf, Gp 0,124	SUD, Hf, Gp 0,223	SMA, Hf, Gp 0,248	SGE, Hf, Gp 0,041 KGR, Us, Gp	HAS, Hf, Gp 0,079	SMA, Hf, Gp 0,248	SMA, HF, CCM 0,245	KMA, Hf, Ko 0,248 MWG, Wzf, Gp 0,015
2. Jahr	SMA, Hf, Gp 0,221	WRO, Wzf, Gp 0,014 SMA, Zwf, Gp 0,283	WRO, Wzf, Gp 0,014 SUD, Zwf, Gp 0,249	KGR, 1. Hn 0,01	WTR, Hf, Gp 0,047	WRO, Wzf, Gp 0,014 SMA, Zwf, Gp 0,291	WWE, Hf, Gp 0,045	KAR, Hf, Kn 0,204
3. Jahr	WTR, Hf, Gp 0,046 FHI, Szf, Gp 0,183	WTR, Hf, Ko 0,049	WTR, Hf, Gp 0,041 EWG, Szf, Gp 0,050	KGR, 2. HN 0,09	WRA, Hf, Ko 0,075	WWR, Hf, Gp 0,017 SUD, Szf, Gp 0,162	WRA, Hf, Gp 0,066 SUD, Szf, Gp 0,156	WWE, Hf, Gp 0,04 Erb, Szf, Gp 0,122
4. Jahr	WWE, Hf, Ko 0,067	WWE, Hf, Ko 0,050	WWE, Hf, Ko 0,051	WWE, Hf, Ko 0,049	WWE, Hf, Ko 0,049	WWE, Hf, Ko 0,05	WWE, Hf, Ko 0,05	WWE, Hf, Ko 0,051
c-Wert Ff	0,672	0,619	0,653	0,109	0,250	0,782	0,562	0,681
jährl. c-Wert	0,168	0,155	0,163	0,027	0,062	0,195	0,140	0,170
Rang	3	5	4	8	7	1	6	2
kmin	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
kmax	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
R-min	65	65	65	65	65	65	65	65
R-max	88	88	88	88	88	88	88	88
LS4	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
LS9	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
LS14	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
BA0min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,24	0,22	0,23	0,04	0,09	0,28	0,20	0,24
BA4min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	1,56	1,44	1,52	0,25	0,58	1,82	1,30	1,58
BA9min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	5,14	4,74	4,99	0,83	1,91	5,98	4,30	5,21
BA14min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	10,02	9,23	9,73	1,63	3,72	11,65	8,37	10,15
BA0max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,24	0,22	0,23	0,04	0,09	0,28	0,20	0,24
BA4max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	2,59	2,39	2,52	0,42	0,96	3,02	2,17	2,63
BA9max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	8,54	7,87	8,30	1,39	3,17	9,94	7,14	8,66
BA14max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	16,65	15,34	16,16	2,70	6,19	19,36	13,91	16,87

Tabelle 18: Erosionsgefährdung am Standort Ascha bei Nutzung von Minimalbodenbearbeitung für ausgewählte Früchte

kursiv unterstrichen: Minimalbodenbearbeitung

R = Regenerositätsfaktor mit min = 35 und max. = 50 N/(h*a) nach DEUMLICH (1999),

k = Bodenerodierbarkeitsfaktor, LS = Hanglängen- und -neigungsfaktor, bei 100 m Hanglänge, BA4; BA9;

BA14: = Bodenabtrag bei 4, 9 bzw. 14 % Hangneigung, min. = Multiplikation der kleinsten Werte,

max. = Multiplikation der größten Werte

	Ff2 kons.	Ff3 kons.	Ff6(reg) kons.	Ff7(reg) kons.	Ff8(reg) kons.
1. Jahr	<i>SUD, Hf, Gp 0,031</i>	<i>SMA, Hf, Gp 0,030</i>	<i>SMA, Hf, Gp 0,032</i>	CCM, HF, Kolben 0,245	<i>KMA, Hf, Ko 0,032</i> MWG, Wzf, Gp 0,015
2. Jahr	WRO, Wzf, Gp 0,014 SMA, Zwf, Gp 0,283	WRO, Wzf, Gp 0,014 SUD, Zwf, Gp 0,249	WRO, Wzf, Gp 0,014 <i>SMA, Zwf, Gp 0,038</i>	<i>WWE, Hf, Gp 0,016</i>	KAR, Hf, Kn 0,204
3. Jahr	WTR, Hf, Ko 0,049	<i>WTR, Hf, Gp 0,011</i> EWG, Szf, Gp 0,053	WWR, Hf, Gp 0,017 SUD, Szf, Gp 0,162	WRA, Hf, Gp 0,066 SUD, Szf, Gp 0,156	<i>WWE, Hf, Gp 0,01</i> Erb, Szf, Gp 0,122
4. Jahr	WWE, Hf, Ko 0,050	WWE, Hf, Ko 0,051	WWE, Hf, Ko 0,05	WWE, Hf, Ko 0,05	WWE, Hf, Ko 0,051
c-Wert Ff	0,427	0,375	0,313	0,533	0,433
jährl. c-Wert	0,107	0,094	0,078	0,133	0,108
kmin	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
kmax	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
R-min	65	65	65	65	65
R-max	88	88	88	88	88
LS4	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
LS9	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
LS14	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
BA0min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,15	0,13	0,11	0,19	0,15
BA4min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,99	0,87	0,73	1,24	1,01
BA9min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	3,27	2,87	2,40	4,08	3,31
BA14min [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	6,37	5,59	4,67	7,94	6,45
BA0max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,15	0,13	0,11	0,19	0,15
BA4max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	1,65	1,45	1,21	2,06	1,67
BA9max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	5,43	4,76	3,98	6,77	5,50
BA14max [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	10,58	9,28	7,76	13,19	10,72

4.4.3 Bewirtschaftungsalternativen einer Anbaufolge von Winterweizen und Silomais

Exemplarisch werden für die Anbaufolge Winterweizen – Silomais folgende Bewirtschaftungsalternativen verglichen: Herbst- und Frühjahrsfurche, Anbau einer Winterzwischenfrucht, Anbau einer Sommerzwischenfrucht mit Umbruch im Herbst (Herbstfurche) oder alternativ im Frühjahr (Frühjahrsfurche). Die Berechnungen erfolgen für den Standort Gülzow. Für diese Beispiele ergibt sich folgende Rangfolge für die Minderung der Wassererosion, Tabelle 19:

1. ohne Zwischenfrucht, Frühjahrsfurche,
2. mit Winterzwischenfrucht, Frühjahrsfurche,
3. ohne Zwischenfrüchte, Herbstbodenbearbeitung,
4. mit Sommerzwischenfrucht und Frühjahrsfurche und
5. mit Sommerzwischenfrucht und Herbstfurche.

Tabelle 19: Erosionsgefährdung am Standort Gülzow für die Anbaufolge WWE-SMA mit verschiedener Bewirtschaftung

R = Regenerositätsfaktor mit min = 35 und max. = 50 N/(h*a) nach DEUMLICH (1999),
 k = Bodenerodierbarkeitsfaktor, LS = Hanglängen- und -neigungsfaktor, bei 100 m Hanglänge, BA4; BA9; BA14: = Bodenabtrag bei 4, 9 bzw. 14 % Hangneigung, min. = Multiplikation der kleinsten Werte, max. = Multiplikation der größten Werte

		ohne Zwischenfrucht, Frühjahrsfurche	mit Winter- zwischenfrucht, Frühjahrsfurche	ohne Zwischenfrucht, Herbstfurche	mit Sommer- zwischenfrucht Frühjahrsfurche	Sommer- zwischenfrucht Herbstfurche mit
1. Jahr		WWE 0,096	WWE 0,091 WZF 0,017	WWE 0,092	WWE 0,087 SZF 0,116	WWE 0,087 SZF 0,107
2. Jahr		SMA 0,143	SMA 0,157	SMA 0,194	SMA 0,166	SMA 0,199
c-Wert Ff		0,239	0,266	0,287	0,346	0,394
jährl. c-Wert		0,119	0,134	0,143	0,173	0,197
Rang		1	2	3	4	5
kmin		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
kmax		0,325	0,325	0,325	0,325	0,325
R-min		35	35	35	35	35
R-max		50	50	50	50	50
LS4		0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
LS9		2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
LS14		4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
BA0min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,12	0,13	0,14	0,17	0,19
BA4min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,76	0,85	0,91	1,10	1,25
BA9min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	2,50	2,80	3,01	3,63	4,13
BA14min	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	4,87	5,46	5,86	7,08	8,05
BA0max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	0,19	0,22	0,23	0,28	0,32
BA4max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	1,26	1,41	1,51	1,83	2,08
BA9max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	4,15	4,64	4,99	6,02	6,85
BA14max	[t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	8,08	9,05	9,72	11,73	13,34

Der Anteil des C-Faktors für die Anbauvarianten ist in Abbildung 21 dargestellt. Bei diesem Anbausystem mindert die Frühjahrsfurche ohne Zwischenfrüchte die Erosion gegenüber der Herbstfurche. Beim Anbau von Zwischenfrüchten wird die Erosionsgefahr generell erhöht. Das liegt darin begründet, dass im Zeitraum von der Bodenbearbeitung nach der Hauptfrucht bis zu einer Bodenbedeckung von 50 % durch die Zwischenfrucht, eine erhöhte Erosionsgefährdung aufgrund hoher Regenerosität und ungedecktem Boden besteht. Dabei wurde bereits davon ausgegangen, dass zwischen Ernte der Hauptfrucht und Aussaat der Sommerzwischenfrucht nur 2 Tage liegen, bei der Winterzwischenfrucht beträgt dieser Zeitabschnitt eine Woche.

Für die Anbaufolge mit Sommerzwischenfrucht ist die Erosionsgefährdung bei Herbstfurche höher als bei Frühjahrsfurche, da der bearbeitete Boden den Winter über unbedeckt bleibt. Die Erosionsgefährdung von der Bodenbearbeitung bis zur Saat der Folgefrucht (hier Silomais) wird der Folgefrucht zugerechnet.

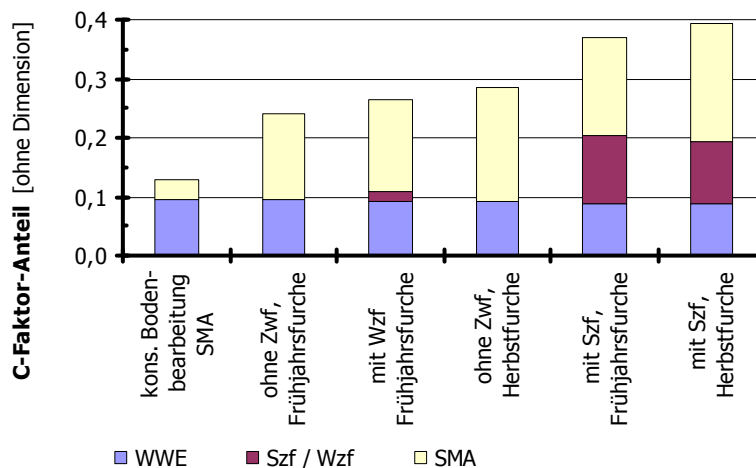


Abbildung 21: C-Faktoranteil (berechnet aus Erosivität der Niederschläge, Bodenbearbeitung, und Bodenbedeckung) bei unterschiedlichen Kombinationen der Anbaufolge Winterweizen – Silomais.

Zunächst mag es erstaunen, dass die Wassererosionsgefährdung durch den Zwischenfruchtanbau steigt. Abbildung 22 veranschaulicht den Zusammenhang von Erosionsgefährdung, Bodenbearbeitung, Bodenbedeckung und Erosivität der Niederschläge über den Zeitraum von 2 Jahren. Auf anderen Standorten mit abweichender Verteilung der jährlichen Niederschlagserosivität ändert sich die Erosionsgefährdung.

Der potenziell hohe relative Bodenabtrag in Abbildung 22a nach der Saatbettbereitung Mitte April (rote Linie) findet zu einer Zeit mit geringer Erosivität der Niederschläge statt. Der resultierende C-Faktoranteil ($RBA \cdot \text{Erosivitätsanteil}$; grüne Balken) ist daher zu diesem Zeitpunkt klein. Abbildung 22a und b vergleichen die Varianten Herbstfurche und Frühjahrsfurche ohne Zwischenfruchtanbau. Unterschied beider Anbauverfahren ist der mögliche höhere Bodenabtrag des unbedeckten, gepflügten Bodens über Winter im Vergleich zur Stoppel.

Die Variante mit Anbau einer Sommerzwischenfrucht, Abbildung 22c zeigt, dass die Etablierung der Zwischenfrucht in der zweiten Augushälfte genau in die Zeitspanne mit der höchsten Niederschlagserosivität fällt. Jede Bodenbearbeitung, die den Boden in feinkrümeligen Saatbettzustand zum Zwecke der Aussaat in diesem Zeitraum versetzt (Raps, Stoppelfrüchte, Sommerzwischenfrucht) führt zu einem potentiell hohen Erosionsrisiko. Wird die Etablierung einer neuen Frucht in den September oder Oktober hinein verschoben, führt das zu einer deutlichen Senkung der Erosionsgefahr. Beispielhaft ist dies in der Variante mit Winterzwischenfrucht in Abbildung 22d zu sehen.

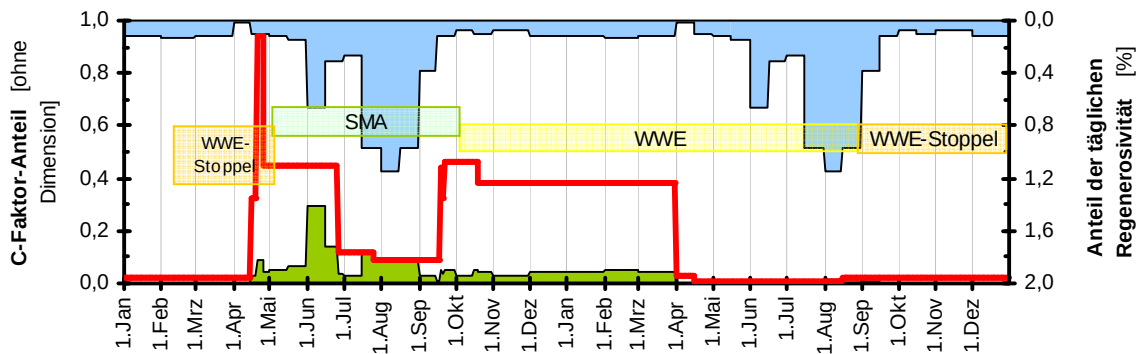
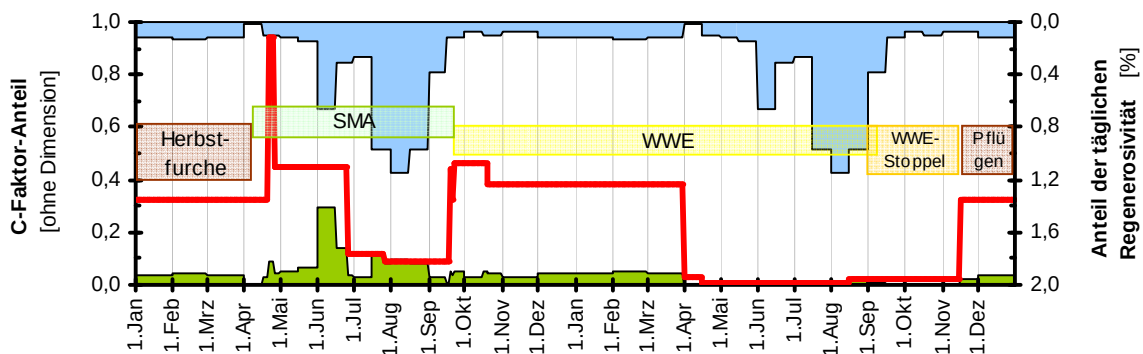
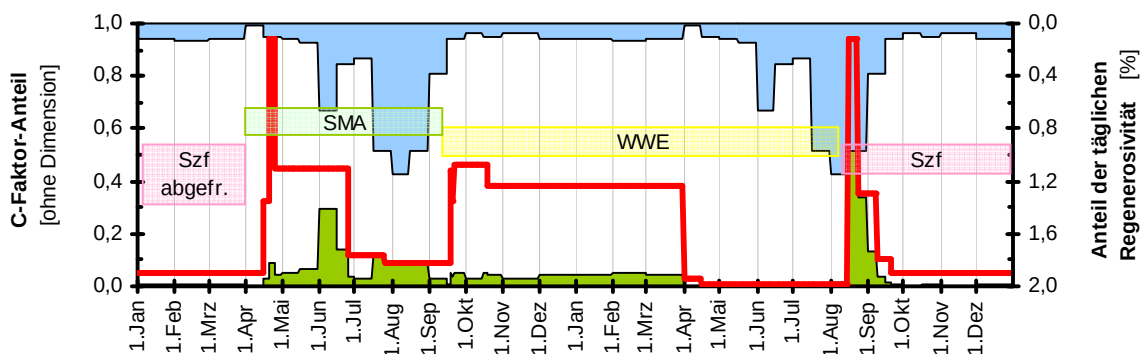
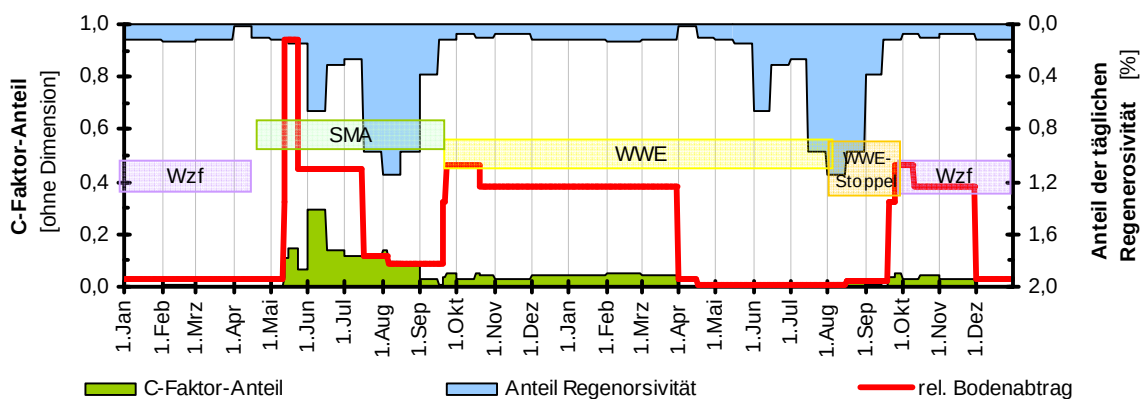
Abbildung 22a: Winterweizen - Silomais mit *Frühjahrsfurche*.Abbildung 22b: Winterweizen - Silomais mit *Herbstfurche*.Abbildung 22c: Winterweizen - Silomais mit *Sommerzwischenfrucht* und anschließender *Frühjahrsfurche*.Abbildung 22d: Winterweizen - Silomais mit *Winterzwischenfrucht* und *Frühjahrsfurche*.

Abbildung 22a-d: Zusammenwirken von Erosivität der Niederschläge, relativem Bodenabtrag und Bodenbedeckung (C-Faktor) am Beispiel der Anbaufolge Winterweizen - Silomais.

Standort: Gülzow, Erosivität der Niederschläge: Wetterstation Neustrelitz

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die in diesem Bericht publizierten Daten sind nicht als absolute Werte zu interpretieren. Sie zeigen aber Trends und Relationen auf, die verallgemeinerbar sind.

N_{min}-Mengen nach Ernte

Insgesamt sind die N_{min}-Werte nach Ernte mit Medianwerten von unter 40 kg·ha⁻¹, mit Ausnahme von Silomais, sehr niedrig. Dies mag an der zurückhaltenden Stickstoffdüngung der Energiepflanzen in den Versuchen liegen, welche häufig negative N-Salden aufweisen. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Versuche nicht organisch gedüngt wurden, sodass nicht mit einer starken Mineralisation aus dem organischen Stickstoff-Pool des Bodens zu rechnen ist.

Aus Sicht des Trinkwasserschutzes sind die N_{min}-Werte so gering wie möglich zu halten. Daher ergibt die Rangfolge der N_{min}-Werte nach Ernte in Abbildung 9, S. 29 auch die relative Vorzüglichkeit der Fruchtarten in Bezug auf die Sickerwasserbefruchtung mit Nitrat wieder. Silomais schneidet hier am schlechtesten ab. Hohe N_{min}-Werte nach Silomais im Vergleich zu anderen Fruchtarten, sind auch in der aus der Wasserschutzgebietsberatung bekannt. Allerdings wird in der Praxis der Silomais üblicherweise stark mit organischen Düngern gedüngt, welches zu einer höheren Mineralisierung des Bodens führt. Da in den Versuchen keine organische Düngung erfolgt, ist zu fragen, welche Gründe bei Silomais zu einem höheren N_{min}-Wert nach Ernte führen? Möglicherweise spielt der weite Reihenabstand von 75 cm im Silomais eine gewisse Rolle. Die genauen Ursachen müssen in einer weiteren Datenanalyse im Folgeprojekt geklärt werden.

Bewertung von Stickstoffsalden mit Hilfe von N_{min}-Untersuchungen

Innerhalb des Projektes entstand die Frage, ob durch negative Stickstoffsalden die Erträge beeinträchtigt werden. Dabei wurde von einer Berechnung des N-Saldos nach folgendem Schema ausgegangen: N-Saldo = [N-Düngung] + [N_{min} im Frühjahr 0-90 cm] – [N-Abfuhr mit Erntegut].

Zunächst ist festzustellen, dass dieser Saldo den Stickstoffhaushalt im Boden sehr vereinfacht und einige Bilanzglieder wie z. B. die Mineralisation, Deposition und N-Auswaschung unberücksichtigt bleiben. Die Ergebnisse haben für C₄-Gräser gezeigt, dass auf Basis der N_{min}-Werte nicht von einer Unterversorgung der Bestände auszugehen ist. Die Mineralisation und weitere Stickstoffquellen waren offensichtlich in der Lage, genügend Stickstoff für den Bestand bereitzustellen. Es besteht die Frage, ob dies auch in aufeinander folgenden Jahren der Fall ist. Bei Anbauverfahren ohne organische Düngung wird es sehr wahrscheinlich langfristig zu einem Absinken der Mineralisation kommen. Bei organisch gedüngten Flächen, insbesondere bei hohem Tierbesatz, ist nicht davon auszugehen.

Ein weiteres Konzept zur Bewertung der Stickstoffversorgung der Pflanze ist der kritische N-Gehalt in bestimmten Pflanzenorganen. Wird dieser nicht unterschritten, ist auch bei negativen N-Bilanzen nicht mit Ertragseinbußen zu rechnen. HERRMANN u. TAUBE (2005)

geben für Silomais einen kritischen Rohproteingehalt von 6,5 % in der TM an, welches einem N-Gehalt von 1,04 % in der TM entspricht. Der Silomais in Hauptfruchtstellung hatte im Median der Versuche einen N-Gehalt von 1,3 %, das Minimum lag bei 1,02 %. Danach lag keine Unterversorgung für Silomais vor. Für Sudangras und Futterhirse fehlen entsprechende Werte.

Humusbilanzen

Ohne die Düngung von Gärresten oder anderen organischen Düngern sind die Humusbilanz-Salden der Fruchtfolgen in der Regel in Gruppe A und damit nicht nachhaltig. Mit Ausbringung von Gärresten können ausgeglichene oder positive Humussalden erreicht werden.

Die meisten im EVA-Projekt geprüften Fruchtfolgen haben ohne Gärrestausrückführung Humusbilanzsalden in Gruppe A. In diesen Fällen ist langfristig mit einer Abnahme der Ertragsleistung der Böden und einer Beeinträchtigung der Bodenfunktionen (Strukturstabilität, Wasserhaltefähigkeit, Nährstofftransformation) zu rechnen.

Humusbilanzsalden in den Gruppen C, D und E werden an allen Standorten nur in Fruchtfolge 4 durch den Anbau von mehrjährigem Klee erreicht. Zusätzlich kann am Standort Ettlingen in Fruchtfolge 5 Gruppe B erreicht werden. Einjähriges Luzerne- oder Klee-Gras ist durch seine humusmehrenden Eigenschaften als Sanierungsfrucht für Humusbilanzen geeignet.

Viele der derzeit in der Diskussion befindlichen und im Projekt geprüften Energiepflanzen haben einen Humusbruttobedarf („Humuszehrer“). Dazu gehören in absteigender Reihenfolge: Silomais, Sudangras, Futterhirse, Sonnenblume und Getreide als Ganzpflanze. Fruchtarten mit Humusersatzleistung sind Winterzwischenfrüchte und vor allem Ackerfutterpflanzen wie Luzerne- oder Klee-Gras-Gemenge. Innerhalb von Fruchtfolgen, die Energiepflanzen mit Druschfrüchten kombinieren, spielt die Verwendung des Stroh eine erhebliche Rolle. Verbleibt dieses zur Strohdüngung auf dem Feld, trägt es wesentlich zur Humusersatzleistung bei.

Die Höhe des Humusbilanzsaldos hängt wesentlich von der Humuswirkung des Gärrestes ab. Dies betrifft zum einen die ausgebrachten Mengen, zum anderen den verwendeten Humusreproduktions-Koeffizienten. Die Varianten mit einer Stickstoffversorgung des Bestandes aus Gärresten zu 50 %, 72 % und 100 % zeigen genauer, welche Mengen an Gärrest für eine ausgeglichene Humusbilanz ausgebracht werden müssen. In der Fruchtfolge 3 führt eine N-Versorgung des Bestandes zu 50 % aus Gärrest, für die Standorte mit Ackerzahlen über 47, zu Humusbilanzen in Gruppe B und besser. Auf den Standorten mit Ackerzahlen um 30 ist für ausgeglichene Humusbilanzen eine vollständige Rückfuhr der Gärreste notwendig. Dabei kann es jedoch in Verbindung mit ergänzender Mineraldüngung bei Phosphor und Stickstoff zu Bilanzüberschüssen kommen. Hier ist auf jeden Fall dafür zu sorgen, dass die Grenzwerte der Düngeverordnung eingehalten werden.

Diese Ergebnisse zeigen einen Trend auf. In der absoluten Höhe der Werte sind sie jedoch nicht verallgemeinerbar, da sie lediglich für eine Fruchtfolge im Projekt berechnet wurden.

Weiter sind die Ergebnisse nur bei den erzielten Erträgen gültig. Eine weitere Bearbeitung im Folgeprojekt soll hier zu belastbaren Aussagen führen.

Koeffizienten der Humusbilanz

Die Humusbilanz hat für die Anwendung in Energiepflanzen-Anbausystemen methodische Unschärfen. Dies bezieht sich bei den Koeffizienten der Fruchtarten auf die geänderten Vegetationszeiten (Aussaat- und Erntetermin) und bisher nicht berücksichtigte Fruchtarten wie Sudangras oder Zuckerhirse. In dieser Arbeit wurden hierfür pragmatische Lösungen auf Basis von Expertenwissen gefunden.

Die Höhe der Humusbilanzsalden hängt wesentlich von der Humuswirkung des Gärrestes ab. Hier liegt derzeit noch der größte Forschungsbedarf. Aus diesem Grund wurde die Humuswirkung des Gärrestes mit verschiedenen Humusreproduktions-Koeffizienten berechnet. Derzeit kann lediglich gesagt werden, dass der Humusreproduktions-Koeffizient des Gärrestes wahrscheinlich zwischen 0,22 und 0,4 liegt (Humus-C je Gärrest-C). Daher sollte bei Verwendung von Humusbilanzsalden aus diesem Bericht immer der Unsicherheitsbereich des Saldos angegeben werden.

Energiebilanzen

Aus den Energiebilanzen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- (1) Das Ziel eines möglichst hohen Nettoenergieertrages in der Energiepflanzenproduktion lässt sich in erster Linie durch die Auswahl ertragsstarker Fruchtarten oder Zweikulturnutzungssysteme erreichen. Bei den untersuchten Einzelfrüchten gibt es keinen Hinweis darauf, dass Fruchtarten mit größeren Erträgen eine geringere Energieeffizienz aufweisen. Im Gegenteil: Silomais als ertragreichste Fruchtart weist den höchsten Erntefaktor auf. Bei allen untersuchten Zweikulturnutzungssystemen und Anbauverfahren mit Sommerzwischenfruchtnutzung übertrifft der energetische Mehrertrag der Zweitfrüchte den energetischen Mehraufwand deutlich. Der Erntefaktor sinkt jedoch durch den Anbau der Zweitfrucht etwas ab. Wie diese Abnahme zu bewerten ist, hängt auch von der Energieeffizienz des Gesamtsystems Biogas-erzeugung ab.

Generell stellt sich jedoch hier die Frage, ob Energiepflanzen flächeneffizient angebaut werden sollen. Dies führt zu einer Präferenz der Fruchtfolgen 1-3, zu dem Preis, dass mit diesen Fruchtfolgen ökologische Nachteile erkauft werden. Die eingesparte Fläche könnte dann möglicherweise so bewirtschaftet werden, dass ökologische Ziele Priorität haben. Der alternative Weg dazu ist, den Anbau in der Fläche generell zu ökologisieren. Diesem Ideal entsprechen eher die Fruchtfolgen 4 und 5.

- (2) Neben dem Maisanbau in Einzelfruchtstellung sind zur Erzielung hoher Nettoenergieerträge die Zweikulturnutzungssysteme Futterroggen-Silomais und Futterroggen-Sudangras hervorragend geeignet, so, wie der Anbau von Sommerzwischenfrüchten nach Wintertriticale gut geeignet ist. Bei Betrachtung der Fruchtfolgen gilt folglich, dass die Integration dieser Anbauverfahren zu einer Erhöhung der Nettoenergieerträge führt.

- (3) Die Art der Düngung hat einen erheblichen Einfluss auf die Energiebilanz. Die möglichst vollständige Nutzung des Gärrestes als organischer Dünger spart Energie in der Düngerherstellung und verbessert daher die Energieeffizienz des Anbaus von Energiepflanzen für die Biogasgewinnung. Der zusätzliche Energieaufwand einer rein mineralischen Stickstoffdüngung gegenüber einer reinen Gärrestdüngung beträgt bis zu $14,2 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Die Beurteilung dieses Einsparpotenzials ändert sich, wenn alternative Nutzungen (Verbrennung, Düngerproduktion) des Gärrests mitbetrachtet werden. Es wären dann Gutschriften für die aus dem System entfernte Energie und Nährstoffe zu berücksichtigen.
- (4) Generell sind auch andere Verfahren der Energiebilanzierung möglich. Für die energetische Bewertung des Gärrestes gibt es folgende Möglichkeiten:
- nur "*Handhabungskosten*", d. h. nur Energieaufwand für Ernte, Abfuhr und Ausbringung. Gärrest ist in diesem Fall ein Koppelprodukt ohne energetischen Wert. Alle Energieaufwendungen werden dem Hauptprodukt angerechnet. Dieses Verfahren wurde in dieser Auswertung verwendet.
 - *Anteilige Berechnung* oder auch Totalbilanz: Die Aufteilung der gesamten Energieaufwendungen für Hauptprodukt und Koppelprodukt wird entsprechend dem ökonomischen Wert, alternativ dem Gewichtsanteil von Hauptprodukt und Koppelprodukt vorgenommen. Dies setzt voraus, dass es für das Koppelprodukt einen Markt gibt. Für das Beispiel Gärrest bedeutet dies, dass die Energiebilanz für den Anbau ungünstiger wird als im Bericht dargestellt, da dem Gärrest ein Teil des Aufwandes zur Stromerzeugung aus Biogas zugerechnet wird.
 - *Substitutionsmethode*: Der Wert des Koppelproduktes berechnet sich abhängig davon, welches Produkt ersetzt wird. Bei dem Beispiel Gärrest würde dieser Mineraldünger ersetzen. Der Substitutionswert berechnet sich aus der indirekten Energie zur Herstellung dieser Dünger (Gewinnungsprozess, Transport, Ausbringung). In diesem Fall bekommt der Gärrest eine Gutschrift für den substituierten Mineraldünger. Die Aufwendungen zur Handhabung des Gärrestes („Handhabungskosten“) werden abgezogen. Die Substitutionsmethode wird häufig in CO_2 -Bilanzen verwendet. Im Rahmen der Projektfortsetzung wird diesen unterschiedlichen Bewertungen des Gärrestes ein größerer Raum eingeräumt.

Wassererosionsgefährdung

Insgesamt führt der Anbau von Energiepflanzen zu einem vermehrten Anbau von Silomais, Sudangras und Zuckerhirse. Diese C_4 -Pflanzen haben eine verzögerte Jugendentwicklung, sodass es im Vergleich zu Getreideanbau zu einer höheren Erosionswahrscheinlichkeit führt. Dabei sind Sudangras und Zuckerhirse besser als Silomais zu bewerten, da die Bestände schneller eine Bodenbedeckung von 50 % erreichen. Die in den Versuchen gewählten Reihenabstände von in der Regel 25-50 cm mindern die Erosionsgefährdung. Besonders auf geneigtem Gelände ist Wassererosion zu erwarten, die je nach Standort und Fruchtfolge bereits bei 4-9 % Hangneigung die jährlich tolerierbare Erosion übersteigt.

Die ungünstige Bewertung von Sommerzwischenfrüchten kommt dadurch zustande, dass die Zeitspanne von Bodenbearbeitung bis zum Erreichen einer Bodenbedeckung von 50 % in den August fällt. Dieser Monat hat im Beispiel die höchste Wahrscheinlichkeit für Starkregenereignisse. Aus diesem Grund ist die Erosionsgefährdung für die Sommerzwischenfrucht sehr hoch. Die Erosivität der Niederschläge erreicht im August für den Standort Gülzow, Wetterstation Neustrelitz, ihr Maximum. Eine andere Verteilung der Erosivität der Niederschläge zeigt die Station Müncheberg in Abbildung 2, S. 20. Hier liegt das Maximum der Niederschlagserosivität im Juni in der 24. bis 26. Dekade. Für den Standort Gülzow bewirkt eine Verschiebung des Aussaatzeitpunktes in den September hinein bereits eine erhebliche Erosionsminderung gegenüber der Etablierung einer Sommerzwischenfrucht oder Winterung im August. Winterzwischenfrüchte, welche in der Regel im September etabliert werden, sind ebenfalls deutlich besser als Sommerzwischenfrüchte zu bewerten. Die Möglichkeit im Energiepflanzenanbau nach dem Ganzpflanzengetreide eine „späte Zweitfrucht“ bzw. frühe Sommerzwischenfrucht bereits Anfang Juli zu etablieren, mindert die Erosionsgefährdung ebenfalls.

Alternativen zur Sicherung der Bodenbedeckung in den Sommermonaten nach der Energiepflanzenernte bestehen bei entsprechender Wasserversorgung in der Einbindung von Untersaaten in die Anbaufolgen.

6 Literatur Abiotik

- ASMUS, F., HERMANN, V., 1977: Reproduktion der organischen Substanz des Bodens. Fortschrittsberichte für die Landwirtschaft und Nahrungsgüterwirtschaft, Bd. 15, Heft 11.
- ASMUS, F., LINKE, B., 1987: Zur pflanzenbaulichen Verwertung von Gülle-Faulschlamm aus der Biogasgewinnung, Feldwirtschaft, 28, S. 354-355.
- AUERSWALD, K., KAINZ, M., 1998: Erosionsgefährdung (C-Faktor) durch Sonderkulturen, Bodenschutz, 3, S. 98 – 102.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND UND FORSTWIRTSCHAFT (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen, Bearbeiter: U. Meier, 2. Aufl., 165 S.
- BUNDESGESETZBLATT, 2004: Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (Direktzahlungen-Verpflichtungsverordnung – DirektZahlVerpflV) Bundesgesetzblatt, 12.11.2004, Teil 1, Nr. 58, S. 2778 – 2784, Bonn.
- DEUMLICH, D. (1999): Erosive Niederschläge und ihre Eintrittswahrscheinlichkeit im Nordosten Deutschlands. Meteorolog. Zschr., 8, 155-161.
- DIN 19708, 2005: Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG; 25 S.; Berlin, Beuth.
- EBERTSEDER, T., 2007: Humusbildung und Nährstoffbetrachtungen von Bioabfallkompost und Gärrückständen im Vergleich, Biomasseforum, Witzenhausen, 24.-25.10.2007, 7 S. Download unter: www.ask-eu.com/default.asp?Menu=1000&cmd=VIEW_ARTIKEL11054.
- EU, 2000: Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, „Wasserrahmen-Richtlinie“ (WRRL), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft, 327/1–72.
- FNR (Hrsg.), 2006: Handreichung Biogasgewinnung und -Nutzung, 3. Aufl., Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 232 S.
- GUTSER, R., EBERTSEDER, T., 2006: Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe, S. 7 - 22. In: Bewertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken, KTBL-Vortragsveranstaltung vom 19.-20. April 2006 in Osnabrück, KTBL-Schrift 444, 275 S.
- HERRMANN, A. U. TAUBE, F. (2005). Nitrogen Concentration at Maturity-An Indicator of Nitrogen Status in Forage Maize Agronomy Journal 97, 201-210.
- HÜLSBERGEN u. SCHMIDT, 2008: Humusbilanzen und C-Kreisläufe in Betriebssystemen mit Bioenergieerzeugung. In: Ökologische und Ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger, KTBL-Tagung vom 8. bis 9. September 2008, Aschaffenburg, KTBL-Schrift 468, 230 S.
- HÜLSBERGEN, K.-J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Habil., Shaker, 257 S.
- JEROCH, H., FLACHOWSKY, G., WEIßBACH, F. (HRSG), 1993: Futtermittelkunde, G. Fischer, Stuttgart, 510 S.
- KTBL, 2008: Feldarbeitsrechner, Online: www.ktbl.de, Abrufdatum: 12.7.2008.
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D., SCHÖNMEIER, H., 1997: Humusbilanzierung – Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (Hrsg): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Zeller Verlag, Osnabrück, S. 43-55.

- LLFG (Landesanstalt für Landwirtschaft Forsten und Gartenbau, Sachsen-Anhalt) Hrsg., LVLf (Landesanstalt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg), Hrsg., LFBMV (Landwirtschaftliche Fachbehörde des Landes Mecklenburg-Vorpommern), Hrsg., 2008: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)
- REPRO, 2008: Computerprogramm REPRO, Version 79.23, Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung e. V., INL, Halle Saale.
- ROGLER, H. & U. SCHWERTMANN, 1981: Erosivität der Niederschläge und Isoerodentkarte Bayerns. – Zeitschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 22, S. 99-112.
- SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland - Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. - Bonner Bodenkdl. Abh. 13, 189 S.
- SCHMIDT, H., 2007: Gutachten für Bewirtschaftungsalternativen von Modellbetrieben im Auftrag der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Halle (Saale), 128 S.
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M., 1987: Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, 2. Aufl. Ulmer, 64 S.
- SENSEL, K., WRAGGE, V., 2008: Schlussbericht zu dem Verbundprojekt Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Inputsubstrats Energiepflanzen, FKZ 22012105, Download unter: <http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22012105.pdf>, 118 S.
- UBA, 2004: Vorbelastungsdaten Stickstoff TA Luft für das Jahr 2004, www.uba.de, unter „Luft- und Luftreinhaltung“, dort unter: Vorbelastungsdaten Stickstoffdeposition, oder unter: <http://gis.uba.de/website/depo1/viewer.htm>, Seitenaufruf: 10.04.2009.
- VDLUF A STANDPUNKT HUMUSBILANZIERUNG, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland, 2004: Körschens, M. (Hrsg.), Rogasik, J. (Mitarb.), Schulz, E. (Mitarb.), 12 S., Bonn; www.vdlufa.de/vd_00.htm?2, Zugriff am: 28.10.2005.
- WIEGMANN, K; FRITSCH, U., 2008: Energetische Bilanz der Bioenergieerzeugung, in: KTBL-Schrift 468, S. 126-135, 2008, Darmstadt.
- WISCHMEIER, W.H. & D.D.SMITH (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, U.S. Gov. Printing Off., Washington D.C.
- ZAH, R., BÖNI, H., GAUCH, M., HISCHIER, R., LEHMANN, M., WÄGER, P. (EMPA), 2007: Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen., EMPA, Schweiz, Download unter: www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/8514.pdf, am 1.2.2008.

II BIOTISCHE FOLGEWIRKUNGEN

1 Aufgabenstellung

Die Arbeitsgruppe „Biotische Folgewirkungen“ untersuchte die Frage, wie sich der Energiepflanzenanbau auf folgende Teilbereiche der Biodiversität auf Ackerflächen auswirkt:

- Quantifizierung der Effekte der für eine energetische Nutzung angebauten Kulturpflanzen und Mischbestände auf das Vorkommen und die Intensität der Habitatnutzung der Ackerflächen durch typische wildlebende Tier- und Pflanzenarten der Agrarlandschaften durch Erhebungen in Praxisbetrieben,
- Auswertung der im Grundversuch, Teilprojekt I des EVA-Verbundes entwickelten und dort ackerbaulich untersuchten Anbauverfahren und Fruchtfolgen für den Energiepflanzenanbau im Hinblick auf die Habitateigenschaften der Kulturartenbestände und Fruchtarten (explizit für die Beikrautflora),
- Modellgestützte ex-ante Abschätzung der von den im Teilprojekt I des EVA-Verbundes untersuchten Energiefruchtfolgen ausgehenden Effekte auf relevante Organismengruppen für ackerbaulich genutzte Agrarlandschaften,
- Szenarienanalysen zu den Spezifika des Energiepflanzenanbaus und Herausarbeitung von Steuerungs- bzw. Gestaltungsoptionen, insbesondere in Hinblick auf folgende Elemente: Mais-, Ackerfutter- und Wintergetreideanteile in der Fruchtfolge sowie den Einflüssen, die von einer verkürzten Anbauperiode durch Ganzpflanzenernte und der Zunahme des Zweit- bzw. Zwischenfruchtanbaus für regional vorkommende wildlebende Tier- und Pflanzenarten ausgehen.

Für diese Zielstellung wurde das am ZALF entwickelte Lebensraummodell (STACHOW et al. 2003) angewendet, welches es gestattet, Landnutzungsverfahren hinsichtlich ihrer biotischen Effekte vergleichend zu beurteilen. Dieses Modell wurde im Rahmen des FNR-Verbundvorhabens weiterentwickelt und auf die spezielle Fragestellung des Energiepflanzenanbaus für eine Biogasnutzung angepasst.

1.1 Stand des Wissens

Landwirtschaftliche Produktion ist eng mit Natur und Umwelt verzahnt. Eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus wird sich deshalb zwangsläufig auf Umwelt und Natur auswirken – sei es nun positiv oder negativ. Auf der Grundlage des heutigen Wissens gibt es keine eindeutige Antwort auf die Frage wie genau sich eine Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus auswirken wird. Diese Frage ist nicht nur deshalb schwer zu beantworten, weil die Biodiversität eine komplexe Größe aus Elementen mit unterschiedlichen Reaktionsmustern darstellt, sondern auch weil der Energiepflanzenanbau eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten zulässt, die mit unterschiedlichen Wirkungen verbunden sind. Beim Energiepflanzenanbau bieten sich zahlreiche neue Möglichkeiten der Verfahrensgestaltung, die mit den bisherigen Produktionszielen (z. B. Marktfruchtanbau) nicht vereinbar waren (KARPENSTEIN-MACHAN, 2001).

Die Bewertung von Ist- und Soll-Zuständen der Biodiversität variiert je nach Zielvorstellung und Sichtweise der Akteure stark, wobei nicht immer ausreichend transparent ist, welche Ziele der Bewertung zugrunde gelegt werden. Während die moralisch-ethisch begründeten Ansätze und die Versicherungshypothese in der Regel allein auf das Kriterium „Artenanzahl“ abheben, verlangen die funktionsbezogenen Konzepte („biotische Integrität“) die gleichzeitige Analyse von Artenanzahlen, Arthäufigkeiten (Abundanzen) und der Struktur in den Lebensgemeinschaften. Darüber, welche der Kriterien für die Realisierung einzelner Funktionen ausschlaggebend sind, wird gegenwärtig intensiv geforscht und diskutiert. So ist zum Beispiel bislang nicht zweifelsfrei geklärt, ob z. B. die stoffliche Produktivität von Zönosen generell von komplementären Effekten der Arten (d. h. hohen Artenanzahlen, LOREAU ET AL., 2001) angetrieben wird, oder von der Häufigkeit und Dominanz einzelner Schlüsselarten und deren Gleichgewichtszuständen (THOMPSON ET AL., 2005). Die meisten der ökologischen Prozesse sind hochgradig komplex. Deshalb ist die Verfügbarkeit von eindeutigen Indikatoren und „harten“ Bewertungsansätzen auch in der nahen Zukunft nicht zu erwarten. Vor dem Hintergrund eines rasant fortschreitenden Artenrückgangs (IUCN, 2007), auch in den Agrarlandschaften (TRAXLER ET AL., 2005), darf das Fehlen einheitlicher Ziel- oder Bewertungskonzepte für den Schutz der Biodiversität jedoch nicht als Hinderungsgrund für die Integration von Biodiversitätsaspekten in politiknahe Lenkungs- und Bewertungsinstrumente akzeptiert werden.

Die abnehmende Strukturvielfalt auf Ackerflächen und in den Agrarlandschaften wird als eine der wichtigsten Ursachen für den Rückgang der Artenvielfalt angesehen (ALBRECHT ET AL., 2002, WERNER ET AL., 2006). Obwohl der Anbau von Energiepflanzen zahlreiche Optionen zur Erhöhung der Strukturvielfalt durch die Einführung neuer Kulturpflanzen bietet, wird aus der bisherigen praktischen Umsetzung eher mit der Forcierung der Vereinfachung der Fruchtfolgen, konkret mit einer einseitigen Zunahme des Maisanbaus für energetische Nutzungen, gerechnet (WINDE, 2003, SCHÖNE, 2007). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2007) hat deshalb in seinem Sondergutachten die Einführung einer entweder freiwilligen oder obligatorischen Verpflichtung zur Einhaltung einer mindestens dreigliedrigen Fruchtfolge in verschiedene rechtliche Steuerungsinstrumente oder Förderinstrumente gefordert. Die Kulturartenvielfalt bzw. eine vielgestaltige Fruchtfolge stellt eine integrative Größe für die Bewertung von Biodiversitätseffekten der Landnutzungssysteme dar. Die Kulturart und die mit ihrem Anbau in Zusammenhang stehenden Maßnahmen geben die Zeiträume und Habitatbedingungen für wildlebende Pflanzen und Tiere vor. Die vor der Aussaat und nach der Ernte der Kulturen stattfindende Bodenbearbeitung setzt die Habitatbedingungen regelmäßig auf Anfangsstadien der sekundären Sukzession zurück und begrenzt die Phase der Populationsentwicklungen für die meisten auf dem Acker vorkommenden Organismengruppen auf die Zwischenzeit zwischen zwei Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Die Höhe und Dichte der Kulturpflanzenbestände reguliert über das Mikroklima oder die Belichtung/Beschattung die Entwicklungsmöglichkeiten für die an Bearbeitungstermine angepassten Organismen. Die Kulturarten wirken im Sinne von DAYTON (1972) als „foundation species“ (strukturierende Arten) und „filtern“ die durch klimatische, standörtliche und biotische naturräumliche Ausstattung sowie die Landnutzungsgeschichte determinierter regionaler Arteninventare.

Aufgrund des Fehlens von Vergleichsdaten für die Bewertung der Habitatqualität von einzelnen Kulturarten und Fruchtfolgen mussten bisherige Ansätze stets auf Expertenabschätzungen oder Literatursynopsen (z. B.: CORNELIUS, 2000, SCHINDLER & SCHUHMACHER, 2007) zurückgreifen und waren im Detail und in der Aussageschärfe limitiert. Oftmals konnten bisher nur besser/schlechter oder A/B/C-Bewertungen (SRU, 2007, EEA, 2006) vorgenommen werden.

1.2 Arbeitsschritte

- Quantifizierung der Habitatnutzung unterschiedlicher Kulturpflanzenbestände

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes wird die potenzielle Habitatnutzung von typischen Energiepflanzenbeständen durch wildlebende Pflanzen- und Tierarten anhand von Parametern der Bestandesstruktur und -dynamik vergleichend und quantifizierbar abgebildet. Hierzu werden die von den Projektpartnern in den Versuchen erhobenen Angaben zur Entwicklung der geprüften regionalen Energiefruchtarten bzw. -bestände ausgewertet. Für die Interpretation der Bedeutung spezifischer Ausprägungen der Bestandesstruktur und -dynamik für verschiedene Organismengruppen werden eigene Feldversuche in Praxisbetrieben mit Energiepflanzenanbau durchgeführt.

- Modellgestützte Abschätzung der Lebensraumqualität regionstypischer Anbausysteme für Energiepflanzen sowie Szenarienanalysen zum Energiepflanzenanbau

Im Rahmen des Verbundprojektes werden verschiedene Anbausysteme für Energiepflanzen untersucht und optimiert. Die Bewertung der potenziellen Auswirkungen von Intensität und Terminierung der Bewirtschaftungsmaßnahmen wird für ausgewählte Indikatorartengruppen unter Verwendung von vorhandenem Expertenwissen und basierend auf Ergebnissen der hierzu durchgeführten eigenen Versuche, von vorhandenem Wissen per Synopse aus der Literatur und eigenen Vorarbeiten vorgenommen. Die definierten Anbauverfahren werden in das am ZALF vorhandene Lebensraummodell eingebunden und bewertet (Abbildung 23).

Für die Anwendung des Lebensraummodells war es notwendig, die Inputgrößen für das Modell an die Besonderheiten und Neuerungen des Energiepflanzenanbaus anzupassen. Das betraf zu einem die Inputmatrix mit den Informationen zu den Anbauzeiträumen, zur Vegetationsstruktur und Dynamik der Kulturpflanzenarten. Dies geschah unter Verwendung der Daten aus den Parzellenversuchen der Projektpartner und unter Einbeziehung von Expertenwissen. In einem zweiten Arbeitsschritt wurden auch die Angaben zu den Habitatansprüchen der ausgewählten Zielarten an die Besonderheiten des Energiepflanzenanbaus angepasst. Hierfür konnte nur bei allgemeinen Algorithmen auf Expertenwissen zurückgegriffen werden. Quantifizierbare, vergleichende Daten fehlen und wurden aus den speziell dafür ausgerichteten Feldversuchen in Praxisbetrieben erhoben. Aus beiden Inputquellen wurde im Lebensraummodell der potenzielle Habitatwert der einzelnen Kulturarten ermittelt. Dieser wurde in weiteren, überwiegend bilanzierenden Arbeitsschritten verwandt, um Fruchtfolgen und einzelne spezielle Veränderungen in den Anbau-

systemen zu berechnen bzw. die Einflüsse einzelner Parameter im Rahmen von Szenarienanalysen aufzuzeigen.

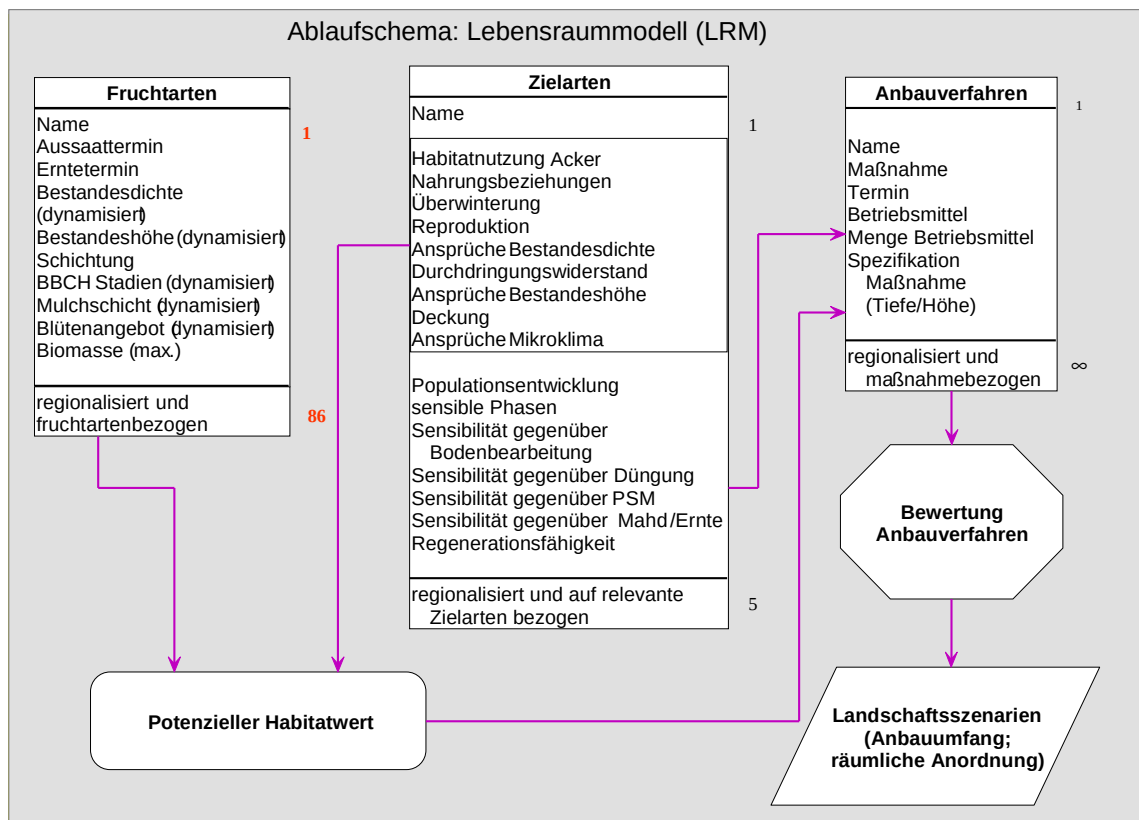


Abbildung 23: Schema für die Bewertung der biotischen Folgewirkungen der Anbausysteme für Energiepflanzen auf Ackerflächen (ZALF-Lebensraummodell)

1.3 Ausgewählte Organismengruppen

Für die Bewertung der Anbausysteme wurden Organismengruppen gewählt, die regelmäßig Ackerflächen als Lebensraum nutzen und Bezüge zur landwirtschaftlichen Nutzung und zu ökologischen Funktionen aufweisen. Mit dieser Zielstellung wurden nach Expertenbefragungen folgende Gruppen für die Bearbeitung im Lebensraummodell ausgewählt:

- Beikrautflora
- Laufkäfer
- Spinnen
- Blütenbesucher
- Agrarvögel

1.4 Praxisversuche zur Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen

Für Untersuchungen zur Habitatnutzung von Kulturpflanzenbeständen durch wildlebende Pflanzen und Tiere sind u. a. wegen der Mobilität der Arten bzw. möglicher Randeffekte benachbarter Strukturen Untersuchungsflächen von 2-4 ha Größe notwendig. Dies war auf den im Verbund durchgeführten Parzellenversuchen nicht realisierbar.

Die Praxisbetriebe für die Durchführung der Felderhebungen wurden in enger Zusammenarbeit mit den regionalen Partnern des Verbundprojektes ausgewählt. In den Untersuchungsjahren 2005-2007 wurden die Praxisversuche in einzelnen, unveränderten Partnerbetrieben durchgeführt. In der Regel wurden dieselben Flächen bzw. benachbarte Flächen für die Durchführung der Untersuchungen gewählt.

Ausgangspunkt für die Auswahl der zu untersuchenden Kulturarten war die Hypothese, dass sich die Habitatnutzung der Ackerflächen nicht an artbezogenen Spezialisierungen orientiert, sondern indirekt über die von den Kulturarten bereitgestellten Habitateigenschaften, wie Vegetationsstruktur, Vegetationsdichte, Anbauzeitraum, Mehrschichtigkeit und Dynamik der Bestandesentwicklung über das Jahr geregelt wird. Dieser Annahme folgend wurden die zu untersuchenden Kulturarten nicht mehr einzeln betrachtet, sondern als stellvertretend für eine Gruppe von Kulturarten mit ähnlichen Habitateigenschaften. Dieses Vorgehen gestattete es auch, über einzelne Kulturarten hinweg zu verallgemeinern und die Ergebnisse auf Kulturarten mit ähnlicher Habitatstruktur und -dynamik zu übertragen.

Die Grundlage für die Ableitung eines einheitlichen Beprobungsdesigns für die Praxisuntersuchungen bildete eine vorausgehende Klassifikation aller im Verbundprojekt vorkommenden Kulturpflanzen und Kulturarten/Nutzungszielkombinationen (N=84) hinsichtlich ihrer Vegetationsstruktur und -dynamik durch eine Clusteranalyse. Als Ergebnis dieser statistischen Auswertung konnten fünf Hauptgruppen von Kulturarten mit unterschiedlichen Eigenschaften identifiziert werden (Abbildung 24). Hauptkriterien für die Gruppenzuordnung waren die Bodenbedeckung durch die Kulturpflanzen in ihrer jährlichen Dynamik (früh, spät im Jahr), die Zeitdauer der Bodenbedeckung (Vegetationszeit) und das Vorhandensein eines Blühaspektes bei durch Insekten bestäubten Kulturpflanzen. Die in der Abbildung 24 genannten Kulturarten sind dabei als beispielhafte Nennung zu verstehen, hinter welcher sich andere Kulturarten mit ähnlichen Eigenschaften subsummieren. An diesen fünf Hauptgruppen orientierte sich die Auswahl der zu untersuchenden Kulturarten in den unterschiedlichen Bundesländern.

Auf den Praxisschlägen wurden die Untersuchungen zur Habitatnutzung durch die Zielorganismengruppen in den in der Tabelle 20 aufgeführten Fruchtarten und Zeiträumen durchgeführt. Im ersten Untersuchungsjahr 2005 konnten wegen des späten Projektbeginns nicht alle gewünschten Kulturarten bei den Kooperationsbetrieben aus der Praxis zur Verfügung gestellt werden. Aus diesem Grunde konnten im Jahr 2005 in Bayern nur Körnerleguminosen, Sommer- und Wintergetreide, in Thüringen nur Mais, Sudangras, Körnerleguminosen und mehrjähriges Ackerfutter und in Mecklenburg-Vorpommern nur Mais und Körnerleguminosen untersucht werden.

Die Flächen mit Mais- und Winterweizenanbau werden bei allen Untersuchungen als regionale Referenzen für die anderen, teilweise neuartigen Varianten des Energiepflanzenanbaus betrachtet. Die Untersuchungen wurden an den in Abbildung 25 zusammengefassten Standorten in den Bundesländern Bayern, Thüringen und Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Nicht in jedem Fall findet bereits eine energetische Verwertung der Biomasse von den untersuchten Schlägen statt.

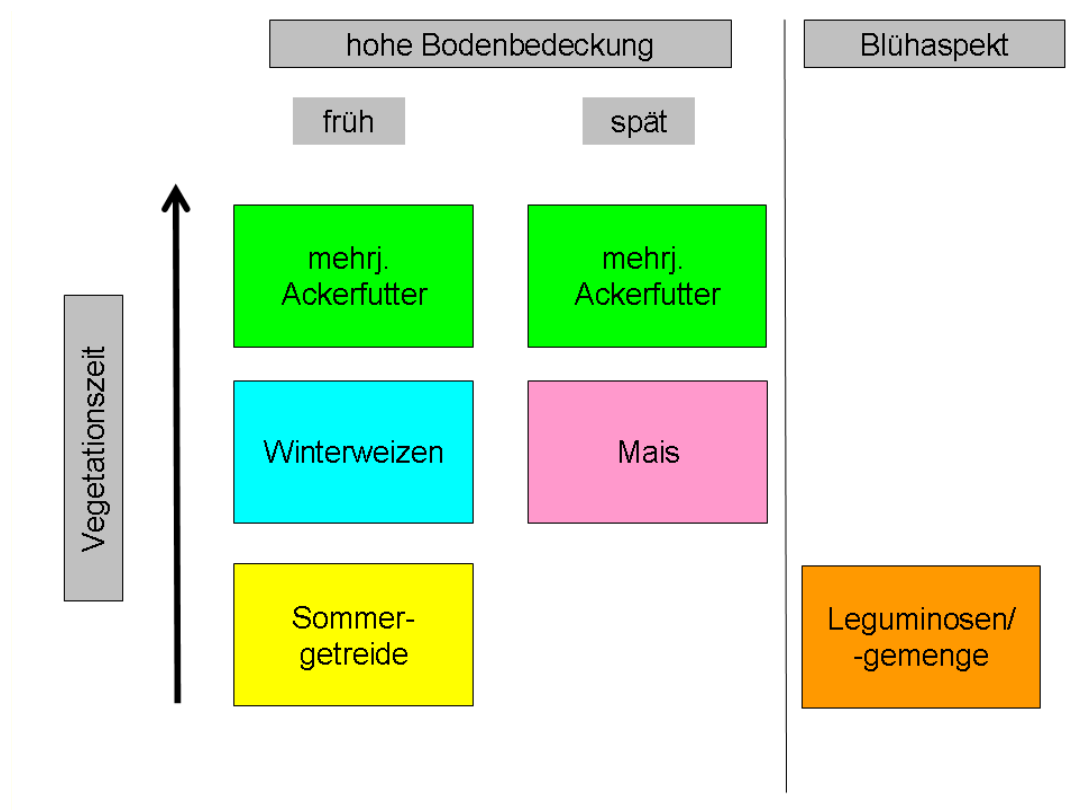


Abbildung 24: Ergebnis der Clusterung aller im Verbundprojekt untersuchten Kulturarten bzw. Nutzungsarten (N=84) hinsichtlich ihrer Anbauzeiträume (Vegetationszeit), der monatlichen Verteilung der Bodenbedeckung durch die Kulturpflanzen und dem Vorhandensein eines insektenrelevanten Blühaspektes

Tabelle 20: Praxisbetriebe und untersuchte Fruchtarten 2005 bis 2007 (SF - Beikrautflora, LK - Laufkäfer, BB - Blütenbesucher)

Bundesland	Ort	Fruchtart	Untersuchungen	Zeitraum
Bayern	Mauern	Winterweizen	SF, LK, BB	IV - VII
	Haslach	Erbsen/Leindotter-Gem.	SF, LK, BB	IV - VII
	Enghausen	Mais	SF, LK, BB	V - IX
	Haslach	Hafer bzw. Hafer/Leindotter-Gemenge	SF, LK, BB	IV - VII
	Hagsdorf	Rotklee/Luzerne-Gras	SF, LK, BB	IV - IX
Thüringen	Pahren	Winterweizen	SF, LK, BB	IV - VII
	Pahren	Mais	SF, LK, BB	V - IX
	Pahren	Erbsen	SF, LK, BB	V - VII
	Pahren	Hafer	SF, LK, BB	V - VII
	Dittersdorf	Kleegras	SF, LK, BB	IV - IX
Mecklenburg-Vorpommern	Lübesse	Winterweizen	SF, LK, BB	IV - VII
	Lübesse	Mais	SF, LK, BB	IV - VIII
	Lübesse	Erbsen	SF, LK, BB	IV - VII
	Lübesse	Hafer	SF, LK, BB	IV - VII
	Hülseln	Kleegras	SF, LK, BB	IV - IX



Abbildung 25: Lage der Standorte für die Durchführung der biotischen Erhebungen in Praxisbetrieben in den Jahren 2005-2007

2 Material und Methoden

2.1 Felderhebungen

Auf jedem der ausgewählten Praxis schläge wurde in der Feldmitte ein Probenahmetransekt von 40 m Länge und 30 m Breite angelegt. Entlang der Mittellinie dieses Transekts wurden jeweils in 10 m Abstand epigäische Bodenfallen für Spinnen und Laufkäfer in den Boden eingegraben. Zwischen den Bodenfallen wurden zusätzlich 4 Gelbschalen für die Untersuchung der Blütenbesucher installiert. Die Gelbschalen wurden der Entwicklung der Bestandeshöhe jeweils so angepasst, dass sich diese knapp über der Bestandeshöhe befanden. Die Fallen wurden mit einer Fangflüssigkeit (1 % Formol + Detergenz) bestückt. Bodenfallen und Gelbschalen wurden in 14tägigem Rhythmus geleert. Eine Übersicht der detaillierten Erhebungstermine und Probenumfänge ist Tabelle 21 zu entnehmen. Die Bestimmung der Spinnen- und Laufkäferarten erfolgte am ZALF Müncheberg, für Blütenbesucher durch externe Experten.

Die Untersuchungsflächen für die Beikrautflora wurden in direkter Nähe zu den epigäischen Bodenfallen so angeordnet, dass in der weiteren Auswertung die Interaktionen zwischen Beikrautflora und Laufkäferzönosen interpretierbar sind, jedoch Störungen der Bestandesstruktur in der direkten Umgebung der Bodenfallen minimiert werden. Das heißt, die Boniturquadrate (1 m²) wurden in 2-3 m Entfernung neben den Bodenfallen angeordnet. Auf den Boniturquadraten erfolgte die Bestimmung der folgenden Parameter: Deckungsgrad Vegetation gesamt, Deckungsgrad Kulturpflanze gesamt und einzeln für die Mischungspartner (insofern relevant), Deckungsgrad Beikrautflora gesamt, Deckungsgrad der einzelnen Beikrautarten (alle Deckungsgradbestimmungen nach UJVAROSI (1974), modifiziertes Braun-Blanquet) und die Bestandeshöhe. Die Bonituren der Beikrautarten wurden kulturartenspezifisch zu 2-5 Terminen (analog Anlage zum Methodenhandbuch) auf jeweils 10 Boniturflächen je Untersuchungsschlag durchgeführt. Neben den Erhebungen auf den Flächen wurden die aktuellen Bewirtschaftungsdaten durch eine Befragung mit vorstrukturiertem Fragebogen bei den jeweiligen Landwirten ermittelt. Die nachgefragten Daten beinhalteten Angaben zur Vorfrucht, zum Dünge- und Pflanzenschutzmanagement, zur Sortenwahl und zu den Terminen der durchgeführten Maßnahmen. Diese Angaben wurden als Kovariablen für die Auswertung genutzt bzw. zur Charakterisierung des Bewirtschaftungseinflusses genutzt. Ergänzend dazu wurden weiterhin Daten zur landschaftlichen Umgebung der Untersuchungsschläge kartiert, um die Randeinflüsse zu dokumentieren. Für die Kartierung wurde ein einheitlicher selbstentwickelter Kartierungsbogen verwandt.

Tabelle 21: Übersicht der in den Jahren 2005-2007 durchgeführten Probenahmen auf Praxisflächen, differenziert nach Regionen und untersuchten Kulturarten

		Legu- minose	Sommer- getreide	Winter- getreide	Mais	mehrij. Acker- futter	N
Mecklenburg- Vorpommern	Termine*	-/6/6	-/6/6	-/6/7	7/7/8	-/9/10	
	Barberfallen	60	60	65	110	95	390
	Gelbschalen	48	48	52	88	76	312
	Beikrautflora	80	80	80	170	70	480
Thüringen	Termine*	-/6/6	-/6/7	-/7/6	5/9/9	-/10/10	
	Barberfallen	52	60	60	112	93	377
	Gelbschalen	44	52	48	85	76	305
	Beikrautflora	70	80	90	140	100	480
Bayern	Termine*	6/6/6	6/8/6	6/8/5	-/9/10	-/10/10	
	Barberfallen	80	95	90	79	90	434
	Gelbschalen	68	80	75	65	79	367
	Beikrautflora	100	100	100	90	80	480

*Termine: 2005/2006/2007

2.2 Statistische Auswertungen

Für die Auswertung der durch die Felduntersuchungen erhaltenen Daten wurden in Abhängigkeit von der Fragestellung verschiedene Methoden der Datenauswertung aus der landwirtschaftlichen und ökologischen Forschung angewandt.

Datenhaltung

Die Datenhaltung erfolgte als ACCESS-Datenbank separat für die einzelnen Organismengruppen. In der Datenbank wurden einfache Abfragen zur Häufigkeitsverteilung und anderen deskriptiven Statistiken für Arten und ökologische Gruppen durchgeführt. Im Programm ACCESS erfolgte auch die Verknüpfung der erhobenen Daten mit den am ZALF verfügbaren Datenbanken mit Informationen zum ökologischen Verhalten bzw. zum Bezug zu ökologischen Funktionen der einzelnen Arten. Die Datenbanken mit den ökologischen Informationen sind Eigenzusammenstellungen des ZALF, die aus einer Sammlung zitierfähiger wissenschaftlicher Einzelquellen hervorgegangen sind.

Mittelwertvergleiche

Für die Berechnung von Kulturartenunterschieden wurden Mittelwertvergleiche mittels einfaktorieller linearer Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Hierfür wurde die Statistiksoftware SPSS 16.0 (SPSS Inc. 2007) genutzt. In Vorbereitung der Varianzanalyse wurden die Fänge/Erhebungen für die einzelnen Fallen bzw. Boniturstellen im Jahr aufsummiert oder gemittelt. Durch diese Bearbeitung wird bereits ein Teil der zufälligen Varianz aus den Einzelerhebungen bereinigt. Die Varianzanalyse erfolgte mittels F-Test, die Unterschiede zwischen den Gruppen wurden mit dem Student-Newman-Keuls- und Tukey-Test geprüft. Die Darstellung der Boxplots erfolgte ebenfalls mit Hilfe von SPSS 16.0.

Kulturartenpräferenzen

Die Kulturartenpräferenzen der Einzelarten wurden sowohl deskriptiv durch Tabellenarbeit und die Berechnung des „Treue-Index“ (Fidelity-index nach CHYTRY ET AL., 2002) als auch statistisch mittels multivariater Ordination (siehe Multivariate Statistik) geprüft. Während bei der Tabellenarbeit anhand des reinen Vorkommens bzw. Fehlens von Arten in den einzelnen Kulturarten auf deren Präferenzen geschlossen wird, ist bei der multivariaten Ordination die Varianzerklärung durch die Kulturartenvektoren das Entscheidungsmerkmal für die Kennzeichnung von Kulturartenpräferenzen. Der Treue-Index wurde zur Verifizierung der deskriptiven Presence/Absence-Ergebnisse angewandt.

Zusammensetzung der Zönosen

Aus den mittleren Artvorkommen für die einzelnen Kulturen aus der zwei- bzw. dreijährigen Untersuchungszeit wurde untersucht, ob sich für die bodenaktiven Tiergruppen v. a. der Laufkäfer charakteristische Zusammensetzungen zeigen, die für die jeweilige Anbaukultur charakteristisch sind. Als Klassifikationsverfahren wurden dazu für die einzelnen Untersuchungsjahre Cluster-Analysen auf der Basis der Arten-Identität nach JACCARD (1902) (presence/absence-Daten) und der Individuen-Identitäten nach RENKONEN (1938) durchgeführt. Die Cluster wurden nach der „unpaired group median average (UPGMA)-Methode“ verschmolzen und grafisch dargestellt. Die der Berechnung zugrunde liegenden Matrizen erlauben zum einen die Aussage, welche Anbaukulturen aufgrund der Anzahl gemeinsamer Arten einander am ähnlichsten sind, zum anderen mit welchem Dominanzanteil die Arten in den verglichenen Kulturen zusammen vorkommen. Eine andere Methode der formalen Zönosenerkennung ist die Berechnung der charakteristischen Arten (RATSCHKE, 2001 für Spinnen). Hier werden zunächst für alle Arten einer Anbaukultur die Dominanzwerte ermittelt. Danach wird für die Gesamtheit der pro Jahr bzw. der Gesamtuntersuchungszeit die Nischenbreite nach COLWELL & FUYTUMA (1971) berechnet. Sie gibt die Häufigkeit des Vorkommens einer Art im gesamten Set der (jährlichen) Untersuchung an. Eine Art gilt als charakteristisch, hier für eine Anbaukultur, wenn sie eine Nischenbreite von $< 0,30$ und eine Dominanz von $\geq 0,32 \%$ besitzt.

Multivariate Statistik

Verfahren der multivariaten Statistik sind besonders geeignet, Varianzursachen in multivariaten Daten (z. B. Arteninventare, Artenzusammensetzungen) und die Korrelation von Arten oder ökologischen Gruppen zu Umweltvariablen (hier z. B. Kulturarten) hinsichtlich Art, Richtung und Strenge des Zusammenhanges aufzuzeigen. Aus diesem Grund werden diese Verfahren häufig in der modernen Ökologie oder im „Data mining“ eingesetzt. Für die Auswertung der Ergebnisse aus den Feldversuchen wurden am ZALF vor allem die Verfahren: Hauptkomponentenanalyse (zur Ermittlung der Varianzen zwischen den Merkmalen) und Kanonische Korrespondenzanalyse (direkte Gradientenanalyse zur Kennzeichnung des Zusammenhanges zwischen Artvorkommen bzw. der Belegung verschiedener ökologischen Gruppen mit der Kulturart als Gruppenvariable) angewandt. Hierfür wurde das Programmpaket CANOCO 4.5 genutzt. Als Inputvariablen wurden unstandardisierte Urdaten der einzelnen Wiederholungen verwendet. Die Interpretation der

Ergebnisse erfolgte über die durch die dargestellten Zusammenhänge erklärte Varianz in den Erklärungsvariablen bzw. den Korrelationskoeffizienten zwischen den Gruppenvektoren und den Erklärungsvariablen. Variablen mit sehr geringem Erklärungswert wurden nicht interpretiert und teilweise aus den Grafiken (nicht aus der Analyse!) entfernt, um eine bessere visuelle Übersichtlichkeit zu erreichen. Als Grafiken werden nur die ersten beiden Varianzachsen verwendet, die Varianzachsen 2 und 3 wurden gleichsam grafisch erstellt und bei der Interpretation berücksichtigt. Die Erhebungsjahre wurden jeweils als Kovariablen in die Analysen eingebunden.

Berechnung der Fruchtfolgeeffekte

Die Berechnung der Fruchtfolgeeffekte erfolgte datenbankbasiert den Grundlinien des Lebensraummodells folgend. Hierzu wurde zunächst die Klassifikation der insgesamt vorkommenden Kulturarten hinsichtlich ihrer Bestandesstruktur, Bestandesdynamik und des Blühaspektes eingearbeitet. Im zweiten Schritt wurden die regionalen, in den Felderhebungen ermittelten Arteninventare integriert und mit den dazugehörigen ökologischen Klassifikationen versehen. Danach erfolgte die Einarbeitung der kulturartenbezogenen Zusammenhänge, die aus den Feldversuchen in Algorithmenform ermittelt worden sind. Die anschließende Kalkulation berechnet aus den zugrunde gelegten drei Datenquellen die Fruchtfolgebewertungen für die regional geprüften Fruchtfolgen unter Berücksichtigung der regionalen Arteninventare. Im momentanen Entwicklungsstand ist die Kalkulation nur für die Bundesländer möglich, für welche alle drei Datenquellen verfügbar sind, also inklusive regionaler Dateninventare oder anderer regionaler biotischer Trainingsdaten.

Berechnung der Szenarien

Die Berechnung der Szenarien basierte auf den fruchtarten- bzw. fruchtfolgebezogenen Kalkulationen aus dem Lebensraummodell. Für die Szenarien wurden die Ergebnisse für die Fruchtfolgekalkulationen auf die Anteile der jeweils beteiligten Fruchtarten bezogen und die Auswirkungen auf die Zielgrößen berechnet. Für die Erntetermin-Berechnungen wurden Datensätze auf die veränderten Erntetermine angepasst und mit Datensätzen zur vollständigen Vegetationsperiode für die Kornnutzung mittels Mittelwertvergleichen verglichen. Nur signifikante Unterschiede wurden interpretiert.

3 Ergebnisse

3.1 Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen (Untersuchungen in Praxisbetrieben)

Vielfalt und Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften wildlebender Pflanzen und Tiere auf Ackerflächen werden vor allem durch das regionale Arteninventar, das Spektrum der angebauten Kulturpflanzenarten und durch die Intensität und Terminierung der jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen geprägt. Die naturräumlichen Gegebenheiten, wie Standort- und Bodeneigenschaften, das Klima und die vorhandenen Biotopstrukturen bestimmen die Artenvielfalt und Zusammensetzung des regionalen Arteninventars, welches das Set an potenziell auf Ackerflächen vorkommenden Arten darstellt. Im Unterschied zu natürlichen oder naturnahen Lebensräumen spielt die Spezialisierung der Arten mit Ausnahme der Anpassung an Störungsereignisse eine untergeordnete Rolle. Die meisten typischen Arten der Agrarlandschaften können auch in anderen Habitaten mehr oder weniger regelmäßig vorkommen, ihre Häufigkeit und Populationsgröße wird jedoch wesentlich durch die Art und Weise der landwirtschaftlichen Nutzung beeinflusst. Kulturpflanzen liefern hinsichtlich ihres Anbauzeitraumes, ihrer horizontalen und vertikalen Vegetationsstruktur zu verschiedenen Zeitpunkten über die Vegetationsperiode verteilt sowie durch spezielle Eigenschaften, wie zum Beispiel das Anlocken von Insekten über den Blühaspekt sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen für das Vorkommen oder Fehlen einzelner Arten oder Artengruppen. Diesem Grundzusammenhang folgte die Auswahl der Kulturpflanzenarten für die Untersuchungen auf Praxisflächen (siehe Methodenkapitel). Die identifizierten Kulturarten decken nicht nur den überwiegenden Anteil der denkbaren Kulturartenkonstellationen für den Energiepflanzenanbau ab, sondern stehen auch stellvertretend für andere, nicht explizit untersuchte Kulturpflanzen mit ähnlichen strukturellen Eigenschaften.

3.1.1 Beikräuter

Artenanzahlen und -abundanzen

In den einzelnen Untersuchungsgebieten wurden im Rahmen der zwischen 2005 und 2007 durchgeführten Felduntersuchungen zwischen 77 (Bayern), 60 (Thüringen) und 66 (Mecklenburg-Vorpommern) verschiedene Beikrautarten auf den Ackerflächen festgestellt. Diese Arten beschreiben das regionale Beikrautinventar und werden für alle nachfolgenden, regionsbezogenen Kalkulationen verwendet.

Die Anzahl der insgesamt vorkommenden Beikrautarten wurde durch die Kulturart vor allem über die Länge ihres Anbauzeitraumes beeinflusst. In der Tendenz kamen im mehrjährigen Ackerfutter, im Mais und im Wintergetreide mehr Arten vor als im Sommergetreide und in den Körnerleguminosen. Innerhalb der Gruppen waren die Unterschiede gering. In Tabelle 22 sind die über die Boniturtermine und die einzelnen Untersuchungsplots gemittelten Artenanzahlen und Artmächtigkeiten (Abundanzen) dargestellt. In einheitlichen Terminspannen kommen nach dieser Auswertung signifikant weniger Arten im

Mais vor, während die Beikrautdeckungsgrade vor allem in Körnerleguminosen erhöht sind.

Für das mehrjährige Ackerfutter waren starke Unterschiede zwischen den Ergebnissen in den einzelnen Untersuchungsgebieten festzustellen, was die Belastbarkeit des Ergebnisses für die Abundanz einschränkt. In der Artenanzahl kamen im Trend weniger Arten im Ackerfutter vor als vergleichsweise im Winter- und Sommergetreide. Klar sichtbar ist jedoch der Einfluss der Bewirtschaftungsweise. Auf den ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen im Untersuchungsgebiet Bayern traten zwischen 150-300 % so viele Beikrautarten auf als auf den integriert bewirtschafteten Flächen in den anderen Untersuchungsgebieten.

Tabelle 22: Mittlere Artenanzahl und Abundanz der Beikräuter in den untersuchten Kulturarten (Gemittelt pro Jahr und Boniturtermin aus je 10 Boniturflächen 2006-2007)

Gruppe	Anbaufrüchte	Mittlere Artenanzahl			Abundanz*		
		BY	TH	MV	BY	TH	MV
A	Wintergetreide	14,3 ^{ax}	9,2 ^a	5,4 ^a	14,5 ^{abx}	11,4 ^b	6,7 ^b
B	Sommergetreide	13,0 ^{ax}	9,1 ^a	5,9 ^a	12,0 ^{bx}	7,1 ^b	4,7 ^b
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	12,9 ^{ax}	6,2 ^{bc}	5,2 ^{ab}	22,9 ^{ax}	21,2 ^a	9,4 ^{ab}
D	Mais, Sudangras	3,9 ^b	7,1 ^{ab}	3,4 ^b	0,8 ^c	11,1 ^b	6,1 ^b
E	Mehrjähriges Ackerfutter, Kleegras	5,5 ^b	4,0 ^c	5,1 ^{ab}	12,6 ^b	5,8 ^b	14,8 ^a

* Abundanzen gemessen in mittlerem Deckungsgrad insgesamt, ^{a,b,c} - Signifikanzschwellen nach Tukey-HSD-Mittelwertvergleich, ^x - Fläche ökologisch bewirtschaftet (ohne Herbizide), BY - Untersuchungsgebiet in Bayern, TH - Untersuchungsgebiet in Thüringen, MV - Untersuchungsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern

Kulturartenpräferenzen

Auch wenn man von echten Kulturartenbindungen im Vorkommen der Beikrautarten nicht sprechen kann, so treten dennoch deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung der Beikrautflora in den einzelnen Kulturarten auf, welche in den unterschiedlichen ökologischen Ansprüchen der einzelnen Arten begründet sind. Als Ergebnis der Felduntersuchungen in den Jahren 2005-2007 kann grundsätzlich festgestellt werden, dass jede der untersuchten Kulturartengruppen die regionale Vielfalt durch spezielle, zusätzliche Arten bereichert hat. Der zahlenmäßige Beitrag und der Grad der Ausprägung der Kulturartenpräferenzen für die Beikrautarten variierte zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten. Bei der Auswertung der Erhebungsdaten wurden die folgenden Kategorien unterschieden: P - ausgeprägte Kulturartenpräferenz (Vorkommen nur in einer Kulturart festgestellt), TP - teilweise ausgeprägte Kulturartenpräferenz (kommt in mehreren, ähnlichen Kulturarten vor) und U - keine Kulturartenpräferenz (U - Ubiquist, kommt in nahezu allen Kulturarten vor). Wie Tabelle 23 zu entnehmen ist, waren die Verhältnisse zwischen diesen Kategorien in Bayern anders ausgeprägt als in Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen. Mit dem Anbau von Mais und mehrjährigem Ackerfutter wurden in Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen zahlreiche zusätzliche, nur in diesen Kulturen vorkommende Arten gefördert, in Bayern war der Einfluss dieser beiden Kulturen sehr gering. Auch die Anteile von Arten

ohne Kulturartenpräferenz (Ubiquisten) waren zwischen den Untersuchungsregionen unterschiedlich ausgeprägt. In Mecklenburg-Vorpommern war der Anteil an ubiquitären Arten sehr gering, in den anderen beiden Untersuchungsregionen, machte er etwa ein Viertel des regionalen Gesamtinventars aus (die Werte in Tabelle 23 überschneiden sich und dürfen nicht aufsummiert werden!). Der Anteil von Arten, die jeweils nur in einer Kulturartengruppe vorkamen betrug in Bayern 31 %, Thüringen 53 % und Mecklenburg-Vorpommern 64 %. Der Ackerfutteranbau wies, mit Ausnahme des bayrischen Standorts, den höchsten Beitrag von Arten mit stark ausgeprägten Präferenzen auf.

Tabelle 23: Fruchtartenpräferenz der Beikrautarten in den untersuchten Kulturarten

(Anzahl von Arten, P - Präferenz zu einer speziellen Fruchtart, TP - Präferenz zu einer Gruppe von Kulturarten, U - keine Präferenz zu einzelnen Fruchtarten bzw. -gruppen)

Gruppe	Anbaufrüchte	Bayern			Thüringen			Mecklenburg-VP		
		P	TP	U	P	TP	U	P	TP	U
A	Wintergetreide	10	28	15	4	12	15	7	7	4
B	Sommergetreide	6	26	16	2	5	15	7	7	5
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	6	28	16	5	10	13	5	7	5
D	Mais, Sudangras	1	3	8	9	9	13	8	7	5
E	Mehrfähriges Ackerfutter, Klee gras	1	6	15	12	9	15	15	3	3

Mit Hilfe eines speziellen statistischen Werkzeuges, der kanonischen Korrespondenzanalyse, wurde die Wirkung der unterschiedlichen Kulturarten auf die Populationsgrößen (Abundanzen) der einzelnen Arten weitergehend analysiert. Mit diesem Verfahren kann verdeutlicht werden, wie stark der Diversitätsbeitrag der einzelnen Kulturarten im Vergleich zueinander ausfällt und anhand welcher Einzelarten die Unterschiede zwischen den einzelnen Kulturarten beschrieben werden können (Abbildung 26). Die erzielten Ergebnisse sollen exemplarisch am Beispiel des Untersuchungsgebietes in Mecklenburg-Vorpommern grafisch dargestellt werden. Die grundsätzlichen Unterschiede zu den anderen Untersuchungsgebieten werden im Text diskutiert. Die Artenzusammensetzung und Dominanzverhältnisse in der Beikrautflora konnten für die Untersuchungsflächen in den Praxisbetrieben zu 21-31 % durch die Kulturartenwahl erklärt werden (Varianzerklärung: Bayern: 21 %, Thüringen 31 % und Mecklenburg-Vorpommern 26 %). Dieser Wertebereich erscheint angesichts der bekannten, nicht untersuchten Einflussfaktoren, wie z. B. Witterung und Standorteinflüsse realistisch. Auf etwa 10 % der vorkommenden Arten übten einzelne Kulturarten einen sehr starken Einfluss auf deren Populationsentwicklung aus (Varianzerklärung > 40 %), weitere 40 % der regional vorkommenden Arten wurden mittel (> 20 %) oder mäßig (> 10 %) durch die Wahl der angebauten Kulturarten in ihrem Vorkommen beeinflusst. Insgesamt hatte die Kulturartenwahl einen deutlichen Einfluss auf das Vorkommen und die Populationsentwicklung von etwa 50 % des regionalen Arteninventars. Zu den Gemeinsamkeiten, die in allen Untersuchungsgebieten festzustellen waren, gehört die Feststellung, dass der Anbau mehrjährigen Ackerfutters die Artendiversität (gemessen an der Gesamtvarianz im Datensatz, zu sehen an der Aufspannung der x-Achse) am stärksten bereichert hat. Dies lässt sich an der Länge der Pfeile und ihrer gegensätzlichen Anordnung in Abbildung 26 ablesen. Die Ergebnisse der Korrespondenzanalyse

zwischen dem Artenvorkommen und den angebauten Kulturarten offenbarten für alle drei Regionen gleichermaßen, dass der Anbau mehrjähriger Kulturarten (hier. mehrjähriges Ackerfutter) die Artenvielfalt am stärksten bereicherte. In Mecklenburg-Vorpommern und Bayern erwies sich der Maisanbau als zweitstärkster Einflussfaktor auf die Varianz-erklärung in der Artenzusammensetzung, in Thüringen nahm diesen Platz der Anbau von Sommergetreide (Hafer) ein. Der drittstärkste Einflussfaktor war der Wintergetreideanbau (Bayern, Thüringen, Mecklenburg-Vorpommern) im Wechselspiel mit dem Anbau von Körnerleguminosen (Bayern), Sommergetreide (Mecklenburg-Vorpommern) oder Mais (Thüringen). Die Auswahl der Kulturpflanzen übt also einen sehr wesentlichen Einfluss darauf aus, wie dominant die einzelnen Arten werden können. Dieser Einfluss lässt sich insbesondere für die hochsteten Arten statistisch sichern. Die Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern zeigen, dass sich im mehrjährigen Ackerfutter vor allem mehrjährige Gräser und Kräuter vermehren konnten, die in einjährigen Kulturen oft keine Überlebenschancen finden, wie z. B. Sauerampferarten, Schafgarbe und Löwenzahn. Vom Winterweizenanbau profitierten demgegenüber vor allem winterannuelle Gräser und Kräuter, wie Acker-Frauenmantel, Hirtentäschel, Windhalm und Schmalwand, aber auch die im Frühjahr keimenden Unkrautkamillen. Im Mais kamen sommerannuelle, wärmeliebende Arten (Unkrauthirs, Knöterich-Arten) zu einer verstärkten Vermehrung.

Ökologische und funktionale Gruppen

Für die Bewertung der kulturartenbezogenen Effekte auf die Beikrautflora und die Übertragung der gefundenen Unterschiede über den vorliegenden Satz an erhobenen Daten hinaus, ist es notwendig, über die einzelnen Arten hinweg zu extrapolieren. Ein gängiges Verfahren in der Ökologie ist dafür die Aggregation der artenbezogenen Informationen zu verschiedenen ökologischen, physiologischen und funktionellen Gruppen. Für die Beikrautflora wurden hierfür vor allem Klassifikationen hinsichtlich der taxonomischen Einordnung (Familien), Vermehrungsstrategie (Lebensform, Samenbanktyp), Standortansprüche (Licht-, Temperatur- und Feuchtezeiger), Keimungsansprüche (Saison), landwirtschaftlichen Relevanz (Problemart, Samenbanktyp, Habitatbindung-Acker, Rosettentyp) und ökologischen Funktion (Blütenpflanze, Blühzeit, Familien) analysiert.

Die Beeinflussung der einzelnen ökologischen Gruppen durch die einzelnen Kulturarten ist abhängig vom regionalen Arteninventar bzw. der Präsenz und Abundanz der jeweiligen ökologischen Gruppe in den Regionen. Die Untersuchungsergebnisse aus den Felderhebungen zeigten deshalb kein einheitliches Bild. Tabelle 24 fasst exemplarisch die Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern zusammen. Nachfolgend werden nur solche Unterschiede als Trends hervorgehoben, die in mindestens zwei der drei Untersuchungsgebiete gleichgerichtet beobachtet wurden und für die

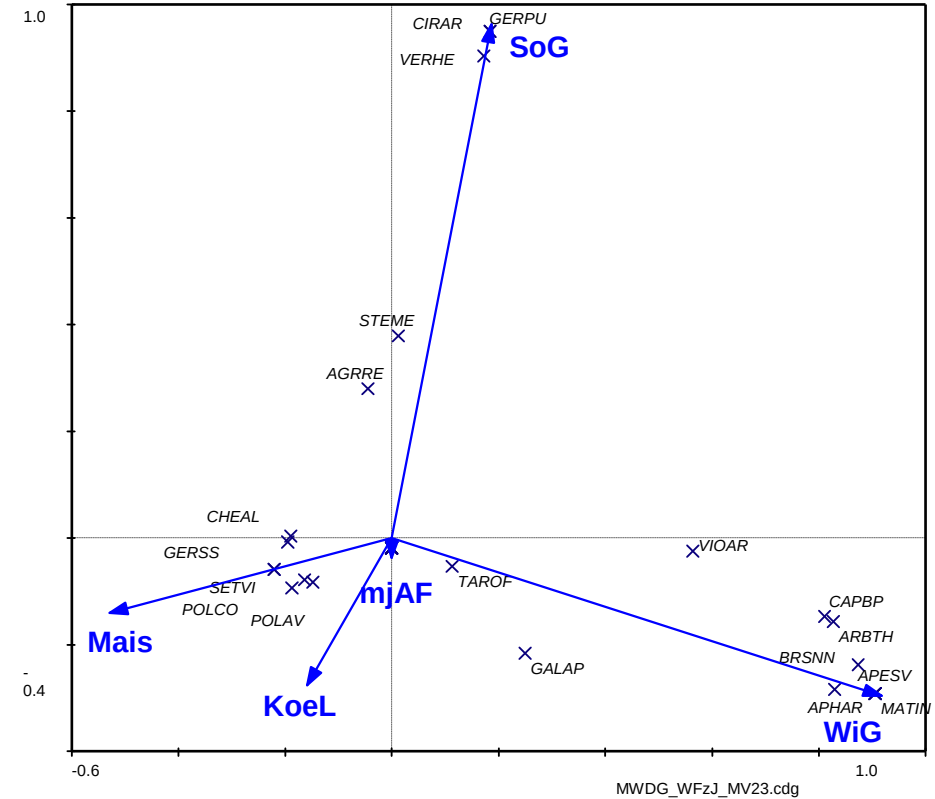
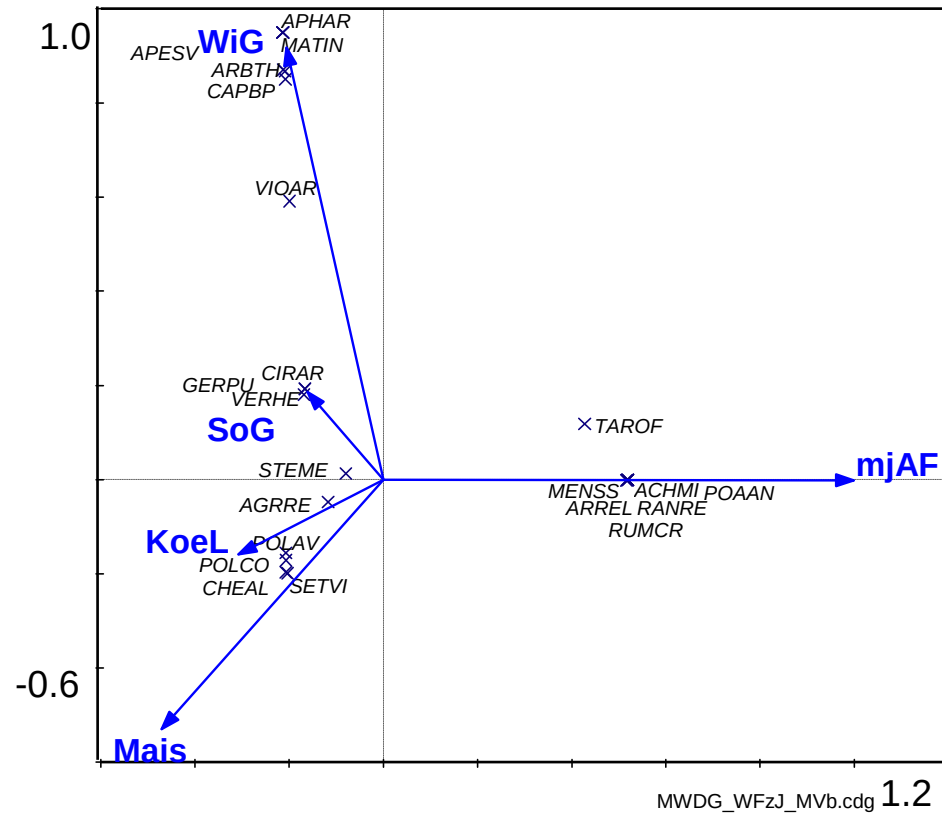


Abbildung 26a, b: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Beikrautflora und der angebauten Kulturart, a.) erste (x) und zweite (y) Varianzachse; b.) zweite (x) und dritte (y) Varianzachse

(dargestellt ist der Beitrag der Kulturarten zur Gesamtvarianz im Datensatz und die Kürzel der Arten anhand derer der Zusammenhang erklärt werden kann, Korrelation zwischen Artvorkommen und Kulturart, Felddaten, mittlerer Deckungsgrad, Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern, Daten 2005-2007, Abkürzungen Artnamen siehe Anhang)

einzelnen Untersuchungsgebiete statistisch abgesichert sind. Arten der Familie der Korbblütler (*Asteraceae*) erreichten vor allem im mehrjährigen Ackerfutter hohe Abundanz, während sie im Mais und im Sommergetreide nur sehr kleine Populationen entwickeln konnten. Lippenblütler (*Lamiaceae*) erreichten im Winter- und Sommergetreide höhere Deckungsgradanteile als vergleichsweise im Mais und im mehrjährigen Ackerfutter. Grasartige Beikräuter (*Poaceae*) erreichten höhere Werte im Wintergetreide und im mehrjährigen Ackerfutter, geringere im Sommergetreide und in den Körnerleguminosen. Der Mais- und Körnerleguminosenanbau erhöhte die Abundanzwerte der Knöterichgewächse (*Polygonaceae*) vor allem im Vergleich zum Winter- und Sommergetreideanbau.

Tabelle 24: Zusammensetzung der Beikrautflora gruppiert nach ökologischen Gruppen, taxonomischer Zuordnung oder landwirtschaftlicher Bedeutung

(angegeben sind mittlere Artenanzahlen je Wiederholung und Jahr, abcd indizieren statistisch abgesicherte Unterschiede, Felderhebungen 2005-2007, Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern)

Ergebnisse Varianzanalyse (ANOVA)		Kulturartengruppe				
Parameter	Abkürzung	Wintergetreide	Sommergetreide	Leguminosen	Mais	Mehrj. Ackerfutter
Asteraceae	Asterac	3,2b	1,2b	0,0b	0,3b	20,5a
Brassicaceae	Brassic	2,3a	0,2b	0,0b	0,0b	0,0b
Lamiaceae	Lamiac	0,0b	0,2b	0,0b	0,0b	0,9a
Poaceae	Poac	1,7b	7,3ab	5,1b	16,0a	9,2ab
Polygonaceae	Polygon	0,2b	1,9b	27,2a	39,5a	1,4b
Scrophulaceae	Scroph	0,0b	1,2a	0,1b	0,0b	0,3b
Winterannuelle Art	T12	3,7a	1,5b	0,9b	0,1b	1,7b
Ganzjährig keimende Art	T1234	29,1a	5,9b	4,1b	0,5b	0,3b
Sommerannuelle Art	T34	0,3b	2,9b	30,2b	61,6a	0,0b
Sprossrhizomart	G1	0,0b	7,3b	2,4b	7,4b	21,8a
Wurzelrhizomart	G3	0,0b	1,1a	0,0b	0,0b	0,0b
Hemikryptophyt	H	0,1b	0,0b	0,0b	1,7b	21,3a
Frühblüher	Bluev_4	27,1a	6,8b	4,2bc	0,5c	2,3bc
Frühsommerblüher	Bluev_56	5,8b	7,9b	4,0b	9,6b	42,8a
Sommerblüher	Bluev_7	0,2b	3,9b	29,5b	61,2a	0,9b
Blütenpflanze	Bluepf	30,2a	8,6b	4,9b	1,3b	38,0a
Licht-Zeigerwert	L	6,4d	6,7c	6,8bc	7,1ab	7,3a
Temperatur-Zeigerwert	T	4,1c	5,7a	5,9a	5,9a	5,0b
Feuchte-Zeigerwert	F	4,9ab	4,7ab	4,7ab	4,7b	5,2a
Art ohne Rosette	Eros	2,5b	13,6b	33,8b	70,8a	9,9b
Halbrosettenpflanze	Hros	30,2a	5,2b	3,8b	0,7b	38,2a
Rosettenpflanze	Ros	0,4ab	0,0b	0,0b	0,0b	0,7a
Überlebensdauer Samen	SB_MG	5,2a	3,8c	4,3bc	3,9c	4,7ab
Typische Ackerart	Acker	33,1b	18,2b	37,6b	69,9a	4,1b
Sekundäre Ackerart	Acker_s	0,0b	0,5b	0,1b	1,5b	36,8a
Gelegentliche Ackerart	Acker_t	0,0b	0,0b	0,0b	0,0b	1,8a
Hauptzielart Pflanzenschutz	ProbArt	5,8b	10,6b	6,1b	30,9a	4,3b

Im Wintergetreide waren folgende Gruppen mit hohen Abundanzwerten vertreten: winterannuelle Arten, Früh- und Frühsommerblüher, insektenbestäubte Blütenpflanzen allgemein und Arten mit einer geringeren Ausdauer im Bodensamenvorrat. Sommergetreideanbau wirkte förderlich auf winterannuelle Arten und Arten mit längerer Ausdauer im Bodensamenvorrat. In den Körnerleguminosen erreichten ganzjährig keimende Arten, Sommerannuelle, Sommerblüher und Halbrosettenpflanzen höhere Abundanzen als in anderen Kulturen. Mais wirkte förderlich auf Sommerannuelle, Sommerblüher und Arten mit höherem Lichtzeigerwert, typische Ackerarten überwogen. Insgesamt war die Abundanz insektenrelevanter Blühpflanzen jedoch geringer als in anderen Kulturen. Im mehrjährigen Ackerfutter war insbesondere der Anteil von mehrjährigen Arten mit und ohne vegetative Vermehrung deutlich erhöht, vor allem der Anteil sekundärer und tertiärer Ackerarten nahm zu, der Anteil von Blütenpflanzen, von licht- und feuchtebedürftigen Arten erhöhte sich. Das Ackerfutter trug ebenfalls wesentlich dazu bei, dass mehrjährige Pflanzenarten (vor allem *Hemikryptophyten*), Arten die den Acker nur als Ausweichlebensraum nutzen sowie sich vegetativ vermehrende Arten (Rhizom- und Pfahlwurzelarten) und Rosettenpflanzen verstärkt vorkamen.

3.1.2 Laufkäfer

Artenanzahlen und -abundanzen

Die Unterschiede in den Artenanzahlen variierten in den einzelnen Fangjahren stark. Die jährliche Artenanzahl bewegt sich in den Einzelkulturen zwischen 22 (Maisanbau in Thüringen 2007) und 46 (Sommergetreide in Mecklenburg-Vorpommern 2006). Die Individuenzahlen unterlagen einer noch größeren Variation. Die Zahlen bewegen sich zwischen 254 Individuen (Wintergetreide in Bayern 2007) und 5634 Individuen (Körnerleguminosen in Bayern 2007) je Fangperiode. Im Mittel der Jahre traten die niedrigsten Arten- und Individuenzahlen in allen drei Bundesländern im mehrjährigen Ackerfutter auf (Tabelle 25). Die höchsten Werte sind in Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen im Wintergetreide, in Bayern in den Körnerleguminosen zu verzeichnen (Tabelle 25). In Thüringen zeigte im Jahr 2006 die Untersuchungsfläche mit Wintergetreideanbau die höchsten Individuenzahlen, im Jahre 2007 waren es die Körnerleguminosen. In Körnerleguminosen wurden in Bayern in der gesamten Fangperiode rund 22-mal mehr Laufkäferindividuen gefangen als im Wintergetreide. In Thüringen betrug das Verhältnis lediglich 7 : 1, in Mecklenburg-Vorpommern kehrte es sich sogar um (0,4 : 1). Im Vergleich zwischen den Bundesländern und Untersuchungs-jahren gibt es lediglich zwei Übereinstimmungen: Die Artenanzahlen sind in Mecklenburg-Vorpommern im Mais am höchsten, die Individuenzahlen im Wintergetreide. Auffällig ist, dass die Individuenzahlen im Wintergetreide in Thüringen im Jahr 2007 um das Neunfache und im Sommergetreide in Bayern um das Sechsfache gegenüber dem Vorjahr zurückgingen, während die Artenanzahlen, zumindest in Bayern, relativ ähnlich hoch waren. Dieses Phänomen ist möglicherweise mit unterschiedlichen Witterungsverhältnissen in den beiden Jahren zu erklären.

Tabelle 25: Artenanzahl und Abundanz der Laufkäfer in den untersuchten Kulturarten

(angegeben sind die Mittelwerte der Arten- und Individuenzahlen, normiert auf 1 Falle, Leerungstermin und Jahr, abc indizieren statistisch abgesicherte Unterschiede (Tukey-Test, $p < 0,05$), Felderhebungen 2005-2007)

Gruppe	Anbaufrüchte	Mittlere Artenanzahl			Abundanz		
		BY	TH	MV	BY	TH	MV
A	Wintergetreide	8,8 ^{bcx}	9,7 ^a	11,9 ^a	72,6 ^{bx}	88,2 ^a	90,6 ^a
B	Sommergetreide	8,8 ^{bcx}	7,6 ^b	11,2 ^a	57,0 ^{bx}	41,2 ^b	47,7 ^b
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	10,6 ^{ax}	8,0 ^b	9,5 ^b	110,1 ^{ax}	74,9 ^a	29,1 ^c
D	Mais, Sudangras	9,9 ^{bc}	6,9 ^{bc}	10,7 ^{ab}	73,5 ^b	30,7 ^b	47,1 ^b
E	Mehrfähriges Ackerfutter, Klee-gras	7,7 ^c	6,3 ^c	5,8 ^c	26,7 ^c	24,7 ^b	20,7 ^c

a,b,c - Signifikanzschwellen nach Tukey-HSD-Mittelwertvergleich, ^x - Fläche ökologisch bewirtschaftet (ohne Herbizide), BY - Untersuchungsgebiet in Bayern, TH - Untersuchungsgebiet in Thüringen, MV - Untersuchungsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern

Kulturartenpräferenzen

Die Anzahl der „präferenten“ Arten war, mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern, sehr gering. Außer im Mais und im mehrjährigen Ackerfutter (Ausnahme Bayern) war die Anzahl der Ubiquisten in allen anderen Kulturarten stets am höchsten. Dies unterstreicht die geringe ökologische Spezialisierung der Laufkäferarten in den „klassischen“ Körner-Anbaufrüchten. Die Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) konnte zwischen 22,3 und 37,2 % der Varianz in der Artenzusammensetzung durch die Kulturartenwahl für die unterschiedlichen Untersuchungsgebiete erklären (Bayern: 22,3 %, Thüringen: 22,7 % und Mecklenburg-Vorpommern: 37,2 %) (Tabelle 26).

Tabelle 26: Fruchtartenpräferenz der Laufkäferarten in den untersuchten Kulturen, Jahre: 2005-2007

(Anzahl von Arten, P - Präferenz zu einer speziellen Fruchtart, TP - Präferenz zu einer Gruppe von Kulturarten, U - keine Präferenz zu einzelnen Fruchtarten bzw. -gruppen)

Gruppe	Anbaufrüchte	Bayern			Thüringen			Mecklenburg-VP		
		P	TP	U	P	TP	U	P	TP	U
A	Wintergetreide	0	11	21	2	14	23	4	25	15
B	Sommergetreide	0	5	23	0	10	16	0	15	25
C	Körnerleguminosen	1	18	18	0	8	18	0	12	20
D	Mais	2	16	8	1	13	10	1	24	21
E	mehrfähriges Ackerfutter	1	14	19	0	18	15	3	14	8

Zellen mit maximaler Artenanzahl sind farblich markiert

Abbildung 27 zeigt die grafische Darstellung der Ergebnisse der Kanonischen Korrespondenzanalyse für die Untersuchungen in Bayern. Die Grafik zeigt deutlich die Anbaufrüchte, welche die regionale Gesamtdiversität der Laufkäferfauna am stärksten beeinflussen (größte Varianzklärung- x-Achse). Auf der Achse der zweitgrößten Varianz im Datensatz (y-Achse) zeigt der Pfeil des mehrjährigen Ackerfutters (mjAF) auf eine Gruppe von Laufkäferarten der Gattung *Amara*, welche vorrangig in dieser Kulturart vorkommen

und die sich von den frischen Samen der Gräser ernähren (Ingerson-Mahar, 2002). Sommer- und Wintergetreide leisten einen geringeren Beitrag an der Gesamtartendiversität, was die Kürze der Pfeile anzeigt. In Mecklenburg-Vorpommern ist die Pfeillänge bei Mais, Körnerleguminosen und Sommergetreide ebenfalls nur kurz, jedoch sind sie alle drei der 1. Varianzachse (x) genähert, was eine erhöhte Varianzerklärung ausdrückt. In der Nähe der Pfeilenden sind die überwiegend in jeweiligen Anbaufrüchten häufig anzutreffenden Arten zu finden. In Thüringen besteht der größte Unterschied zwischen den Laufkäferzönosen für Körnerleguminosen, Mais und mehrjähriges Ackerfutter. Dies ist dadurch ersichtlich, dass die Pfeile der Kulturarten in unterschiedliche Quadranten des Diagramms zeigen.

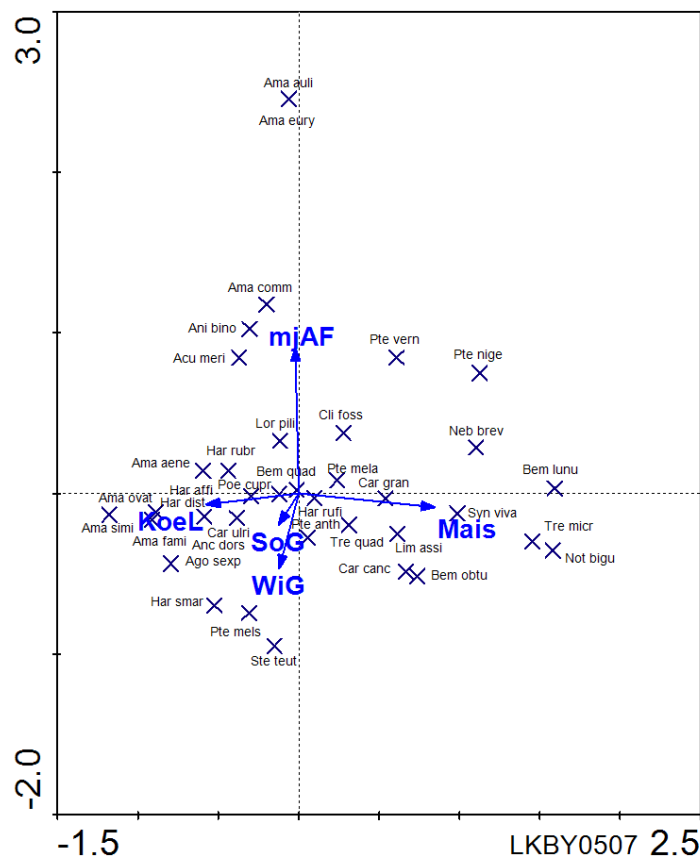


Abbildung 27: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Laufkäfer und der angebauten Kulturart in Bayern

(dargestellt ist der Beitrag der Kulturarten zur Gesamtvarianz im Datensatz und die Kürzel solcher Arten, anhand derer der Zusammenhang erklärt werden kann, Felddaten Untersuchungsgebiet Bayern, Daten 2005-2007, Abkürzungen Artnamen siehe Anhang, Arten unter 20 % Varianzerklärung wurden mit verrechnet, aber aus der Grafik entfernt, um die Übersichtlichkeit zu verbessern)

Ökologische und funktionale Gruppen

Neben den Effekten der Kulturpflanzenarten auf die Artenzusammensetzung wurde auch die quantitative Zusammensetzung der ökologischen und funktionalen Gruppen der Laufkäfer analysiert. Diese Auswertung ermöglicht eine Interpretation über einzelne Arten hinweg und die Berücksichtigung von Arten mit zum Teil geringen Individuenanzahlen.

Die Laufkäfer wurde die quantitative Verteilung (gemessen an der mittleren Individuendichte) der folgenden ökologischen Gruppen berücksichtigt: Habitatpräferenzen, Flügelverhältnisse, Überwinterungstypen und Körpermasseklassen. Die Buchstabenkürzel geben für das jeweilige Merkmal die Signifikanz der Werte als Ergebnis der Mittelwertvergleich (ANOVA) für die Kulturarten an. Die gelb unterlegten Zellen visualisieren besonders hohe, die rot unterlegten besonders niedrige Mittelwerte.

Die Ergebnisse aus Tabelle 27. zeigen, dass der Anbau von mehrjährigem Ackerfutter hygrophile, schwächer hygrophile sowie Arten ohne erkennbare Habitatpräferenz begünstigt. Diese ökologischen Gruppen sind im Wintergetreide mit den geringsten Individuenzahlen vertreten. Xerophile sowie schwächer xerophile Arten wurden im Sommergetreide gefördert, in den Körnerleguminosen traten sie in geminderter Anzahl auf.

Tabelle 27: Zusammensetzung der Laufkäferfauna, gruppiert nach ökologischen Gruppen, Habitatpräferenz, flugdynamische und Überwinterungstypen sowie Körpermasseklassen (KMK). (mittlere Individuenzahlen je Wiederholung und Jahr, abcd indizieren statistisch abgesicherte Unterschiede (Duncan-Test, $p < 0,05$), Felderhebungen 2005-2007, Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern)

Ergebnisse Varianzanalyse (ANOVA)		Kulturartengruppe				
Parameter	Abkürzung	Wintergetreide	Sommergetreide	Körnerleguminosen	Mais	mehrl. Ackerfutter
hygrophil+schwächer hygrophil (nasse+feuchtere Habitate bevorzugend)	h, (h)	4,1a	37,4ab	69,1b	64,3b	252,1c
xerophil+schwächer xerophil (trockene+trocknere Habitate bevorzugend)	x, (x)	157,5bc	229,7d	30,2a	178,0c	116,3b
ohne erkennbare Habitatpräferenz (eurytop)	eu	2,3a	21,2a	52,1b	24,4a	180,8c
feuchte Wälder und überwiegend feuchte Wälder	(h) w, (h)(w)	1,6a	2,2a	13,7b	1,6a	18,3b
trockenere Wälder und überwiegend trockenere Wälder	(x) w, (x)(w)	9,9a	15,3a	29,8b	17,0a,b	14,3a
Weidenart	WEI	1,3a	3,2a	59,8b	7,2a	143,3c
Arten trockener Freiflächen	HE, DUE, TR, KT	45,3c	36,8c	8,6ab	21,5b	1,6a
Ackerart	AC	104,7a	238,8b	124,1a	219,3b	410,9c
sowohl kurzflügelige als auch langflügelige Individuen existieren in einer Population der gleichen Art (dimorph)	di	77,4a	126,5b	103,8ab	126,2b	202,8c
langflügelig, potenziell flugfähig (macropter)	ma	95,9a	175,9b	92,1a	158,3ab	356,3c
überwintert ausschließlich als reifes Tier (Imagoüberwinterer)	I	55,9a	103,3ab	101,4ab	128,6b	391,2c
überwintert überwiegend als reifes Tier (teilweise auch als Larve überwinternd)	(I)	44,4b	45,7b	22,9a	57,2b	22,6a
überwintert überwiegend als Larve (teilweise auch als Imago überwinternd)	(L)	68,7a	145,5b	71,5a	96,2a	173,2b
Körpermasse von 0,1-4,9 mg	KMK I	47,6a	85,3b	46,7a	84,5b	109,8b
Körpermasse von 5,0-9,9 mg	KMK II	21,0a	21,8a	22,8a	19,6a	49,0b
Körpermasse von 10,0-29,9 mg	KMK III	90,3a	191,0bc	79,5a	176,1b	258,2c
Körpermasse $\geq 100,0$ mg	KMK V	17,9ab	3,5ab	1,0a	2,6ab	32,1b

Ein reduziertes Vorkommen trifft im Wintergetreide auch auf Arten feuchter sowie trockenerer Wälder zu. Erstgenannte waren im mehrjährigen Ackerfutter und letztgenannte in den Körnerleguminosen am häufigsten. Mit Ausnahme der Arten trockener Freiflächen,

die im Wintergetreide besonders hohe, mittlere Individuenzahlen besitzen, wirkte sich der das mehrjährigen Ackerfutters positiv auf die Aktivitätsabundanzen aller Arten mit den Habitatpräferenzen „Weiden“ und „Acker“ aus, während sich der Wintergetreideanbau reduzierend auf die gleichen Artengruppen wirkte. Macroptere Arten traten besonders selten in den Körnerleguminosen, dimorphe dagegen mit den niedrigsten Individuenzahlen im Wintergetreide auf. Die Maxima beider Flügeltypen traten im mehrjährigen Ackerfutter auf. Überwiegend als Imago überwinternde Arten waren besonders im Maisanbau, überwiegend als Larve überwinternde Arten im mehrjährigen Ackerfutter zu finden. Im Mais waren die Individuen der Körpermassenkategorie (KMK) II (5-9,9 mg) unterrepräsentiert, während im mehrjährigen Ackerfutter alle Körpermassenkategorien mit der höchsten Individuenzahl auftraten.

Zusammensetzung der Zönosen

Die Ergebnisse der Clusteranalyse auf der Basis der Individuenidentitäten sind für die Laufkäfer in Abbildung 28 für die Untersuchungsjahre 2005-2007 am Beispiel des Untersuchungsgebiets in Thüringen dargestellt. Als wichtigstes Ergebnis ist zu vermerken, dass die Ähnlichkeit in der Artenzusammensetzung der Laufkäferzönosen in den meisten Fällen zwischen den Anbaufrüchten am größten ist. Die Jahresunterschiede führten nicht zur Herausbildung eigener Cluster. Zum Beispiel bildet der Mais ein komplett eigenes Untercluster. Sommer- und Wintergetreide besitzen auch ähnlich strukturierte Carabidenzönosen. Auch das mehrjährige Ackerfutter weist zumindest für die Jahre 2006 und 2007 eine klar von den anderen Kulturarten abgrenzbare Artengemeinschaft auf.

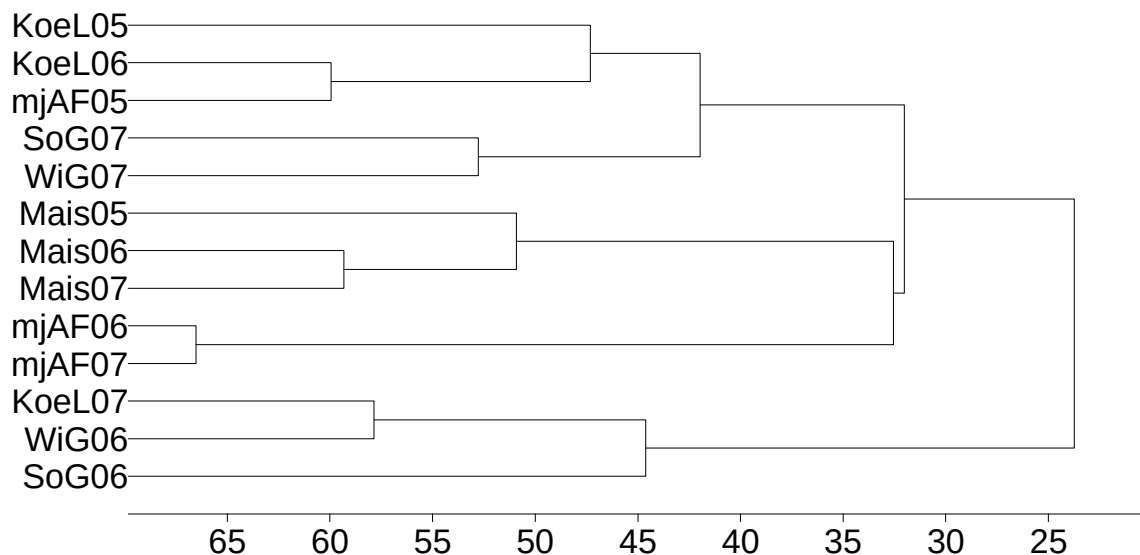


Abbildung 28: Clusterdiagramm für die Laufkäfer auf der Basis der Individuenidentitäten nach RENKONEN (1938).

(dargestellt sind die Ergebnisse der Untersuchungsjahre 2005-2007 für das Bundesland Thüringen, KoeL - Körnerleguminosen, mjAF - mehrjähriges Ackerfutter, SoG - Sommergetreide, WiG - Wintergetreide, 05, 06, 07 - Untersuchungsjahre)

Die Körnerleguminosen stehen nicht völlig isoliert, sondern bilden einerseits mit dem mehrjährigen Ackerfutter, auf der anderen Seite mit dem Getreide eine verwandte Gruppe. Damit schließt sich auch eine Verzerrung der Ergebnisse durch unterschiedliche Anbauzeiten der Kulturfrüchte aus. Ähnliche Aussagen können auch für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern getroffen werden. Das mehrjährige Ackerfutter, das Wintergetreide und die Körnerleguminosen wiesen eine eigenständige, abgrenzbare Carabidenzönose auf. Die Carabidenfunde im Mais zeigte in einzelnen Jahren Ähnlichkeiten mit den Carabiden im Sommergetreide und in einem anderen Jahr mit den Carabiden in Körnerleguminosen. Lediglich für das Untersuchungsgebiet Bayern lassen sich keine interpretierbaren Assoziationsmuster zwischen Kulturarten und der Zusammensetzung der Carabidenzönosen erkennen.

Die Dominanzgrade für die in den einzelnen Kulturarten vorkommenden Arten wurde zunächst für jede Anbaukulturen und für jedes Jahr getrennt auf Artebene berechnet, um die zeitliche Konstanz der charakteristischen Arten zu überprüfen. Im zweiten Schritt wurden die Individuen für die drei Untersuchungsjahre aufsummiert und auf dieser Basis die Dominanzwerte für alle in den drei Jahren aufgetretenen Arten berechnet.

Tabelle 28: Charakteristische Artenkombinationen der Laufkäfer für die Untersuchungsjahre 2005-2007 im Bundesland Thüringen

(Dominanzwerte, KoeL - Körnerleguminosen, mjAF - mehrjähriges Ackerfutter, WiG - Wintergetreide, SoG - Sommergetreide, Nb - Nischenbreite, ÖT - Ökologischer Typ, SP - Schwerpunkt vorkommen, 1)-4) - Anzahl der Untersuchungsperioden, in denen die Art als Charakterart in der jeweiligen Kulturfrucht identifiziert wurde)

Arten	KoeL	Mais	mjAF	WiG	SoG	Nb	ÖT	SP
<i>Amara aulica</i>	1,01 ²⁾	0,06		0,21	0,08	0,16	(x)	RU
<i>Bembidion quadrimaculatum</i>	1,44	14,19 ⁴⁾	0,07		1,02	0,10	(x)	AC
<i>Trechus quadristriatus</i>	0,55	12,92 ²⁾	4,53	0,41	1,74	0,26	(x)	AC
<i>Amara apricaria</i>	0,02	5,05 ³⁾		0,05		0,01	(x)	AC
<i>Amara consularis</i>	0,12	3,23 ²⁾	0,04	0,05	0,08	0,06	(x)	AC
<i>Calathus rotundicollis</i>		0,46 ²⁾				0,00	(h) w	FWA
<i>Amara familiaris</i>	0,14	0,14	1,90	0,05	0,46	0,28	(x)(w)	AC
<i>Carabus granulatus</i>	0,18		0,58	0,04		0,28	h (w)	NWA
<i>Abax parallelepipedus</i>			0,55			0,00	(h) w	FWA
<i>Brachynus explodens</i>	0,04		0,47			0,08	(x)	AC
<i>Carabus auratus</i>	0,04	0,03		5,99 ³⁾	0,64	0,03	(h)	AC
<i>Harpalus signaticornis</i>	0,14	0,20	1,42	1,95 ³⁾		0,23	(x)	AC
<i>Amara ovata</i>	0,14	0,23	0,07	1,01 ²⁾	0,15	0,20	(h)	RU
<i>Harpalus tardus</i>		0,03		0,51 ²⁾	0,15	0,09	(x)	RU

Dabei können die Arten herausgefiltert werden, welche in allen drei Untersuchungsjahren individuenreich in einer einzelnen Kulturart auftraten. Tabelle 28 zeigt die Ergebnisse für das Bundesland Thüringen. Die hochgestellten Zahlen hinter den Dominanzwerten zeigen die Anzahl der Fangperioden (incl. der summarisch berechneten für alle drei Untersuchungsjahre), in denen eine Art in der jeweiligen Anbaukultur als Charakterart auftrat. In Thüringen konnte in 4 Perioden eine Art im Mais, in 3 Perioden 2 Arten im Mais, 2 Arten im Wintergetreide und eine Art im mehrjährigen Ackerfutter als Charakterart identi-

fiziert werden. In 2 Fangperioden waren es jeweils eine Art in den Körnerleguminosen, 2 Arten im Mais, 2 Arten im mehrjährigen Ackerfutter und 2 Arten im Wintergetreide. Der Sommergetreide- und Körnerleguminosenanbau wies jeweils nur eine Charakterart in einer Anbauperiode auf. Insgesamt sind 13 Arten in mehr als einer Fangperiode als charakteristisch verzeichnet. Die Artenanzahl der als charakteristisch geltenden Arten ist in den einzelnen Fangperioden nicht sehr unterschiedlich (zwischen 14 und 17 Arten). Die meisten der Charakterarten sind schwach hygro- bzw. xerophil und haben in Ackerstandorten bzw. Ruderalflächen ihr Schwerpunktverkommen. In Mecklenburg-Vorpommern waren in den 4 Fangperioden insgesamt 15 charakteristische Arten ermittelt worden, die in mehr als einer Fangperiode in einzelnen Kulturfrüchten dominant waren. Die Anzahl der insgesamt als charakteristisch ausgewiesenen Arten war für jede Fangperiode sehr hoch (zwischen 23 und 24 Arten). Die Anzahl der charakteristischen Arten pro Fangperiode war in Bayern zwar im Mittel höher als in Thüringen (zwischen 10 und 24), jedoch wechselten viele der charakteristischen Arten von Jahr zu Jahr die Kulturarten. Insgesamt traten zehn Arten in mehr als einer Untersuchungsperiode in der gleichen Kulturfrucht als Charakterarten einzelner Kulturarten im Untersuchungsgebiet Bayern in Erscheinung.

3.1.3 Spinnen

Artenanzahlen und -abundanzen

Die Artenanzahlen der Spinnen zeigen große Schwankungsbreiten zwischen den Kulturarten (Tabelle 29). Dabei fallen vor allem die besonders großen Unterschiede in den Artenanzahlen in Bayern zwischen Mais und mehrjährigem Ackerfutter auf. Die Artenanzahl von 23 im Mais in Bayern im Jahre 2006 und 54 in den Körnerleguminosen in Thüringen im Jahr 2007 zeigen das Spektrum der beobachteten Artenanzahlen.

Tabelle 29: Artenanzahl und Abundanz der Spinnen in den untersuchten Kulturarten

(Mittelwerte der Arten- und Individuenzahlen, normiert je 5 Fallen, Leerungstermin und Jahr, Felderhebungen 2005-2007)

Gruppe	Anbauf Früchte	Mittlere Artenanzahl			Abundanz		
		BY	TH	MV	BY	TH	MV
A	Wintergetreide	7,7 ^{bx}	10,4 ^a	10,7 ^a	36,7 ^{bx}	80,0 ^a	61,1 ^a
B	Sommergetreide	7,1 ^{bx}	7,4 ^{cd}	10,2 ^a	38,6 ^{bx}	58,5 ^a	75,2 ^a
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	7,3 ^{bx}	9,0 ^b	6,0 ^c	48,6 ^{bx}	80,3 ^a	16,3 ^b
D	Mais, Sudangras	4,0 ^c	6,7 ^d	8,1 ^b	17,8 ^c	57,6 ^a	57,7 ^a
E	Mehrjähriges Ackerfutter, Klee gras	9,0 ^a	8,3 ^c	9,3 ^{bc}	68,2 ^a	61,4 ^a	66,6 ^a

a,b,c - Signifikanzschwellen nach Tukey-HSD-Mittelwertvergleich, x - Fläche ökologisch bewirtschaftet (ohne Herbizide), BY - Untersuchungsgebiet in Bayern, TH - Untersuchungsgebiet in Thüringen, MV - Untersuchungsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern

Im Unterschied zu den Laufkäfern (Tabelle 25) wurden die höchsten mittleren Arten- und Individuenzahlen in Bayern im mehrjährigen Ackerfutter gefunden. Im Mais waren die Werte in Bayern und Thüringen am niedrigsten, in Mecklenburg-Vorpommern waren die

niedrigsten Werte in den Körnerleguminosen zu finden. Die höchsten Individuenzahlen wurden in den beiden letztgenannten Bundesländern jeweils nicht in den gleichen Kulturarten gefunden, in denen die artenreichsten Spinnenzönosen festgestellt wurden. Mit Ausnahme der Individuenzahlen in Thüringen konnten statistisch signifikant von einander verschiedene Gruppen von Kulturarten wiesen jeweils die höchsten kumulativen Individuenzahlen pro Jahr auf. Die Individuenzahlen bewegen sich zwischen 457 (Körnerleguminosen in Mecklenburg-Vorpommern 2006) und maximal 5.310 (mehrfähriges Ackerfutter in Thüringen 2007). Dass die Aktivitätsabundanzen in dieser Anbaufrucht bei den Spinnen besonders hoch war, lag an einer großen Anzahl an Wolfspinnenarten begründet, welche nicht nur mit zahlreichen adulter Individuen, sondern auch mit vielen Jungtieren gefangen wurden. Die Jungtiere können sich in der dichten, grasreichen Vegetation gut entwickeln. Die Spinnenzönose von mehrjährigem Ackerfutter zeigte damit eine große Ähnlichkeit mit der von naturnahen Wiesen, die eine ähnliche Vegetationsarchitektur und vergleichbaren Feuchteverhältnisse besitzen (BONESS, 1958, SCHAEFER & HAAS, 1979, KAJAK, 1962). Im Gegensatz zu den Laufkäfern sind die Spinnen sowohl in strukturarmen als auch in strukturreichen Standorten individuenreich. Bedingt durch veränderte mikroklimatische Bedingungen, sind jedoch der Lebensformtyp als auch die Ökologie der vorkommenden Arten in strukturarmen und –reichen Standorten verschieden. In den strukturarmen Standorten sind andere Wolfspinnenarten als in den strukturreichen (mehrfähriges Ackerfutter, Körnerleguminosen) vorzufinden, jedoch nahezu die gleichen Arten von Zwergspinnen.

Kulturartenpräferenzen

Bei den Spinnen wurde mit Ausnahme des Bundeslandes Bayern keine ausschließliche Bindung an eine bestimmte Kulturart gefunden (Tabelle 30). Die relativ hohe Anzahl von präferenten Arten im Wintergetreide und im mehrjährigen Ackerfutter in Bayern ist auf zufällige Einzelfunde zurückzuführen. Bei den Spinnen ist mit Ausnahme des Wintergetreides und des mehrjährigen Ackerfutters (nur in Mecklenburg-Vorpommern), der Anteil der Ubiquisten in allen Kulturarten am höchsten. Da sich die Spinnen ausschließlich räuberisch ernähren, gibt es bei ihnen auch keine Arten, die, wie manche Laufkäferarten, grasartige Bestände bevorzugen. Lediglich der Strukturreichtum spielt bei ihnen eine große Rolle, da sich mit seiner Zunahme die Anzahl der netzbauenden Arten erhöht. Da diese Gruppe jedoch mit Bodenfallen nur unzureichend erfasst wird, lassen sich die Effekte des Strukturreichtums für die netzbauenden Arten mit den hier erhobenen Daten nicht abbilden.

Die Artenzusammensetzung in den Spinnenzönosen konnte für alle Untersuchungsgebiete nahezu zu einem Fünftel aus der Kulturartenwahl erklärt werden. Der Anteil variierte zwischen den Untersuchungsgebieten wie folgt: Bayern: 10,6 %, Thüringen: 12,2 % und Mecklenburg-Vorpommern: 17,1 % (Ergebnisse der Kanonische Korrespondenzanalyse). Abbildung 29 zeigt die grafische Darstellung der Ergebnisse der Kanonischen Korrespondenzanalyse für das Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern.

Tabelle 30: Fruchtartenpräferenz der Spinnenarten in den untersuchten Kulturen, Jahre: 2005-2007
(Anzahl von Arten, P - Präferenz zu einer speziellen Fruchtart, TP - Präferenz zu einer Gruppe von Kulturarten, U - keine Präferenz zu einzelnen Fruchtarten bzw. -gruppen)

Gruppe	Anbaufrüchte	Bayern			Thüringen			Mecklenburg-VP		
		P	TP	U	P	TP	U	P	TP	U
A	Wintergetreide	6	35	49	0	13	25	0	24	18
B	Sommergetreide	1	27	62	0	14	21	0	16	26
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	2	25	63	0	12	21	0	9	16
D	Mais, Sudangras	1	22	70	0	9	18	0	13	17
E	Mehrjähriges Ackerfutter, Klee gras	6	26	59	2	31	18	1	20	16

Zellen mit maximaler Artenanzahl sind farblich markiert

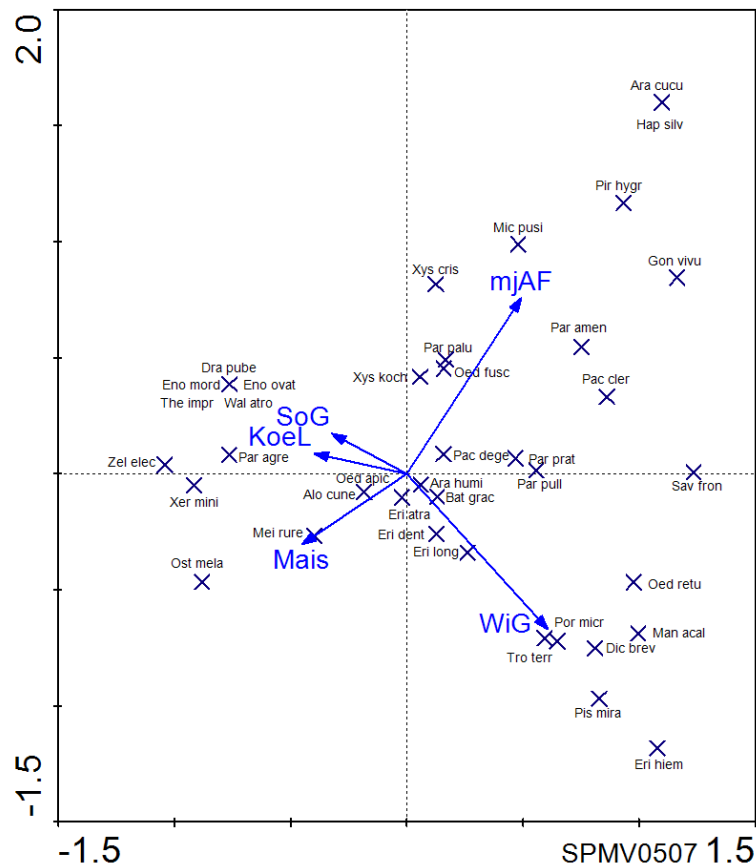


Abbildung 29: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Spinnenfauna und der angebauten Kulturart in Mecklenburg-Vorpommern

(dargestellt ist der Beitrag der Kulturarten zur Gesamtvarianz im Datensatz und die Kürzel solcher Arten, anhand derer der Zusammenhang erklärt werden kann, Felddaten Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern, Daten 2005-2007, Abkürzungen Artnamen siehe Anhang, Arten unter 20% Varianzerklärung wurden mit verrechnet, aber aus der Grafik entfernt, um die Übersichtlichkeit zu verbessern)

Für Mecklenburg-Vorpommern zeigt die Grafik, dass jede Anbaufrucht eine spezifische Spinnenzönose beherbergt. Damit trägt jede Kulturartengruppe zur Erhöhung der regionalen Gesamtdiversität in der Spinnenfauna bei. Dies ist aus der Grafik an der ver-

schiedenen Richtung der Pfeile für die Kulturarten und der Anordnung der Arten zu den Vektoren der einzelnen untersuchten Kulturartengruppen zu erkennen. In der Nähe der Pfeilenden sind jeweils solche Arten angeordnet, die ausschließlich bzw. gehäuft in einzelnen Anbaufrüchten vorkommen. Einige Arten sind in beiden Anbaukulturen „mehnjähriges Ackerfutter“ und „Wintergetreide“ gleich häufig. Die in allen Anbaukulturen häufigen Arten der Gattungen *Erigone* und *Oedothorax* sind nahe des Nullpunkts beider Achsen (Origo) angeordnet. Dies bedeutet, dass diese Arten zwischen allen fünf Anbaufrüchten in ihrer Vorkommenshäufigkeit nur gering variieren.

Ökologische und funktionale Gruppen

Die Auswertung der quantitativen Unterschiede im Vorkommen von verschiedenen ökologischen Gruppen der Spinnenarten in den einzelnen Kulturartengruppen ist in Tabelle 31 zusammengefasst. Die Spinnen zeigen gegenüber Kulturarten, wie auch die Laufkäfer, lediglich eine gering ausgeprägte Präferenz (BLICK ET AL., 2000, PLATEN, 2006). Die Variabilität zwischen den ökologischen Gruppen sowie die Anzahl der funktionalen Gruppen, die mit entsprechend hohen Arten- und Individuenzahlen besetzt sind, ist ebenfalls gering. Hygrophile und Arten ohne Habitatpräferenz wurden in Körnerleguminosen am häufigsten, im Wintergetreide am seltensten gefangen. Xerophile und schwach xerophile Arten waren ebenfalls im Wintergetreide unterrepräsentiert, im Mais dagegen vergleichsweise häufig. Arten trockenerer Wälder waren im mehrjährigen Ackerfutter mit den höchsten, im Sommergetreide mit den niedrigsten Individuenzahlen nachzuweisen. In Körnerleguminosen waren Arten mit einer Habitatpräferenz in nassen und trockenen Freiflächen zahlreich vertreten, während sie im Wintergetreide bzw. mehrjährigem Ackerfutter relativ selten waren. Ackerfutter förderte mit seiner relativ offenen Struktur Acker- sowie Ruderalarten.

Die Arten mit eurychroner und diplochroner Aktivitätszeit zeigten ihr Häufigkeitsmaximum im mehrjährigen Ackerfutter, ihr Minimum im Wintergetreide. Arten mit stenochroner Reifezeit kamen mit vielen Individuen im Mais bzw. den Körnerleguminosen vor und waren selten im mehrjährigen Ackerfutter und im Wintergetreide. Die Arten der Bodenoberfläche und der Krautschicht waren in den Körnerleguminosen am häufigsten, im Wintergetreide am geringsten vertreten. Die Körpermasseklassen I-IV verteilten sich mit ihren Maxima und Minima in unterschiedlichen Anbaufrüchten. Die leichtesten und die schwersten Spinnen waren im mehrjährigen Ackerfutter vergleichsweise häufig, im Wintergetreide seltener. Die Körnerleguminosen förderten das Auftreten von Spinnen zwischen 1 und 10 mg Körpermasse (Körpermassekategorie II und III).

Zusammensetzung der Zönosen

Die Ergebnisse der Clusteranalyse für die Spinnen sind in Abbildung 30 exemplarisch für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern zu entnehmen. Methodisch wurde genauso verfahren wie bei den Laufkäfern beschrieben. Noch deutlicher als bei den Laufkäfern bilden, mit Ausnahme des Mais-Standortes 2005 die Standorte mit gleicher Kulturfrucht zusammengehörige Gruppen. Sie symbolisieren damit das Vorhandensein ähnlicher, sich von den anderen Kulturartenbeständen unterscheidender Spinnenzönosen.

Tabelle 31: Zusammensetzung der Spinnenfauna, gruppiert nach ökologischen Gruppen, Habitatpräferenz, Aktivitätszeiten und vertikalem Aufenthaltsort (Stratum).

(mittlere Individuenzahlen je 5 Fallen summiert und Jahr, abc indizieren statistisch abgesicherte Unterschiede, Felderhebungen 2006, Untersuchungsgebiet Thüringen)

Ergebnisse Varianzanalyse (ANOVA)			Kulturartengruppe			
Parameter	Abkürzung	Wintergetreide	Sommergetreide	Körnerleguminosen	Mais	mehrh. Ackerfutter
hygrophil+schwächer hygrophil (nasse+feuchtere Habitats bevorzugend)	h, (h)	1,6a	1,7a	6,7b	2,3a	6,4b
xerophil+schwächer xerophil (trockene+trocknere Habitats bevorzugend)	x, (x)	63,5a	178,1c	67,8a	289,5d	127,8b
ohne erkennbare Habitatpräferenz (eurytop)	eu	30,2a	141,2b	538,7d	155,4b	262,2c
trockenere Wälder und überwiegend trockenere Wälder	(x)w, (x)(w)	1,6a	1,3a	1,6a	1,9ab	3,0b
Arten nasser Freiflächen	UF, MO, ROE, NWI	10,7a	16,1a	434,3b	51,5a	36,6a
Arten trockener Freiflächen	HE, DUE, TR, KTR	6,0ab	7,9abc	10,9c	10,7bc	5,3a
Ruderalart	RU	3,6a	6,9b	7,7b	5,9ab	8,5b
Ackerart	AC	75,1a	291,0c	160,7b	377,2d	342,4d
eurychron sommeraktiv	EuSo	43,4a	219,9c	145,9b	143,0b	312,7d
diplochron, frühjahrs- und herbstaktiv	DiFrHe	1,8a	14,0b	7,0a	5,9a	19,6b
diplochron, sommer- und winteraktiv	DiSoWi	3,6a	8,1ab	11,0b	10,3b	16,9c
stenochron sommeraktiv (höchstens 3 Monate in der warmen Jahreszeit)	StSo	39,8a	69,9ab	94,4b	250,9c	36,2a
stenochron frühjahrsreif (höchstens 3 Monate zu Beginn der Vegetationszeit aktiv)	StFr	8,5a	11,1a	355,2b	38,9a	9,0a
ausschließlich/überwiegend auf der Bodenoberfläche aktiv	Bod	90,8a	313,2b	596,9d	435,1c	382,6c
auf der Bodenoberfläche und in der Krautschicht+ausschließlich/überwiegend in der Krautschicht aktiv	BodKra, Kra	4,9a	7,3ab	17,6c	12,3b	10,5b
Körpermasse von 0,1-0,9 mg	KMK I	53,0a	253,5c	227,2c	164,5b	358,0d
Körpermasse von 1,0-4,9 mg	KMK II	14,0a	12,2a	382,4c	59,9b	30,2ab
Körpermasse von 5,0-9,9 mg	KMK III	29,1ab	55,5b	4,6a	224,1c	2,9a
Körpermasse von 10,0-19,9 mg	KMK IV	1,0a	2,6ab	2,0ab	2,2ab	5,1b

In Thüringen bildeten nur die Körnerleguminosen und das Sommergetreides, in Bayern nur Mais und mehrjährigem Ackerfutter eigenständige Clustergruppen. Obwohl insgesamt mehr Spinnenarten als Laufkäferarten in den einzelnen Kulturarten gefangen wurden, war die Anzahl der charakteristischen Arten deutlich vermindert. Dies ist teilweise darin begründet, dass viele der typischen Arten der Ackerflächen in allen Anbaukulturen mit ähnlicher Häufigkeit vorkamen. Zum anderen sind in den Fängen in weitaus höherem Maße als bei den Carabiden seltene Arten und Zufallsfunde vorhanden, die zwar die Artenanzahlen, jedoch nicht die Anzahl der charakteristischen Arten erhöhen. Als Beispiel sind in Tabelle 32 die Ergebnisse für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern für die Gesamtfangzeit aufgeführt. Insgesamt konnten 8 charakteristische Arten ausgewiesen werden, 3 Arten in 3 Fangperioden im mehrjährigen Ackerfutter, je eine Art in 3 Fang-

perioden im Sommer- und Wintergetreide und eine bzw. 3 Arten in je 2 Fangperioden im Mais und im Wintergetreide. Die Anzahl der insgesamt ausgewiesenen charakteristischen Arten in der Gesamtfangzeit bewegt sich zwischen 8 und 14. Die charakteristischen Arten waren meist (schwach) xerophil bzw. eurytop und hatten ihr Schwerpunkt-vorkommen auf Nasswiesen bzw. einer Reihe von Trockenbiotopen.

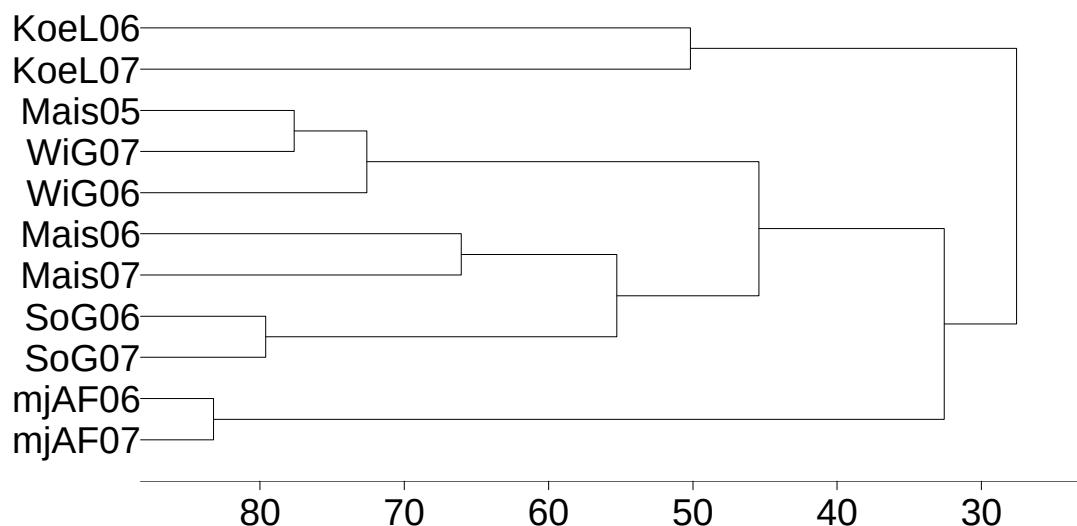


Abbildung 30: Clusterdiagramm für die Spinnen auf der Basis der Individuenidentitäten nach RENKONEN (1938).

(Ergebnisse der Untersuchungsjahre 2005-2007 für das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern, KoeL - Körnerleguminosen, mjAF - mehrjähriges Ackerfutter, SoG - Sommergetreide, WiG - Wintergetreide, 05, 06, 07 - Untersuchungsjahre)

Tabelle 32: Charakteristische Artenkombinationen der Spinnen für die Untersuchungsjahre 2005-2007 im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern

(Dominanzwerte, KoeL - Körnerleguminosen, mjAF - mehrjähriges Ackerfutter, WiG - Wintergetreide, SoG - Sommergetreide, Nb - Nischenbreite, ÖT - Ökologischer Typ, SP - Schwerpunkt-vorkommen, 1)-4) - Anzahl der Untersuchungsperioden, in denen die Art als Charakterart in der jeweiligen Kulturfrucht identifiziert wurde)

Arten	Mais	mjAF	SoG	WiG	KoeL	Nb	ÖT	SP
<i>Alopecosa cuneata</i>	0,76 ²⁾	0,20	0,05	0,08	0,53	0,25	x	TR
<i>Pardosa palustris</i>	1,47	57,50 ³⁾	8,42	1,44	6,67	0,08	eu	NWI
<i>Oedothorax fuscus</i>	2,44	9,94 ³⁾	0,52	0,58	1,80	0,18	eu	NWI
<i>Pardosa agrestis</i>	12,58	0,35	49,13 ³⁾	0,28	29,21	0,26	(x)	AC
<i>Oedothorax retusus</i>	0,02	0,15	0,02	1,39 ³⁾	0,11	0,11	eu	NWI
<i>Porrhomma microphthalmum</i>	0,15	0,07		1,06 ²⁾	0,32	0,20	(x)	AC
<i>Dicymbium nigrum brevisetosum</i>	0,05	0,05	0,05	0,48 ²⁾		0,23	eu	RU
<i>Eresus cinnaberinus</i>				0,33 ²⁾		0,00	x	HE

Die entsprechenden Anzahlen an charakteristischen Arten für 3 Fangperioden bewegen sich für Thüringen zwischen 5 im letzten und 11 Arten im ersten Fangjahr. Insgesamt traten fünf Spinnenarten in mehr als einer Fangperiode kulturartenbezogen in Erscheinung.

Die Anzahl der charakteristischen Arten, die in mehr als einer Untersuchungsperiode vorkamen, war mit 3 Arten in Bayern am geringsten. Nur im mehrjährigen Ackerfutter und im Wintergetreide traten dort im Gesamtzeitraum überhaupt charakteristische Arten auf. Im Gegensatz zu den Laufkäfern ist diese geringe Anzahl nicht auf eine hohe jährliche Fluktuation der charakteristischen Arten zwischen den Anbaukulturen, sondern auf die insgesamt geringe Anzahl (zwischen 3 und 5) charakteristischer Arten zurückzuführen.

3.1.4 Blütenbesucher

Im Untersuchungszeitraum 2005-2007 wurden insgesamt 157 verschiedene Arten der Blütenbesucher auf den Ackerflächen in den Gelbschalen nachgewiesen, davon waren 107 Arten den Bienen und 50 Arten den Schwebfliegen zugehörig. Die Artenanzahl war im Untersuchungsgebiet in Bayern mit 104 Arten (72 Bienen- und 32 Schwebfliegenarten) insgesamt am höchsten. Im Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern wurden im Vergleich dazu 90 Arten (58 Bienen- und 32 Schwebfliegenarten) und in Thüringen 95 Blütenbesucherarten (68 Bienen- und 27 Schwebfliegenarten) festgestellt. Die auf das Fal-lentranssekt (50 m x 10 m) bezogene Aktivitätsdichte der Blütenbesucher war in Thüringen mit 286 Individuen pro Transekt und Jahr am höchsten, in Bayern betrug dieser Wert 237 Individuen und in Mecklenburg-Vorpommern nur 172 Individuen. Diese Zahlen sind insgesamt sehr hoch und deutlich höher als allgemein für Ackerflächen angenommen. Der Anteil von 23 Bienenarten und 5 Schwebfliegenarten mit Gefährdungsstatus (Rote Liste Deutschland) sowie der Fakt von zwei Erstnachweisen für Deutschland bzw. die untersuchten Regionen spricht dabei in erster Linie nicht zwangsläufig für eine besonders hohe Habitatqualität, sondern eher für eine geringe Untersuchungs-dichte für Ackerflächen in einzelnen Regionen.

Die Wahl der Kulturart beeinflusste sowohl die Artenvielfalt als auch die Individuendichte der nachgewiesenen Bienen und Schwebfliegen maßgeblich. Im Zeitraum der gesamten Anbauperiode war die beobachtete Artenvielfalt im Wintergetreide am höchsten, im Mais (mit Ausnahme Bayern) am zweithöchsten. Die geringste Artenanzahl der Blütenbesucher wurde in den Kulturarten Körnerleguminosen und Sommergetreide mit kurzen Anbauzeit-spannen gefunden (Ausnahme Bayern). Im Ackerfutter wurden nur in Mecklenburg-Vorpommern vergleichbar hohe Artenanzahlen wie im Wintergetreide beobachtet, in den anderen Bundesländern war die Artenanzahl geringer als in Wintergetreide und Mais (nur in Thüringen). Auch die Individuenanzahlen waren über den gesamten Anbauzeitraum im Wintergetreide am höchsten und im mehrjährigem Ackerfutter und Maisanbau die zweithöchsten. Normiert man diese Werte auf einen einheitlichen Fangzeitraum (hier: Zwei-wochenzyklus) so ergibt sich das in Tabelle 33 dargestellte Bild. Bis auf die erhöhten Arten- und Individuenanzahlen im Winterweizen nivellieren sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Kulturarten. Das spiegelt sich auch in den statistischen Ver-gleichen wieder.

Tabelle 33: Mittlere Artenanzahl und Abundanz der Blütenbesucher in den untersuchten Kulturarten (Gemittelt pro Jahr und Boniturtermin aus je 4 Gelbschalen 2005-2007)

Gruppe	Anbaufrüchte	Mittlere Artenanzahl			Individuenanzahl*		
		BY	TH	MV	BY	TH	MV
A	Wintergetreide	3,9 ^{abx}	4,7 ^a	4,4 ^a	10,3 ^{ax}	29,0 ^a	14,0 ^a
B	Sommergetreide	4,2 ^{ax}	3,1 ^b	2,9 ^b	12,5 ^{ax}	6,2 ^b	4,5 ^b
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	3,7 ^{abx}	2,8 ^b	2,4 ^b	7,1 ^{abx}	5,8 ^b	4,6 ^b
D	Mais, Sudangras	1,7 ^c	3,1 ^b	2,3 ^b	2,5 ^b	7,7 ^b	5,4 ^b
E	Mehrfähriges Ackerfutter, Klee gras	2,8 ^{bc}	2,8 ^b	2,8 ^b	8,5 ^{ab}	6,9 ^b	5,6 ^b

* Abundanzen gemessen in mittlerer Individuenanzahl insgesamt, ^x - Fläche ökologisch bewirtschaftet (ohne Herbizide), BY - Untersuchungsgebiet in Bayern, TH - Untersuchungsgebiet in Thüringen, MV - Untersuchungsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern

Die Körnerleguminosen, denen eine von der Kulturpflanze ausgehende Attraktivität für Blütenbesucher durch einen eigenen Blühaspekt nachgesagt wird, zeigten in allen Untersuchungsgebieten keine erhöhte Attraktivität für Blütenbesucher im Vergleich zum Sommergetreide, einer Kulturpflanze mit vergleichbarem Anbauzeitraum. Die Artenanzahlen und Individuendichten waren in den Körnerleguminosen niedrig und stets niedriger als im Sommergetreide. Dieser Befund widerspricht allen Annahmen und bedarf weiterer Klärung. Nur unter ökologischer Bewirtschaftung (im Untersuchungsgebiet Bayern) waren die Arten- und Individuenzahlen in den Körnerleguminosen und im Sommergetreide deutlich erhöht.

Kulturartenpräferenzen

Auch für die Blütenbesucher kann grundsätzlich festgestellt werden, dass jede der untersuchten Kulturartengruppe die regionale Vielfalt durch zusätzliche Arten bereichert hat bzw. ein wesentlicher Anteil der Arten nur in einzelnen Kulturarten vorkam. Der Anteil von Arten, die jeweils nur in einer Kulturartengruppe auftraten, betrug in Bayern 46 %, Thüringen 43 % und Mecklenburg-Vorpommern 34 %. Etwa 30 % des regionalen Arteninventars kam in nahezu allen Kulturarten vor. Blütenbesucher reproduzieren sich nicht zwingend auf den untersuchten Flächen sondern „besuchen“ diese überwiegend nur zur Nahrungsaufnahme. Daher überrascht der hohe Anteil der vorwiegend nur in einzelnen Kulturarten vorkommenden Arten. Der zahlenmäßige Beitrag und der Grad der Ausprägung der Kulturartenpräferenzen für die Blütenbesucher variierte zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten stark und uneinheitlich (Tabelle 34). Im Untersuchungsgebiet Bayern standen die zahlreichsten Kulturartenpräferenzen in Zusammenhang mit dem Winter- und Sommergetreideanbau. In Thüringen wurden besonders deutlich ausgeprägte Kulturartenpräferenzen im Wintergetreide- und im Maisanbau festgestellt. In Mecklenburg-Vorpommern wurde die höchste Anzahl präferenzieller Arten im mehrjährigen Ackerfutter beobachtet. In der Grundtendenz wurden insbesondere im Sommergetreide (Ausnahme Bayern) und in Körnerleguminosen besonders wenige Arten mit Präferenzen gefunden. Im Mais kamen im Vergleich dazu vergleichsweise viele Arten vor, die nur in dieser Kulturart nachzuweisen waren.

Tabelle 34: Fruchtartenpräferenz der Blütenbesuchern in den untersuchten Kulturarten

(Anzahl von Arten, P - Präferenz zu einer speziellen Fruchtart, TP - Präferenz zu einer Gruppe von Kulturarten, U - keine Präferenz zu einzelnen Fruchtarten bzw. -gruppen)

Gruppe	Anbaufrüchte	Bayern			Thüringen			Mecklenburg-VP		
		P	TP	U	P	TP	U	P	TP	U
A	Wintergetreide	17	14	29	15	17	27	4	21	26
B	Sommergetreide	14	21	27	1	9	25	3	12	25
C	Leguminosen, Leguminosengemenge	6	12	28	2	8	24	6	8	23
D	Mais, Sudangras	8	4	23	14	15	26	5	17	27
E	Mehrfähriges Ackerfutter, Klee gras	3	12	28	9	11	25	13	16	20

Neben der Präsenz/Absenz von Arten ist die Individuendichte ein wichtiges Maß zur Charakterisierung der Kulturartpräferenzen. In Ergänzung zum Artvorkommen gibt die Individuendichte wichtige Zusatzinformationen über den Grad des Vorkommens. Arten mit großen Individuendichten gelten in diesem Zusammenhang stets als besser angepasst als Arten mit geringen Individuendichten. Die Korrespondenzanalyse ergab, dass durch den Bezug zur angebauten Kulturart 23-37 % der Varianz in der Gesamtartenzusammensetzung der Blütenbesucherzönose erklärt werden kann (Bayern 23 %, Thüringen 36,8 %, Mecklenburg-Vorpommern 25 %). Für 4-10 % der Einzelarten war dieser Zusammenhang stark (> 40 % Varianzerklärung) und für weitere 25-30 % mittel (> 20 %) bzw. gering (> 10 %).

Die regionale Artenvielfalt der Blütenbesucher wurde in Bayern und Mecklenburg-Vorpommern durch den Anbau von mehrjährigem Ackerfutter und Mais bzw. Körnerleguminosen am stärksten diversifiziert. In Thüringen übte der Anbau von Wintergetreide und Mais den größten Einfluss auf die Artengemeinschaft der Blütenbesucher aus (erste Varianzachse). Dies lässt sich an der Länge der Pfeile und ihrer gegensätzlichen Anordnung in Abbildung 31 ablesen. Den zweitgrößten Beitrag zur Diversifizierung der Blütenbesuchergemeinschaften erbrachte in Bayern und Mecklenburg-Vorpommern der Wintergetreideanbau, in Thüringen der Anbau von Körnerleguminosen. Erst danach folgt in seiner Bedeutung der Einfluss des Sommergetreideanbaus (dritte Varianzachse). Die Auswahl der Kulturpflanzen übt also einen sehr wesentlichen Einfluss darauf aus, welche Arten in hohen Individuenanzahlen vorkommen. Dieser Einfluss lässt sich für zahlreiche hochstete Arten statistisch sichern. Im Wintergetreide traten vor allem Sand-, Schmal- und Mauerbienen verstärkt auf, das mehrjährige Ackerfutter bereicherte die Artengemeinschaften vor allem um Hummeln und einzelne Sandbienenarten. Im Mais erreichten vor allem Schwebfliegen hohe Fangergebnisse (siehe Abbildung 31). Sandbienen sind Blütenbesucher, die vorwiegend im Frühjahr aktiv sind, sich in dieser Zeit reproduzieren und dazu offene Bodenoberflächen benötigen. Aus diesem Grund sind sie regelmäßig auf Ackerflächen und hier vor allem im Getreide vorzufinden. In späten Sommerkulturen, wie z. B. Mais, kommen die sonst sehr häufigen Sandbienenarten seltener vor. Arten, die regelmäßig im Mais und anderen späteren Sommerkulturen vorkamen, sind vor allem Schwebfliegenarten und Blutbienen, die vor allem von Mai bis in den September hinein ihre Hauptaktivitätszeit haben. Die Larven der Schwebfliegen ernähren sich parasitär vor allem von Blattläusen. Schwebfliegen traten insgesamt weniger individuen- und artenreich in den Kulturarten auf als andere Blütenbesucher. Die Artengemeinschaften der Blütenbesucher im

Sommergetreide und in den Körnerleguminosen zeigten vor allem Übergänge zwischen den erwähnten Kulturartenpräferenzen. Die Honigbiene, eine der bekanntesten und am weitesten verbreiteten Blütenbesucherarten, kam in nahezu allen Kulturarten mit einzelnen Arten vor. Sie scheint jedoch Ackerflächen vor allem im Frühjahr bzw. Frühsommer zu nutzen. Die zahlreichsten Fänge der Honigbiene wurden im Winterweizen gemacht, teilweise auch im Klee gras.

Ökologische und funktionale Gruppen

Die kulturartenbezogenen Unterschiede in den einzelnen ökologischen Klassifikationen zeigten eine starke regionsbezogene Abhängigkeit, was darauf hindeutet, dass Blütenbesucher im stärkeren Maße als andere Zönosengruppen von der Untersuchungsregion bzw. deren naturräumlicher Grundausrüstung abhängig sind. Die Auswertung der funktionellen Gruppen macht jedoch die aus der Artenzusammensetzung ersichtlichen Grundtendenzen deutlich. Die vorgefundenen Unterschiede in der Artendiversität und Gesamtindividuendichte basieren im Wesentlichen auf der Präferenz der Wildbienen für das frühe Blütenangebot im Winterweizen und im mehrjährigen Ackerfutter (Klee gras). Dieser Trend war in allen drei Untersuchungsgebieten festzustellen. Die wesentlich art- und individuenärmere Gruppe der Schwebfliegen war im Gegensatz dazu vor allem im Mais anzutreffen. Dieser Trend war besonders in der Untersuchungsregion Thüringen stark ausgeprägt. Im Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern kamen Schwebfliegen gleich häufig im mehrjährigen Ackerfutter, Mais und im Wintergetreide vor. In Bayern kamen Schwebfliegen in allen drei Sommerkulturen: Sommergetreide, Körnerleguminosen und Mais in höheren Individuendichten vor, diese Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Der überwiegende Teil der Wildbienen nistete endogäisch im Boden auf den Ackerflächen und war an verschiedene Pollenquellen angepasst (polylektisch). Sich parasitär vermehrende Wildbienen waren ebenso wie an einzelne Pollenquellen gebundene Arten selten und zeigten keine gesicherten Unterschiede zwischen den einzelnen Kulturarten. Unter den Schwebfliegen dominierten die Arten, die sich an Streu, Blattläusen oder anderen Insekten ernähren. Alle drei Gruppen zeigten einen Vorkommensschwerpunkt im Mais, der jedoch nur für das Untersuchungsgebiet Thüringen statistisch gesichert werden konnte (Tabelle 35). Der überwiegende Teil der Schwebfliegen waren saisonale Migranten, das heißt regelmäßig von den Nachbarstrukturen her einwandernde Arten.

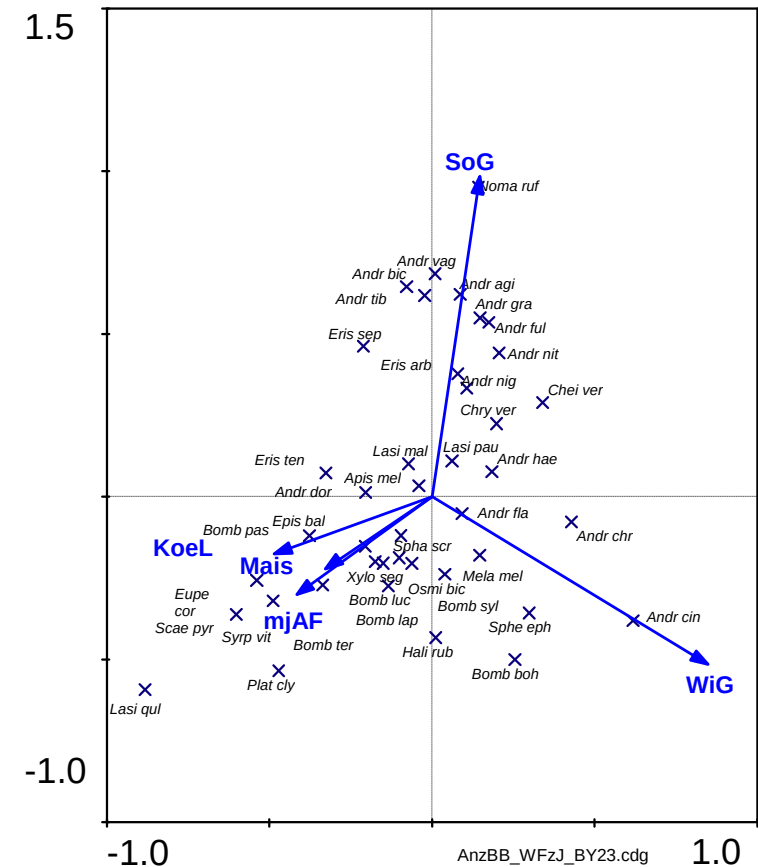
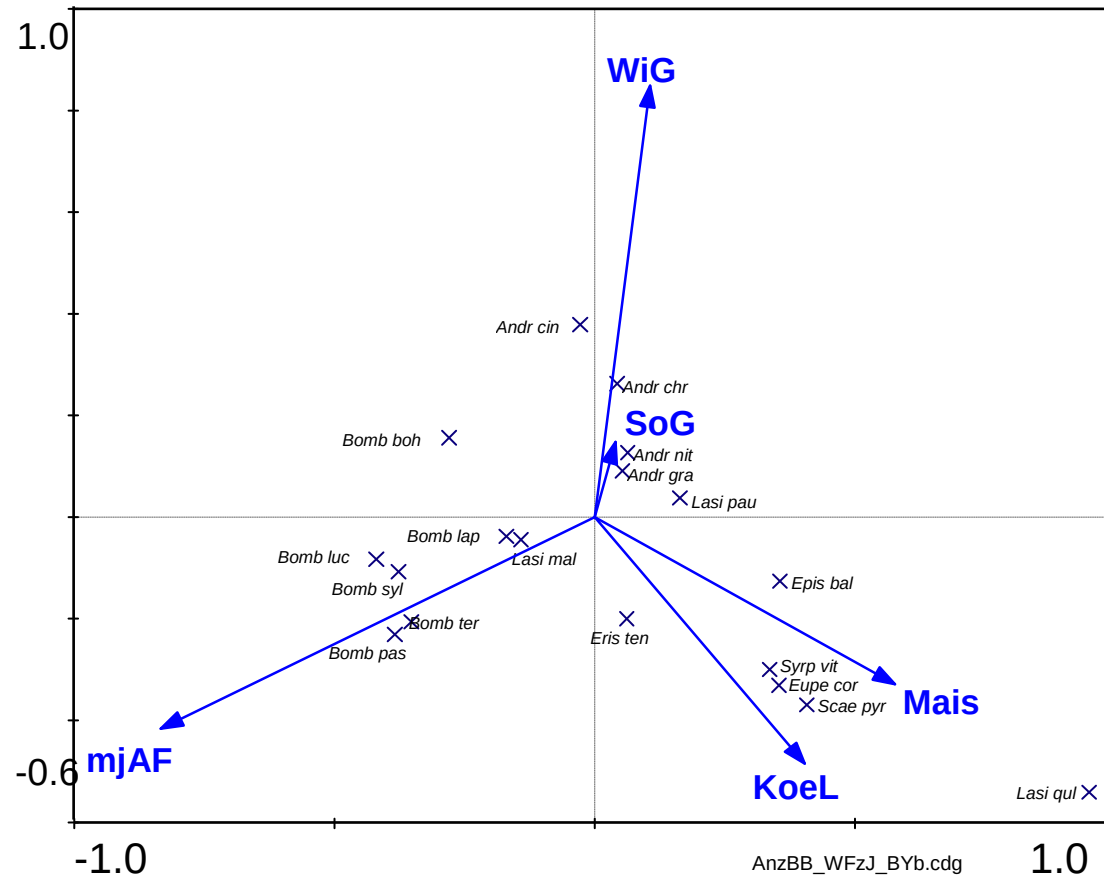


Abbildung 31a, b: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Blütenbesucher und der angebauten Kulturart, a.) erste (x) und zweite (y) Varianzachse; b.) zweite (x) und dritte (y) Varianzachse

(dargestellt ist der Beitrag der Kulturarten zur Gesamtvarianz im Datensatz und die Kürzel der Arten anhand derer der Zusammenhang erklärt werden kann, Korrelation zwischen Artvorkommen und Kulturart, Felddaten Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern, Daten 2005-2007, Abkürzungen Artnamen siehe Anhang)

Tabelle 35: Zusammensetzung der Artengemeinschaft der Blütenbesucher gruppiert nach taxonomischer Zuordnung oder ökologischem Verhalten

(angegeben sind jährliche Individuenanzahlen je Wiederholung und Jahr, abc indizieren statistisch abgesicherte Unterschiede, Felderhebungen 2005-2007, Untersuchungsgebiet Thüringen)

Ergebnisse Varianzanalyse (ANOVA)		Kulturartengruppe				mehrf. Acker- futter
Parameter	Ab- kürzung	Winter- getreide	Sommer- getreide	Legu- minosen	Mais	
Bienen (Apidae)	Api	184,3a	28,1b	23,3b	9,7b	47,8b
Schwebfliegen (Syrphidae)	Syrphi	4,4b	12,4b	3,8b	32,7a	2,6b
Endogäische Nistweise (A)	endo	171,8a	23,4b	18,2b	5,6b	33,8b
Hypergäische Nistweise (A)	hyper	4,1a	1,5b	1,7b	1,6b	1,4b
Endo-u. hypogäische Nistweise (A)	endo_hyp	7,0ab	3,0b	2,9b	1,8b	11,3a
Parasitäre Nistweise (A)	Parasit	1,4a	0,3a	0,6a	0,8a	1,3a
Singlelektische Pollenquelle(A)	single	1,3ab	0,3b	0,1b	0,2b	2,5a
Polylektische Pollenquelle(A)	poly	181,6a	27,6b	22,7b	8,8b	44,1b
Aphidophag (S)	aphido	2,3ba	8,3b	1,8b	14,6a	0,7b
Phytophag (S)	phyto	0,4a	0,0b	0,0b	0,1b	0,0b
Saprophag (S)	sapro	0,9ab	1,6ab	0,3b	2,3a	1,0ab
Saisonaler Migrant (S)	Mig	3,0b	10,6b	3,5b	29,8a	1,7b
Saisonaler Dismigrant (S)	Dismig	0,5a	1,0a	0,3a	2,2a	0,7a

3.2 Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen durch Vögel der Offenlandschaft (Expertenbefragung)

Vögel der Offenlandschaft gelten als geeignete Indikatoren für den Gesamtzustand von Agrarlandschaften. Sie integrieren Effekte der Landschaftsstruktur und Biotopausstattung mit Auswirkungen des schlagbezogenen landwirtschaftlichen Anbaus, von der Kulturartenauswahl bis zu Einzelmaßnahmen der Bestandesführung. Neben direkten Effekten auf die Vogelarten kommen auch Veränderungen in der Nahrungskette auf unteren trophischen Ebenen in der Populationsentwicklung der Vogelarten zum Ausdruck. Insbesondere diese indirekten Effekte können jedoch durch die Vogelarten abgepuffert werden, was die genaue Nachweisführung von räumlichen und zeitlichen Effekten, z. B. einer veränderten Landnutzung, durch Vor-Ort-Erhebungen erschwert. Aus diesem Grund wurde die ursprüngliche Absicht, Daten zur Habitatnutzung der Vogelarten analog zu den in Kapitel 3.1. untersuchten Organismen in den Untersuchungsgebieten direkt zu erheben, nach dem ersten Jahr aufgegeben. Die erhobenen Daten aus dem ersten Untersuchungsjahr 2005 erwiesen sich als nicht interpretierbar. Für die beabsichtigte Quantifizierung bzw. Parametrisierung der Habitatnutzung von Energiepflanzenbeständen durch typische Vogelarten der Offenlandschaft wurde deshalb eine Expertenstudie in Auftrag gegeben (FUCHS & MATTHEWS, 2008). Fokus dieser Studie war die Charakterisierung der Habitatansprüche ausgewählter Indikatorarten in Hinsicht auf die Art und den Zeitraum der Habitatnutzung, die Quantifizierung der Habitatansprüche in Bezug auf die Bestandesarchitektur (Dichte und Höhe der Bestände) der Kulturpflanzenbestände in ihrer jährlichen Dynamik sowie der Beschreibung der Vorkommenshäufigkeit in unterschiedlichen Kulturarten. Die Auftragnehmer sind ausgewiesene Experten auf diesem Gebiet und verfügen über umfangreiche Felderfahrung für Nordostdeutschland. Neben eigenen Erfahrungen wurden in der Studie zahlreiche Literaturangaben ausgewertet, nahezu alle Angaben sind mit Quellenzitaten belegt.

Die Auswahl der 14 bearbeiteten Vogelarten orientierte sich an den Indikatorlisten von ACHTZIGER ET AL. (2004), LUTZE ET AL. (2007) und HOFFMANN ET AL. (2008) und bezieht sich auf ackerbaudominierte Agrarlandschaften analog zur Zielstellung des EVA-Gesamtprojektes. Typische Vogelarten grünlanddominierter Bereiche sind nicht berücksichtigt. Die vollständige Liste der bearbeiteten Vogelarten ist Tabelle 36 zu entnehmen.

Tabelle 36 fasst die Habitatnutzung der Indikatorarten in einzelnen Kulturarten aus Erfahrungswerten (FUCHS & MATTHEWS, 2008) und Monitoringprogrammen (LUTZE ET AL., 2007) verbal zusammen. Für vier der ausgewählten Indikatorarten konnten keine sicheren Aussagen getroffen werden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die meisten der untersuchten Indikatorarten regelmäßig im mehrjährigen Ackerfutter vorkommen. Die etwas lückigeren Bestände der Körnerleguminosen und des Sommergetreides stellen ebenfalls Habitat für 8 Vogelarten bereit. Die hohen Vorkommenswerte im Wintergetreide gelten vor allem für nicht zu dichte oder heterogene Bestände. Mais bietet im Vergleich dazu Habitat für deutlich weniger Arten.

Tabelle 36: Experteneinschätzung über das bevorzugte Vorkommen der Indikatorarten zur Brutzeit in unterschiedlichen Kulturpflanzengruppen (Daten: FUCHS & MATTHEWS, 2008, LUTZE ET AL., 2007)

Indikatorarten	Winter-getreide	Sommer-getreide	Körner-leguminosen	Mais	Mehrfähriges Ackerfutter
Feldlerche	0,5	1	1	0,5	1
Goldammer* ²	1	1	1	0,5	1
Neuntöter* ²		0,5	1	0,5	1
Grauammer	1	1	1		1
Braunkehlchen					1
Kiebitz		1		1	
Wachtel	1	1	1		1
Rotmilan* ²					1
Schafstelze	1	1	1	1	1
Ortolan	1	1	1	0,5	0,5
Stieglitz* ¹					
Feldsperling* ¹					
Dorngrasmücke* ¹					
Mäusebussard* ¹					
Habitatwert insg.: (Max:=10)	5,5	7,5	7	4	8,5

Legende: 1 - bevorzugte Habitatnutzung, 0,5 - besiedelte bzw. genutzte Kulturen, Leerzellen - keine Angabe; *¹ - zu diesen Arten sind keine Angaben möglich, *² - brütet außerhalb von Ackerflächen)

Um die mit dem Energiepflanzenanbau verbundenen teilweise neuen Aspekte (z. B. neue Kulturarten, kürzere Anbauperioden, Zweitfruchtstellung) in der Anbaugestaltung abbilden zu können, wurden aus den Expertenangaben zu den Ansprüchen der Indikatorarten an die Bestandesarchitektur der Kulturpflanzen einfache Habitatmodelle für die Kulturarten entwickelt. Die Habitatmodelle berücksichtigen jeweils getrennt die Eignung der Kulturarten als Brut- oder Futterhabitat und basieren auf folgenden Inputvariablen: Terminierung der Habitatnutzung (von - bis), Terminierung der Brutperiode (von - bis), Ansprüche an die Vegetationsdichte während der Brut und während der Futternutzung (Wertespanne), Ansprüche an die Bestandeshöhe während der Brut und während der Futternutzung (Wertespanne). Aus diesen Werten wurde für die einzelnen Kulturarten berechnet, ob und wie lange die Bestandesstruktur den Ansprüchen der einzelnen Arten entspricht und die Kulturarten potenziell als mögliche Brut- oder Futterhabitate in Frage kommen. Die Ergebnisse dieser Kalkulationen sind als potenzielle Habitateignung in Tabelle 37 für die Nutzung als Bruthabitat und in Tabelle 38 für die Nutzung als Futterhabitat für die im Grundversuch Fruchtfolgen 1-5 vertretenen Anbaukulturen und deren Nutzungsziel zusammengefasst.

Tabelle 37: Potenzielle Habitateignung unterschiedlicher Fruchtarten als Bruthabitat für Indikatorarten der Vögel der Offenlandschaften, kalkuliert anhand der Ansprüche der Vogelarten an die Bestandesarchitektur der Vegetation zur Brutzeit

(Anzahl Monate, an denen die Habitatansprüche erfüllt sind, letzte Spalte: Anzahl der Vogelarten mit mindestens 1 Monat Eignung als Bruthabitat)

Fruchtart	Nutzungsziel	Anzahl Monate mit Eignung als Bruthabitat							Anzahl Arten
		Feldlerche	Grauerammer	Braunkehlchen	Kiebitz	Wachtel	Schafstelze	Ortolan	
Hafer-Sortenmischung	GPS	1	2	0	1	0	2	0	4
Klee- bzw. Luzernegras	GPS, 3-Schnitt	2	3	1	0	1	5	1	6
Mais	GPS,	0	0	0	1	0	2	0	2
Mais	2F, GPS	0	0	0	1	0	1	1	3
Ölrettich	SZF	0	0	0	1	0	0	0	1
W. Raps	Korn	0	0	0	1	0	2	0	2
W. Roggen	WZF, GPS	0	0	0	0	0	1	0	1
S. Gerste	GPS	1	3	0	0	0	3	0	3
S. Gerste + Klee gras US	Korn	1	2	0	0	0	3	0	3
Sudangras	GPS	0	1	0	1	1	2	0	4
Sudangras	2F, GPS	0	0	0	1	1	2	0	3
Triticale	WZF, GPS	0	0	0	0	0	1	0	1
W. Triticale	GPS	0	2	0	0	0	3	0	2
W. Triticale	Korn	0	3	0	0	0	5	2	3
W. Weizen	Korn	0	3	0	0	0	5	2	3
Welsches Weidelgras	2F, GPS	0	0	0	2	0	0	0	1
Zuckerhirse	2F, GPS	0	0	0	0	0	2	0	1

Abkürzungen: GPS - Ganzpflanzensilage, 2F - Zweitfruchtstellung, SZF - Sommerzwischenfrucht, WZF - Winterzwischenfrucht, US - Untersaat

Tabelle 38: Potenzielle Habitateignung unterschiedlicher Fruchtarten als Futterhabitat für Indikatorarten der Vögel der Offenlandschaften, kalkuliert anhand der Ansprüche der Vogelarten an die Bestandesarchitektur der Vegetation zur Brutzeit

(Anzahl Monate, an denen die Habitatansprüche erfüllt sind, letzte Spalten: Anzahl der Vogelarten mit mindestens 1 Monat Eignung als Futterhabitat, Mittelwert Monate je vorkommende Art)

Fruchtart	Nutzungsziel	Anzahl Monate mit Eignung als Futterhabitat									Anzahl Arten	MW Monate je Art
		Feldlerche	Grauerammer	Braunkehlchen	Kiebitz	Wachtel	Schafstelze	Ortolan	Goldammer	Neuntöter		
Hafer-Sortenmischung	GPS	2	2	1	2	1	1	1	2	0	8	1.5
Klee- bzw. Luzernegras	GPS, 3-Schnitt	7	5	1	1	3	0	2	1	3	8	2.9
Mais	GPS,	1	0	0	1	1	1	0	2	1	6	1.2
Mais	2F, GPS	1	0	1	1	1	1	0	1	1	7	1.0
Ölrettich	SZF	2	1	0	1	1	1	0	0	2	6	1.3
W. Raps	Korn	4	3	0	3	2	2	0	0	3	6	2.8
W. Roggen	WZF, GPS	4	2	0	4	0	2	0	0	2	5	2.8
S. Gerste	GPS	2	2	1	1	1	0	1	2	0	7	1.4
S. Gerste + Klee gras US	Korn	4	4	1	2	3	1	1	2	2	9	2.2
Sudangras	GPS	1	0	0	1	1	1	0	2	2	6	1.3
Sudangras	2F, GPS	1	1	0	1	1	1	0	2	2	7	1.3
Triticale	WZF, GPS	4	2	0	4	0	2	0	1	2	6	2.5
W. Triticale	GPS	4	2	0	4	0	2	0	1	2	6	2.5
W. Triticale	Korn	4	2	0	4	0	2	2	1	2	7	2.5
W. Weizen	Korn	6	2	0	3	0	1	2	1	1	7	2.3
Welsches Weidelgras	2F, GPS	2	2	0	2	1	2	1	1	2	8	1.6
Zuckerhirse	2F, GPS	1	0	0	0	0	0	0	1	1	3	1.0

Abkürzungen: GPS - Ganzpflanzensilage, 2F - Zweitfruchtstellung, SZF - Sommerzwischenfrucht, WZF - Winterzwischenfrucht, US - Untersaat

3.3 Beikrautflora in Energiepflanzenfruchtfolgen (Parzellenversuche)

Die im Rahmen des EVA-Projektes etablierten Parzellenversuche dienen der Prozessaufklärung für die Effekte einzelner, gezielt veränderter Faktoren (hier: Fruchtfolgen, Fruchtwechsel, Faktorenminimierung, usw.). Alle anderen relevanten Einflussfaktoren werden in diesem Zusammenhang entweder optimiert (z. B.: Bestandesführung, Beikrautkontrolle) oder ausgeschlossen (z. B.: laterale Effekte, Migration von Arten), um die Prüfgliedeffekte hervorzuheben. Für die Beurteilung der Habitataffekte der geprüften Fruchtarten und -folgen sind ackerbauliche Parzellenversuche deshalb wenig oder gar nicht geeignet. Die durchgeführten Erhebungen der Beikrautflora in den Parzellenversuchen zielten deshalb nicht auf die Bewertung der Habitataffekte der Fruchtarten und -folgen ab, sondern vor allem auf die Rückkopplungseffekte zum Anbau, also die landwirtschaftlich relevanten Effekte der Beikrautflora, wie z. B. „echte“ Fruchtfolgeeffekte, Optimierungslücken oder -probleme in der Beikrautregulierung und die Abundanz der Beikrautflora insgesamt. Die landwirtschaftlichen Bewertungen bieten auch Spielräume für ökologisch relevante Interpretationen. Diese erfolgen zumeist als Analogieschlüsse, wie z. B. hohe Abundanz geht einher mit hoher Biomasse und Biomasseverfügbarkeit im Rahmen von Nahrungsnetzen für andere wildlebende Organismen. Solche Analogieschlüsse decken jedoch nur einzelne, durch biotische Komponenten bereit gestellte ökologische Funktionen ab.

Die an den sieben Versuchsstandorten in beiden parallelen Anlagevarianten (1. Anlage 2005, 2. Anlage 2006) durchgeführten Beikrauterhebungen machen auf den ersten Blick deutlich, dass die Beikrautabundanz (hier gemessen am mittleren Beikrautdeckungsgrad) insgesamt sehr niedrig war (überwiegend zwischen 0 und 5 %) und zwischen den Standorten und den Fruchtfolgen stark variierte (Abbildung 32, Abbildung 33).

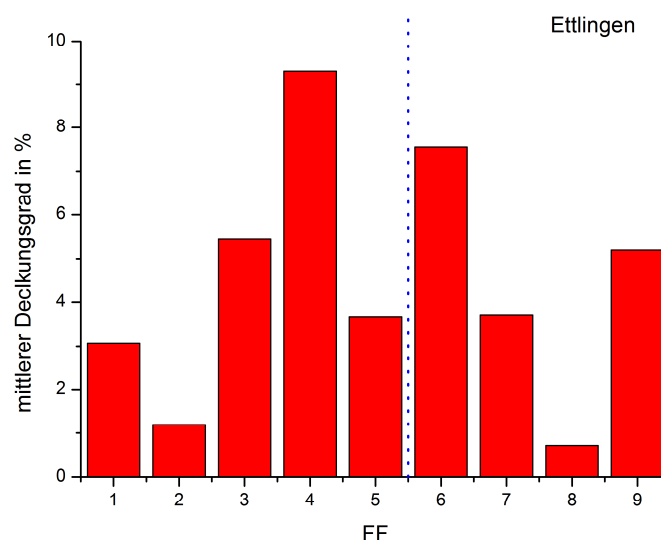


Abbildung 32: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den Fruchtfolgen im Parzellenversuch, Standort Ettlingen (Deckungsgradwerte sind gemittelt je Boniturtermin und Fruchtart, über die 1. und 2. Versuchsanlage, je 4 Wiederholungen 2005-2008)

Die Rang-Analyse in Tabelle 39 für die fünf einheitlichen Fruchtfolgen ermöglichte eine Generalisierung über die Unterschiede zwischen den Versuchsstandorten und macht gemeinsame Muster über alle Standorte hinweg sichtbar. Fruchtfolge 2 mit Sudangras- und Maisanbau und zweimal Wintergetreide zeigte insgesamt sehr niedrige mittlere Beikrautdeckungsgrade („Verunkrautung“). Für Fruchtfolge 4 gilt Gleiches, allerdings nur für Standorte, auf denen die Etablierung des mehrjährigen Ackerfutters ohne Probleme möglich war, deshalb schneiden die Versuchsstandorte Werlte und Ettlingen gegenläufig ab. Fruchtfolge 3 zeigte an den meisten Standorten leicht erhöhte Beikrautdeckungsgrade, was vor allem auf erhöhte Werte im Fruchtfolgeglied Einjähriges Weidelgras (als Zwischenfruchtanbau) und Sudangras in Zweitfruchtstellung zurückzuführen war.

Tabelle 39: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den fünf identischen Standardfruchtfolgen an allen Untersuchungsstandorten

(Deckungsgradwerte sind gemittelt je Boniturtermin und Fruchtart, über die 1. und 2. Versuchsanlage, je 4 Wiederholungen 2005-2008)

Standort	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5
Güterfelde	5,47	4,52	11,04	6,83	8,90
Ettlingen	3,07	1,20	5,46	9,26	3,67
Ascha	12,41	3,97	7,27	4,47	6,74
Gülzow	2,24	0,24	2,24	0,45	1,81
Werlte	1,77	1,91	2,24	6,68	1,89
Trossin	1,85	1,69	2,11	1,61	2,77
Dornburg	2,23	1,65	3,61	1,19	1,60

Die dargestellten Beikrautdeckungsgrade sind jedoch keine reinen Fruchtarten- oder Fruchtwechseleffekte, sondern beinhalten gleichzeitig auch Effekte der Anfälligkeit der Kulturarten gegenüber variierender Jahreswitterung und der Probleme mit der Verfügbarkeit/Anwendung geeigneter Herbizide. Die Beikrautdeckungsgrade sind Produkt aller drei Einflussfaktoren, die sich aus den vorhandenen Daten schwer analytisch trennen lassen. Die Verwendung von Metadaten (hier: Informationen der Versuchsansteller) half in diesem Zusammenhang, Fehlinterpretationen zu vermeiden und Schwachstellen aufzuzeigen.

Aus den Interpretationen lassen sich folgende fruchtartenbezogenen Aussagen treffen: In Fruchtfolge 1 traten auf vier der sieben Untersuchungsstandorte (Güterfelde, Ascha, Güstrow und Dornburg) erhöhte Beikrautvorkommen in Zuckerhirse in Zweitfruchtstellung auf (Tabelle 40, Abbildung 34). Der gleiche Effekt war in Regionalfruchtfolge 7 bzw. 9 in Ettlingen und Trossin festzustellen. Gleiches gilt auch für Sudangras in Zweitfruchtstellung in Fruchtfolge 3 auf allen Standorten (unterschiedlich stark). Die zumeist herbizidfrei angebauten Zwischenfrüchte (Ölrettich, Einjähriges Weidelgras und Senf) zeigten ebenfalls deutlich erhöhte Beikrautdeckungsgrade auf fast allen Versuchsstandorten.

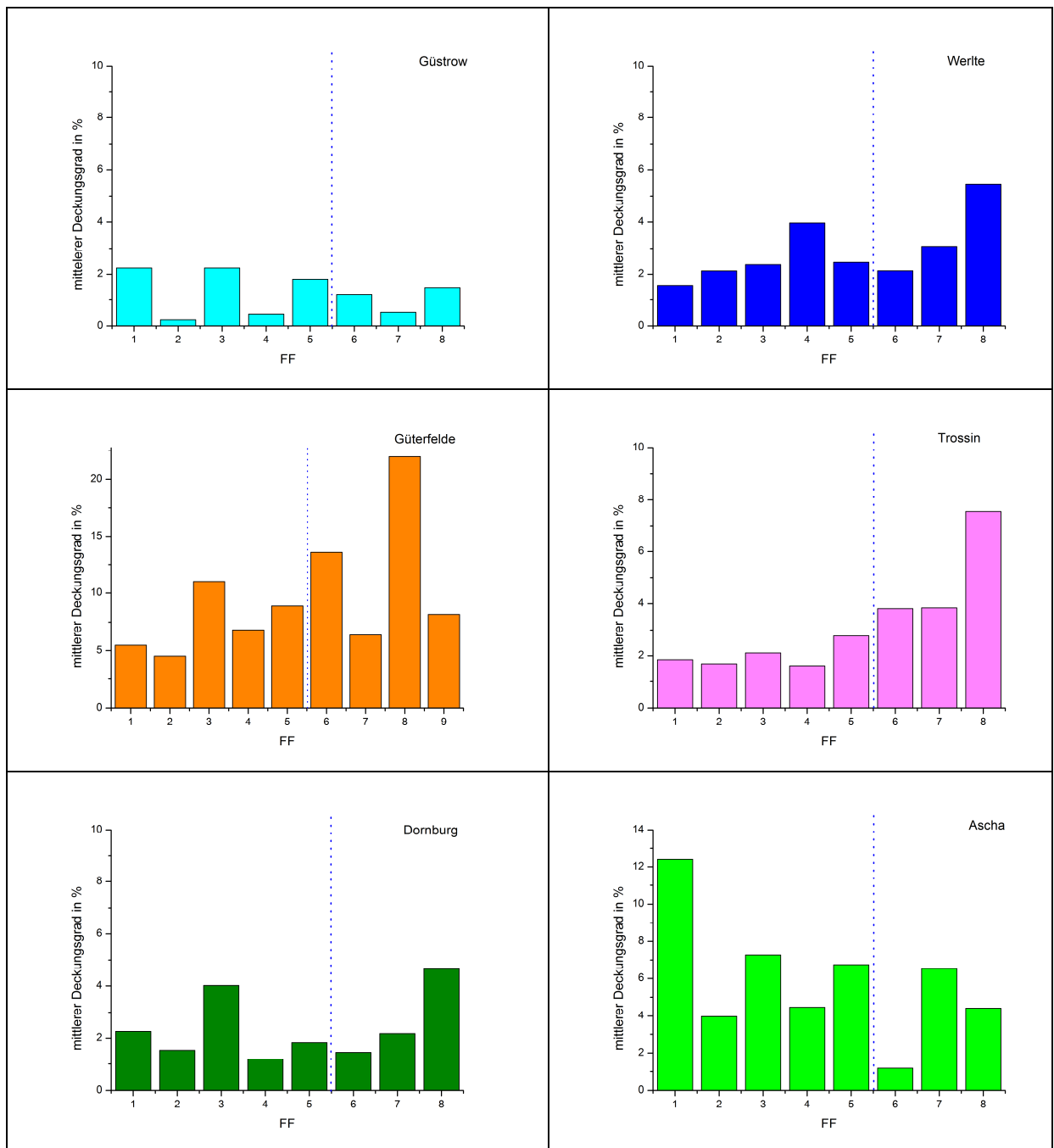


Abbildung 33: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den einzelnen Fruchtfolgen im Parzellenversuch an allen Untersuchungsstandorten

(Deckungsgradwerte sind gemittelt je Boniturtermin und Fruchtart, über die 1. und 2. Versuchsanlage, je 4 Wiederholungen 2005-2008)

Auf einzelnen Standorten ging die Etablierung von Sommergetreiden mit erhöhten Beikrautvorkommen einher (Ettlingen: Sommergerste und Hafer). Der Anbau von Hanf und mehrjährigem Topinambur ging stets mit erhöhten Beikrautdeckungsgraden einher, weil in diesen Kulturen keine Herbizide angewandt wurden bzw. zur Verfügung standen. Körnerleguminosen (Lupine, Erbsen) und Buchweizen als Alternativkulturen für trockene Standorte führten in Brandenburg zu erhöhten Beikrautdeckungsgraden.

Tabelle 40: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den einzelnen Fruchtarten der fünf Standardfruchtfolgen an allen Untersuchungsstandorten
(Deckungsgradwerte sind gemittelt je Boniturtermin und Fruchtart, über die 1. und 2. Versuchsanlage, Mittelwert aller Untersuchungsstandorte, je 4 Wiederholungen 2005-2008)

Fruchtfolge 1		Fruchtfolge 2		Fruchtfolge 3		Fruchtfolge 4		Fruchtfolge 5	
Fruchtart	MW	Fruchtart	MW	Fruchtart	MW	Fruchtart	MW	Fruchtart	MW
Sommergerste GPS	3,80	Sudangras GPS	2,62	Mais GPS	2,81	Sommergerste GPS	10,52	Hafer/Sort.-Misch GPS	4,16
Ölrettich WZF	4,82	Winterroggen WZF	2,73	Winterroggen WZF	2,71	Luz./Klee gras US	4,11	Wintertriticale GPS	6,35
Mais GPS	1,25	Mais 2F	2,62	Sudangras 2F	6,47	Luz./Klee gras 2.Jahr	2,62	Winterraps Korn	4,06
Wintertriticale WZF	1,81	Wintertriticale Korn	1,13	Wintertriticale GPS	1,85	Luz./Klee gras 3.Jahr	1,38	Winterweizen Korn	1,09
Zuckerhirse 2F	12,09	Winterweizen Korn	1,20	Einj. Weidelgras SZF	12,93	Winterweizen Korn	3,71		
Winterweizen Korn	1,54			Winterweizen Korn	0,62				
Summe:	25,31		10,30		27,39		22,34		15,65

Abkürzungen: GPS - Ganzpflanzensilage, 2F - Zweitfruchtstellung, SZF - Sommerzwischenfrucht, WZF - Winterzwischenfrucht, US - Untersaat, Luz - Luzerne

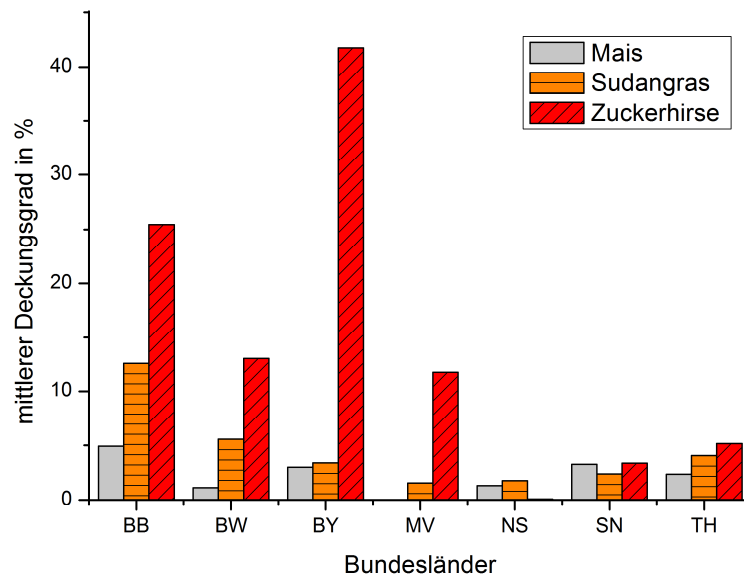


Abbildung 34: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den Fruchtarten Mais, Sudangras und Zuckerhirse an allen Untersuchungsstandorten

(Deckungsgradwerte sind gemittelt je Boniturtermin und Fruchtfolge, über die 1. und 2. Versuchsanlage, je 4 Wiederholungen 2005-2008)

Unabhängig von den festgestellten erhöhten Beikrautdeckungsgraden in Einzelkulturen bzw. Einzeljahren konnten keine Nachfolge- oder Fruchtfolgeeffekte in der einheitlichen Abschlusskultur der Anlage 1 festgestellt werden. Im abschließenden Wintergetreideanbau war der mittlere Beikrautdeckungsgrad nahe Null und ohne nachweisbare Unterschiede zwischen den einzelnen Fruchtfolgen.

3.4 Effekte der Fruchtfolgegestaltung

Die Vielzahl der insgesamt im Projektverbund EVA untersuchten Fruchtfolgen kann in ihren Auswirkungen auf die belebte Umwelt nur durch die Verwendung von Modellen analysiert und bewertet werden. Die Grundlage für die Bewertung bildet die in Kapitel 3.1 beschriebene Quantifizierung bzw. Parametrisierung der Modelle aus den systematisch dafür angelegten Untersuchungen in Praxisbetrieben in drei naturräumlich unterschiedlichen Beispielsregionen in Deutschland. Die Berücksichtigung unterschiedlicher naturräumlicher Hintergründe bzw. Landschaftstypen dient dabei vor allem zur Identifikation des regionalen Arteninventars als wichtige Hintergrundinformation, weil das vorhandene Arteninventar die Reaktionsmuster der einzelnen Organismengruppen auf Veränderungen in der Landnutzung maßgeblich beeinflusst. Die nachfolgenden bilanzierenden Berechnungen für die in den einzelnen Parzellenversuchen untersuchten Fruchtfolgen erfolgt deshalb regionsbezogen für die drei Regionen, in denen auch die Felduntersuchungen stattgefunden haben. Eine Übertragung in andere Gebiete, aus welchen keine Daten zu den regionalen Arteninventaren vorlagen, kann nur für stärker aggregierte Aussagen erfolgen, bei welchen nicht mehr eine artenbasierte Information zugrunde liegt, sondern von ökologischen Gruppen oder anderen Klassifikationen ausgegangen wird und die diebezüglichen Aussagen aus den drei Untersuchungsgebieten gleichgerichtete Trends er-

kennen lassen. Siehe hierzu die nachfolgenden Kapitel 3.5 und 3.6 Nachfolgende Modellbewertungen basieren auf den Daten zu den Kulturartenpräferenzen für die jeweiligen Einzelarten und den mittleren Abundanzen je Kulturartengruppe.

3.4.1 Beikrautflora

Die in den einzelnen Fruchtfolgen potenziell vorkommenden Beikrautarten wurden aus den Kulturartenpräferenzen (Abbildung 35) der in den Regionen vorgefundenen Arten kumulativ errechnet. Die Gesamtartenanzahl fällt um so höher aus, je mehr unterschiedliche Kulturartengruppen in den Fruchtfolgen vertreten sind und je höher der Beitrag einzelner Fruchtarten ist. Im Untersuchungsgebiet Thüringen kommen sehr viele Arten speziell im Mais und im mehrjährigen Ackerfutter vor. Deshalb schnitten Fruchtfolgen mit drei unterschiedlichen Kulturartengruppen (z. B. Wintergetreide, Sommergetreide, Mais – FF 1 oder Sommergetreide, mehrjähriges Ackerfutter und Wintergetreide – FF 4) dann besonders gut ab, wenn die Fruchtfolgen Mais und/oder mehrjähriges Ackerfutter beinhalteten (Abbildung 35, Tabelle 41). Die als Vergleichsvarianten parallel dazu kalkulierten Monokulturen von Mais und Winterweizen weisen eine um 30-35 % reduzierte Artenanzahl auf. Sommergetreideanteile hatten in den Untersuchungsregionen Bayern und Mecklenburg-Vorpommern deutliche höhere Beiträge zur Artenvielfalt als in Thüringen.

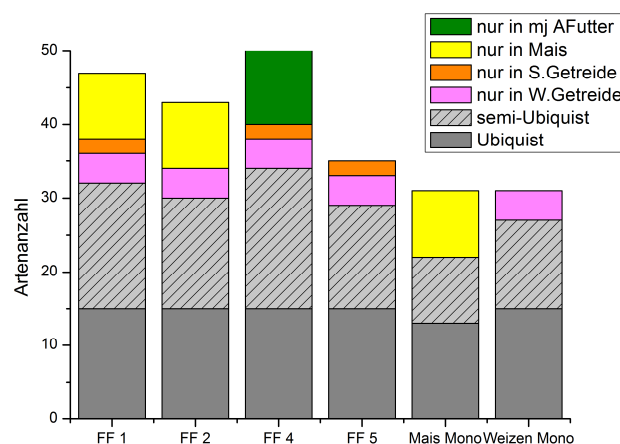


Abbildung 35: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Beikrautarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur
(Basis: Erhebungsdaten Thüringen, 2005-2007, Kulturartenpräferenzen)

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass die Fruchtfolgen 1 und 4 in allen Untersuchungsgebieten sowie FF 6 in Thüringen und FF 8 in Bayern und Thüringen die potenziell besten Rahmenbedingungen für eine hohe Anzahl an vorkommenden Arten für die Beikrautflora boten. Für Fruchtfolge 1 war dieser Effekt nicht mit einer hohen mittleren Abundanz (Deckungsgrad) verbunden. Die höchsten mittleren Deckungsgrade ergaben sich für die Fruchtfolgen 4 (Ausnahme Thüringen) und 5 (mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern) sowie bei den Thüringer Fruchtfolgen 6 und 7 (Tabelle 42).

Tabelle 41: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Beikrautarten
(Basis: Erhebungsdaten, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	68	55	55	70	67	55	55	70
Thüringen	47	43	43	52	35	35	43	50
Mecklenburg-Vorpommern	40	32	32	46	29	40	32	29

Tabelle 42: Mittlere Abundanz der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Beikrautarten
(Basis: Erhebungsdaten, gemittelt für die einzelnen Boniturtermine, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	7,10	9,02	7,52	12,86	13,88	7,65	9,02	9,52
Thüringen	8,68	11,28	9,40	7,18	10,33	10,33	11,18	7,20
Mecklenburg-Vorpommern	5,05	6,46	5,38	11,16	6,20	6,05	6,55	6,20

3.4.2 Laufkäfer

Bei den Laufkäfern waren die Kulturartenpräferenzen weniger stark ausgeprägt als bei der Beikrautflora, deshalb fallen auch die Unterschiede zwischen den einzelnen Fruchtfolgen weniger deutlich aus. Die untersuchten Fruchtfolgen haben nur einen geringen Einfluss auf die Artenanzahl der vorkommenden Laufkäferarten. Dennoch erhöht auch in diesem Fall die Fruchtwechselgestaltung die potenzielle Artenvielfalt um 20-25 % (Abbildung 36). Die höchsten Anzahlen an vorkommenden Laufkäferarten können nach dem Ergebnis der Kalkulationen für die Fruchtfolgen 1 und 4 angenommen werden (Tabelle 43). Die höchsten mittleren Individuendichten sind nicht in den gleichen Fruchtfolgen zu erwarten, sondern in den Fruchtfolgen 2 und 5 sowie in allen Regionalfruchtfolgen für Bayern, Fruchtfolge 6 in Thüringen und den Fruchtfolgen 7 und 8 in Mecklenburg-Vorpommern.

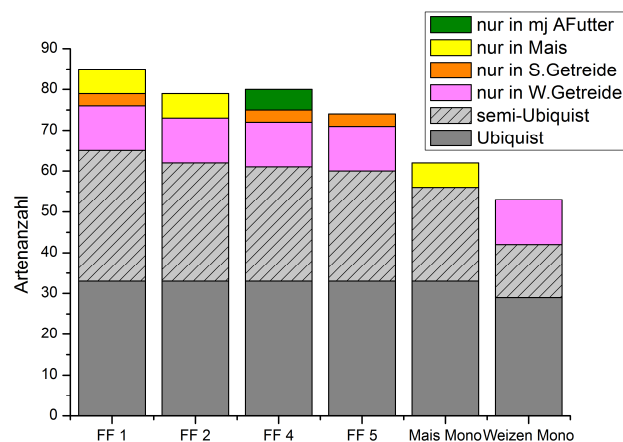


Abbildung 36: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Laufkäferarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur
(Basis: Erhebungsdaten Mecklenburg-Vorpommern, 2005-2007, Kulturartenpräferenzen)

Der Grund hierfür sind die hohen Fangergebnisse in Wintergetreide und Mais in nahezu allen Untersuchungsgebieten. Die mittlere Individuendichte war im Vergleich dazu im Sommergetreide und im mehrjährigen Ackerfutter deutlich niedriger. Aus diesem Grund schneiden die Wintergetreide-Mais-basierten Fruchtfolgen bei dieser Kalkulation besser ab (Tabelle 44).

Tabelle 43: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Laufkäferarten

(Basis: Erhebungsdaten, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	65	59	59	69	62	59	59	67
Thüringen	63	61	61	64	53	53	61	62
Mecklenburg-Vorpommern	85	79	79	80	74	85	79	74

Tabelle 44: Mittlere Individuendichte der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Laufkäferarten

(Basis: Erhebungsdaten, gemittelt für die einzelnen Boniturtermine, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	58,2	73,0	60,8	42,0	68,7	73,0	73,0	70,3
Thüringen	46,5	65,2	54,3	40,7	76,5	76,5	45,1	40,5
Mecklenburg-Vorpommern	53,8	73,2	61,0	40,0	79,9	69,0	79,7	79,9

3.4.3 Spinnen

Das Vorkommen der Spinnenarten war durch einen mittleren Anteil von Arten, die spezielle Habitatansprüche auf den Ackerflächen benötigen, geprägt. Im Ergebnis der Kalkulationen für die potenzielle Artenvielfalt führt das zu dem Ergebnis, dass ähnlich wie bei der Beikrautflora, die vielgestaltigen Fruchtfolgen mit drei unterschiedlichen Kulturartengruppen (z. B. Mais, Wintergetreide, Sommergetreide - FF 1) die höchsten Artenanzahlen aufwiesen. Sommergetreide, mehrjähriges Ackerfutter und späte Sommerkulturen, wie Mais, wiesen hohe eigenständige Beiträge für das Artvorkommen auf. Monokulturen von z. B. Mais oder Winterweizen, bieten deshalb für ca. 30 % weniger Arten potenzielle Habitatbedingungen (Abbildung 37).

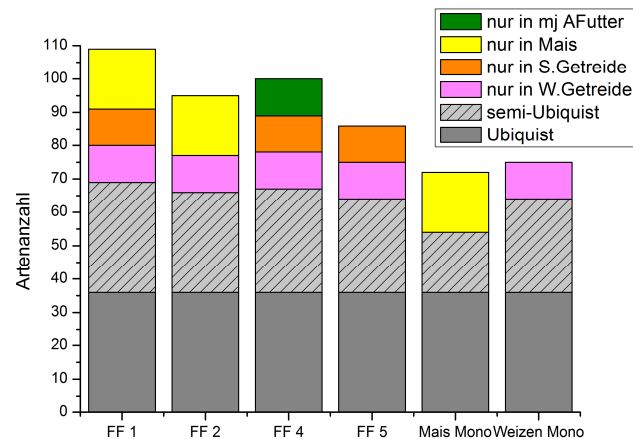


Abbildung 37: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Spinnenarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur

(Basis: Erhebungsdaten Mecklenburg-Vorpommern, 2005-2007)

Tabelle 45: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Spinnenarten (Basis: Erhebungsdaten, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	91	77	77	91	81	77	77	86
Thüringen	109	95	95	100	86	109	95	86
Mecklenburg-Vorpommern	90	76	76	99	74	74	76	90

In der Gesamtbewertung ergeben sich die potenziell artreichsten Vorkommen für die Fruchtfolgen 1 und 4 in allen Untersuchungsgebieten sowie für Fruchtfolge 6 in Thüringen und Fruchtfolge 8 in Mecklenburg-Vorpommern (Tabelle 45). In Fruchtfolge 4 geht parallel damit auch eine erhöhte mittlere Individuendichte einher, nicht so in Fruchtfolge 1. Hohe mittlere Individuendichten ergeben sich aus der Berechnung auch für Fruchtfolge 5 und 6 (Ausnahme Bayern) und Fruchtfolge 8 in Mecklenburg-Vorpommern (Tabelle 46).

Tabelle 46: Mittlere Individuendichte der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Spinnenarten

(Basis: Erhebungsdaten, gemittelt für die einzelnen Boniturtermine, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	24,6	29,1	24,3	56,0	37,2	27,3	29,1	30,7
Thüringen	55,6	71,0	59,2	64,5	74,6	74,6	63,2	66,0
Mecklenburg-Vorpommern	52,1	59,7	49,8	67,2	64,6	63,8	60,3	64,6

3.4.4 Blütenbesucher

Aufgrund der ausgeprägten intensiven Wanderbewegungen gibt es in der Gruppe der Blütenbesucher nur sehr geringe Bindungen im Vorkommen an einzelne Kulturarten. Die vorgefundenen Präferenzen sind auch eher ein Resultat der unterschiedlichen Anbauzeiträume der Fruchtarten, als spezielle Effekte der Bestandesarchitektur oder des Bestandesklimas. Die aus Abbildung 38 ersichtlichen hohen „einmaligen“ Artenfunde im mehrjährigen Ackerfutter gelten speziell für das Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern. In den anderen beiden Gebieten kamen mehr Arten ausschließlich im Mais, Wintergetreide oder in Körnerleguminosen vor. Mit leichten Abstrichen für das Untersuchungsgebiet Thüringen kommen aber auch bei den Blütenbesuchern wieder die Vorteilswirkungen der aus drei verschiedenen Kulturartengruppen zusammengesetzten Fruchtfolgen 1 und 4 gegenüber den Fruchtfolgen mit nur zwei Kulturartengruppen zur Geltung (Tabelle 47). Dieser Trend war im Untersuchungsgebiet Thüringen nicht vom Ergebnis für die Fruchtfolgen 2 und 3 zu unterscheiden. Fruchtfolge 5 ist jedoch deutlich artenärmer. Die mittlere Individuendichte war in Fruchtfolge 5 am höchsten, ebenso wie in Fruchtfolge 2 und 6 in Thüringen und in den Fruchtfolgen 2, 7 und 8 in Mecklenburg-Vorpommern

Tabelle 48.

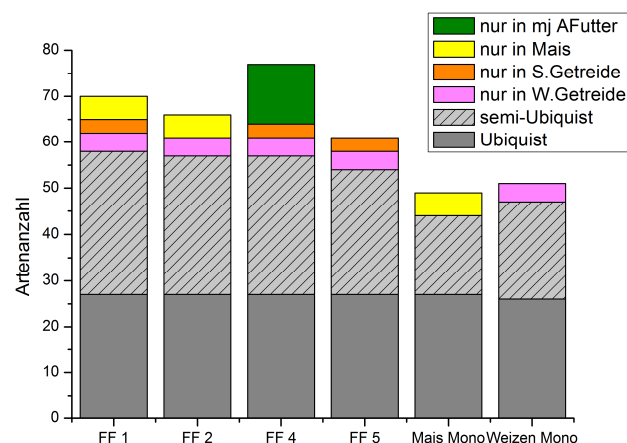


Abbildung 38: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Blütenbesucherarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur (Basis: Erhebungsdaten Mecklenburg-Vorpommern, 2005-2007)

Tabelle 47: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Blütenbesucherarten

(Basis: Erhebungsdaten, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	94	71	71	89	85	71	71	83
Thüringen	84	81	81	78	67	67	81	73
Mecklenburg-Vorpommern	70	66	66	77	61	70	66	61

Tabelle 48: Mittlere Individuendichte der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Blütenbesucherarten

(Basis: Erhebungsdaten, gemittelt für die einzelnen Boniturtermine, 2005-2007)

Untersuchungsgebiet	Fruchtfolgen							
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
Bayern	6,35	7,18	5,98	9,66	10,85	6,40	7,18	8,07
Thüringen	13,27	20,48	17,07	11,18	23,30	23,30	13,03	12,43
Mecklenburg-Vorpommern	7,22	10,56	8,80	7,06	11,63	9,48	11,85	11,63

3.4.5 Brutvögel

Bei der Habitatnutzung von Ackerflächen durch Vogelarten der Offenlandschaften muss zwischen auf den Flächen brütenden und ausschließlich Nahrung suchenden Arten unterschieden werden. Die brütenden Vogelarten stellen sehr spezifische Ansprüche an die bestandesdichte und -höhe und sind während der Brut ortsgebunden. Reine Futtersucher reflektieren demgegenüber vor allem auf die Länge der Bestandesperiode, können ungünstige Bedingungen im Rahmen gewisser Grenzen abpuffern bzw. auf Nachbarflächen ausweichen. Für die Bewertung der Habitatnutzung sind beide Aspekte von Bedeutung. Mehrjährige Ackerfutterbestände und lückiges Sommer-getreide/Körnerleguminosen sind für die meisten Arten die bevorzugten Bruthabitate. Kulturen mit hohen Bestandesdichten, wie Wintergetreide oder Mais, verfügen meist nur über ein kurzes Zeitfenster, in welchem erfolgreiche Bruten der Offenlandvogelarten möglich sind. Diese Ackerkulturen werden im Mittel von nur 2 Vogelarten als potenzielle Bruthabitate genutzt. Der im EVA-Verbund explizit untersuchte verstärkte Zwischenfrucht- und Zweitfruchtanbau, verbunden mit leicht verzögerten Aussaatterminen für die Zweitfrucht verlängert die Periode mit günstiger Bestandesarchitektur für einzelne Vogelarten, wodurch das Potenzial für die Nutzung zur Brut erhöht wird. Teilweise wird dieser Effekt für einzelne Arten durch die Störung beim Zusammentreffen von Brutperiode und vorgezogenen Ernteterminen gemindert. Der positive Effekt der verlängerten Vegetationsbedeckung durch die Energiepflanzen kommt bei der Eignung als Futterhabitat noch stärker zur Geltung. Durch die nahezu ganzjährige Bodenbedeckung werden wichtige Lücken im Futterangebot für Vögel im Spätsommer und Herbst teilweise überbrückt, mehr Vogelarten können die Ackerflächen als Futterhabitat nutzen (Abbildung 39), auch die Nutzungsdauer als Futterhabitat

nimmt zu (Tabelle 49). Die angegebenen Werte für die Mais- und Winterweizen-Monokultur können als Spannbreite für übliche Marktfrüchte (Referenz) angesehen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Fruchtfolge 4 durch den Anbau von mehrjährigem Ackerfutter die besten Habitatbedingungen bietet, sowohl für die Brut verschiedener Arten als auch für die Futtersuche von Vogelarten. Insbesondere bei der Bereitstellung von Futter für die Vögel der Offenlandschaften ist der Unterschied zwischen den Fruchtfolgen und der Mais-Monokultur deutlich, er beträgt nahezu die Hälfte der nutzbaren Monate bei der Mais-Monokultur. Fruchtfolgen mit Zwischen- oder Zweitfruchtanbau wirkten sich deutlich förderlich auf die Flächennutzung als Nahrungshabitat für Vögel aus.

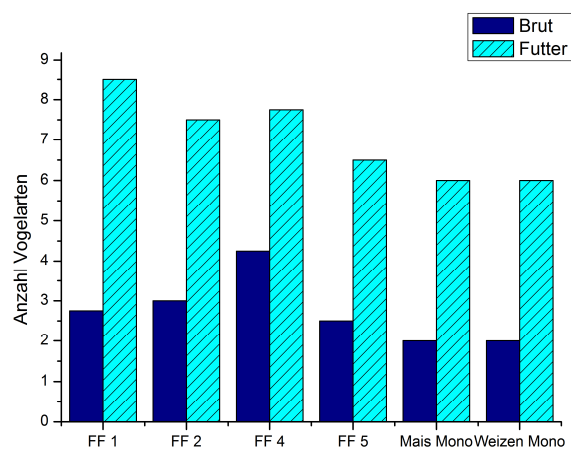


Abbildung 39: Anzahl der Vogelarten, die in den unterschiedlichen Fruchtfolgen potenziell geeignete Habitatbedingungen für die Brut bzw. Futteraufnahme finden im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur

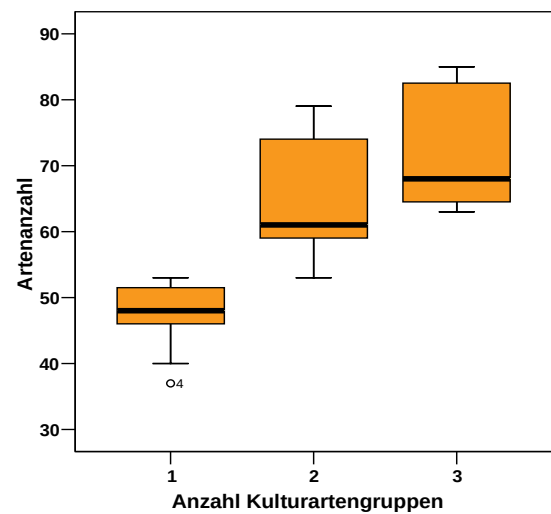
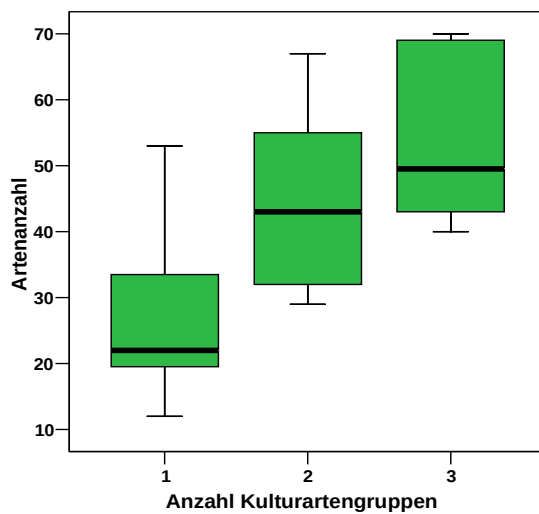
(definierte Habitatsprüche für die einzelnen Indikatorarten aus Studie Fuchs & Matthews (2008) und einem Modell für die Bestandesarchitektur von Kulturpflanzenbeständen in monatlicher Auflösung, Glemnitz & Roth (2005))

Tabelle 49: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Vogelarten (kalkuliert auf der Grundlage von Habitatmodellen, Mittelwerte über die Einzeljahre der 4-jährigen Fruchtfolge)

Potenzielle Eignung als	Fruchtfolgen						
	FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	Mais-Mono	WW-Mono
Bruthabitat (Anzahl Vogelarten)	2,75	3	2,75	4,25	2,5	2	2
Futterhabitat (Anzahl Vogelarten)	8,5	7,5	9,5	7,75	6,5	6	6
Futterhabitat (Anzahl Monate insgesamt)	14,2	14,4	18,0	20,0	14,4	7,2	13,8

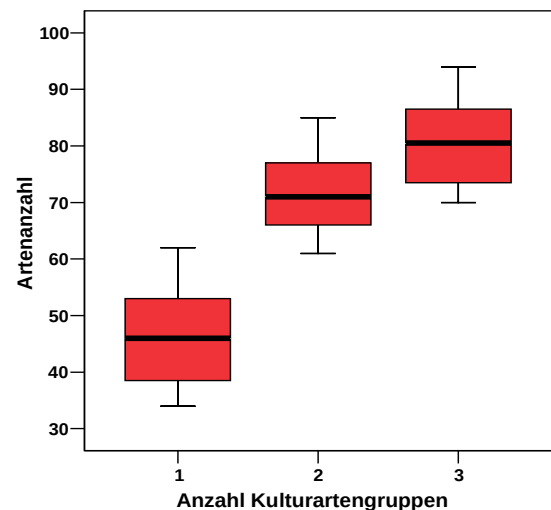
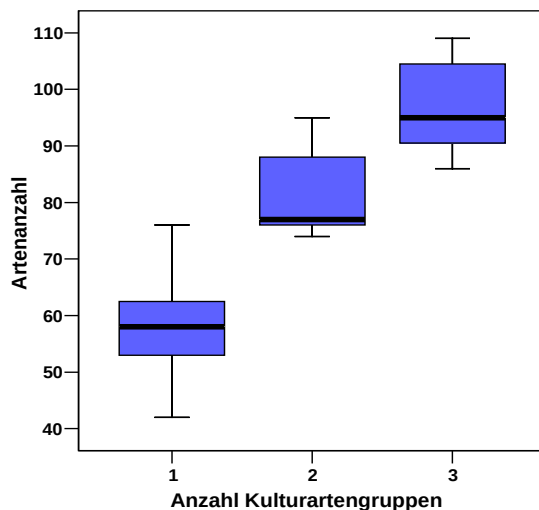
3.4.6 Gesamtbewertung

Die im Rahmen des EVA-Projektes getesteten Fruchtfolgen umfassen die Dauer von 4 Jahren und setzen sich durchgehend aus Kulturarten zusammen, die in Bezug auf die habitat-relevanten Eigenschaften Anbauperiode und Bestandesstruktur zwei bis drei unterschiedlichen Anbaukonstellationen (Kulturartengruppe: Wintergetreide, Sommer-getreide, Leguminosen, Mais, mehrjähriges Ackerfutter) zuzuordnen sind.



A.) Beikräuter

B.) Laufkäfer



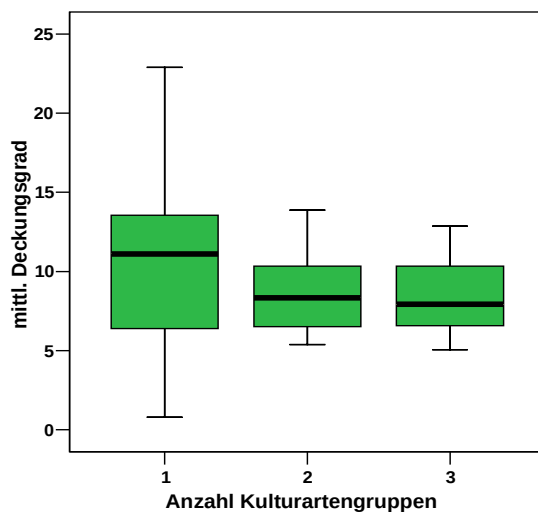
C.) Spinnen

D.) Blütenbesucher

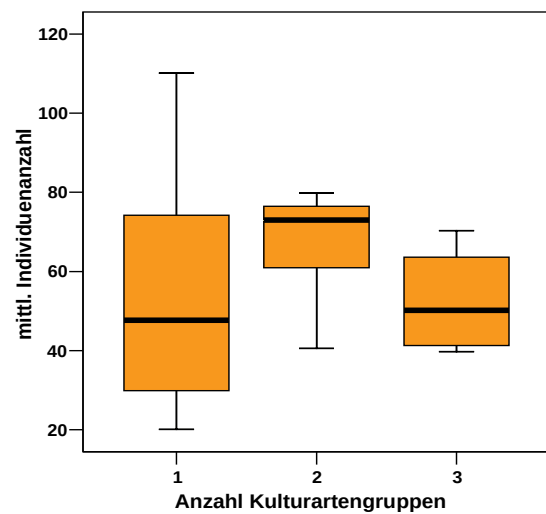
Abbildung 40: Zusammenhänge zwischen der Anzahl unterschiedlicher Kulturartengruppen in der Fruchtfolge und der mittleren jährlichen Artenanzahl der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen (A - Beikräuter, B - Laufkäfer, C - Spinnen, D - Blütenbesucher, die Boxplots basieren auf den mittleren Artenanzahlen in den unterschiedlichen Fruchtfolgen über alle Untersuchungsgebiete hinweg, zur Definition der Kulturartengruppen siehe Clusterung im Kap. 2.3)

Die Anzahl der Kulturartengruppen je Fruchtfolge drückt dabei die Unterschiedlichkeit der Habitatbedingungen innerhalb der Fruchtfolge, unabhängig von den konkret enthaltenen Fruchtarten, aus. Vergleicht man die Effekte der Fruchtfolgen aus dem EVA Teilprojekt I mit den Effekten der einzelnen Fruchtarten (Box: 1 Kulturartengruppe), so zeigen sich die in Abbildung 40 und Abbildung 41 dargestellten Zusammenhänge. Die Artenanzahl aller untersuchter Organismengruppen (A-D) ist in allen Fruchtfolgen, die zwei oder drei unterschiedliche Kulturartengruppen beinhalten, höher als bei den artenreichsten einzelnen Kulturarten. Bei drei unterschiedlichen Kulturartengruppen (z. B. Wintergetreide, Sommergetreide, Mais) ist die potenziell während der Fruchtfolge vorkommende Artenanzahl tendenziell oder deutlich höher als bei Fruchtfolgen mit nur zwei unterschiedlichen Kulturartengruppen. Für die Laufkäfer spielt es keine Rolle, ob, wie in Bayern und Mecklenburg-Vorpommern, die Fruchtfolgen mit mehrjährigen Futtergräsern am stärksten diversitätsfördernd sind, oder, wie in Mecklenburg-Vorpommern, eine Anbaufolge mit Sommer-, Wintergetreide und Mais. Fruchtfolgen mit nur 2 Fruchtartengruppen bieten Habitatbedingungen für eine insgesamt geringere Anzahl von Arten. Dabei wirkt sich die Kombination aus Mais und Wintergetreide stärker diversitätsfördernd aus als die Kombination aus Sommer- und Wintergetreide. Der diversitätsfördernde Effekt der Fruchtfolgen, die aus drei unterschiedlichen Fruchtartengruppen zusammengesetzt waren, lässt sich dadurch erklären, dass jede der Kulturartengruppen die Fruchtfolge mit einigen Arten bereichert, die spezifisch nur in einzelnen Kulturarten vorkommen, teilweise auch nur fakultativ auf den Ackerflächen vorkommen, z. B. mehrjährige Arten im Ackerfutter, Spätsommerarten in Mais, Sudangras oder Zuckerhirse.

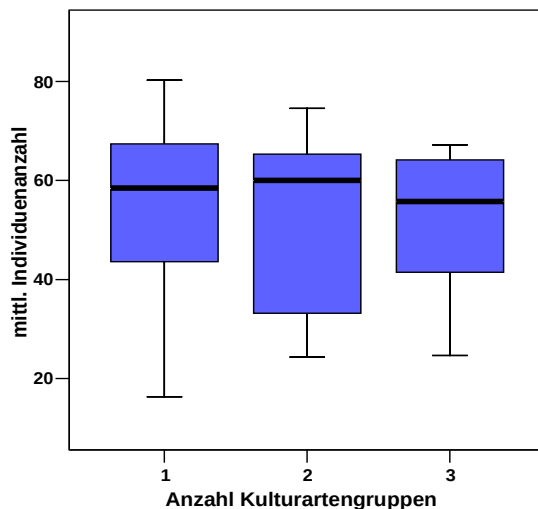
Die Abundanz der Organismengruppen (Abbildung 41) wird durch die Heterogenität der Habitatbedingungen innerhalb der Fruchtfolgen, gemessen an der Anzahl der beteiligten Fruchtartengruppen, nicht beeinflusst. Fördernde oder einschränkende Effekte sind entweder auf einzelne spezielle Fruchtarten beschränkt (Spinnen, Vögel – mehrjähriges Ackerfutter, Laufkäfer, Blütenbesucher – Wintergetreide) oder unterscheiden sich wenig fruchtartenspezifisch (Beikrautflora). Der Fruchtartenwechsel innerhalb der Fruchtfolgegestaltung wirkt im ersten Fall ausgleichend. Die Monokultur wirkt dagegen potenzierend bzw. kumulativ auf einseitige Zunahmen in der Abundanz. Für die im Projekt untersuchten Fruchtfolgen ist deshalb der Befund, dass die Abundanzen der einzelnen Organismengruppen sich in vielgestaltigen Fruchtfolgen um den Mittelwert der einzelnen Fruchtarten herum gruppieren und dass gleichzeitig die Varianz in den Abundanzen abnimmt (nicht so deutlich bei den Spinnen und Blütenbesuchern) eine logische Konsequenz. Die Abundanz der einzelnen Organismengruppen wird im Jahresüberblick durch die Länge der Anbauperiode (identisch mit Dauer der potenziellen Habitatnutzung) interagiert. In Abbildung 41 sind die mittleren Individuendichten bzw. Deckungsgrade je Boniturtermin dargestellt, um eine bessere Vergleichbarkeit der Fruchtfolgen zu gewährleisten. Parallel dazu durchgeführte Auswertungen zur summarischen Abundanz über die Anbauperiode hinweg zeigten jedoch die gleichen Grundtendenzen auf. Dies mag mit der Ausrichtung der geprüften Fruchtfolgen auf eine möglichst optimale Ausnutzung der Anbauperiode im Zusammenhang stehen. Die vorangestellten Einzelauswertungen zur Habitatnutzung der einzelnen Organismengruppen haben deutlich gemacht, dass die einzelnen Kulturarten und Fruchtfolgen unterschiedliche Effekte der Biodiversität und Habitatnutzung bedienen.



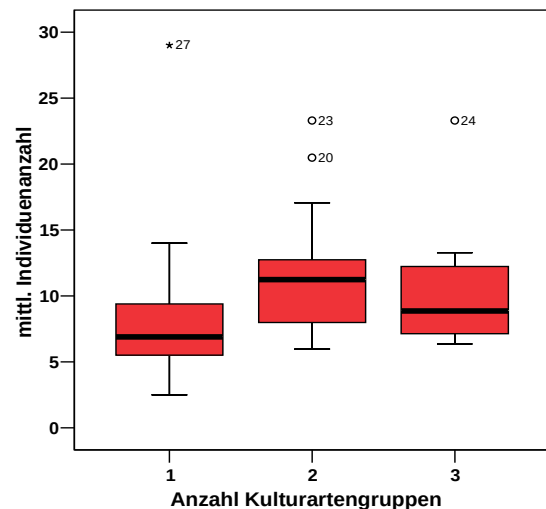
A.) Beikräuter (Deckungsgrad)



B.) Laufkäfer (Individuendichte)



C.) Spinnen (Individuendichte)



D.) Blütenbesucher (Individuendichte)

Abbildung 41: Zusammenhänge zwischen der Anzahl unterschiedlicher Kulturartengruppen in der Fruchtfolge und den mittleren Abundanzen (Deckungsgrad, Individuendichten) der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen

(A - Beikräuter, B - Laufkäfer, C - Spinnen, D - Blütenbesucher, die Boxplots basieren auf den Abundanzwerten in den unterschiedlichen Fruchtfolgen über alle Untersuchungsgebiete hinweg, zur Definition der Kulturartengruppen siehe Clusterung im Kap. 2.3)

Tabelle 50 versucht, die Effekte für die einzelnen Organismengruppen für die fünf Standardversuche aus dem EVA-Projekt im Vergleich zum Monokulturanbau von Mais und Winterweizen zusammenzufassen. Dafür wurden die Kalkulationsergebnisse aus Kapitel 3.4 zugrunde gelegt. Die Effekte auf das Artvorkommen (Artenanzahl) und die Mächtigkeit der einzelnen Zönosen (Abundanzen) werden dabei getrennt dargestellt. Die Zusammenstellung macht deutlich, dass die Fruchtfolgen mit wenigen Ausnahmen die Diversität und Habitatnutzung deutlich stärker fördern als der Monokulturanbau oder im Umkehrschluss, dass eine Entwicklung in Richtung des Monokulturanbaus zu starken Reduktionen in der Diversität und Dichte der Populationen auf dem Acker führt. Zwischen den untersuchten Fruchtfolgen lassen sich Konstellationen ausweisen, die nur auf wenige

Aspekte der Biodiversität positiv wirken (Fruchtfolge 2 und 3) und andere, die entweder die Artenanzahlen oder die Dichten der Zönosen positiv beeinflussen. Beide Auswirkungen können dabei nicht gleichzeitig optimiert oder maximiert werden. Die Fruchtfolgen 1 und 4 erwiesen sich in der Zusammenfassung als förderlich auf die Anzahl vorkommender Arten bei fast allen Organismengruppen. Bei Fruchtfolge 1 ist dieser Effekt auf die Integration von Sommergetreide und Zwischenfruchtanbau in ein ansonsten von Mais/Zuckerhirse und Wintergetreide dominiertes Anbausystem zurückzuführen. Im Falle von Fruchtfolge 4 ist dies dem Anbau von mehrjährigem Ackerfutter geschuldet. Die Getreide-Raps-dominierte Fruchtfolge 5 schnitt im Vergleich der fünf Basisfruchtfolgen bei den Artenanzahlen für alle Organismengruppen am schlechtesten ab, wies aber dafür bei allen Organismengruppen, mit Ausnahme der Indikatorvogelarten, die höchsten Individuendichten bzw. Abundanzen auf. Besonders deutlich war dieser Effekt für die Laufkäfer und Blütenbesucher.

Tabelle 50: Zusammenfassung der Effekte der Fruchtfolgengestaltung auf die einzelnen untersuchten Organismengruppen im Vergleich mit kalkulierten Werten zur Mais- und Winterweizen-Monokultur

(dargestellt sind Ränge aus den Modellberechnungen für die einzelnen Untersuchungsregionen, höchster Wert ist jeweils A, siehe hierzu auch Kapitel 3.4.1-4)

Organismen- gruppe	ME	Fruchtfolgen						
		FF 1	FF 2	FF 3	FF 4	FF 5	Mais-Mono	WW-Mono
Beikrautflora	AZ	B	C	C	A	D	E	E
	DG	D	C	D	A	A	B	B
Laufkäfer	AZ	A	B	B	A	C	D	D
	ID	E	C	D	F	B	E	A
Spinnen	AZ	A	B	B	A	C	D	D
	ID	C	B	C	B	A	C	A
Blütenbesucher	AZ	A	B	B	A	B	D	C
	ID	C	A	B	C	A	D	A
Vögel der Offenlandschaft	AZ B	C	B	C	A	C	D	D
	AZ F	A	B	A	B	C	C	C
	Mo F	B	B	A	A	B	C	B

Legende: AZ - Artenanzahl, ID - mittlere Individuendichte, DG - mittlerer Deckungsgrad, B - Nutzung Bruthabitat, F - Nutzung Futterhabitat, Mo F - Anzahl der Monate geeignetes Futterhabitat, ME - Parameter)

3.5 Spezielle Aspekte des Energiepflanzenanbaus

Für die Reflektion auf aktuelle bzw. potenziell mögliche Spezifika des Anbaus von Energiepflanzen für eine Verwendung in Biogasanlagen im Vergleich zum Anbau von Marktfrüchten wurden die in den Untersuchungsgebieten vorgefundenen Inventare und Kulturartenbezüge genutzt, um mit dem Lebensraummodell spezielle Anbauszenarien zu berechnen. Die nachfolgenden Darstellungen und Ergebnisaussagen basieren auf den Realdaten aus allen drei Untersuchungsgebieten von 2005-2007 und den in Kapitel 3.1 zusammengefassten Kulturartenbezügen. Die Szenarien beziehen sich auf die Ergebnisse für

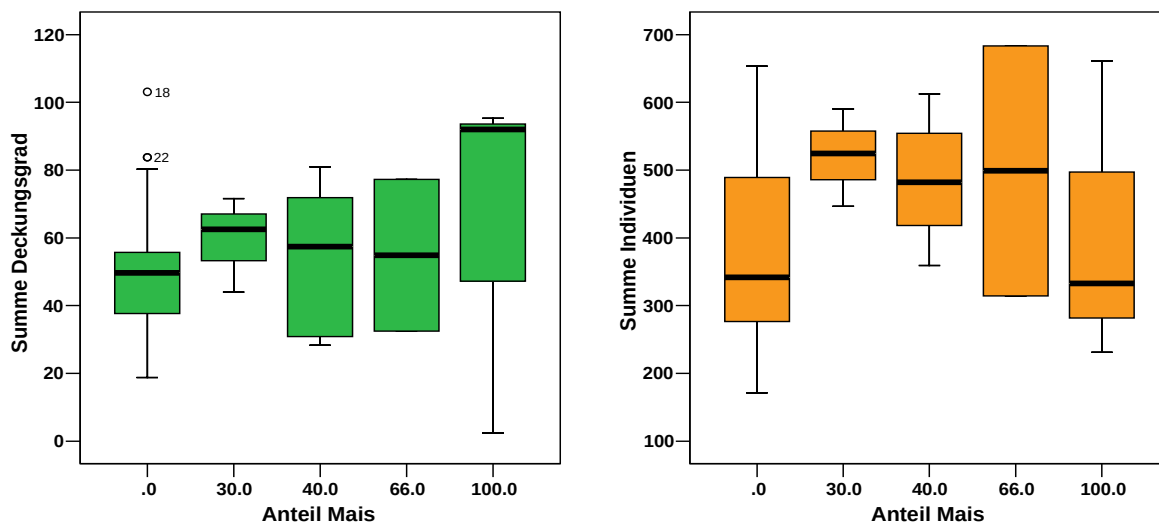
die Fruchtfolgen aus dem Grundversuch, welche auf ihre Fruchtartenanteile reduziert und den Berechnungen zugrunde gelegt wurden.

3.5.1 Maisanteile in der Fruchtfolge

Unabhängig von der Kombination mit anderen Fruchtarten legten die im EVA-Projekt untersuchten Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Maisanteilen die in Abbildung 42 zusammengefassten Grundtendenzen für die vier, in den Felduntersuchungen erhobenen Organismengruppen dar. Auf die jahresbezogene Größe der Spinnenpopulation pro Schlag hatte der Maisanteil keinen erkennbaren Einfluss, der Gesamtdeckungsgrad der Beikräuter zeigte eine zunehmende Variationsbreite und damit ein zunehmendes Risiko eines erhöhten Beikrautbesatzes an. Auf Laufkäfer- und Blütenbesucherzönosen wirkt der Maisanteil bis zu einer gewissen Grenze förderlich auf die Individuendichte. Bei den Blütenbesuchern ist die Grenze, an der dieser Trend nichtig wird oder ins Gegenteil umschlug schon bei 40 % Maisanteil in der Fruchtfolge erreicht. Bei den Laufkäfern wird dieser positive Effekt erst bei über 66 % Maisanteil nichtig und die Laufkäferdichte fällt auf das Niveau von Fruchtfolgen ohne Maisanbau zurück.

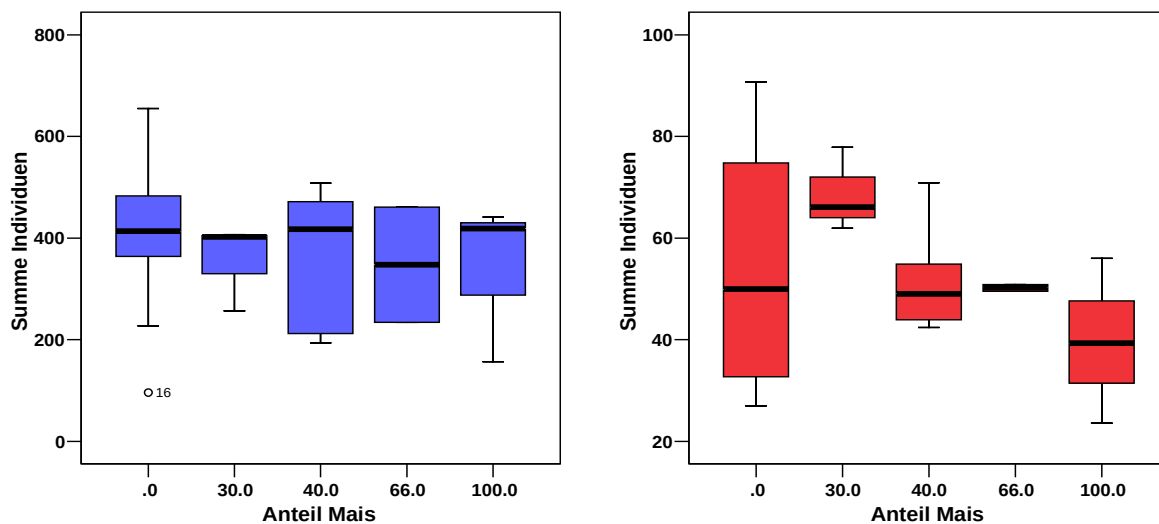
Neben den Effekten auf die Größe der Populationen konnten auch selektive Einflüsse auf einzelne funktionale Gruppen der Zönosen herausgearbeitet werden. Diese Effekte sind interagiert vom grundlegenden Einfluss auf die Zönose, d. h. bei einer z. B. grundsätzlichen Förderung der Laufkäferzönosen durch den Maisanbau können nur wenige abnehmende Trends gefunden werden. Die Einflüsse auf die funktionalen Gruppen sind in Tabelle 51 zusammengefasst. Aufgelistet werden nur Unterschiede mit einem eindeutigen Trend und einer Besetzung der jeweiligen ökologischen Gruppe mit jeweils > 5 % der Gesamtindividuenanzahl.

Für die Veränderungen einzelner funktionaler Gruppen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass mit zunehmendem Maisanteil hygrophile und ganzjährig aktive bzw. ganzjährig keimende Arten in den Zönosen zurückgehen. Im Vergleich dazu nehmen Arten, deren Populationsentwicklung an den Spätsommer gebunden ist, z. B. Sommerblüher unter den Beikräutern, larvalüberwinternde Laufkäfer, sommeraktive Spinnen und Syrphiden, zu. Bei den Beikräutern zeigen Korbblütler als wichtige Blütenpflanzen eine abnehmende Tendenz und die für Blütenbesucher wenig bedeutsamen Knöterichgewächse nehmen zu. Trotz der Zunahme der sommerblühenden Arten ist der Trend für alle Blütenpflanzen in maisdominierten Fruchtfolgen insgesamt abnehmend. Bei den Laufkäfern manifestierte sich die schon in der Individuenanzahl ersichtliche Glockenkurve, d. h. die dargestellten ökologischen Gruppen nahmen bis zu einem gewissen Maisanteil zu und zeigten danach eine rückläufige Entwicklung, ohne allerdings ins Gegenteil umzuschlagen. Interessant ist bei den Laufkäfern die Zunahme vor allem bei den großen, schweren Arten, den kurzflügeligen und den larvalüberwinternden Arten.



A.) Beikräuter (Deckungsgrad)

B.) Laufkäfer (Individuendichte)



C.) Spinnen (Individuendichte)

D.) Blütenbesucher (Individuendichte)

Abbildung 42: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Mais in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen

(A - Beikräuter, B - Laufkäfer, C - Spinnen, D - Blütenbesucher, Abundanzwerte in den unterschiedlichen Fruchtfolgen über alle Untersuchungsgebiete hinweg, Abundanzsummen je Falle bzw. Bonitürpunkt, aufsummiert über die Erhebungstermine, im Mittel der Untersuchungsjahre 2005-2007, N=37 Fruchtfolgen)

Bei den Spinnen nahmen ebenfalls die größeren, schweren Arten und Arten der Brache-
flächen mit dem Maisanteil zu, kleine und typische Ackerarten ab. Bei den Blüten-
besuchern waren gegenläufige Trends für die Artengruppe der Apidae (Bienen) und
Syrphidae (Schwebfliegen) zu beobachten. Dies ergibt sich aus den abweichenden Aktivi-
tätszeiträumen der beiden Gruppen, Bienen sind stärker vom Frühjahr bis zum Sommer
aktiv, während Schwebfliegen ab Mitte des Sommers verstärkt auf Ackerflächen gefangen
wurden. Da die Bienen die insgesamt arten- und individuenreichere Gruppe darstellen (3-
5x), wird der Gesamteinfluss des Maisanbaus auf die Anzahl der Blütenbesucher mit zu-
nehmendem Maisanteil negativ.

Tabelle 51: Verbale Zusammenfassung des Einflusses eines zunehmenden Anteils von Mais in den Fruchtfolgen auf die Abundanzen einzelner funktionaler Gruppen innerhalb der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen

zunehmend	abnehmend
Beikrautflora	
Polygonaceae sommerannuelle Arten Sommerblüher Temperaturzeiger	Asteraceae ganzjährig keimende Arten Blütenpflanzen insgesamt Feuchtezeiger
Laufkäfer	
eurytope Arten (Glockenkurve!) typische Ackerarten (Glockenkurve!) brachyptere Arten (Glockenkurve!) larvalüberwinternde Arten Körpermasse 10-30 mg (Glockenk.!) Körpermasse 30-100 mg (Glockenk.!)	hygrophile Arten
Spinnen	
Brachearten sommeraktive Arten (diplochrone) Körpermasse 10-20 mg	hygrophile Arten typische Ackerarten ganzjährig aktive Arten Körpermasse 0,1-5 mg
Blütenbesucher	
Syrphidae aphidophage Syrphiden zoophage Syrphiden saisonale Migranten (S)	Apidae singlelektische Pollenquelle

3.5.2 Ackerfutteranteile in der Fruchtfolge

Aufgrund der Mehrjährigkeit des Ackerfutters läuft die Auswertung der im EVA-Projekt untersuchten Fruchtfolgen auf einen Vergleich von Fruchtfolgen ohne Ackerfutteranteile (0 %), Fruchtfolgen mit Ackerfutteranteilen (75 %) an unterschiedlichen Standorten und die alleinige Betrachtung des Ackerfutters (100 %) hinaus.

Im Ergebnis der Kalkulationen zeigte sich, dass der Ackerfutteranbau keinen eindeutigen Einfluss auf die Abundanzen der Beikrautflora und der Blütenbesucherzönosen hatte (Abbildung 43). Bei beiden Organismengruppen liegen die Fruchtfolgen mit Ackerfutteranbau und der Ackerfütteranbau allein auf dem Niveau der Fruchtfolgen ohne Ackerfutteranbau. Lediglich die Variation unterhalb des Medians ist deutlich reduziert. Im Vergleich dazu wird die Jahressumme bei den Laufkäfern durch den Anbau von mehrjährigem Ackerfutter drastisch reduziert und die Populationen der Spinnen steigen stark an. Diese Gegenläufigkeit ist auf die hohe Bestandesdichte und dem vorherrschenden Mikroklima zurückzuführen.

Dies zeigt sich u. a. auch in dem Verhalten der untersuchten ökologischen Gruppen (Tabelle 52). Xerophile Arten nehmen ab und hygrophile Arten nehmen zu. Zusätzlich werden Arten, die an eine mehrjährige Bodenruhe gebunden sind, durch das mehrjährige

Ackerfutter gefördert, so z. B. Gräser generell, Rhizomarten und Hemikryptophyten unter den Beikräutern, fakultativ auf dem Acker vorkommende Arten und ganzjährig aktive Spinnenarten und Blütenbesucher. In der Gruppe der Beikräuter nehmen Korbblütler und andere Blütenpflanzen in ihren Abundanzen zu, einjährige sommeranuelle Arten und Arten mit höheren Temperatursprüchen dagegen ab.

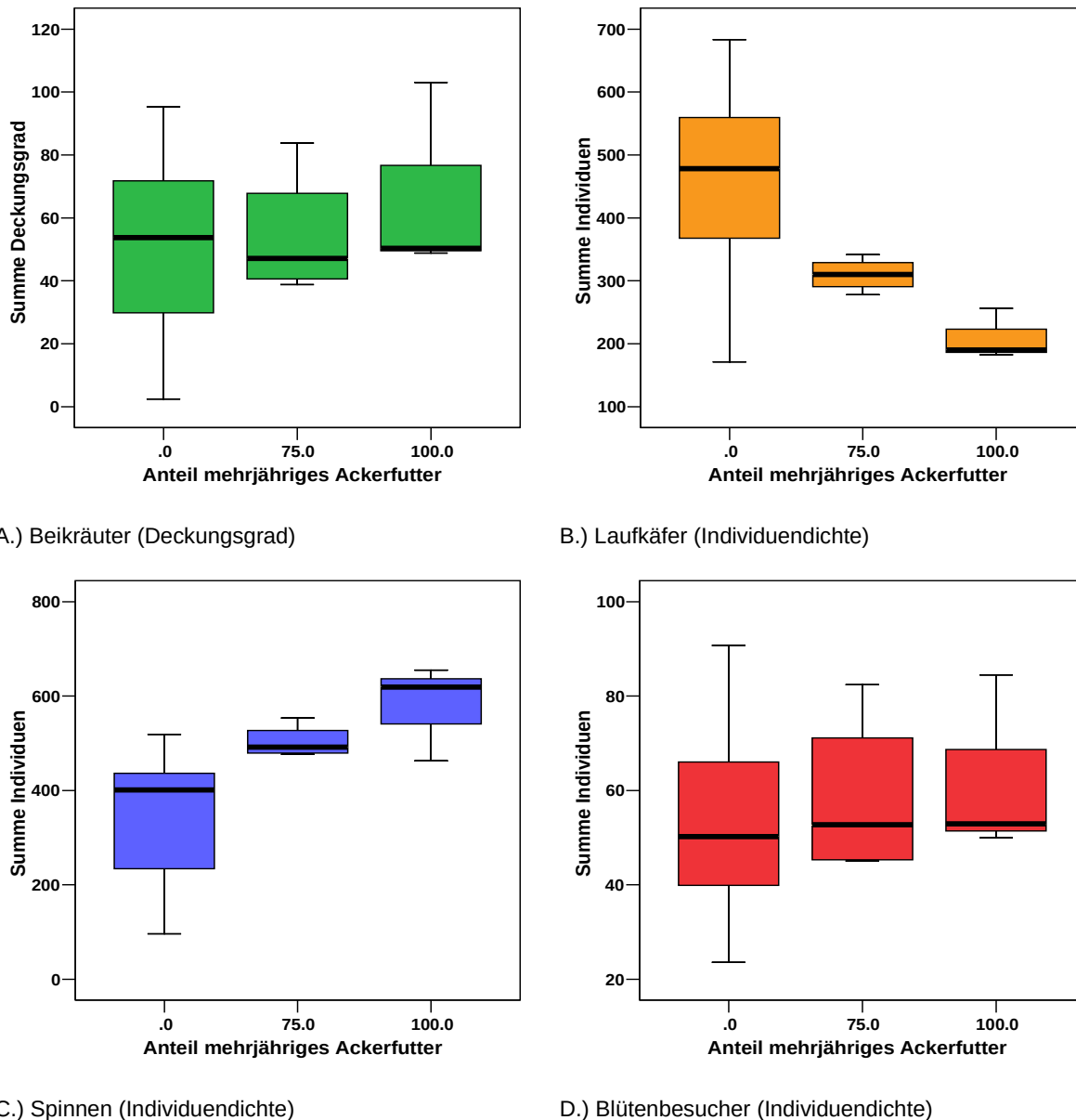


Abbildung 43: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Mais in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen
(A - Beikräuter, B - Laufkäfer, C - Spinnen, D - Blütenbesucher, Abundanzwerte in den unterschiedlichen Fruchtfolgen über alle Untersuchungsgebiete hinweg, Abundanzsummen je Falle bzw. Boniturspunkt, aufsummiert über die Erhebungstermine, im Mittel der Untersuchungsjahre 2005-2007, N=37 Fruchtfolgen)

Interessant ist der Befund, dass der Anteil von Beikrautarten mit langer Ausdauer im Bodensamenvorrat in Fruchtfolgen mit Ackerfutteranteilen abnimmt. Die Effekte in der Gruppe der Laufkäfer sind durch eine generelle Abnahme im Vergleich zu anderen Kultur-

arten überprägt. Besonders deutlich wird die Reduktion in der Gruppe der großen Laufkäfer mit hoher Körpermasse, den typischen Ackerarten und den Kurzflüglern. Ackerfutteranbau führt vor allem zu einer Zunahme kleiner Spinnenarten mit geringem Körpergewicht. Unspezialisierte Bienen und Bienen mit endo- und hypergäischer oder parasitärer Nistweise finden im Ackerfutter förderliche Habitatbedingungen. Dies zeigt sich u. a. auch in dem Verhalten der untersuchten ökologischen Gruppen (Tabelle 52). Xerophile Arten nehmen ab und hygrophile Arten nehmen zu.

Tabelle 52: Verbale Zusammenfassung des Einflusses eines zunehmenden Anteils von mehrjährigem Ackerfutter in den Fruchtfolgen auf die Abundanzen einzelner funktionaler Gruppen innerhalb der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen

zunehmend	abnehmend
Beikrautflora	
Asteraceae Poaceae gelegentliche Ackerarten Feuchtezeiger Blütenpflanzen insgesamt Rhizomarten und Hemikryptophyten	sommerannuelle Arten Temperaturzeiger Arten mit langer Überlebensdauer im Bodensamenvorrat
Laufkäfer	
Trockenwaldarten	typische Ackerarten xerophile Arten macroptere Arten Körpermasse 10-30 mg Körpermasse > 100 mg
Spinnen	
hygrophile Arten eurytope Arten Arten der feuchten Offenflächen ganzjährig aktive Arten (eurychron) stenochrone Arten Körpermasse von 0,1-5 mg	
Blütenbesucher	
Apidae (Glockenkurve!) polylektische Pollenquelle Arten mit endo- und hypergäischer Nistweise (A) parasitäre Nistweise (A)	Syrphidae aphidophage Syrphide saisonale Migranten (S)

Zusätzlich dazu werden vor allem Arten, die an eine mehrjährige Bodenruhe gebunden sind durch das mehrjährige Ackerfutter gefördert, so z. B. Gräser generell, Rhizomarten und Hemikryptophyten unter den Beikräutern, fakultativ auf dem Acker vorkommende Arten und ganzjährig aktive Spinnenarten und Blütenbesucher.

Im Rahmen der Beikräuter nehmen Korbblütler und andere Blütenpflanzen in ihren Abundanzen zu, einjährige sommerannuelle Arten und Arten mit höheren Temperaturansprüchen dagegen ab. Interessant ist der Befund, dass der Anteil von Beikrautarten mit

langer Ausdauer im Bodensamenvorrat in Fruchtfolgen mit Ackerfutteranteilen abnimmt. Die Effekte in der Gruppe der Laufkäfer sind durch die generelle Abnahme überprägt. Besonders deutlich wird die Reduktion in der Gruppe der großen Laufkäfer mit hoher Körpermasse, den typischen Ackerarten und den Kurzflüglern. Ackerfutteranbau führt vor allem zu einer Zunahme kleiner Spinnenarten mit geringem Körpergewicht. Unspezialisierte Bienen und Bienen mit endo- und hypergäischer oder parasitärer Nistweise finden im Ackerfutter förderliche Habitatbedingungen. Schwebfliegen sind trotz der langen Vegetationsperiode im Ackerfutter weniger häufig gefunden worden als in Fruchtfolgen ohne Ackerfutteranteile.

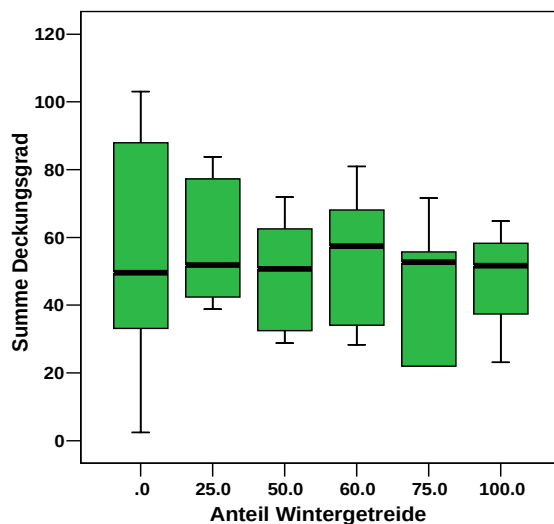
3.5.3 Wintergetreideanteile in der Fruchtfolge

Der Wintergetreideanbau ist aus zwei Gründen für die Abschätzung der möglichen Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus bedeutsam: zum einen weil eine wesentliche Zunahme des Anbaus anderer Kulturpflanzen (z. B. Mais) unweigerlich mit einem Rückgang des Wintergetreideanbaus verbunden ist und zum Zweiten, weil der Anbau von Wintergetreide als Winterzwischenfrucht oder Ganzpflanze im Rahmen von Zweikultursystemen eine zentrale Rolle im Energiepflanzenanbau einnehmen kann. Für die Habitatnutzung hat der Wintergetreideanbau aufgrund seines Flächenumfangs und seiner langen Anbaugeschichte eine zentrale Funktion als die Kulturart, an die sich die meisten regionalen Arten angepasst haben. Wintergetreide weist per se eine hohe Artendiversität in der Habitatnutzung aus.

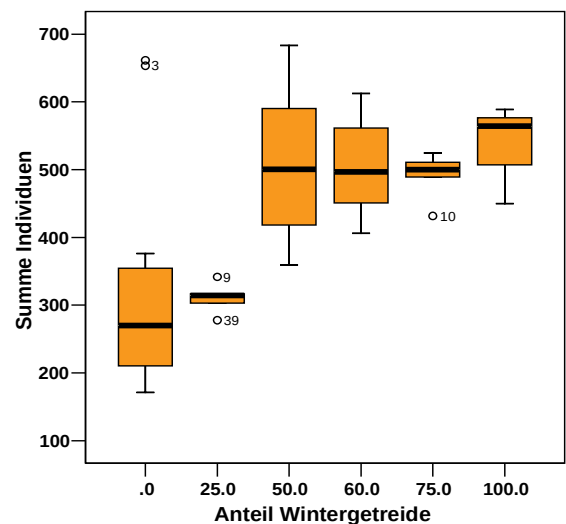
Die durchgeführten Modellkalkulationen weisen keine wesentlichen Effekte eines erhöhten Fruchtfolgeanteils von Winterweizen auf die Deckungsgrade der Beikrautflora und auf die Individuenanzahl der Spinnen aus (Abbildung 44). Während sich für die Beikräuter noch ein gewisser Trend zu einer abnehmenden Varianz und Wahrscheinlichkeit von über dem Median liegenden Werten erkennen lässt, sind die Unterschiede bei den Spinnen sehr uneinheitlich. Sehr deutlich ausgeprägt sind die Trends für die Individuendichte bei den Laufkäfern. Diese nimmt mit zunehmenden Wintergetreideanteilen stetig zu oder im Rückschluss mit einem abnehmenden Wintergetreideanteil ab. Für die Gruppe der Blütenbesucher ist die gleiche Tendenz nicht mit der gleichen Deutlichkeit auszumachen, dennoch aber anzunehmen. Wintergetreide ist laut unseren Erhebungen die Kulturart mit der insgesamt höchsten Blütenbesucherdichte im Vergleich aller untersuchter Kulturarten.

Wintergetreide spielt als Kulturart für Arten, deren Individualentwicklung ganz oder teilweise über Winter oder im frühen Frühjahr abläuft eine entscheidende Rolle. Bei der Betrachtung der funktionalen Gruppen (Tabelle 53) kommt dies für die Gruppe der winterannuellen oder frühblühenden Beikrautarten, den als Imago überwintenden und großen Laufkäferarten, den großen oder diplochronen Spinnen und den Bienen allgemein bzw. den endogäisch nistenden Bienen im Besonderen zum Ausdruck. Unter den Laufkäfern und Spinnen profitieren des Weiteren die eurytopen „Allerweltsarten“ bzw. typischen Ackerarten unter den Laufkäfern vom umfangreichen Wintergetreideanbau. Bei den Laufkäfern waren Korrelationen außerdem mit den Arten der Wiesen und Weiden und den dimorphen und geflügelten Arten festzustellen. Wegen der stark progressiven bzw. fehlenden Grund-

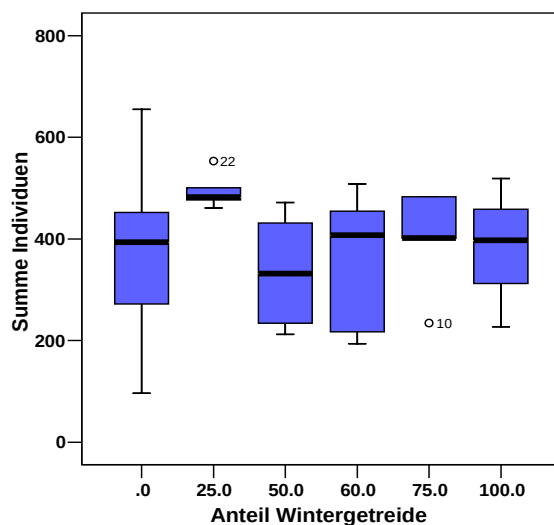
tendenzen waren abnehmende Trends nur bei wenigen funktionalen Gruppen zu erkennen. So z. B. die Abnahme von Lichtzeigern und Sommerblühern unter den Beikrautarten sowie bei den Trockenrasenarten unter den Spinnen.



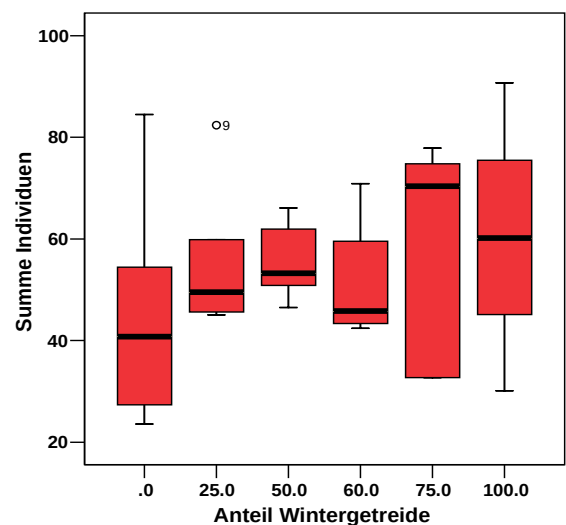
A.) Beikräuter (Deckungsgrad)



B.) Laufkäfer (Individuendichte)



C.) Spinnen (Individuendichte)



D.) Blütenbesucher (Individuendichte)

Abbildung 44: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Wintergetreide in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen

(A - Beikräuter, B - Laufkäfer, C - Spinnen, D - Blütenbesucher, die Boxplots basieren auf den Abundanzwerten in den unterschiedlichen Fruchtfolgen über alle Untersuchungsgebiete hinweg, dargestellt sind Abundanzsummen je Falle bzw. Boniturstichpunkt, aufsummiert über die Erhebungstermine, im Mittel der Untersuchungsjahre 2005-2007, N=37 Fruchtfolgen)

Tabelle 53: Verbale Zusammenfassung des Einflusses eines zunehmenden Anteils von Wintergetreide in den Fruchtfolgen auf die Abundanzen einzelner funktionaler Gruppen innerhalb der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen

zunehmend	abnehmend
Beikrautflora	
winterannuelle Arten Frühblüher	Sommerblüher Lichtzeiger
Laufkäfer	
eurytope Arten Arten der Wiesen und Weiden typische Ackerarten dimorphe und macroptere Arten Imagoüberwinterer Körpermasse > 10 mg	
Spinnen	
hygrophile Arten eurytope Arten diplochrone Arten Körpermasse 0,1-1 mg Körpermasse > 20 mg	Trockenrasenarten
Blütenbesucher	
Apidae endogäische Nistweise polylektische Pollenquelle	

3.5.4 Verkürzte Anbauperioden durch GPS-Ernte und Zunahme von Zweit- oder Zwischenfruchtanbau

Zu den grundlegenden Unterschieden in den Anbausystemen zwischen dem Energiepflanzen- und Marktfruchtanbau gehören die vorgezogenen Erntetermine für bisher als Körnerfrüchte geerntete Kulturarten (Getreide, Körnerleguminosen, Raps, ...). Im Interesse eines optimalen Biomasseaufschlusses durch den Silierprozess müssen die Kulturpflanzen mit einem Feuchtegehalt von 25-35 % geerntet werden. Durch die dadurch um 4-6 Wochen vorgeschobenen Erntetermine ergeben sich je nach Standort unterschiedliche Optionen für den zusätzlichen Anbau von Zweit- oder Zwischenfrüchten. Für die Habitatnutzung der Ackerflächen durch wildlebende Organismen sind beide Veränderungen bedeutsam, die vorgezogene Ernte und die Verlängerung der Periode der Vegetationsbedeckung durch Zweit- oder Zwischenfrüchte. Die vorgezogene Ernte als Ganzpflanze (GPS) reduziert Arten- und Individuenanzahlen in allen Organismengruppen allein durch die Reduktion der Länge der Anbauperiode. Diese allgemeine Reduktion kann durch den Anbau von Zweit- oder Zwischenfrüchten nicht nur kompensiert, sondern in deutliche Zunahmen an Arten und Abundanzen umgekehrt werden. Gravierend sind die vorgezogenen Erntetermine vor allem für solche Arten, die durch die vorgezogene Ernte irreversible Störungen in ihrer Reproduktion erfahren. Solche Bezüge sind speziell analysiert worden.

Beikräuter

Die Beikräuter werden durch die vorgezogenen Erntetermine vor allem in ihrer generativen Vermehrung gestört. Innerhalb der Beikrautzönosen sind davon vor allem solche Arten betroffen, die ausschließlich im Frühsommer/Sommer blühen und Früchte bilden. Der Grad der Auswirkungen hängt dabei jeweils von der regionalen Häufigkeit solcher Arten ab. Aus den Daten der Felderhebungen lässt sich abschätzen, dass im Mittel der drei Untersuchungsgebiete 35 % der im Wintergetreide und 25 % der im Sommergetreide vorkommenden Blütenpflanzen die Samenreife im Falle einer Ganzpflanzenernte nicht sicher beenden können. Abbildung 45 zeigt die Ergebnisse beispielhaft für Wintergetreide aus dem Untersuchungsgebiet Thüringen. Im Falle einer Nutzung von Wintergetreide als Winterzwischenfrucht können zwischen 47 und 65 % aller Blütenpflanzen nicht zur Samenreife und Reproduktion gelangen.

Neben den Blütenpflanzen wurden durch die vorgezogene Ganzpflanzenernte die mittleren Deckungsgrade der Korbblütler, der Gräser und der Knöterichgewächse, der Sprossrhizomunkräuter, der Hauptzielunkräuter für den Pflanzenschutz und der fakultativen Ackerarten in einzelnen Untersuchungsgebieten signifikant reduziert. Alle anderen funktionalen Gruppen zeigten keine interpretierbaren Unterschiede. Nachfolgender Zweit- oder Zwischenfruchtanbau kann die Reduktionen in den genannten funktionellen Gruppen nur dann kompensieren, wenn die anderen Spät- oder Ganzjahreskeimer diese Funktionen übernehmen bzw. in der jeweiligen nachfolgenden Fruchtart vorkommen können. So kann nachfolgender Maisanbau die Abnahme bei den Korbblütlern nicht kompensieren, aber z. B. das Vorkommen von Knötericharten und Sprossrhizomarten insgesamt erhöhen.

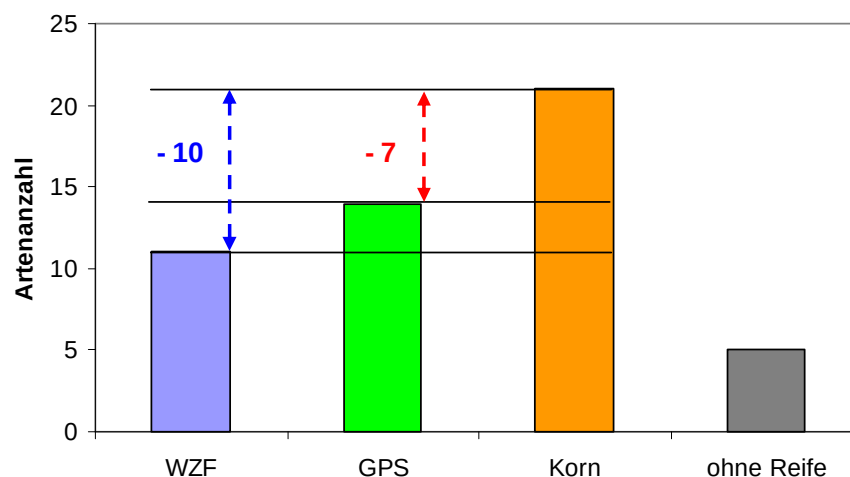


Abbildung 45: Artenanzahl der Beikräuter mit Samenreife in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt im Winterweizen im Untersuchungsgebiet Thüringen 2005-2007

(errechnet aus Felddaten aus dem Untersuchungsgebiet Thüringen und dem typischen Blüh- und Reifezeitraum der einzelnen vorkommenden Beikrautarten, WZF - Ernte als Winterzwischenfrucht, GPS - Ernte als Ganzpflanzenernte, ohne Reife - vegetative Art)

Laufkäfer

Laufkäfer werden in zwei Hauptgruppen von Überwinterungstypen eingeteilt. Arten, welche früh im Jahr als geschlechtsreife Käfer aktiv sind und sich damit auch früh reproduzieren (Imagoüberwinterer) und solche, die im Frühjahr noch als Larve im Boden leben, sich erst im Sommer oder Herbst zum geschlechtsreifen Tier entwickeln und sich dementsprechend spät fortpflanzen (Larvalüberwinterer) (THIELE, 1977). Die erstgenannte Gruppe ist von einem verkürzten Anbauzeitraum weniger stark betroffen, da zur Zeit der Ernte sich die Eier bzw. die Larven bereits im Boden befinden. Durch die Vorverlegung des Erntetermins gilt anzunehmen, dass vor allem die Larvalüberwinterer betroffen sind, die sich zum Erntezeitpunkt noch nicht reproduziert haben. Nach Heydemann (1964) überwiegen in Halmfruchtfeldern generell die Imagoüberwinterer (mit ca. 70 %). Aus eigenen Felderhebungen haben wir deutlich höhere Anteile an potenziell betroffenen Individuen festgestellt. Aus der Tabelle 54 sind absolute und prozentuale Individuenzahlen von Imago- und Larvalüberwinterern (i. w. S.) zu entnehmen.

Tabelle 54: Einfluss der Anbaufrüchte auf den Anteil der Überwinterungstypen bei den Laufkäfern (Felddaten für jeweils die volle Standzeit, Daten: Summen 2005-2007)

Anbaufrüchte	I+(I)		L+(L)+U	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Bayern				
Wintergetreide MIV-MVII	6186,5	91,0	614,5	9,0
Sommergetreide MIV-MVII	3843,4	69,2	1713	30,8
Körnerleguminosen MIV-AVII	9010,2	91,7	813,2	8,3
Mais MV-EIX	3288	49,7	3324	50,3
mehrfähriges Ackerfutter MIV-AIX	2247	86,7	344,7	13,3
Thüringen				
Wintergetreide MIV-MVII	2403	42,5	3251,8	57,5
Sommergetreide MIV-EVII	1141	42,9	1521,2	57,1
Körnerleguminosen MIV-MVII	2849,2	55,1	2324,4	44,9
Mais MV-MIX	1319,4	41,5	1862,9	58,5
mehrfähriges Ackerfutter MIV-MIX	2259,3	80,5	546,7	19,5
Mecklenburg-Vorpommern				
Wintergetreide MIV-MVII	4138	70,3	1750	29,7
Sommergetreide MIV-MVII	1857,4	65,3	988,2	34,7
Körnerleguminosen MIV-MVII	1003	57,9	730	42,1
Mais EIV-EVII	2234,7	49,2	2308	50,8
mehrfähriges Ackerfutter MV-MIX	1242	63,3	719,9	36,7

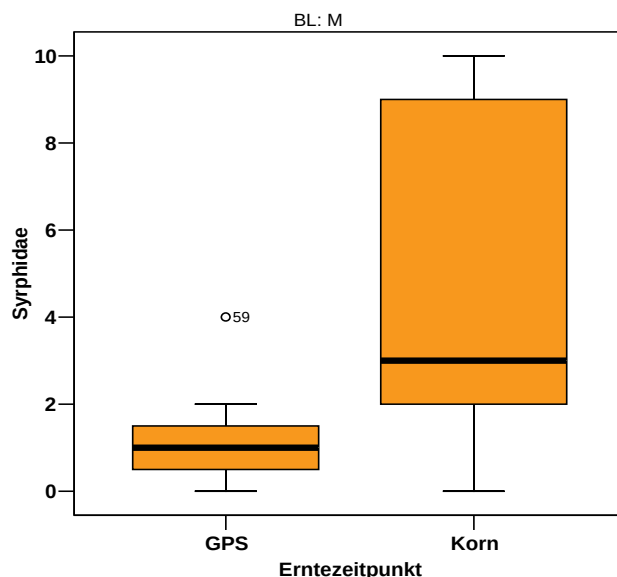
I, (I) - Imagoüberwinterer, überwiegend Imagoüberwinterer, L, (L) - Larvalüberwinterer, überwiegend Larvalüberwinterer, U - unregelmäßige Überwinterungsverhältnisse, Anbauzeiträume (2006+2007): A, M, E - Anfang, Mitte, Ende, IV-IX - Monate

In Bayern überwiegen die Anteile der Imagoüberwinterer deutlich im Winter- und Sommergetreide sowie in den Körnerleguminosen, was weniger ausgeprägt auch in Mecklenburg-Vorpommern der Fall ist. In Thüringen ist in den betrachteten Anbaufrüchten ein ausgeglichenes Verhältnis bzw. ein leichtes Überwiegen der Larvalüberwinterer zu beobachten. Im Mais und dem mehrjährigen Ackerfutter ist trotz um 1-2 Monate längerer Anbauzeit in allen drei Bundesländern kein deutliches Überwiegen der Larvalüberwinterer abzulesen (Tabelle 54). Vorläufige Ergebnisse aus einem Exaktversuch in Dedelow weisen darauf hin, dass der Anbau einer Folgefrucht (Senf nach Wintergetreide bzw. Sudangras nach Körnerleguminosen), unabhängig von der damit verbundenen drastischen Veränderung des Mikroklimas (verringerte Feuchtigkeit, erhöhte Belichtung), nur mit einer leichten Verschiebung von Quantitäten bei den einzelnen Arten einhergeht, sich jedoch nicht auf den Anteil der Larvalüberwinterer ausgewirkt hat.

Blütenbesucher

Die Zeitspanne zwischen dem Termin der Ganzpflanzenernte und der Kornreife bei den Getreidearten zählt zu der Periode mit den höchsten Aktivitätsdichten der Blütenbesucher. Die Ganzpflanzenernte reduziert deshalb die kumulative Individuendichte um 25-39 % im Wintergetreide und um 32-41 % im Sommergetreide im Mittel der drei Untersuchungsgebiete. Neben dem allgemeinen Rückgang wurde ein signifikanter Rückgang der Schwebfliegen in allen drei Gebieten festgestellt. Innerhalb der Schwebfliegen waren vor allem die blattlausfressenden Arten und allgemeine zoophage Arten mit deutlich weniger Individuen vertreten. Des Weiteren kamen weniger typische Migranten vor, aber auch die hypergäisch nistenden Bienen zeigten signifikante Reduktionen, letztere allerdings auf einem insgesamt niedrigen Niveau. Abbildung 46 stellt die Unterschiede bei den Schwebfliegen für das Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern dar. Aufgrund der Mobilität, der überwiegenden Reproduktion außerhalb der Ackerflächen und unterschiedlicher Aktivitätsperioden ist anzunehmen, dass insbesondere die Reduktionen bei den Schwebfliegen durch den nachfolgenden Anbau von Zweit- oder Zwischenfrüchten relativ unabhängig von der nachfolgenden Kulturart mehr kompensiert werden kann.

Abbildung 46: Mittlere Individuendichte der Schwebfliegen (Syrphidae) in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt im Sommergetreide im Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern 2005-2007 (Felddaten aus dem Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern GPS - Ernte als Ganzpflanzenernte, Korn - Markfruchtnutzung)



Spinnen

Für die Gruppe der Spinnen sind keine relevanten reproduktionsbiologischen Eigenschaften oder Gruppen bekannt, die eine nachhaltige Beeinflussung durch die Vorverlegung des Erntetermins nahelegen. Nachfolgender Zweit- oder Zwischenfruchtanbau kompensiert dichtebezogene Ausfälle und wirkt erwartungsgemäß je nach Kulturart und Länge der Vegetationsperiode förderlich auf die Zunahme der Gesamtpopulationsstärken.

4 Diskussion und Schlussfolgerung

Der zunehmende Anbau von Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen erfolgt in einer Periode, die von einer allgemeinen Intensivierung, einer zunehmenden Flächenkonkurrenz zwischen verschiedenen Landnutzungssystemen, u. a. auch zwischen Naturschutz und Landnutzung, und einem parallel dazu ablaufenden, dramatisch fortschreitenden Artenrückgang in den Agrarlandschaften (z. B. DONALD ET AL., 2001) gekennzeichnet ist. Die dabei ursächlich auf den Energiepflanzenanbau zurückzuführenden Wirkungen und daraus abzuleitenden Handlungsbedürfnisse lassen sich nur in einer systematischen Analyse der Einflussfaktoren und im Vergleich mit der aktuellen Landnutzung zu anderen Produktionszielen, z. B. dem Marktfruchtanbau, ausweisen. Bei näherer Betrachtung des Energiepflanzenanbaus für die Verwertung von Biomasse in Biogasanlagen wird deutlich, dass der Energiepflanzenanbau sich nur in Einzelementen der Anbaugestaltung von herkömmlichen Anbauverfahren unterscheidet, jedoch das Spektrum der zur Verfügung stehenden Gestaltungsoptionen aufweitet (KARPENSTEIN-MACHAN, 2004). Der Anbau von Energiepflanzen kann nicht grundsätzlich als „gut“ oder „schlecht“ bewertet werden. Die Nachhaltigkeit der Umweltwirkungen hängt von den zur Anwendung kommenden Anbausystemen bzw. -verfahren ab. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Anbausysteme bzw. -verfahren differenziert zu betrachten, um die Schlüsselparameter für z. B. die positiven oder negativen Umweltwirkungen identifizieren zu können. Das Fehlen einer differenzierten Betrachtung der Anbauverfahren ist ein Manko, welches in vielen modellgestützten regionalen Folgeabschätzungen für den Energiepflanzenanbau zu einer grundsätzlich negativen Bilanz führt (EEA, 2006, SRU, 2007). Die Identifikation der Schlüsselparameter für die Entwicklung ökologisch nachhaltiger Anbausysteme ist die Zielstellung des EVA-Verbundes und gleichzeitig auch des Teilprojektes „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, hat das Teilprojekt einen vielschichtigen, systemaren Analyse- und Bewertungsansatz realisiert.

Die Vereinfachung der Fruchtfolgen ist ein seit vielen Jahren ablaufender Prozess von dem angenommen wird, dass er durch die ökonomische Attraktivität des Energiepflanzenanbaus zusätzliche Dynamik erhält (WINDE, 2003, SCHÖNE, 2007, SRU, 2007). Es ist unstrittig, dass die damit verbundene, abnehmende Strukturvielfalt auf Ackerflächen und in den Agrarlandschaften eine der wichtigsten Ursachen für den bisherigen Rückgang der Artenvielfalt ist (ALBRECHT ET AL., 2002, WERNER ET AL., 2006). Unsere Untersuchungen und Analysen haben diesen Zusammenhang nicht nur untermauert, sondern auch aufgezeigt, dass nicht die Anzahl der Kulturarten entscheidend ist, sondern die strukturelle, dynamische Komplementarität bzw. Unterschiedlichkeit der Kulturarten. Der Anbau von Energiepflanzen in Monokulturen gefährdet das Vorkommen und damit indirekt auch den Bestand von durchschnittlich etwa 20-35 % der regional vorkommenden Arten für die fünf untersuchten Organismengruppen. Diese Effekte werden insbesondere dann kritisch, wenn sich der Anbau in Monokulturen räumlich häuft bzw. konzentriert und die Arten nicht mehr auf Nachbarflächen ausweichen können. Bei der Einhaltung einer Mindestfruchtfolge können starke Reduktionen vermieden werden. Dabei ist es zunächst unwichtig, welche Fruchtarten (auch Mais, Getreide) kombiniert werden, so lange sie sich im Anbauzeitraum und in

der Bestandesstruktur nur unterscheiden. Die Anwendung von Fruchtfolgen hat zusätzlich noch den landwirtschaftlich relevanten Effekt, dass die Varianzen, und damit das Risiko sprunghafter Zunahmen, in den Häufigkeiten der einzelnen Organismengruppen reduziert werden. Dieser Befund bestätigt das Grundprinzip der Fruchtfolgegestaltung zur Förderung der phytosanitären Nachhaltigkeit durch z. B. das Brechen einseitiger Schaderregerdominanzen und die Verhinderung von Akkumulationseffekten (SUNDERLAND & SAMU, 2000). Unsere Ergebnisse sprechen für die Aufnahme eines Indikators „vielfältige Fruchtfolgen“ in die Kriterien der „Guten fachlichen Praxis (GfP)“, einer denkbaren „GfP des Energiepflanzenanbaus“ oder in Anreizsysteme im Rahmen von Agrarumweltprogrammen (SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007). Für eine aktive Förderung der biotischen Vielfalt bieten sich Fruchtfolgen mit mehrjährigen Fruchtarten (z. B. Ackerfutter) besonders an, weil diese deutliche Zusatzeffekte auf die Artenanzahl aller Organismengruppen erbrachten, insbesondere für das Vorkommen von Brutvögeln und Nahrungsgästen auf den Ackerflächen.

Die Einführung neuer Fruchtarten und Mischfrüchten inklusive des Anbaus von Fruchtarten ohne direkte ernährungsrelevante Verwertbarkeit gehört zu den wichtigsten neuen Optionen des Energiepflanzenanbaus. Grundsätzlich kann die Einführung neuer Anbaufrüchte zu einer Verbesserung der biotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus beitragen (PALMER & MAURER, 1997). Aus der Literatur ist bekannt, dass in Agrarlandschaften vor allem sehr flexible oder anders gesagt wenig spezialisierte Arten dominieren und sich das Vorkommen der Arten vordergründig an Übereinstimmung von Anbauperioden und Reproduktionszyklen sowie an strukturellen Merkmalen der Kulturpflanzenbestände orientiert (MCKINNEY & LOCKWOOD, 1999). Neue Kulturarten wirken diversitätsfördernd, wenn sie zur Erhöhung der Strukturvielfalt im Vergleich zum bisherigen Anbau beitragen. Bisher war die Bewertung neuer Kulturarten weder handhabbar noch quantifizierbar. Aufgrund des Fehlens von Vergleichsdaten konnten Kulturarten bisher nur durch Expertenabschätzungen oder auf der Basis von Literatursynopsen (z. B.: CORNELIUS, 2000, SCHINDLER & SCHUMACHER, 2007) gegenübergestellt werden und waren im Detail und in der Aussageschärfe limitiert. Oftmals konnten nur besser/schlechter oder A/B/C-Bewertungen (EEA, 2006, SRU, 2007) vorgenommen werden. Mit der auf einer vorausgegangenen Klassifikation (Clusterung) der Kulturarten basierenden Versuchsdurchführung haben wir einen Methodenansatz realisiert, der es gestattet, quantitative Vergleichsdaten bereitzustellen. Die in diesem Bericht publizierten Zahlenangaben sind nicht in ihrem absoluten Wert zu interpretieren. Die Vergleiche der einzelnen Untersuchungsjahre und Untersuchungsgebiete weisen jedoch in einer erstaunlich hohen Zahl übereinstimmende Trends und Relationen auf und zeigen bisher nicht wahrgenommene Zusammenhänge auf, die verallgemeinert werden können. Die Verfügbarkeit dieser Vergleichsdaten gestattet bei allen methodisch bedingten Einschränkungen hinsichtlich räumlich-zeitlicher Repräsentanz eine detaillierte, vielseitige und belastbare Interpretation der Zusammenhänge.

Die Zunahme des Maisanbaus gehört zu den ökonomisch und technologisch aussichtsreichsten Perspektiven des Energiepflanzenanbaus. Allein aufgrund seiner fernen arealkundlichen Herkunft und relativ jungen Nutzungsgeschichte in Europa sind in Deutschland weniger Arten an Maisanbau angepasst als vergleichsweise an den Getreideanbau. Nicht

zuletzt deshalb gilt Mais als Kulturart mit der geringsten Biodiversität, insbesondere im Vergleich mit Grünland (ALDERWEIRELDT, 1989, SCHREIBER, 1989, DUELLI & OBRIST, 1998). Dennoch bietet der Mais Habitatbedingungen, die förderlich auf spezielle ökologische Gruppen wirken, vor allem Arten, deren Populationsentwicklung an den Spätsommer gebunden ist, z. B. Sommerblüher unter den Beikräutern, larvalüberwinternde Laufkäfer, sommeraktive Spinnen und Syrphiden. Diese Effekte sind keine speziellen Effekte des Mais als Kulturpflanze, sondern der Tatsache geschuldet, dass die meisten anderen Kulturarten entweder im Frühsommer schon zu hohe Bestandesdichten aufweisen oder ab Mitte Sommer keine anderen bestandesbildenden Kulturarten vorhanden sind. Dies gilt insbesondere für Laufkäfer und Schwebfliegen. Mais übernimmt dabei teilweise Habitatfunktionen, die ursprünglich vom Sommergetreide zur Verfügung gestellt wurden, seit dessen Rückgang jedoch fehlen (z. B. Agrarvögel, Laufkäfer). Aus der vorliegenden Literatur ist eine bevorzugte Habitatnutzung von Maisanbauflächen durch z. B. Schwebfliegen nicht belegt. Man geht im Gegenteil sogar davon aus, dass sich die Schwebfliegenzönosen in landwirtschaftlichen Kulturen nicht unterscheiden (MALINOWSKA, 1979, SALVETER, 1998). Diese Aussage ist sicherlich im Vergleich mit blütenreichen naturnahen Biotopen zutreffend (FRANK, 1999). Maisflächen sind zur Zeit der Hauptaktivität der Schwebfliegen im Sommer vor allem wegen ihrer relativ offenen Struktur, vorhandener Nahrungsquellen und einer teilweise blühenden Beikrautzönose einer der wenigen zur Verfügung stehenden Habitate für Schwebfliegen. Unsere Modellkalkulationen zeigen, dass eingebettet im Fruchtwechsel mit anderen Kulturen der Maisanbau die Diversität insgesamt fördert. Die Effekte auf die Diversität nahezu aller Organismengruppen werden jedoch negativ, wenn der Maisanteil gewisse Quantitäten in der Fruchtfolge überschreitet oder gar in Monokultur angebaut wird. Es entstehen typische Glockenkurven in der Häufigkeit der Arten bzw. funktionalen Gruppen. Dieses Phänomen hat zwei gleichzeitig wirkende Ursachen: 1.) die relativ geringe Diversität der meisten Organismengruppen im Mais und 2.) den gleichzeitigen Rückgang von Kulturarten mit deutlich höherer Diversität (z. B. Wintergetreide).

Besondere Erwartungen werden aus Sicht der Biodiversitätsförderung und des Naturschutzes mit einer möglichen Renaissance des mehrjährigen Ackerfutters verbunden. Ein Teil dieser Erwartungen stammt aus Untersuchungen zum Vorkommen von Kleinsäugern und Greifvögeln in Agrarlandschaften (u. a. STUBBE & STUBBE, 1998, WEBER, 2002). Aus unseren Untersuchungen lässt sich für alle untersuchten Organismengruppen eine Förderung des Artenreichtums durch die Integration von mehrjährigem Ackerfutter in die Fruchtfolgen nachweisen. Dies ist im Wesentlichen darin begründet, dass spezielle, in anderen Kulturen selten vorkommende Arten im mehrjährigen Ackerfutter ein geeignetes Habitat finden: hygrophile Arten, Arten, die an eine mehrjährige Bodenruhe gebunden sind, so z. B. Gräser generell, Rhizomarten und Hemikryptophyten unter den Beikräutern, fakultativ auf dem Acker vorkommende Arten aller Organismengruppen und ganzjährig aktive Arten, wie z. B. manche Spinnenarten und Blütenbesucher. Auch hinsichtlich der Überwinterungsmöglichkeiten bietet mehrjähriges Ackerfutter Habitatbedingungen, die in anderen Kulturarten fehlen (Bürki & Hausmann, 1993). Einzelne Individuengruppen zeigen allerdings auch ein reduziertes Vorkommen, hier vor allem an trockene Bedingungen gebundene Arten, u. a. Laufkäfer. SCHREITER (2001) fand in den mit Boden-

fallen untersuchten Grünlandstandorten eine nennenswerte Erhöhung der Artenzahlen gegenüber den Getreidestandorten, die Entwicklung der Individuenzahlen war uneinheitlich. Am Beispiel der Spinnen wird deutlich, dass der Anbau von Ackerfutter temporär Arten Habitatbedingungen bietet, die sonst vor allem in Grünland vorkommen. RATSCHKER (2001) fand bei seinen Untersuchungen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin eine statistisch signifikant höhere Artenzahl der Spinnen in Grünländern gegenüber Äckern (meist Wintergetreide) und einjährigen Brachen. Dabei nahm der Individuenanteil der Wolfspinnen (*Lycosidae*) um 40 Prozentpunkte gegenüber dem in den Ackerflächen zu. Der sehr hohe potenzielle Habitatwert des Ackerfutters für Agrarvögel kann durch hohe Schnitffrequenzen (4 Wochenabstand) für Brutvögel zur „Senke“ werden (DZIEWIATY & BERNARDY, 2007, FUCHS ET AL., 2006).

Vorgezogene Erntetermine, Ernte als Ganzpflanzensilage und zunehmender Zwischen- bzw. Zweitfruchtanbau sind typische Elemente der Anbaualternativen zum einseitigen Anbau von Energiemais. Durch den Zweitfruchtanbau und die Zweikultursysteme wird grundsätzlich die Anbauperiode oder Habitatnutzungsperiode für die verschiedenen Organismengruppen verlängert. Das wirkt sich nicht nur grundsätzlich positiv auf die vorkommenden Artenanzahlen und Abundanzen aus, sondern trägt auch zur Minderung bestehender Defizite, z. B. dem Wegfall der Stoppel als Futterhabitat für Vogelarten (HÖTGER ET AL., 2004) bei. Entscheidend für die Bewertung ist jedoch die Frage, wie stark der vorgezogenen Erntetermin und die Anbaupause bis zur Bestandesbildung der Zweitfrucht in die Reproduktionsperioden relevanter Artengruppen eingreifen. Für die Gruppe der Laufkäfer und Spinnen ist der Zeitraum reproduktionsbiologisch weniger relevant, deshalb sind nur geringe, populationsbiologische Auswirkungen zu erwarten. Gleiches gilt für Blütenbesucher, die sich überwiegend außerhalb der Ackerflächen reproduzieren. Die im Boden nistenden Sandbienen suchen ihre Nistplätze vorwiegend in mehrjährigen Offenlandbiotopen (Trockenrasen, Stilllegungen) und an den Rändern von Ackerflächen (BANASZAK & CIERZNIAK, 1994). Auf Brutvögel haben vor allem sehr frühe Mahdtermine ab Mitte Mai negative Effekte, die Nester werden zerstört und Jungvögel getötet. Erst ein Mahdtermin ab Mitte Juni schließt solche Effekte aus (DZIEWIATY & BERNARDY, 2007). Für die sich ausschließlich über Samen vermehrenden Beikräuter sind wahrscheinlich die deutlichsten Einschnitte zu erwarten. Nach unseren Ergebnissen fällt die Ganzpflanzenernte von Wintergetreide in die Blüh- und Reifezeit von 35 % der im Wintergetreide vorkommenden Therophyten und von 25 % der in Sommergetreide vorkommenden Blütenpflanzen. Die Depressionen durch die vorgezogene Ganzpflanzenernte werden bei den meisten anderen Organismengruppen durch den nachfolgenden Zweitfruchtanbau kompensiert bzw. übertroffen. Für die Futternutzung durch Agrarvögel und die Verlängerung der Vegetationsperiode und Deckung fällt die Gesamtbilanz für das Zweikultursystem insgesamt wahrscheinlich sehr positiv aus. Allerdings gibt es hierzu bisher sehr wenig vorliegende Daten.

Die in diesem Endbericht dargestellten Ergebnisse beziehen sich schwerpunktmäßig auf den von der Kulturart bzw. der Kulturartenwahl ausgehenden, sogenannten „potenziellen Habitatwert“ von Ackerflächen mit Energiepflanzenanbau. Konkret bedeutet dies, dass ausschließlich die vom unterschiedlichen Anbauzeitraum, Unterschieden in der Bestandesstruktur und im Blühaspekt ausgehenden Effekte für die Habitatqualität bzw. die Habitat-

nutzung durch die geprüften Organismengruppen ermittelt und interpretiert werden. Die vom Management der Energiepflanzenbestände auf die Biodiversität ausgehenden Effekte sind noch nicht berücksichtigt. Es ist zum heutigen Zeitpunkt noch strittig, welche Veränderungen in der Bestandesführung „systemimmanent“ mit dem Energiepflanzenanbau einher gehen. Entgegen den möglichen Optionen für eine Reduzierung des Faktoreneinsatzes (Düngung, Pflanzenschutz, Bodenbearbeitung) geht der Sachverständigenrat für Umwelt von einer Zunahme von Düngemiteleinsatz und Pflanzenschutz aus (SRU, 2007). Die vom Management der Energiepflanzenbestände auf die Biodiversität ausgehenden Effekte können erst dann in die modellbasierte Abschätzung einbezogen werden, wenn über die Unterschiede im Management mehr Klarheit besteht bzw. Standardanbauverfahren definiert sind.

Die dargestellten Modellberechnungen gestatten die Bewertung von Fruchtfolgen für die Kriterien Artenanzahl und Gesamtabundanzen der einzelnen untersuchten Artengruppen. Für spezifische ökologische Gruppen innerhalb der Flora und Fauna konnten ähnliche, allgemeingültige Bezüge zwischen den Fruchtfolgen und den ökologischen Gruppen nicht nachgewiesen werden. Funktionale, ökologische Gruppen wurden vor allem durch einzelne Kulturarten bzw. Kulturartengruppen gefördert. Die Bewertung der Effekte auf einzelne ökologische Gruppen sollte differenziert erfolgen und verlangt nach einem multi-kriteriellen Bewertungskatalog. Wir schlagen die Unterscheidung der Bewertungskriterien in die drei Hauptgruppen vor: 1. Kriterien der allgemeinen Biodiversität (Artenanzahlen, Schutzstatus, Dominanz- oder Diversitätsindizes), 2. spezielle Biodiversität, bewertet anhand von ökologischen Gruppen und Funktionen (Beitrag zu definierten Funktionen) und 3. Effekte auf die landwirtschaftliche Nachhaltigkeit (u. a. Rückkopplungseffekte auf Pflanzenschutz, Bestandesführung).

5 Literatur Biotik

- ACHTZIGER, R., H. STICKROTH & R. ZIESCHANK (2004): Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt – ein Indikator für den Zustand von Natur und Landschaft in Deutschland. *Angewandte Landschaftsökologie* 63: Bonn-Bad Godesberg: 137 S.
- ALBRECHT, K., T. ESSER, J. WEGLAU & H. KLEIN (2002): Vielfalt der Tierwelt in der Agrarlandschaft. *Schriftenreihe des Instituts für Landwirtschaft und Umwelt*, 4: 1-160.
- ALDERWEIRELDT, M. (1989): An ecological analysis of the spider fauna (Araneae) occurring in maize fields, Italian rye grass fields and their edge zones by means of different multivariate techniques. *Agric. Ecosystems Environ.* 17, 293-306.
- BANASZAK J & T. CIERZNIK (1994): The effect of neighbouring environments and the acreage of the winter rapeseed plantation on the diversity and density of Apoidea (Hymenoptera). *Studia Przyrodnicze* 10: 25-38.
- BLICK, T., L. PFIFFNER & H. LUKA. (2000): Epigäische Spinnen auf Äckern der Nordwest-Schweiz im mitteleuropäischen Vergleich (Arachnida: Araneae). *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 12, 267-276.
- BONESS, M. (1958): Biocoenotische Untersuchungen über die Tierwelt von Klee- und Luzernefeldern (Ein Beitrag zur Agrarökologie). *Z. Morph. Ökol. Tiere* 47, 309-373.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (2007): Erfahrungsbericht 2007 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). - vorgelegt dem Deutschen Bundestag, Beschlossen vom Bundeskabinett am 7. November 2007, Eigenverlag BMU, 186 p.
- BÜRKI, H. M. & A. HAUSMANN (1993): Überwinterung von Arthropoden im Boden und an Ackerkräutern künstlich angelegter Ackerkrautstreifen. Bern (Verlag Paul Haupt).
- CHYTRY, M., L. TICHY, J. HOLT & Z. BOTTA-DUKAT (2002): Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. - *Journal of Vegetation Science* (13): 79-90.
- COLWELL, R. K. & D. J. FUYTUMA (1971): On the measurement of the niche breadth and overlap. *Ecology* 52, 567-576.
- CORNELIUS, K. (2000): Spinnen deutscher Agrarbiotope - Aufbau und Auswertung einer Datenbank. - Diplomarbeit Universität Hannover, Fachbereich Gartenbau, Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Diplomica GmbH ID7852, Hamburg 2004, 157p.
- DAYTON, P.K. (1972): Towards an understanding of community resilience and the potential effects of enrichments to the benthos at McMurdo Sound Antarctica. In: Parker, B.C. (Ed.), *Proceedings of the Colloquium on Conservation Problems in Antarctica*, pp. 81-96, Allen Press.
- DEUTSCHES MAISKOMITEE E.V. (DMK) (2007): Anbau von Mais zur Energienutzung in Deutschland nach Bundesländern.- http://www.maiskomitee.de/dmk_download/fb_fakten/dateien_pdf/flaeche_biogas_0506.pdf
- DONALD, P. F, R.E. GREEN & M.F. HEATH (2001): Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations, *Proc. R. Soc. Lond. B* **268** , 25–29.
- DUELLI, P. & M. K. OBRIST (1998): In search of the best correlates for local organismal biodiversity in cultivated areas. *Biodiv. and Conserv.* 7 (3), 297-309.
- DVL & NABU (2006): Anforderungen an eine EEG-Novelle im Bereich Biogas aus der Sicht des Natur- und Umweltschutzes. - Pressemitteilung, NABU Pressestelle 13.12.2006, www.NABU.de.

- DZIEWIATY, K. & P. BERNARDY (2007): Auswirkungen zunehmender Biomassenutzung (EEG) auf die Artenvielfalt - Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Schutz der Vögel der Agrarlandschaft - Endbericht – Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Eigenverlag, 128p.
- European Environment Agency (EEA) (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?. - EEA-Report No 7, ISSN 1725-9177, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 72p.
- Frank, T. (1999): Density of adult hoverflies (Dipt., Syrphidae) in sown weed strips and adjacent fields Journal of Applied Entomology 123 (6) , 351-355.
- FUCHS, S., & A. MATTHEWS (2008): Datensammlung Habitatansprüche für ausgewählte Indikatorarten der Agrarvögel, unveröffentlichte Studie.
- FUCHS, S., A. HELMECKE & K. STEIN-BACHINGER (2006): How to establish and maintain viable populations of farmland birds on organic farms: The Nature Conservation Farm Brodowin. - Journal of Ornithology. 147 (Supplement 1), 168-169.
- Glemnitz, M. & R. Roth (2005): Datensammlung zur Bestandesarchitektur und –dynamik von ackerbaulichen Kulturpflanzen, unveröffentlichte Studie.
- HEYDEMANN, B. (1964): Die Carabiden der Kulturbiotop von Binnenland und Nordseeküste - ein ökologischer Vergleich (Coleopt., Carabidae). Zool. Anz. 172: 49-86.
- HOFFMANN, J. J. KIESEL, D.-D. STRAUSS, J.-M. GREEF & K.-O. WENKEL (2008): Vogelindikator für die Agrarlandschaft zur Verbesserung von Agrarumweltmaßnahmen für den Naturschutz, Vogelwarte, Band 45; Heft 4, 273-328.
- HÖTKER, H., K. JEROMIN & G. RAHMANN (2004): Bedeutung der Winterstoppel und der Grünbrache auf Vögel der Agrarlandschaft – Untersuchungen auf ökologisch und konventionell bewirtschafteten Ackerflächen in Schleswig-Holstein auf schweren Ackerböden. Landbauforschung Völkenrode 54(4), 251-260.
- INGERSON-MAHAR, J. (2002): Relating diet and morphology in adult carabid beetles. In: J.M. Holland (Ed.), The Agroecology of Carabid Beetles. Intercept, Andover, pp. 111-136.
- IUCN (2007): Summary Statistics for Globally Threatened Species. www.iucnredlist.org/info/stats.
- JACCARD, P. (1902) : Lois de distribution florale dans la zone alpine. Soc. Vaud. Sci. Nat. Bull. 38, 69-130.
- KAJAK, A. (1962): Comparision of spider fauna in artificial and natural meadows. Ekol. Pol. A 10, 1-20.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2001): Sustainable Cultivation Concepts for Domestic Energy Production from Biomass. - Critical Reviews in Plant Sciences, 20 (1): 1-14.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2004): Neue Perspektiven für den Naturschutz durch einen ökologisch ausgerichteten Energiepflanzenbau. Naturschutz und Landschaftsplanung, 36: 58-64.
- LUTZE, G., M. VOß & B. WUNTKE UNTER MITWIRKUNG VON J. KIESEL, R. WIELAND, J. HOFFMANN, D. STRAUß, A. SCHULTZ & A. KRISMANN (2007): Operationalisierung eines Indikators mit dem Hauptelement der Entwicklung von Vogelbeständen für die regionalisierte und gegliederte Abbildung der Artenvielfalt in Agrarlandschaften und als Beitrag zur Abbildung der Umweltqualität mit naturräumlichen Bezug (Vogelindikator – BMELV). Abschlussbericht, BMELV Forschungsprojekt. Müncheberg, 121 S. u. Anlagen.
- MALINOWSKA, D. (1979): Communities of aphidophagous syrphids (Diptera, Syrphidae) in the Lublin region. Memorab. zool., 30: 37-62.
- MCKINNEY, M.L. & J.L. LOCKWOOD (1999): Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. Trends in Ecology and Evolution 14, 450-453.

- PALMER, M. W. & T. A. MAURER (1997): Does Diversity Beget Diversity? A Case Study of Crops and Weeds. *Journal of Vegetation Science*, Vol. 8 (2), 235-240.
- PLATEN, R. (1996): Spinnengemeinschaften mitteleuropäischer Kulturbiotope. *Arachnol. Mitt.* 12: 1-45.
- PLATEN, R. (2006): Integrierende Ökologische Dauerbeobachtung in Brandenburg (IÖDB) - Arthropodenuntersuchung (Arachnida: Araneae, Coleoptera: Carabidae) in Hasenholz und Vierraden. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* 15, 124-133.
- RATSCHKER, U.M. (2001): Die Zönose der Spinnen und Weberknechte in der Agrarlandschaft des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin - ökologische und naturschutzfachliche Erhebungen (Arachnida: Araneae, Opiliones). Dissertation Universität Dresden, Tharandt, 218p.
- RENKONEN, O. (1938): Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Tierwelt der finnischen Hochmoore. *Ann. Zool. Soc. Vanamo* 6, 1-231.
- SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (SRU) (2007): SONDERGUTACHTEN: KLIMASCHUTZ DURCH BIOMASSE. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin 2007, 125p.
- SALVETER, R. (1998): Habitatnutzung adulter Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae) in einer stark gegliederten Agrarlandschaft. *Mitt. Schweiz. Entomol. Gesell.*, 71: 49-71.
- SCHAEFER, M. & L. HAAS (1979) Untersuchungen zum Einfluss der Mahd auf die Arthropodenfauna einer Bergwiese. *Drosera* 79, 17-40.
- SCHEFFLER, I., K.-H. KIELHORN, D.W. WRASE, H., KORGE & D. BRAASCH (1999): Rote Liste und Artenliste der Laufkäfer des Landes Brandenburg (Coleoptera: Carabidae). *Natursch. u. Landschaftspfl. i. Bbg* 8 (4): Supplement, 27.
- SCHINDLER, M. & W. SCHUMACHER (2007): Auswirkungen des Anbaus vielfältiger Fruchtfolgen auf wirbellose Tiere in der Agrarlandschaft (Literaturstudie). *Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL*, Nr. 147, 50 Seiten.
- SCHÖNE, F. (2007): Anforderungen an die Energiepflanzenproduktion aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. - Symposium "Energiepflanzen" 2007, 24. und 25. Oktober, Berlin, http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/energiepflanzen2007/beitraege/Schoene_charts.pdf
- SCHREIBER, D. (1989): Die ökologischen Folgen des Anbaus der Feldfrucht Mais. *Verh. Ges. Ökol.* 18, 843-845.
- SCHREITER, T. (2001): Auswirkungen von Landnutzungssystemen auf die Zusammensetzung von Coleopterenzönosen (Insecta-Coleoptera). *Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt Heft 13*. Eugen Ulmer Vlg., 143 p.
- SPSS INC., (2007). SPSS Version 16.0 for Windows. SPSS Inc., Chicago, IL, USA.
- STACHOW, U., J. HUFNAGEL, M. GLEMNITZ, G. BERGER, J., BACHINGER, P. ZANDER & C. SATTLER (2003): Indicators of landscape functions related to modifications and patterns of agricultural landscapes. - In: *Agricultural impacts on landscapes: developing indicators for policy analysis; Proceedings from NIJOS/OECD expert meeting on agricultural landscape indicators in Oslo, Norway, October 7-9, 2002: 209-221; As (Norsk institutt for jord- og skogkartlegging).*
- STUBBE, M. & STUBBE, A. (1998): Ökologie und Schutz des Feldhamsters. - *Wiss. Beitr. MLU Halle-Wittenberg*.
- SUNDERLAND, K. & F. SAMU (2000): Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: a review, *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95 (1), 1-13.

- THIELE, H.-U. (1977): Carabid beetles in their environments. A study on habitat selection by adaptations in physiology and behaviour. - Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New-York, 372 pp.
- THOMPSON, K., A.P. ASKEW, J.P. GRIME, N.P. DUNNETT & A.J. WILLIS (2005): Biodiversity, ecosystem function and plant traits in mature and immature plant communities. *Functional Ecology* 19, 355-358.
- TRAXLER, A., E. MINARZ, H. HÖTTINGER, J. PENNERSTORFER, A. SCHMATZBERGER, G. BANKO, K. PLACER, M. HADROBOLEC & H. GAUGITSCH (2005): Biodiversitäts-Hotspots der Agrarlandschaft als Eckpfeiler für Risikoabschätzung und Monitoring von GVO. Rote Reihe des Bundesministeriums für Gesundheit und Frauen – Sektion IV, Band 05/05.
- UJVAROSI, M. (1974): Gyomirtás. - Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- WEBER, M. (2002): Untersuchungen zum Greifvogelbestand, Habitatstruktur und Habitatveränderung in ausgewählten Gebieten von Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern.- Jahresbericht zum Monitoring Greifvögel und Eulen Europas, 3. Ergebnisband 2002. Halle/Saale, MLU Halle Eigenverlag, 114p.
- WERNER, A., R. ROTH, P. ZANDER, A. MEYER-AURICH & A. JARFE (2006): Scientific background for a nature conserving agriculture. In: Flade et al. (ed.): Nature conservation in agricultural ecosystems: 529-572. Wiebelsheim (Quelle & Meyer).
- WINDE, K. (2003): Biomassenutzung und Naturschutz - Potenziale und Probleme aus der Sicht des Naturschutzes.- Fachtagung „Biomasse - Neue Energien für Naturschutz und Raumplanung?“ am 03.04. 2003 in Hannover, http://www.laum.uni-annover.de/biomasse/veranstaltungen/veranst_3.htm.

III ANHANG

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakterisierung der Standorte in Teilprojekt 1.....	10
Tabelle 2:	Charakterisierung der untersuchten Energiepflanzen.....	12
Tabelle 3:	Beispiele für den fruchtartspezifischen Humusbedarf und Humusmehrung nach VDLUFA und HE-Methode.....	13
Tabelle 4:	Humus-Reproduktion von flüssigem Gärrest nach VDLUFA, 2004 und der dyn. HE-Methode.	14
Tabelle 5:	Bewertung der Humussalden nach VDLUFA (2004)	15
Tabelle 6:	Orientierungswerte zur Humuswirkung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern nach: GUTSER u. EBERTSEDER, 2006.....	18
Tabelle 7:	Übersicht zu den berücksichtigten Eingangsgrößen in verschiedenen Methoden der Humusbilanzierung.	33
Tabelle 8:	Anbaubedingte Änderung der Humusvorräte für ausgewählte Energiepflanzen.	34
Tabelle 9:	Berechnete Menge Humus-C im Gärrest nach GUTSER u. EBERTSEDER, 2006.	36
Tabelle 10:	Humusbedarf für Fruchtfolge 3 am Standort Werlte, Ackerzahl 31	37
Tabelle 11:	Erträge der Referenzanbauverfahren, KEA pro Hektar sowie KEA pro Tonne Trockenmasse	40
Tabelle 12:	Methan-Erntefaktor der Erst- und Zweitfrüchte und der gesamten Referenzanbauverfahren	44
Tabelle 13:	KEA, Bruttomethanenergieertrag, Nettomethanenergieertrag und Methan-Erntefaktor der EVA-Hauptfruchtfolgen am Standort Güterfelde	44
Tabelle 14:	Methan-Erntefaktor der Düngungsvarianten 3 (=Referenzanbauverfahren) und 6 (nur mineralische Düngung)	45
Tabelle 15:	Erosion für die Standort Gülzow	47
Tabelle 16:	Erosionsgefährdung am Standort Gülzow bei Nutzung von Minimalbodenbearbeitung für ausgewählte Früchte	48
Tabelle 17:	Erosionsgefährdung am Standort Ascha	49
Tabelle 18:	Erosionsgefährdung am Standort Ascha bei Nutzung von Minimalbodenbearbeitung für ausgewählte Früchte	50
Tabelle 19:	Erosionsgefährdung am Standort Gülzow für die Anbaufolge WWE-SMA mit verschiedener Bewirtschaftung.....	51
Tabelle 20:	Praxisbetriebe und untersuchte Fruchtarten 2005 bis 2007 (SF - Beikrautflora, LK - Laufkäfer, BB - Blütenbesucher)	68
Tabelle 21:	Übersicht der in den Jahren 2005-2007 durchgeführten Probenahmen auf Praxisflächen, differenziert nach Regionen und untersuchten Kulturarten.....	70
Tabelle 22:	Mittlere Artenanzahl und Abundanz der Beikräuter in den untersuchten Kulturarten...	74
Tabelle 23:	Fruchtartenpräferenz der Beikrautarten in den untersuchten Kulturarten	75
Tabelle 24:	Zusammensetzung der Beikrautflora gruppiert nach ökologischen Gruppen, taxonomischer Zuordnung oder landwirtschaftlicher Bedeutung	78
Tabelle 25:	Artenanzahl und Abundanz der Laufkäfer in den untersuchten Kulturarten.....	80
Tabelle 26:	Fruchtartenpräferenz der Laufkäferarten in den untersuchten Kulturen, Jahre: 2005-2007	80
Tabelle 27:	Zusammensetzung der Laufkäferfauna, gruppiert nach ökologischen Gruppen, Habitatpräferenz, flugdynamische und Überwinterungstypen sowie Körpermassекlassen (KMK).....	82

Tabelle 28:	Charakteristische Artenkombinationen der Laufkäfer für die Untersuchungsjahre 2005-2007 im Bundesland Thüringen.....	84
Tabelle 29:	Artenanzahl und Abundanz der Spinnen in den untersuchten Kulturarten	85
Tabelle 30:	Fruchtartenpräferenz der Spinnenarten in den untersuchten Kulturen, Jahre: 2005-2007	87
Tabelle 31:	Zusammensetzung der Spinnenfauna, gruppiert nach ökologischen Gruppen, Habitatpräferenz, Aktivitätszeiten und vertikalem Aufenthaltsort (Stratum).	89
Tabelle 32:	Charakteristische Artenkombinationen der Spinnen für die Untersuchungsjahre 2005-2007 im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern	90
Tabelle 33:	Mittlere Artenanzahl und Abundanz der Blütenbesucher in den untersuchten Kulturarten	92
Tabelle 34:	Fruchtartenpräferenz der Blütenbesuchern in den untersuchten Kulturarten.....	93
Tabelle 35:	Zusammensetzung der Artengemeinschaft der Blütenbesucher gruppiert nach taxonomischer Zuordnung oder ökologischem Verhalten	96
Tabelle 36:	Experteneinschätzung über das bevorzugte Vorkommen der Indikatorarten zur Brutzeit in unterschiedlichen Kulturpflanzengruppen (Daten: FUCHS & MATTHEWS, 2008, LUTZE ET AL., 2007).....	98
Tabelle 37:	Potenzielle Habitateignung unterschiedlicher Fruchtarten als Bruthabitat für Indikatorarten der Vögel der Offenlandschaften, kalkuliert anhand der Ansprüche der Vogelarten an die Bestandesarchitektur der Vegetation zur Brutzeit	99
Tabelle 38:	Potenzielle Habitateignung unterschiedlicher Fruchtarten als Futterhabitat für Indikatorarten der Vögel der Offenlandschaften, kalkuliert anhand der Ansprüche der Vogelarten an die Bestandesarchitektur der Vegetation zur Brutzeit	100
Tabelle 39:	Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den fünf identischen Standardfruchtfolgen an allen Untersuchungsstandorten	102
Tabelle 40:	Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den einzelnen Fruchtarten der fünf Standardfruchtfolgen an allen Untersuchungsstandorten.....	104
Tabelle 41:	Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Beikrautarten.....	107
Tabelle 42:	Mittlere Abundanz der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Beikrautarten.....	107
Tabelle 43:	Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Laufkäferarten.....	108
Tabelle 44:	Mittlere Individuendichte der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Laufkäferarten.....	108
Tabelle 45:	Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Spinnenarten	109
Tabelle 46:	Mittlere Individuendichte der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Spinnenarten	109
Tabelle 47:	Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Blütenbesucherarten.....	111
Tabelle 48:	Mittlere Individuendichte der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Blütenbesucherarten.....	111
Tabelle 49:	Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und -regionen vorkommenden Vogelarten.....	112
Tabelle 50:	Zusammenfassung der Effekte der Fruchtfolgengestaltung auf die einzelnen untersuchten Organismengruppen im Vergleich mit kalkulierten Werten zur Mais- und Winterweizen-Monokultur.....	116

Tabelle 51:	Verbale Zusammenfassung des Einflusses eines zunehmenden Anteils von Mais in den Fruchtfolgen auf die Abundanzen einzelner funktionaler Gruppen innerhalb der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen.....	119
Tabelle 52:	Verbale Zusammenfassung des Einflusses eines zunehmenden Anteils von mehrjährigem Ackerfutter in den Fruchtfolgen auf die Abundanzen einzelner funktionaler Gruppen innerhalb der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen.....	121
Tabelle 53:	Verbale Zusammenfassung des Einflusses eines zunehmenden Anteils von Wintergetreide in den Fruchtfolgen auf die Abundanzen einzelner funktionaler Gruppen innerhalb der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen.....	124
Tabelle 54:	Einfluss der Anbaufrüchte auf den Anteil der Überwinterungstypen bei den Laufkäfern.....	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schema zur Berechnung von Humusbilanzen in Szenario „mit Gärrest“	16
Abbildung 2:	Bodenbedeckung und Regenerosität im Jahresverlauf (Wetterstation Müncheberg) .	20
Abbildung 3:	Nährstoffabfuhr ausgewählter Energiepflanzen	26
Abbildung 4:	Nährstoffgehalte ausgewählter Fruchtarten	27
Abbildung 5:	Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für Ackerfutter übrige Fruchtarten	28
Abbildung 6:	Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für die C ₄ -Gräser: Silomais	28
Abbildung 7:	Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für Getreide.....	28
Abbildung 8:	Biomasseertrag in Abhängigkeit von der N-Abfuhr für Topinambur und Sonnenblume	28
Abbildung 9:	N _{min} nach Ernte in 0-90 cm Tiefe für ausgewählte Energiepflanzen.....	29
Abbildung 10:	Negative N-Salden von C ₄ -Gräsern in Verbindung mit der Änderung des Bodenvorrats von N _{min}	30
Abbildung 11:	Stickstoffmengen im Erntegut und im Gärrest in Abhängigkeit vom Maisertrag bei vollständiger Rückführung des Gärrestes auf die Anbaufläche.	31
Abbildung 12:	Humussaldo der Standardfruchtfolgen aller Standorte ohne Gärrest und das Szenario „mit Gärrest“.	32
Abbildung 13:	Vergleich der Humusreproduktionsleistung des Gärrestes nach VDLUFA, sowie nach GUTSER u. EBERTSEDER, (2006) am Beispiel der EVA-Versuche.	35
Abbildung 14:	Humusbilanzen für Fruchtfolge 3 mit verschiedenen Anteilen der Stickstoffdüngung aus Gärrest, nach verschiedenen Methoden.	38
Abbildung 15:	Humusbilanzen für Fruchtfolge 3 mit verschiedenen Anteilen der Stickstoffdüngung aus Gärrest, nach verschiedenen Methoden.	38
Abbildung 16:	Humussalden aller Standorte für Fruchtfolge 3 bei unterschiedlichem Anteil der Stickstoffdüngung aus Gärrest.	39
Abbildung 17:	Höhe und Zusammensetzung des KEA der Referenzanbauverfahren	40

Abbildung 18: Höhe und Zusammensetzung des KEA von Silomais, Wintertriticale und Futterroggen-Silomais in Abhängigkeit von der Düngungsvariante	41
Abbildung 19: Bruttomethanenergieertrag und Bruttofeldenergieertrag der Referenzanbauverfahren ..	42
Abbildung 20: Verhältnis zwischen Bruttomethanenergieertrag und Bruttofeldenergieertrag in GJ je Hektar	43
Abbildung 21: C-Faktoranteil (berechnet aus Erosivität der Niederschläge, Bodenbearbeitung, und Bodenbedeckung) bei unterschiedlichen Kombinationen der Anbaufolge Winterweizen – Silomais.	52
Abbildung 22a-d: Zusammenwirken von Erosivität der Niederschläge, relativem Bodenabtrag und Bodenbedeckung (C-Faktor) am Beispiel der Anbaufolge Winterweizen - Silomais.....	53
Abbildung 23: Schema für die Bewertung der biotischen Folgewirkungen der Anbausysteme für Energiepflanzen auf Ackerflächen (ZALF-Lebensraummodell)	65
Abbildung 24: Ergebnis der Clusterung aller im Verbundprojekt untersuchten Kulturarten bzw. Nutzungsarten (N=84) hinsichtlich ihrer Anbauzeiträume (Vegetationszeit), der monatlichen Verteilung der Bodenbedeckung durch die Kulturpflanzen und dem Vorhandensein eines insektenrelevanten Blühaspektes	67
Abbildung 25: Lage der Standorte für die Durchführung der biotischen Erhebungen in Praxisbetrieben in den Jahren 2005-2007	68
Abbildung 26a, b: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Beikrautflora und der angebauten Kulturart, a.) erste (x) und zweite(y) Varianzachse; b.) zweite (x) und dritte (y) Varianzachse	77
Abbildung 27: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Laufkäfer und der angebauten Kulturart in Bayern	81
Abbildung 28: Clusterdiagramm für die Laufkäfer auf der Basis der Individuenidentitäten nach RENKONEN (1938).....	83
Abbildung 29: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Spinnenfauna und der angebauten Kulturart in Mecklenburg-Vorpommern.....	87
Abbildung 30: Clusterdiagramm für die Spinnen auf der Basis der Individuenidentitäten nach RENKONEN (1938).....	90
Abbildung 31a, b: Zusammenhänge zwischen der Artenzusammensetzung der Blütenbesucher und der angebauten Kulturart, a.) erste (x) und zweite (y) Varianzachse; b.) zweite (x) und dritte (y) Varianzachse	95
Abbildung 32: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den Fruchtfolgen im Parzellenversuch, Standort Ettlingen.....	101
Abbildung 33: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den einzelnen Fruchtfolgen im Parzellenversuch an allen Untersuchungsstandorten	103
Abbildung 34: Mittlerer Beikrautdeckungsgrad in den Fruchtarten Mais, Sudangras und Zuckerhirse an allen Untersuchungsstandorten	105
Abbildung 35: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Beikrautarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur.....	106
Abbildung 36: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Laufkäferarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur.....	107
Abbildung 37: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Spinnenarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur.....	109
Abbildung 38: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Blütenbesucherarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur.....	110
Abbildung 39: Anzahl der Vogelarten, die in den unterschiedlichen Fruchtfolgen potenziell geeignete Habitatbedingungen für die Brut bzw. Futteraufnahme finden im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur.....	112

Abbildung 40: Zusammenhänge zwischen der Anzahl unterschiedlicher Kulturartengruppen in der Fruchtfolge und der mittleren jährlichen Artenanzahl der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen	113
Abbildung 41: Zusammenhänge zwischen der Anzahl unterschiedlicher Kulturartengruppen in der Fruchtfolge und den mittleren Abundanzen (Deckungsgrad, Individuendichten) der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen	115
Abbildung 42: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Mais in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen	118
Abbildung 43: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Mais in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen	120
Abbildung 44: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Wintergetreide in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen	123
Abbildung 45: Artenanzahl der Beikräuter mit Samenreife in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt im Winterweizen im Untersuchungsgebiet Thüringen 2005-2007	125
Abbildung 46: Mittlere Individuendichte der Schwebfliegen (Syrphidae) in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt im Sommergetreide im Untersuchungsgebiet Mecklenburg-Vorpommern 2005-2007	127

Anhang 1: Fruchtfolgen des Grundversuches in EVA, 1. Anlage – Geplante Früchte, im Feldversuch etablierte Früchte, Verwertungsrichtung –

 Biogassubstrate, Marktfrucht, Futter, Gründüngung, Gp = Ganzpflanze, Gd = Gründüngung, Szf = Sommerzwischenfrucht, Wzf = Winterzwischenfrucht, Zwf = Zweitfrucht Ko = Körner-Nutzung, 1.Hn, 2.Hn = Angabe des Hauptnutzungsjahres, ~~durchgestrichen~~ = Kultur nicht geerntet, blauer Rahmen = 1. Anlage, oranger Rahmen = 2. Anlage

1. Anlage

ID, Standort	Ff	Fruchtfolgeglieder 2005	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolgeglieder 2008
11 Ascha	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Gp, Szf	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Klee</u> Us, Gp	<u>Klee</u> 1.Hn, Gp	<u>Klee</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko, nur Stroh geerntet	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Silomais</u> Hf, Gp Futter	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> Hf, Gp, Futter	<u>W.Wickroggen</u> Hf, Gp <u>Sudangras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Körnermais CCM Kolben + Körner, o. Lieschen Futter</u> Hf, Gp, Bg für Humusbilanz	<u>W.Weizen</u> Hf, Gp	<u>W.Raps</u> Hf, Gp <u>Sudangras</u> Szf	W.Weizen Hf, Ko
	8	<u>Mais Marktfrucht</u> Hf, Ko; Bg für Humusbilanz	<u>Welsches Weidelgras</u> Wzf Gp Kartoffeln Hf, Kn	<u>W.Weizen</u> Hf, Gp <u>Energie Erbsen</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
16 Dornburg	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Luzerne-Knaulgras</u> Szf, Gp	<u>Luzerne-Knaulgras</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzerne-Knaulgras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Hafer</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale+W.Weizen+W.Gerste</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	8	<u>Topinambur</u> Kr	<u>Topinambur</u> 2-j. Kr	<u>Topinambur</u> 3-j., Kr+Kn	W.Weizen Hf, Ko
17 Ettlingen	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> WZF, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	Wintertriticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> WZF, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> ZF, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Luzerne-Gras</u> Szf, Gp	<u>Luzerne-Gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzerne-Gras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp <u>S.Triticale</u> Szf Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Futterhirse</u> Hf, Gp	<u>W.Gerste</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Raps</u> Wzf, Gp <u>Hafer</u> ZF, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Sonnenblume</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Wzf, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	8	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp Körnermais Ko, ZF	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	9	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>W.Erbse</u> Szf, Gd	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko

1. Fortsetzung Anhang 1:

ID, Standort	Ff	Fruchtfolgeglieder 2005	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolgeglieder 2008
18 Gülzow	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Kleegras</u> Us, Gp	<u>Kleegras</u> 1.Hn, Gp	<u>Kleegras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Gerstgras</u> Hf, Gp, S.Gerste + Welsches- + Bastardweidelgras	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Roggen</u> WZF, Gp <u>Ackergras</u> ZF, Gp	<u>Ackergras</u> 1.Hn, Gp, Wel- sches Weidelgras,	W.Weizen Hf, Ko
	8	<u>S.Roggen + S.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
19 Güterfelde	1	<u>S.Roggen</u> Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Roggen Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Gp, Szf	W.Roggen Hf, Ko
	4	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Kleegras</u> Szf, Gp	<u>Kleegras</u> 1.Hn, Gp	<u>Kleegras</u> 2.Hn, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	6	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Senf</u> Szf, Gd	Lupine, Blaue- Hf, Ko	<u>W.Roggen</u> Hf, Gp Futterhirse Gp, Szf	W.Roggen Hf, Ko
	7	<u>Sonnenblume</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gd	Körnererbsen Hf, Ko	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp Futterhirse Gp, Szf	W.Roggen Hf, Ko
	8	<u>Topinambur</u> Kr	<u>Topinambur</u> 2-j. Kr	<u>Topinambur</u> 3-j. Kr+Kn	W.Roggen Hf, Ko
	9	<u>Hafer + Erbse+ Leindotter</u> Hf, Gp	<u>W.Raps</u> Hf, Gp <u>Buchweizen</u> Szf, Gd,	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	W.Roggen Hf, Ko
25 Trossin	1	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> SZF, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	4	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Luzerne-Klee-Gras</u> Szf, Gp	<u>Luzerne-Klee-Gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzerne-Klee-Gras</u> 2.Hn, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	6	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp	<u>W.Raps</u> Hf, Gp	<u>Landsb.-Gemenge</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	<u>Kartoffel</u> Hf, Kn	W.Roggen Hf, Ko
	8	<u>S.Triticale</u> Hf, Gp <u>Gelbsenf</u> Szf, Gd	<u>Sonnenblume</u> Hf, Gp <u>Phacelia</u> Szf, Gd	<u>Hanf</u> Hf, Gp	W.Roggen Hf, Ko

2. Fortsetzung Anhang 1:

ID, Standort	Ff	Fruchtfolgeglieder 2005	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolgeglieder 2008
27 Werlte	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Gp, Szf	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Gp, Szf	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Klee gras</u> Us, Gp	<u>Klee gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Klee gras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmischung</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Ko	<u>W.Gerste</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	8	Körnermais Hf, Ko	<u>W.Weizen</u> Hf, Gp	<u>W.Roggen</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko

Anhang 2: Fruchtfolgen des Grundversuches in EVA, 2. Anlage – Geplante Früchte, im Feldversuch etablierte Früchte, Verwertungsrichtung –

 Biogassubstrate,  Marktf Frucht, Futter,  Gründüngung, Gp = Ganzpflanze, Gd = Gründüngung, Szf = Sommerzwischenfrucht, Wzf = Winterzwischenfrucht, Zwf = Zweitfrucht Ko = Körner-Nutzung, 1.Hn, 2.Hn = Angabe des Hauptnutzungsjahres, ~~durchgestrichen~~ = Kultur nicht geerntet, blauer Rahmen = 1. Anlage, oranger Rahmen = 2. Anlage

2. Anlage

ID, Standort	Ff	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolgeglieder 2008	Fruchtfolgeglieder 2009
11 Ascha	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Klee gras</u> Gp Us	<u>Klee gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Klee gras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Silomais</u> Hf, Gp Futter	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF Futter	<u>W.Wickroggen</u> Hf, Gp <u>Sudangras</u> SzF, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Körnermais CCM Kolben + Körner, o. Lieschen Futter</u> Hf, Gp, Bg für Humusbilanz	<u>W.Weizen</u> Hf, Gp	<u>W.Raps</u> Hf, Gp <u>Sudangras</u> Szf	W.Weizen Hf, Ko
	8	<u>Silomais Marktf Frucht</u> Hf, Ko; Bg für Humusbilanz	<u>Welsches Weidelgras</u> Wzf Gp Kartoffeln Hf, Kn	<u>W.Weizen</u> Hf, Gp <u>Energie Erbsen</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
16 Dornburg	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Luzerne-Knautgras</u> Us, Gp	<u>Luzerne-Knautgras</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzerne-Knautgras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Hafer</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale+W.Weizen+W.Gerste</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko

1. Fortsetzung Anhang 2

ID, Standort	Ff	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolgeglieder 2008	Fruchtfolgeglieder 2009
17 Ettlingen	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	Wintertriticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Luzerne-Gras</u> Szf, Gp	<u>Luzerne-Gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzerne-Gras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp <u>S.Triticale</u> Szf Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Futterhirse</u> Hf, Gp	<u>W.Gerste</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W-Raps</u> Wzf, Gp <u>Hafer</u> ZwF	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Sonnenblume</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Wzf, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	8	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp Körnermais Ko, ZF	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
18 Gülzow	9	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>W.Erbse</u> Szf, Gd	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Kleegrass</u> Us, Gp	<u>Kleegrass</u> 1.Hn, Gp	<u>Kleegrass</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Gerstgras</u> Hf, Gp, S.Gerste + Welsches- + Bastardweidelgras	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Roggen</u> WZF, Gp <u>Ackergras</u> , ZwF	<u>Ackergras</u> 1.Hn, Gp, Wel- sches Weidelgras,	W.Weizen Hf, Ko
19 Güterfelde	8	<u>S.Roggen</u> + <u>S.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	1	<u>S.Roggen</u> Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Roggen Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Szf, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	4	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Luzernegrass</u> Szf, Gp	<u>Luzernegrass</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzernegrass</u> 2.Hn, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	6	<u>S-Roggen</u> Hf, Gp <u>Senf</u> Szf, Gd	Lupine, Blaue- Hf, Ko	<u>W.Roggen</u> Hf, Gp Futterhirse Gp, Szf	W.Roggen Hf, Ko
	7	<u>Sonnenblume</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gd	Körnererbsen Hf, Ko	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp Futterhirse Gp, Szf	W.Roggen Hf, Ko
	8	<u>Topinambur</u> Kr	<u>Topinambur</u> 2-j. Kr	<u>Topinambur</u> 3-j. Kr+Kn	W.Roggen Hf, Ko
	9	<u>Hafer + Erbse+ Leindotter</u> Hf, Gp	<u>W.Raps</u> Hf, Gp <u>Buchweizen</u> Szf, Gd	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	W.Roggen Hf, Ko

2. Fortsetzung Anhang 2

ID, Standort	Ff	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolgeglieder 2008	Fruchtfolgeglieder 2009
25 Tros-sin	1	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> SZF, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	4	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp <u>Luzerne-Klee-Gras</u> Szf, Gp	<u>Luzerne-Klee-Gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Luzerne-Klee-Gras</u> 2.Hn, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmisch.</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Roggen Hf, Ko
	6	<u>S.Roggen</u> Hf, Gp	<u>W.Raps</u> Hf, Gp	<u>Landsb.-Gemenge</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	W.Roggen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Futterhirse</u> ZF, Gp	<u>Kartoffel</u> Hf, Kn	W.Roggen Hf, Ko
	8	<u>S.Triticale</u> Hf, Gp <u>Gelbsenf</u> Szf, Gd	<u>Sonnenblume</u> Hf, Gp <u>Phacelia</u> Szf, Gd	<u>Hanf</u> Hf, Gp	W.Roggen Hf, Ko
27 Werlte	1	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Ölrettich</u> Szf, Gp	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Futterhirse</u> Szf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	2	<u>Sudangras</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Triticale Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	3	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Sudangras</u> ZF, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp <u>Einj. Weidelgras</u> Gp, Szf	W.Weizen Hf, Ko
	4	<u>S.Gerste</u> Hf, Gp <u>Klee gras</u> Us, Gp	<u>Klee gras</u> 1.Hn, Gp	<u>Klee gras</u> 2.Hn, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	5	<u>Hafer-Sortenmischung</u> Hf, Gp	<u>W.Triticale</u> Hf, Gp	W.Raps Hf, Ko	W.Weizen Hf, Ko
	6	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	<u>Grünschnittroggen</u> Wzf, Gp <u>Silomais</u> ZF, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	7	<u>Silomais</u> Hf, Gp	<u>W-Triticale</u> Hf, Ko	<u>W.Gerste</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko
	8	Körnermais Hf, Ko	<u>W.Weizen</u> Hf, Gp	<u>W.Roggen</u> Hf, Gp	W.Weizen Hf, Ko

Anhang 3: Berechnung der Abzugsgröße vom N-Feldertrag. Zur Ableitung der standardisierten Düngung für die Berechnung der Humusbilanzen mit REPRO.

Frühjahrs-N_{min}: gemessener Wert, atmosphärische Deposition (nass und trocken) nach UBA 2004,

Standort	Jahr	Frühjahrs N _{min} 0-90 cm, Median kg · ha ⁻¹	N- Deposition kg · ha ⁻¹	Acker- zahl	Verwertungsrate der N- Deposition %	verwertbare N- Deposition kg · ha ⁻¹	N-Abzug von N- Ertrag kg · ha ⁻¹
Ascha	2005	32	17	47	75	13	45
	2006	65	17		75	13	78
	2007	24	17		75	13	37
	2008	32	17		75	13	45
Dornburg	2005	41	16	65	75	12	53
	2006	42	16		75	12	54
	2007	26	16		75	12	38
	2008	41	16		75	12	53
Ettlingen	2005	40	15	75	85	13	53
	2006	44	15		85	13	57
	2007	20	15		85	13	33
	2008	40	15		85	13	53
Gülzow	2005	56	18	50	75	14	70
	2006	76	18		75	14	90
	2007	31	18		75	14	45
	2008	56	18		75	14	70
Güterfelde	2005	26	15	29	65	10	36
	2006	24	15		65	10	34
	2007	13	15		65	10	23
	2008	24	15		65	10	34
Trossin	2005	32	18	31	65	12	44
	2006	52	18		65	12	64
	2007	19	18		65	12	31
	2008	15	18		65	12	27
Werlte	2005	30	43	31	65	28	58
	2006	44	43		65	28	72
	2007	27	43		65	28	55
	2008	30	43		65	28	58

Anhang 4: Spezifische theoretische Biogasausbeuten, berechnet als Mittelwerte für den Grundversuch
 Daten: EVA, Grundversuch, Erntejahre 2005-2007

Fruchtart	Fruchtfolge- Stellung	Nutz- ung	Termin	Anteil oTM	spez. Biogas- ausbeute NI/kg oTM	CH4-Anteil %	Bemerkung
Einj. Weidelgras	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,88	548	55,87	
Einj. Weidelgras	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,88	537	56,01	
Einj. Weidelgras	Zweitfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,88	548	55,87	wie Szf
Einj. Weidelgras	Zweitfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,88	537	56,01	wie Szf
Erbse	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,90	477	57,80	
Erbse, Hafer, Leindotter	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	500	55,18	
Futterhirse	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	461	54,44	
Futterhirse	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,92	518	55,11	
Futterhirse	Zweitfrucht	GPS	Ernte	0,95	460	54,22	
Gerstgras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,90	505	54,51	
Gerstgras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,85	534	56,45	
Hafer	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	473	54,95	
Hafersortenmischung	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,93	474	55,22	
Hanf	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,89	461	56,00	geschätzter Wert, 10% schlechter als Sonnenblume
Kartoffeln	Hauptfrucht	Knolle	Ernte	0,96	699	53,41	
Kleegras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,92	582	55,42	
Kleegras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,88	527	56,45	
Kleegras	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,88	535	56,53	wie US
Kleegras	Untersaat	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,88	535	56,53	
Landsberger Gemenge	Wi.-Zw.Frucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,91	530	56,47	
Luzernegras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,90	534	56,35	
Luzernegras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,90	503	57,07	
Luzernegras	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,87	497	56,48	wie LGR, US, 1. Schnitt
Luzernegras	Untersaat	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,87	497	56,48	
Luzerne-Klee-Gras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,90	504	55,84	
Luzerne-Klee-Gras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,89	480	58,34	
Mais	Hauptfrucht	CCM	Ernte	0,99	604	55,13	
Mais	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,96	544	54,31	
Mais	Hauptfrucht	Korn	Ernte	0,98	653	55,12	
Mais	Zweitfrucht	GPS	Ernte	0,96	553	54,38	
Ölrettich	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,82	564	57,28	
S.Gerste	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	481	54,39	
S.Roggen	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,96	522	54,27	
S.Roggen S.Triticale	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,95	527	54,39	
S.Triticale	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,95	515	54,98	
S.Triticale	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,95	515	55,00	wie STR Hauptfrucht

1. Fortsetzung Anhang 4: Biogasausbeuten, berechnet als Mittelwerte für den Grundversuch

Fruchtart	Fruchtfoge- Stellung	Nutz- ung	Termin	Anteil oTM	spez. Biogas- ausbeute	CH4-Anteil	Bemerkung
					NI/kg oTM	%	
Senf	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,82	526	57,01	
Sonnenblumen	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,89	512	55,77	
Sudangras	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	455	54,36	
Sudangras	So.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,91	538	56,87	
Sudangras	Zweitfrucht	GPS	Ernte	0,94	463	54,45	
Topinambur	Hauptfrucht	Knolle	Ernte	0,93	616	51,50	LfL, Bayern
Topinambur	Hauptfrucht	Kr	Ernte	0,90	507	54,48	
W.Gerste	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,95	486	54,20	
W.Gerste	Wi.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,92	606	55,18	
W.Gerste, W.Triticale, W.Weizen	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	501	54,08	
W.Raps	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,91	510	56,81	
W.Raps	Wi.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,86	619	56,60	
W.Roggen	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,94	575	55,03	
W.Roggen	Wi.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,93	583	55,34	
W.Roggen, W.Wicken	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,96	518	54,35	
W.Triticale	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,95	524	54,52	
W.Triticale	Wi.-Zw.Frucht	GPS	Ernte	0,92	604	55,16	
W.Weizen	Hauptfrucht	GPS	Ernte	0,96	498	54,47	
Welsches Weidelgras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,91	622	54,11	
Welsches Weidelgras	Hauptfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,88	552	55,61	
Welsches Weidelgras	Zweitfrucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,91	622	54,11	wie Hauptfrucht
Welsches Weidelgras	Zweitfrucht	GPS	Ernte, 2. u. folgende Schnitte	0,88	552	55,61	wie Hauptfrucht
Welsches Weidelgras	Wi.-Zw.Frucht	GPS	Ernte, 1. Schnitt	0,92	649	54,27	

Anhang 5: Liste der Beikrautart-Abkürzungen

#

Kürzel	Beikrautart
ACHMI	Achillea millefolium agg.
AMASS	Amaranthus sp.
APESV	Apera spica-venti
APHAR	Aphanes arvensis
ARBTH	Arabidopsis thaliana
ARISE	Arenaria serpyllifolia
ARREL	Arrhenatherum elatius
ARTVU	Artemisia vulgaris
CAPBP	Capsella bursa-pastoris
CENCY	Centaurea cyanus
ERICA	Conyza canadensis
AGRRE	Elymus repens
EROCI	Erodium cicutarium
POLCO	Fallopia convolvulus
GERSS	Geranium sp.
LOLMU	Lolium multiflorum
MATCH	Matricaria recutita
RUMAC	Rumex acetosa
RUMCR	Rumex crispus
SETSS	Setaria sp.
TAROF	Taraxacum officinale agg.
MATIN	Tripleurospermum perforatum
VICSS	Vicia sp.
VIOAR	Viola arvensis

Anhang 6: Liste der Blütenbesucherart-Abkürzungen

Kürzel	Blütenbesucherart
Andr fla	Andrena flavipes
Andr gra	Andrena gravida
Andr hae	Andrena haemorrhoa
Andr hel	Andrena helvola
Andr nig	Andrena nigroaenea
Andr nit	Andrena nitida
Andr pra	Andrena praecox
Bomb hor	Bombus hortorum
Bomb lap	Bombus lapidarius
Bomb luc	Bombus lucorum
Bomb pas	Bombus pascuorum
Bomb rup	Bombus rupestris
Bomb ter	Bombus terrestris
Lasi cal	Lasioglossum calceatum
Lasi leu	Lasioglossum leucopus
Osmi bic	Osmia bicornis
Sphe eph	Sphecodes ephippius

Anhang 7: Liste der Laufkäferart-Abkürzungen

Kürzel	Laufkäferart
Acu meri	Acupalpus meridianus
Ago muel	Agonum muelleri
Ama aene	Amara aenea
Ama auli	Amara aulica
Ama comm	Amara communis
Ama eury	Amara eurynota
Ama fami	Amara familiaris
Ama ovat	Amara ovata
Ama simi	Amara similata
Anc dors	Anchomenus dorsalis
Ani bino	Anisodactylus binotatus
Ani sign	Anisodactylus signatus
Bem lamp	Bembidion lampros
Bem lunu	Bembidion lunulatum
Bem obtu	Bembidion obtusum
Bem quad	Bembidion quadrimaculatum
Cal fusc	Calathus fuscipes
Car canc	Carabus cancellatus cancellatus
Car gran	Carabus granulatus
Car ulri	Carabus ulrichii ulrichii
Cli foss	Clivina fossor
Har affi	Harpalus affinis
Har dist	Harpalus distinguendus
Har rubr	Harpalus rubripes
Har rufi	Harpalus rufipes
Lim assi	Limodromus assimilis
Lor pili	Loricera pilicornis
Mic minu	Microlestes minutulus
Neb brev	Nebria brevicollis
Poe cupr	Poecilus cupreus
Poe vers	Poecilus versicolor
Pte anth	Pterostichus anthracinus
Pte mela	Pterostichus melanarius
Pte mels	Pterostichus melas
Pte nige	Pterostichus niger
Pte vern	Pterostichus vernalis
Sto pumi	Stomis pumicatus
Tre quad	Trechus quadristriatus

Anhang 8: Liste der Spinnenart-Abkürzungen

Kürzel	Spinnenart
Ach ripa	Achaearanea riparia
Alo pulv	Alopecosa pulverulenta
Ara humi	Araeoncus humilis
Bat grac	Bathypantes gracilis
Dip cris	Diplocephalus cristatus
Dra lute	Drassyllus lutetianus
Dra pusi	Drassyllus pusillus
Eno thor	Enoplognatha thoracica
Eri dent	Erigone dentipalpis
Eri long	Erigone longipalpis
Eri hiem	Erigonella hiemalis
Mei rure	Meioneta rurestris
Mic puli	Micaria pulicaria
Oed apic	Oedothorax apicatus
Oed fusc	Oedothorax fuscus
Oed retu	Oedothorax retusus
Ost mela	Ostearius melanopygius
Pac cler	Pachygnatha clercki
Par lugu	Pardosa lugubris
Par palu	Pardosa palustris
Par pull	Pardosa pullata
Pir lati	Pirata latitans
Por micr	Porrhomma microphthalmum
Rob arun	Robertus arundineti
Ste line	Stemonyphantes lineatus
Teg agre	Tegenaria agrestis
Ten tenu	Tenuiphantes tenuis
Tro ruri	Trochosa ruricola
Tro terr	Trochosa terricola
Tro scab	Troxochrus scabriculus
Wal dysd	Walckenaeria dysderoides
Wal vigi	Walckenaeria vigilax
Xys koch	Xysticus kochi
Zel aene	Zelotes aeneus