

Abschlussbericht

Verbundvorhaben: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands - Phase III (EVA III)

Teilvorhaben 1: „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“

Projekt-Nr.: 99.18

FKZ: 22006012

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Langtitel: Verbundvorhaben: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands - Phase III (EVA III), Teilvorhaben 1: „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“

Kurztitel: Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

Projektleiter: Torsten Graf

Abteilung: Pflanzenproduktion und Agrarökologie

Abteilungsleiter: Dr. Armin Vetter

Laufzeit: 01.04.2013 bis 31.08.2016

Auftraggeber: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Bearbeiter/ Arbeitsgruppen an den Standorten:

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft: J. Eckner, J. Lindner, F. Hengelhaupt, D. Freund, M. Schmidt, V. Dahse, K. Winter, T. Graf
Leibnitz- Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.:
Dr. G. Ebel, J. Käthe, M. Schmidt, Dr. M. Heiermann
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg:
Dr. E. Walter, Dr. K. Wunsch, A. Zürcher, K. Mastel)
Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe:
D. Zander, Dr. M. Fritz, F. Heimeler, C. Loher, M. Krinner, S. Wiesent, H. Lummer
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei: Dr. A. Gurgel, I. Fleischer
Landwirtschaftskammer Niedersachsen:
F. Wilken, C. Rieckmann, Dr. M. Bencke, T. Glauert
Landwirtschaftskammer Nordrhein- Westfalen: M. Dickeduisberg, A. Horstmann
Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Eifel: B. Haack, H. von Francken-Welz
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie:
J. Grunewald, R. Grubitzsch, Dr. K. Jäkel
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau: Dr. L. Boese, I. Bormann, U. Kaden
Fachhochschule Kiel: Prof. Dr. R. Wulfes, U. Kaath Petersen, A. Propp
Arbeitskreis Gewässerschutz: Dr. C. von Buttler, Dr. G. Ebel, Dr. M. Willms

Bearbeiter: Jens Eckner, Julia Lindner, Katharina Winter
Weitere Autoren sind in den jeweiligen Kapiteln namentlich benannt.

Juni 2018

Dr. Frank Augsten
(Komm. Präsident)

Torsten Graf
(Projektleiter)

Copyright:

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von Auszügen und der foto-mechanischen Wiedergabe sind dem Herausgeber vorbehalten.

Inhalt

Inhalt	
Tabellenverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
I. Ziele	9
1. Aufgabenstellung	11
1.1 Witterungsverlauf und Bestandesentwicklung im Mittel aller Standorte	12
1.2 Versuchsaufbau	16
1.3 Datenerhebung	17
2. Stand der Technik	17
3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	19
II. Ergebnisse	20
1. Erzielte Ergebnisse	20
1.1 Erträge der Fruchtfolgen	20
1.1.1 FF01: W.Gerste/Sorghum-Mais-W.Triticale/Phacelia	23
1.1.2 FF02: Sorghum-Grünschnittroggen/Mais-W.Triticale (Korn)	24
1.1.3 FF03: Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-W.Triticale/einj. Weidelgras	25
1.1.4 FF04: Ackerfutter-Ackerfutter-Mais	26
1.1.5 FF05: Getreide-Leguminosen-Gemenge/früher ZwF-Mais-Energierübe	27
1.1.6 FF11: Mais-Mais-Mais	28
1.1.7 FF12: Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-W.Triticale/einj.Weidelgras- (N-reduziert -25 %)	29
1.1.8 FF13: Biodiversitäts-Fruchtfolge	30
1.1.9 FF14: Gewässerschutz-Fruchtfolge	31
1.2 Weiterführende Versuche zu Systemfragestellungen des Energiepflanzenanbaus im Fruchtfolgeregime	32
1.2.1 Satellitenprojekt „Zwischenfruchtanbau in Energiepflanzenfruchtfolgen als Beitrag zum Gewässerschutz“; ATB	32
1.2.2 Satellitenprojekt „Etablierung von mehrschnittigem Ackerfutter in Energiepflanzenfruchtfolgen“; LWK NI	33
1.2.3 Satellitenprojekt „Kleiner und Großer Gärrest“; TFZ Straubing	34
1.2.4 Satellitenprojekt „Risikominimierung“, LFA MV	35
1.2.5 Satellitenversuch „Reduzierte Bodenbearbeitung“, Standort Dornburg“, TLL	35
1.2.6 Satellitenversuch „Faktorminimierung“, Standort Straubing, TFZ	35
1.3 Weiterführende Auswertung und Interpretation zum Fruchtfolgeversuch	36
1.3.1 Zwischenfrüchte in Energiepflanzenfruchtfolgen	36
1.3.2 Getreide-Leguminosen-Gemenge als Biogassubstrate	38
1.3.3 Zuckerrübe/ Energierübe	40
1.3.4 Zweikulturnutzungssysteme	41
1.3.5 Treibhausgasemissionseinsparungspotentiale durch Fruchtfolge- und Anbauplanung	43
1.3.6 Gewässerschutz und Nitratverlagerungsrisiken im Energiepflanzenanbau	47
1.3.7 Pflanzenschutz im Energiepflanzenanbau	53
1.3.8 Ertragsstabilität und Sicherheit in der Substratbereitstellung von	56

	Fruchtfolgen	
1.4	Integrative Gesamtbewertung	61
1.5	Zusammenfassung	72
2.	Verwertung	75
3.	Erkenntnisse von Dritten	76
4.	Veröffentlichungen	82
	Literaturverzeichnis	83
	Anhang	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standorte EVA III Grundversuch und Standorteigenschaften	11
Tabelle 2: Niederschlagsverteilung und Temperaturverlauf 2013 bis 2015, alle Standorte, Vergleich mit langjährigem Mittel der Standorte, farblich skaliert	15
Tabelle 3: Standardfruchtfolgen 01 bis 05 und thematische Fruchtfolgen 11 bis 12	16
Tabelle 4: Fruchtfolge 13 „Regionale Vielfalt /Biodiversität“	16
Tabelle 5: Fruchtfolge 14 „Gewässerschutz“	17
Tabelle 6: Übersicht der Prüfmerkmale	17
Tabelle 7: kumulierte Trockenmasseerträge der FF, standortbezogenes Ranking der TM-Erträge, und erzielte Maximalerträge pro Jahr; bezogen auf 5. Anlage 2013 bis 2014, 6. Anlage 2014 bis 2015	22
Tabelle 8: TM-Erträge und Trockensubstanzgehalte Getreide-Leguminosen-Gemenge und W.Triticale GPS; 2013 bis 2014, alle Standorte	39
Tabelle 9: Trockenmasseertrag, Methanertrag und Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (DAKfL); EVA- Grundversuch, alle Standorte, 2005 bis 2015 für Zuckerrüben und Mais (HF)	40
Tabelle 10: Mittlere Methanerträge und ausgewählte ökonomische Kenngrößen Zweikulturnutzungssysteme und Mais (HF); alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2015, n versuchsbedingt voneinander abweichend, farbliche Skalierung Maxima; Datenbasis: (Daten aus dem EVA-Projekt TP3, 2016)	43
Tabelle 11: ausgewählte Indikatorgrößen, FF03 und FF12, Standort Dornburg, 2013 bis 2014	47
Tabelle 12: Gewässerschutzfruchtfolgen, an ausgewählten Standorten	48
Tabelle 13: Nmin-Werte zu Vegetationsende 2013 bis 2015; FF03, FF11, FF12 (alle Standorte außer Lindenhof und Werlte), FF14 (Ascha, Bernburg, Güterfelde, Haus Düsse, Niederweiler), hellrot: erhöhte Werte, rot: sehr hohe Werte	51
Tabelle 14: Fruchtfolgebedingte Minderung des Nitratverlagerungsrisikos an ausgewählten Standorten; FF11, FF03, FF12 und FF14; 2013	52
Tabelle 15: Kulturartspezifische BI, EVA (2005 bis 2015); Grundversuch alle Standorte, PAPA (2012 bis 2015): Roßberg (2016)	55
Tabelle 16: Ausgewählte Ertragsstabilitätsgrößen, Standort Dornburg, FF01 bis FF08, 2005 bis 2012	57
Tabelle 17: Variationskoeffizienten der Erträge für ausgewählte Fruchtarten und Zweikulturnutzungssysteme, ausgewählte Standorte, Grundversuch; 2005 bis 2015, farbliche Skalierungen: Vergleich je Standort rot=geringste Ertragsstabilität, MW Var. Koeff. zwischen den Standorten grün=höchste Ertragsstabilität	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: EVA-Standorte des Grundversuches und der Satellitenvorhaben	12
Abbildung 2: Niederschlag & Temperatur; langjähriges Mittel, Mittelwert in Projektlaufzeit und Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur 2013 bis 2015; alle EVA- Standorte	13
Abbildung 3: Trockenmasseerträge FF01; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	23
Abbildung 4: Trockenmasseerträge FF02; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	24
Abbildung 5: Trockenmasseerträge FF03; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	25
Abbildung 6: Trockenmasseerträge FF04; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	26
Abbildung 7: Trockenmasseerträge FF05; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	27
Abbildung 8: Trockenmasseerträge FF11; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	28
Abbildung 9: Trockenmasseerträge FF12; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte	29
Abbildung 10: Trockenmasseerträge FF13; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, Standorte Ascha, Dornburg, Ettlingen, Gülzow, Güterfelde, Trossin und Werlte	30
Abbildung 11: Trockenmasseerträge FF14; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, Standorte Ascha, Bernburg, Ettlingen, Güterfelde, Haus Düsse, Lindenhof und Niederweiler	31
Abbildung 12: Trockenmasseerträge geprüften Zwischenfrüchte, Mittelwert, 11 Standorte, 2005 bis 2014, n = unterschiedlich; Fehlerbalken Spannweiten	37
Abbildung 13: Trockenmasseerträge angebauter Zweikulturnutzungssysteme und Mais HF, 2014, drei Standorte (von links nach rechts: Dornburg, Ascha, Werlte)	37
Abbildung 14: Trockenmasseerträge Mais nach ZwF Senf, im Vergleich zu Mais ohne ZwF, 2012 bis 2014, drei Standorte (von links nach rechts: Dornburg, Ascha, Werlte)	38
Abbildung 15: Mittlere Trockenmasseerträge Zweikulturnutzungssysteme und Mais (HF); alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2015, n versuchsbedingt voneinander abweichend	41
Abbildung 16: THG-Emissionen nach Kategorien, FF03, FF05 und FF07, 3. Anlage (2009 bis 2012), Standort Dornburg	44
Abbildung 17: THG-Emission ausgewählter Energiepflanzen, Zweikulturnutzungssysteme und Marktfrüchte, Mittelwert 1. bis 4. Anlage (2005 bis 2013), Standort Dornburg	45
Abbildung 18: THG-Emissionen nach Kategorien, Standort Dornburg, 2009 bis 2012, verschiedene Bewirtschaftungsstrategien	46
Abbildung 19: Nmin-Gehalte aus der Bodentiefe 0 bis 90 cm zu Vegetationsende und kumulierte Trockenmasseerträge - Abschlussfruchtfolgeglied ist vorangestellt aus vorheriger Rotation für FF11 und FF12, keine ermittelten Erträge in der Gewässerschutzfruchtfolge 2014; 2012 bis 2015; Maisselbstfolge (FF11), FF12 und Gewässerschutzfruchtfolge (FF13)	49
Abbildung 20: Nmin-Gehalte aus der Bodentiefe 0 bis 90 cm zu Vegetationsende und kumulierte Trockenmasseerträge; FF01, FF12 und FF13; Haus Düsse; 2012 bis 2015;	50

Linie bezeichnet Nmin-Erfahrungsgrenzwert von 40 kg/ha (von Buttlar, 2012)	
Abbildung 21: Nmin-Verlauf und Witterung unter verschiedenen Zwischenfrüchten nach Mais, Burkertsdorf, September 2013 bis Juni 2014	53
Abbildung 22: Kumulierte Behandlungsindizes (BI); alle Standorte; Grundversuch, 1. bis 6. Anlage; 2005 bis 2015, FF01 Oben; FF05 Mitte; FF11 Unten; Berechnung nach Zulassungsstand 04/2016 (BVL, 2016), in Einzelfällen Korrekturen gegenüber bestehenden Zulassungen auf Daten	54
Abbildung 23: Trockenmasseerträge, Dornburg; 5. Anlage bis 8. Anlage; 2013 bis 2015; FF01 bis FF03; Signifikanzen für $p \leq 0,05$; Var.Koeff. der kumulierten Trockenmasseerträge zwischen den Jahren als Maßgröße der Ertragsvariabilität der FF-Leistung	58
Abbildung 24: Ertragsstabilitätsgrößen; Standort Dornburg; FF01 bis FF08, 2005 bis 2012	59
Abbildung 25: Ökovalenz nach Wricke; Standorte: Dornburg, Werlte, Güterfelde, FF01 bis FF05, 1. bis 4. Anlage, 2005 bis 2013	59
Abbildung 26: Trockenmasseerträge, Mittelwerte für die Ertragsjahre; Dornburg; 2005 bis 2012, Grundversuch	60
Abbildung 27: Organigramm des EVA-Projektes mit vier Teilprojekten (TP), Graphik: Eckner	62
Abbildung 28: Bildliche Darstellung der statistisch begründeten Farbgebung für das Ampelsystem	65
Abbildung 29: FF01_B; Trossin	66
Abbildung 30: Bestbewertete Fruchtfolge je Standort nach Integrative Gesamtbewertung, alle Fruchtfolgen, alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2013	66
Abbildung 31: Integrative Gesamtbewertung der FF04 (Ackerfutter), Grundversuch, alle Standorte; 2005 bis 2013	67
Abbildung 32: Integrative Gesamtbewertung von Regionalfuchtfolgen, Güterfelde und Trossin, Grundversuch, 2005 bis 2013	68
Abbildung 33: Integrative Gesamtbewertung, Fruchtfolgen mit positiver Merkmalsausprägung „ökonomische Attraktivität“, alle Standorte, Grundversuch, FF01 bis FF05; 2005 bis 2013	69
Abbildung 34: Integrative Gesamtbewertung; FF04, FF05; alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2013	70
Abbildung 35: Integrative Gesamtbewertung der FF08_A, 2005 bis 2009 und FF08_B, 2009 bis 2013; Werlte	71

Abkürzungsverzeichnis

ASS	Ammonsulfatsalpeter
BB	Bodenbearbeitung
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
einj.	einjähriges
EROI	Energy return of investment
EVA	Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen von Deutschland
FF	Fruchtfolge
FFG	Fruchtfolgeglied
GPS	Ganzpflanzensilage
HF	Hauptfrucht
HNJ	Hauptnutzungsjahr
HSM	Hafersortenmischung
KAS	Kalkammonsalpeter
Ko	Korn
Konv.	Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug
langj.	langjähriges
Luzgr.	Luzernegras
MDÄ	Mineraldüngeräquivalent
min.	mineralisch
minimal	Minimalbodenbearbeitung ohne Pflug
Mio	Million
N	Stickstoff
N _{min}	pflanzenverfügbare mineralisierter Stickstoff
SBA	Stickstoffbedarfsanalyse
S.Gerste	Sommergerste
StS	Stoppelsaat
SZwF	Sommerzwischenfrucht
THG	Treibhausgas
T _{min}	Minimaltemperatur
Topi (Kr + Kn)	Topinambur (Kraut und Knolle)
TS	Trockensubstanzgehalt in %
US	Untersaat
Var.koeff.	Variationskoeffizient
W.Gerste	Wintergerste
W.Getreide	Wintergetreide
W.Roggen	Winterroggen
W.Raps	Winterraps
WZwF	Winterzwischenfrucht
W.Triticale	Wintertriticale
W.Weizen	Winterweizen
ZF	Zweitfrucht
ZwF	Zwischenfrucht

I. Ziele

Im Jahr 2013 war die deutsche Landwirtschaft für die Emission von rund 64 Millionen Tonnen (Mio. t) Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalenten verantwortlich. Das sind 6,7 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen dieses Jahres. Die Emissionen aus der Landwirtschaft sind damit nach den energiebedingten Emissionen aus der stationären und mobilen Verbrennung (83,7 %) und vor den prozessbedingten Emissionen der Industrie (6,5 %) der zweitgrößte Verursacher von Treibhausgasen in Deutschland (Umweltbundesamt, 2015).

Gleichzeitig werden landwirtschaftlich genutzten Flächen für Siedlung und Verkehr in Anspruch genommen. Der Flächenverbrauch betrug in Jahr 2012 74 ha täglich (Umweltbundesamt, 2015). Dies spiegelt sich in unterschiedlicher Ausprägung in den Landschaften wider.

Eine zunehmende Spezialisierung in der Produktion und eine der Marktsituation Rechnung tragende Verengung der Fruchtfolgen ist zu beobachten. Regional werden die Feldfluren von wenigen Kulturen dominiert, parallel dazu verringern sich Biodiversität und Artenvielfalt in den Agrarökosystemen.

Eine Beurteilung der Anbauoptionen erfolgt oft nur auf getrennten Ebenen oder anhand einzelner Größen. Auftretende Zielkonflikte beispielsweise in Bezug auf Einkommenssicherung und Umweltschutz oder auf pflanzenbaulicher Ebene zwischen Ertragsmaximierung und Ertragszuverlässigkeit sollen in der Auswertung der Projektergebnisse verstärkt Berücksichtigung finden.

Durch gezielte Düngung und Fruchtfolgegestaltung sind die bei der Produktion den Böden entnommenen Nährstoffe zu ersetzen, um die Erträge, die Qualität von Ernteprodukten sowie die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu sichern. Nicht von den Nutzpflanzen aufgenommene Stickstoffverbindungen führen jedoch, soweit sie nicht in den Böden gespeichert werden, zur Belastung von Grundwasser, Binnengewässern, Meeren und Landökosystemen. Außerdem tragen sie zur Entstehung von Treibhausgasen und versauernden Luftschadstoffen bei. Trotz einer Reduzierung der Stickstoffüberschüsse in den vergangenen Jahren um etwas mehr als 20 % gegenüber 1991 bundesweit liegen die Werte noch über dem angestrebten Zielwert von 80 kg/ha und Jahr (Bundesamt für Naturschutz, 2011). Neben abnehmenden Tierbeständen beruhen die Rückgänge auf Effizienzgewinnen bei der Stickstoffnutzung. Dabei zeigt sich, dass in Betrieben mit vergleichbarer Produktionsstruktur eine hohe Bandbreite unterschiedlicher Stickstoffüberschüsse auftritt. Dies lässt darauf schließen, dass weitere Minderungspotenziale bestehen.

Mit der dritten Projektphase EVA III (2013 bis 2015) wurden die bisher gewonnenen Erkenntnisse zur nachhaltigen Gestaltung von Anbausystemen vertieft. Entsprechend veränderter Rahmenbedingungen und Forderungen an den Energiepflanzenanbau und der oft kontroversen Diskussionen standen sozioökologische Fragestellungen verstärkt im Fokus. Die Forschung folgte weiterhin der These, dass eine nachhaltige landwirtschaftliche Erzeugung von Energiepflanzen nur im Rahmen von Fruchtfolgen möglich ist. Die gute fachliche Praxis fordert ebenso, durch entsprechende Fruchtfolgegestaltung die biologische Aktivität des Bodens zu erhalten oder zu fördern, damit die Grundlagen für die Landbewirtschaftung gewahrt bleiben.

Für den pflanzenbaulichen Kern im Teilprojekt 1 bedeutete dies, neben der Weiterführung der teilweise angepassten Standardfruchtfolgen (FF01 bis FF05) aus EVA I und EVA II, die Konzeption und Etablierung verschiedener, neu modifizierter Fruchtfolgen, thematisch ausgerichtet an wichtigen u. a. in der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, 2002) formulierten Postulaten, Indikatoren und Zielen.

So diene die Fruchtfolge 12 der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen einer Reduktion der Stickstoffdüngung um 25 % und der Ertragsleistung der Fruchtfolgen. Dafür wurde eine intensive und ertragsreiche Fruchtfolge (Mais-Grünschnittroggen/ Sorghum –W.Triticale/ einj. Weidelgras - W.Weizen) parallel mit reduziertem Düngemanagement geführt. Die regional ausgestalteten Fruchtfolgen verfolgten verschiedene Biodiversitätsstrategien (FF13) oder den Standorten angepasste Gewässerschutzstrategien (FF14) mit unterschiedlichen Schwerpunkten hinsichtlich Grundwasserschutz und Erosionsschutz. In Satellitenprojekten standen Fragestellungen zur Optimierung von Gärrestdüngungsstrategien, den Möglichkeiten und Grenzen des Zwischenfrucht- und Ackerfutteranbaus sowie Faktoroptimierungen und –minimierungen im Mittelpunkt der Untersuchungen. Zudem wurden Aspekte der Risikoabschätzung und des Anbaurisikoanagements von Energiepflanzenanbausystemen untersucht. In den Versuchen erhobene Daten stehen für weiterführende Untersuchungen und flankierende Begleitforschung zur Verfügung. Vernetzte Arbeitsgruppen im Projekt werteten Daten zu den Querschnittsaufgaben „Gewässerschutz“ und „Pflanzenschutz“ aus. Zum Zeitpunkt des Projektendes am 30.11.2015 waren die zu prüfenden vierjährigen Fruchtfolgen noch nicht abgeschlossen. Für die in Projektphase EVA III integrierten Standorte und die neu konzipierten Fruchtfolgen ist somit keine Bewertung einer gesamten Fruchtfolge möglich. Aufgrund nicht abgeschlossener Versuchsreihen und unzureichender Stichprobenumfänge an den jeweiligen Versuchsstandorten sind für die in den Satellitenprojekten bearbeiteten Fragestellungen nur eingeschränkte Aussagen möglich. Mit einer Verlängerung des Projektes bis zur Vollendung der Fruchtfolgerotationen wäre ein größerer Erkenntnisgewinn möglich gewesen.

Ergebnisse, die an den einzelnen Standorten und in abgeschlossenen Satellitenversuchen erzielt wurden, sind diesem Bericht als Anlagen beigefügt.

1. Aufgabenstellung

In der dritten Projektphase von EVA wurden die Fruchtfolgeversuche mit den Standardfruchtfolgen und den thematischen Fruchtfolgen an insgesamt 11 Standorten etabliert. Die einzelnen Standorte repräsentieren unterschiedliche Agrarräume Deutschlands. Die jeweiligen Böden und klimatischen Bedingungen bedingen unterschiedliche Ertragspotentiale und Anbaueignungen für die einzelnen Fruchtarten. Charakterisierende Kenngrößen und Eingliederungen für die Versuchsflächen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Mit der Eingruppierung in die Boden-Klima-Räume nach Roßberg, Michel, Graf & Neukampf (2007) sind zusätzliche Ansätze der Ergebnisübertragung auf weitere Standorte gegeben.

Tabelle 1: Standorte EVA III Grundversuch und Standorteigenschaften

	Höhe über NN	Ackerzahl	nFK im eff. Wurzelraum	BKR* ¹	Niederschlag * ² [mm/a]	ØJahres-temperatur* ² [°C]	Bodentyp
Ascha	430	47	117 mm	112	807	7,5	Braunerde
Bernburg	80	90	200 mm	107	470	9,1	Löß-Schwarzerde
Dornburg	245	65	202 mm	107	605	8,9	Parabraunerde
Ettlingen	150	75	199 mm	121	750	10	Parabraunerde
Gülzow	10	51	120 mm	101	559	8,5	Parabraunerde
Güterfelde	43	29	121 mm	104	562	9,1	Fahlerde
Trossin	120	31	118 mm	104	554	8,9	Prabraunerde
Werlte	31	40	105 mm	150	768	9	Sandboden
Haus Düse	70	65	350 mm	142	770	10,1	Parabraunerde
Niederweiler	450	30	160 mm	129	790	8,4	Braunerde
Lindenhof	14	50	150 mm	156	826	8,8	Braunerde
* ¹ Bodenklimaraum nach Roßberg et al. (2007)							
* ² langjähriges Mittel							

Für die weiterführenden Versuche und Satellitenprojekte wurden gemäß den Versuchsanforderungen zusätzliche Standorte gewählt. Bei insgesamt an 22 Standorten angelegten Fruchtfolgeversuchen oder Parzellenversuchen bearbeiteten Projektpartner Systemfragestellungen des Energiepflanzenanbaus (Abb. 1). Weiterführende Standortcharakterisierungen sind den jeweiligen Berichten der beteiligten Institutionen und Versuchsstandorte zu entnehmen (siehe Anhang).

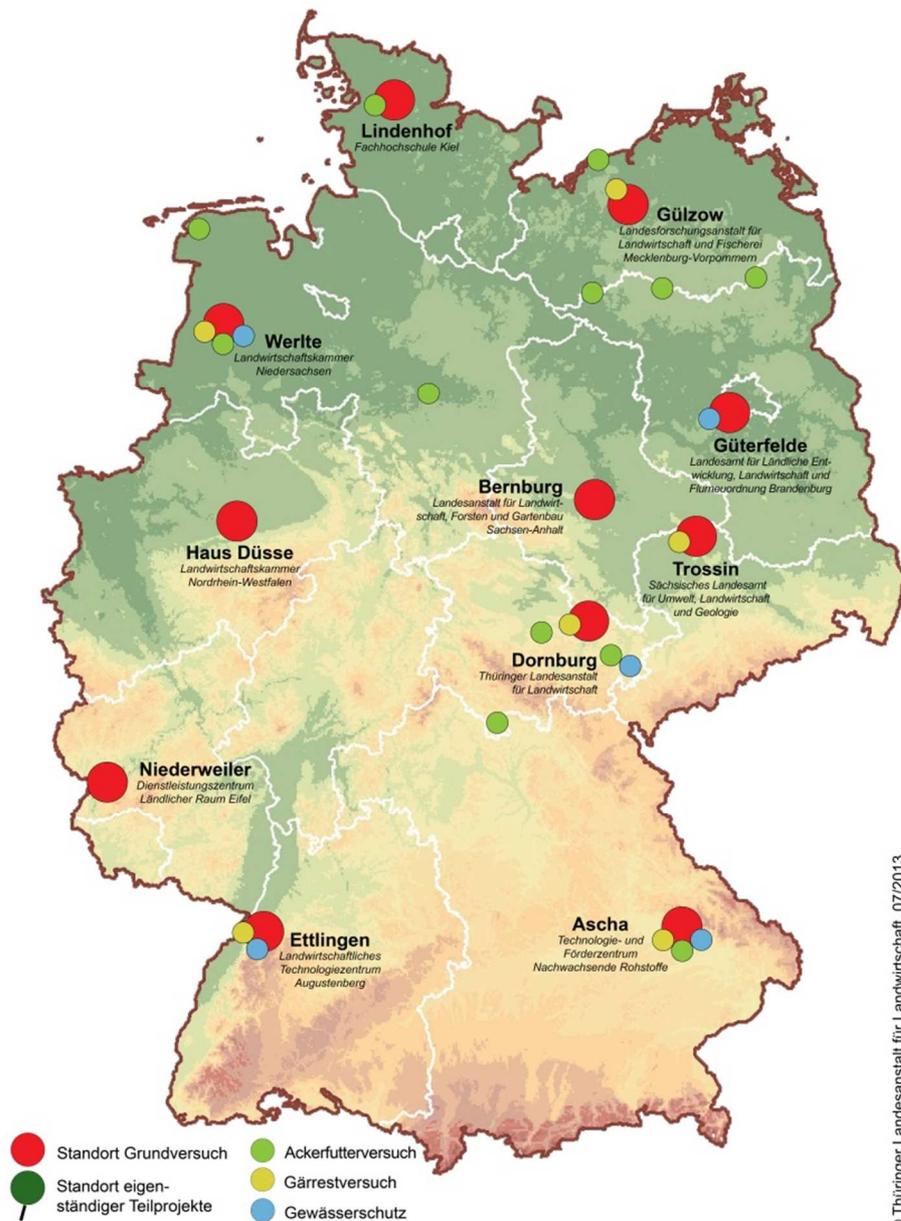


Abbildung 1: EVA-Standorte des Grundversuches und der Satellitenvorhaben

1.1 Witterungsverlauf und Bestandesentwicklung im Mittel aller Standorte

Mit einer durchschnittlichen Temperatur von +3,3 Grad im Mittel der Standorte war der Winter 2013/ 2014 gegenüber dem langjährigen Temperaturmittel von 1961 bis 1990 um +3,1 Grad zu warm. Schnee fiel bis in mittlere Lagen kaum, lediglich für zwei Wochen sorgte eine Luftmassengrenze im Nordosten mit etwas Schneefall und eisigen Temperaturen für winterliche Verhältnisse. Im Westen und Süden gab es unterhalb 500 Meter keinen einzigen Tag mit einer geschlossenen Schneedecke. Der Winter war zudem auch deutlich zu trocken. So wurde das Soll von 181 l/m² mit 122 l/m² um 33 Prozent verfehlt. Dafür gab es viel Sonnenschein. Dem entsprechend konnten auch Wachstumsphasen bei den etablierten Winterungen beobachtet werden. Der Frühling 2014 war gleichermaßen überdurchschnittlich warm und trocken, was zu einem Vegetationssprung von etwa zwei Wochen gegenüber der durchschnittlichen Entwicklung führte. Die Durchschnittstemperatur der Monate März, April und Mai lag bei +10,4 Grad und war damit um +2,4 Grad gegenüber dem langjährigen Tempera-

turmittel von 1961 bis 1990 zu warm. Erst mit einsetzenden Niederschlägen Ende April und im Mai wurde die teilweise stark angespannte Wasserversorgungssituation der Bestände und Aussaaten entschärft. Der Sommer war im Überblick warm und zu nass. Die hochsommerlichen Temperaturen um Pfingsten und die anfängliche Trockenphase wurden im Verlauf durch wechselhafte Witterung mit teils heftigen Unwettern und im August auch länger andauernde Niederschlagsphasen abgelöst. Dauernde Niederschläge und Wetterkapriolen beeinträchtigen die Erntebedingungen zum Mähdrusch regional stark. Das ruhige Wetter im September begünstigte die Mais- und Sorghumernte sowie die Bestellung der Winterungen. Die Bestände konnten sich bei wüchsigem Wetter im Oktober gut entwickeln. Die Vegetationsruhe setzte erst spät ein.

Der Winter 2014/ 2015 ist ebenfalls als zu warm zu charakterisieren. Niederschläge fielen überwiegend in der ersten Winterhälfte. Die Vegetationsruhe blieb bei ausreichend niedrigen Nachttemperaturen weitestgehend gewahrt. Auswinterungsschäden wurden nicht beobachtet. In einigen Regionen verstärkten die ausbleibenden Niederschläge in der zweiten Winterhälfte und im Frühjahr die typische Vorsommertrockenheit. Die Sommermonate waren von Hitzeperioden mit rekordverdächtigen Werten, einhergehend mit Niederschlagsereignissen mitunter als Starkniederschläge und heftige Gewitter, geprägt. Die Ernte der Silokulturen und der Druschfrüchte erfolgte an allen Standorten ohne nennenswerte Beeinträchtigungen. Günstige Bedingungen förderten eine gute Vorwinterentwicklung der eingebrachten Winterungen.

Der gegebene Überblick ist standörtlich zu differenzieren (Abb. 2). So ergeben sich durch einzelne Witterungsereignisse und regionale Abweichungen im Zusammenspiel mit der natürlichen Ausstattung unterschiedliche Wachstumsbedingungen für die geprüften Kulturen an den Standorten. Einzelheiten sind den jeweiligen Standortberichten zu entnehmen (Anhänge 3 bis 13).

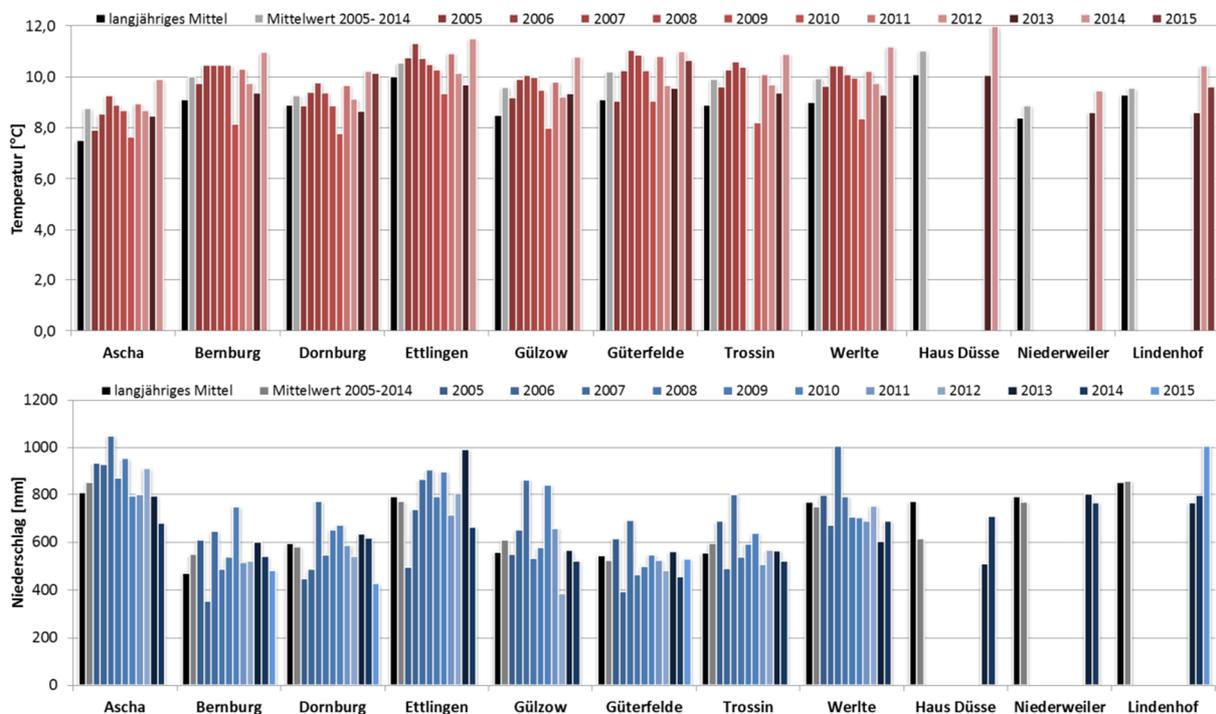


Abbildung 2: Niederschlag & Temperatur; langjähriges Mittel, Mittelwert in Projektlaufzeit und Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur 2013 bis 2015; alle EVA- Standorte

Der Überblick der Witterungsbedingungen der gesamten Projektlaufzeit von 2005 bis 2015 verdeutlicht die standörtlich differierenden Klimaverhältnisse.

In der Übersicht für die in EVA I bis EVA III involvierten Standorte waren die gemittelten Jahresdurchschnittstemperaturen für den Projektverlauf (2005 bis 2015) höher als die des langjährigen Mittels (vgl. Abbildung 2). Dabei sind relative Abweichungen zum langjährigen Mittel von bis zu 17 % (Ascha, + 1,3 °C) festzustellen. Für die Jahresniederschläge zeigen sich größere regionale Unterschiede, dabei stehen relative Mehrniederschläge von über 15 % in Bernburg geringeren Niederschlagsmengen beispielsweise in Güterfelde und Dornburg entgegen. Die absoluten Jahresniederschlagsmengen geben nur bedingt die tatsächlichen Wachstumsbedingungen wieder. Die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers und damit auch der Nährstoffe ist stark durch die Niederschlagsverteilung im Jahr und das Wasserspeichervermögen der Böden gesteuert. Es wurden wiederholt Trocken- und Dürreperioden oder Einzelergebnisse wie Starkregen beobachtet (Tab. 2).

Tabelle 2: Niederschlagsverteilung und Temperaturverlauf 2013 bis 2015, alle Standorte, Vergleich mit langjährigem Mittel der Standorte, farblich skaliert

Niederschlag												Temperatur												
2013												2013												
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
71	67	30	42	164	132	10	51	74	66	65	22	Ascha	-0,2	-1,1	1,4	8,7	11,8	15,8	20,2	18,3	13,1	9,0	3,7	0,7
43	42	42	27	105	45	28	64	63	56	62	25	Bernburg	0,4	-0,2	-0,9	9,0	13,1	16,8	20,4	19,1	14,0	11,3	5,1	4,3
40	28	23	50	173	77	25	42	53	62	49	13	Domburg	-0,4	-1,1	-1,2	8,4	12,1	16,1	19,8	18,3	13,3	10,6	4,2	3,7
38	61	29	97	178	79	78	79	108	109	84	53	Ettlingen	1,5	-0,2	2,6	9,7	11,8	17,0	21,0	18,6	14,8	11,5	5,1	3,1
59	32	22	23	98	77	20	24	82	60	44	26	Gülzow	0,7	0,2	-0,5	7,9	13,9	16,4	19,8	19,0	13,4	11,1	5,5	4,7
60	33	19	22	78	67	35	60	43	56	48	41	Güterfelde	0,2	0,2	-0,7	9,0	14,1	17,7	21,1	19,1	13,6	11,0	5,3	4,1
41	25	18	49	116	88	30	61	32	14	65	26	Trossin	0,0	-0,3	-1,2	10,8	12,9	16,6	20,5	19,0	13,8	11,0	5,1	4,3
53	38	14	33	50	75	27	22	82	64	87	57	Werlte	1,3	0,8	0,6	8,0	11,9	15,2	19,0	18,2	13,7	11,6	6,0	5,4
45	42	35	23	71	50	12	29	65	51	52	35	Haus Düsse	1,3	0,9	1,5	9,4	12,8	16,7	20,3	19,6	14,4	12,0	6,2	5,5
31	27	19	45	112	126	30	58	98	125	83	50	Niederweiler	0,4	-0,7	1,0	7,8	10,8	15,3	19,7	17,2	13,5	10,8	4,4	3,0
85	33	9	18	118	105	55	45	70	84	63	80	Lindenhof	1,1	0,2	-0,4	6,4	12,1	14,5	17,8	17,3	13,0	11,0	5,5	4,7
Vergleich zum langj. Mittel												Vergleich zum langj. Mittel												
5	17	-25	-4	100	44	-83	-25	10	6	-2	-57	Ascha	2,3	0,1	-1,8	1,4	-1,0	0,3	2,9	1,4	0,5	1,8	1,6	1,7
16	17	11	-10	55	-11	-20	4	26	26	28	-9	Bernburg	0,5	-0,9	-5,0	0,7	-0,3	0,2	2,2	1,4	-0,3	1,5	0,1	2,9
0	-12	-26	3	108	13	-57	-29	0	20	-9	-41	Domburg	-0,7	-2,0	-5,5	0,1	-1,0	0,1	1,7	0,9	-0,1	1,5	-0,1	2,7
-19	7	-25	37	98	-6	8	12	54	51	19	-14	Ettlingen	0,3	-2,7	-3,4	-0,2	-2,5	-0,5	1,4	-0,3	-0,7	1,1	-0,2	0,9
20	3	-14	-11	47	5	-45	-43	34	17	2	-21	Gülzow	0,3	-0,7	-4,2	-0,1	1,5	1,1	1,9	1,6	-0,2	2,0	1,2	3,3
17	-4	-19	-9	16	11	-33	2	-6	16	9	0	Güterfelde	-0,3	-1,4	-4,8	-0,1	0,2	1,2	2,3	0,9	-0,4	1,7	1,3	2,9
-1	-10	-23	1	65	18	-26	-3	-15	-28	17	-30	Trossin	0,7	-0,5	-4,9	2,9	0,0	0,3	2,6	1,6	-0,1	1,6	0,5	3,3
-11	-6	-47	-17	-5	-6	-44	-43	11	-2	19	-15	Werlte	-0,4	-1,1	-4,1	0,4	-0,5	0,1	2,0	1,6	0,3	2,0	0,7	2,7
-19	-6	-26	-22	11	-17	-75	-51	-4	-11	-11	-31	Haus Düsse	-1,0	-1,7	-4,1	0,2	-0,7	0,5	1,8	1,4	-0,2	1,3	-0,1	2,4
-32	-31	-36	-5	47	56	-48	-13	35	66	6	-31	Niederweiler	1,9	-0,6	-1,0	2,3	1,4	2,7	5,7	3,5	2,1	3,3	2,0	3,2
8	-10	-40	-14	52	34	-43	-63	-2	13	-15	-7	Lindenhof	-0,4	-1,6	-4,6	-2,1	0,2	-0,5	-0,1	0,3	-1,1	0,9	-0,9	1,7
Niederschlag												Temperatur												
2014												2014												
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
44	21	27	23	105	38	84	91	58	87	28	75	Ascha	1,1	2,6	6,7	10,5	12,5	17,2	19,3	16,0	14,5	10,9	5,5	2,0
28	9	5	33	102	31	117	96	47	36	12	24	Bernburg	1,2	4,8	7,5	11,8	13,1	16,5	20,8	17,0	16,0	12,8	6,9	3,1
12	7	7	43	73	41	164	113	72	35	15	37	Domburg	1,5	4,6	6,5	10,9	12,5	16,1	19,7	16,3	14,9	11,9	5,7	2,2
51	54	11	22	33	13	163	114	61	36	53	54	Ettlingen	4,1	5,2	8,0	12,2	13,8	18,3	19,5	16,8	15,5	12,7	7,2	4,5
31	20	14	46	32	67	72	27	64	52	9	89	Gülzow	0,7	5,0	7,2	10,7	13,2	16,4	20,9	17,1	15,8	12,6	7,1	2,8
27	7	25	20	63	49	110	23	25	44	9	56	Güterfelde	0,5	4,7	7,3	11,9	13,5	17,2	21,7	17,4	16,1	12,3	6,7	2,5
21	8	8	24	98	13	131	77	18	5	67	51	Trossin	1,2	4,8	7,3	11,4	13,0	16,8	20,9	17,3	16,0	12,5	6,6	2,9
45	37	18	53	115	35	93	93	17	51	37	96	Werlte	3,5	5,9	7,7	11,8	13,1	16,0	20,0	16,1	15,6	13,0	7,6	3,9
46	25	15	35	85	51	125	100	66	63	45	54	Haus Düsse	4,9	6,5	8,2	12,4	13,8	17,2	20,6	17,3	16,4	13,7	8,4	4,2
62	60	14	13	75	59	104	108	41	83	52	96	Niederweiler	3,1	3,3	6,5	10,1	11,2	15,0	17,6	14,2	13,8	10,7	6,2	1,9
74	46	27	66	74	59	34	112	49	51	20	185	Lindenhof	1,8	5,1	6,6	9,5	12,3	15,4	19,8	16,1	15,5	12,6	7,2	3,4
Vergleich zum langj. Mittel												Vergleich zum langj. Mittel												
-21	-29	-28	-22	41	-50	-9	15	-6	27	-39	-4	Ascha	3,6	3,8	3,5	3,2	-0,3	1,7	2,0	-0,9	1,9	3,7	3,4	3,0
1	-16	-26	-4	52	-25	69	36	10	6	-22	-10	Bernburg	1,3	4,1	3,4	3,5	-0,3	-0,1	2,6	-0,7	1,7	3,0	1,9	1,7
-28	-33	-42	-4	8	-23	83	42	19	-7	-43	-17	Domburg	1,2	3,7	2,2	2,6	-0,6	0,1	1,6	-1,1	1,5	2,8	1,4	1,2
-6	0	-43	-38	-47	-72	93	47	7	-22	-12	-13	Ettlingen	2,9	2,7	2,0	2,3	-0,5	0,8	-0,1	-2,1	0,1	2,3	1,9	2,3
-8	-9	-21	12	-19	-5	7	-39	16	10	-33	43	Gülzow	0,3	4,1	3,5	2,7	0,8	1,1	3,0	-0,3	2,2	3,5	2,8	1,4
-17	-30	-13	-11	1	-8	42	-35	-25	4	-30	15	Güterfelde	0,0	3,1	3,2	2,8	-0,4	0,7	2,9	-0,8	2,1	3,0	2,7	1,3
-21	-27	-34	-24	47	-58	76	14	-30	-37	19	-5	Trossin	1,9	4,6	3,6	3,5	0,1	0,5	3,0	-0,1	2,1	3,1	2,0	1,9
-19	-7	-44	3	60	-46	22	28	-54	-15	-31	24	Werlte	1,8	4,0	3,0	4,2	0,7	0,9	3,0	-0,5	2,2	3,4	2,3	1,2
-18	-23	-46	-10	25	-16	39	21	-3	1	-18	-12	Haus Düsse	2,6	3,9	2,6	3,2	0,3	1,0	2,1	-0,9	1,9	3,0	2,1	1,1
-1	2	-41	-37	9	-11	26	37	-22	24	-25	15	Niederweiler	4,6	3,5	4,5	4,6	1,8	2,4	3,6	0,5	2,4	3,2	3,8	2,1
-2	3	-21	35	7	-12	-65	4	-24	-20	-58	98	Lindenhof	0,3	3,3	2,4	1,0	0,4	0,4	1,9	-0,9	1,4	2,5	0,8	0,4
Niederschlag												Temperatur												
2015												2015												
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
82	16	54	32	95	87	38	62	25	21			Ascha	1,0	-1,2	5,0	8,2	13,0	16,8	20,6	21,0	13,4	10,9		
34	9	28	23	18	35	86	119	22	45	50	13	Bernburg	3,1	1,5	5,9	9,0	13,0	16,6	20,2	21,3	13,9	10,3		
36	3	34	21	13	43	92	63	47	50	4	20	Domburg	2,3	0,5	4,6	8,3	13,1	16,1	20,2	20,5	13,0	7,7	9,1	6,3
97	20	35	45	49	60	61	46	47	17			Ettlingen	3,3	1,3	6,5	10,3	14,3	17,6	21,9	20,8	13,6	11,5		
71	9	41	21	46	27	98	54	45				Gülzow	3,1	1,9	5,7	8,6	11,8	15,6	18,4	19,8	13,7			
71	13	32	11	24	55	70	42	37	78	74	24	Güterfelde	2,8	1,5	5,9	9,4	13,4	16,6	19,7	21,8	13,9	8,4	7,7	6,8
40	8	28	29	68	70	87	73	43	18			Trossin	3,0	1,6	5,4	8,7	13,4	16,8	20,4	21,3	13,9	9,5		
94	41	57	26	42	42	111	84	66	42	142		Werlte	3,3	2,7	6,0	8,5	11,8	15,1	18,2	18,7	13,3	9,3	8,9	
65	22	58	0	30	37	85	123	54				Haus Düsse	3,7	2,6	6,4	9,6	13,7	17,1	20,1	20,5	14,1			
86	36	56	54	34	54	60	80	115	20			Niederweiler	0,7	0,2	4,3	8,1	11,2	15,0	18,4	17,9	11,3	7,6		
139	30	74	23	85	35	187	57	76	53	169	79	Lindenhof	2,8	2,1	5,3	7,7	10,6	13,9	16,8	18,2	13,0	9,3	8,0	7,6
Vergleich zum langj. Mittel												Vergleich zum langj. Mittel												
16	-33	-1	-14	32	-1	-56	-14	-40				Ascha	3,5	0,0	1,8	0,9	0,2	1,3	3,3	4,1	0,8	3,7		
7	-16	-3	-14	-32	-21	38	59	-15				Bernburg	3,2	0,8	1,8	0,7	-0,4	0,0	2,0	3,6	-0,4	0,5		
-4	-37	-15	-26	-52	-21	11	-8	-6				Domburg	2,0	-0,4	0,3	0,0	0,0	0,1	2,1	3,1	-0,4	-1,4	4,8	5,3
40	-34	-19	-15	-31	-25	-9	-21	-7																

1.2 Versuchsaufbau

Mit der Herbstsaat in der 5. Anlage, als Fortführung der 3. Anlage, begannen die Feldarbeiten im EVA-Verbundprojekt Phase III. In der 6. Anlage wurde die Fruchtfolgerotation der 4. Anlage weitergeführt. An den einzelnen Standorten kamen die Standardfruchtfolgen 01-05 und die thematisch konzipierten Fruchtfolgen 11-14 zur Anlage (Tab. 3 bis 5). Zwischen FF04 und FF05 erfolgte analog zum Ende EVA I (1. und 2. Anlage) ein Flächentausch, um eine nicht praxisübliche Variante Ackerfütteranbau nach Ackerfütteranbau zu vermeiden. Außerdem sollten entsprechende Wartezeiten aufgrund möglicher Akkumulation von Krankheits- und Schaderregern gewährleistet werden. Zusätzlich war so eine Beobachtung der Auswirkungen des Ackerfütterumbruches auf die nachfolgenden Kulturen möglich. Mit der Umgestaltung der FF05 war die Erprobung einer neuen vielgestaltigen Energiepflanzenfruchtfolge möglich.

Um direkte und indirekte Vorfruchtwirkungen abschätzen und belegen zu können, sollte die Fruchtfolgerotation einheitlich mit der Marktfrucht W.Weizen zur Kornnutzung abgeschlossen werden. An den Standorten Güterfelde und Trossin wurde aufgrund der unzureichenden Anbaueignung von W.Weizen hier mit W.Roggen als abschließender Kultur geplant. Dies konnte jedoch aufgrund der Projektlaufzeit nicht in die Praxis umgesetzt werden.

Tabelle 3: Standardfruchtfolgen 01 bis 05 und thematische Fruchtfolgen 11 bis 12

	1	2	3	4	5	Mais-Folge 11	N-reduziert 12
FF							
Anmerkungen		Vornutzung Senf SZF	Vornutzung Senf SZF	FF mit optimaler regionaler AF-Mischung		Deckungsbeitrag maximal, kurzfristig	Vgl. zu FF03 Vornutzung Senf SZF
Erntejahr: 2013/2014	W.Gerste /Sorghum (StS)	Sorghum	Mais	Ackerfutter	Leguminosen-Getreide-Gemenge	Mais	Mais
Anmerkungen				Spätsommerblanksaat, 3-4 Schnitte	Standortangepasste Mischung		-25 % N ggü. FF03
2014/ 2015	Mais (HF)	Grünschnittroggen / Mais (ZF)	Grünschnittroggen / Sorghum (ZF)	Ackerfutter	Frühe StS – Mais	Mais	Grünschnittroggen / Sorghum (ZF)
Anmerkungen				3-4 Schnitte	standortangepasste Zwischenfrucht		Sorghum -25 % N ggü. FF03
2015/2016	W.Triticale /Phacelia (StS-GD)	W.Triticale	W.Triticale (GPS) / einj. Weidelgras (StS)	Mais	Zucker- oder Futterrübe	Mais	W.Triticale (GPS) / einj. Weidelgras (StS)
Anmerkungen				Ackerfutter, 1 Schnitt möglich	Wahl der Rübe standortangepasst		W.Triticale -25 % ggü. FF03, Weidelgras ohne N-Dgg.
	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Tabelle 4: Fruchtfolge 13 „Regionale Vielfalt /Biodiversität“

	SN	BY	MV	NI	BW I	BW II	TH
2013/2014	Wickroggen /Mais	W.Roggen+ W.Erbse US Wiesenschwingel	Grünroggen US Steinklee	W.Roggen US Steinklee	Blümmischung einj.	Wicktriticale / Sorghum	Landsberger Gem. US Rotklee gras
2014/2015	Hybridroggen	S.Getreidemischung/ Blümmischung	Steinklee	Steinklee	Mais US Blümmischung	Sonnenblume US Blümmischung	Rotklee gras HNJ
2015/2016	Blümmischung einj.	Mais	W.Raps	Steinklee / Mais	Wicktriticale / Sorghum	Mais US Blümmischung	Hafer GPS
	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Tabelle 5: Fruchtfolge 14 „Gewässerschutz“

	NW	ST	BB	BY	RP	SH
			Vornutzung Senf	Vornutzung Senf		
2013/2014	W.Triticale+W.Roggen US Weidelgras	Grünroggen / Mais	Mais US Weidelgras	Mais US Weidelgras	W.Triticale GPS US Welsches Weidelgras	Mais US Weidelgras
2014/2015	Mais US Weidelgras	Grünroggen / Mais	Mais US Weidelgras	Weidelgras HNJ	Mais US Klee gras	Mais US Weidelgras
2015/2016	Mais	Grünroggen / Mais	Sonnenblume	Weidelgras/ Sorghum	Klee gras	Zuckerrübe
	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Die Bewirtschaftung und Ernte der Parzellen erfolgte mit der an den Versuchsstandorten vorgehaltenen Versuchstechnik. Für Bestandesführung und Düngung wurden für praxisrelevante Aussagen keine einheitlichen Vorgaben gemacht und entsprechend standortangepasst nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis vorgenommen. Die Düngung in den Fruchtfolgeversuchen erfolgte nach den Beratungsempfehlungen der jeweiligen Landeseinrichtung. Sortenwahl und die regionale Ausgestaltung der Standardfruchtfolgen 04-05 geschah standortangepasst unter Berücksichtigung der jeweiligen Landessortenversuche und ggf. der Ergebnisse weiterer Untersuchungen.

1.3 Datenerhebung

Eine Vielzahl von Untersuchungsergebnissen, Inhaltsstoffanalysen und erhobenen Parametern ermöglichte eine gezielte Auswertung und eine anschließende thematische Bewertung der Fruchtfolgen und einzelnen Fruchtfolgeglieder. Nach den Anforderungen der an den Auswertungen beteiligten Institutionen und Arbeitsgruppen wurden die erforderlichen Parameter und entsprechende Methoden erarbeitet bzw. festgelegt. Die in Tabelle 6 wiedergegebenen Prüfmerkmale geben einen Überblick über die erfassten Daten. Weitere Einzelheiten zu den Probenahmen, erhobenen Parametern und durchgeführten Untersuchungen sind im Methodenhandbuch unter www.eva-verbund.de/intern hinterlegt.

Tabelle 6: Übersicht der Prüfmerkmale

- **Erfassung der Wetterdaten**
- **Bodenuntersuchungen**
N_{min}, S_{min}, P, K, Mg
Bodentiefen: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm
Zeitpunkte: Vegetationsbeginn, Ernte, Vegetationsende
- **Bestandesstruktur**
Aufgang
Bestandesdichte
Bodenbedeckung
Bestandeshöhe
Unkrautbesatz
Lagerneigung, Mängelbonituren, Krankheiten und Schädlinge
- **Abiotische Folgewirkungen**
Biomasseschnitte und N-Gehalte der Grünschnitte,
N_{min} und Bodenwassergehalt auf Flächen der Grünschnitte
- **Analyse Erntegut** (in Abhängigkeit vom Standort)
Erträge
Elementaranalyse (CNPS)
Rohasche
Gesamtzucker/Stärke
NfE
Rohfaser
Rohprotein
Rohfett
Trockensubstanz
ADF, NDF, ADL
Mineral-, Mikronährstoffe
Brennwert, Heizwert
Silierversuche und Gärtests (ATB)
- **Ökonomische Bewertung** (Universität Gießen)
Arbeitsgänge und Betriebsmittel
Fruchtarten

2. Stand der Technik

Untersuchungen zum Thema Fruchtfolgen gründen meist auf bekannten Quellen. Die Grundlage bildet dabei die mittelalterliche Dreifelderwirtschaft, erwähnt z. B. in Montgomerys Buch

„Dreck“ (Montgomery, 2010). Außerdem werden alte Nachschlagewerke verwendet, wie Könneckes „Fruchtfolgen“ von 1967 (Könnecke, 1967). Dass die Wechsel zwischen Sommerungen und Winterungen, Blattfrüchten und Halmfrüchten sowie zwischen annuellen und perennierenden Kulturen zur besseren Nährstoff- und Wasserausnutzung, zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, zur Erhöhung der Biodiversität und zur Stabilisierung des Produktionsprozesses beitragen, gilt als Grundlage der landwirtschaftlichen Praxis.

In der heutigen Praxis schwindet jedoch die Bedeutung von Fruchtfolgen auf Grund der einseitigen Weltmarktnachfrage nach nur wenigen Hauptfrüchten. In Deutschland führt das zu dem Anbau von Winterweizen und Winterraps bis an die Grenzen des agronomisch vertretbaren Umfangs (Vetter, 2016). Diese Entwicklung reduziert die Vielfalt auf den Äckern, steigert die Resistenzbildung bei Schaderregern und das Auftreten von Problemunkräutern und erhöht in der Folge den PSM-Aufwand.

Wissenschaftliche Nachweise zu Wirkungen von Fruchtfolgen zu führen, ist schwierig, weil Bewertungen ganzer Anbausysteme zeitlich, finanziell und rechnerisch aufwendig sind. Deshalb gibt es auch vergleichsweise wenig neuere Literatur. Als Grundlage für die Projektarbeit des Teilprojekts 1 „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“ ist neben den alten Quellen zunächst das Fachbuch von Bernhard Freyer (Freyer, 2003) zu nennen, welches sich mit Fruchtfolgen in konventionellen, integrierten und biologischen Anbausystemen befasst. Weiterhin werden die ersten Ergebnisse der von der DLG untersuchten Fruchtfolgen in Langzeitversuchen am Standort Bernburg in die Betrachtung einbezogen (Roßberg, 2015). Weitere Quellen sind die Veröffentlichungen zum Thema Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung (Böhm, 2014), sowie die Betrachtung von Erträgen einzelner wichtiger Ackerkulturen in unterschiedlichen Fruchtfolgen (Christen, 2001). Einige neuere Veröffentlichungen zum Thema Fruchtfolgen beschäftigen sich ebenfalls mit Energiepflanzen. So der Beitrag von Jacobs et al. auf der Göttinger Zuckerrübetagung 2013 zum Thema „Zuckerrüben als Energiepflanze in Fruchtfolgen“ (Jacobs, et al., 2013). In Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft rücken vielfältigere Fruchtfolgen wieder stärker in den Fokus. Deytieux und Kollegen beschreiben in einem Review verschiedene Methoden, um den vielseitigen Auswirkungen von Fruchtfolgen näherzukommen (Deytieux, Munier-Jolain, & Caneill, 2016).

In einigen Bundesländern wurden in jüngster Zeit Untersuchungen und Projekte zu Energiepflanzen und Fruchtfolgen gefördert. Zu nennen seien die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und die Landwirtschaftskammer in Niedersachsen, die auf diesem Gebiet auch eng zusammenarbeiten. Eine Beurteilung der Anbauoptionen erfolgte jedoch bisher oft nur auf getrennten Ebenen oder anhand einzelner Größen. Auftretende Zielkonflikte, beispielsweise in Bezug auf Einkommenssicherung und Umweltschutz oder auf pflanzenbaulicher Ebene zwischen Ertragsmaximierung und Ertragszuverlässigkeit, fanden kaum Berücksichtigung.

Vor diesem Hintergrund lassen sich die Arbeiten des EVA-Verbundes als sehr ambitioniert einordnen. Die Untersuchungen und Ergebnisse umfassen die Prüfung mehrerer Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Anbaueignung an 11 Standorten in Deutschland sowie vielfältige Bewertungen ihrer Umweltwirkung auf verschiedene Schutzgüter. Hinzu kommen die eigens im Projekt erhobenen Daten zu den Gaspotentialen der Fruchtarten und Fruchtfolgen, die eine solide Grundlage für die ökonomischen Berechnungen bilden.

Zu bedenken ist dabei, dass sich die Aufgabenstellung in der Projektlaufzeit von immerhin 11 Jahren, ausgehend von EVA I, mehrfach änderte. Schwerpunkt der letzten Projektphase (EVA III) war es, den Anbau von Energiepflanzen auf seine Ökosystemleistungen und Auswirkungen auf Agrarökosysteme hin zu überprüfen. Dabei wurde im Besonderen auf den

Bezug zu Gesetzen, Verordnungen, Strategien und Programmen, wie dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998), der Düngeverordnung (DüV, 2007) und Grundwasserschutzverordnung (GrwV, 2010), der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, Nationale Nachhaltigkeitsstrategie, 2013) und dem Klimaschutzprogramm (Bundesregierung, Nationales Klimaschutzprogramm, 2005) geachtet.

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In der fachlichen Zusammenarbeit mit verschiedenen Projekten und Arbeitsgruppen wurden die im Projekt generierten Ergebnisse der wissenschaftlichen Community zur Diskussion vorgestellt und ausgewählte Daten und Arbeitsergebnisse zweckgebunden weitergegeben. Innerhalb des Projektes wurde intensiv zusammengearbeitet. Die Aufgaben des Teilprojektes 2 umfassten unter anderem die Modellierung verschiedener Umweltszenarien basierend auf Realdaten, welche im Rahmen dieses Teilprojektes erhoben wurden. Dazu zählen Trockensubstanzbestimmungen einzelner Erntegutfractionen sowie intensive Messungen von Bestandeshöhen und Bodendeckung über die gesamte Versuchslaufzeit. Die Ergebnisse der Modellierung flossen letztendlich zu großen Teilen auch in die Betrachtungen der hier vorgestellten Ergebnisse ein und wurden für die Auswertung umfassend interpretiert. Die Zusammenarbeit mit Teilprojekt 3 bestand zu großen Teilen aus einer ständigen Dokumentationsabstimmung zur optimalen Strukturierung und Anpassung der Datenbank. Aufgabe war unter anderem auch, in Abstimmung mit Teilprojekt 2, eine Datenvalidierung. Zur fachlichen Unterstützung des Teilprojektes 4 wurde an allen Standorten Erntematerial siliert und zur Analyse und Bestimmung der Methanbildungspotentiale an den Projektpartner ATB in Potsdam geschickt. Zusätzlich erfolgten vom Standort Dornburg HBT-Untersuchungen durch die TLL. Deren Ergebnisse wurden nach fachlicher Zuordnung in die Biogasmatrix eingearbeitet, welche federführend durch das ATB Potsdam-Bornim im Laufe des Projektes entstand.

Innerhalb des Teilprojektes 1 fand ein reger Austausch an Daten und Erfahrungen zwischen den Standorten statt. Als Plattform für Austausch, Planung und Aufstellung von Handlungsempfehlungen mit persönlichem Kontakt dienten die mehrmals jährlich stattfindenden Projekttreffen. Außerdem kam es im Rahmen von Querschnittsaufgaben mit Themen wie Gewässerschutz und Gesamtauswertung zur standortübergreifenden Zusammenarbeit. Auch in der Ausgestaltung von Informationsveranstaltungen an den Standorten (u.a. Feld- und Thementage) zeigten sich die Projektpartner, sowohl innerhalb des Teilprojektes 1 angesiedelte als auch der anderen Teilprojekte, sehr aufgeschlossen und aktiv.

Der Informationstransfer beschränkte sich zudem nicht nur auf die im Rahmen des EVA-Projektes agierenden Arbeitsgruppen, sondern bezog auch externe Versuche ein. Erwähnenswert sind hier unter anderem die durch landeseigene Mittel finanzierten Sortenversuche sowie Versuche zu alternativen Energiepflanzen. Hinzu kommt der Datentransfer in andere durch den Bund geförderte Projekte, zum Beispiel der Treibhausgas-Biogas-Verbund unter Leitung von Prof. Augustin (ZALF).

Zudem wurden regelmäßig Ergebnisse im Rahmen verschiedener Veranstaltungen präsentiert. Dazu zählt die Teilnahme an verschiedenen Workshops (BfN, Senatsarbeitsgruppe Nachhaltigkeitsbewertung) ebenso wie eine Einladung zum Symposium für Wirkstoffe vom Acker durch die Fraunhofer-Gesellschaft oder die Präsentation von Ergebnissen im Rahmen der alljährlichen Veranstaltungsreihe „Leibniz im Bundestag“.

II. Ergebnisse

In einzelnen Arbeitsgruppen und an den Standorten wurden spezifische Auswertungen aus den vorliegenden Daten durchgeführt und aufbereitet. In der Folge sind einige exemplarische Darstellungen präsentiert. Weitere Auswertungen sind in zahlreichen Veröffentlichungen wiedergegeben.

1. Erzielte Ergebnisse

1.1 Erträge der Fruchtfolgen

Die festgestellten Ertragsleistungen der abgeschlossenen Vegetationsperioden unterstreichen, dass nur mit langjährigen Ergebnissen abgesicherte Aussagen zu Ertragsleistungen und Anbauersparnissen getroffen werden sollten.

Der Einfluss der standortspezifischen Wachstumsbedingungen der Einzeljahre zeigte sich auch in den Versuchsjahren 2013 bis 2015. Nachfolgende Beispiele dienen der Verdeutlichung.

Ascha 2013: Das feuchte und kühle Frühjahr verzögerte die notwendigen Maisaussaaten und den Aufgang. Verschlümmungen als Folge langanhaltender Niederschläge verschärfen die Stresssituation. Mit der nachfolgenden Hitze- und Trockenperiode ab Juli zeigten sich vorzeitige Abreife und verstärkte Lagerausbildung in den Maisbeständen. Die verfrühte Ernte ergab nur 45 dt TM/ha gegenüber den zu erwartenden 170 dt TM/ha.

Trossin 2014: Für die Winterungen standen durchschnittliche Erträge zur Ernte. Bei ausreichenden Niederschlägen mit günstiger Verteilung und hohen Temperaturen zeigte der gepflügte Zweitfruchtmais gute Biomasseleistungen. Somit wurden Trockenmasseerträge von über 300 dt/ha mit dem Zweikulturnutzungssystem Grünschnittroggen/ Mais auf Niveau der Hohertragsstandorte Bernburg und Haus Düsse erreicht.

Güterfelde 2015: Bei kühlen und nassen Bedingungen im Mai verzögerte sich die Jugendentwicklung der C₄-Pflanzen. Ausgelöst durch Trockenstress zur weiblichen Blüte waren Kolbenentwicklung, Kornansatz und Abreife unzureichend. Der daraus realisierte Maisertrag konnte nur etwa 65 % der in EVA 2005 bis 2014 ermittelten durchschnittlichen Ertragserwartung decken.

Einzelstandörtliche Ausprägungen der Witterung und der Ertragsbildung sind dabei nicht auf andere Standorte übertragbar.

Bei begünstigender Niederschlagsverteilung und guten Wachstumsbedingungen konnten in Einzeljahren auch bei benachteiligter Standortausstattung (Güterfelde (AZ: 30), 2013, 221 dt TM/ha; Trossin (AZ: 31), 2014, 302 dt TM/ha) Biomasseerträge bis über 220 dt TM/ha erreicht werden. Erwartungsgemäß sind jedoch nur an Hohertragsstandorten wie Bernburg (AZ: 90) und Haus Düsse (AZ: 72) Erträge von über 475 dt TM/ha aus 2 Jahren abzusichern.

Hohe Schwankungen der Ertragsleistung innerhalb der Kulturarten sind vorwiegend bei den C₄-Pflanzen Mais und Sorghum festzustellen. Aufgrund der kürzeren Wachstumsperioden zwischen Aussaat und Ernte und der Etablierungsrisiken, beispielsweise durch späte Befahrbarkeit, Frühjahrstrockenheit oder einer langsamen Jugendentwicklung sind die Anbauersparnisse vergleichsweise höher. Das hohe Etablierungsrisiko verdeutlichte beispielsweise das verzögerte und unzureichende Auflaufen von Sorghum nach W.Gerste in FF01 aufgrund extremer Trockenheit in 2013 mit nachfolgenden Erträgen von unter 10 dt TM/ha auf Haus Düsse.

Dennoch wurden die höchsten Erträge an den Standorten durch Zweikulturnutzungssysteme abgesichert. Mit einem Frühjahrschnitt des Welschen Weidelgrases und Ernte des nachfol-

genden Maisen im Jahr 2014 konnte als Maximalertrag 327 dt TM/ha am Standort Haus Düsse festgestellt werden. Allein am Verwitterungsstandort Niederweiler erbrachte Mais als Hauptfrucht die höchste Biomasseleistung.

Insgesamt sicherte die Einbindung der Hauptertragsbildner Mais und/ oder Sorghum in diverse Fruchtfolgen höhere oder vergleichbare Erträge gegenüber Mais in Selbstfolge.

An den Standorten Dornburg, Güterfelde und Trossin konnten die in FF05 geprüften Getreide-Leguminosen-Gemenge gegenüber W.Triticale in Reinsaat vergleichbare Erträge erbringen. Allerdings waren Ertragsdefizite bzw. Beeinträchtigungen bei der Ernte oder der Silierung der Substrate mit den Mischkulturen aus Getreide und Leguminosen an ausgewählten Standorten festzustellen. Positive ökologische Effekte wie THG-Reduzierungen durch verminderten Düngungsaufwand, höhere Habitateignung und verbesserte Humusbilanzsalden erhöhten andererseits die Anbauvorzüglichkeit.

Die Ackerfuttermischung (Luzerne-Klee gras) in Dornburg bestätigte mit durchschnittlich 176 dt TM/ha die in EVA I und II identifizierte hohe Anbaueignung. Die an den Standorten Haus Düsse, Lindenhof und Werlte im Anbau befindliche Weidelgrasmischung A3 (Welsches Weidelgras, Bastardweidelgras, Deutsches Weidelgras) erzielte bis zu 69 dt TM/ha pro Schnitt bzw. 223 dt TM/ha Jahresertrag (Haus Düsse, 6. Anlage 2014).

Die regional konzipierte FF14 verdeutlichte, dass ein gewässerschonender Anbau auch bei hohen Biomasseerträgen realisierbar ist. Die Etablierung von Untersaaten in die Deckfrüchte Mais und Wintergetreide beeinträchtigte nur standörtlich durch zusätzliche Wasserkonkurrenz und erhöhten Unkrautdruck durch eingeschränkte Bekämpfungsstrategien die Ertragsbildung, so beispielsweise in Güterfelde, Ascha und 2013 auf Haus Düsse.

Bei ungünstigen Witterungsbedingungen und starkem Unkrautdruck in Güterfelde erbrachte die geprüfte Energierübe (KWS Gerty) niedrige Erträge von unter 50 dt TM/ha und bestätigte die standörtliche geringe Anbauwürdigkeit. Andernorts standen dagegen hohe Biomasseerträge mit der 2015 in die FF05 integrierten Zuckerrübe an. Zwischen 150 dt TM/ha in Trossin und 196 dt TM/ha in Bernburg konnten geerntet werden. Die festgestellten hohen Methan ausbeuten unterstreichen zudem die Eignung als Biogassubstrat (Herrmann, et al., 2016 eingereicht), (KTBL, 2012).

Das Ranking der Biomasseerträge der zu bewertenden Fruchtfolgeabschnitte mit zwei Ertragsjahren zeigte tendenziell unterschiedliche standörtliche Eignungen auf (Tab. 7). Eine endgültige Bewertung ist aufgrund der unvollständig durchlaufenen Rotationen und der uneinheitlichen Datengrundlage nicht möglich. Die standörtlichen Erträge für die einzelnen Fruchtfolgen sind in den Abbildungen 3 bis 11 gegenübergestellt. Weitere Einzelheiten und Besonderheiten zur Ertragsbildung und Kulturführung in den Fruchtfolgen und in weiteren angegliederten Versuchen sind in den jeweiligen Standortberichten aufgeführt.

Tabelle 7: kumulierte Trockenmasseerträge der FF, standortbezogenes Ranking der TM-Erträge, und erzielte Maximalerträge pro Jahr; bezogen auf 5. Anlage 2013 bis 2014, 6. Anlage 2014 bis 2015

Anlage	Ascha		Bernburg		Dornburg		Ettlingen		Gülzow		Güterfelde		Haus Düsse		Lindenhof		Niederweiler		Trossin		Werlte	
	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06
Trockenmasseertrag [dt TM/ha] 1.-2.FF-Jahr; weiß unterlegt unvollständige Ertragswerte																						
FF01	283,0	289,7	444,3	467,9	418,9	368,8	447,3	406,8	373,2	352,6	396,3	318,1	357,6	466,0	437,1	254,0	270,5	139,4	337,4	341,1	424,3	271,4
FF02	308,6	197,5	467,5	460,0	271,6	309,7	326,1	391,2	349,7	330,4	321,8	265,0	442,1	429,6	420,2	228,4	284,9	84,4	427,4	359,4	389,9	177,7
FF03	207,4	235,4	501,6	412,2	360,0	301,9	330,4	374,0	352,7	346,4	356,9	322,6	488,2	494,7	435,5	304,6	213,9	251,4	322,6	405,2	467,0	246,4
FF04	189,3	168,3	214,8	226,2	319,4	244,0	215,8	257,7	144,6	79,4	180,4	169,1	276,2	271,6	261,3	208,4	221,0	186,0	166,2	175,2	208,2	126,6
FF05	274,0	260,4	412,4	316,8	316,7	322,8	350,4	347,4	280,8	309,0	298,9	191,8	480,5	439,6	444,6	149,1	285,4	98,2	365,9	197,5	403,2	158,0
FF11	181,9	282,3	406,7	417,9	338,5	332,8	393,9	403,0	376,0	380,6	396,4	291,4	428,6	481,0	412,4	235,1	341,5	175,2	271,6	327,0	443,3	218,0
FF12	203,1	227,9	509,1	415,6	344,6	321,7	322,5	393,2	349,1	366,4	371,6	315,4	450,6	492,1	428,0	276,7	202,5	213,4	284,4	355,9	452,6	235,4
FF13	159,6	237,6			276,0	232,9	247,5	207,1	172,4	168,6	147,0	138,0							233,9	381,0	195,8	116,2
FF14	150,3	275,7	466,6	492,3			318,7	314,4					479,6	493,6	427,4	218,6	289,8	115,3				
Ranking Trockenmasseerträge am Standort je Anlage; 1.-2.FF-Jahr; weiß unterlegt unvollständige Ertragswerte																						
FF01	2	1	5	2	1	1	1	1	2	3	2	2	7	5	2	3	5	5	3	5	4	1
FF02	1	8	3	3	8	5	5	4	4	5	5	5	5	7	6	5	4	8	1	3	6	5
FF03	4	6	2	6	2	6	4	5	3	4	4	1	1	1	3	1	7	1	4	1	1	2
FF04	6	9	8	8	5	7	9	8	8	8	7	7	8	8	8	7	6	3	8	8	7	7
FF05	3	4	6	7	6	3	3	6	6	6	6	6	2	6	1	8	3	7	2	7	5	6
FF11	7	2	7	4	4	2	2	2	1	1	1	4	6	4	7	4	1	4	6	6	3	4
FF12	5	7	1	5	3	4	6	3	5	2	3	3	4	3	4	2	8	2	5	4	2	3
FF13	8	5			7	8	8	9	7	7	8	8							7	2	8	8
FF14	9	3	4	1			7	7					3	2	5	6	2	6				
Maximalertrag pro Einzeljahr (2013- 2015)																						
	204,4 dt TM/ha	309,2 dt TM/ha	229,1 dt TM/ha	244,4 dt TM/ha	213,0 dt TM/ha	220,8 dt TM/ha	327,0 dt TM/ha	272,2 dt TM/ha	188,4 dt TM/ha	301,8 dt TM/ha	274,6 dt TM/ha											
	Grünschnitt- roggen/ Mais	Grünschnitt- roggen/ Sorghum	Wintergerste/ Sorghum	Wintergerste/ Sorghum	Grünschnitt- roggen/ Mais	Wintergerste/ Sorghum	Welsches Weidelgras/ Mais	Grünschnitt- roggen/ Mais	Mais HF	Grünschnitt- roggen/ Mais	Grünschnitt- roggen/ Mais											
	2014	2013	2013	2013	2014	2014	2014	2014	2014	2014	2014											

1.1.1 FF01: W.Gerste/Sorghum-Mais-W.Triticale/Phacelia



Abbildung 3: Trockenmasseerträge FF01; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte
^{*1} aufgrund technischer Probleme keine Ertragserfassung Sorghum
^{*2} Korn+ Stroh nach Drusch, keine GPS-Ernte

Die nach der Umstellung der Fruchtfolge zu Beginn der Projektphase EVA II festgestellten guten Ertragsleistungen für Fruchtfolge 01 wurden durch die in der 5. Anlage (2013 bis 2015) und 6. Anlage (2014 bis 2015) ermittelten Erträge bestätigt.

Das Zweikulturnutzungssystem W.Gerste/ Sorghum sicherte dabei an 8 von 11 Standorten die höchsten Einzeljahreserträge. Gleiches galt für den direkten Ertragsvergleich zu Mais HF in 2014, lediglich in Niederweiler und Gülzow konnte Mais höhere Erträge sichern. Hohe Etablierungsrisiken der Zweitfrucht bzw. Stoppelsaat verdeutlichten die Sorghum-Erträge in 2013 auf Haus Düsse. In einer Dürreperiode zur und nach der Aussaat konnte ein um über drei Wochen zeitlich verzögerter Aufgang beobachtet werden. Bei langsamer Jugendentwicklung und hohem Konkurrenzdruck aufgrund der nicht ausreichend wirksamen Herbizidapplikation bildete die Kultur mit unter 10 dt TM/ha nur geringe Biomasse. Bei standortangepasster Sortenwahl standen für Sorghum überwiegend gut silierbare Qualitäten mit Trockensubstanzgehalten von über 25 % zur Ernte an.

W.Triticale-GPS im 3. Jahr der Rotation mit durchschnittlichen bis überdurchschnittlichen Erträgen an den Standorten leistete ebenfalls einen sicheren Beitrag zur Ertragsbildung. Die Etablierung und Bestandesbildung der nachfolgenden Stoppelsaat Phacelia war bei teilweise sehr niedrigen Bodenwassergehalten im Oberboden an einigen Standorten unzureichend. Wegen schlechter Wasserversorgung in Dornburg mussten die Bestände bei einsetzender Notreife, starker Verunkrautung und Wuchshöhen von unter 10 cm vorzeitig geschöpft werden. Verunkrautung und Durchwuchs in der Folgefrucht W.Weizen könnten ertragseinschränkend wirken und so zusätzliche Herbizidapplikationen notwendig machen.

Im einzelstandörtlichen Vergleich der kumulierten Erträge der ersten zwei FF-Jahre der Fruchtfolgen konnte FF01 bei möglichen 22 Kombinationen aus Anlage und Standort an 4 Standorten in 6 Kombinationen die Höchsterträge sichern. In Güterfelde wurden im Mittel der 5. und 6. Anlage mit W.Gerste/ Sorghum-Mais bei günstigen Wachstumsbedingungen gegenüber der 3. Anlage und 4. Anlage über 20 % Mehrertrag festgestellt.

1.1.2 FF02: Sorghum-Grünschnittroggen/Mais-W.Triticale (Korn)

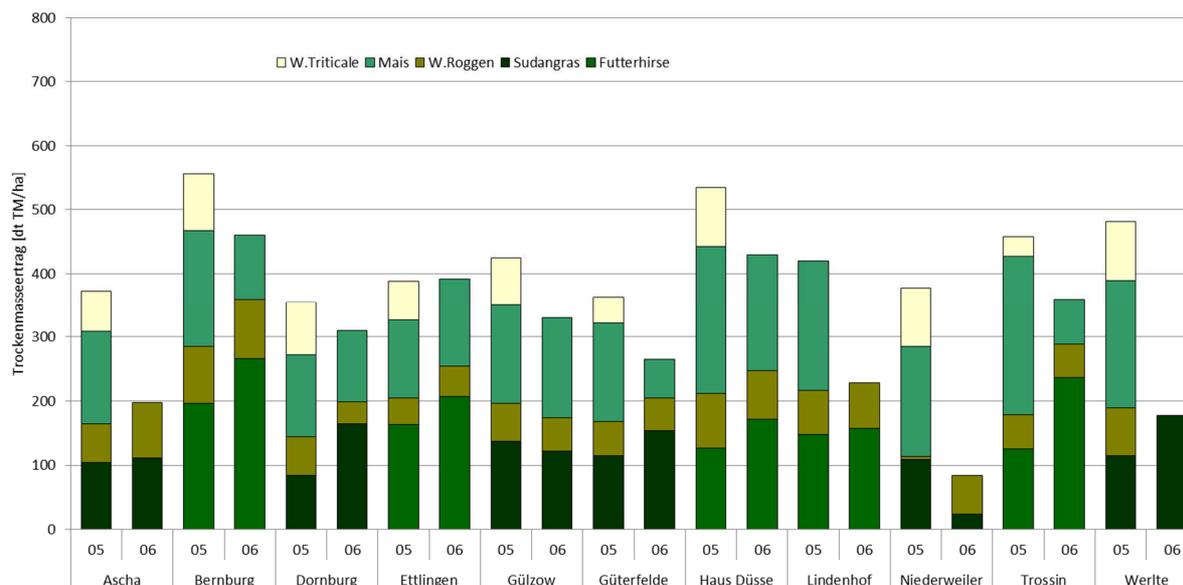


Abbildung 4: Trockenmasseerträge FF02; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte

Gegenüber den Fruchtfolgen 01 oder 03, bei denen in drei von vier Jahren Kulturen zur Bereitstellung von Biogassubstraten angebaut wurden, sind die festgestellten Trockenmasseerträge in FF02 erwartungsgemäß geringer.

Sorghum als Hauptfrucht zeigt einzelstandörtlich sein hohes Ertragspotential. Die Futterhirse der Sorte Herkules erbrachte in 2014 mit 267 dt TM/ha in Bernburg (6.Anlage) und 237 dt TM/ha in Trossin (6.Anlage) Spitzenerträge. Die zur Ernte anstehenden Biomassen waren bei Trockensubstanzgehalten von über 28% gut silierbar. Geerntete 301 dt TM/ha für das Zweikulturnutzungssystem Grünschnittroggen/Mais im Jahr 2014, zeigen dass bei günstigen Witterungsbedingungen auch an Ungunststandorten wie Trossin (AZ: 31; NS: 554 mm/a) ein sehr hohes Ertragspotential erreicht und dieses bestmöglich durch Zweikulturnutzungssysteme ausgeschöpft werden kann.

Deutlich wird der starke Einzeljahreseinfluss auf die Ertragsbildung der Einzelkulturen, beispielsweise ist der Ertrag der Sorghumhirse KWS Sole 2014 in Dornburg mit 165 dt TM/ha fast doppelt so hoch wie 2013. Die Schwankungen fallen dabei für die C₄-Pflanzen gegenüber den geprüften C₃-Pflanzen wie in allen geprüften Fruchtfolgen absolut und relativ höher aus.

Die eingebrachten W.Triticale-Kornerträge zwischen 30 dt (Trossin) und 92 dt (Haus Düsse) sind den mittleren im Projektverlauf vergleichbar und entsprechen weitestgehend den Ertragspotentialen der Standorte. Die gegenüber einer GPS-Nutzung geringeren Trockenmasseerträge sind durch die abweichenden Produkthanforderungen und das verbleibende Reststroh erklärbar.

1.1.3 FF03: Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-W.Triticale/einj. Weidelgras

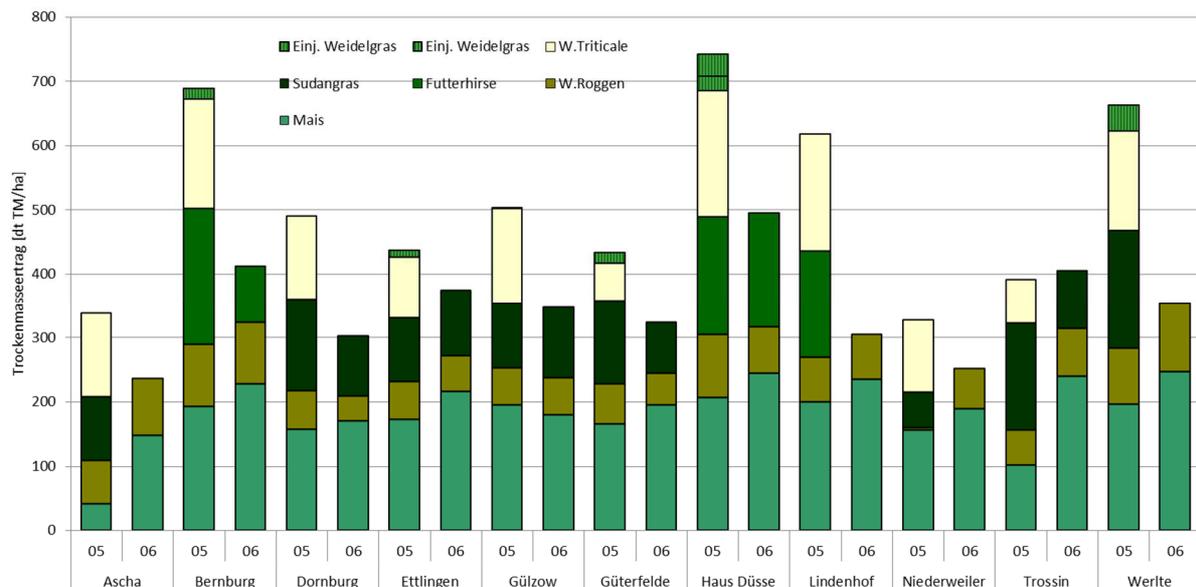


Abbildung 5: Trockenmasseerträge FF03; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte

Auch in FF03 bewies Mais in Hauptfruchtstellung seine Leistungsstärke. Bei ungünstigsten Wachstumsbedingungen in 2013 am Standort Ascha erreichte Mais HF jedoch mit 40,4 dt TM/ha nur knapp 28 % des im Mittel des EVA-Grundversuches (2005 bis 2015) festgestellten Ertrages.

Die hohen Ertragspotentiale von Zweikulturnutzungssystemen wurden mit 309 dt TM/ha am Standort Bernburg (2014) unter Beweis gestellt. Ähnlich wie in Fruchtfolge 01 leistete W.Triticale-GPS einen sicheren und hohen Ertragsanteil. In Kombination mit einer zweischnittigen Nutzung der nachfolgenden Stoppelsaat einjähriges Weidelgras konnten 2015 auf Haus Düsse 253 dt/TM geerntet werden. In Ascha, Dornburg, Gülzow, Lindenhof, Niederweiler und Werlte wuchsen mit der Stoppelsaat keine erntewürdigen Bestände heran. Beispielsweise war 2015 in Dornburg bei starker Trockenheit und starker Verunkrautung der Bestände ein vorzeitiger Schröpfungsschnitt notwendig, um ein Aussamen des notreifen Weidelgrases und Unkrautes zu verhindern. Schwer bekämpfbarer Durchwuchs im darauffolgendem W.Weizen kann ertragsverringern wirken.

Die kumulierten Biomasseerträge von über 720 dt/TM/ha für die 5. Anlage (2013 bis 2015) zeigen das hohe Ertragspotential der Fruchtfolgekombinationen. Die in EVA I und EVA II (Eckner, Strauss, Nehring, & Vetter, 2013) festgestellten geringen Ertragsvariationen lassen sich aus den vorliegenden Daten nicht bestätigen.

1.1.4 FF04: Ackerfutter-Ackerfutter-Mais

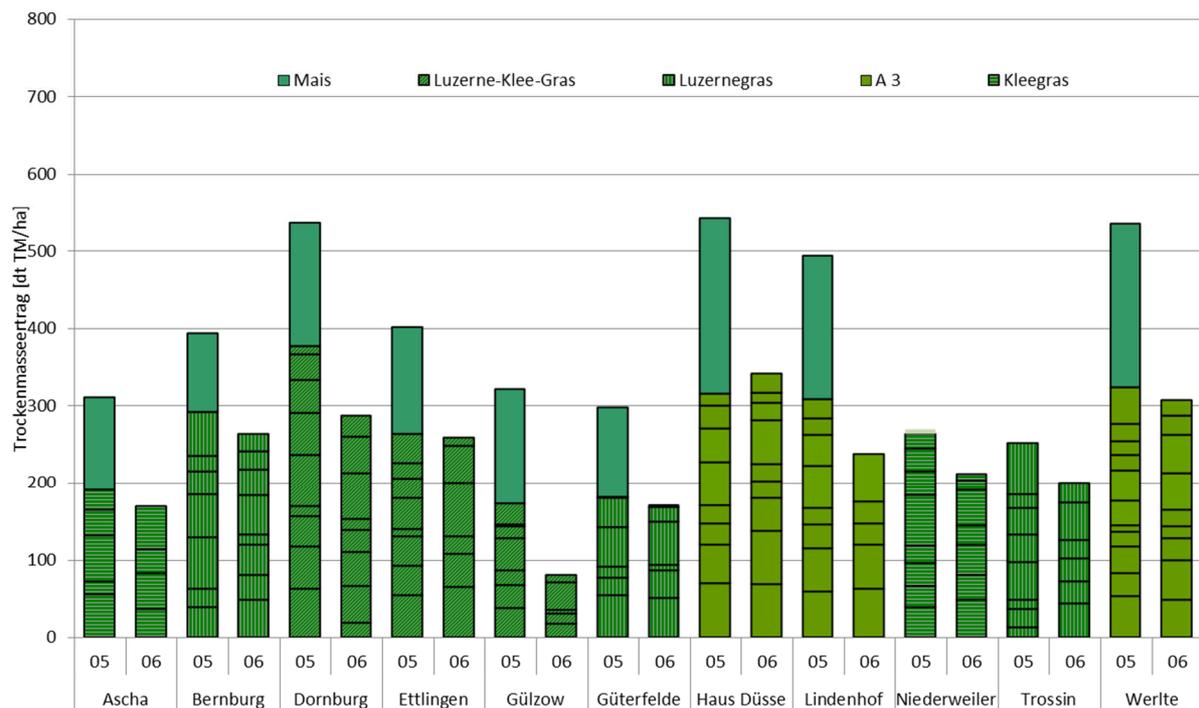


Abbildung 6: Trockenmasseerträge FF04; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte

Mit der positiven ökologischen Bewertung des mehrjährigen Ackerfutteranbaus (Glemnitz, et al., 2014a) jedoch wenig zufriedenstellenden ertraglichen Leistungen, erfolgte in EVA III eine Umkonzeptionierung der Ackerfutterfruchtfolge (FF04). Der Anbau erfolgte nach Flächentausch in Anschluss an die Rotation Hafersortenmischung-W.Triticale-W.Raps-W.Weizen (Korn). Resultierend aus den Erfahrungen der vorangegangenen Projektphasen, wo bei 47 % der Untersaaten Nachsaaten bzw. eine Umbruch und nachfolgende Blanksaat notwendig waren (Eckner, Strauss, Nehring, & Vetter, 2013), kamen die Ackerfuttermischungen als Blanksaaten zur Aussaat. Zum anderen wurde Mais als Hauptfrucht als ertragsstarke Energiepflanze in die Fruchtfolge integriert. Aufgrund ihres spezifischen Vegetationszeitraumes kann die Maispflanze organische Dünger, die ihre Nährstoffe langsamer freisetzen, gut verwerten (Deutsches Maiskomitee e.V., 2016). Die beobachtete zeitlich verzögerte N-Freisetzung aus den Residuen des Ackerfutters soll durch den Mais effizient in Biomasse umgesetzt werden.

Die Ertragsleistung der geprüften Ackerfuttermischungen lag in den Hauptnutzungsjahren zwischen 34 dt/TM/ha (Gülzow, Luzernegras, 1.HNJ, 2014) und 223 dt TM/ha (Haus Düsse, 1.HNJ; 2014). Die spezifischen Wachstumsbedingungen, insbesondere in der Etablierungsphase, spiegeln sich deutlich in den Erträgen wider. Beispielsweise bildete die Luzerne-Klee gras-Mischung in Gülzow 2014 im ersten Hauptnutzungsjahr der 6. Anlage, bedingt durch Trockenstress und starke Unkrautkonkurrenz, im Vergleich zur 5. Anlage nur 40 % der hier Trockenmasse.

Die hohen Biomasseleistungen der auf Haus Düsse, in Lindenhof und Werlte geprüften Weidelgrasmischung A3 (Deutsche Weidelgras, Welsches Weidelgras, Bastardweidelgras) bedurften eines intensiven Schnittregimes mit bis zu 5 Schnitten und hohen N-Düngergaben von über 250 kg N/ha jährlich.

In Dornburg konnte an die Erträge der vorangegangenen Projektphasen angeknüpft werden. Die Luzernekleegrasmischung erzielte mit im Mittel 165,6 dt TM/ha Leistungen, die mit den mittleren Maiserträgen vergleichbar waren. Unter Berücksichtigung der nach Daten aus dem

EVA-Projekt TP4 (2016) und Herrmann, et al. (2016 eingereicht) im Vergleich zu Mais geringeren Methanbildungspotentiale der Ackerfuttersilagen sind Bewertungen aufgrund der Trockenmasseleistungen weiter zu relativieren.

Der auf das Ackerfutter folgende Mais erreichte, mit Ausnahme am Standort Werlte, keine Erträge, die die im Projekt konstatierten mittleren Erträge übertroffen hätten. Aufgrund der unbeendeten Rotation können keine gesicherten Aussagen über die Vorfruchteffekte von Ackerfutter in der geprüften Fruchtfolge getroffen werden.

1.1.5 FF05: Getreide-Leguminosen-Gemenge/früher ZwF-Mais-Energierübe

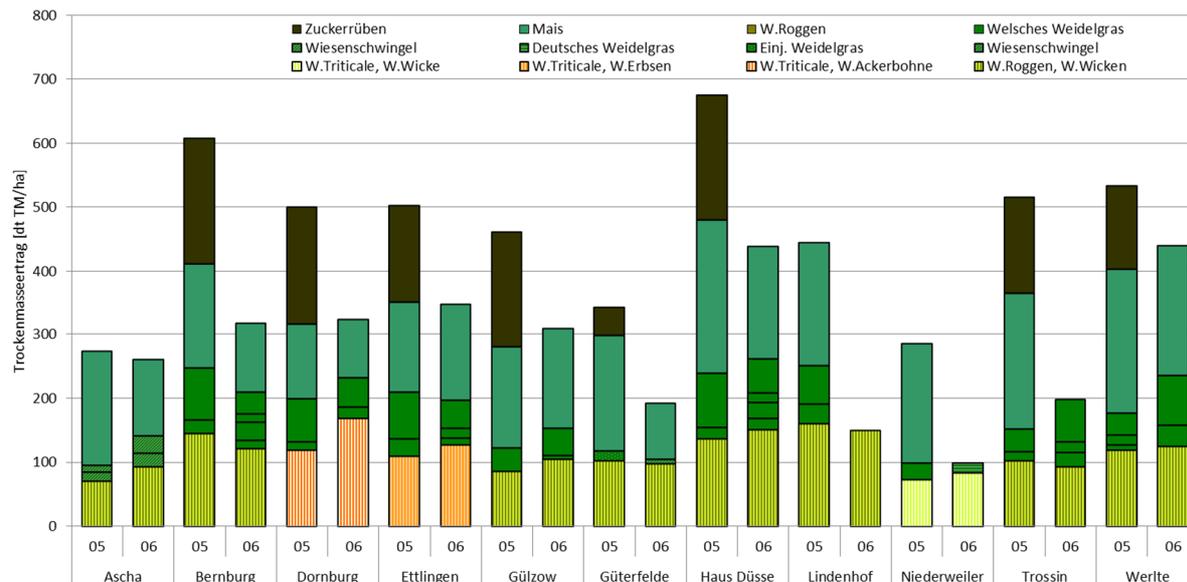


Abbildung 7: Trockenmasseerträge FF05; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte

Mit der Einbindung von standortangepassten Getreide-Leguminosen-Gemengen und Zuckerrüben in die EVA-Fruchtfolgeversuche erfolgte eine mehrfältige Prüfung der Anbaueignung unter gleichen methodischen Herangehensweisen. Für die im abgeschlossenen Satellitenprojekt „Mischfruchtanbau“ als Anbauoption mit hohem Leistungspotential identifizieren Getreide-Leguminosen-Gemenge wuchsen zur Ernte als Ganzpflanze bis zu 169 dt TM/ha (Dornburg, 2014, W.Ackerbohne und W.Triticale) in den Versuchen auf. Aspekte der Risikostreuung, günstigere Humusbilanzsalden und mögliche Produktionsfaktoreinsparungen bei Pflanzenschutzmitteln und N-Düngung gegenüber Getreidereinsaaten machen einen Anbau attraktiv. Dem standen in Getreide-Wicken-Gemengen einzelstandörtlich unzureichende Trockensubstanzgehalte zur Ernte, Erntebeeinträchtigungen durch Lager und geringe Methanbildungspotentiale der Silagen gegenüber.

In Kombination mit den nachfolgenden teilweise mehrschnittig beernteten Gräsern konnten bis zu 208 dt/ha Trockenmasse (Haus Düsse, 2014; Wickroggen, Welsches Weidelgras) geborgen werden.

In Summe aus Frühjahrsschnitt der geprüften Gräser und nachfolgendem Mais waren Erträge zwischen 88 dt TM/ha und 327 dt TM/ha zu verzeichnen. Große Schwankungen der Erträge für Mais in Zweitfruchtstellung, insbesondere an den durch unzureichende Wasserverfügbarkeit oder Frühjahrtrockenheit gekennzeichneten Standorten, waren festzuhalten.

Erträge von bis zu 196 dt TM/ha für die geprüften Zuckerrüben/Energierüben bestätigen ein wie in der Literatur (Augustin, 2008); Jacobs, et al., 2013) und aus der Praxis beschriebenes hohes Leistungspotential.

1.1.6 FF11: Mais-Mais-Mais

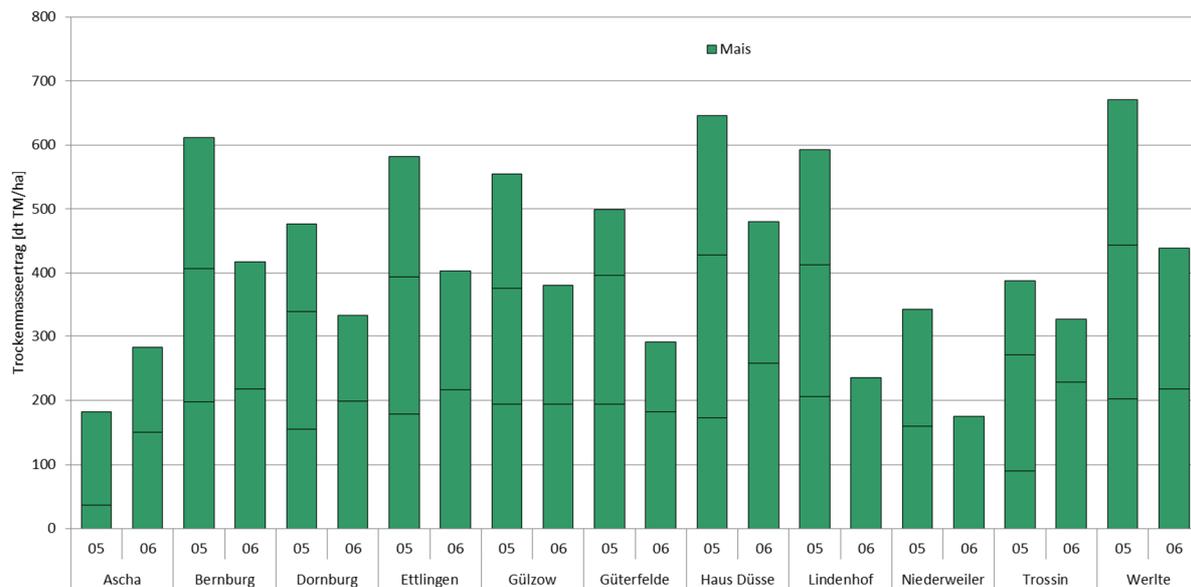


Abbildung 8: Trockenmasseerträge FF11; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte

Als Referenz zu den Fruchtfolgen des Grundversuches bzw. als kurzfristig gewinnmaximierend wurde zu Beginn von EVA III an allen Standorten eine reine Maiselbstfolge angelegt. Dabei konnten Einzelerträge von über 255 dt TM/ha gesichert werden. Wie bereits für FF03 beschrieben, wuchsen bei ungünstigsten Wachstumsbedingungen in Ascha 2013 nur 37 dt TM/ha zur Ernte heran.

An den Standorte Ascha, Dornburg, Güterfelde und Trossin waren große Schwankungen zwischen den Erträgen der einzelnen Jahre festzustellen. Ursächlich sind die differierenden Wachstumsbedingungen und die Wasserverfügbarkeit, insbesondere nach der Aussaat und in der Jugendentwicklung, an den Standorten. Sowohl Einzelereignisse (Starkniederschläge) als auch typische Wachstumsbedingungen (Vorsommertrockenheit) in Kombination mit den spezifischen Standortbedingungen (nFK, Bodenart, etc.) beeinflussten die Ertragsbildung. Außer am Standort Werlte blieben die Maiserträge der Einzeljahre unter oder auf einem vergleichbaren Niveau zu den mittleren Erträgen für Mais an den Standorten über die gesamte EVA-Laufzeit. In Werlte konnte in der Selbstfolge für 2013 bis 2015 im Mittel 18 % mehr geerntet werden. Trotz bestätigter relativer Selbstfolgestabilität für Mais (Eckner, Strauss, Nehring und Vetter, 2013) sind in Selbstfolgen bzw. engen Fruchtfolgen ein verstärktes Aufkommen von Fruchtfolgekrankheiten und Schaderregern sowie eine Begünstigung von Resistenzbildungen anzunehmen. Erste Veränderungen in der Zusammensetzung der Begleitskrautflora sind am Standort Dornburg durch Boniturdaten aus der seit 2005 geprüften Maiselbstfolge (FF07 in EVA I und EVA II) belegt. Für eine Ertragssicherung und ein Resistenzmanagement werden intensivere Pflanzenschutzstrategien mit häufigeren Anwendungen notwendig.

1.1.7 FF12: Mais-Grünschnitttroggen/Sorghum-W.Triticale/einj.Weidelgras- (N-reduziert -25 %)

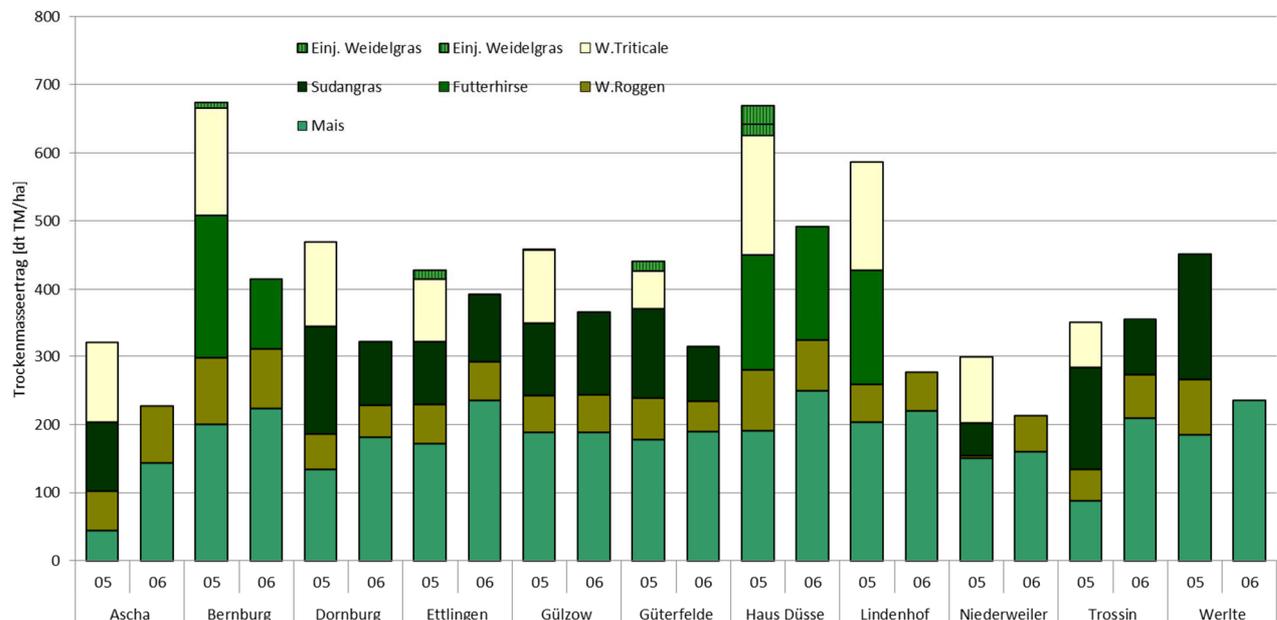


Abbildung 9: Trockenmasseerträge FF12; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, alle Standorte

Die Landwirtschaft verursacht Emissionen von Treibhausgasen. Als Hauptemissionsquelle wird dabei die energieaufwendige Produktion von mineralischen N-Düngern angesehen.

FF12 wurde vergleichend zur FF03 angebaut, wobei eine Reduzierung der in FF03 zur Anwendung gebrachten N-Düngergaben um 25 % erfolgte. Hiermit sollten mögliche Auswirkungen des verringerten Düngenniveaus auf den Ertrag der Fruchtfolge und Einzelkulturen sowie auf Einsparungspotentiale hinsichtlich klimaschädlicher Treibhausgasemissionen untersucht werden.

Ertragliche Unterschiede zwischen den FF03 und FF12 lassen sich statistisch nicht absichern. Für alle Fruchtarten und an allen Standorten finden sich Varianten mit höheren Einzelertragsleistungen für die Variante mit der verringerten Düngung. Die kumulierten Erträge für drei Jahre in FF12 sind jedoch tendenziell geringer.

Aufgrund des N-Nachlieferungspotentials der Böden wird die verringerte N-Düngung nicht signifikant ertraglich wirksam. Beobachtungen in Düngungsversuche an verschiedenen Standorten bestätigen eine zeitlich verzögerte Ertragsverringering bei reduzierter bzw. unterlassener N-Düngung. Zum anderen stützen sich die Düngungsempfehlungen auf Versuchsserien für den Anbau von Marktfruchtkulturen mit abweichenden Anbauverfahren und Qualitätsansprüchen an das Erntegut gegenüber den geprüften Energiepflanzen. Eine auf Energiepflanzen abgestimmte Düngebedarfsermittlung steht aus.

Bilanziell pro Fläche als auch produktbezogen sind Potentiale für die Einsparung von Treibhausgasemissionen durch veränderte Düngungsregime bei verringerten N-Zufuhren vorhanden.

1.1.8 FF13: Biodiversitäts-Fruchtfolge

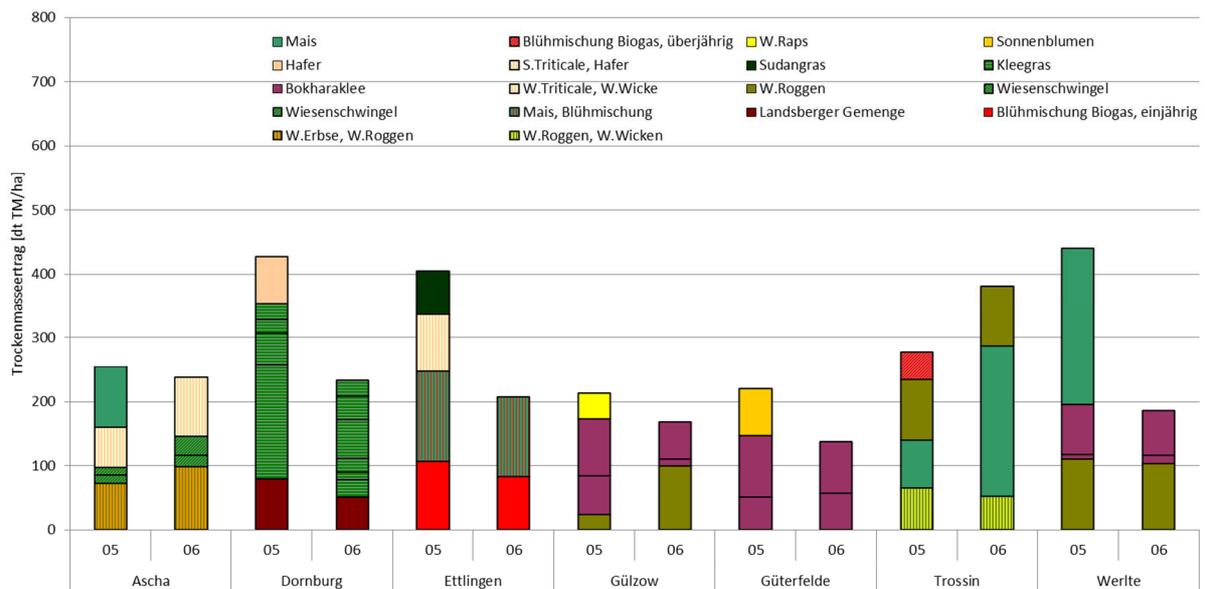


Abbildung 10: Trockenmasseerträge FF13; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, Standorte Ascha, Dornburg, Ettlingen, Gülzow, Güterfelde, Trossin und Werlte

Bei der Ausgestaltung der biodiversitätsoptimierten Fruchtfolge 13 galt es, formulierte Kriterien zur Förderung der Biodiversität zu berücksichtigen sowie Schnitt- und Erntetermine an die Zielstellung anzupassen, um Effekte hinsichtlich der Biodiversität zu erzielen. In der Prüfung kamen verschieden alternative Biogaskulturen zum Anbau. Neben Mischkulturen, Kulturen mit ausgeprägtem Blühaspekt, Sommergetreiden oder mehrjährigen Kulturpflanzen waren ebenso leistungsfähige Kulturen in die Rotationen integriert.

In der Übersicht der Biomasseleistungen zeigt sich, dass die geprüften Fruchtfolgen weniger leistungsfähig waren als reine Energiepflanzenfruchtfolgen. Mit der Anpassung der Ernte- und Schnittzeitpunkte bspw. an Brut- und Setzzeiten werden optimale Zeitfenster in Hinsicht auf Silagequalität und Methanbildungspotential überschritten.

Der an drei Standorten geprüfte Bokharaklee oder Steinklee konnte bei maximalen Einzelerträgen von 95 dt TM/ha nicht die gesetzten Erwartungen erfüllen. Unzulänglicher Wiederaustrieb im zweiten Jahr und die einschnittige Ernte gegenüber einer geplanten zweischnittigen Nutzung sind dabei zusätzlich zu benennen. Mit weiteren Anstrengungen in der Züchtung und bei der Optimierung der Anbauverfahren könnten die geprüften Arten *Melilotus officinalis* und *Melilotus albus* durchaus eine Anbauberechtigung erlangen.

Insgesamt bedürfen einzelstandörtlich leistungsfähige Komponenten der Fruchtfolgen weiterer Prüfungen. Landsberger Gemenge als Winterzwischenfrucht in Dornburg geprüft, konnte bei Erträgen bis zu 80 dt TM/ha gegenüber Grünschnittroggen als Winterzwischenfrucht überzeugen. Ebenso zeigten geprüfte Gemenge aus Mais und einer Blümmischung in Ettlingen (max. 141, dt TM/ha; 2014) oder aus W.Roggen und W.Erbse in Ascha (99 dt TM/ha, 2014) gute Erträge.

Die Beobachtungen der Prüfparzellen zeigten eine Vielzahl verschiedener Organismen, insbesondere von *Arthropoda*, so dass in Übertragung auf die Schlagebene positive Effekte auf die Biodiversität zu erwarten sind. Ein Kompromiss zwischen Optimierung der Habitataignung für Organismen der Agraroffenlandschaft, Biodiversität und Ertragsleistung wird jedoch immer notwendig sein.

1.1.9 FF14: Gewässerschutz-Fruchtfolge

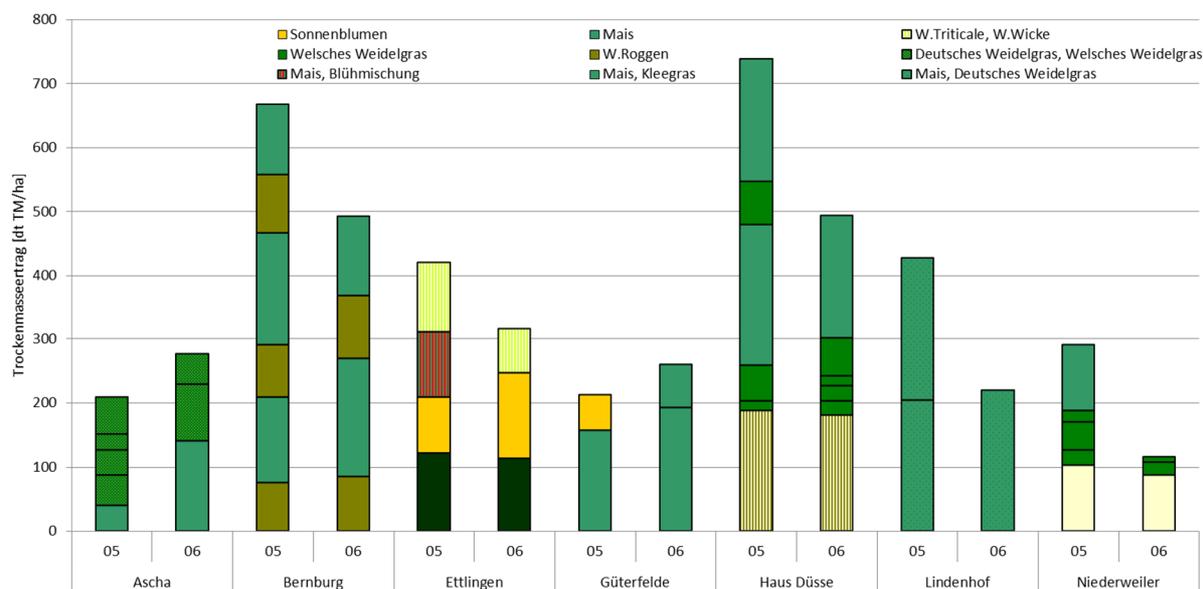


Abbildung 11: Trockenmasseerträge FF14; 2013 bis 2015, 5. Anlage und 6. Anlage, Standorte Ascha, Bernburg, Ettlingen, Güterfelde, Haus Düsse, Lindenhof und Niederweiler

Die initiierten Gewässerschutzfruchtfolgen (FF14) an den Standorten Ascha, Bernburg, Ettlingen, Güterfelde, Haus Düsse, Lindenhof und Niederweiler zielen entsprechend der Standortbedingungen auf möglichst geringe Stoffausträge in die Gewässerkörper ab. Dabei stehen die Verringerung der potentiellen Nitratverlagerung in das Grundwasser und/oder die Verhinderung von Nährstoffabschwemmungen in Oberflächengewässer durch Erosion im Fokus.

Die erzielbaren Erträge von 668 dt TM/ha (Bernburg, 5. Anlage, 2013 bis 2015) und 738 dt TM/ha (Haus Düsse, 5. Anlage, 2013 bis 2015) zeigen, dass ertragreicher Energiepflanzenanbau auch unter Berücksichtigung des Gewässerschutzes möglich ist.

Auch für FF14 wird der Einfluss der spezifischen Wachstumsbedingungen auf die Ertragsbildung der Einzelkulturen deutlich. Erreichte das Zweikulturnutzungssystem Grünschnittroggen/Mais am Standort Bernburg in 2014 noch 269 dt TM/ha, so konnten in 2015 lediglich 201 dt TM/ha geerntet werden.

Die Minimierung der Beeinträchtigung der Gewässer basierte auf ganzjähriger Bodenbedeckung mit dem Einsatz und der Folgenutzung von Untersaaten oder dem Anbau von abtragenden Früchten nach Intensivkulturen. Zusätzlich beeinflussten in Einzelfällen die eingebrachten Untersaaten die Ertragsbildung der Deckfrüchte als Hauptertragskomponenten (Güterfelde, Ascha 2013).

Eine Verringerung des Nitratverlagerungspotentials durch Anbauplanung und Fruchtfolgegestaltung ist möglich (Vgl. 1.3.6). Dennoch besteht auch bei angepassten Anbausystemen nach unter den Ertragserwartungen liegenden Ernten ein Risiko der Verlagerung der nicht verbrauchten Stickstoffmengen in tiefere Bodenschichten bzw. das Grundwasser.

1.2 Weiterführende Versuche zu Systemfragestellungen des Energiepflanzenanbaus im Fruchtfolgeregime

1.2.1 Satellitenprojekt „Zwischenfruchtanbau in Energiepflanzenfruchtfolgen als Beitrag zum Gewässerschutz“; ATB; G. Ebel

- Eine ungünstige Witterung kann zu erhöhten Nachernte- N_{\min} -Mengen führen.
- Bewuchs im Zeitraum Herbst bis Frühjahr vermindert das Risiko einer Nitratverlagerung.
- Je zeitiger der Zwischenfruchtanbau und dessen erfolgreiche Etablierung erfolgt, desto günstiger wirkt sich diese auf das N-Aufnahmepotenzial / geringeres Verlagerungsrisiko aus. Hierbei ist allerdings die Saatbettqualität / Vorhandensein von Pflanzenrückständen der Vorfrucht mit entscheidend. Eine verzögerte Entwicklung der Zwischenfrüchte kann in Wechselwirkung mit trockener Witterung (August/September) und der Einarbeitung von Stroh der Getreidevorfrucht auftreten.
- Der Mineralisierungsprozess durch die Bearbeitung ist zu berücksichtigen, z. B. erhöhte N_{\min} -Mengen 20 bis 30 Tage nach Aussaat von Grünschnittroggen und Senf.
- Senf mit Aussaat im August nach der Getreideernte ist in Abhängigkeit der Arten innerhalb der Fruchtfolge, insbesondere nach Strohabfuhr (Einstreu innerhalb des Betriebs), zu empfehlen. Innerbetrieblich kann das Vorhandensein von Direktsaatmaschinen Vorteile aus ökonomischer/ökologischer Sicht erbringen (mögliche Reduzierung der Mineralisierung durch Minimalbodenbearbeitung).
- Winterrübsen und Landsberger Gemenge sind mit Aussaat nach Mais Anfang September mögliche Fruchtarten, die den Boden noch ausreichend bedecken und Nährstoffe aufnehmen (gute Etablierung vorausgesetzt). Beide können mit entsprechender Bestandesführung im Folgejahr eine Ertragsfunktion (Gründüngung/ Futter) erbringen.
- Eine erfolgreiche Etablierung von Zwischenfrüchten bzw. gras- und getreidefreien Zwischenfruchtmischungen nach dem 15.09. ist schwierig. Dieses wird ebenfalls für Greeningmischungen für den möglichen Aussaatzeitraum Mitte September bis 30.09. eingeschätzt.
- Grünschnittroggen kann auch noch nach Maisernten bis Ende September gedreht werden, mit dem Ziel der N_{\min} -Aufnahme im Herbst, mildem Winter bis hin zum Frühjahr. Nach entsprechender Bestandesführung und Standortgüte erfüllt Grünschnittroggen als Vorfrucht im Zweitfruchtssystem eine Produktionsfunktion.

Für die Bewertung der Entwicklung des mineralischen Bodenstickstoffs in Anbaufolgen mit Zwischenfrüchten sind neben Faktoren, wie Standort, Düngung, Witterung, etc., die Anbausysteme (Bodenbearbeitung/Fruchtfolgen) stärker für die Bewertung des mineralischen Boden-N heranzuziehen. Die Bewertung einzelner N_{\min} -Daten ohne Betrachtung des Anbausystems ist fahrlässig. Die EVA-Fruchtfolgeversuche am Standort Güterfelde haben gezeigt, dass trotz der gegen Null tendierenden N-Bilanzen in verschiedenen Anbausystemen Zeiträume mit höheren N_{\min} -Werten aufgetreten sind (vgl. Anhang 14a). Zum Beispiel waren in Fruchtfolgen mit Leguminosen ein, zwei oder mehr Jahre nach Umbruch die Boden- N_{\min} -Mengen zu den Nachfrüchten systemimmanent erhöht. Für die in EVA III betrachtete Anbaufolge Luzernegras mit der Nachfrucht Mais (Luzernegras/Winterroggen) kann die N_{\min} -Entwicklung über mehrere Jahre nach Umbruch des Luzernegrases aufgrund der Einstellung der Versuche (= unvollständige Fruchtfolgerotation) nicht mehr vorgenommen werden. Gleiches gilt für die hier beschriebenen Zwischenfruchtversuche. Eine geplante dritte Anbauperiode konnte nur bis zur Hauptfrucht ausgeführt werden. Die Entwicklung des mineralischen Bodenstickstoffes der folgenden Zwischenfruchtvarianten wurde aufgrund der Einstellung der

Finanzierung nicht mehr betrachtet und bewertet. Interessant wäre hier der Zusammenhang: - der Einfluss des verminderten Hauptfruchtertrages mit entsprechend geringeren Entzügen auf die Boden-N_{min}-Entwicklung der Zwischenfrüchte - gegensätzlich zu den Vorjahren einiger Standorte gewesen. Die Wertung der Ergebnisse zweijähriger Anbauperioden ist nur bedingt geeignet.

1.2.2 Satellitenprojekt „Etablierung von mehrschnittigem Ackerfutter in Energiepflanzenfruchtfolgen“; LWK NI, T. Glauert

Zusammenfassend zeigten sich z. T. standörtliche Unterschiede hinsichtlich der Eignung der unterschiedlichen Anbauverfahren und Mischungen. Auf den meisten Standorten wurde die ertragliche Dominanz des Mais gegenüber möglicher Alternativen bzgl. der Art und Ansaatverfahren wieder deutlich. Dennoch werden dieser Kultur bei z. T. sehr schwierigen Witterungsbedingungen (Nässe und langanhaltende Trockenheit) Grenzen aufgezeigt.

Generell zeigen sich auf frischeren Standorten die Vorteile bei den gräserbetonteren Mischungen. Die Luzerne kommt insbesondere auf trockeneren Standorten sehr gut zurecht. Dies hat sich besonders in den Blanksaatverfahren immer wieder gezeigt. An einigen Standorten konnten die Ertragsleistungen der Frühjahrsblanksaaten mit den GPS-Erträgen mithalten.

Entscheidend für die ertragreiche, mehrjährige Nutzung von Einsaaten in Mais ist das Etablierungsjahr. Dabei kann die Wahl einer früh abreifenden Maissorte hilfreich sein, um den Einsaaten im Herbst noch Zeit zur Entwicklung zu geben. Zusätzlich ist bei der Sortenwahl auf Maissorten mit einer steilen Blattstellung zu achten, um den Untersaaten schon während des Maiswachstums einen größtmöglichen Lichteinfluss bieten zu können. Des Weiteren sind Herbizide sehr früh anzuwenden, um die eingebrachten Untersaaten nicht zu schädigen. In der Anbauplanung ist besonders bei den Untersaaten im Mais davon auszugehen, dass sich hierbei in den meisten Fällen im Anlagejahr keine erntewürdigen Aufwüchse mehr entwickeln. Im Folgejahr, bei erfolgreicher Etablierung sind dann aber bis zu vier Schnitte möglich, die teilweise das GPS-Ertragsniveau erreichen.

Bei den Einsaaten der Ackerfuttermischungen in Getreidebestände zeigten sich zum Teil höhere Etablierungserfolge bei der Einsaat im Spätsommer gemeinsam mit der Getreideaussaat. Die Ackerfuttermischungen konnten sich zumeist, bedingt durch die längere Vegetationszeit und gute Vorwinterentwicklung, deutlich stärker entwickeln. Zu beachten sind aber bei den Herbstsaatsaaten die sehr eingeschränkten Möglichkeiten des Pflanzenschutzes im Herbst. Entscheidend für den Etablierungserfolg von Herbst- wie auch Frühjahrseinsaaten ist die Wahl von standfesten Getreidesorten sowie die um etwa ein Drittel reduzierte Saatstärke der Deckfrucht. Die gängige Praxis sind Herbstsaatsaaten, vergleichbar mit den Blanksaaten nach W.Roggen-GPS oder W.Roggen-Körner, um von den deutlichen Mehrerträgen im ersten Hauptnutzungsjahr zu profitieren.

Aus ökonomischer Sicht sind konventionelle Anbausysteme, die ausschließlich auf die Nutzung einer Frucht aufbauen, kurzfristig betrachtet sicherlich für den Landwirt interessanter. Hinzugezogen werden müssen allerdings auch andere Faktoren, die sich als Vorteile aus der Etablierung von z.B. Untersaaten ergeben. Die Bestandesführung der im Vorjahr etablierten Untersaaten, unabhängig ob in Mais oder Getreide, beinhalten nur noch die Düngung der Aufwüchse und die Durchführung der Ernte. Durch die eingesparte Bodenbearbeitung werden die Kosten gesenkt. Dies setzt natürlich eine mindestens überjährige Nutzung voraus.

Die Versuche zeigen insgesamt auf, dass es durchaus praktikabel ist, über eine Etablierung von mehrschnittigen Gräsern in Fruchtfolgen mit den gängigen Energiepflanzen (Mais und GPS-Getreide) nachzudenken. Besonders vor dem Hintergrund des knapper werdenden Flächenangebots und der Möglichkeit, die Gesamt-Humusbilanz von humuszehrenden

Energiefruchtfolgen zu verbessern, bieten sich derartige Anbausysteme an. Des Weiteren können Betriebe mit Rinderhaltung als auch einer Biogasanlage die Aufwüchse in beiden Nutzungszweigen einsetzen. Mit der Etablierung der überjährig genutzten Ackerfutterbestände lässt sich die Gülleverwertung flexibler gestalten, dennoch sind die Orientierungswerte zur N-Düngung im Sommer/ Herbst zu Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten einzuhalten. Auch vor dem Hintergrund der Greening-Auflagen ergeben sich Möglichkeiten, diese mittels der beschriebenen Ansaatvarianten zu erfüllen. Die Untersaaten sind in der Lage, den Stickstoff in der Pflanzenmasse zu binden und hinterlassen deutlich geringere Rest-N_{min}-Gehalte im Boden. Aus Wasserschutzaspekten sind die geprüften Anbauverfahren von Untersaaten im Mais und Getreide zu empfehlen und z.T. in der Praxis nicht mehr wegzudenken.

1.2.3 Satellitenprojekt „Kleiner und Großer Gärrest“; TFZ Straubing

Die Gärrestversuche wurden, um ein möglichst breites Spektrum an standortspezifischen Eigenschaften wie Klima und Bodenbeschaffenheit abzudecken, an sechs Standorten durchgeführt. Am Großen Gärrest waren die Standorte Ascha (BY), Dornburg (TH), Gülzow (MV), Ettlingen (BW) und Werlte (NI) beteiligt. An diesen Standorten und zusätzlich in Trossin (SN) wurde auch der Kleine Gärrest durchgeführt.

Im Kleinen Gärrest wurden bundesweit die Effekte unterschiedlicher Gärrestdüngungsregime bei vollständiger oder teilweiser organischer Düngung mit Gärresten auf die Fruchtfolge Mais-Winterroggen/Sorghum-Wintertriticale/Einjähriges Weidelgras-Winterweizen (Korn) geprüft. Aufgrund der Nichtverlängerung des EVA III-Projektes konnten die Fruchtfolgen nicht abgeschlossen werden. Der im Anhang beigefügte Bericht (s. Anhang 16) beschränkt sich auf die bis 08.10.2015 eingegangenen Erträge der Standorte, da die Projektlaufzeit am 30.11.2015 endete und deshalb auch die Berichtslegung und Auswertung beschränkt war.

Es zeigte sich bei Getreide (W.Roggen und W.Triticale) im Versuch eine Tendenz mit ertragliche Vorteilen zugunsten mineralischer Düngung, während die C₄-Pflanzen Mais und Sorghum nach Düngung mit reinem oder anteiligem Gärrest tendenziell mehr Ertrag lieferten. Durch den vergleichsweise späten spezifischen Stickstoffbedarf von Mais und Sorghum aufgrund ihrer langsamen Jugendentwicklung konnte der dann mineralisierte Stickstoff aus der Gärrestdüngung effektiv genutzt werden. Dies bestätigte sich durch die parzellentreue Fortführung des Versuches aus EVA II und dem dadurch gegebenen Nachlieferungspotential. In den im Bericht dargestellten standortspezifischen Ergebnissen zeigte sich die entsprechende statistische Signifikanz von Mehrerträgen einzelner Düngevarianten.

Der Große Gärrest besteht aus einem Versuch mit den Kulturen Mais/Sorghum und W.Roggen als nachfolgende Winterzwischenfrucht sowie einem Versuch mit W.Triticale und regionalspezifisch Weidelgras oder W.Raps als Folgefrucht.

Im ersten Teilversuch wurden verschiedene Düngeregime mit unterschiedlichen Ausbringungsterminen zu Mais und Sorghum hinsichtlich ihrer ertraglichen Wirkung auf die Hauptkulturen und zu differenzierender Stickstoffnachlieferungen auf die Folgefrucht verglichen. Mais und Sorghum setzten die organisch gedüngten Nährstoffe gut um. An den Standorten Ascha und Werlte sorgte die Nachlieferung des Bodens für eine gleichmäßige Ertragshöhe bei gedüngten und ungedüngten Varianten. Dies liegt im Versuchsdesign und der kurzen Projektlaufzeit begründet.

In einigen Versuchsvarianten waren nach Ernte der Hauptfrucht hohe N_{min}-Werte zu verzeichnen. Eine ausreichende Fixierung durch den folgenden Winterroggen konnte nur teilweise beobachtet werden.

Im zweiten Teilversuch wurden Düngevarianten mit organischen Teilgaben im Herbst und ausschließlicher Düngung im Erntejahr zur Kultur W.Triticale vergleichend geprüft. Die Varianten mit organischer Herbstdüngung zu W.Triticale weisen zum Vegetationsende erhöhte

N_{\min} -Gehalte im Boden auf. Eine gute Stickstoffaufnahme der Kultur war optisch nachweisbar. Im Ertrag waren standortübergreifend keine Unterschiede erkennbar. Da die Stickstoffgaben in vergleichbarer Menge erfolgten, ist von einer guten Verfügbarkeit von Gärreststickstoff auch für die Kultur W.Triticale auszugehen.

Eine detaillierte Darstellung und Bewertung der Ergebnisse beider Projekte befindet sich im Anhang.

1.2.4 Satellitenprojekt „Risikominimierung“, LFA M.-V.

Im EVA-Projekt wurden seit 2005 Ertragsdaten verschiedener Energiepflanzenfruchtfolgen ausgewertet. Aufgrund des Versuchsdesigns konnten jedoch kaum Aussagen zur Ertragsstabilität der Kulturen und Fruchtarten gemacht werden, da im bisherigen Versuchsprogramm für keine Fruchtart eine durchgehende Ertragserfassung über mehrere Jahre hinweg möglich war. Aus diesem Grund wurde 2013 ergänzend zum Grundversuch des EVA-Projektes an den verschiedenen Versuchsstandorten der sogenannte „Risikoabschätzungsversuch“ (nachfolgend „Risikoversuch“) angelegt. Dieser ermöglichte für die Kulturen der EVA-Fruchtfolgen 01, 02 und 03 eine durchgehende jährliche Ertragserfassung. Jahreseffekte auf die Ertragsbildung zeichneten sich somit deutlicher ab und die Einschätzung von Ertragsstabilität sowie die Einordnung von Kulturen bezüglich des Risikos von Ertragsausfällen konnte am Beispiel von Wintertriticale-GPS (Ganzpflanzensilage) genauer beschrieben werden.

Standortübergreifend zeigte sich ein Trend zu einer Ertragsspanne, die an allen Standorten mit ca. 100 dt TM/ha in etwa gleich groß war. Die Ertragsniveaus unterschieden sich zwischen den Standorten so stark, dass die Ertragsspanne aller Standorte zusammengenommen doppelt so hoch ausfiel und ca. 200 dt TM/ha betrug.

Weitere Ergebnisse und nähere Erläuterungen befinden sich im angehängten Bericht.

1.2.5 Satellitenversuch „Reduzierte Bodenbearbeitung“, Standort Dornburg“, TLL

Der in EVA III durchgeführte Versuch der reduzierten Bodenbearbeitung beinhaltete die Fruchtfolgen des Grundversuches FF 01 bis 05 sowie die Themenfruchtfolgen FF 11 bis 13. Dabei wurde ein Vergleich angestellt zwischen konventioneller und pflugloser Bodenbearbeitung. Wie zu erwarten, zeigte sich ein Ertragsvorteil bei Einsatz des Pfluges im Mittel über die Jahre, jedoch differierten die Ergebnisse der Einzeljahre. Zudem ließ sich keine ökonomische Vorzüglichkeit der pfluglosen Bodenbearbeitung erkennen. Allerdings ist bei Verzicht auf den Pflug eine Einsparung von Treibhausgasemissionen aufgrund des geringeren Dieserverbrauchs möglich. Des Weiteren konnten Veränderungen in der Zusammensetzung der Begleitflora festgestellt werden.

Detaillierte Ergebnisse und Auswertungen befinden sich im Schlussbericht des Standortes Dornburg (Anhang).

1.2.6 Satellitenversuch „Faktorminimierung“, Standort Straubing, TFZ

Am Standort Straubing gingen die Ergebnisse der Fruchtfolgen 03, 11 und 14 zusätzlich in den kleinen Satellitenversuch „Fakturoptimierung N-Düngung“ mit ein. In diesem Feldversuch stand die Optimierung der Stickstoff-Düngung im Energiepflanzenanbau im Fokus. Um ein neues Düngesystem einführen zu können, sollten der Effekt stabilisierter Dünger vergleichend zur konventionellen N-Düngung mit KAS und einer reduzierten KAS-Düngung auf Ertrag, Qualität, N-Entzug, N-Bilanz, Treibhausgasemissionen, N_{\min} -Gehalt im Boden und Wirtschaftlichkeit für die Fruchtfolgen 03, 11 und 14 geprüft werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Kulturen sehr unterschiedlich reagieren. Sowohl der Verzicht von 25 % N-Düngemenge, als auch eine Änderung der Düngerart wurden von Winterroggen und Sorghum toleriert. Mais und Weidelgras reagierten – die Maiserträge aus dem Ausnahmejahr 2013 ausgeschlossen – sowohl auf die Düngermenge, als auch auf die Düngerart. Die Zahlen zeigten für diese beiden Kulturen einen Ertragszuwachs bei der Applikation von stabilisiertem Dünger und einen Ertragsrückgang bei der reduzierten Düngung. Weidelgras zeichnete hierbei wesentlich deutlicher. Der signifikant höchste Ertrag wurde für Mais und Weidelgras bei konventioneller Düngung mit KAS nachgewiesen. Das Sommergetreidegemenge aus S.Triticale und Hafer konnte im ersten Versuchsjahr 2014 mit 62 dt TM/ha nicht überzeugen. Im Folgejahr jedoch wurde ein TM-Ertrag von 92 dt/ha erzielt. Ein Grund dafür kann die gute Wasserversorgung und die warmen Temperaturen im Mai gewesen sein. Sehr problematisch war im Anbaujahr 2015 die Ackerfuttersorte (FF04) in der 6. Anlage. Waren der erste und zweite Schnitt noch auf durchschnittlichem Ertragsniveau, brachen die Bestände aufgrund der Hitze und Trockenheit von Juli bis September komplett zusammen. Das führte dazu, dass kein weiterer Aufwuchs geerntet werden konnte. Auch bei der Weidelgrasvariante (FF14) konnten nur zwei ordentliche Schnitte geerntet werden. Der dritte Schnitt brachte nur knapp 10 dt TM/ha. Katastrophal hingegen verlief die Bestandesentwicklung des Weidelgrases (FF03) in der 5. Anlage, welche nach der Saat keinen nennenswerten Niederschlag erhielt und deshalb keinen Bestand etablierte. Sorghum zeigte sich im Gegenzug bei dieser extremen Witterung deutlich ertragsstabiler.

1.3 Weiterführende Auswertung und Interpretation zum Fruchtfolgeversuch

1.3.1 Zwischenfrüchte in Energiepflanzenfruchtfolgen

Für die Zielerreichung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie trägt die Integration von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolge zur Verringerung des Stoffverlagerungsrisikos in Gewässer bei. Erhöhte Stickstoffgehalte nach der Ernte der Hauptfrucht sind auch bei optimaler Bewirtschaftung nicht ausgeschlossen (bspw. Ascha, 5. Anlage, 2013, Mais- N_{min} -nach Ernte 167 kg N/ha für Bodenschicht 0 bis 90 cm). Witterungsbedingte Einflüsse und damit einhergehende Ertragsminderungen führen zu Stickstoffüberschüssen und erhöhten Verlagerungsrisiken in den Sickerperioden. Verlagerte Nährstoffe stehen der Folgekultur nicht mehr zur Verfügung und bedeuten erhöhten Düngereinsatz verbunden mit Mehrkosten, Mehraufwand und gesteigerten gekoppelten THG-Emissionen. Zwischenfrüchte vermögen bei ausreichender Bestandesentwicklung hohe Stickstoffmengen über Winter zu fixieren (Buchweizen, Mittelwert 2005 bis 2013: 76 kg N/ha in oberirdischer Biomasse). Die Bodenbedeckung vermindert die Erosionsgefahr. Die Exsudate der Wurzelsysteme regen die bodenbiologische Aktivität an und mobilisieren Nährstoffe, wodurch die Bodenfruchtbarkeit gesteigert wird.

Auch wenn der Zwischenfruchtanbau aufgrund einer Vielzahl an Vorteilen nahezu unverzichtbar ist, sind die Aufwüchse nicht in jedem Jahr befriedigend und der Anbau mit Aufwendungen und Kosten verbunden.

Die Biomasseleistungen der geprüften Zwischenfrüchte verdeutlichen dass teilweise eine zusätzliche Nutzung als Biogassubstrat in Zweikulturnutzungssystemen möglich ist (Abbildung 12).

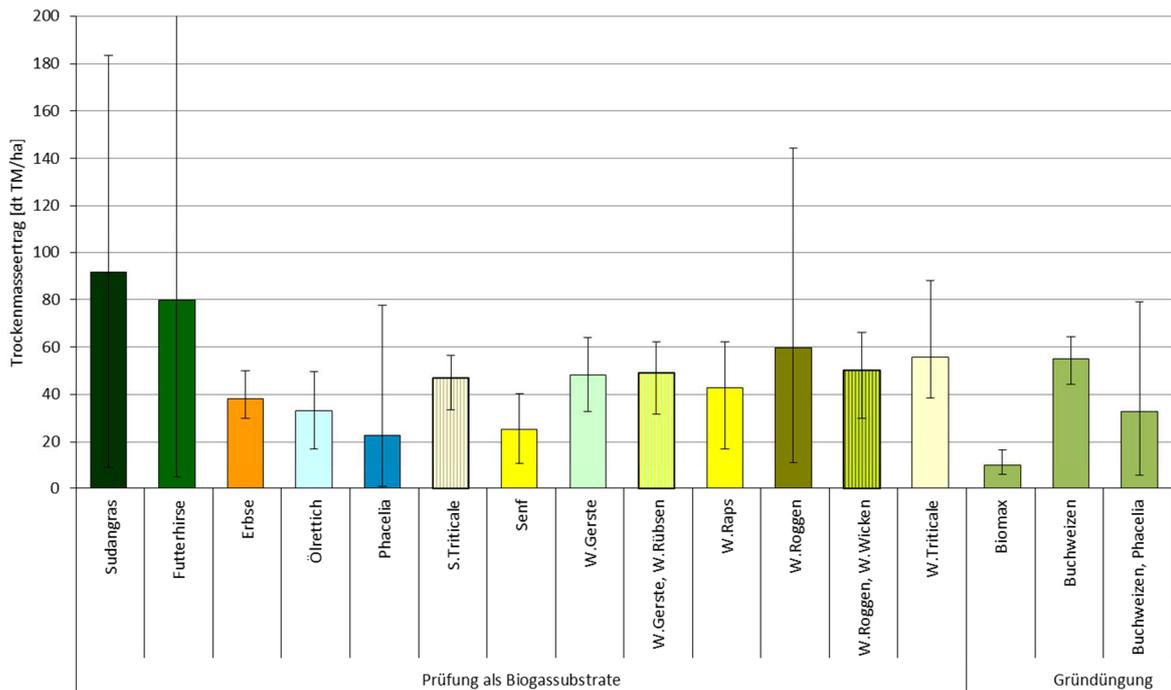


Abbildung 12: Trockenmasseerträge geprüfter Zwischenfrüchte, Mittelwert, 11 Standorte, 2005 bis 2014, n = unterschiedlich; Fehlerbalken Spannweiten

Hohe und höchste Trockenmasseerträge konnten an allen Standorten bestätigt werden. Auch im guten Maisjahr 2014 erbrachten die geprüften Zweikulturnutzungssysteme höhere Erträge im Vergleich zum alleinigen Hauptfruchtmaisbau. Lediglich am Standort Haus Düsse (NRW) war Mais in Hauptfruchtstellung ertragsstärker als die geprüften Zweikulturnutzungssysteme (Abb. 13). Somit trugen Zwischenfrüchte auch direkt zur Ertragsbildung und Substratbereitstellung bei. Die ökonomischen Auswertungen zeigten, dass Mehrerträge in Fruchtfolgekombinationen Mehrkosten nur bedingt ausgleichen. Flächeneffizienz oder alternative Nutzung der „frei werdenden Fläche“ sind somit vor allem für Regionen mit hohem Pachtpreinsniveau vorzüglich. Ökologische Leistungen und Fruchtfolgewirkungen sind nur bedingt monetär bewertbar.

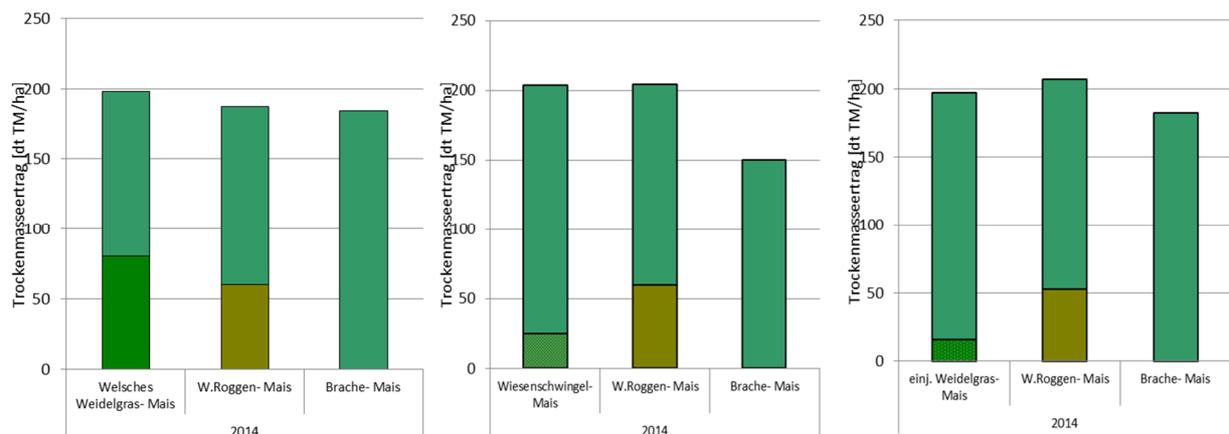


Abbildung 13: Trockenmasseerträge angebaute Zweikulturnutzungssysteme und Mais HF, 2014, drei Standorte (von links nach rechts: Dornburg, Ascha, Werlte)

Ertragsauswirkungen auf die Folgekultur konnten ebenfalls beobachtet werden. In der Literatur beschriebene Ertragsunterschiede von bis zu 20 % im Vergleich zum Anbau ohne Zwischenfrüchte wurden dabei jedoch nicht bestätigt.

Der Anbau von Senf als abfrierende Zwischenfrucht zeigte übereinstimmend mit Böttcher (Böttcher, 2014) an den Versuchsstandorten keine ertraglichen Auswirkungen auf die Folgefucht Mais (Abbildung 14). Resultierende Mehr- oder Mindererträge nach Senf waren den spezifischen Wachstumsbedingungen der Einzeljahre geschuldet.

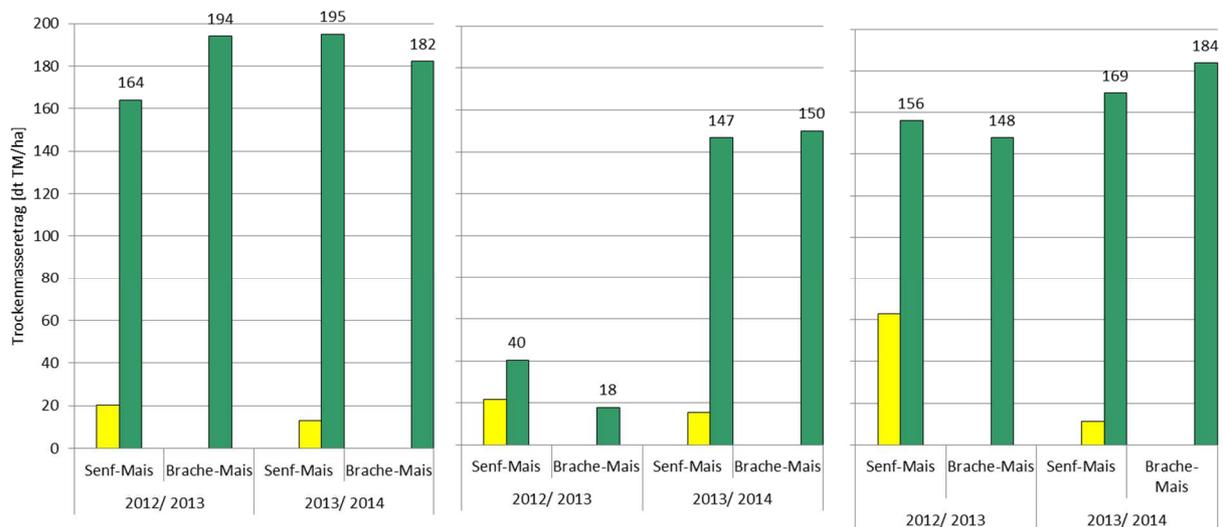


Abbildung 14: Trockenmasseerträge Mais nach ZwF Senf, im Vergleich zu Mais ohne ZwF, 2012 bis 2014, drei Standorte (von links nach rechts: Dornburg, Ascha, Werlte)

Mehrerträge durch Zwischenfrüchte waren für W.Weizen nach W.Triticale im Vergleich der FF01, FF02 und FF03 in EVA I und II an verschiedenen Standorten statistisch zu sichern.

Weitere Einzelergebnisse sind den Standortberichten und dem Zwischenbericht des Satellitenprojektes „Zwischenfruchtanbau als Beitrag zum Gewässerschutz im Energiepflanzenanbau“ (Koordination ATB) zu entnehmen.

1.3.2 Getreide-Leguminosen-Gemenge als Biogassubstrate

Der Anbau von Leguminosen-Getreide-Gemengen bietet gute Möglichkeiten zur Diversifizierung des Biogaspflanzenanbaus bei ökologischen Vorzügen gegenüber dem Anbau von GPS-Getreide.

Verschiedene Gemenge aus Körnerleguminosen wie Ackerbohnen, Erbsen oder Wicken und standortangepassten Getreiden oder Getreideartenmischungen finden bereits im Futterbau als Bestandteil der Eiweißrationen Anwendung. Für die Produktion von Biogassubstraten ist derzeit vor allem Wickgetreide in der Praxis zu finden. Dieses wird durch Züchterhäuser intensiver bearbeitet.

Argumente für den Gemengeanbau sind unter anderem die Streuung des Ertragsrisikos auf verschiedene Arten und die Entzerrung von Arbeitsspitzen im Vergleich zum Anbau von GPS-Getreide in Reinsaat.

Am Standort Dornburg kam ein Gemenge aus Winterackerbohne und Wintertriticale zur Erprobung. Dabei zeigte das Gemenge 2014 mit 97 % und 2013 mit 93 % gegenüber dem Wintertriticale-GPS-Trockenmasseertrag sehr ansprechende Leistungen. Die für gute Silierbarkeit geforderten 28 % Trockensubstanzgehalt wurden sowohl in den Parzellenversuchen als auch in Praxisversuchen sicher erreicht. Zudem bestätigten Batch-Gärtests mittels Ho-

henheimer Biogasertragstest hohe, mit dem GPS-Getreide vergleichbare Gasbildungspotentiale von 96 % des Maisniveaus.

Die Erprobung weiterer Gemenge auf den Standorten zeigten zumeist Ertragsverluste gegenüber dem Ganzpflanzengetreideanbau. Dennoch konnten an für Getreideanbau nicht so stark prädestinierten Standorten auch Mehrerträge erzielt werden. Für Wickroggen und Triticale-Erbsen-Gemenge wurden starke Lagerneigung und unzureichende Trockensubstanzgehalte von unter 28 % Trockensubstanz beobachtet (Tab. 8).

Tabelle 8: TM-Erträge und Trockensubstanzgehalte Getreide-Leguminosen-Gemenge und W.Triticale GPS; 2013 bis 2014, alle Standorte

	Ascha		Bernburg		Dornburg	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014
W.Triticale	111,8 dt TM/ha	141,4 dt TM/ha	209,1 dt TM/ha	205,5 dt TM/ha	130,2 dt TM/ha	173,7 dt TM/ha
W.Roggen, W.Wicken	70,5 dt TM/ha	92,9 dt TM/ha	144,5 dt TM/ha	120,6 dt TM/ha		
W.Triticale, W.Ackerbohne					118,4 dt TM/ha	168,2 dt TM/ha
relativ zu W.Triticale- GPS	63%	66%	69%	59%	91%	97%
TS- Gehalt zur Ernte	29,6%	32,7%	32,8%	34,5%	33,5%	32,6%
	Ettlingen		Gülzow		Güterfelde	
W.Triticale	139,4 dt TM/ha	122,1 dt TM/ha	111,2 dt TM/ha	132,3 dt TM/ha	113,6 dt TM/ha	83,5 dt TM/ha
W.Roggen, W.Wicken			85,7 dt TM/ha	104,6 dt TM/ha	101,7 dt TM/ha	97,3 dt TM/ha
W.Triticale, W.Erbsen	109,2 dt TM/ha	126,4 dt TM/ha				
relativ zu W.Triticale- GPS	78%	104%	77%	79%	89%	116%
TS- Gehalt zur Ernte	21,5%	33,0%	23,9%	34,6%	29,1%	36,6%
	Haus Düsse		Lindenhof		Niederweiler	
W.Triticale						
W.Roggen, W.Wicken	135,8 dt TM/ha	150,0 dt TM/ha	159,9 dt TM/ha	149,1 dt TM/ha		
W.Triticale, W.Wicke					72,8 dt TM/ha	83,0 dt TM/ha
relativ zu W.Triticale- GPS						
TS- Gehalt zur Ernte	57,7%	30,4%	30,9%	37,2%	26,1%	38,0%
	Trossin		Werlte			
W.Triticale	106,7 dt TM/ha	103,5 dt TM/ha	154,6 dt TM/ha	200,2 dt TM/ha		
W.Roggen, W.Wicken	102,1 dt TM/ha	91,9 dt TM/ha	118,1 dt TM/ha	123,9 dt TM/ha		
relativ zu W.Triticale- GPS	96%	89%	76%	62%		
TS- Gehalt zur Ernte	32,7%	38,9%	30,3%	31,4%		

Am Standort Dornburg ließ sich für den Anbau des Ackerbohne-W.Triticale-Gemenges aus der ökonomischen Vorzüglichkeit und den ökologischen Leistungen eine hohe Anbaueignung ableiten (Vgl. Anhang 12a).

Stickstoffixierungsleistungen von 25 bis 150 kg N/ha ergeben sich je nach Gemengezusammensetzung aus den Literaturwerten (Drangmeister, 2011); (Jost, 2003). Durch die N-Versorgung aus der legumen Stickstoffixierung wird es möglich, Nährstoffe in Form von Gärrestdüngung in bedürftige Kulturen oder Fruchtfolgen zu transferieren und somit Humussalden zu verbessern. Die Einsparung von mineralischer Düngung ermöglicht eine Verringerung der Treibhausgasemissionen. Die verringerten Pflanzenschutz aufwendungen, die strukturierteren Bestände mit hoher Habitaeignung für Organismen der Agrarlandschaft und die Blüh Aspekte der Gemenge bereichern zusätzlich Landschaftsbild und Biodiversität. Durch die frühe Ernte und Räumung des Feldes lassen sich die Kulturmischungen gut in die Fruchtfolgen als Vorfrucht zu W.Raps einordnen. Ebenso ist eine nachfolgende Etablierung (siehe 1.3.1) von Sommerzwischenfrüchten oder der Anbau von Winterzwischenfrüchten (verschiedene Gräser teilweise als Untersaatetablierung geprüft) auch zur Substratnutzung vor C₄-Pflanzen in Energiepflanzenfruchtfolgen machbar. Mit der verbleibenden langen Vegetationszeit und einem möglichen zusätzlichen Schnitt im Frühjahr sind ansprechende Erträge der Gräser realisierbar.

1.3.3 Zuckerrübe/ Energierübe

Die anhand der Parzellenversuche analysierten Methanerträge bestätigten übereinstimmend mit Augustin (2008) die gute Eignung der Zuckerrübe für den Einsatz in der Biogasanlage. An den Standorten mit mehrjähriger Prüfung der Rübe in den Fruchtfolgen verdeutlichten die Ertragsschwankungen von bis zu 40 % im Mittel jedoch auch hohe Ertragsrisiken. Diese lagen aber für die nicht als klassische Rübenstandorte einzuordnenden Versuchsflächen in Trossin und Ettlingen auf dem gleichen Niveau wie für Mais als Hauptfrucht. Bei sehr hohen Gasbildungspotentialen und Methanausbeuten entsprechend der Daten aus dem EVA-Projekt TP4 (2016) ergaben sich in der Mehrzahl höhere Methanerträge gegenüber den Vergleichsvarianten für Mais in Hauptfruchtstellung. Abweichend waren am bayrischen Vorgebirgsstandort Ascha und bei ungünstigen Wachstumsbedingungen für Zuckerrüben 2015 in Ettlingen geringere Biomasse- und auch Methanerträge festzustellen (Tabelle 9). Der Anbau am zuckerrübenfähigen, aber maisertragseingeschränkten Standort Dornburg war gegenüber Mais vorzüglich.

Tabelle 9: Trockenmasseertrag, Methanertrag und Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistungen (DAKfL); EVA- Grundversuch, alle Standorte, 2005 bis 2015 für Zuckerrüben und Mais (HF)

Trockenmasseertrag [dt TM/ha]	Ascha	Bernburg	Dornburg	Ettlingen			Gülzow	Haus Düsse	Trossin			Werte
	2015	2015	2015	2011	2012	2015	2015	2015	2011	2012	2015	2015
Mais nach Mais	131,7	202,7	136,1	224,7	136,9	187,6	182,5	220,5			107,4	224,2
Mais HF beste Variante			160,8	270,8	161,6			228,9	181,7			244,2
Zuckerrüben	88,3	196,3	183,7	246,0	176,8	152,3	181,2	195,9	174,0	106,2	150,4	198,4
Methanertrag [Nm ³ /ha]	Ascha	Bernburg	Dornburg	Ettlingen			Gülzow	Haus Düsse	Trossin			Werte
	2015	2015	2015	2011	2012	2015	2015	2015	2011	2012	2015	2015
Mais nach Mais	3821	5812	3898	6556	4666	5432	5299	6319			3070	6542
Mais HF beste Variante			4693	7822		5443		6644	5274			7124
Zuckerrüben	2971	6606	6185	8279	5951	5126	6101	6593	5857	3573	5063	6680
relativ zu Mais nach Mais	77,7	113,7	158,6	126,3	127,5	94,4	115,1	104,3			164,9	102,1
lativ zu Mais HF beste Variante			131,8	105,8		94,2		99,2	111,1			93,8
DAKfL	Ascha	Bernburg	Dornburg	Ettlingen			Gülzow	Haus Düsse	Trossin			Werte
	2015	2015	2015	2011	2012	2015	2015	2015	2011	2012	2015	2015
Mais nach Mais	274,74 €	857,15 €	429,23 €	1.274,55 €	435,90 €	790,89 €	899,04 €	1.252,05 €				312,31 €
Mais HF beste Variante			476,25 €	1.593,76 €		981,43 €		1.375,92 €	1.212,16 €			
Zuckerrüben		370,74 €	743,23 €	1.538,52 €	607,52 €	408,89 €	701,02 €	628,21 €	840,81 €	99,97 €	123,02 €	

Ein Anbau in der Praxis erscheint aufgrund der notwendigen Spezialerntetechnik, der Substrataufbereitung und den damit verbundenen Kosten vor allem in Rüben anbauenden Betrieben sinnvoll. Die Vorzüglichkeit relativ zu Mais bei den Methanausbeuten kehrt sich in den ökonomischen Betrachtungen aufgrund der Kostenstruktur für Ernte, Substrataufbereitung und Konservierung überwiegend um. Positive Beträge für das Betriebsergebnis waren trotzdem in allen Prüfvarianten zu erzielen. In Dornburg und bei schwächeren Maiserträgen 2011 und 2012 in Ettlingen erzielten Zuckerrüben vorzüglichste Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreie Leistungen.

Züchtungsfortschritte hinsichtlich Schmutzanlagerungen am Rübenkörper sowie Verfahrensfortschritte bezüglich der Steinabscheidung sind zu beobachten. Dennoch ist eine Reinigung vor der Silierung zur Vermeidung von Materialbeschädigungen, übermäßigem Verschleiß oder Versandung der Fermenter notwendig (in betriebswirtschaftliche Berechnungen mit 3,- €/t inkludiert). Entsprechende Technik befindet sich zurzeit noch in der Entwicklung und ist deshalb kostenintensiv oder nur begrenzt verfügbar. Die dauerhafte Lagerung der Rüben zur ganzjährigen Verfütterung ist in Silos (Ganzrüben- oder Hackschnitzelsilierung) oder als Mus in entsprechenden Lagunen oder Lagerbehältern möglich. Bei einer Frischfütterung oder bei Ganzrübensilierung ist vor Substrateinbringung eine Zerkleinerung notwendig.

Das hohe Methanbildungspotential, die erzielbare hohe Raumbelastung des Fermenters, die prozessstabilisierenden Eigenschaften und der Ausgleich von Leistungsschwankungen durch schnelle Gasbildung der Zuckerrübe als Biogassubstrat stehen der Notwendigkeit der

Anpassung der Fermenterführung zur Gewährleistung eines stabilen Biogasprozesses gegenüber. Mögliche Gasbildungszugewinne bei Umwandlung einer Monofermentation hin zur Kofermentation mit Zuckerrüben wären in einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung zusätzlich zu berücksichtigen, hängen aber stark mit Anlagentyp und Bewirtschaftungssystem zusammen.

Grundsätzlich ist der Zuckerrübenanbau geeignet, einen positiven Beitrag zur Aufweitung enger Getreide- und Maisfruchtfolgen zu leisten. Positive Vorfruchteffekte können nutzbar gemacht und ein aktiver Beitrag zum langfristigen Erhalt der Bodenertragsfunktion geleistet werden.

1.3.4 Zweikulturnutzungssysteme

In den EVA-Fruchtfolgeversuchen wurden verschiedene Zweikulturnutzungssysteme unter variierenden Standort und Einzeljahresbedingungen geprüft. Fruchtfolgekombinationen aus Grünschnittgetreiden und C₄-Pflanzen in Zweitfruchtstellung, aus Getreiden zur Ganzpflanzennutzung und C₄-Pflanzen als Zwischenfrüchte kamen zum Anbau. Nach Scheffer und Stülpnagel (1993) ermöglichen Anbausysteme mit der Abfolge aus winter- und sommeranuellen Kulturpflanzen zur Ernte als Ganzpflanzensilagen bei ganzjähriger Bodenbedeckung maximale Biomasseerzeugung.

Die erprobten Anbausysteme aus Winterzwischenfrucht und Zweitfrucht (Grünschnittroggen/Mais; Grünschnittroggen/Sorghum) bzw. früher Hauptfrucht und nachfolgender Stoppelsaat (W.Gerste/Sorghum) sicherten im Mittel gegenüber Mais (HF) höhere Biomasseerträge und überwiegend auch Methanhektarerträge (Abbildung 15 und Tabelle 10). Damit bestätigten sich die Ergebnisse aus EVA I und EVA II. Aufgrund der geringen Ergebnisumfänge für die Standorte Haus Düsse, Lindenhof und Niederweiler waren keine gesicherten Ableitungen zu standörtlicher Anbaueignung und Ertragsleistung möglich.

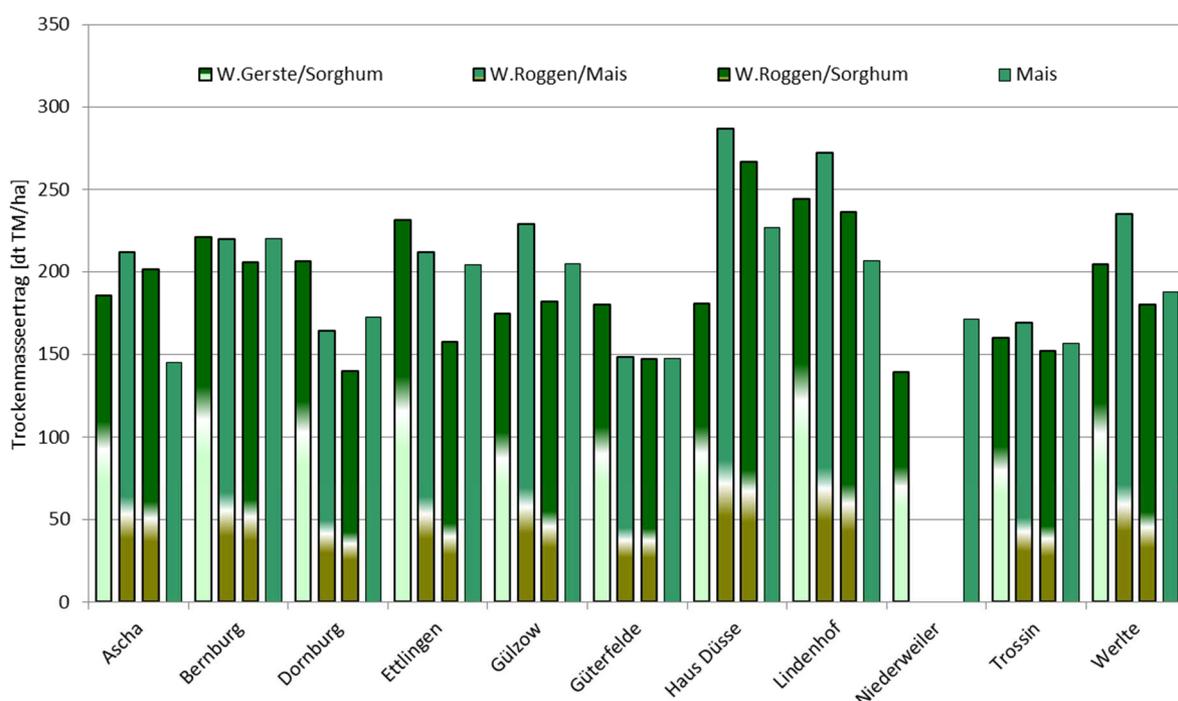


Abbildung 15: Mittlere Trockenmasseerträge Zweikulturnutzungssysteme und Mais (HF); alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2015, n versuchsbedingt voneinander abweichend

Mittlere Erträge von bis zu 286 dt TM/ha (W.Roggen/Mais; Haus Düsse) und Einzeljahreseerträge von bis zu 330 dt TM/ha (W.Roggen/Mais; Haus Düsse) zeigten, dass bei begünstigenden Bedingungen durch Zweikulturnutzungssysteme das Leistungspotential des Standortes bestmöglich ausgeschöpft werden kann. An sieben der 10 Versuchsstandorte erzielten Zweikulturnutzungssysteme die Maximalerträge. In der Gegenüberstellung erbrachten Hauptfruchtnutzungen demzufolge an acht der 10 Standorte die geringeren einzelstandörtlichen Ertragsleistungen. Somit sind Zweikulturnutzungssysteme in der Lage, einen Beitrag zur Streuung und Minimierung von Ertragsrisiken zu leisten.

Die Biomasseleistungen der geprüften Fruchtfolgekombinationen an den Standorten unterschieden sich nicht zwingend aufgrund der Bonitäten/Ackerzahlen. Ertragsbegrenzend wirkte dagegen die Wasserverfügbarkeit im Oberboden auf die Zweitfrucht bzw. Stoppelsaat (Eckner, Strauss, Nehring und Vetter, 2013). Die Versuchsorte Werlte (AZ 40) und Bernburg (AZ 90) sichern durch Zweikulturnutzungssysteme im Mittel Erträge auf vergleichbarem Niveau. Am wasserlimitierten Standort Bernburg (470 mm/a Niederschlag) erwies sich das Anbausystem W.Gerste/Sorghum mit 221 dt TM/ha als ertragsstärker, wobei die Winterung den Hauptertragsanteil leistete. Demgegenüber war am Standort Werlte (768 mm/a Niederschlag) Grünschnittroggen/Mais (235 dt TM/ha) mit der Sommerung als Hauptertragsbildner in der Fruchtfolgekombination erfolgreicher.

In Einzelfällen (12 von insgesamt 155 Prüfgliedern) waren an den stärker wasserbegrenzten Standorten (Bernburg, Güterfelde, Dornburg, Gülzow, Trossin) Umbrüche und wiederholte Ansaaten von Sorghum nach W.Gerste-GPS oder nach Grünschnittroggen notwendig. Die starke Bodenwasserausschöpfung im Oberboden durch die Vorfrüchte bei gleichzeitig defizitärem Bodenwasserhaushalt beeinträchtigte die Saatbettbereitung, die Bestände liefen zeitlich verzögert und ungleichmäßig auf und die Herbizidwirkung war eingeschränkt. Somit mussten sich die Bestände oft unter erhöhtem Konkurrenzdruck entwickeln. In der Praxis konnten beispielsweise in 2015 ähnliche Situationen beobachtet werden. Die Entscheidung über Umbruch und Neueinsaat muss zum einen in Abhängigkeit von den zusätzlich entstehenden Kosten und zum anderen unter Berücksichtigung der notwendigen lückenlosen Substratbereitstellung getroffen werden. Eine wasserschonende Bodenbearbeitung, angepasste Ablagetiefen des Saatgutes und der ergänzende bzw. alternative Einsatz mechanischer Unkrautbekämpfung (Blindstriegeln, Hacken, Striegeln, Häufeln bis BBCH 30) erhöhen die Etablierungserfolge und unterstützen die C₄- Pflanzen in der Jugendentwicklung. Bei der Sortenwahl ist auf eine an die Standzeit der Kulturen angepasste Reifegruppe zu achten. Neben der Biomasseleistung ist ein verstärktes Augenmerk auf eine schnelle Jugendentwicklung und eine sichere Abreife zu legen.

Vorteilen wie hoher Flächeneffizienz, ganzjähriger Bodenbedeckung (Nährstofffixierung über Winter, Erosionsschutz) oder gesteigerter Artenvielfalt im Agrarraum stehen u. a. hohe Produktionsfaktoraufwendungen und damit Kosten gegenüber. Mit dem Anbau und der Ernte von zwei Kulturen zur Substratbereitstellung in einem Jahr ergeben sich höhere Kosten vor allem durch zusätzliche Arbeitsgänge, welche sich in den Arbeitserledigungskosten widerspiegeln. In Auswertung von Daten aus dem EVA-Projekt (Daten aus dem EVA-Projekt TP3, 2016) der Versuchsstandorte verursachten Zweikulturnutzungssysteme die höchsten Kosten. Diese lagen im Mittel zwischen 128 % und 178 % relativ zu den Kosten aus einer Mais-Hauptfruchtnutzung. Teilweise konnten bei ungünstigen Kostenstrukturen im Durchschnitt keine positiven Direkt- und arbeitserledigungsfreien Leistungen (DAKfL) erzielt werden (Güterfelde, W.Gerste/Sorghum und W.Roggen/Sorghum; Dornburg, W.Roggen/Sorghum; Ettlingen, W.Roggen/Sorghum). Am Standort Haus Düsse wurde dagegen, wenn auch bei geringem Ergebnisumfang, mit dem Zweikulturnutzungssystem W.Roggen/ Mais die höchste DAKfL erreicht.

Ein hohes Pachtpreinsniveau steigert die Anbauwürdigkeit der geprüften Anbausysteme. Ausgehend von der Notwendigkeit der Substratbereitstellung in gleichen Umfängen können bei höherer Flächeneffizienz auf frei bleibenden Flächen zusätzliche Leistungen erzielt werden.

Tabelle 10: Mittlere Methanerträge und ausgewählte ökonomische Kenngrößen Zweikulturnutzungssysteme und Mais (HF); alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2015, n versuchsbedingt voneinander abweichend, farbliche Skalierung Maxima; Datenbasis: (Daten aus dem EVA-Projekt TP3, 2016)

		Methanertrag [Nm ³ CH ₄ /ha]	Saatgutkosten	PSM-Kosten	Düngerkosten	AEK mit Ernte	Kosten Gesamt	DAKfL
Ascha	W.Gerste/ Sorghum	4883	212,27 €	70,21 €	341,97 €	1.081,35 €	1.695,79 €	422,88 €
	W.Roggen/Mais	5787	209,69 €	66,71 €	505,73 €	1.078,79 €	1.851,57 €	644,58 €
	W.Roggen/Sorghum	5102	147,02 €	45,28 €	589,80 €	1.098,17 €	1.883,70 €	388,09 €
	Mais	4870	165,82 €	62,42 €	374,33 €	638,63 €	1.237,43 €	766,92 €
Dornburg	W.Gerste/ Sorghum	5479	170,12 €	129,21 €	486,98 €	1.160,43 €	1.946,74 €	377,48 €
	W.Roggen/Mais	4700	215,26 €	78,65 €	394,36 €	1.165,84 €	1.802,61 €	245,90 €
	W.Roggen/Sorghum	3592	242,18 €	41,59 €	382,39 €	1.177,60 €	1.803,52 €	-158,03 €
	Mais	4847	160,00 €	87,22 €	313,77 €	715,63 €	1.250,80 €	756,52 €
Güterfelde	W.Gerste/ Sorghum	4738	172,62 €	81,70 €	878,03 €	1.049,61 €	1.999,85 €	-26,89 €
	W.Roggen/Mais	4488	178,94 €	75,30 €	370,02 €	943,24 €	1.669,23 €	197,41 €
	W.Roggen/Sorghum	3849	204,30 €	49,30 €	385,73 €	964,29 €	1.791,01 €	-74,53 €
	Mais	4240	126,25 €	89,81 €	573,39 €	594,34 €	1.180,95 €	550,66 €
Haus Düsse	W.Gerste/ Sorghum		98,60 €	177,97 €	234,95 €	698,31 €	1.209,83 €	487,80 €
	W.Roggen/Mais	9014	199,78 €	80,51 €	325,06 €	1.271,24 €	1.876,59 €	1.943,61 €
	W.Roggen/Sorghum	7110	133,22 €	33,25 €	323,00 €	1.187,74 €	1.677,21 €	1.472,86 €
	Mais	6693	133,33 €	75,59 €	138,50 €	705,66 €	1.053,09 €	1.653,07 €
Werite	W.Gerste/ Sorghum	5343	273,30 €	78,00 €	803,84 €	1.039,35 €	2.179,50 €	137,73 €
	W.Roggen/Mais	6667	203,56 €	58,26 €	736,95 €	1.040,20 €	2.023,66 €	750,66 €
	W.Roggen/Sorghum	5029	209,88 €	70,56 €	700,60 €	1.056,00 €	2.019,63 €	207,09 €
	Mais	5500	160,00 €	73,46 €	503,05 €	638,09 €	1.345,04 €	881,28 €

Nitratverlagerungsrisiken über die Sickerperiode nach Zweikulturnutzungssystemen sind aufgrund der Etablierungs- und Ertragsrisiken für die Zweitfrüchte bzw. Stoppelsaaten gegeben. Bei Erträgen unterhalb der für die Düngebemessungen angesetzten Ertragserwartungen sind hohe Stickstoffüberhänge möglich. Eine Einbindung in Fruchtfolgen mit nachfolgenden Winterungen oder Zwischenfrüchten („catch crops“) verringern Erosions- und Nitratverlagerungsrisiken. Die Oberflächen sind bei der Etablierung der C₄-Pflanzen ohne vorherige wendende Bodenbearbeitung (z. B. Mulchsaat/Stoppelsturz-Saatbettbereitung-Aussaart) im Vergleich zu solchen nach herkömmlichen Verfahren (wendende Bodenbearbeitung mit Pflug-Saatbettbereitung-Aussaart) weniger verschlammungs- und auch erosionsgefährdet. Die gegenüber Hauptfruchtnutzungen abweichenden Aussaatzeitpunkte liegen in Abhängigkeit von den Standorten meist außerhalb der Zeiträume mit hohem Anteil an erosiven Niederschlägen.

Aus den bisherigen Erfahrungen ist ableitbar, dass die Bewirtschaftungsmaßnahmen und der Erntezeitpunkt der Kulturen in Abhängigkeit von den tatsächlichen Bedingungen (Bodenwasserhaushalt, Saatbettqualität, Entwicklungsstadien, Unkrautkonkurrenzdruck, etc.) festgelegt und durchgeführt werden müssen. Dabei sollten die Ertragserwartungen und die Verteilung der Erträge auf die Kulturen besondere Berücksichtigung finden. Flexibilität in den Entscheidungen ist eine wesentliche Voraussetzung für eine Ertrags- bzw. eine Kosten-Nutzen-Optimierung für das Gesamtsystem entsprechend der Jahresbedingungen. Die anspruchsvollen Anbausysteme lassen dabei wenig Routine zu und erfordern ein hohes Maß an Standortkenntnis und Erfahrungen im Anbau unter den spezifischen Bedingungen.

1.3.5 Treibhausgasemissionseinsparungspotentiale durch Fruchtfolge- und Anbauplanung

Für die Umsetzung des Klimaschutzprogramms der Bundesrepublik, welches eine Verringerung der deutschen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) von 1990 auf 2020 um 40

% vorsieht, ist es notwendig, auch für die Bereitstellung von Biogassubstraten Ansätze für nachhaltige Produktionswege aufzuzeigen. Neben flächen- und energieeffizienten Anbausystemen bieten Extensivierungsansätze Möglichkeiten zur Verringerung der gekoppelten THG-Emissionen.

Nachfolgend aufgeführte Modellierungen erfolgten versuchsbezogen unter Nutzung der erhobenen Parameter bei der tatsächlichen Bewirtschaftung mit dem Model MiLA (Model for integrated Life Cycle Assessment for Agriculture, ZALF). MiLA ist im EVA- Projekt speziell für den Energiepflanzenanbau in Fruchtfolgen entwickelt worden und arbeitete nach den international anerkannten Standards für Ökobilanzen und Carbon Footprint (ISO 14044 (International Standard Organisation), 2006); (ISO14040 (International Standard Organisation), 2006); (ISO 14067 (international Standard Organisation), 2013). Regionale Standortparameter wurden als Sensitivitäten in die Bewertung integriert, alle mit dem Anbau der Energiepflanzen verursachten direkten und indirekten Emissionen bis zum Festfahren der gewonnen Silage modelliert. Die THG-Emissionen wurden mit Hilfe des Global Warming Potential von 100 Jahren nach (IPCC, et al., 2013) zu CO₂-Äquivalenten zusammengefasst. Für die Modellierungen lief unter Verwendung von Werten der Ecoinvent 3.01-Datenbank (Schweizer Zentrum für Ökoinventare, 2014).

Fruchtfolgen

Durch unterschiedliche Fruchtfolgegestaltungen traten abweichende Emissionen von CO₂-Äquivalenten in Bezug auf Fläche (ha) und Energieoutput (GJ CH₄) auf. Im Vergleich verursachte die Ackerfutterfruchtfolge mit den geringsten N-Aufwendungen im Mittel mit 6,50 t CO₂-Äq/ha auch die niedrigsten flächenbezogenen Emissionen (Abbildung 16).

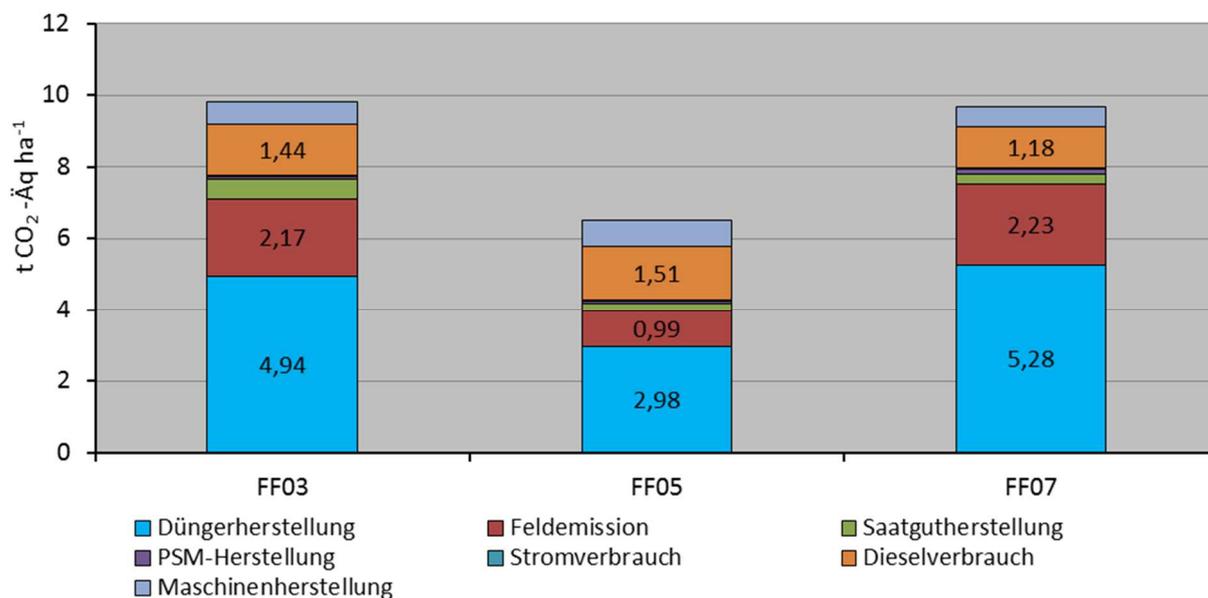


Abbildung 16: THG-Emissionen nach Kategorien, FF03, FF05 und FF07, 3. Anlage (2009 bis 2012), Standort Dornburg

Hauptemissionsquelle von klimaschädlichen Gasen in der Landwirtschaft bleibt die energieaufwendige Mineraldüngerherstellung. Die Betrachtung der Einzelemissionen verdeutlichte, dass in der extensiven FF05 im Verhältnis zu den mit höherem Mittelaufwand geführten Fruchtfolgen (FF03, FF07) die Feldemissionen und die an die Düngemittelherstellung gekoppelten Emissionen deutlich geringer waren. Auch die höheren, an die Arbeitsaufwendungen gekoppelten Emissionen (Mehrschnittigkeit und Anwelkverfahren) egalisierten diese

Einsparung nicht. Die spezifischen Emissionen der einzelnen Dünger hingen von den unterschiedlichen Herstellungsverfahren und -standards bei der Produktion ab.

Bei vergleichbaren Trockenmasseleistungen aller Fruchtfolgen wurden für die Ackerfutterfruchtfolge aufgrund der spezifischen Substrateigenschaften geringere Methanhektarerträge ermittelt. Die Maisselbstfolge sicherte im Mittel die höchsten Energieerträge (549 GJ CH₄/ha) und die beste Energiebilanz (450 GJ/ha). Unabhängig von dieser Tatsache produzierte die Ackerfutterfruchtfolge geringere produktbezogene THG-Emissionen als die energieertragreicheren Fruchtfolgen. Dies spiegelte auch der hohe Energy Return on Investment Wert von 5,8 wider.

Zusammenfassend stellte die extensive Ackerfutterfruchtfolge mit mehrjähriger Ackerfalternutzung für den Standort Dornburg eine emissionsmindernde und energieeffiziente Alternative für die Biogassubstratbereitstellung dar. Ebenfalls positiv hervorzuheben war deren hohe ökologische Leistungsfähigkeit, welche sich u. a. in positiven Humusbilanzen und guter Habitategnung für eine Vielzahl von Organismen der Agrarlandschaft zeigte.

Die vielgliedrige und abwechslungsreiche Fruchtfolge FF03 und die Maisselbstfolge waren bezüglich der aufgezeigten Indikatoren und Kenngrößen vergleichbar (bspw. Energiebilanz FF03 429 GJ/ha; FF07 450 GJ/ha). Vor dem Hintergrund der Minimierung des Ertragsrisikos, der arbeitswirtschaftlichen Aspekte und möglicher Leistungen hinsichtlich des Gewässerschutzes (Bodendeckung über Winter und N-Fixierung), Biodiversität und Landschaftsbild haben aber abwechslungsreiche Fruchtfolgen eine bevorzugte Anbauberechtigung.

Kulturarten und Fruchtfolgekombinationen

Im Vergleich einzelner Kulturarten und Fruchtfolgekombinationen verursachte der Anbau von W.Triticale-GPS auf dem Getreidegunststandort Dornburg geringe produktbezogene Emissionen. Aufgrund der effizienten Stickstoffumsetzung und der guten Substrateigenschaften des Maises wurden trotz vergleichsweise hoher flächenbezogener Emissionen und N-Aufwendungen Emissionen auf einem niedrigen Niveau verursacht (Abbildung 17).

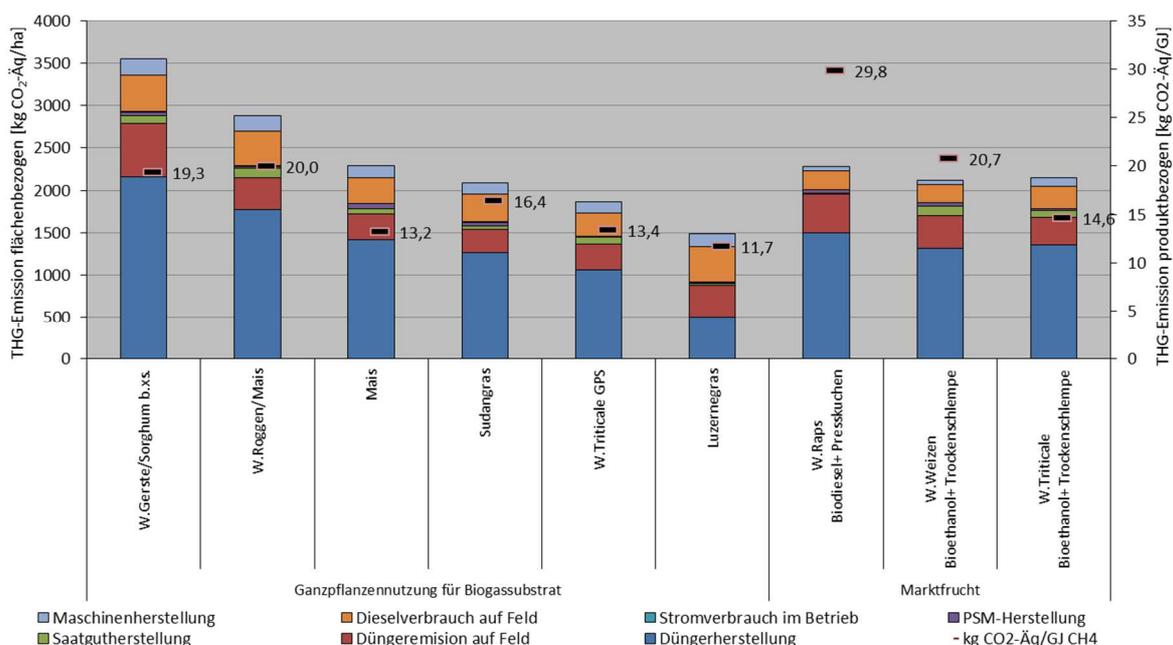


Abbildung 17: THG-Emission ausgewählter Energiepflanzen, Zweikulturnutzungssysteme und Marktfrüchte, Mittelwert 1. bis 4. Anlage (2005 bis 2013), Standort Dornburg

Die erreichten Deckungsbeiträge unterstrichen ebenfalls die hohe Anbaueignung. Die aufwandsintensiven Zweikulturnutzungssysteme boten trotz hoher Flächeneffizienz bei der gesicherten Substratbereitstellung geringere Emissionseinsparpotentiale. Die Bewertung der geprüften Marktfrüchte zur alternativen energetischen Nutzung als Biokraftstoffe zeigten lediglich für W.Triticale mögliche Emissionseinsparungspotentiale auf. Die stickstoffintensive Kulturführung vor allem von W.Raps bedingte im Verhältnis zum Energieertrag höhere Emissionen.

Anbauregime

Geschlossene Nährstoffkreisläufe durch Gärrestdüngung verringern die an die Düngemittelherstellung gekoppelten THG-Emissionen, da Gärreste als ein Nebenprodukt bei der Biogasproduktion anfallen und geringe Emissionen durch die Herstellung und Lagerung entstehen. Beispielhaft dafür konnten bei gleichem Ertragsniveau durch vollständige Substitution der Mineraldüngung durch Gärrestdüngung die Gesamtemissionen auf unter 50 % gesenkt werden (Abbildung 18). Auch die Kombination von mineralischer und organischer Düngung (50/50) zeigte Einsparungspotentiale. Gleichzeitig konnte durch an die Kulturentwicklung angepasste Düngergaben steuernd eingewirkt werden, in dem Stickstoffüberhänge vermieden und Vorteile aus organischer und mineralischer Düngung kombiniert wurden. Jedoch bedingten die mehrfach geteilten Stickstoffgaben vergleichsweise höhere Feldemissionen und höhere Emissionen beim Dieselverbrauch.

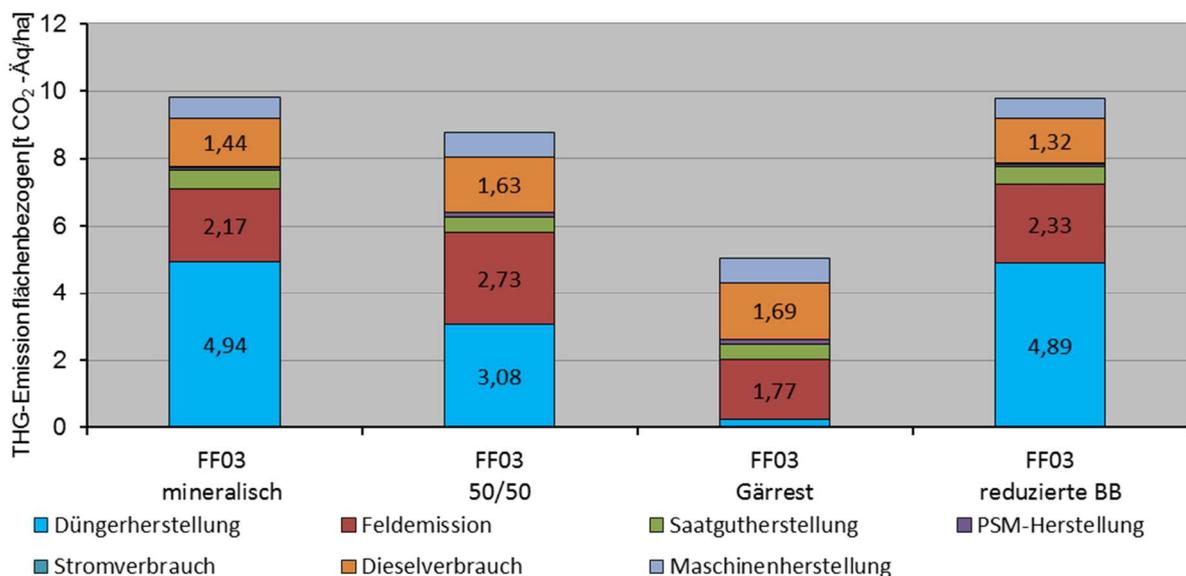


Abbildung 18: THG-Emissionen nach Kategorien, Standort Dornburg, 2009 bis 2012, verschiedene Bewirtschaftungsstrategien

Im Vergleich der Bodenbewirtschaftungssysteme konnten für den Standort Dornburg mit reduzierter Bodenbearbeitung nur geringe Einsparungspotentiale ausgemacht werden. Erwartungsgemäß waren die an Dieselverbrauch und Maschinenherstellung gekoppelten Emissionen geringer. Unter den Standortbedingungen Dornburgs schienen die Einsparungen an emittierten CO₂- Äquivalenten nur gering. Die zu bearbeitende Parabraunerde aus Löss (Ut4) bedingte hohe Scherkräfte und machte bei nicht wendender Grundbodenbearbeitung oft zusätzliche Arbeitsgänge zur Saatbettbereitung notwendig. Somit waren vergleichend zur wendenden Grundbodenbearbeitung die Dieseleinsparungen gering. Die Vorteile einer reduzierten Bodenbearbeitung hinsichtlich Arbeitswirtschaft und Dieselverbrauch sind auf weniger scherfesten Böden als höher einzuschätzen.

FF12 - Klimaschutz durch reduzierte N-Düngung

Mit der an allen Standorten geprüften FF12 erfolgte eine systematische Untersuchung zur optimalen Höhe der Stickstoffdüngung aus Sicht der THG-Emissionen. Generell bestand dabei die Frage, ob diese klimagasoptimierte N-Düngung oberhalb oder unterhalb des ökonomischen Optimums liegt und welche pflanzenbaulichen und ökologischen Auswirkungen eine Reduzierung der Stickstoffdüngung hat. Vergleichend zur FF03 wurde eine Variante mit einer um 25 % reduzierten Stickstoffdüngung geprüft.

Entgegen der These, dass diese Anbaustrategie unterhalb des ökonomischen Optimums liegt, ergaben sich aus den Versuchsergebnissen der ersten Untersuchungsjahre teilweise ökonomische Vorzüge der reduzierten Stickstoffdüngung. Die angesetzte reduzierte Düngung zeigte an fast allen Standorten bei vergleichbaren Trockenmasseerträgen keine abzusichernden ertraglichen Auswirkungen (Tabelle 11).

Tabelle 11: ausgewählte Indikatorgrößen, FF03 und FF12, Standort Dornburg, 2013 bis 2014

		FF03		FF12		FF03 = 100%	
		2013- 2014	2014	2013- 2014	2014	2013- 2014	2014
		SM- WR/Sorgh	SM	SM- WR/Sorgh	SM	SM- WR/Sorgh	SM
TM-Ertrag	[dt TM/ha]	344,6	169,2	360,0	181,3	104,5%	107,2%
theoretischer Methanertrag	m ³ NCH ₄ /ha	9734	4842	9325	5189	95,8%	107,2%
Stickstoffdüngung	[kg N/ha]	366	168	246	125	67,2%	74,4%
Arbeits- und Erledigungskostenfreie Leistung	[pro ha]	902,31 €	749,46 €	873,01 €	1.009,99 €	96,8%	134,8%
flächenbezogene THG-Emission	[kg CO ₂ -Äqu./ha]	5806	2517	4475	2047	77,1%	81,3%
produktbezogene THG-Emission	[kg CO ₂ -Äqu./ GJ CH ₄]	16,6	14,4	13,3	11,0	80,5%	75,9%

Höhere Erträge mit dem höheren Düngungsniveau ließen sich lediglich für Niederweiler 6. Anlage $t(4)=0,43$; $p=0,021$ und Haus Düsse 5. Anlage $t(4)=0,465$; $p=0,034$ ausweisen. Am Standort Dornburg war mit der gesteigerten Stickstoffeffizienz der Kulturen sowohl eine flächenbezogene als auch eine produktbezogene THG-Emissionsminderung möglich. Für eine abschließende Bewertung wären jedoch die nachfolgenden Ertragsjahre der Rotationen abzuwarten gewesen.

1.3.6 Gewässerschutz und Nitratverlagerungsrisiken im Energiepflanzenanbau

Die Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) fordert, dass bis 2015 (bzw. Verlängerungsfrist 2027) Oberflächengewässer einen "guten ökologischen und guten chemischen Zustand" erreichen, der sich am natürlichen oder ungestörten Referenzzustand eines Gewässertyps orientiert. Für Grundwasser ist das Erreichen eines „guten chemischen Zustands“ mit Nitratkonzentrationen < 50 mg/l avisiert. 38 % der Grundwasserkörper zeigen derzeit noch einen schlechten chemischen Zustand (Buttlar & Willms, Bewertung des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der Europäischen

Wasserrahmenrichtlinie, 2016). Beratungs- und Maßnahmenprogramme legen die jeweiligen Bundesländer auf.

Um diese Gewässerqualitäten zu erreichen, ist es sowohl notwendig, Stoffeinträge ins Grundwasser zu verringern, als auch mit aktiven Erosionsschutz Beeinflussungen der Oberflächengewässer zu minimieren. Feste Größen für die Gefährdungseinschätzung sind zum einen die Standortvoraussetzungen mit den Jahresniederschlagsmengen sowie auch deren Verteilung im Jahr. Zum anderen zeigen die vorhandenen Böden sehr unterschiedliche Fähigkeiten sowohl Wasser als auch Nährstoffe zu binden. Deutlich wird dies an den Ergebnissen von Lysimeteruntersuchungen auf verschiedenen Standorten. Knoblauch und Swaton (2012) belegten den unterschiedlich starken Zusammenhang von N_{min} -Gehalten und Nitratkonzentrationen in Sickerwässern unterschiedlicher Böden. Baumgärtel und Olf (2014) berichten, dass bei einem mittleren Jahresniederschlag von 600 mm auf einem Sandboden und auf einem Lehmboden nur 150 mm versickern. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie begrenzt die Anforderungen nicht mehr nur auf Wasserschutzgebiete, sondern sie sind mittlerweile von flächendeckender Relevanz für die Landwirtschaft. Auch im Energiepflanzenanbau bestehen Risiken von Stoffverlagerungen in Gewässer. Der Stickstoffgehalt des Sickerwassers zeigt enge Korrelationen mit dem Stickstoffgehalt des Bodens (N_{min} -Gehalt), der applizierten Düngermenge sowie der Sickerwassermenge. Die N_{min} -Gehalte im Boden zu Vegetationsende dürfen bestimmte Werte nicht übersteigen, wenn eine maximal tolerierbare Nitratkonzentration im Sickerwasser nicht überschritten werden soll. Die Höhe der N_{min} -Gehalte im Boden, die zu einer Nitratbelastung von Sickerwässern führen könnte, ist neben der N-Düngung in Art und Verfahren abhängig von Standort und Bewirtschaftung. Im Allgemeinen werden 50 kg N_{min} /ha vor der Sickerperiode als kritisch eingestuft. Als Erfahrungswert aus Praxisversuchen in Niedersachsen werden sogar nur 40 kg N_{min} /ha angegeben (von Buttlar, 2012).

Gewässerschutzfruchtfolgen

Mit Rotationsbeginn 2013 wurden an ausgewählten Standorten im Rahmen des Grundversuches Fruchtfolgen etabliert, die thematisch auf die Erfüllung der EU-WRRL 2000 abzielen. Während auf den Hohertragsstandorten Haus Düsse und Bernburg eine Minimierung der Nitratverlagerungsgefährdung bei voller Ausschöpfung des standörtlichen Ertragspotentials im Vordergrund stand, lag zusätzlich ein integrierter Erosionsschutz an den Verwitterungsstandorten Ascha und Niederweiler im Fokus der Untersuchungen. Dementsprechend wurden entweder überjährige Ackerfalternutzungen oder entsprechend des spezifischen Wasserangebotes ertragswirksame Untersaaten oder Winterzwischenfrüchte als abtragende Früchte zu den Hauptertragsbildnern in die Fruchtfolgen integriert (Tab. 12).

Tabelle 12: Gewässerschutzfruchtfolgen, an ausgewählten Standorten

	Ascha	Bernburg	Güterfelde	Haus Düsse	Niederweiler
2013/2014	Mais US Weidelgras	Grünschnittroggen/ Mais	Mais US Weidelgras	W.Triticale+W.Roggen US Weidelgras	W.Triticale US Weisches Weidelgras
2014/2015	Weidelgras HNJ	Grünschnittroggen/ Mais	Mais US Weidelgras	Mais US Weidelgras	Mais US Klee gras
2015/2016	Weidelgras/Sorghum	Grünschnittroggen/ Mais	Sonnenblume	Mais	Klee gras
2016/2017	W.Weizen	W.Weizen	W.Roggen	W.Weizen	W.Weizen

Ergebnisse

Die Auswertungen der Versuchsergebnisse gestalten sich auf Grund des Projektendes vor dem Rotationsende der Fruchtfolgen schwierig. Für die Bewertung starten die Fruchtfolgen hier mit dem Abschlussfruchtfolglied der vorhergehenden Rotation, also mit Winterweizen

bzw. Winterroggen. Das Abschlussfruchtfolgeglied der 2013 begonnen 4-jährigen Fruchtfolgen konnte nicht miteinbezogen werden, da die Versuche im Herbst 2015 beendet wurden. Genauer betrachtet werden im Folgenden die standortspezifischen Gewässerschutzfruchtfolgen der Versuchsstandorte Güterfelde (Brandenburg, lehmiger Sand, AZ 29 bis 33, 545 mm/a, Ø-Temp. 9,1°C) und Haus Düsse (NRW, toniger Schluff, AZ 65, 800 mm/a, Ø-Temp. 9,8°C), die EVA-Fruchtfolge 12 (Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-Wintertriticale/einjähriges Weidelgras-WW) mit reduzierter Stickstoff (N)-Düngung (-25 % N bezogen auf Stickstoffbedarfsanalyse) sowie eine Maisselbstfolge (3 Jahre Mais, ein Jahr Druschfrucht WW) an beiden Standorten im Vergleich. Untersucht wurde, neben der Ertragsleistung, der N_{min} -Gehalt der Böden vor Winter. Die Probennahme erfolgte jeweils zu Beginn der Vegetationsruhe, weil der zu diesem Zeitpunkt im Boden vorhandene mineralisierte N (vor allem Nitrat) durch die Winterniederschläge leicht in tiefere Schichten bzw. bis ins Grundwasser verlagert werden kann. Die Düngung wurde aus Versuchsgründen rein mineralisch gegeben. Zur Düngbedarfsermittlung kamen die Düngempfehlungen der Länder bei Berücksichtigung des Frühjahrs N_{min} - Gehaltes der Böden zur Anwendung.

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen Biomasseertrag sowie die Herbst- N_{min} -Werte der drei Auswahlfruchtfolgen Gewässerschutz (FF13), FF12 (N-reduziert) und Mais in Selbstfolge (FF11) für Güterfelde und Haus Düsse.

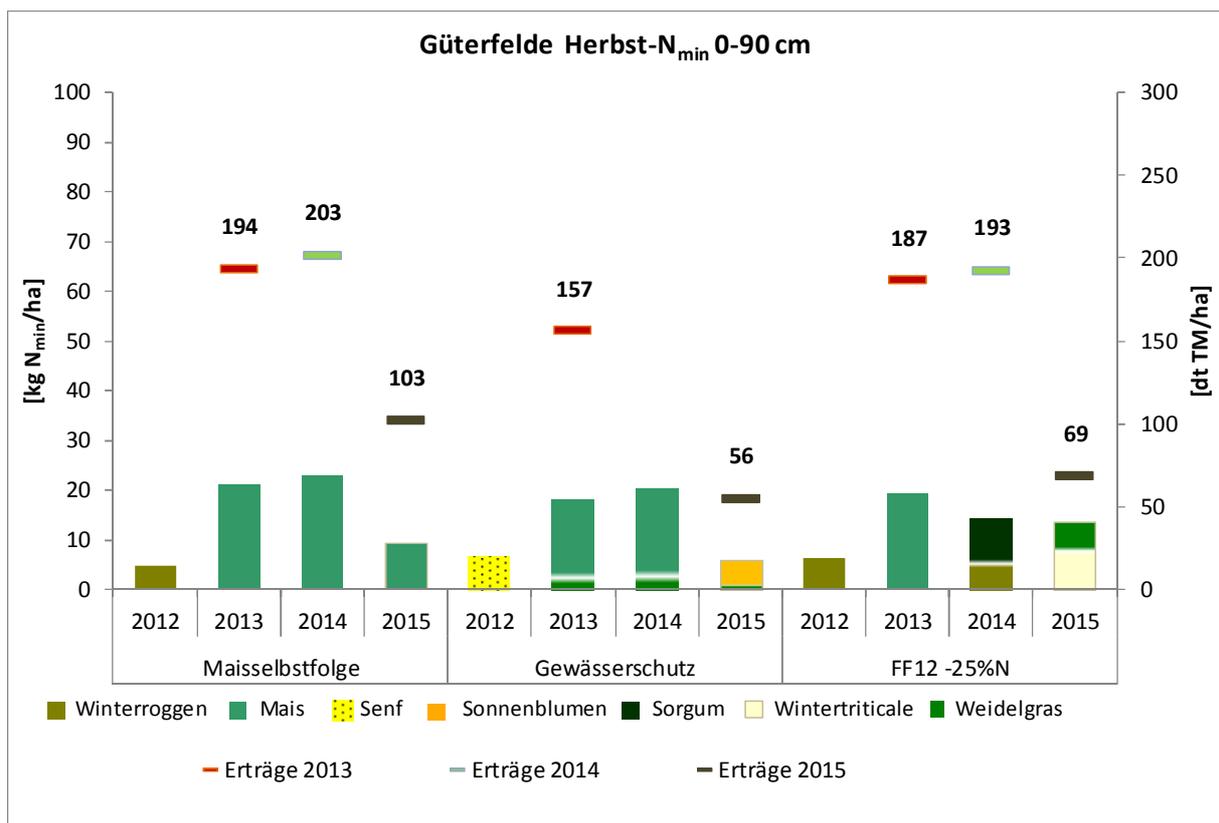


Abbildung 19: N_{min} -Gehalte aus der Bodentiefe 0 bis 90 cm zu Vegetationsende und kumulierte Trockenmasseerträge - Abschlussfruchtfolgeglied ist vorangestellt aus vorheriger Rotation für FF11 und FF12, keine ermittelten Erträge in der Gewässerschutzfruchtfolge 2014; 2012 bis 2015; Maisselbstfolge (FF11), FF12 und Gewässerschutzfruchtfolge (FF13)

Der Standort Güterfelde ist durch einen leichten Sandboden geprägt und zeigt insgesamt ein geringes N-Nachlieferungspotenzial. Dies wird deutlich an dem über alle Fruchtfolgen und mehrere Jahre niedrigen Herbst- N_{min} -Niveau, von unter 30 kg N/ha. So konnten alle Fruchtfolgen den aus Gewässerschutzsicht anzustrebenden Zielwert von max. 40 kg N/ha im

Herbst erreichen. Die Ergebnisse zeigen aber dennoch deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Kulturen. Mais wies jeweils die höchsten Herbst- N_{min} -Werte auf. Winterroggen-GPS und Sonnenblumen fielen durch extrem niedrige Herbst N_{min} -Werte um 10 kg N/ha positiv auf. Auch Winterroggen als Druschfrucht hinterließ N_{min} -Gehalte unter 10 kg N/ha in den untersuchten Jahren. Die Ertragsleistung vom Mais lag 2013 in der FF12 um 8 % und in der FF14 mit Untersaat um 20 % unter dem in der FF11. Ursache scheint hier die angespannte Wasserversorgung in der Hauptwachstumszeit des Maises gewesen zu sein, die zu einer Wasserkonkurrenz der Untersaat führte. In 2014 mit günstigen Witterungsbedingungen konnte aus technischen Gründen kein repräsentativer Ertrag für den Mais in der Gewässerschutzfruchtfolge ermittelt werden. Der Mais aus FF11 und der 2. Anlage der FF14 zeigten nahezu gleiche Erträge mit 203 und 192 dt TM/ha. Im Anbaujahr 2015 erreichte die Sonnenblume nur den halben Ertrag, Wintertriticale nur 2/3 des Maisertrages, was sich auf ihr geringeres Ertragspotential zurückführen lässt. Sorghum stellte sich an diesem Standort 2014 als konkurrenzfähige Alternative zu Mais dar.

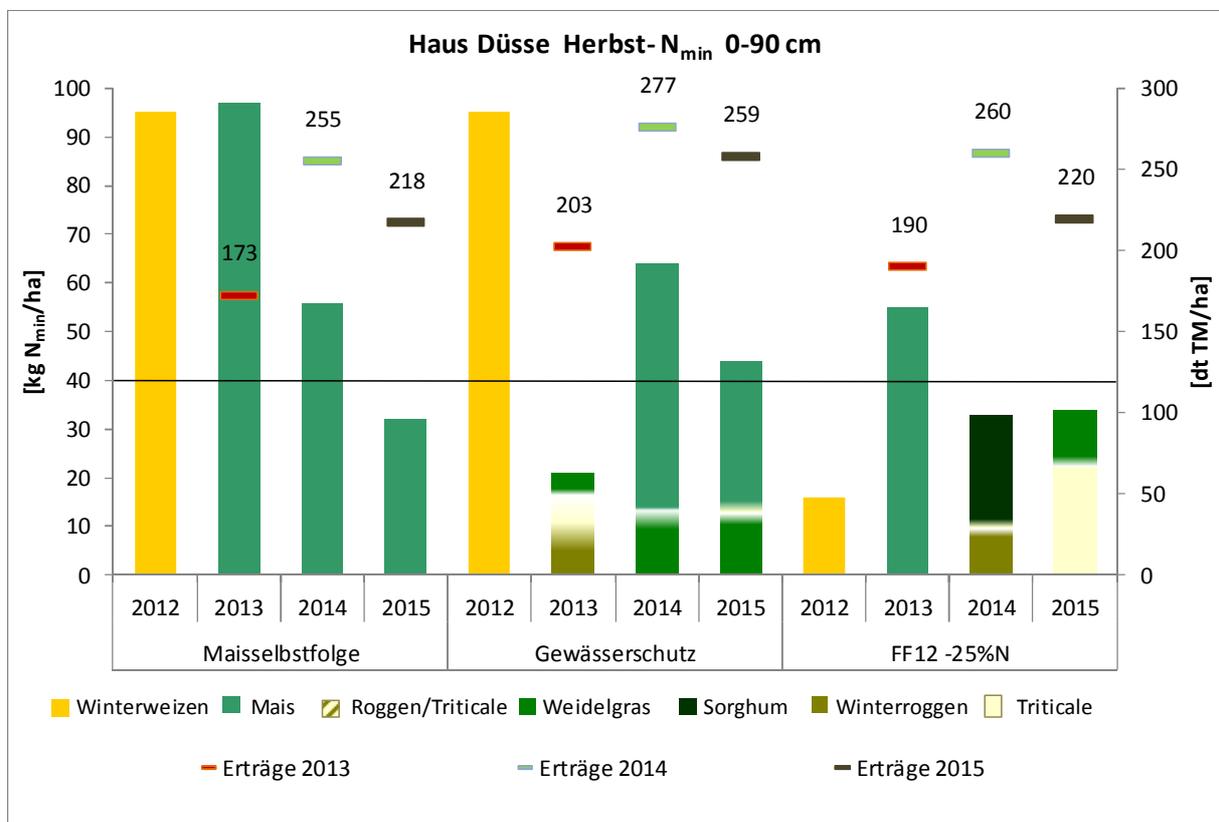


Abbildung 20: N_{min} -Gehalte aus der Bodentiefe 0 bis 90 cm zu Vegetationsende und kumulierte Trockenmasseerträge; FF01, FF12 und FF13; Haus Düsse; 2012 bis 2015; Linie bezeichnet N_{min} -Erfahrungsgrenzwert von 40 kg/ha (von Buttlar, 2012)

Der Standort Haus Düsse mit seinem mineralisationsstarken schluffigen Boden wies ein insgesamt höheres und differenziertes Herbst- N_{min} -Niveau auf. Der Erfahrungsgrenzwert von 40 kg N_{min} /ha, bei dessen Überschreitung Sickerwasserbelastungen von über 50 mg NO_3^-/l (Grenzwert EU-WRRL, 2000) wahrscheinlich werden, wurde am Standort Haus Düsse bei sieben von 12 Proben teilweise weit überschritten. Auffällig hoch waren die N_{min} -Werte nach Mais, besonders nach Mindererträgen im Jahr 2013. Nach Winterweizen zeigten sich ebenfalls hohe N_{min} -Werte. Der nach dem Winterweizen kultivierte Senf in FF 12 (vergl. Tabelle 12) konnte zum Winter offensichtlich einen Großteil des verfügbaren N binden. Die verschiedenen Weidelgräser als untergesäte Zwischenfrüchte im Mais erreichten dieses Ziel hinge-

gen nicht. Gründe hierfür liegen in der N-Düngung; Senf erhielt keine N-Düngung, während das Welsche Weidelgras in der Gewässerschutzfruchtfolge mit 195 kg N/ha in zwei Gaben gedüngt wurde. Bei der zweischnittigen Ernte beinhaltete das Erntegut 156 kg N/ha, was zu einem Saldo von +39 kg N/ha führte. Der N-Saldo bei dem einjährigen Weidelgras zeigte sich dagegen nahezu ausgeglichen. Zum Tragen kommt ebenfalls das enorme N-Nachlieferungsvermögen dieses gut mit organischer Substanz versorgten Bodens.

Niedrige Herbst-N_{min}-Werte zeigten sich insbesondere zu Winterroggen. Und auch Senf als Zwischenfrucht nach Winterweizen führte zu einer deutlichen Senkung des Herbst N_{min}-Wertes. Mögliche Vorteile der Gräseruntersaat zu Mais kamen im Untersuchungszeitraum nicht zum Tragen. Die Gründe hier waren höhere Düngung als Entzug und eine schwierig zu kalkulierende N-Mineralisation und Nachlieferung aus dem gut versorgten Boden. Standortvoraussetzungen zu beachten, bedeutet für den Standort Haus Düsse die Einbeziehung der N-Nachlieferung aus dem Boden auf Grund hoher Gehalte an organischer Substanz, für den Standort Güterfelde die Berücksichtigung des höheren Auswaschungsrisikos auf dem sandigen Boden bei der Düngebemessung. Hier sollte trotz z. T. negativer Bilanzen keine Erhöhung der N-Düngung für die sandigen Standorte Nordost-Deutschlands empfohlen werden.

Weitere Ergebnisse

In allen anderen Fruchtfolgen wurden ebenfalls N_{min}-Werte zu Vegetationsende untersucht. Die folgende Tabelle 13 zeigt einen Überblick dieser Werte für die FF03 (Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-einjähriges Weidelgras/Wintertriticale), FF11 (Selbstfolge Mais), FF12 (FF03 mit 25 % geringerer N-Düngung) im Vergleich zu FF14 (Gewässerschutz). Die zu Vegetationsende, also zu Beginn der Sickerperioden, festgestellten N_{min}-Werte weisen Abhängigkeiten zum jeweiligen Standort, den Einzeljahren 2013, 2014 und 2015 sowie der Fruchtfolge in der 5. und 6. Anlage auf. Die 6. Anlage startete 2014.

Tabelle 13: N_{min}-Werte zu Vegetationsende 2013 bis 2015; FF03, FF11, FF12 (alle Standorte außer Lindenhof und Werlte), FF14 (Ascha, Bernburg, Güterfelde, Haus Düsse, Niederweiler), hellrot: erhöhte Werte, rot: sehr hohe Werte

	Ascha		Bernburg		Dornburg		Ettlingen		Gülzow		Güterfelde		Haus Düsse		Niederweiler		Trossin	
	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage	5.Anlage	6.Anlage
FF03 Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-W.Triticale/einj. Weidelgras-W.Weizen																		
2013	150		59		53		26		51		16		49		69		47	
2014	49	66	11	17	24	36	26	34	27	31	12	12	36	22	147	38	33	63
2015	17	34	16	50	49	26	16	16	11	19	7	5	42	24				
TM-Ertrag [dt TM/ha]	207,4	235,4	501,6	412,2	360,0	301,9	330,4	374,0	352,7	346,4	356,9	322,6	488,2	494,7	213,9	251,4	322,6	405,2
FF11 Mais-Mais-Mais-W.Weizen																		
2013	167		81		47		23		67		21		96		73		42	
2014	94	85	41	31	28	36	54	46	35	47	23	11	56	51	54	27	33	43
2015	42	41	60	48	51	53	40	41	34	31	9	6	32	99				
TM-Ertrag [dt TM/ha]	181,9	282,3	406,7	417,9	338,5	332,8	393,9	403,0	376,0	380,6	396,4	291,4	428,6	481,0	341,5	175,2	271,6	327,0
FF12 N-Düngung - 25% bei Mais-Grünschnittroggen/Sorghum-W.Triticale/einj. Weidelgras-W.Weizen																		
2013	127		31		32		23		57		21		55		66		37	
2014	51	70	10	12	24	48	29	32	24	34	14	9	33	30	79	22	27	23
2015	15	16	7	30	59	28	20	16	12	14	14	5	34	18				
TM-Ertrag [dt TM/ha]	203,1	227,9	509,1	415,6	344,6	321,7	322,5	393,2	349,1	366,4	371,6	315,4	450,6	492,1	202,5	213,4	284,4	355,9
FF14 entsprechend regionaler Ausgestaltung																		
2013	136		42								18		58		46			
2014	35	53	11	15							6	20	64	34	66	25		
2015	47		109	64							6	5	44	65				
TM-Ertrag [dt TM/ha]	150,3	275,7	466,6	492,3							n.v.	n.v.	479,6	493,6	289,8	115,3		

Erhöhte Werte über 50 kg N/ha (Bodenschicht 0 bis 90 cm) zu Vegetationsende traten vorwiegend nach C₄-Pflanzen oder unter Ackerfuttermischungen mit Leguminosen bzw. unter Bokharaklee auf. Damit besteht die Gefahr einer Verlagerung insbesondere von Nitrat in nicht durch Ackerkulturen erschließbare Bodenbereiche bzw. das Grundwasser. Kritische, sehr hohe Werte über 75 kg N/ha fanden sich überwiegend nach Mais oder Sorghum bei Erträgen unter dem langjährig festgestelltem Niveau (Ascha 2013, Haus Düsse 2013). Werte über 100 kg N/ha wurden ausschließlich nach Mais festgestellt. Beispielsweise an den Hohertragsstandorten Bernburg und Haus Düsse, resultierend aus unterdurchschnittlichen

Erträgen für Mais in 2015. Aufgrund des im Standortvergleich höheren Düngungsniveaus entstanden enorme N-Überhänge von bis zu 200 kg N/ha für die Bodenschicht 0 bis 90 cm. Bei durchschnittlichen bzw. überdurchschnittlichen Erträgen bestand aufgrund der festgestellten Werte für den pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden am Standort Trossin in keiner geprüften Variante ein Verlagerungsrisiko oberhalb der unvermeidlichen Nährstoffverluste (Baumgärtel, 2014).

Ein besonderes Risiko von Nitratverlagerungen und N-Verlusten geht von einem Anbau Mais nach Mais (FF11) aus. Bei einer Einbindung der Hauptertragsbildner Mais oder Sorghum in diverse Fruchtfolgen (FF03, FF14) können N-Überhänge durch nachfolgende Winterungen, Zwischenfrüchte oder eingebrachte Untersaaten wirkungsvoll in Biomasse umgesetzt bzw. zwischengespeichert werden.

Reduzierte Düngermengen (FF12) verringern die Mengen der emittierten Treibhausgase bei gleichzeitiger Vermeidung von N-Überhängen. In der Laufzeit der Parzellenversuche von 2013 bis 2015 an 11 Standorten führte eine um 25 % reduzierte N-Düngung gegenüber der entsprechend der landesspezifischen Empfehlung durchgeführten Düngung zu keinem signifikantem Ertragsabfall.

Die kumulierten Erträge der FF14 (Gewässerschutz) der 5. Anlage (drei FF-Jahre) und 6. Anlage (zwei FF-Jahre) waren mit den Erträgen der als ökonomisch vorzüglich einzuschätzenden FF11 (Mais-Selbstfolge) vergleichbar. Höchsterträge aus der FF14 in Bernburg und Haus Düsse verdeutlichen, dass ein Anbau von Biogassubstraten auch unter besonderer Berücksichtigung des Gewässerschutzes pflanzenbaulich machbar und gleichzeitig wirtschaftlich sein kann. Gleichzeitig zeigen die, als erhöht und teilweise kritisch einzuschätzenden N_{min} -Werte zu Vegetationsende, dass auch in konzipierten Gewässerschutzfruchtfolgen Nitratverlagerungsrisiken nicht vollständig auszuschließen sind. Dennoch tragen Maßnahmen, wie Fruchtfolgegestaltungen mit abtragenden Früchten nach Intensivkulturen oder reduzierte bzw. angepasste Düngermengen, wirkungsvoll zur Verringerung dieses Risikos bei. Deutlich ist dieser Effekt im Vergleich zu Maiselbstfolge in Tabelle 14 zu sehen.

Tabelle 14: Fruchtfolgebedingte Minderung des Nitratverlagerungsrisikos an ausgewählten Standorten; FF11, FF03, FF12 und FF14; 2013

		FF11	FF03	FF12	FF14
Ascha		Mais- Mais	Mais- W. Triticale	Mais- W. Triticale -25 % N	Mais US Weidelgras- Weidelgras
	Ertrag	36,7 dt TM/ha	40,4 dt TM/ha	43,6 dt TM/ha	39,8 dt TM/ha
	N_{min} zu Vegetationsende	167 kg N/ha	150 kg N/ha	127 kg N/ha	136 kg N/ha
	Maßnahmeneffekt ggü. FF11		17 kg N	40 kg N	31 kg N
Bernburg		Mais- Mais	Mais- W. Triticale	Mais- W. Triticale -25 % N	Grünschnittroggen/Mais- Grünschnittroggen
	Ertrag	197,2 dt TM/ha	192,4 dt TM/ha	199,8 dt TM/ha	£ 208,5 dt TM/ha
	N_{min} zu Vegetationsende	81 kg N/ha	59 kg N/ha	31 kg N/ha	42 kg N/ha
	Maßnahmeneffekt ggü. FF11		22 kg N	50 kg N	39 kg N
Haus Düsse		Mais- Mais	Mais- W. Triticale	Mais- W. Triticale -25 % N	
	Ertrag	173,2 dt TM/ha	206,2 dt TM/ha	190,3 dt TM/ha	
	N_{min} zu Vegetationsende	96 kg N/ha	49 kg N/ha	55 kg N/ha	
	Maßnahmeneffekt ggü. FF11		50 kg N	39 kg N	

In den Versuchen des Satellitenprojektes „Zwischenfruchtanbau als Beitrag zum Gewässerschutz im Energiepflanzenanbau“ unter der Koordination des ATB Potsdam-Bornim e. V. wurden am Standort Burkertsdorf (AZ 36; 642 mm, 7,0 °C) verschiedene Zwischenfrüchte nach Silomais unter Beobachtung des Stickstofffixierungsvermögen, der Ertragsleistung und der Auswirkungen auf den Bodenwasserhaushalt geprüft. Die Stickstofffestlegung in der Biomasse über Winter ist anhand der zeitlichen Verläufe des mineralisierbaren Stickstoffes im Boden(N_{min}) nachvollziehbar. Erste Ergebnisse bestätigen bei gut entwickelten Beständen

ausreichende Nährstofffixierungsleistungen der geprüften Kulturen Senf und Winterroggen. Unter Landsberger Gemeinde zeigten sich allerdings höhere N_{\min} -Werte auf Grund von milder Witterung und demzufolge erhöhter Mikroorganismenaktivität. Bis zu 80 kg/ha (Bodenschicht 0 bis 60 cm) weniger pflanzenverfügbaren Stickstoff sind zur Sickerperiode unter Zwischenfrüchten im Vergleich zur Brache über Winter festgestellt worden (Abbildung 21).

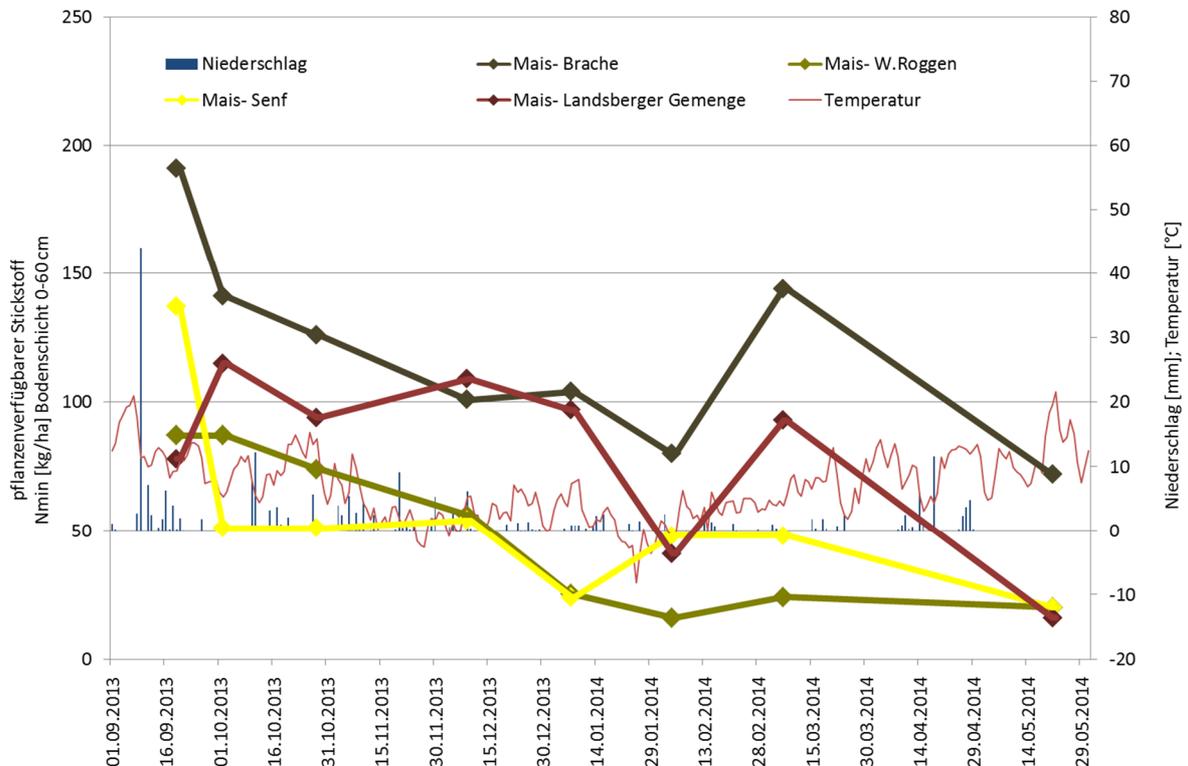


Abbildung 21: N_{\min} -Verlauf und Witterung unter verschiedenen Zwischenfrüchten nach Mais, Burkersdorf, September 2013 bis Juni 2014

Fazit

Intensiv geführte Kulturen und hohe Ertragspotentiale bergen Risiken für eine Gewässerbelastung durch Nährstoffverlagerung. Im Ergebnis zeigt sich, dass Fruchtfolgegestaltung und ganz besonders der Anbau von Winterzwischenfrüchten als Instrumente zur Minderung von Nährstoffüberhängen in Frage kommen, aber immer durch weitere Maßnahmen wie ein angepasstes Düngemanagement flankiert werden sollten. Planvolle Bewirtschaftung, wie z. B. geteilte N-Düngegaben und eine auf die Mineralisierungsdynamik angepasste Bodenbearbeitung, sind grundlegend wichtig bei der Minimierung von N-Austrägen. Ebenso relevant ist die Berücksichtigung der gegebenen Standortvoraussetzungen.

1.3.7 Pflanzenschutz im Energiepflanzenanbau

Durch Schaderreger entstehen in der Landwirtschaft Ertragseinbußen und Qualitätsverluste. Zur gezielten Verhinderung kommen Pflanzenschutzmaßnahmen nach guter fachlicher Praxis zum Einsatz. Der § 3 des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG, 2012) definiert, dass dabei die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes einzuhalten sind. Ziel dabei ist es, mit dem vorhandenen Instrumentarium den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf ein notwendiges Maß zu beschränken, da mit deren Anwendung mittelbar Risiken für Mensch, Tier und Naturhaushalt verbunden sind. Diese bestehen durch die Pflanzenschutzmittel oder deren Metabolite unter anderem bei Abdrift und Verlagerung in die Gewässerkörper, durch

Akkumulation in Nahrungs- und Futtermitteln oder durch direkte Schädigung von non-target-Organismen.

Dabei dient der Behandlungsindex (BI) als quantitatives Maß zur Beschreibung der Intensität des chemischen Pflanzenschutzes. Unter Berücksichtigung reduzierter Aufwandmengen und Teilflächenbehandlungen wird die Anzahl der Pflanzenschutzmittelanwendungen auf einer Fläche dargestellt.

Für die aus den Versuchsdokumentationen berechneten BI bestehen Abhängigkeiten von den Fruchtfolgen, Einzelkulturen, Standorten und den spezifischen Wachstumsbedingungen an den Standorten in den Einzeljahren (Abbildung 22).

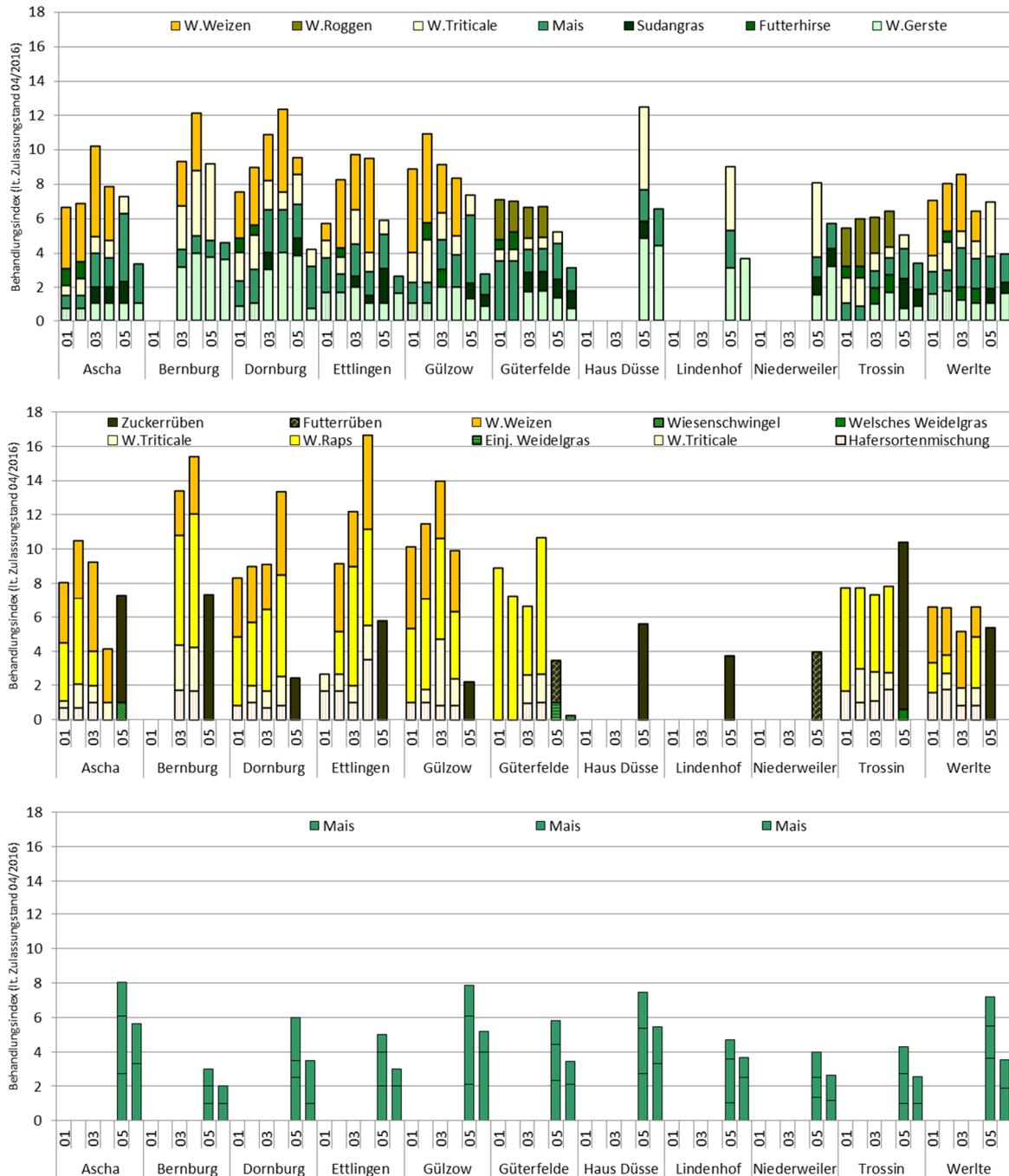


Abbildung 22: Kumulierte Behandlungsindizes (BI); alle Standorte; Grundversuch, 1. bis 6. Anlage; 2005 bis 2015, FF01 Oben; FF05 Mitte; FF11 Unten; Berechnung nach Zulassungsstand 04/2016 (BVL, 2016), in Einzelfällen Korrekturen gegenüber bestehenden Zulassungen auf Daten

Deutlich wird dies an der Spannweite der kulturartspezifischen BI an den Standorten (Tab. 15).

Tabelle 15: Kulturartspezifische BI, EVA (2005 bis 2015); Grundversuch alle Standorte, PAPA (2012 bis 2015): Roßberg (2016)

	alle Kulturen	Kartoffel	W.Weizen	Zuckerrübe	W.Raps	W.Gerste	W.Triticale	
			Korn		Korn	GPS	Korn	GPS
EVA(2005-2015)	0-9,8	3,9-8,3	0,4-6,2	2,2-9,8	1,1-8,9	0-4,8	0,8-4,8	0-4,8
MW		6,1	3,3	4,6	4,6	1,1	2,5	1,6
PAPA(2012-2015)								
MW		11,7	5,3		6,5			
	Kleegras o. Luzernekleegras o. Luzernegras	Sorghum b. x s. GPS	Hafer GPS	W.Roggen			Mais	
				Korn	Grünschnitt		HF	ZF
EVA(2005-2015)	0-0,4	0-2,9	0-3,5	0-3,6	1,78-3,78	0-3,6	0-10,6	0-10,6
MW	<0,1	1,1	1,0	1,0	2,23	0,75	2,0	1,5
PAPA(2012-2015)								
MW							1,9	

Unterschiedliche Bedingungen für Kultur und Schaderreger in den einzelnen Jahren erforderten unterschiedliche Pflanzenschutzstrategien. Der Einsatz differenziert wirkender Mittel und die Möglichkeit angepasster Aufwandmengen oder Tankmischungen gewährleisteten eine ausreichende Ertrags- bzw. Qualitätssicherung. Aufgrund natürlicher Bedingungen (Länge der Vegetationszeit, spezifische Temperaturverhältnisse, Niederschlagsverteilungen, etc.) können einzelne Schaderreger standörtlich begünstigt oder in der Entwicklung bzw. Ausbreitung beeinträchtigt werden. Dementsprechend differieren standörtlich die notwendigen Anwendungsintensitäten für Pflanzenschutzmittel. Ergebnisse aus den EVA-Versuchen zeigen für Winterweizen zur Kornnutzung an den Standorten gemittelte BI zwischen 2,7 und 4,0. Dies spiegelt die unterschiedlichen Standortbedingungen und damit die sich unterscheidenden Pflanzenschutzstrategien wider. Ebenso ergeben sich an den einzelnen Standorten große Schwankungen. Am Standort Gülzow waren in der gleichen Kultur zwischen den Jahren BI in der Spanne von 2,8 bis 6,2 zu verzeichnen. Dies verdeutlicht, dass die Pflanzenschutzstrategie an die einzeljährlichen Verhältnisse und insbesondere die Befallssituation angepasst worden ist.

Für die beim Anbau von Biogassubstraten realisierten geringeren Pflanzenschutzintensitäten sind ursächlich die bei gegenüber Marktfrüchten abweichenden Anforderungen an die Ernteprodukte (qualitätsgebende Inhaltsstoffe, Standzeiten) anzusehen. Übereinstimmend mit Fleischer & Gurgel (Fleischer, 2014) waren in den EVA-Versuchen für Kulturen zur Biomassenutzung gemittelte BI von ≤ 2 festzustellen. Die geprüften Druschfrüchte und alternativ als Marktfrucht verwertbaren Kulturen, wie Kartoffel und Zuckerrübe, lagen deutlich über diesem Niveau. Die geringste Beeinflussung der Agrarökosysteme durch chemische Pflanzenschutzmittel ist mit der mehrjährigen Nutzung von Ackerfuttermischungen mit Leguminosen bei einem durchschnittlichem BI von unter 0,1 zu erwarten. Dabei kamen fast ausschließlich Rodentizide in Teilflächenbehandlungen zum Einsatz. Feldmausschädigungen wirken sich stärker ertragswirksam auf Parzellenversuche als auf Praxisschläge aus, somit diente der Einsatz überwiegend zur Versuchsabsicherung. Des Weiteren wurden keine durch die Versuchsdurchführung bedingten erhöhten Behandlungsintensitäten festgestellt. Für die alternativ zur Substratbereitstellung nutzbaren Kulturen Zuckerrübe, Kartoffel und die zur Ganzpflanzensilageproduktion angebauten Getreidearten wurden im Vergleich zur Marktproduktion geringere Intensitäten des chemischen Pflanzenschutzes festgestellt. Dies stimmt mit den durch Roßberg (2016) veröffentlichten BI zu Pflanzenschutzintensitäten im Ackerbau, die als

Indikatoren für den Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln dienen (Bundesregierung, 2013), überein.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen des Satellitenversuches „Faktoroptimierung“ am Standort Ascha (BY) (Eckner, Strauss, Nehring und Vetter, 2013) lassen sich aus den geringen Pflanzenschutzintensitäten einiger Kulturen bzw. dem Totalverzicht auf chemischen Pflanzenschutz in verschiedenen Kulturen, wie aus Tabelle 15 ersichtlich, weitere Optimierungen und Einsparungen für die eingesetzten Wirkstoffmengen in der Praxis umsetzen.

1.3.8 Ertragsstabilität und Sicherheit in der Substratbereitstellung von Fruchtfolgen

In der praktischen Landwirtschaft müssen zur Einkommenssicherung verschiedene Strategien der Risikominimierung verfolgt werden.

Um für die Anbauplanung entsprechende Entscheidungskriterien zu liefern, ist eine Bewertung der geprüften Fruchtarten und Fruchtfolgen hinsichtlich der Ertragsstabilität und der abgesicherten Substratbereitstellung notwendig. Die Differenziertheit der Anforderungen wird sich im Zuge des Klimawandels und der damit einher gehenden Jahresschwankungen weiter erhöhen, was ein erhöhtes Maß an Umweltstabilität der Anbausysteme erforderlich macht.

In der Praxis muss in der Regel zur Absicherung des stabilen Betriebes eine jährlich konstante Menge an Substraten mit definierten Eigenschaften zur Verfügung stehen. „Unterproduktion“ ist nur mit einer aufwendigen Lager- und Silowirtschaft auszugleichen. Für „Übermengen“ sind alternative Verwertungen nötig, wobei die eingelagerten Silagen grundsätzlich auch als Futter nutzbar sind. Bei einigen Fruchtarten ist bei angepasster Bestandesführung eine Kornnutzung möglich. Die veränderten, zur Verfügung stehenden Vegetationszeiträume haben jedoch in der Folge Einfluss auf die Fruchtfolgeabläufe. Die nachfolgenden Bewertungen beschränken sich auf die im Grundversuch abgeschlossenen Rotationen (1. bis 4. Anlage) und ausgewählte Fruchtarten mit umfangreicheren Anbauumfängen und zeitlich versetzten Wiederholungen in den Fruchtfolgen. Neben den Effekten der Wachstumsbedingungen auf die Ertragsbildung und Ertragsstabilität der einzelnen Fruchtarten und in der Folge auch Fruchtfolgen sind weitere Faktoren in die Betrachtungen einzubeziehen. Züchterischer Fortschritt mit Verbesserung von Ertragsleistungen und Anbaueigenschaften, Anpassungen und Optimierungen der Anbauverfahren für die Fruchtfolgen, aber auch Anbauerfahrungen mit den Kulturen und deren Konsequenzen im Anbauregime beeinflussen die festgestellten Erträge und die zu bewertende Ertragsstabilität.

Ertragsstabilität und Sicherheit in der Substratbereitstellung von Fruchtfolgen

Die Bewertung von Ertragsstabilität oder Umweltstabilitäten beschränkt sich in den vorliegenden Arbeiten (Döring, Köhn, & Ellmer, 2014), (Eberhart & Russel, 1966) (Macholdt, Ellmer, Barthelmes, & Baumecker, 2013) (Michel & Zenk, 2010) (Piepho, 2005) weitestgehend auf Sortenvergleiche. In der Folge sind kurz die in der Literatur gebräuchlichen Kennzahlen charakterisiert. Wiederholt wird dabei betont, dass Aussagen für eine Stabilitätschätzung anhand kleiner Versuchsserien nur eingeschränkt belastbar sind.

Die **Ökovalenz** charakterisiert die Ertragssicherheit (Umweltstabilität) einer Sorte. Im Zusammenhang mit der vergleichenden Sortenbewertung gilt eine Sorte dann als stabil, wenn ihre Leistung sich proportional zum Ertragspotential der Umwelt ($\text{Ort} \cdot \text{Jahr}$) verhält (agronomisches/dynamisches Konzept) (Thomas, 2006). Dies kommt in stabilen Relativerträgen zum Ausdruck. Es ist zu erkennen, dass Sorten mit einer hohen Ökovalenz (Ökovalenz_{SQ}, Darstellung als Quadratwurzel der Ökovalenz zur Anpassung der Skalierungsebenen) größere Schwankungen der Relativerträge zeigen als Sorten mit geringer Ökovalenz. Je kleiner die Ökovalenz eines Prüfgliedes ist, desto größer ist seine Ökostabilität. Je größer die Ökovalenz ist, desto stärker ist der Umwelteinfluss auf die Prüfgliedeffekte (Skalierung nach

(Bätz, Dörfel, Fuchs, & Thomas, 1987)). An Beispielen wird aber auch deutlich, dass Sorten mit erhöhten Schwankungen nicht schlechthin eine größere Varianz zeigen, sondern dass sie eher gehäuft Ausreißer aufweisen.

Die **Ökoregression** entscheidet dagegen, ob Sorten dem Extensivtyp (Koeffizient $b < 1$) oder dem Intensivtyp ($b > 1$) zuzuordnen sind. Sie kann Hinweise darauf geben, warum Sorten unter Umständen vom agronomischen Konzept der Ertragsstabilität abweichen. Extensivsorten weisen vergleichsweise höhere Relativerträge bei ungünstigeren Bedingungen auf, bessere Bedingungen werden aber nicht voll ausgeschöpft. Intensivsorten weisen dagegen höchste Relativerträge unter Optimalbedingungen auf. Als Index für die Abstufung der jeweiligen Umweltverhältnisse von „ungünstigeren Bedingungen“ bis zu „Optimalbedingungen“ werden die adjustierten Versuchs-Mittelwerte benutzt. Der Parameter ‚Ökoregression‘ ist hier der lineare Regressionskoeffizient für die funktionale mittlere Abhängigkeit der Erträge einer Sorte in den Einzelversuchen von den adjustierten Versuchs-Mittelwerten (Mittel aller Sorten). Im Durchschnitt aller Sorten ist der Anstieg per Definition = 1. Das bedeutet, mit einem Anstieg des Versuchsniveaus um z. B. 10 dt/ha steigen auch die Sortenleistungen im Mittel um 10 dt/ha. Nur eine geringe Anzahl an Sorten zeigt allerdings markante Abweichungen ($b \leq 0,8$ bzw. $b \geq 1,2$) vom mittleren Verhalten.

Die bisherige Auswertung der vorliegenden Daten zeigt, dass eine Bewertung anhand der Ertragsvariabilität der Fruchtfolgegesamtleistung (kumulierter Trockenmasseertrag der Fruchtfolgeglieder) als einfache Stabilitätsgröße nur bedingt praxisrelevant ist. Stark schwankende Erträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder im Vergleich verschiedener Rotationen und Fruchtfolgejahre in einer Rotation finden hier keine Berücksichtigung. Vielmehr gleichen sich Höchsterträge und Niedrigerträge scheinbar aus.

In Auswertung der erweiterten Fruchtfolgeversuche um weitere zeitlich versetzte Anlagen (7. Anlage und 8. Anlage) in Ergänzung zum Grundversuch in der Projektphase EVA III für drei ausgewählte Fruchtfolgen am Standort Dornburg wird deutlich, dass sich die Fruchtfolgeleistungen zwischen den Einzeljahren zum Teil signifikant unterscheiden.

Die Beispielrechnungen wurden anhand der für den Standort Dornburg (1. bis 4. Anlage 2005 bis 2013) vorliegenden Daten durchgeführt. Die im Sortenwesen üblichen Umweltstabilitätsmaße sind in der Darstellung (Tabelle 16) um die Maßzahlen Variationskoeffizient der kumulierten Trockenmasseerträge zwischen den Rotationen und der Spanne der Variationskoeffizienten der Einzeljahre (Berechnung für FF-Jahr eins bis drei ohne Abschlussfruchtfolgeglied W.Weizen; Abbildung 23) erweitert. Diese zeigen in der Übertragung auf die EVA-Fruchtfolgen verschiedene Ausprägungen. Für die Berechnungen Ökovalenz und Ökoregression für Fruchtfolgen gehen die Ertragsjahre als separate Umwelten ein.

Tabelle 16: Ausgewählte Ertragsstabilitätsgrößen, Standort Dornburg, FF01 bis FF08, 2005 bis 2012

	FF01	FF02	FF03	FF04/05	FF05/04	FF06	FF07	FF08
Anzahl Rotationen	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=4	n=2
Variationskoeffizient für kumulierte Trockenmasseerträge der FF	0,08	0,16	0,09	0,25	0,16	0,07	0,04	0,15
Ökovalenz	18746	19338	20444	30961	13349	14984	18521	5066
Ökovalenz SQ	137	139	143	176	116	122	136	71
Ökoregression	0,51	0,38	1,63	-0,06	-0,46	-0,97	-3,30	1,94
Varianz Ökoregression	41282	8635	9910	8363	3734	2233	5851	1476
Spanne der Variationskoeffizienten der Rotationsjahre	0,15	0,29	0,44	0,12	0,15	0,08	0,23	0,22

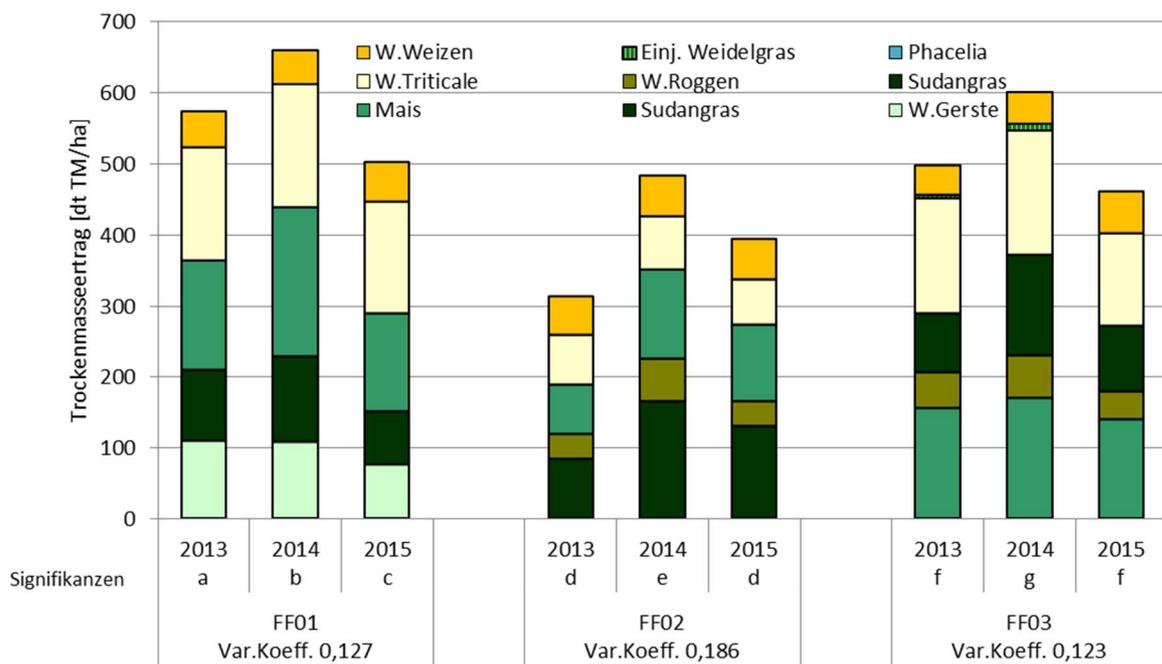


Abbildung 23: Trockenmasseerträge, Dornburg; 5. Anlage bis 8. Anlage; 2013 bis 2015; FF01 bis FF03; Signifikanzen für $p \leq 0,05$; Var.Koeff. der kumulierten Trockenmasseerträge zwischen den Jahren als Maßgröße der Ertragsvariabilität der FF-Leistung

Eine alleinige Nutzung der Ertragsvariabilität (Variationskoeffizient für kumulierte Trockenmasseerträge der FF) der Fruchtfolgegesamtleistung als Stabilitätsmaß ist nicht ausreichend. Divergierende bzw. konträre Ausprägungen anderer Größen zeigen die Notwendigkeit weitergehender Betrachtungen. Die Erklärungsansätze aus dem Sortenwesen sind für die Maßzahl Ökovalenz auf die vergleichende Bewertung von Fruchtfolgen zu übertragen. Es lassen sich aufgrund der tendenziellen Reaktionsnormen der Fruchtfolgen Risikoabschätzungen für die praktische Anbauplanung ableiten. Entsprechende Bewertungen erfolgten in Relation zu allen geprüften Fruchtfolgen und sind standortbezogen.

Mit der Ökoregression ist nach vorliegenden Berechnungen aufgrund der verschiedenen Optimalbedingungen der integrierten Fruchtarten keine Gruppierung in Intensiv- bzw. Extensivfruchtfolgen möglich. Weitere Erklärungen der errechneten Ökovalenzen sind somit nicht möglich.

Am Standort Dornburg zeigen die intensiven Fruchtfolgen 01 bis 03 und die Maisselbstfolge (FF07) vergleichbare Ökovalenzen. Die marktfuchtgeprägten Fruchtfolgen 05 und 06 unterstreichen mit höheren Umwelt- und Ertragsstabilitäten die hohe Anbaueignung der integrierten C_3 -Pflanzen und den vergleichsweise geringeren Umwelteinfluss auf die Ertragsbildung. Die Ackerfutterfruchtfolge (FF04/05) mit der höchsten Ökovalenz zeichnet sich nicht unbedingt mit einer höheren Varianz der Erträge aus, vielmehr ist die geringe Umweltstabilität auf die „Ausreißerwerte“ im Luzernegrasetablierungsjahr 2005 und die darauffolgenden geringeren Erträge der Hauptnutzungsjahre zurückzuführen. Es wird deutlich, dass diese ertragreiche und ökologisch leistungsfähige Fruchtfolge stark vom Etablierungserfolg abhängig ist (Abb. 24).

Aus der Gegenüberstellung der Ökovalenz als Stabilitätsmaß für die Jahreserträge der Fruchtfolgen zeigen sich standortabhängige Merkmalsausprägungen. Beispielsweise FF03, in Dornburg mit der höchsten Ökovalenz bzw. geringsten Umweltstabilität ausgewiesen, ist in Güterfelde als stabil mit den geringsten Auswirkungen der Umweltfaktoren auf die Ertragsbil-

dung anzusehen. Unter den spezifischen Wachstumsbedingungen Güterfeldes ist von großen Umwelteinflüssen auf die Ertragsbildung in der FF04 S.Gerste/US Luzernegras-Luzernegras-Luzernegras auszugehen (Abb. 25). Die Ertragssicherheit der Fruchtfolgen wird von den Stabilitäten und Leistungsfähigkeiten der Einzelkomponenten bestimmt.

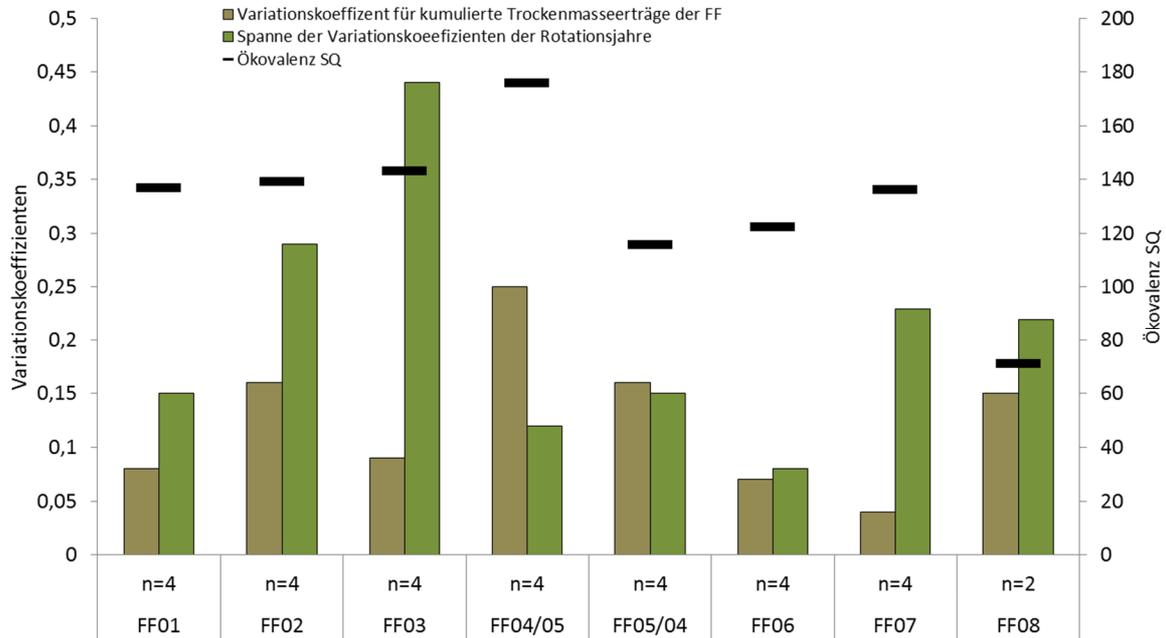


Abbildung 24: Ertragsstabilitätsgrößen; Standort Dornburg; FF01 bis FF08, 2005 bis 2012

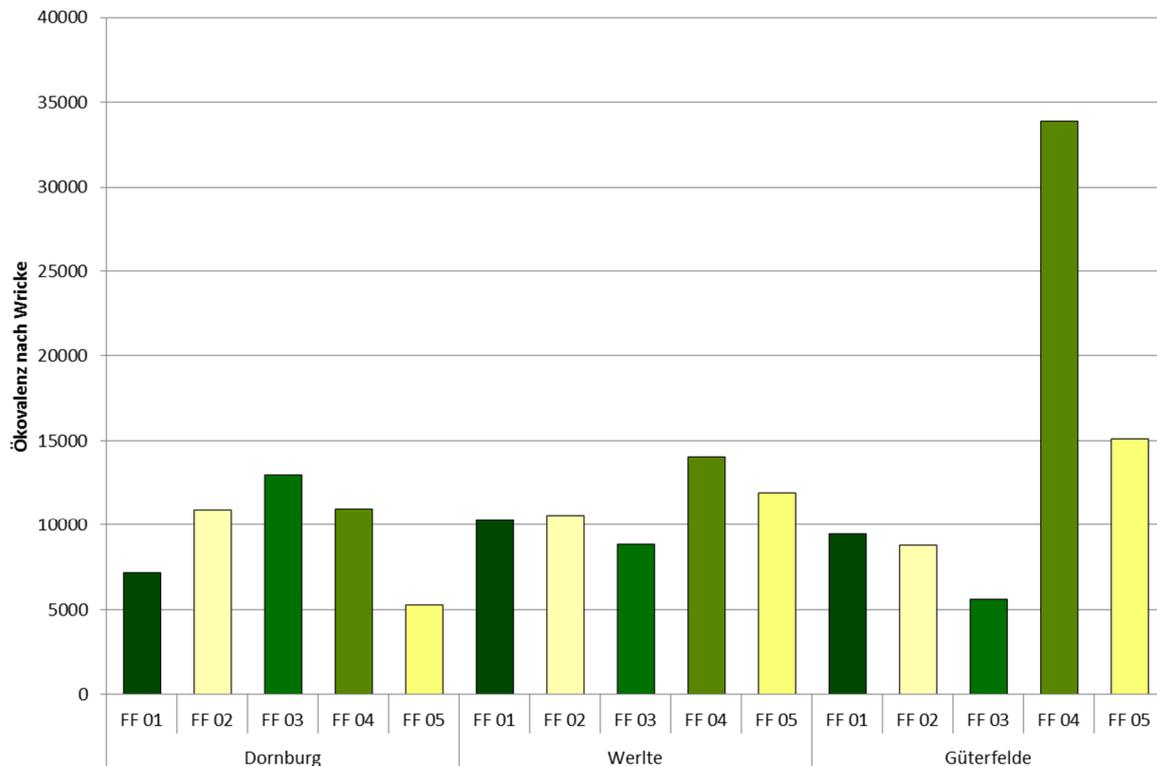


Abbildung 25: Ökovalenz nach Wricke; Standorte: Dornburg, Werlte, Güterfelde, FF01 bis FF05, 1. bis 4. Anlage, 2005 bis 2013

Ertragsstabilität ausgewählter Fruchtarten

Neben der Ertragsleistung der Fruchtart am Standort und den spezifischen Methanbildungspotentialen der Substrate sind für eine Anbauentscheidung in den landwirtschaftlichen Betrieben ebenso Belange der Risikominimierung und Risikostreuung zu berücksichtigen. Abbildung 26 zeigt die im EVA-Fruchtfolgeversuch am Standort Dornburg festgestellten Einzeljahreserträge für ausgewählte Fruchtarten. Die spezifischen Wachstumsbedingungen haben unterschiedliche Effekte auf die Ertragsbildung der Kulturarten. Die Ertragsleistungen der Sommerungen (Mais HF, Sorghum, Hafersortenmischung) reagieren in unterschiedlichen Abstufungen tendenziell ähnlich. Demgegenüber stehen die Winterungen (W.Triticale-GP, W.Weizen (Korn)) mit zum Teil konträren Effekten auf die Ertragsbildung in den Einzeljahren.

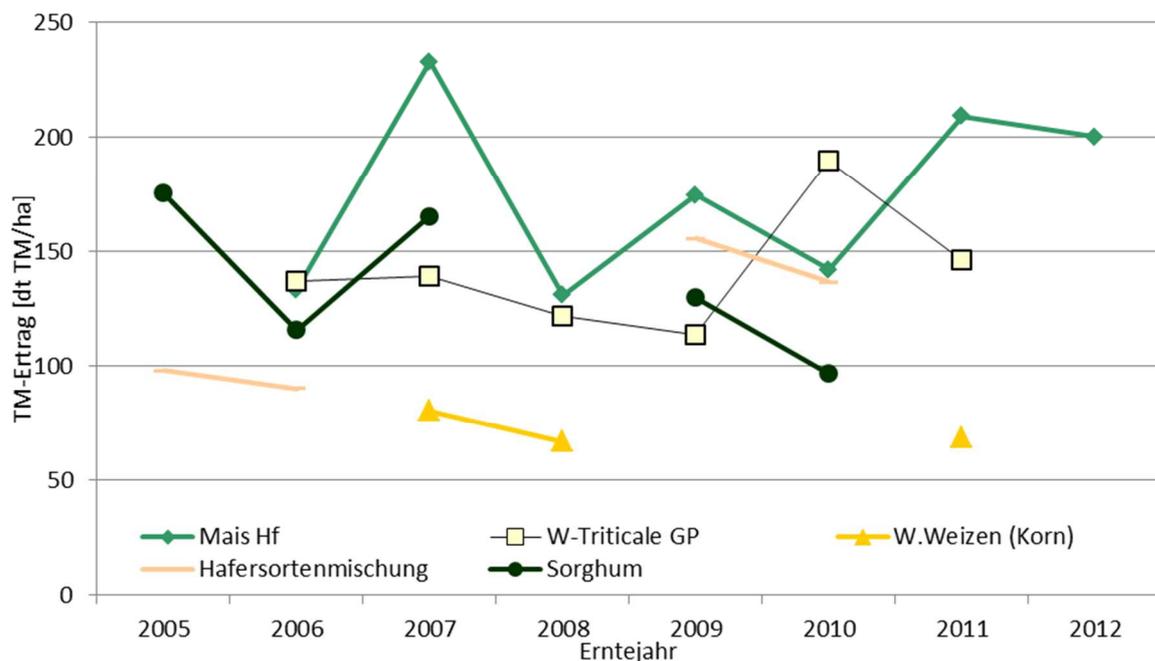


Abbildung 26: Trockenmasseerträge, Mittelwerte für die Ertragsjahre; Dornburg; 2005 bis 2012, Grundversuch

Die Ertragsstabilitäten der einzelnen Kulturen und Zweikulturnutzungssysteme differieren zwischen den Standorten (Tabelle 17).

Tabelle 17: Variationskoeffizienten der Erträge für ausgewählte Fruchtarten und Zweikulturnutzungssysteme, ausgewählte Standorte, Grundversuch; 2005 bis 2015, farbliche Skalierungen: Vergleich je Standort rot=geringste Ertragsstabilität, MW Var. Koeff. zwischen den Standorten grün=höchste Ertragsstabilität

	Ascha	Bernburg	Dornburg	Ettlingen	Gülzow	Güterfelde	Trossin	Werlte	
W.Gerste/Sorghum	0,197	0,126	0,122	0,162	0,059	0,190	0,330	0,235	0,178
W.Roggen/Mais	0,266	0,162	0,302	0,200	0,106	0,256	0,343	0,156	0,224
W.Roggen/Sorghum	0,109	0,308	0,448	0,274	0,097	0,242	0,284	0,271	0,254
Mais	0,377	0,156	0,230	0,175	0,159	0,299	0,355	0,244	0,217
Sorghum	0,142	0,259	0,573	1,402	0,240	0,330	0,686	0,384	0,403
W.Triticale GPS	0,141	0,098	0,157	0,190	0,133	0,199	0,277	0,317	0,189
Korn W.Weizen / W.Roggen	0,153	0,033	0,168	0,235	0,098	0,202	0,155	0,174	0,152
Ackerfutter HF	0,249	0,252	0,231	0,175	0,309	0,256	0,279	0,138	0,231
MW Variationskoeff.	0,204	0,174	0,279	0,352	0,150	0,247	0,339	0,240	
Variationskoeff. Min	0,109	0,033	0,122	0,162	0,059	0,190	0,155	0,138	
Variationskoeff. Max	0,377	0,308	0,573	1,402	0,309	0,330	0,686	0,384	

Die kulturartspezifischen Variationskoeffizienten der Erträge unterscheiden sich dabei in der absoluten Höhe und ihrer Rangfolge zueinander. Mit Ausprägungen zwischen 0,033 für den

W.Weizen-Kornertrag in Bernburg und 1,402 für den Ertrag von Sorghum HF am Standort Ettligen werden die unterschiedlich zu bewertenden Ertragsstabilitäten wiedergegeben. Varianten mit geringen Effekten auf die Ertragsbildung am einen Standort stellen sich andernorts als ertragsunsicher dar (z. B.: W.Roggen/Sorghum Ascha: 0,109; Bernburg: 0,308). Die höchste Ertragsstabilität lässt sich für die geprüften W.Getreide in unterschiedlichen Nutzungen ableiten (MW W.Triticale GPS 0,189; MW W.Weizen bzw. W.Roggen-Korn 0,152). Die geprüften C₄-Pflanzen als Hauptfruchtnutzungen (Mais MW 0,217; Sorghum MW 0,403) zeigten sich instabil und rangieren standörtlich auf den hinteren Plätzen. Die Zweikulturnutzungssysteme verhielten sich indifferent, wobei tendenziell die Kombination W.Gerste/Sorghum als stabiler als andere geprüfte Kombinationen zu bewerten ist. Die geprüften Ackerfuttermitteln in den Hauptnutzungsjahren zeigten standörtlich überwiegend als „mittel“ zu bewertende Ausprägungen der Variationskoeffizienten. In Gülzow wirkten sich die spezifischen Wachstumsbedingungen auf die Ertragsbildung des geprüften Kleeegrases bzw. Luzernekleegrases sowohl im standörtlichen Vergleich der Varianten als auch im Vergleich der Standorte am stärksten aus. Die festgestellte geringe Ertragsstabilität von Sorghum (Sorghum MW 0,403) an den Standorten ist, neben den tatsächlichen Wachstumsbedingungen, in hohem Maße auch auf züchterischen Fortschritt und Erfahrungszuwachs in der Kulturführung zurückzuführen.

Vergleichend ist die Ertragsbildung der einzelnen Fruchtarten und Zweikulturnutzungen in Gülzow (MW Variationskoeffizienten aller geprüften Varianten 0,150) und Bernburg (MW Variationskoeffizienten aller geprüften Varianten 0,174) am stabilsten. Mögliche Ursachen hierfür könnten die Grundwasserbeeinflussung am Standort Gülzow und die hohe Bodenspeicherkapazität in Bernburg sein.

Wachstumsbedingungen werden beispielsweise durch ausgeprägte Vorsommertrockenheit, frühe Hitzeperioden, verkürzte Vegetationsperioden, Einzelwetterereignisse und die Standortausstattung (nFK, klimatische Verhältnisse, Höhenlage, etc.) beeinflusst. Entsprechend der unterschiedlichen Ansprüche und dem kulturartspezifischen Verlauf der Ertragsbildung ergeben sich unterschiedliche Ertragspotentiale und Ertragsstabilitäten der einzelnen Kulturen und Zweikulturnutzungen für die Standorte. Varianten mit höchsten Ertragspotentialen (Mais und Zweikulturnutzungssysteme) zeigen die geringsten Ertragsstabilitäten.

Diversifizierung sowie eine horizontale und vertikale Fruchtfolgegestaltung mit Wechseln zwischen Sommerungen und Winterungen tragen zur Ertragssicherung und Risikominimierung bei.

1.4 Integrative Gesamtbewertung

Grundlage für die Vielzahl von Untersuchungen in den 11 Jahren Projektlaufzeit war das EVA-Paradigma: Nachhaltiger Energiepflanzenanbau ist nur im Rahmen von Fruchtfolgen (FF) zu gewährleisten.

Gesucht wurden dazu regional angepasste Lösungen unter Berücksichtigung von Bodenklimaräumen und auch von Infrastrukturen. Die untersuchten Bereiche „Anbausysteme“, „ökologische und ökonomische Bewertung“, „Substratqualität und Konservierung“ in den EVA-Teilprojekten (Abbildung 27) ergaben für die verschiedenen Standorte unterschiedliche Bewertungen.

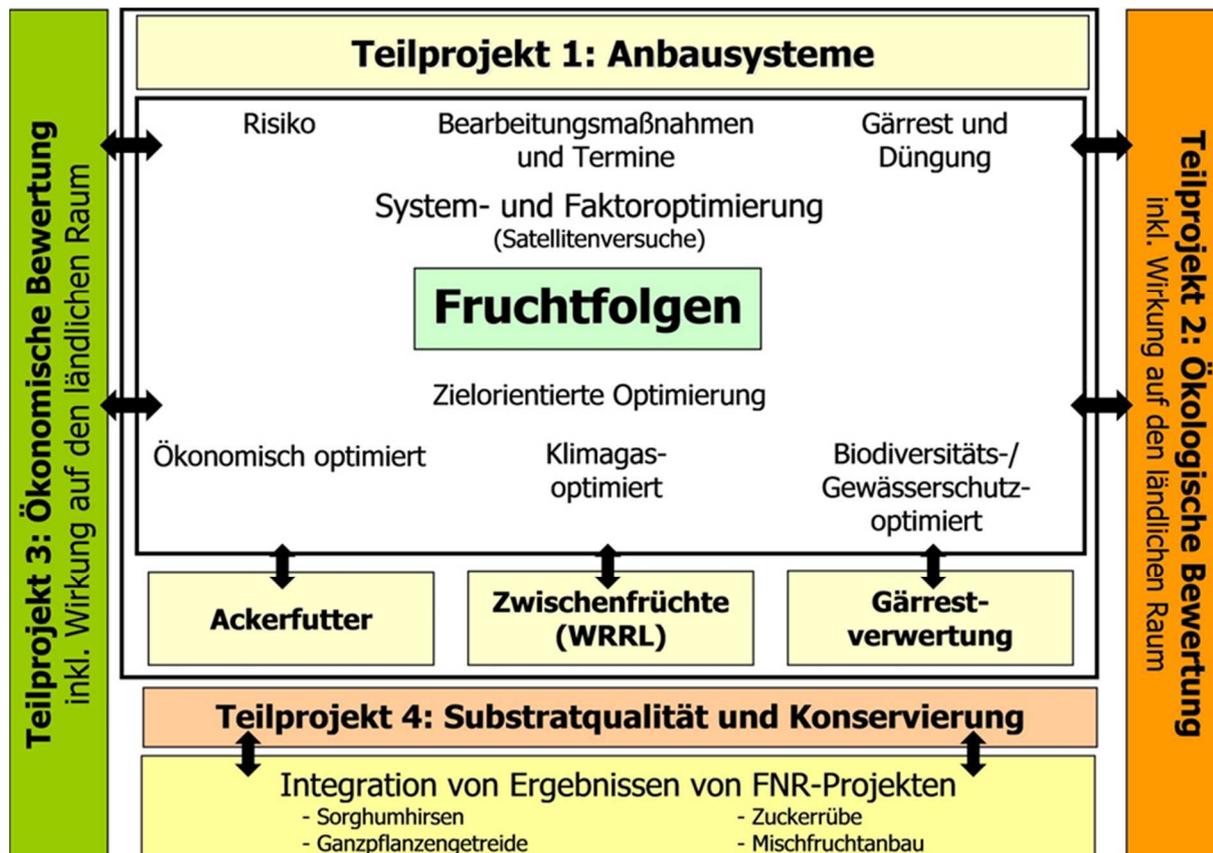


Abbildung 27: Organigramm des EVA-Projektes mit vier Teilprojekten (TP), Graphik: Eckner

Eine Beurteilung der Anbauoptionen erfolgt oft nur aus dem jeweils betrachteten Blickwinkel und damit anhand einzelner Größen. Auftretende Zielkonflikte, beispielsweise in Bezug auf Einkommenssicherung und Umweltschutz oder auf pflanzenbaulicher Ebene zwischen Ertragsmaximierung und Ertragszuverlässigkeit, finden zumeist keine Berücksichtigung. Um die überaus komplexen Ergebnisse aus dem EVA-Verbund-Projekt übersichtlich darstellen zu können, wurde eine Methode für eine zusammenfassende Bewertung erarbeitet. Aufgebaut ist diese aus erarbeiteten pflanzenbaulichen, ökologischen und ökonomischen Indikatoren. Ein vierter Indikator bewertet die Ressourceneffizienz. Die Ergebnisse, Modelle und Messdaten der Teilprojekte 1 - Anbausysteme, 2 – Ökologische Bewertung, 3 - Ökonomische Bewertung und 4 – Substratqualität und Konservierung bilden die Grundlage. Genaue Definitionen untermauern deren Aussagekraft und ihre Systemgrenzen.

Das erarbeitete Bewertungssystem bietet der landwirtschaftlichen Praxis übersichtliche Entscheidungsgrundlagen zum Thema Anbausysteme. Nutzbar ist es darüber hinaus von politischen Entscheidungsträgern zur Ausarbeitung notwendiger Maßnahmen, z. B. zum Gewässerschutz.

Methoden

Die im Folgenden aufgeführten Hauptindikatoren bestehen aus mehreren Einzelindikatoren, die aus einem Pool erhobener Daten zu vielen verschiedenen Fragestellungen und Untersuchungen der vier Teilprojekte stammen. Ausgewählt wurden die Einzelindikatoren, weil sie Schlüsselwerte für die Bereiche *Anbaueignung*, *Ökologische Risiken*, *Ökonomische Attraktivität* und *Ressourceneffizienz* darstellen. Wie auch bei Ökobilanzen und Lebenszyklusanalysen werden die Indikatoren, mit dem Ziel einer einfachen Bewertungsdarstellung (Aggregation), zusammengefasst.

Anbaueignung

Als maßgebliche Indikatoren zur Bewertung der *Anbaueignung* gelten die Methanerträge pro Flächeneinheit [$\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$], die für die Leistung eines Systems an diesem Standort stehen sowie die Stickstoffaufwendungen als Indikator für dessen Intensität. Die spezifischen Methanausbeuten der Fruchtarten wurden durch die Trockenmasseerträge der Parzellenversuche und die Batchgärttests nach VDI 4630 vom TP 4 (Herrmann C. H., 2011) ermittelt. In der EVA-Online-Datenbank sind die N-Aufwendungen dokumentiert. Landwirte müssen in diesem Zusammenhang die gesetzliche Bezüge zur Düngeverordnung (DüV, 2007) und zur europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) beachten. Als dritter Indikator fungiert der errechnete Pflanzenschutzbehandlungsindex, der ebenfalls etwas über die Intensität des Anbausystems aussagt, wie auch für dessen Stabilität am Standort. Die Berechnung wurde mit Hilfe der Versuchsdokumentation aus der EVA-Online-Datenbank nach Roßberg (Roßberg D., 2016) vorgenommen. Der nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Bundesregierung, Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, 2013) stellt die politische Grundlage dar.

Ökologische Risiken

Hinter den *ökologischen Risiken* stehen vier sehr verschiedene Einzelindikatoren, die die Gefährdung des überaus komplexen Ökosystems abbilden. Zunächst aufzuführen ist die Humusbilanz als notwendiges Werkzeug für die Gewährleistung eines gleichbleibenden C_{org} -Gehalts im Boden. Neben der Methode der Humusbilanzierung der VDLUFA (VDLUFA, 2014) wird das Modell CANDY Carbon Balance (CCB) (Franko, Kolbe, Thiel, & Ließ, 2011) mit einbezogen. Dieses berechnet, neben der Humusproduktion durch Fruchtart und organische Düngung, auch Bodenatmung und weitere C- und N-Größen des Bodens. Grundlage für die Wahl der Indikatoren sind Bezüge zu Gesetzen, Verordnungen und Strategien, wie die Grundsätze der guten fachlichen Praxis im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998). Die mit dem Modell MiLa [$\text{t CO}_2\text{-Äq}/\text{ha}$] ermittelten Treibhausgasemissionen und der Nitrataustrag (Modell MONICA) stehen für unmittelbare Einträge des Energiepflanzenanbaus in die Ökosysteme und beziehen sich auf verschiedene Nachhaltigkeitsverordnungen des Bundes (BioKraft-NachV, 2009) (BioSt-NachV, 2011) und auf die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000). Mit dem ZALF-Lebensraummodell HVM wird die biotische Bewertung der Anbausysteme vorgenommen. Der Brutvogelindex steht für die Eignung der Ackerflächen als Lebensraum für Vögel und ist damit der Einzelindikator für die Biodiversität, die in der „Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt“ zum besonderen Schutzgut erklärt wurde (Bundesregierung, Nationale Nachhaltigkeitsstrategie, 2013).

Ökonomische Attraktivität

Bewertungsindikatoren für die *ökonomische Attraktivität* sind die Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAKfL) in €/ha, ein Wert, der die Wirtschaftlichkeit einer Fruchtfolge auf der Fläche darstellt. Die Berechnung wird mit Hilfe des DLG-Praxisleitfadens (DLG, 2011) und der Versuchsdokumentation der EVA-Online-Datenbank vorgenommen. Die produktbezogenen Kosten, die Methangestehungskosten [€/Nm³ CH₄] stehen als zweiter Indikator für die Wirtschaftlichkeit des erzeugten Produktes Methan innerhalb der Anbausysteme. Grundlage der Berechnung ist ebenfalls der DLG-Praxisleitfaden (DLG, 2011) und der im EVA-Projekt ermittelte Methanertrag.

Ressourceneffizienz

Drei Ressourcen stellen sich als maßgebliche Indikatoren für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau dar. Wichtigste Produktionsgrundlage in der Landwirtschaft ist die Fläche,

weshalb als erster Indikator die Flächeneffizienz ausgewählt wurde. Sie ist quasi das Reziprok der Methanertragsgröße [$\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}$] und sagt damit aus, wieviel Fläche zur Erzeugung von einem $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ benötigt wird. Der zweite Indikator ist die berechnete Energieeffizienz als EROI-Faktor. Dieser bezeichnet das Verhältnis der nutzbaren Energie zur eingesetzten Energie (*Energy Returned on Energy Invested*), was eine Grundlagenrechnung aus der Sparte der Energiebereitsteller ist. Die Effizienz des eingesetzten Stickstoffes wird durch den dritten Indikator, die N-Effizienz, ausgedrückt. Sie gibt die Verwertung des eingesetzten N durch den Entzug der Pflanze an. Damit kann die Düngeneffizienz eines Anbausystems bewertet werden.

Berechnung

Für die Bewertung bleiben die Systemgrenzen des Versuchsdesigns bestehen, d. h. die Fruchtfolgen werden pro Standort betrachtet. Grundlage bilden die erhobenen und modellierten gemittelten Werte aus den Rotationen (1. bis 4. Anlage). Zwischen den Projektphasen EVA I (2005 bis 2009, 1. und 2. Anlage) und EVA II (2009 bis 2013, 3. und 4. Anlage) erfolgten teilweise Veränderungen bzw. Anpassungen der Fruchtfolgegestaltung (Nehring und Vetter, 2009); (Eckner, Strauss, Nehring und Vetter, 2013). Hier werden zwei Fruchtfolgen (FF01_A und FF01_B) bewertet.

Berechnungen der einzelnen Indikatoren enden beim Hoftor mit der Entnahme der Silage (Festfahren der Silage im Silo und das Einsilieren sind inbegriffen). Außerdem werden die Gärreste im pflanzenbaulichen Teil nicht mitbewertet. Die Ökonomie bewertet sie jedoch mit den Preisen für die Hauptnährstoffe, weil sie bei der Biogasproduktion entstehen. Für die jeweiligen Einzelindikatoren bestehen methodische Definitionen, die an Standards, Richtlinien und anerkannten wissenschaftlichen Arbeiten mit einheitlichen Bezugsgrößen und Systemgrenzen orientiert sind. Hinterlegt sind die Einzelindikatoren mit einheitlich im EVA-Projekt erhobenen Daten, die empirischen, abgeleiteten sowie modellierten Ursprungs sein können. Dazu gehören initiale Kartierungen der Bodenprofile an den Versuchsstandorten, Bodenprobennahmen vor Versuchsbeginn und Datenerhebungen, die auf abgestimmten Methoden (EVA-Methodenhandbuch) basieren. Weitere Grundlagen sind der einheitliche Start der Parzellenversuche in den Jahren 2005, 2006, 2009 und 2010 mit mindestens vier Wiederholungen je Prüfglied und Winterweizen bzw. Winterroggen als integratives Abschlussglied aller Fruchtfolgen. Das Abschlussfruchtfolgeglied dient der Ermittlung von Fruchtfolgeeffekten.

Für die Berechnung wird zunächst eine Standardisierung und Normierung in der folgenden Weise vorgenommen, um zu einem einheitlichen Maßstab zu kommen.

$$I_{S,i} = s \frac{I_i - \mu}{\sigma}$$

μ ist das arithmetische Mittel und σ ist die empirische Standardabweichung. Der Faktor s dient dazu, die Richtung der normierten Indikatoren zu vereinheitlichen. Die normierten Indikatoren weisen dann Werte um den Nullbereich auf, wobei ein Wert von 1 bedeutet, dass das Prüfglied um eine Standardabweichung unter dem Durchschnitt liegt. Eine Standardisierung und Normierung wird in der nachfolgend beschriebenen Weise vorgenommen, um zu einem einheitlichen Maßstab zu kommen.

Für jeden Standort wird ein Mittelwert über die Rotationen aller Fruchtfolgen errechnet, der sich auf einen Zeitraum von vier Jahren bezieht, z. B. $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ha}/4\text{a}$. Je mehr Vergleichsfruchtfolgen vorhanden sind, desto stabiler werden die Werte für den Mittelwert und die

Standardabweichung. Einbezogen in die Mittelwertbildung sind neben den fünf Standardfruchtfolgen auch die je Standort unterschiedlich konzipierten Regionalfruchtfolgen. FF01 unterscheidet sich in der 1. und 2. Anlage (FF01_A) von der 3. und 4. Anlage (FF01_B). In die Bewertung gehen somit zwei Fruchtfolgen ein, die jeweils nur zwei Werte haben. Das trifft auch für Regionalfruchtfolgen zu, die nicht in der gesamten Projektzeit von EVA I und II auf dem Versuchsfeld standen. Um Überbewertungen veränderter Fruchtfolgen zu verringern, fließen in die Standardisierung die Mittelwerte der unveränderten Fruchtfolgen doppelt ein.

Die nachfolgende Aggregation der Werte für die Themenbereiche erfolgt gleichgewichtet. Für Fruchtfolgen mit versuchsbedingt bzw. methodenbegründet unvollständigen Einzelwerten vor der Aggregation erfolgt keine Bewertung.

Mit Hilfe eines Ampelsystems ist die Darstellung und Einstufung für die Aggregationen der Themenbereiche möglich. Die Farbgebung kann statistisch anhand von Verteilungsparametern begründet werden.

- Rot \leq unteres (1.) Quartil; negative Bewertung
- Gelb = zwischen unterem und oberem Quartil
- Grün $>$ oberes (3.) Quartil; positive Bewertung

Eine Bereinigung um „Ausreißer“ ist nicht notwendig. Ausgehend von einer Normalverteilung der Werte werden mit der Auswahl der Verteilungsparameter für die Darstellung positive (grüne Ampel) oder negative (rote Ampel) Werte gekennzeichnet (Abb. 28).

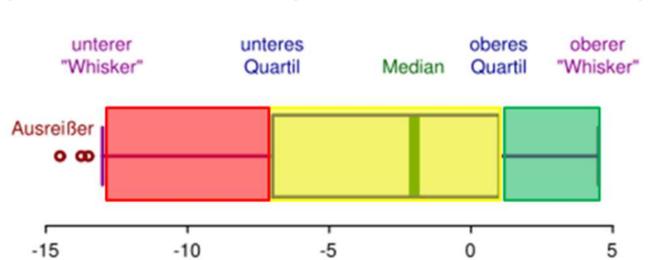


Abbildung 28: Bildliche Darstellung der statistisch begründeten Farbgebung für das Ampelsystem

Für weiterführende Analysen liegen die aggregierten Indikatoren und weitere erarbeitete Größen für die Standorte in verschiedenen Aufbereitungsstufen vor. Deren Dokumentationen, je nach Anforderung prüfgliedbezogen oder parzellenkonkret, sind in der EVA-Online-Datenbank hinterlegt.

Ergebnisse

Die beste Bewertung zeigt die mit Beginn der Projektphase EVA II geänderte FF01_B (3. und 4. Anlage) am Standort Trossin. Für alle Themenbereiche sind hier die aggregierten Werte als positiv zu bewerten. Bei guter ackerbaulicher Anbaueignung mit hohen Ertragsleistungen und vergleichsweise geringer Faktorintensität sind geringe ökologische Risiken für die betrachteten Schutzgüter zu erwarten. Gleichzeitig werden die eingesetzten Ressourcen effizient eingesetzt, so dass FF01_B am Standort Trossin ökonomisch attraktiv erscheint (Abbildung 29).

Fruchtfolge	EVA-Standard-fruchtfolgen	Anbau-eignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourcen-effizienz
01_B 3. und 4.Anlage Wintergerste/Sorghum - Mais - Wintertriticale/Phacelia - Winterweizen (Korn)					

Abbildung 29: FF01_B; Trossin

An anderen Standorten ist die gleiche Fruchtfolge uneinheitlich und schlechter bewertet. Übereinstimmend weist FF01_B auf weiteren zwei Versuchsfeldern (Ettlingen, Werlte) positiv zu bewertende Ressourceneffizienz auf. An drei Standorten ist die FF als ökonomisch attraktiv einzuschätzen (Ascha, Dornburg, Trossin). Demgegenüber zeigen sich jedoch auch Spannungsfelder. So erscheint die Fruchtfolge in der vorgenommenen Gesamtbewertung ökonomisch vorzüglich, weist jedoch eine geringe agronomische Anbaueignung und ein hohes Umweltgefährdungsrisiko auf.

Für die dargestellten Fruchtfolgen (Abbildung 30) erfolgten positive Bewertungen, ohne dass Zielkonflikte für andere Themenbereiche bestehen, weil dort auch positive bzw. mittlere Bewertungen vorliegen.

Fruchtfolge	EVA-Standard-fruchtfolgen	Anbau-eignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourcen-effizienz
Ascha					
03 1. bis 4.Anlage Mais - Winterroggen/Sorghum - Wintertriticale/einjähriges Weidelgras - Winterweizen (Korn)					
Bernburg					
06 3. und 4.Anlage Mais - Mais - Mais - Winterweizen (Korn)					
Dornburg					
04 1. bis 4.Anlage S.Gerste/Luzernegras - Luzernegras - Luzernegras - Winterweizen (Korn)					
Ettlingen					
09_B 3. und 4. Anlage Mais - Wintergerste/Sorghum - Mais - Winterweizen (Korn)					
Gülzow					
04 1. bis 4.Anlage S.Gerste/Klee gras - Klee gras - Klee gras - Winterweizen (Korn)					
Güterfelde					
09 1. bis 4.Anlage Hafer/Erbsen/Leindotter - Winter rap - - Winterroggen/Sorghum - Winterroggen (Korn)					
Trossin					
01_B 3. und 4.Anlage Wintergerste/Sorghum - Mais - Wintertriticale/Phacelia - Winterweizen (Korn)					
Werlte					
08_B 3. und 4. Anlage Körnermais - Winterweizen - Wintergerste (Korn) - Winterweizen (Korn)					

Abbildung 30: Bestbewertete Fruchtfolge je Standort nach Integrative Gesamtbewertung, alle Fruchtfolgen, alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2013

Am Standort Bernburg mit intensiv geführten Fruchtfolgen bei hohem Ertragspotential ist die Fruchtfolge Mais-Mais-Mais-W.Weizen (Korn) am besten zu bewerten. Bei hoher Anbaueignung und höchster ökonomischer Vorzüglichkeit bestehen in Ableitung aus den EVA-Fruchtfolgeversuchen keine hohen potentiellen Umweltrisiken und keine negative Ressourceneffizienz.

Hervorzuheben ist die positive Bewertung der FF04 in Dornburg und Gülzow. An allen anderen Standorten zeigt diese Ackerfutterfruchtfolge auch positive Ausprägungen für die Indikatoraggregation der Themenbereiche „ökologische Risiken“ und „Ressourceneffizienz“. Die Anbaueignung der Ackerfutterfruchtfolge ist an fast allen Standorten positiv bis auf die mittlere Bewertung in Werlte aufgrund hoher N-Aufwendungen. Allerdings ergeben sich Defizite in der ökonomischen Attraktivität, bedingt durch Mehrschnittigkeit und das zweistufige Ernteverfahren. Dieses verursacht hohe oder höchste produktbezogene Kosten (0,09- 0,19 €/Nm³CH₄) (Abbildung 31).

Fruchtfolge	EVA-Standardfruchtfolgen	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz	Fruchtfolge	EVA-Standardfruchtfolgen	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz
Ascha 04 1. bis 4.Anlage Sommergerste/Kleegras - Kleegras - Kleegras - Winterweizen (Korn)						Gülzow 04 1. bis 4.Anlage Sommergerste/Kleegras - Kleegras - Kleegras - Winterweizen (Korn)					
Bernburg 04 3. und 4.Anlage S.Gerste/Luzernegras - Luzernegras - Luzernegras - Winterweizen (Korn)						Güterfelde 04 1. bis 4.Anlage S.Gerste/Luzernegras - Luzernegras - Luzernegras - Winterweizen (Korn)					
Dornburg 04 1. bis 4.Anlage S.Gerste/Luzernegras - Luzernegras - Luzernegras - Winterweizen (Korn)						Trossin 04 1. bis 4.Anlage S.Gerste/Luzernekleegras - Luzernekleegras - Luzernekleegras - Winterweizen (Korn)					
Ettlingen 04 1. bis 4.Anlage S.Gerste/Luzernekleegras - Luzernekleegras - Luzernekleegras - Winterweizen (Korn)						Werlte 04 1. bis 4.Anlage Sommergerste/Kleegras - Kleegras - Kleegras - Winterweizen (Korn)					

Abbildung 31: Integrative Gesamtbewertung der FF04 (Ackerfutter), Grundversuch, alle Standorte; 2005 bis 2013

Die Bewertung der Anbaueignung zeigt, dass die regional konzipierten Fruchtfolgen an den Standorten Bernburg, Güterfelde, Trossin und Werlte im Vergleich zu den Standardfruchtfolgen besser abschneiden, an den anderen Standorten jedoch schlechter. In der Konzeption der Fruchtfolgen wurden, neben dem Versuch, vorteilhafte Kombinationen von standortangepassten Fruchtarten für die Biomasseproduktion zu prüfen, auch Selbstfolgen (Mais oder Sorghum) und ortstypische Marktfruchtfolgen als Referenzen angebaut. Die Unterschiedlichkeit der Regionalfruchtfolgen und der Ansätze lässt keinen übergreifenden Vergleich zu. Deutlich zu sehen ist allerdings, an welchen Standorten regionalen Fruchtfolgekonzeptionen leistungsfähig und nachhaltig sind, wie z. B. in Güterfelde. Hier ist nicht nur die Anbaueignung der gewählten Fruchtfolgen vermehrt im grünen Bereich, auch andere Indikatoren sind gut bewertet. Ein Blick auf die Bewertung der Regionalfruchtfolgen in Trossin dagegen zeigt für mindestens zwei von vier Aggregationen negative Merkmalsausprägungen (Abbildung 32).

Fruchtfolge	EVA-Standardfruchtfolgen	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz	Fruchtfolge	EVA-Standardfruchtfolgen	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz
Güterfelde 06 1. bis 4.Anlage Sommerroggen - Senf/Lupine - Winterroggen - Winterroggen (Korn)						Trossin 06_A 1. und 2.Anlage Wintergerste - Winterraps - Landsberger Gemenge/Sorghum - Winterroggen (Korn)					
Güterfelde 08 1. bis 4.Anlage Topinambur - Topinambur - Topinambur - Winterroggen (Korn)						Trossin 06_B 3. und 4.Anlage Sommerroggen - Winterraps - Landsberger Gemenge/Sorghum - Winterroggen (Korn)					
Güterfelde 09 1. bis 4.Anlage Hafer/Erbsen/Leindotter - Winterraps - Winterroggen/Sorghum - Winterroggen (Korn)						Trossin 07_A 1. und 2.Anlage Mais - Winterroggen/Sorghum - Kartoffeln - Winterroggen (Korn)					
						Trossin 07_B 3. und 4.Anlage Mais - Winterroggen/Sorghum - Kartoffeln - Winterroggen (Korn)					

Abbildung 32: Integrative Gesamtbewertung von Regionalfruchtfolgen, Güterfelde und Trossin, Grundversuch, 2005 bis 2013

Unter den verschiedenen Standortbedingungen in Deutschland erscheinen bei der zugrunde gelegten Methodik der Bewertung für den Themenbereich Anbaueignung unterschiedliche Fruchtfolgen empfehlenswert. Mit positiven Merkmalsausprägungen für die Werteaggregation an sieben von acht Standorten ist FF04 mit mehrjähriger Nutzung von standortangepassten Ackerfuttermischungen mit Leguminosen hervorzuheben.

Als wirtschaftlich attraktiv erweisen sich Fruchtfolgen mit ein oder mehreren Zweikulturnutzungssystemen. So ist in Ascha, Dornburg und Trossin die FF01_A, in Gülzow und Güterfelde die FF01_B und in Ascha, Gülzow, Trossin und Werlte ist die FF03 betriebswirtschaftlich vorzüglich (Abbildung 33). Ebenso sind verschiedene Regionalfruchtfolgen mit integrierten Zweikulturnutzungssystemen ökonomisch attraktiv. Die geprüften Mais-Selbstfolgen in Bernburg, Dornburg und Etlingen zeigen erwartungsgemäß positive Merkmalsausprägungen für die Aggregation im Themenbereich ökonomische Attraktivität.

Die Wirtschaftlichkeit einer Fruchtfolge steht oft im Gegensatz zu allen anderen Bewertungsindikatoren, es bestehen aber keine einheitlichen Zusammenhänge, weder was die Fruchtfolge und den Standort, noch was den Bewertungsindikator betrifft. Ein deutlicher Zusammenhang besteht nur bei der Ackerfuttermischungsvariante zwischen der schlechten Wirtschaftlichkeit und weitgehend positiver Bewertung aller anderen Indikatoren (vgl. Abbildung 31).

Ökonomische Attraktivität geht nur an drei von neun Standorten einher mit landwirtschaftlicher Anbaueignung und steht oft im Gegensatz zu einer Vermeidung ökologischer Risiken. Ein positiver Zusammenhang zur Ressourceneffizienz ist nur am Standort Trossin mit der homogenen guten Bewertung für die FF01_B gegeben.

Als wirtschaftlich attraktiv erweisen sich Fruchtfolgen mit ein oder mehreren Zweifruchtssystemen, die sowohl C₃- als auch C₄-Pflanzen beinhalten. So ist in Ascha, Dornburg und Trossin die FF01_A, in Gülzow und Güterfelde die FF01_B und in Ascha, Gülzow, Trossin und Werlte die FF03 vorzüglich. Weiterhin sind einige in der Art gestalteten Regionalfruchtfolgen

ökonomisch attraktiv. Gut bewertet sind auch die Mais-Selbstfolgen in Bernburg, Dornburg und Ettlingen.

Fruchtfolge	EVA-Standardfruchtfolgen	Ascha				Gülzow				Trossin				Werlte			
		Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz
03 1. bis 4. Anlage Mais - Winterroggen/Sorghum - Wintertriticale/einjähriges Weidelgras - Winterweizen (Korn)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
01_B 3. und 4. Anlage Wintergerste/Sorghum - Mais - Wintertriticale/Phacelia - Winterweizen (Korn)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
02 1. bis 4. Anlage Sorghum - Winterroggen/Mais - Wintertriticale (Korn) - Winterweizen (Korn)		○	○	○	○					○	○	○	○				
01_A 1. und 2. Anlage Sommergerste/Ölrettich - Mais - Wintertriticale/Sorghum - Winterweizen (Korn)		○	○	○	○	○	○	○	○								

Abbildung 33: Integrative Gesamtbewertung, Fruchtfolgen mit positiver Merkmalsausprägung „ökonomische Attraktivität“, alle Standorte, Grundversuch, FF01 bis FF05; 2005 bis 2013

Die FF04 (Ackerfutter) führte an allen Standorten zu geringsten negativen Umweltwirkungen im Vergleich aller Fruchtfolgen und positiven Bewertungen für den Bereich „Ökologische Risiken“ an acht von acht Standorten. Auf Grund der zweijährigen Standzeit des Ackerfutters verringern sich die Bodenbearbeitungsmaßnahmen im Vergleich zu annuellen Kulturen. Durch die Kombination von Ackergräsern mit Leguminosen und der damit vorhandenen legumen Stickstoffverbindungen können die N-Düngung verringert und damit sowohl THG-Emissionen als auch Nährstoffausträge reduziert werden. Blühaspekte und strukturierte Bestände begünstigen die Habitateignung für eine Vielzahl von Organismen. Die marktfuchtgeprägte FF05 erhielt an sechs von acht Standorten eine positive ökologische Bewertung. Gründe sind die gute Habitateignung durch Blühaspekte und ganzjährige Bodenbedeckung, ein geringes Nitratverlagerungspotential und ausgeglichen Humusbilanzen durch verbleibendes Rapsstroh. Weiterhin zeigen sich unterschiedliche Regionalfuchtfolgen ökologisch vorteilhaft.

Die Bewertung der Ressourceneffizienz auf der Grundlage Produktionsfaktoren Fläche, Energie und N-Dünger lässt einen Zusammenhang zur Ökonomie vermuten. Dieser wird mit den vorliegenden Auswertungen nicht bestätigt. Jedoch stellt sich ein deutlicher Zusammenhang zu den Umweltwirkungen dar. Fruchtfolgen mit hoher Ressourceneffizienz bedingen auch geringe ökologische Risiken (Abbildung 34). Wie für FF04 zeigen sich für FF05 Schwachstellen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, zusätzlich ergeben sich Defizite für die Anbaueignung.

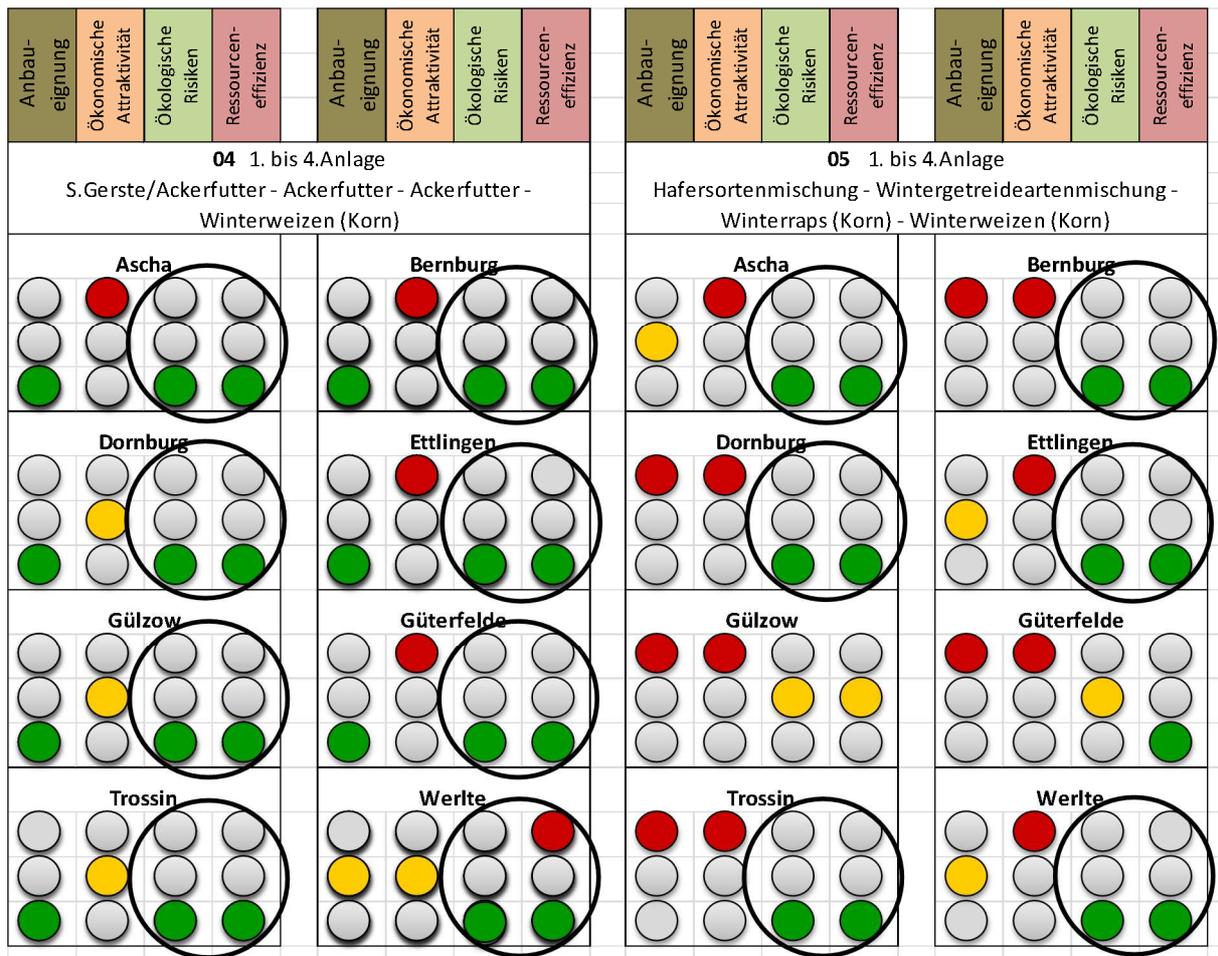


Abbildung 34: Integrative Gesamtbewertung; FF04, FF05; alle Standorte, Grundversuch, 2005 bis 2013

Neben den beiden oben aufgeführten Fruchtfolgen hat nur noch die FF01_B an zwei Standorten (Ettlingen und Trossin) sowie eine Regionalfruchtfolge in Ascha eine gute Bewertung für die Ressourceneffizienz erhalten. Negativ bewertet war die FF01_A (Sommergerste/Ölrettich-Mais-Wintertriticale/Sorghum-W.Weizen (Korn)), die für EVA I konzipiert wurde. Nach den Ergebnissen aus zwei Rotationen wurde sie als nicht weiter prüfungswürdig befunden und durch die FF01_B (Wintergerste/Sorghum-Mais-Wintertriticale/Phacelia-W.Weizen (Korn)) ersetzt. Die Bewertung der Ressourceneffizienz stützt diese Entscheidung.

Auch bei einer integrativen Gesamtbewertung ist der Einflussfaktor Standort x Jahreswitterungen abzulesen. Die Regionalfruchtfolgen FF08_A und FF08_B am Standort Werlte wurden in der 1. bis 4. Anlage gleichgestaltet geprüft. In der separaten Bewertung zeigten sich für die Anlagen 1 und 2 gegenüber den Anlagen 3 und 4 deutliche Unterschiede (Abbildung 35).

Fruchtfolge	EVA-Standardfruchtfolgen	Anbaueignung	Ökonomische Attraktivität	Ökologische Risiken	Ressourceneffizienz
08_A 1. und 2. Anlage Körnermais - Winterweizen - Wintergerste (Korn) - Winterweizen (Korn)		●	●	○	○
		○	○	●	●
08_B 3. und 4. Anlage Körnermais - Winterweizen - Wintergerste (Korn) - Winterweizen (Korn)		○	○	○	○
		○	●	○	●
		●	○	●	○

Abbildung 35: Integrative Gesamtbewertung der FF08_A, 2005 bis 2009 und FF08_B, 2009 bis 2013; Werte

Die Gesamtbewertungen aller Fruchtfolgen und Standorte mit den zugehörigen Standortcharakterisierungen befinden sich in Anhang 1c.

Fazit

In der einzelstandörtlichen Betrachtung stehen vielfach positiven Merkmalsausprägungen einzelner Bewertungsbereiche negative Merkmalsausprägungen in anderen Segmenten entgegen. Deshalb kann in einer Gesamtbewertung keine allgemeingültige Anbauempfehlung gegeben werden. Vielmehr sind in weiterführenden Analysen die Schwachstellen der Anbausysteme ausfindig zu machen und durch Anpassung und Optimierung der Verfahren zu minimieren bzw. auszugleichen. Dabei können sowohl Veränderungen der Fruchtfolgegestaltung als auch Anpassungen der Anbaustrategien hinsichtlich Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutzstrategie oder deren Kombinationen zum Ziel führen. Gleichzeitig müssen zur Vermeidung von Zielkonflikten auch Maßnahmen zur Verringerung der vom Anbau ausgehender Umweltrisiken und Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourcennutzungseffizienz Berücksichtigung finden.

Die interdisziplinäre Auswertung der Ergebnisse zeigt, neben ermittelten Übereinstimmungen, dass einzelne Indikatoren bzw. Zielgrößen divergieren. Somit stehen in der Bewertung und bei der Anbauentscheidung oft einzelne Interessen konträr zueinander. Zusätzlich zeigen sich standortabhängige und rotationsbedingte Ausprägungen der einzelnen Größen.

Bei Anbauentscheidungen können verschiedene Bewertungsebenen (Anbaueignung, ökonomische Attraktivität, ökologische Risiken und Ressourceneffizienz) Berücksichtigung finden. Bei der Entscheidung nach einer Ebene sind die Konsequenzen in anderen Bereichen überschaubar. Die Bewertungsmethode kann Landwirten eine wertvolle Unterstützung für die Anbauplanung sein, weil standortgebundene, ökonomische und ökologische Voraussetzungen impliziert sind.

Die Gesamtbewertung der EVA-Untersuchungen ist auch als Basis für agrarpolitische Maßnahmen nutzbar. Sie ist als Grundlage für die Gestaltung eines nachhaltigen und ökologisch verträglichen Energiepflanzenanbaus heranzuziehen. Entsprechende Maßnahmen können sowohl regional wie überregional konzipiert werden. Beispielsweise das für Biodiversität, Klima, Gewässer sowie Landwirte überregional gleichermaßen vorteilhafte Anbausystem der FF04 mit mehrjähriger Ackerfütternutzung könnte mit einer gezielten Förderung auch ökonomisch attraktiver werden. Die Nutzung des im EVA-Projekt entwickelten Gesamtbewertungssystems ermöglicht über den Energiepflanzenanbau hinaus Bewertungen für die Nahrungsmittelproduktion, den Futterbau sowie für die Agrarrohstoffproduktion zur Gestaltung

einer nachhaltigen Bioökonomie. Auch hier ist das Bewertungssystem als Hilfestellung für die Anbauentscheidung der Landwirte sowie für agrarpolitische Fördermaßnahmen dienlich.

1.5 Zusammenfassung

Ergebnisdarstellung:

Wissenschaftliche Nachweise zu Wirkungen von Fruchtfolgen zu führen, gestalten sich schwierig, weil Bewertungen ganzer Anbausysteme zeitlich, finanziell und rechnerisch aufwendig sind. Die sehr ambitionierten Untersuchungen des EVA-Verbundes veröffentlichten hier nicht nur die Ergebnisse der dritten Projektphase von April 2013 bis August 2016, sondern fügten auch die der gesamten 11-jährigen EVA-Projektlaufzeit zusammen. Die Ergebnisse basieren auf der Prüfung mehrerer Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Anbaueignung an 11 Standorten in Deutschland. Weitere Fragestellungen, z. B. zu Gärrestnutzung, Faktorminimierung und Zwischenfruchtanbau sind in verschiedenen Satellitenprojekten bearbeitet worden. Die geprüften Anbauoptionen wurden einer vielfältigen Bewertung ihrer Umweltwirkung auf verschiedene Schutzgüter unterzogen. Hinzu kamen die eigens im Projekt erhobenen Daten zu Substrateigenschaften und Gasbildungspotenzialen der Fruchtarten und Fruchtfolgen, die eine solide Grundlage für die ökonomischen Berechnungen und Bewertungen bildeten.

Fruchtfolgen:

Die Ergebnisse der weitergeführten Fruchtfolgen (**FF01 bis FF03**) zeigen, dass die Ertragsleistungen und Ertragsrisiken der Fruchtfolgen zwischen den Standorten differieren. Kombinationen unterschiedlicher Pflanzenarten (C_3 - und C_4 -Pflanzen) sowie Zweikultursystemen wiesen an allen Standorten ein hohes Ertragspotential auf. Das spezifische Wachstum, bedingt durch die Witterungsbedingungen der Einzeljahre, hatte größten Einfluss auf die Ertragsleistung einzelner Fruchtfolgen. Bei günstigen Witterungsbedingungen waren auch an ertragslimitierten Standorten wie Trossin und Güterfelde hohe Biomasseleistungen zu verzeichnen. Die absoluten Jahresniederschlagsmengen gaben dabei nur bedingt die tatsächlichen Wachstumsbedingungen wieder. Die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers und damit auch der Nährstoffe wurde stark durch die Niederschlagsverteilung im Jahr und das Wasserspeichervermögen der Böden gesteuert. Wiederholt traten Trocken- und Dürreperioden oder Einzelereignisse wie Starkregen auf, die sich negativ auf die Ertragsleistung der Fruchtfolgen auswirkten, aber in den Witterungsdiagrammen nur bedingt zum Ausdruck kommen.

Um die **FF04** attraktiver zu gestalten, wurde in EVA III nach 2-jährigem Ackerfutter Mais angebaut. Die spezifischen Wachstumsbedingungen, insbesondere der Etablierungsphase, spiegeln sich deutlich in schwankenden Erträgen wider. Der Mais zeigte keine herausragenden Erträge. Gute Ackerfuttererträge wurden an Standorten generiert, die sich bereits in früheren Projektphasen diesbezüglich auszeichneten sowie am neuen Standort Haus Düse. Die geänderte **FF05** mit Getreide-Körnerleguminosen-Gemenge/Winterzwischenfrucht-Mais-Zucker- oder Futterrübe erwies sich im Versuchszeitraum 2013 bis 2015 nur an einigen Standorten als ertragsstark. An einigen Standorten traten Probleme bei der Ernte und eine geminderte Substratqualität der geprüften Gemenge auf. Aspekte der Risikostreuung, günstigere Humusbilanzsalden und mögliche Produktionsfaktoreinsparungen bei Pflanzenschutzmitteln und N-Düngung gegenüber Getreidereinsaaten sowie ihre Funktion als Nahrungsquelle für Insekten durch die blühenden Leguminosen machten einen Anbau dennoch attraktiv. Mit der Zuckerrübe konnten hohe Biomasse- und Methanertragsleistungen realisiert werden, deren Ertragsschwankungen bei mehrjährigen Beobachtungen vergleichbar zu Mais waren. Vorteile ergaben sich bei dieser Kultur durch positive Vorfruchteffekte und Aufweitung

enger Fruchtfolgen sowie bezüglich der Wirksamkeit im Biogasfermenter. Hohe Kosten für Bergung und Reinigung minderten dagegen ihre ökonomische Vorzüglichkeit.

Die Maisselbstfolge (**FF11**), welche als Referenz in der Projektphase EVA III angelegt wurde, realisierte meist hohe Erträge. Erste Veränderungen in der Zusammensetzung der Beikrautflora wurden am Standort Dornburg durch Bonituren anhand der seit 2005 geprüften Maisselbstfolge (FF07 in EVA I und EVA II) belegt. Die Ergebnisse zeigen, dass für eine Ertragsicherung und ein effektives Resistenzmanagement intensivere Pflanzenschutzstrategien mit häufigeren Anwendungen notwendig werden könnten.

Die Bewertung der **Zweikulturnutzungssysteme** bestätigt die bisherigen Ergebnisse mit hohen und höchsten Biomasse- und Methanertragsleistungen. Dabei wurde das Ertragspotenzial des Standorts optimal ausgeschöpft (Einzeljahreserträge bis 330 dt TM/ha). Allerdings bestanden Etablierungsrisiken für Zweitfrüchte bzw. Stoppelsaaten, insbesondere an wasserlimitierten Standorten.

Umweltwirkungen:

Der Hauptfokus der letzten Projektphase (EVA III) lag auf Anpassungsstrategien zum Schutz von Ökosystemen und der Berücksichtigung gesellschaftlicher Belange. Diese spiegeln sich in der Ausgestaltung thematischer Fruchtfolgen zum Gewässer-, Klima-, und Biodiversitätsschutz wider. Dabei wurde im Besonderen auf den Bezug zu Gesetzen, Verordnungen, Strategien und Programmen, wie dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998), der Düngerverordnung (DüV, 2007), der Grundwasserschutzverordnung (GrwV, 2010), der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung, Nationale Nachhaltigkeitsstrategie, 2013) und dem Klimaschutzprogramm (Bundesregierung, Nationales Klimaschutzprogramm, 2005), geachtet.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit der Reduzierung der mineralischen N-Düngung um 25 % (bezogen auf SBA; FF12) keine signifikante Ertragsminderung verursacht, aber eine signifikante THG-Minderung erreicht wird. Zudem trägt diese Variante zum Gewässerschutz bei, weil geringere N-Düngung geringere Nitratauswaschungsrisiken birgt. Für den Gewässerschutz angelegte Fruchtfolgen (FF13) mit standortangepassten Winterzwischenfrüchten wiesen hohe Stickstofffixierungsleistungen in der Sickerperiode bei guter Bestandesentwicklung der Zwischenfrüchte in den Versuchen auf. Es ließen sich keine negativen Wirkungen des Zwischenfruchtanbaus auf den Ertrag der Folgekultur Mais feststellen, jedoch positive Vorfruchtwirkungen auf die Folgefrucht Winterweizen. In den Fruchtfolgen mit Zweikulturnutzungssystemen waren die Winterzwischenfrüchte als Biogassubstrat nutzbar. Zur Förderung der Biodiversität wurden Fruchtfolgen angelegt (FF13), die, neben Artenmischungen, Pflanzen mit ausgeprägtem Blühaspekt, Sommergetreide und/oder mehrjährige Kulturpflanzen in die Rotationen integrierten. Die visuelle Begutachtung der Prüfparzellen zeigte eine Vielzahl verschiedener Organismen, insbesondere von *Arthropoda*, woraus sich positive Effekte auf die Biodiversität ableiten lassen. Allerdings wird in der Regel ein Kompromiss zwischen Optimierung der Habitateignung für Organismen der Agraroffenlandschaft, Biodiversität und Ertragsleistung notwendig sein.

Die Bewertung der in EVA III angelegten Fruchtfolgen ist als nicht gesichert anzusehen, da sie auf Daten von lediglich einer Rotation basieren. Besonders für die in EVA III neu angelegten Versuche in Haus Düsse, Niederweiler und Lindenhof sind keine fundierten Bewertungen möglich.

Die ermittelten THG-Einsparungspotentiale waren in erster Linie auf den Verbrauch mineralischer Stickstoffdüngemittel zurückzuführen. Weitere Instrumente zur THG-Minderung sind Fruchtfolge- und Anbauplanung mit der Ausnutzung der entstehenden Gärreste gemäß ihrer Nährstoffinhalte. Feldemissionen können durch nährstoffoptimierte Ausbringungszeitpunkte

und Applikationstechniken minimiert werden. Angepasste Intensitäten der Bodenbearbeitung vermindern den Dieserverbrauch und daran gekoppelte Emissionen.

Intensiv geführte Kulturen und hohe Ertragspotentiale bargen Risiken für eine Gewässerbelastung durch Nährstoffverlagerung von N-Überhängen in der Sickerperiode. Bei einer Einbindung der Hauptertragsbildner (Mais, Sorghum) in diverse Fruchtfolgen konnten N-Überhänge durch nachfolgende Winterungen, Zwischenfrüchte oder eingebrachte Untersaaten wirkungsvoll in Biomasse umgesetzt bzw. zwischengespeichert werden. Im Ergebnis zeigte sich, dass Fruchtfolgegestaltung und ganz besonders der Anbau von Winterzwischenfrüchten als Instrumente zur Minderung von Nährstoffüberhängen in Frage kommen, aber immer durch weitere Maßnahmen, wie z. B. ein angepasstes Düngemanagement, flankiert werden sollten. Planvolle Bewirtschaftung, beispielsweise geteilte N-Düngegaben und eine auf die Mineralisierungsdynamik angepasste Bodenbearbeitung, ist grundlegend wichtig bei der Minimierung von N-Austrägen. Ebenso relevant ist die Berücksichtigung der jeweiligen Standortvoraussetzungen.

Die Intensität des Pflanzenschutzes ist beim Anbau von Energiepflanzen vergleichsweise gering. Eine standortangepasste Fruchtfolgegestaltung würde weitere Einsparungspotentiale bieten. Die Ackerfuttersysteme wies erwartungsgemäß den geringsten Behandlungsindex <0,1 auf.

Ertragsstabilität:

Um für die Anbauplanung entsprechende Entscheidungskriterien zu liefern, ist eine Bewertung der geprüften Fruchtarten und Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Ertragsstabilität und einer abgesicherten Substratbereitstellung notwendig. Die Differenziertheit der Anforderungen wird sich im Zuge des Klimawandels und der damit einher gehenden Jahresschwankungen weiter steigern und ein erhöhtes Maß an Umweltstabilität der Anbausysteme erfordern. In der Auswertung wurde deutlich, dass sich die Fruchtfolgeleistungen zwischen den Einzeljahren zum Teil signifikant unterscheiden. Die höchste Ertragsstabilität ließ sich für die geprüften Wintergetreidearten in unterschiedlichen Nutzungen ableiten. Im Gegensatz dazu zeigten sich die geprüften C₄-Pflanzen in Hauptfruchtnutzung instabil und rangierten auf den hinteren Plätzen. Die Zweikulturnutzungssysteme verhielten sich indifferent, wobei tendenziell die Kombination Wintergerste/Sorghum als stabiler als andere geprüfte Kombinationen zu bewerten war. Die geprüften Ackerfuttersysteme lagen in den Hauptnutzungsjahren überwiegend im mittleren Bereich.

Mit der angewandten Methode lassen sich aufgrund der tendenziellen Reaktionsnormen der Fruchtfolgen Risikoabschätzungen für die praktische Anbauplanung ableiten. Diversifizierung sowie eine horizontale und vertikale Fruchtfolgegestaltung mit Wechseln zwischen Sommerungen und Winterungen tragen in der Regel zur Ertragssicherung und Risikominimierung bei.

Integrative Gesamtbewertung:

Um die überaus komplexen Ergebnisse aus dem EVA-Verbund-Projekt übersichtlich darstellen zu können, wurde eine Methode für eine zusammenfassende Bewertung erarbeitet. In den einzelstandörtlichen Betrachtungen standen vielfach positive Merkmalsausprägungen einzelner Bewertungsbereiche negativen Merkmalsausprägungen anderer Segmente entgegen, so dass in einer Gesamtbewertung keine allgemeingültige Anbauempfehlung möglich war. Vielmehr sind in weiterführenden Analysen die Schwachstellen der Anbausysteme auffindig zu machen und durch Anpassung und Optimierung der Verfahren zu minimieren bzw. auszugleichen. Dabei können sowohl Veränderungen der Fruchtfolgegestaltung als auch

eine Anpassung der Anbaustrategien hinsichtlich Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutzstrategie oder deren Kombinationen zum Ziel führen. Gleichzeitig sind Maßnahmen zur Verringerung der vom Anbau ausgehenden Umweltrisiken und zur Verbesserung der Ressourcennutzungseffizienz der Anbauverfahren zu ergreifen, um Zielkonflikte zu vermeiden.

Anbauentscheidungen können nach verschiedenen Bewertungsebenen (Anbaueignung, Ökonomische Attraktivität, Ökologische Risiken und Ressourceneffizienz) Berücksichtigung finden. Bei der Entscheidung nach einer Ebene sind die Konsequenzen in anderen Bereichen überschaubar. Die Bewertungsmethode kann Landwirten eine wertvolle Unterstützung für die Anbauplanung sein, weil standortgebundene, ökonomische und ökologische Voraussetzungen impliziert sind.

Die Gesamtbewertung der EVA-Untersuchungen ist außerdem als Basis für agrarpolitische Maßnahmen nutzbar. Sie kann gut als Grundlage für die Gestaltung eines nachhaltigen und ökologisch verträglichen Energiepflanzenanbaus dienen. Entsprechende Maßnahmen können sowohl regional wie überregional konzipiert werden. Beispielsweise das für Biodiversität, Klima, Gewässer sowie Landwirte überregional gleichermaßen vorteilhafte Anbausystem der FF04 mit mehrjähriger Ackerfuttersnutzung könnte mit einer Förderung auch ökonomisch attraktiver werden. Die Nutzung des im EVA-Projekt entwickelten Gesamtbewertungssystems ermöglicht über den Energiepflanzenanbau hinaus Bewertungen für die Nahrungsmittelproduktion, den Futterbau, sowie für die Agrarrohstoffproduktion zur Gestaltung einer nachhaltigen Bioökonomie.

Erarbeitete Versuchs- und Ergebnisdaten liegen strukturiert in einer umfangreichen Datenbank vor, die von allen Partnern der verschiedenen Institute genutzt wurden. Dieser Datenpool war auch für andere Projekte hilfreich und würde für zukünftige Vorhaben nutzbar bleiben.

2. Verwertung

Der vorliegende Bericht liefert eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Teilprojektes 1 als pflanzenbaulicher Kern des EVA-Verbundprojektes. Mit der Ergebnisdarstellung werden die in vorangegangenen Projektphasen erlangten Erkenntnisse weitergeführt und präzisiert. Ebenso sind relevante, in wissenschaftlichen und fachlichen Veröffentlichungen vorliegende Auswertungen berücksichtigt.

Die Ausführungen umfassen dementsprechend ebenso weiterführende Auswertungen bereits vorliegender Daten und Versuchsergebnisse. Für die Fruchtfolgeversuche des Grundversuches der einzelnen Untersuchungsregionen und Standorte liegen differenzierte Ergebnisse und Ergebnisbewertungen in den im Anhang enthaltenen Berichten der einzelnen Partner vor. Gleichfalls sind die Berichte der fachlich weiterführenden Untersuchungen der Satellitenprojekte und ergänzenden Versuchsreihen beigelegt.

Eine Vielzahl von Datenauswertungen und Ergebnisinterpretationen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Arbeitsgruppen der einzelnen Teilprojekte 2 bis 4 oder stützt sich auf deren Arbeitsergebnisse. Gleichzeitig bauen die Untersuchungen der Teilprojekte auf den in den pflanzenbaulichen Versuchen erhobenen Daten auf. Zusammen mit den Berichten der Teilprojekte „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“ (Teilprojekt 2), „Ökonomische Begleitforschung“ (Teilprojekt 3) und „Ermittlung des Einflusses der Substratqualität und des Silagemanagements auf die Biogasausbeute“ (Teilprojekt 4) werden die Ergebnisse des Verbundprojektes umfassend dargestellt.

Durch zahlreiche Fachvorträge, Poster und Veröffentlichungen in Zeitschriften und Tagungsbänden wurden die Arbeitsergebnisse aus den Projektphasen EVA I, EVA II und EVA III für

eine breite Interessengruppe u. a. aus Wissenschaft, Praxis und Politik aufbereitet und veröffentlicht (Anhang 2a).

Neben dem während der Projektlaufzeit von EVA III ins Leben gerufenen EVA-Newsletter, der die Empfänger regelmäßig über Neuigkeiten aus dem EVA-Projekt informierte, gab es seit 2015 auch die monatlich veröffentlichte „EVA informiert“-Broschüre (Anhang 2b). In dieser wurden aktuelle Forschungsergebnisse und Erkenntnisse dargestellt. Die Autorenschaft lag bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Projektpartner an den Standorten und aus den anderen Teilprojekten.

Auf der Projekthomepage www.eva-verbund.de stehen diese und andere umfangreiche, für das Medium Internet aufbereitete Ergebnisse zur Verfügung. Die Seite wird seit 2012 betrieben und durch die TLL gepflegt. Seitdem waren 56371 Besuche, 132832 Seitenansichten und 18422 Downloads zu verzeichnen (Stand: 01.07.2016).

Mit der Ausrichtung von Feldtagen an den Versuchsstandorten und der Beteiligung an zahlreichen Veranstaltungen der Kooperationsinstitutionen wurden ausgewählte Ergebnisse der regionalen landwirtschaftlichen Praxis zugänglich gemacht und die Forschungsarbeiten und -themen vorgestellt.

Durch Weitergabe von ausgewählten und entsprechend der Anfragen aufbereiteten Daten aus dem EVA-Verbund an verschiedene Arbeitsgruppen bilden die im EVA-Projekt erhobenen Daten und gewonnenen Erkenntnisse Grundlagen für wissenschaftliche Arbeiten und fachliche Auswertungen (z.B. Modellparametrisierungen CCB; U.Franko- UFZ Halle-Leipzig; MONICA, MiLa, Mod-HVM; verschiedene Arbeitsgruppen- ZALF Müncheberg; Datenintegrationen in RAUMIS; S. Baum-Thünen Institut Braunschweig).

In zahlreichen fachlichen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden Ergebnisse aus dem EVA-Verbund zitiert bzw. darauf Bezug genommen.

Die Daten des EVA-Projektes liegen strukturiert in der EVA-Online-Datenbank vor. Die Verwertungen für weiterführende Auswertungen, Datamining und inter- und intradisziplinäre Arbeiten bedürfen weiterführender Nutzungskonzepte für die aufgebaute Datenbank in Zusammenarbeit mit dem Datenbankhalter (Professur für landwirtschaftliche Produktionsökonomik am Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft an der Justus-Liebig-Universität Gießen). Erste Nutzungskonzepte in Zusammenarbeit ausgewählter Kooperationspartner sind in der Erarbeitung. Eine Datennutzungsvereinbarung zwischen den Kooperationspartnern als Grundlage für die Datenweitergabe an Dritte ist erarbeitet und von den Partnern unterzeichnet worden. Das erarbeitete Datenbankkonzept kann als Basis für eine projektübergreifende Datensammlung für Anbauversuche von Agrarrohstoffen für die Bioökonomie dienen.

3. Erkenntnisse von Dritten

Erkenntnisse verschiedener Arbeitsgruppen und Projekte wurden durch laufende Recherchen und Tagungsbesuche als für das Forschungsvorhaben relevant identifiziert. Insbesondere die veröffentlichten Ergebnisse verschiedener Projekte zu Energiepflanzenkulturen fanden in der standortangepassten und praxisnahen Bewirtschaftung der Versuchspartzellen Berücksichtigung. Im Einzelnen sind dabei zu benennen:

- Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion
- Verbundvorhaben: Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen

- Optimierung des Anbauverfahrens Ganzpflanzengetreide, inklusive Arten- und Sortenmischungen für die Biogaserzeugung
- Die Zuckerrübe als Energiepflanze in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten – eine pflanzenbaulich/ ökonomische Systemanalyse

Durch den Austausch von Erfahrungen und Ergebnissen zwischen den Projektpartnern konnten diese u. a. in den spezifischen Kulturführungen Berücksichtigung finden.

Anpassungen von Versuchsfragestellungen und Versuchsdurchführung erfolgten aufgrund des Langzeitcharakters der Fruchtfolgeversuche nicht. Vorliegende relevante Erkenntnisse wurden in die durchgeführten Auswertungen und Bewertungen integriert. Auf berücksichtigte Ergebnisse und Aussagen ist in den Ergebnisdarstellungen verwiesen. Die fachliche Zusammenarbeit und der Datenaustausch mit einzelnen Arbeitsgruppen und Projekten wurden weitergeführt und ausgebaut.

Verwertbare Ergebnisse aus Fruchtfolgeprojekten, insbesondere unter Berücksichtigung von Energiepflanzen, sind während der Projektlaufzeit nicht bekannt geworden. Aufgrund der abweichenden Fragestellungen und Versuchsdurchführungen finden bekannte Dauerdüngungsversuche im Fruchtfolgeregime in den Auswertungen keine Berücksichtigung, Querauswertungen und direkte Vergleiche sind methodisch nicht vertretbar. Vorliegende Auswertungen von Simon, Hoffmann, Riedel und Hülsbergen (2015) aus dem Projekt „Optimierte Pflanzenbausysteme für nachhaltige und klimafreundliche Biogaserträge“ unterstreichen die Notwendigkeit langfristiger Untersuchungen aufgrund starker Einzeljahreseinflüsse.

Beispielhaft fanden die Ergebnisse folgender Veröffentlichungen in die Projektbearbeitung Eingang:

Daten aus dem EVA-Projekt TP3. (2016). *„Ökonomische Begleitforschung“*.

Auerbacher, J., Kornatz, P., & Dunkel, J. (2013). *Abschlussbericht Teilvorhaben 3: Ökonomische Begleitforschung (FKZ 22013208)*. Gießen.

Augustin, D. D. (2008). Rüben im Fermenter? *DLG- Mitteilungen* 5/2008, 54-56.

Bätz, D. G., Dörfel, D. H., Fuchs, P. D., & Thomas, D. E. (1987). *Einführung in die Methodik des Feldversuchs*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.

Baumgärtel, F. G., Ebertseder, D. T., Gutser, D. R., Hege, U., Hüther, D., Lorenz, D. F., et al. (2003). *Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis*. Frankfurt/Main: Bundesarbeitskreis Düngung.

Baumgärtel, G., & Olf, H.-W. (2014). Nitratwaschung – Ursachen und Maßnahmen zur Minimierung. *aid*.

BBodSchG. (1998). *Bundesregierung, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten*.

Biertümpfel, A., & Conrad, M. (2013). *Erhöhung des Leistungspotenzials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanzen durch Züchtung und Optimierung des Anbauverfahrens- Teilvorhaben 2*. Jena: TLL.

BioKraft-NachV. (2009). *Bundesregierung, Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen*.

BioSt-NachV. (2011). *Bundesregierung, Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung*.

Bischof, R. V. (2012). *Optimierung des Anbauverfahrens von Ganzpflanzengetreide, inklusive Arten- und Sortenmischungen für die Biogasproduktion. Schlußbericht (08NR129)*. Hannover: Technischen Informationsbibliothek und Informationsbibliothek.

Bischof, R., & Biertümpfel, A. (2015). *Nachhaltige Getreideganzpflanzenproduktion*. Jena: TLL.

- Bischof, R., Eder, L., & Weiser, C. (2016 in Vorbereitung). *Abschlussbericht "Erfassung und Bewertung der Einflüsse auf den Strohertrag als wesentliche Größe für den aus dem landwirtschaftlichen Kreislauf entnehmbaren Kohlenstoff"*. Jena: TLL.
- Böhm, H. (2014). Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren. 26. *Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*.
- Böttcher, F. (2014). *Wasserverbrauch und Wasserbilanz von Zwischenfrüchten auf Trockenstandorten*. Leipzig: DWD, Agrarmeteorologie .
- Bundesamt für Naturschutz. (2011). *Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft*. Abgerufen am 05. 11 2015 von http://www.biologischesvielfalt.de/ind_stickstoffueberschuss.html
- Bundesregierung. (2002). *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie*. Von <http://bfm.de/fileadmin/NBS/documents/Nachhaltigkeitsstrategie-langfassung.pdf> abgerufen
- Bundesregierung. (2005). *Nationales Klimaschutzprogramm*. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/15/059/1505931.pdf>.
- Bundesregierung. (2007). *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*. Berlin: BMUB.
- Bundesregierung. (2010). *GrWV, Verordnung zum Schutz des Grundwassers*.
- Bundesregierung. (2013). *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie*. <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2013/12/2013-12-05-weltbodentag.html>.
- Bundesregierung. (2013). *Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln*. Berlin: BMEL, BMUB.
- Buttlar, C. v. (2012). Empfehlungen zum Anbau von Energiepflanzen für Biogasanlagen aus Sicht des Gewässerschutzes. 2. *Sitzung des AK Umwelt im Fachverband Biogas (Vortrag)*.
- Buttlar, C. v., & Willms, M. (2016). Bewertung des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. *Berichte über Landwirtschaft Band 94 Ausgabe 2*, S. 1-23.
- Christen, O. (2001). Ertrag, Ertragsstruktur und Ertragsstabilität von Weizen, Gerste und Raps in unterschiedlichen Fruchtfolgen. *Pflanzenbauwissenschaften*, S. 33-39.
- Daten aus dem EVA-Projekt TP4. (2016). „*Ermittlung des Einflusses der Substratqualität und des Silagemanagement auf die Biogasausbeute*“.
- Deutsches Maiskomitee e.V. (2016). *Produktion/Düngung/Organische Düngung*. Abgerufen am 17. 08 2016 von http://www.maiskomitee.de/web/public/Produktion.aspx/D%C3%BCngung/Organische_D%C3%BCngung
- Deytieux, V., Munier-Jolain, N., & Caneill, J. (2016). Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies. A review of methods. *European Journal of Agronomy*, S. 107-126.
- DLG, D. L. (2011). Die neue Betriebszweigabrechnung: Ein Praxisleitfaden. *Frankfurt: DLG*.
- Döring, T., Köhn, W., & Ellmer, F. (2014). Vergleich der Ertragsstabilität von Körnerleguminosen auf leichten Standorten. *Mitteilungen Gesellschaft der Pflanzenbauwissenschaften*, 100-101.
- Drangmeister, H. (2011). *Körnerleguminosen- Ackerbohnen und Erbsenanbau*. BLE.
- DüV. (2007). *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen - Düngeverordnung – DüV vom 27. Februar 2007*. BGBl. I, S. 221.

- Eberhart, S. A., & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop science* 6, S. 36-40.
- Ebertseder, T., P. D., Engels, P. D., Heyn, D. J., Reinhold, D. J., Brock, D. C., et al. (2014). *VDLUFA Standpunkt Humusbilanzierung*. Speyer: VDLUFA.
- Eckner, J., Strauss, C., Nehring, A., & Vetter, A. (2013). *Abschlussbericht zum Teilprojekt 1 "Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime" (FKZ: 22013008)*. Jena: TLL.
- EU-WRRL. (2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000. Europäische Union.
- Fleischer, I. (2014). *Zwischenbericht EVA III- Querschnittsaufgabe Pflanzenschutz*. Gülzow.
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., & Ließ, E. (2011). Multi-side validation of a soil organic matter model based on generally available input data. *Geoderma*, S. 119-134.
- Freyer, B. (2003). *Fruchtfolgen*. Stuttgart: Ulmer.
- Glemnitz, M., Willms, M., Platen, R., Specka, X., Peter, C., Prescher, A.-K., et al. (2014a). *Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus, EVA II, Endbericht, Teilprojekt 2*. Müncheberg: ZALF.
- Glemnitz, M., Willms, M., Platen, R., Specka, X., Peter, C., von Buttlar, C., et al. (2013). *Vorläufiger Endbericht zu Teilprojekt II: "Ökologische Folgewirkung des Energiepflanzenanbaus" (FKZ 220-131-08)*. Müncheberg: ZALF.
- GrwV. (2010). *Bundesregierung, Verordnung zum Schutz des Grundwassers*.
- Heiermann, M., Herrmann, C., Idler, C., & Plogsties, V. (2013). *Abschlußbericht Teilprojekt 4: "Ermittlung des Einflusses der Substratqualität auf die Biogasausbeute in Labor und Praxis" (FKZ 22013308)*. Potsdam.
- Herrmann, C. (2010). *Ernte und Silierung pflanzlicher Substrate für die Biomethanisierung- Prozessgrundlagen und Bewertung; Dissertation*. Berlin: Humboldt- Universität Berlin.
- Herrmann, C. H. (2011). Effects of ensilining, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology*, doi:10.1016/j.biotech.2011.01.012, 102 (20119; P: 51535161.).
- Herrmann, C., Plogsties, V., Willms, M., Hengelhaupt, F., Eberl, V., Eckner, J., et al. (2016 eingereicht). Methanbildungspotentiale verschiedener Pflanzenarten aus Energiepflanzenfruchtfolgen. *Landtechnik*.
- IPCC, Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., et al. (2013). Anthropogenic and Natural radiative Forcing. In IPCC, *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press.
- ISO 14044 (International Standard Organisation). (2006). *Umweltmanagement - Ökobilanz-Anforderungen und Anleitungen*. Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 14067 (international Standard Organisation). (2013). *Greenhouse gases - Carbon footprint for products: Requirements and guidelines for quantification and communication*. Geneva.
- ISO14040 (International Standard Organisation). (2006). *Umweltbilanz - Ökobilanz-Anforderungen und Anleitung*. Berlin: Beuth Verlag.
- Jacobs, A., Auburger, S., Bahrs, E., Brauer-Siebrecht, W., Buchholz, M., Christen, O., et al. (2013). Die Zuckerrübe als Energiepflanze in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten - eine pflanzenbaulich/ökonomische Systemanalyse. *Göttinger Zuckerrüben Tagung*.

- Jäkel, K., Glauert, T., Rieckmann, C., Hartmann, A., Fritz, M., Martin, M., et al. (2015). *Abschlussbericht: Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen*. Nossen: LfULG Sachsen.
- JKI. (kein Datum). *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*. Von <http://portal.bvl.bund.de/psm/jsp> abgerufen
- Jost, B. (2003). *Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Lupinus albus und Lupinus luteus in Reinsaat und von Vicia faba und Pisum sativum in Reinsaat und im Gemenge mit Avena sativa*, Dissertation. Göttingen: Georg-August Universität Göttingen.
- Knoblauch, S. (2013). Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Nordostdeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer. *Schriftenreihe "Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen" 6/2013*.
- Knoblauch, S., & Swaton, T. (2012). Erweiterung der Lysimeteranlage Buttelstadt für die Betsimmung von standortabhängigen Schwellenwerten für N-Salden. 12. *Gumpensteiner Lysimetertagung*.
- Koblenz, B., Tischer, S., Rücknagel, J., & Christen, O. (2015). Influence of biogas digestates on density, biomass and community composition of earthworms. *Industrial crops and products*, 66; S. 206-209.
- Könnecke, G. (1967). *Fruchtfolgen*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- KTBL. (2009). *Faustzahlen Biogas*. Darmstadt: KTBL.
- KTBL. (2012). *Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13*. Darmstadt: KTBL.
- KTBL. (2012). *Energiepflanzen: Daten für die Planung im Energiepflanzenanbau*. Darmstadt: KTBL.
- Lütke Entrup, N., & B., S. (2011). *Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen*. Bonn: AgroConcept.
- Macholdt, J., Ellmer, F., Barthelmes, G., & Baumecker, M. (2013). Zur Ökostabilität von Winterroggensorten unter Standortbedingungen Brandenburgs. *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN*, 65, 217-226.
- Michel, V., & Zenk, A. (2010). *Eignung von Winterweizensorten unter speziellen Anbaubedingungen*. Gülzow: LFA Mecklenburg-Vorpommern.
- Montgomery, D. R. (2010). *Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert*. oekom Verlag.
- Müller, A.-L. u. (2014). www.thuenen.de. Abgerufen am 15. August 2016 von <https://www.thuenen.de/media/institute/bd/Projekte/Silphie/Berlin2611.pdf>.
- Nehring, A., & Vetter, A. (2009). *Abschlussbericht zum Teilprojekt 1: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)(FKZ 22002605)*. (TLL) Von www.eva-verbund.de/uploads/media/ab_tp1_ges_01.pdf abgerufen
- Peter, C., Glemnitz, M., Winter, K., Kornartz, P., Müller, J., Heiermann, M., et al. (2016 eingereicht). Impact of energy crop rotation design on multiple aspects of resource efficiency. *Chemical Engineering & Technology*.
- PflSchG. (2012). *Pflanzenschutzgesetz*. Berlin: BMEL.
- Piepho, H.-P. (2005). Erfassung der phänotypischen Stabilität in züchterischen Versuchen. 56. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs* (S. 93-98). Gumpenstein: HBLFA.

- Roßberg, D. (2016). Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. *Journal für Kulturpflanzen*, 68 (2), S. 25-37.
- Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., & Neukampf, R. (2007). Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*, 59 (7), S. 155-161.
- Roßberg, R. (2015). *Niederschrift der 104. Sitzung des DLG-Ausschusses für Ackerbau*. Berlin.
- Schmidt, F., Gödecke, K., Hochberg, H., Mantey, C., Plöchl, M., Prochnow, A. H., et al. (2015). *Abschlussbericht Verbundprojekt "Optimierung der Biomassebereitstellung und Vergärung in Biogasanlagen von repräsentativen Dauergrünlandtypen"*. Jena: TLL.
- Schoeneboom, J., Saling, P., & Gipmans, M. (2012). *AgBalance- Technical Background Paper*. Limburgerhof: BASF.
- Schorling, M. u. (November 2014). Miscanthus giganteus als nachwachsender Rohstoff aus Sicht der Technikfolgenabschätzung. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 23. Jg, Heft 3.
- Schweizer Zentrum für Ökoinventare. (2014). *Ecoinvent- Datenbank V 3.01*. Von <http://www.ecoinvent.org/database/> abgerufen
- Simon, R., Hoffmann, D., Riedel, C., & Hülsbergen, K.-J. (2015). Gestaltung von nachhaltigen Biogasfruchtfolgen. *Forschungskolloquium Bioenergie* (S. 227-231). Straubing: OTTI e.V.
- Steinberger, D. J. (2006). Feldversuchswesen. In N. Luetke Entrop, & J. Oehmichen, *Lehrbuch des Pflanzenbaus, Bd. 1* (S. 791 - 816). Bonn: AgroConcept GmbH.
- Thomas, E. (2006). Agronomisches/ dynamisches Konzept. In *Feldversuchswesen* (S. 353-356). Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.
- Umweltbundesamt. (19. 06 2015). *Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen*. Abgerufen am 04. 11 2015 von <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>
- Umweltbundesamt. (2015). *Flächensparen – Böden und Landschaften erhalten*. Abgerufen am 09. 11 2015 von <http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten>
- VDI. (2006). VDI standard procedures 4630: Fermentation of organic materials.
- VDLUFA. (2014). *Humusbilanzierung - Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.
- Vetter, A. (2016). *Energiepflanzen und Nachhaltigkeit*. 4. Energiepflanzenforum Dornburg: <https://www.thueringen.de/th9/tll/veranstaltungen/materialien/foren/index.aspx>.
- Vetter, A., Strauß, C., Lorenz, M., & Nehring, A. (2013). *Vorläufiger Abschlußbericht TP1: "Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime"* (FKZ 22013008). Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Weiser, C., Bischof, R., & Eder, L. (2016, unveröffentlicht). *Erfassung und Bewertung der Einflüsse auf den Strohertrag als wesentliche Größe für den aus dem landwirtschaftlichen Stoffkreislauf zur energetischen Verwertung entnehmbaren Kohlenstoff* (FKZ: 22402311). Jena: TLL.

- Weiser, C., Zeller, V., Reinicke, F., Wagner, B., Majer, S., Vetter, A., et al. (2014). Integrated Assessment of Sustainable Cereal Straw Potential and Different Straw-based energy applications in Germany. *Applied energy* 114, S. 749-762.
- Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung- Journal for plantbreeding*, S. 47.Jg; Nr. 1, S. 92ff.
- Wricke, G. (1964). Die Berechnung der Ökivalenz bei Sommerweizen und Hafer. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 52, S. 127 - 138.

Dem EVA-Projekt in seiner Komplexität, umfassenden Betrachtung einer Vielzahl unterschiedlicher Pflanzenarten und –kombinationen und in Teilbereichen dem Charakter eines Langzeitversuches stehen keine vergleichbaren Versuchsserien gegenüber. Der Fokus der jüngeren Agrarforschung im deutschsprachigen Raum und international lag nicht auf komplexen Fruchtfolgeuntersuchungen. Untersuchungen im Fruchtfolgekontext aus dem Bereich des ökologischen Landbaus waren aufgrund der abweichender Rahmenbedingungen und Fragestellungen nur bedingt in die Betrachtungen einzubeziehen. Laufende Fruchtfolgeprojekte, so u. a. der DLG und an der LfL, lieferten aufgrund der kurzen Laufzeiten noch keine gesicherten Ergebnisse.

4. Veröffentlichungen

Im Rahmen des EVA III-Projektes kam es zu einer Vielzahl von Veröffentlichungen, sowohl in der Fachpresse, als auch in wissenschaftlichen Magazinen. Zudem wurden auf zahlreichen Fachtagungen, Symposien und Seminaren Poster und Vorträge präsentiert, um die Ergebnisse der EVA-Untersuchungen einem breiten Publikum aus Wissenschaft, Politik und Praxis näher zu bringen. Einen Beitrag zur Weiterbildung der öffentlichen Meinung bildeten auch Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger sowie die Veranstaltung von Feldtagen als Rahmen für den gesellschaftlichen und fachlichen Dialog. Den Abschluss und die Plattform zur Präsentation der langjährigen Ergebnisse des EVA-Projektes bildete das 4. Energiepflanzenforum am 05. und 06.07.2016 in Dornburg, ausgerichtet unter der Federführung der TLL und finanziert durch Mittel der FNR.

Weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung oder bereits eingereicht, besonders zu benennen sind folgende wissenschaftliche Paper:

- Herrmann, C., Plogsties, V., Willms, M., Hengelhaupt, F., Eberl, V., Eckner, J. & Heiermann, M. (2016 eingereicht). Methanbildungspotentiale verschiedener Pflanzenarten aus Energiepflanzenfruchtfolgen. *Landtechnik*.
- Peter, C., Glemnitz, M., Winter, K., Kornartz, P., Müller, J., Heiermann, M. & Aurbacher, J. (2016 eingereicht). Impact of energy crop rotation design on multiple aspects of resource efficiency. *Chemical Engineering & Technology*.

Die einzelnen Veröffentlichungen sind in den Endberichten der Standorte aufgelistet sowie als zusammengefasste Liste im Anhang zu finden.

Literaturverzeichnis

- Daten aus dem EVA-Projekt TP3. (2016). "Ökonomische Begleitforschung".
- Auerbacher, J., Kornatz, P., & Dunkel, J. (2013). *Abschlussbericht Teilvorhaben 3: Ökonomische Begleitforschung (FKZ 22013208)*. Gießen.
- Augustin, D. D. (2008). Rüben im Fermenter? *DLG- Mitteilungen* 5/2008, 54-56.
- Bätz, D. G., Dörfel, D. H., Fuchs, P. D., & Thomas, D. E. (1987). *Einführung in die Methodik des Feldversuchs*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Baumgärtel, F. G., Ebertseder, D. T., Gutser, D. R., Hege, U., Hüther, D., Lorenz, D. F., et al. (2003). *Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis*. Frankfurt/Main: Bundesarbeitskreis Düngung.
- Baumgärtel, G., & Olf, H.-W. (2014). Nitratwaschung – Ursachen und Maßnahmen zur Minimierung. *aid*.
- BBodSchG. (1998). *Bundesregierung, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten*.
- Biertümpfel, A., & Conrad, M. (2013). *Erhöhung des Leistungspotenzials und der Konkurrenzfähigkeit der Durchwachsenen Silphie als Energiepflanzen durch Züchtung und Optimierung des Anbauverfahrens- Teilvorhaben 2*. Jena: TLL.
- BioKraft-NachV. (2009). *Bundesregierung, Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen*.
- BioSt-NachV. (2011). *Bundesregierung, Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung*.
- Bischof, R. V. (2012). *Optimierung des Anbauverfahrens von Ganzpflanzengetreide, inklusive Arten- und Sortenmischungen für die Biogasproduktion. Schlußbericht (08NR129)*. Hannover: Technische Informationsbibliothek und Informationsbibliothek.
- Bischof, R., & Biertümpfel, A. (2015). *Nachhaltige Getreideganzpflanzenproduktion*. Jena: TLL.
- Bischof, R., Eder, L., & Weiser, C. (2016 in Vorbereitung). *Abschlussbericht "Erfassung und Bewertung der Einflüsse auf den Strohertrag als wesentliche Größe für den aus dem landwirtschaftlichen Kreislauf entnehmbaren Kohlenstoff"*. Jena: TLL.
- Böhm, H. (2014). Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren. 26. *Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung*.
- Böttcher, F. (2014). *Wasserverbrauch und Wasserbilanz von Zwischenfrüchten auf Trockenstandorten*. Leipzig: DWD, Agrarmeteorologie.
- Bundesamt für Naturschutz. (2011). *Stickstoffüberschuss in der Landwirtschaft*. Abgerufen am 05. 11 2015 von http://www.biologischesvielfalt.de/ind_stickstoffueberschuss.html
- Bundesregierung. (2002). *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie*. Von <http://bfm.de/fileadmin/NBS/documents/Nachhaltigkeitsstrategie-langfassung.pdf> abgerufen
- Bundesregierung. (2005). *Nationales Klimaschutzprogramm*. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/15/059/1505931.pdf>.
- Bundesregierung. (2007). *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*. Berlin: BMUB.
- Bundesregierung. (2010). *GrWV, Verordnung zum Schutz des Grundwassers*.
- Bundesregierung. (2013). *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie*. <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2013/12/2013-12-05-weltbodentag.html>.
- Bundesregierung. (2013). *Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln*. Berlin: BMEL, BMUB.

- Buttlar, C. v. (2012). Empfehlungen zum Anbau von Energiepflanzen für Biogasanlagen aus Sicht des Gewässerschutzes. 2. Sitzung des AK Umwelt im Fachverband Biogas (Vortrag).
- Buttlar, C. v., & Willms, M. (2016). Bewertung des Energiepflanzenanbaus für Biogasanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. *Berichte über Landwirtschaft Band 94 Ausgabe 2*, S. 1-23.
- Christen, O. (2001). Ertrag, Ertragsstruktur und Ertragsstabilität von Weizen, Gerste und Raps in unterschiedlichen Fruchtfolgen. *Pflanzenbauwissenschaften*, S. 33-39.
- Daten aus dem EVA-Projekt TP4. (2016). „Ermittlung des Einflusses der Substratqualität und des Silagemanagement auf die Biogasausbeute“.
- Deutsches Maiskomitee e.V. (2016). *Produktion/Düngung/Organische Düngung*. Abgerufen am 17. 08 2016 von http://www.maiskomitee.de/web/public/Produktion.aspx/D%C3%BCngung/Organische_D%C3%BCngung
- Deytieux, V., Munier-Jolain, N., & Caneill, J. (2016). Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies. A review of methods. *European Journal of Agronomy*, S. 107-126.
- DLG, D. L. (2011). Die neue Betriebszweigabrechnung: Ein Praxisleitfaden. *Frankfurt: DLG*.
- Döring, T., Köhn, W., & Ellmer, F. (2014). Vergleich der Ertragsstabilität von Körnerleguminosen auf leichten Standorten. *Mitteilungen Gesellschaft der Pflanzenbauwissenschaften*, 100-101.
- Drangmeister, H. (2011). *Körnerleguminosen- Ackerbohnen und Erbsenanbau*. BLE.
- DüV. (2007). *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen - Düngeverordnung – DüV vom 27. Februar 2007*. BGBl. I, S. 221.
- Eberhart, S. A., & Russel, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop science* 6, S. 36-40.
- Ebertseder, T., P. D., Engels, P. D., Heyn, D. J., Reinhold, D. J., Brock, D. C., et al. (2014). *VDLUFA Standpunkt Humusbilanzierung*. Speyer: VDLUFA.
- Eckner, J., Strauss, C., Nehring, A., & Vetter, A. (2013). *Abschlussbericht zum Teilprojekt 1 "Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime" (FKZ: 22013008)*. Jena: TLL.
- EU-WRRRL. (2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000. Europäische Union.
- Fleischer, I. (2014). *Zwischenbericht EVA III- Querschnittsaufgabe Pflanzenschutz*. Gülzow.
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., & Ließ, E. (2011). Multi-site validation of a soil organic matter model based on generally available input data. *Geoderma*, S. 119-134.
- Freyer, B. (2003). *Fruchtfolgen*. Stuttgart: Ulmer.
- Glemnitz, M., Willms, M., Platen, R., Specka, X., Peter, C., Prescher, A.-K., et al. (2014a). *Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus, EVA II, Endbericht, Teilprojekt 2*. Müncheberg: ZALF.
- Glemnitz, M., Willms, M., Platen, R., Specka, X., Peter, C., von Buttlar, C., et al. (2013). *Vorläufiger Endbericht zu Teilprojekt II: "Ökologische Folgewirkung des Energiepflanzenanbaus" (FKZ 220-131-08)*. Müncheberg: ZALF.
- GrwV. (2010). *Bundesregierung, Verordnung zum Schutz des Grundwassers*.
- Heiermann, M., Herrmann, C., Idler, C., & Plogsties, V. (2013). *Abschlussbericht Teilprojekt 4: "Ermittlung des Einflusses der Substratqualität auf die Biogasausbeute in Labor und Praxis" (FKZ 22013308)*. Potsdam.

- Herrmann, C. (2010). *Ernte und Silierung pflanzlicher Substrate für die Biomethanisierung- Prozessgrundlagen und Bewertung; Dissertation*. Berlin: Humboldt- Universität Berlin.
- Herrmann, C. H. (2011). Effects of ensilining, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology*, doi:10.1016/j.biotech.2011.01.012, 102 (2011); P: 51535161.).
- Herrmann, C., Plogsties, V., Willms, M., Hengelhaupt, F., Eberl, V., Eckner, J., et al. (2016 eingereicht). Methanbildungspotentiale verschiedener Pflanzenarten aus Energiepflanzenfruchtfolgen. *Landtechnik*.
- IPCC, Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestvedt, J., et al. (2013). Anthropogenic and Natural radiative Forcing. In IPCC, *Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press.
- ISO 14044 (International Standard Organisation). (2006). *Umweltmanagement - Ökobilanz-Anforderungen und Anleitungen*. Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 14067 (international Standard Organisation). (2013). *Greenhouse gases - Carbon footprint for products: Requirements and guidelines for quantification and communication*. Geneva.
- ISO14040 (International Standard Organisation). (2006). *Umweltbilanz - Ökobilanz-Anforderungen und Anleitung*. Berlin: Beuth Verlag.
- Jacobs, A., Auburger, S., Bahrs, E., Brauer-Siebrecht, W., Buchholz, M., Christen, O., et al. (2013). Die Zuckerrübe als Energiepflanze in Fruchtfolgen auf hoch produktiven Standorten - eine pflanzenbaulich/ökonomische Systemanalyse. *Göttinger Zuckerrüben Tagung*.
- Jäkel, K., Glauert, T., Rieckmann, C., Hartmann, A., Fritz, M., Martin, M., et al. (2015). *Abschlussbericht: Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Bewertung von Sorghumarten und -hybriden als Energiepflanzen*. Nossen: LfULG Sachsen.
- JKI. (kein Datum). *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*. Von <http://portal.bvl.bund.de/psm/jsp> abgerufen
- Jost, B. (2003). *Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung der N₂-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Lupinus albus und Lupinus luteus in Reinsaat und von Vicia faba und Pisum sativum in Reinsaat und im Gemenge mit Avena sativa, Dissertation*. Göttingen: Georg- August Universität Göttingen.
- Knoblauch, S. (2013). Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Nordostdeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer. *Schriftenreihe "Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen" 6/2013*.
- Knoblauch, S., & Swaton, T. (2012). Erweiterung der Lysimeteranlage Buttelstadt für die Betsimmung von standortabhängigen Schwellenwerten für N-Salden. 12. *Gumpensteiner Lysimetertagung*.
- Koblenz, B., Tischer, S., Rücknagel, J., & Christen, O. (2015). Influence of biogas digestates on density, biomass and community composition of earthworms. *Industrial crops and products*, 66; S. 206-209.
- Könnecke, G. (1967). *Fruchtfolgen*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin.
- KTBL. (2009). *Faustzahlen Biogas*. Darmstadt: KTBL.
- KTBL. (2012). *Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13*. Darmstadt: KTBL.
- KTBL. (2012). *Energiepflanzen: Daten für die Planung im Energiepflanzenanbau*. Darmstadt: KTBL.

- Lütke Entrup, N., & B., S. (2011). *Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen*. Bonn: AgroConcept.
- Macholdt, J., Ellmer, F., Barthelmes, G., & Baumecker, M. (2013). Zur Ökostabilität von Winterroggensorten unter Standortbedingungen Brandenburgs. *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN*, 65, 217-226.
- Michel, V., & Zenk, A. (2010). *Eignung von Winterweizensorten unter speziellen Anbaubedingungen*. Gülzow: LFA Mecklenburg- Vorpommern.
- Montgomery, D. R. (2010). *Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert*. oekom Verlag.
- Müller, A.-L. u. (2014). www.thuenen.de. Abgerufen am 15.. August 2016 von <https://www.thuenen.de/media/institute/bd/Projekte/Silphie/Berlin2611.pdf>.
- Nehring, A., & Vetter, A. (2009). *Abschlussbericht zum Teilprojekt 1: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)(FKZ 22002605)*. (TLL) Von www.eva-verbund.de/uploads/media/ab_tp1_ges_01.pdf abgerufen
- Peter, C., Glemnitz, M., Winter, K., Kornartz, P., Müller, J., Heiermann, M., et al. (2016 eingereicht). Impact of energy crop rotation design on multiple aspects of resource efficiency. *Chemical Engineering & Technology*.
- PflSchG. (2012). *Pflanzenschutzgesetz*. Berlin: BMEL.
- Piepho, H.-P. (2005). Erfassung der phänotypischen Stabilität in züchterischen Versuchen. *56. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs* (S. 93-98). Gumpenstein: HBLFA.
- Roßberg, D. (2016). Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. *Journal für Kulturpflanzen*, 68 (2), S. 25-37.
- Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., & Neukampf, R. (2007). Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*, 59 (7), S. 155-161.
- Roßberg, R. (2015). *Niederschrift der 104. Sitzung des DLG-Ausschusses für Ackerbau*. Berlin.
- Schmidt, F., Gödecke, K., Hochberg, H., Mantey, C., Plöchl, M., Prochnow, A. H., et al. (2015). *Abschlussbericht Verbundprojekt "Optimierung der Biomassebereitstellung und Vergärung in Biogasanlagen von repräsentativen Dauergrünlandtypen"*. Jena: TLL.
- Schoeneboom, J., Saling, P., & Gipmans, M. (2012). *AgBalance- Technical Background Paper*. Limburgerhof: BASF.
- Schorling, M. u. (November 2014). Miscanthus giganteus als nachwachsender Rohstoff aus Sicht der Technikfolgenabschätzung. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, 23. Jg, Heft 3.
- Schweizer Zentrum für Ökoinventare. (2014). *Ecoinvent- Datenbank V 3.01*. Von <http://www.ecoinvent.org/database/> abgerufen
- Simon, R., Hoffmann, D., Riedel, C., & Hülsbergen, K.-J. (2015). Gestaltung von nachhaltigen Biogasfruchtfolgen. *Forschungskolloquium Bioenergie* (S. 227-231). Straubing: OTTI e.V.
- Steinberger, D. J. (2006). Feldversuchswesen. In N. Luetke Entrup, & J. Oehmichen, *Lehrbuch des Pflanzenbaus, Bd. 1* (S. 791 - 816). Bonn: AgroConcept GmbH.
- Thomas, E. (2006). Agronomisches/ dynamisches Konzept. In *Feldversuchswesen* (S. 353-356). Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

- Umweltbundesamt. (19. 06 2015). *Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen*. Abgerufen am 04. 11 2015 von <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>
- Umweltbundesamt. (2015). *Flächensparen – Böden und Landschaften erhalten*. Abgerufen am 09. 11 2015 von <http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten>
- VDI. (2006). VDI standard procedures 4630: Fermentation of organic materials.
- VDLUFA. (2014). *Humusbilanzierung - Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland*. <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.
- Vetter, A. (2016). *Energiepflanzen und Nachhaltigkeit*. 4. Energiepflanzenforum Dornburg: <https://www.thueringen.de/th9/tll/veranstaltungen/materialien/foren/index.aspx>.
- Vetter, A., Strauß, C., Lorenz, M., & Nehring, A. (2013). *Vorläufiger Abschlußbericht TP1: "Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime" (FKZ 22013008)*. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Weiser, C., Bischof, R., & Eder, L. (2016, unveröffentlicht). *Erfassung und Bewertung der Einflüsse auf den Strohertrag als wesentliche Größe für den aus dem landwirtschaftlichen Stoffkreislauf zur energetischen Verwertung entnehmbaren Kohlenstoff (FKZ: 22402311)*. Jena: TLL.
- Weiser, C., Zeller, V., Reinicke, F., Wagner, B., Majer, S., Vetter, A., et al. (2014). Integrated Assessment of Sustainable Cereal Straw Potential and Different Straw-based energy applications in Germany. *Applied energy* 114, S. 749-762.
- Wricke, G. (1962). Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung- Journal for plantbreeding*, S. 47.Jg; Nr. 1, S. 92ff.
- Wricke, G. (1964). Die Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 52, S. 127 - 138.