



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



Schlussbericht zum Thema

Unkrautregulierung im Silomaisanbau durch präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung

FKZ: 2815OE093, 2815OE128, 2815OE129

Projektnehmer/Projektnehmerin:

Universität Kassel, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische Landwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in die Praxis umgesetzt. Das Programm gliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder - das Forschungs- und das Informationsmanagement.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter:

www.bundesprogramm.de
www.oekolandbau.de/forschung

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel.: 0228-6845-3280
E-Mail: boel-forschung@ble.de

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Thema

„Unkrautregulierung im Silomaisanbau durch präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung (UNSIFRAN)“

Förderkennzeichen: 2815OE093; 2815OE128; 2815OE129

Laufzeit: 01.09.2019 – 31.03.2024

Projektnehmer:

- Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe
- Thünen Institut für Ökologischen Landbau
- Institut für Agrarökologie und biologischen Landbau,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Zuwendungsempfänger/ausführende Stellen

Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

Dr. Rüdiger Graß

Dr. Fruzsina Schmidt

Wolfgang Funke

Andrea Gerke

Prof. Dr. Michael Wachendorf

GRÜNGRÜNLANDLAND
WISSEWISSENWISSE
SCHSCHAFTAFTSCHAF
UNDUNDNDUNDUND
NACHNACHNACHNACH
WACHWACHSENDESEN
ROHROHROHROHROHR
STOFSTOFFEFESTOFFE

Steinstraße 19

37213 Witzenhausen

Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Thünen-Institut für Ökologischen Landbau

Dr. Herwart Böhm

Sven-Iver Horn

Sina Stepczynski

Julia Sting

Klaus Stribrny



Trenthorst 32

23847 Westerau

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau

Dr. Peer Urbatzka

Florian Jobst

Michael Mayr

Andreas Kaspar



Lange Point 12

85354 Freising

Autoren des Schlussberichtes:

Rüdiger Graß, Herwart Böhm, Peer Urbatzka

Unkrautregulierung im Silomaisanbau durch präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung (UNSIFRAN)

Rüdiger Graß¹, Herwart Böhm², Peer Urbatzka³

¹ Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

² Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Thünen-Institut für Ökologischen Landbau

³ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau

Im Projekt UNSIFRAN wurden in einem systemaren Ansatz verschiedene Anbaustrategien im Silomaisanbau zur Reduzierung von Anbauproblemen, insbesondere Unkrautregulierung, und Umweltgefährdungen wie Bodenerosion untersucht. Dabei waren intensiver Zwischenfruchtanbau (ZF) mit Wintererbsen (WE) und Winterwicken (Wi) in Reinsaat oder im Gemenge mit Roggen (Ro) vor dem Maisanbau und eine reduzierte Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat von Mais zentrale Aspekte. An drei Standorten über Deutschland verteilt wurden in drei- bzw. vierjährigen Feldversuchen folgende Varianten im Vergleich zum herkömmlichen Silomaisanbau (Standard) untersucht: Direktsaat von Mais in gewalzte Zwischenfrüchte (WE und Wi-Reinsaat sowie WE/Ro und Wi/Ro- Gemenge); Ernte von WE/Ro und Wi/Ro mit anschließender Maisdirektsaat oder mit Maissaat nach reduzierter Bodenbearbeitung (BB). Dabei zeigte sich, dass massenwüchsige winterharte ZF wie Erbse und Wicke in Reinsaat oder im Gemenge mit Roggen mit nachfolgender reduzierter BB das Potenzial haben, den Unkrautdruck im Mais zu reduzieren und den Bodenschutz zu verbessern. Dies ist verbunden mit höheren Anforderungen an Technik und Anbaumanagement. Der Erfolg ist stark von den Standort- und Witterungsbedingungen zur optimalen Umsetzung der Strategien abhängig. Im Norden führte eine verzögerte Entwicklung der ZF zur späteren Maissaat mit geringeren Erträgen als im Standardanbau. In der Mitte Deutschlands erreichte Mais nach reinen gewalzten Leguminosen und nach Gemengeernte und reduzierter BB vergleichbare Maiserträge wie im Standardanbau. Im Süden konnte nur Mais nach gewalzten Erbsen ähnliche Erträge wie der Standardanbau erzielen. Eine ZF-Ernte bewirkte höhere Gesamterträge je Jahr. Diese führten besonders dann zu höheren Deckungsbeiträgen im Vergleich zum Standardanbau, wenn bei diesem ein ZF-Anbau einbezogen wurde. Umfangreiche Praxisversuche während des Vorhabens bestätigten die Versuchsergebnisse.

Kontakt: Dr. Rüdiger Graß, Universität Kassel-Witzenhausen, rgrass@uni-kassel.de

Weed control in silage maize production with preventive and systematic measures within the design of crop rotation and cultivation system (UNSIFRAN)

Rüdiger Graß¹, Herwart Böhm², Peer Urbatzka³

¹ Universität Kassel, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe

² Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI) – Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Thünen-Institut für Ökologischen Landbau

³ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau

In the research project UNSIFRAN several systematically strategies for the cultivation of silage maize have been investigated with the aim to reduce cultivation problems like weed control and environmental risks like soil erosion. Key elements of these strategies was an intensive catch crop cultivation (CC) with winter hardy peas (p) and vetches (v) in pure stand or in mixture with rye (r) before maize combined with reduced or no tillage of maize. At three locations in Germany field trials have been conducted during three or four years with following treatments, which have been investigated in comparison to a common cultivation system for silage maize (standard): No tillage of maize in rolled cc (p and v in pure stand and in mixture with r); harvesting of cc mixtures and no tillage or reduced tillage of maize. Field trials showed the potential of mass grown winter hardy cc in combination with reduced or no tillage of maize for reducing weed pressure in the following maize. Furthermore soil protection was increased. These strategies contained higher demands on technical equipment and cultivation management. Success of these strategies is dependent on location and weather conditions. At the northern location a delayed development of cc caused delayed maize sowing with the consequence of decreased maize yields in comparison with standard maize cultivation. At the central location in Germany treatments with maize cultivation after rolled legumes in pure stand and after harvesting cc mixture and reduced tillage of maize achieved comparable maize yields as the standard system. At the southern location only the no tillage treatment of maize after pure winter peas was similar as the standard treatment. Harvesting of cc led to higher biomass yields per year, which caused higher contribution margins. Extensive demonstration projects at farms under practical conditions confirmed the reported results of the field trials.

contact: Dr. Rüdiger Graß, University of Kassel-Witzenhausen, rgrass@uni-kassel.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	10
1.1 Gegenstand des Vorhabens.....	10
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖL oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	11
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	13
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	13
3. Material und Methoden.....	15
3.1 Standorte und Witterung	15
3.2 Versuchsaufbau	18
3.3 Versuchsdurchführung	21
3.4 Bonituren und Untersuchungsmethoden.....	22
4 Ergebnisse und Diskussion.....	23
4.1 Versuchsdurchführung	23
4.2 Erträge	24
4.3 Trockensubstanz-Gehalte	30
4.4 Futterqualität	32
4.5 Unkrautdynamik und Maisentwicklung	37
4.6 Bodenaspekte	43
4.7 Ökonomie – Deckungsbeitragsberechnung	49
4.8 Praxisversuche.....	52
5. Gesamtdiskussion und Fazit	58
6. Nutzen und Verwertbarkeit	61
7. Geplante und erreichte Ziele	62
8. Zusammenfassung	63
9. Literaturverzeichnis.....	66
10. Übersicht über Veröffentlichungen und Aktivitäten	68

Abkürzungsverzeichnis

MJ NEL - Megajoule Netto-Energie-Laktation

NEB - Neu Eichenberg

N - Stickstoff

N_{min} - mineralischer Stickstoff

ÖL - Ökologische Landwirtschaft

PUC - Puch

red. BB - reduzierte Bodenbearbeitung

RP - Rohprotein

Ro - Winterroggen

TM - Trockenmasse

TRE - Trenthorst

TS – Trockensubstanz

WE – Wintererbse

Wi – Winterwicke

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Kennzahlen der Nährstoffversorgung und der organischen Bodensubstanz (OBS) der Versuchsstandorte.....	16
Tab. 2: Mittelwerte von Temperatur und Jahresniederschlag in den Versuchsjahren sowie das langjährige Mittel an den einzelnen Standorten: TRE=Trenthorst, NEB=Neu-Eichenberg, PUC=Puch.....	16
Tab. 3: Erstkulturen – Sorten und Saatstärken (Körner je m ²) an allen Standorten ..	20
Tab. 4: Maissorten (mit Siloreifezahlen) der einzelnen Standorte für Normal- und Spätsaat	21
Tab. 5: Energiegehalte (NEL=Nettoenergielaktation) und Rohproteingehalte der Maisanbausysteme am Standort Trenthorst (BB=Bodenbearbeitung; reduz.= reduziert; MJ = Megajoule; i.d. TM = in der Trockenmasse).....	34
Tab. 6: Energiegehalte (NEL=Nettoenergielaktation) und Rohproteingehalte der Maisanbausysteme am Standort Neu-Eichenberg (BB=Bodenbearbeitung; reduz.= reduziert; MJ = Megajoule; i.d. TM = in der Trockenmasse).....	35
Tab. 7: Energiegehalte (NEL=Nettoenergielaktation) und Rohproteingehalte der Maisanbausysteme am Standort Puch (BB=Bodenbearbeitung; reduz.= reduziert; MJ = Megajoule; i.d. TM = in der Trockenmasse)	36

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht der Anbaufaktoren.....	19
Abb. 2: Übersicht aller an allen Standorten geprüften Varianten.	19
Abb. 3: Erträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit 75 cm Reihenabstand an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p=0,05$, SNK-Test), Kleinbuchstaben = Maisertrag; Großbuchstaben=Gesamtertrag je Jahr.	25
Abb. 4: Erträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit 50 cm Reihenabstand an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p=0,05$, SNK-Test), Kleinbuchstaben = Maisertrag; Großbuchstaben=Gesamtertrag je Jahr.	28
Abb. 5: TS-Gehalte von Silomais der geprüften Varianten mit 75 bzw. 50 cm Reihenabstand an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p=0,05$, SNK-Test).....	31
Abb. 6: Unkrautdeckungsgrade im Silomais zum Zeitpunkt „Reihenschluss“ in den Versuchsjahren 2020-2022 (WE=Wintererbse; Ro=Winterroggen; Wi=Winterwicke; ZF=Zwischenfrucht/Erstkultur), Trenthorst. Nach gewalzter ZF erfolgte keine Unkrautregulierung.	38
Abb. 7: Unkrautdeckungsgrad im Silomais zum Zeitpunkt „Reihenschluss“ in den Versuchsjahren 2020-2023 (WE=Wintererbse; Ro=Winterroggen; Wi=Winterwicke; ZF=Zwischenfrucht/Erstkultur), Neu-Eichenberg. Nach gewalzter ZF erfolgte keine Unkrautregulierung.	39
Abb. 8: Unkrautdeckungsgrade im Silomais zum Zeitpunkt „Reihenschluss“ in den Versuchsjahren 2020-2022 (WE=Wintererbse; Ro=Winterroggen; Wi=Winterwicke; ZF=Zwischenfrucht/Erstkultur), Puch. Nach gewalzter ZF erfolgte keine Unkrautregulierung.	40
Abb. 9: Zeitspanne in Tagen von Maissaat bis Reihenschluss der einzelnen Varianten an den Standorten Trenthorst (TRE) und Neu-Eichenberg (NEB) über alle Versuchsjahre gemittelt (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro=Roggen; red.=reduziert).	43
Abb. 10: N_{min} -Gehalte der geprüften Varianten zum Zeitpunkt „4-6 Wochen nach der Maissaat“ an den einzelnen Standorten (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro=Winterroggen). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, PUC= Werte nur aus 2020).	45

Abb. 11: Bodentemperaturverläufe unter Silomais am Standort Neu-Eichenberg bei ausgewählten Varianten (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro=Winterroggen; red. = reduziert; Direktsaat nach geernteten Erstkulturen“ in den Jahren 2021 und 2022... 48

Abb. 12: Deckungsbeiträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit **75 cm Reihenabstand** an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, Fehlerbalken = Standardabweichung der Deckungsbeiträge der Jahreserträge. Standard* Kalkulation mit Zwischenfruchtanbau vor Mais. 49

Abb. 13: Deckungsbeiträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit **50 cm Reihenabstand** an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, Fehlerbalken = Standardabweichung der Deckungsbeiträge der Jahreserträge. Standard* Kalkulation mit Zwischenfruchtanbau vor Mais. 51

1 Einführung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Im Feldfutterbau besitzt Silomais aufgrund seiner hohen Biomasseertragspotenziale, seines Energiegehaltes und seiner guten Verdaulichkeit eine besondere Stellung für die Wiederkäuerfütterung und als Substrat bei der Biogaserzeugung. Auch im Ökologischen Landbau (ÖL) besteht ein wachsendes Interesse am Maisanbau und die Anbaufläche hat sich von 2007 mit ca. 4.500 ha bis 2021 mit ca. 40.000 ha fast verzehnfacht. Mais stellt in Futtermischungen eine geeignete Ergänzung zu den im ÖL bedeutenden eiweißreichen Futterleguminosen dar. Dennoch zögern viele Landwirte aufgrund von Anbauproblemen und -risiken, die oft mit herkömmlichen Anbausystemen verbunden sind, den Silomaisanbau in ihre Fruchtfolgen zu integrieren. Hinsichtlich der Anbaurisiken sind vor allem Bodenerosion und Nährstoffauswaschung zu nennen (Lütke Entrup, 2013), die zu einer negativen Bewertung des Maises geführt haben.

Bei den Anbauproblemen hat neben den hohen Ansprüchen an die Nährstoffversorgung vor allem die oftmals aufwändige **Unkrautregulierung** die größte Bedeutung (Graß, 2013). Dies ist in der langsamen Jugendentwicklung des Maises begründet, der selbst erst relativ spät in seiner Entwicklung eine wirksame Konkurrenz gegenüber Unkräutern ausbilden kann (Beckmann und Kolbe, 2002). Daher wird im ÖL häufig der Pflug als wirksame Maßnahme zur Unkrautregulierung eingesetzt (Wilhelm, 2010), unterstützt durch mehrmalig durchzuführende, intensive mechanische Bearbeitungsgänge, was in der Summe eine Erhöhung der Gefahr der Bodenerosion bewirken kann. Der Bekämpfungserfolg der mechanischen Unkrautregulierung im Vor- und Nachauflauf ist zudem stark von den Witterungsbedingungen abhängig und führt zu einem deutlich erhöhten Anbaurisiko.

Eine Reduzierung der Bodenbearbeitung als direkte Maßnahme für einen umweltverträglicheren Maisanbau aufgrund verringerter Bodenerosion wird bisher im ÖL nur wenig angewandt. Denn eine solche Reduzierung der Bodenbearbeitung ist oftmals mit einer Erhöhung des Unkrautdrucks verbunden (Mäder und Berner, 2011), aus dem ein erhöhter Regulierungsbedarf resultiert. Für einen ertragreichen und umweltgerechten Maisanbau sollte daher die Kombination einer effizienten und im Aufwand reduzierten Unkrautregulierung mit einer Reduzierung der Bodenbearbeitung zur Maisaussaat angestrebt werden, die an das Anbausystem des Ökologischen Landbaus adaptiert ist, aber auch auf den integrierten Maisanbau übertragbar ist. Dafür ist die Gestaltung der Fruchtfolge von zentraler Bedeutung (Paulsen et al., 2016), was in dem hier berichteten Vorhaben durch den gezielten Anbau von Zwischenfrüchten vor Silomais aufgegriffen wurde. Ferner müssen angesichts bereits bemerkbarer klimatischer Veränderungen in Form von Wetterextremen (Starkregen, Trockenheit) entsprechende Maßnahmen Aspekte der Adaptation an den Klimawandel beinhalten, besonders hinsichtlich des Bodenschutzes.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖL oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Das Projekt UNSIFRAN hatte zum Ziel, Anbauprobleme und Umweltgefährdungen im Silomaisanbau als wichtigen Bestandteil des Feldfutterbaus aufzugreifen und in einem systemaren Ansatz der Fruchtfolge und Anbaugestaltung zu reduzieren. Neben der Erzielung eines ganzjährigen Bodenschutzes (Anbau von zwei Kulturen in einem Jahr, Verringerung der Bodenbearbeitung) und der zusätzlichen Stickstofffixierung durch den Leguminosenanbau stand die Reduzierung des Aufwandes für die Unkrautregulierung im Maisanbau im Fokus des Projektes, die im ÖL in der Praxis große Probleme bereitet. Dies sollte präventiv durch die Gestaltung von Anbausystemen erreicht werden: Unkrautunterdrückende Vorfrüchte (Erstkulturen) zu Mais, Reduzierung der Bodenbearbeitung, Walzen von Ganzpflanzenbeständen vor der Direktsaat von Mais bei gleichzeitiger Verbesserung der Bodenbedeckung.

Folgende Aspekte hinsichtlich der Entwicklung der Unkrautdynamik im Silomais wurden dabei untersucht:

- 1) Auswirkung unterschiedlicher Vorfrüchte:
 - a) Wintererbsen in Reinsaat,
 - b) Wintererbsen-Triticale bzw. Roggen-Gemenge,
 - c) Winterwicke in Reinsaat,
 - d) Wickroggen-Gemenge.
- 2) Auswirkung unterschiedlicher Behandlungsverfahren der Erstkulturen:
 - a) Ganzpflanzenernte (nur beim Gemengeanbau);
 - b) Walzen (und somit mechanische Zerstörung) der Erstkulturen und Verbleib der Biomasse auf dem Feld.
- 3) Auswirkung unterschiedlicher Saatverfahren:
 - a) Direktsaat von Mais bei Varianten 2a) und b);
 - b) reduzierte Bodenbearbeitung bei Variante 2a).
- 4) Auswirkung unterschiedlicher Saatabstände zwischen den Maisreihen:
 - a) Standard (75 cm);
 - b) Engsaat (50 cm).

Besonders der Ansatz des Walzens von Pflanzenbeständen zur Verbesserung des Bodenschutzes bei gleichzeitiger Unterdrückung von Unkraut in Verbindung mit veränderten Reihenweiten beim Silomais ist bisher sehr wenig erforscht. Die systematische und vergleichende Überprüfung dieses Anbaukonzeptes stellte somit ein zentrales Arbeitsziel sowohl in wissenschaftlicher als auch technischer Hinsicht dar.

Folgende zusammenfassende **Zielsetzung** war mit dem Forschungsvorhaben verbunden:

Der Unkrautdruck und damit der Regulierungsbedarf im Silomais lässt sich durch den Anbau einer geeigneten Vorfrucht als Erstkultur („Winterzwischenfrucht“), der Reduzierung der Bodenbearbeitung zur Maisaussaat sowie durch eine Verringerung der Reihenabstände beim Maisanbau effizient reduzieren. Die Ernte der Vorfrucht kann zu einem ökonomischen Vorteil des Verfahrens führen.

Zugleich war bereits während der Projektlaufzeit ein umfassender Wissenstransfer mit der Durchführung von Demonstrationsvorhaben ab dem 2. Projektjahr sowie durch weitere Veranstaltungen systematisch in das Projekt integriert.

Das hier berichtete Forschungsvorhaben beinhaltet die Kombination einer effizienten Unkrautregulierung im Silomaisanbau mit einem umfassenden Bodenschutz sowie einer zusätzlichen Bereitstellung von Stickstoff für den Maisanbau auf Basis des Anbaus von stickstofffixierenden Winterzwischenfrüchten. Der dabei verfolgte Ansatz ist dem **Modul B** der Bekanntmachung des BMEL „Förderung von innovativen Vorhaben für einen nachhaltigen Pflanzenschutz“ vom 28. Juli 2015 zuzuordnen. Dabei wird besonders der im Modul B beschriebene gesamtsystemare Ansatz verfolgt, der zu einer präventiven Unkrautregulierung beiträgt. Mit der Wahl spezieller Vorfrüchte (Wintererbse und Winterwicke in Reinsaat oder Gemenge mit Wintergetreide) zu Silomais soll bereits das Unkrautpotenzial im Silomais aufgrund der Unterdrückungswirkung der Vorfrüchte reduziert werden. Bei einer Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität zur Maisaussaat kann diese vorbeugende unkrautregulierende Wirkung erhalten bleiben, so dass sich der Aufwand für die Unkrautregulierung im Maisanbau vermindern würde. Zugleich soll durch die ergriffenen Maßnahmen ein systematischer ganzjähriger Bodenschutz erzielt werden. Damit wird auch der Richtlinie zur *„Förderung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Maßnahmen zum Technologie- und Wissenstransfer für eine nachhaltige Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten“* des BMEL entsprochen, besonders den unter 2.1.2 aufgeführten Aspekten *„Umweltgerechter Pflanzenbau“*. Neben der präventiven Unkrautregulierung bei gleichzeitiger Erhöhung des Bodenschutzes soll durch den Leguminosenanbau (Erbse und Wicke) die Stickstoffversorgung des Silomais als Folgefrucht verbessert werden. Zugleich kann der Mais als Pflanze mit hohem Stickstoffbedarf diesen Leguminosenstickstoff effizient verwenden und damit die Gefahr einer Nitratauswaschung ins Grundwasser reduzieren.

Ferner soll über die gewählten Maßnahmen eine gesteigerte Resilienz bzw. Robustheit des Anbausystems gegenüber zunehmenden Witterungsrisiken wie Starkregen oder Trockenheit erzielt werden, deren Zunahme durch den prognostizierten und bereits erfahrbaren Klimawandel zu erwarten ist. Die ganzjährige Bodenbedeckung könnte dabei die Gefahr des Austrocknens der Böden reduzieren und zugleich bei Starkregen den Boden vor Erosion schützen.

Mit dem ökonomischen Vergleich der im Projekt zu prüfenden Varianten in Form einer Deckungsbeitragsberechnung, wird die im Modul B geforderte Wirtschaftlichkeitsberechnung als wichtige Information für die Praxis erfüllt.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt UNSIFRAN wurde am 01.09.2019 begonnen und endete am 31.03.2024. Die ursprüngliche Laufzeit war bis zum 31.03.2023 terminiert, aufgrund extremerer Witterungsverhältnisse in den Versuchsjahren 2021 und insbesondere 2022 wurde an den Standorten Neu-Eichenberg und Puch ein weiteres Versuchsjahr 2023 beantragt und genehmigt. Am Standort Trenthorst endete das Projekt wie ursprünglich geplant im Jahr 2023. Der Versuch in Puch im Jahre 2023 konnte allerdings aufgrund von Auswinterungsschäden bei den Erstkulturen und starken Trockenheitsschäden im Mais nicht komplett ausgewertet werden. Ferner gab es in einzelnen Jahren Datenlücken, da z.B. aufgrund starker Trockenheit und/oder steinigem Boden nicht alle Bodenproben gezogen werden konnten. Aufgrund von Krankheit von Mitarbeitenden bzw. auch im Rahmen der Covid-Pandemie wurden an einzelnen Standorten nicht in jedem Jahr alle Bonituren komplett durchgeführt (z.B. Unkrautbonituren).

Im Mittelpunkt des Projektes standen die umfangreichen Feldversuche an den drei Standorten. Ab dem 2. Projektjahr 2020/2021 wurden von jedem Projektpartner Demonstrationsvorhaben auf Praxisbetrieben durchgeführt, die in den Folgejahren fortgeführt wurden. Diese wurden auch in die Öffentlichkeitsarbeit einbezogen, z.B. in Form von Feldtagen. Eine überregionale Demonstration einiger ausgewählter Anbausysteme des Projektes erfolgte bei den Öko-Feldtagen 2022 auf dem Gladbacher Hof bei Gießen und 2023 in Ditzingen. Aufgrund der COVID-Pandemie und der damit verbundenen Einschränkungen konnten allerdings einige Vorhaben insbesondere in Form von Feldtagen nicht wie geplant durchgeführt werden.

Ein zentraler Aspekt des Wissenstransfers war die Veröffentlichung der Ergebnisse in praxisorientierten und wissenschaftlichen Zeitschriften sowie die Präsentation auf wissenschaftlichen Tagungen und bei Vorträgen (s. Kap. 10).

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die besondere Herausforderung im Silomaisanbau besteht gerade im Ökologischen Landbau in der aufwändigen Unkrautregulierung, die zugleich viele Landwirte hemmt, in den Silomaisanbau einzusteigen (Jung und Rauber, 2012; Graß, 2013). Ferner bestehen im ÖL Bedenken hinsichtlich des Silomaisanbaus aufgrund von Problemen der Bodenerosion, die häufig in herkömmlichen Anbausystemen auftreten (Lütke Entrup, 2013; Graß, 2013). In der Vergangenheit sind verschiedene Strategien der mechanischen Unkrautregulierung entwickelt worden, die größtenteils eine intensive Bodenbearbeitung beinhalten (Pflügen, Hacken, Eggen, Striegeln, Häufeln) und damit das Problem der Bodenerosion durchaus vergrößern können (Graß, 2003; Kainz et al., 2009).

Ein systemarerer Ansatz sollte daher eine effiziente Unkrautregulierung mit einem bodenschützenden Anbau kombinieren. Erste Ansätze dazu wurden von Graß (2003), Wittwer et al. (2013), Dierauer et al. (2014), Böhler und Dierauer (2017) sowie im EU-Projekt „Tilman-Org“ (Grosse et al., 2014) beschrieben. Dabei sollte durch die Auswahl einer geeigneten Vorfrucht zu einer präventiven Reduzierung des Unkrautdrucks in der folgenden, mit reduzierter Bodenbearbeitung angebauten Hauptfrucht beigetragen werden. Auch wenn die Ergebnisse dieser bisherigen Versuchsansätze uneinheitlich sind, wird das Potenzial der verschiedenen Vorfrüchte wie Wintererbse oder -wicke zur Unkrautreduzierung jedoch in den meisten Fällen bestätigt. In den Untersuchungen von Wittwer et al. (2013) konnte aber im Mais nach Senf, Wicke oder einem Gemenge angebauten Silomais keine Reduzierung des Unkrautdrucks erzielt werden. Auch bei Grosse et al. (2014) wurde insbesondere bei reduzierter Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat keine Reduzierung der Verunkrautung in der Folgekultur Hafer erreicht, diese mussten z.T. in der Bewirtschaftung aufgegeben werden. In beiden Arbeiten wird das Potenzial der Unkrautunterdrückung durch Winterbegrünung hervorgehoben, zugleich aber auch erheblicher Forschungsbedarf ausgewiesen. In den Arbeiten von Graß (2003) und Dierauer et al. (2014) wurde u.a. eine vollblättrige Wintererbse als Vorfrucht/Erstkultur zu Silomais genutzt, der ein hohes Unterdrückungspotenzial auf andere Pflanzen zugeschrieben wird (Urbatzka et al., 2011; Gronle et al., 2014). Zugleich besteht die Gefahr der Lagerneigung beim Reinanbau der Erbsen, so dass der Gemengeanbau mit Getreide empfohlen wird (Urbatzka et al., 2011). Diesem Gemengeanbau wird ebenfalls eine unkrautunterdrückende Wirkung zugeschrieben (Gronle et al., 2015), der sich ggf. positiv auf die Nachfrucht Silomais auswirken kann.

Unterschiede zwischen den Ansätzen von Graß (2003) und Dierauer et al. (2014) bestehen in der Behandlung der winterharten Zwischenfrucht bzw. Erstkultur. Während sie bei Graß (2003) als Ganzpflanze geerntet wurde, wurde sie bei Dierauer et al. (2014) mit einer Messerwalze mechanisch zerstört und verblieb als Mulchdecke auf dem Feld. Die Silierung von reinen Leguminosenbeständen kann sich aufgrund von hohen Proteingehalten schwierig gestalten. In beiden Arbeiten wurde der Mais im Direktsaatverfahren mit einem Abstand von 75 cm zwischen den Reihen bestellt. Während Graß (2003) von einem positiven Effekt hinsichtlich eines reduzierten Unkrautbesatzes im Mais berichtet, war bei Dierauer et al. (2014) ein hoher Unkrautbesatz zur Maisernte zu verzeichnen, da der Erbsenmulch relativ schnell abgebaut wurde. Im Jahr 2012 wurde bei dieser Variante hingegen ein deutlich geringerer Unkrautbesatz verzeichnet. Ferner führte die Direktsaat in eine bestehende Begrünung z.T. zu reduzierten Feldaufgängen des Maises. Dennoch wurden bei dieser Variante höhere Maiserträge als bei den Vergleichsvarianten erzielt (Dierauer et al., 2014). Böhler und Dierauer (2017) schlussfolgern, dass für diese Anbausysteme noch erheblicher Forschungsbedarf besteht. Beim Anbau von Gemengen aus Leguminosen und Getreide als Vorfrucht bzw. Erstkultur wurde in beiden Arbeiten ein Wiederaustrieb des Getreidepartners festgestellt, der im Mais zu einer Konkurrenzierung und einem erhöhten Aufwand bei der mechanischen Regulierung führte. Dieser Wiederaustrieb könnte durch eine leichte Bodenbearbeitung z.B. mit einer Scheibenegge eingeschränkt werden. Durch eine solche Bearbeitung würde aber der Vorteil der Direktsaat hinsichtlich

einer reduzierten Keimungsstimulierung (Graß und Scheffer, 2003) wieder aufgehoben werden mit der Folge eines erhöhten Unkrautbesatzes. Andererseits bewirkt eine solche leichte Bodenbearbeitung ein Brechen der Bodenkapillaren, was eine geringere Wasserverdunstung zur Folge haben könnte (Graß et al., 2014). Dies kann angesichts einer prognostizierten Zunahme von Sommertrockenheit im Rahmen des Klimawandels (IPCC, 2013) zukünftig von Bedeutung sein, zumal wenn in einem Jahr zwei Kulturen angebaut werden sollen. Berechnungen auf der Basis der gültigen IPCC-Klimaszenarien zeigen, dass mit Zweikulturnutzungssystemen unter zukünftigen klimatischen Bedingungen möglicherweise sogar Ertragssteigerungen erzielt werden können (Graß et al., 2015). Hierbei kommt der Sicherstellung der Wasserverfügbarkeit im Maisanbau allerdings eine zentrale Bedeutung zu (Graß et al., 2013), was in der Bewertung von Maßnahmen zur Unkrautregulierung unbedingt berücksichtigt werden muss.

Die besondere Problematik der erschwerten Unkrautregulierung im Mais hängt mit dessen langsamer Jugendentwicklung zusammen, während der der Mais selbst nur eine geringe Konkurrenzkraft entwickeln kann. Dieses Problem wird durch die Standardanbaumethode mit einem Reihenabstand von 75 cm verstärkt, wie sie in den Arbeiten von Graß (2003) und Dierauer et al. (2014) verwendet wurde. Dieser weite Reihenabstand ist v.a. im ÖL verbreitet, um ausreichend Platz für die mechanische Unkrautregulierung zur Verfügung zu haben. Dabei kann eine Reduzierung des Reihenabstandes bis hin zu 37,5 cm (Engsaat) zu einer Erhöhung des Ertrags sowie zu einer Reduzierung des Unkrautbesatzes und der Wasserverdunstung führen, wie Untersuchungen von Reckleben (2011) unter konventionellen Bedingungen zeigten.

Daher wurden in dem vorliegenden Forschungsvorhaben die unterschiedlichen positiven Ansätze zur Reduzierung des Unkrautbesatzes der vorgestellten Maßnahmen zu innovativen und systematisch aufgebauten Anbausystemen für Silomais kombiniert und in Feldversuchen an drei Standorten geprüft.

3. Material und Methoden

3.1 Standorte und Witterung

Im Rahmen des Projektes wurden an drei Standorten über Deutschland verteilt Feldversuche durchgeführt:

- Trenthorst (TRE = Norden, 53.76667°N 10.51667°E; 40 m über dem Meeresspiegel (ü.M.))
- Neu-Eichenberg (NEB = Mitte, 51.37936°N 9.91365°E; 247 ü.M.)
- Puch (PUC = Süden, N 48.18333°N 11.12000°E; 556 ü.M.).

In Trenthorst fanden die Versuche von 2019 bis 2022 und in Neu-Eichenberg sowie Puch von 2019-2023 statt.

Die Versuchsflächen in Trenthorst zeichneten sich vorherrschend durch den Bodentyp Parabraunerde mit stellenweiser Pseudovergleyung und einer Bodenwertzahl von 50 Bodenpunkten sowie der Bodenart sandiger Lehm aus. In Neu-Eichenberg wurden die

Versuche auf einer Löss-Parabraunerde mit einer Bodenwertzahl von durchschnittlich 80 Bodenpunkten durchgeführt. In Puch handelte es sich vorwiegend um Parabraunerden auf sandigen Lehm mit durchschnittlich 64 Bodenpunkten.

Angaben zu Grundnährstoffversorgung, pH-Wert und Gehalt an organischer Bodensubstanz sind in Tab. 1 aufgeführt.

Tab. 1: Kennzahlen der Nährstoffversorgung und der organischen Bodensubstanz (OBS) der Versuchsstandorte.

	<i>pH-Wert</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>MgO</i>	<i>OBS</i>
	<i>mg/100 g Boden</i>				<i>%</i>
TRE	6,4	5,4	12,7	9,6	2,4
NEB	6,9	9,5	11,5	16	2,4
PUC	6,4	16,0	20,0	11,5	2,5

Längerfristige Maßnahmen wie z.B. die Erhaltungskalkung erfolgten nach standortüblichem Vorgehen.

Witterung

Die Versuchsjahre zeichneten sich durch sehr unterschiedliche Witterungsverläufe aus, die dementsprechend zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führten. In Tab. 2 sind die langjährigen Witterungsdaten sowie die Durchschnittswerte der einzelnen Versuchsjahre aller Standorte dargestellt.

Tab. 2: Mittelwerte von Temperatur und Jahresniederschlag in den Versuchsjahren sowie das langjährige Mittel an den einzelnen Standorten: TRE=Trenthorst, NEB=Neu-Eichenberg, PUC=Puch.

	<i>Langjähriges Mittel</i>		<i>2020</i>		<i>2021</i>		<i>2022</i>		<i>2023</i>	
	<i>°C</i>	<i>mm</i>	<i>°C</i>	<i>mm</i>	<i>°C</i>	<i>mm</i>	<i>°C</i>	<i>mm</i>	<i>°C</i>	<i>mm</i>
TRE	9,1	690	10,5	624	9,5	630	10,2	560	-	-
NEB	9,6	614	10,5	573	9,3	679	10,7	502	10,3	813
PUC	8,9	869	10,0	884	8,7	934	10,7	762	10,7	971

Im Versuchsjahr 2019/2020 lagen die Temperaturwerte um ca. 1 °C höher als im langjährigen Mittel, während die Niederschlagssummen in Trenthorst und Neu-Eichenberg etwas geringer und in Puch geringfügig höher ausfielen. In 2020/2021 waren die Temperaturen in Neu-Eichenberg und Puch leicht unter und in Trenthorst leicht über dem

langjährigen Mittel. Sowohl in Neu-Eichenberg als auch in Puch wurden höhere Niederschlagsmengen verzeichnet, während diese in Trenthorst leicht unter dem langjährigen Mittel lagen. Der Untersuchungszeitraum 2021/2022 wies an allen Standorten deutlich höhere Durchschnittstemperaturen auf. Die Niederschlagsmengen waren z.T. bedeutend geringer als im langjährigen Mittel. 2022/2023 war hingegen in Neu-Eichenberg und Puch von hohen Jahresniederschlägen und höheren Jahresdurchschnittstemperaturen gekennzeichnet, allerdings war in Puch die Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf sehr ungleich und von längeren Trockenheitsphasen geprägt.

Für das pflanzenbauliche Wachstum ist der Witterungsverlauf inklusive der Niederschlagsverteilung im Jahr entscheidend. Diese Werte sind im Anhang in den Abb. A1-c aufgeführt. Im Folgenden werden einige Besonderheiten an den einzelnen Standorten hervorgehoben beschrieben.

Trenthorst

Aufgrund anhaltend feuchter Witterung konnten die Erstkulturen in 2019 erst Ende Oktober gesät werden. Der folgende milde, aber sehr niederschlagreiche Winter führte zu starker Verschlammung der Böden und einer zögerlichen Entwicklung der Erstkulturen im Frühjahr 2020 mit der Folge einer späteren Ernte. Nach einem trockenen Frühjahr fielen während des Maiswachstums regelmäßig und ausreichend Niederschläge.

Im Versuchszeitraum 2020/2021 war der Zeitraum April/Mai 2021 durch deutlich niedrigere Temperaturen als im langjährigen Mittel gekennzeichnet, die zu einer langsameren Pflanzenentwicklung der Erstkulturen und einem verzögerten Feldaufgang des früher gesäten Mais führten. Dahingegen waren Juni und Juli deutlich wärmer, was das Maiswachstum beförderte.

In 2022 waren die Monate März und Juni sehr trocken, was zu entsprechenden Beeinträchtigungen beim Pflanzenwachstum führte, ansonsten war eine dem langjährigen Mittel entsprechende Niederschlagsmenge und -verteilung zu verzeichnen.

Neu-Eichenberg

Im Zeitraum 2019/20 gab es Trockenphasen im Zeitraum April-Mai und noch einmal im Juli und im September. Aufgrund eines nassen Winters zuvor wirkten sich diese nicht auffällig aus.

Das Versuchsjahr 2020/21 war generell kühler und nasser als das langjährige Mittel, besonders im Mai und Juni, was zu einer verzögerten Entwicklung der Erstkulturen und zu einer verspäteten Maissaat führte. Ebenso war der August deutlich kühler, was wiederum eine verzögerte Maisentwicklung bewirkte.

Das Wetter während des Versuchsjahres 2021/22 war deutlich trockener und heißer als im langjährigen Mittel. Ab März waren mit Ausnahme des Aprils deutlich geringere monatliche Niederschläge zu verzeichnen gewesen, was sich negativ auf das Maiswachstum auswirkte. Zugleich waren Temperaturen und Sonneneinstrahlung sehr

hoch, weshalb dieser Sommer vielfach auch als „Dürresommer“ bezeichnet wurde. Erst ab September gab es wieder bedeutendere Niederschläge.

Diese Niederschläge führten zu einem guten Feldaufgang nach Aussaat der Erstkulturen für den Versuchszeitraum 2022/2023. Das Jahr war von durchschnittlich hohen Niederschlägen und hohen Temperaturen gekennzeichnet, mit Ausnahme einer Phase von Mitte Mai bis Mitte Juni mit sehr geringen Niederschlagsmengen, wodurch das Wachstum besonders des früh gesäten Mais von Anfang Mai beeinträchtigt wurde.

Puch

Der Winter 2019/2020 war im Durchschnitt 2-4°C wärmer als im langjährigen Mittel, was zu einem frühen Wachstumsbeginn der Erstkulturen im Frühjahr 2020 führte. Im April/Mai 2020 gab es eine längere Trockenphase, die sich aber aufgrund höherer Niederschläge im Februar und im Juni nicht negativ bemerkbar machte.

In 2021 waren die Temperaturen in April und Mai geringer als im langjährigen Mittel. Ferner war der Mai durch hohe Niederschlagsmengen gekennzeichnet, was zu einer verzögerten aber auch üppigeren Entwicklung der Erstkulturen führte.

Im Versuchsjahr 2021/22 lagen die Temperaturen im Winter (Januar, Februar) und im Sommer (Juni, August) z.T. deutlich über dem langjährigen Mittel. Der Februar wies fast dreimal so viel Niederschlag wie im langjährigen Durchschnitt auf, während März und Juni deutlich darunter lagen. Die Niederschlagsverteilung war ansonsten relativ gleichmäßig und passte gut zum Pflanzenwachstum.

Im Frühjahr 2023 führten wiederholte Wechselfröste zu starken Auswinterungsschäden bei den Wintererbsen, so dass diese Varianten aufgegeben werden mussten. Ab Mai 2023 folgte eine ungewöhnliche Trockenheit, die einen schlechten bis sehr schlechten Aufgang der Maiskultur nach der Winterzwischenfrucht bewirkte. Es lohnte sich lediglich die Gemenge mit Bodenbearbeitung in je beiden Reihenabständen neben der Kontrolle weiterzuführen.

3.2 Versuchsaufbau

In umfangreichen Feldversuchen wurden an allen drei Standorten folgende Faktoren vergleichend geprüft: 1) Erstkulturart, 2) Verwendung Erstkulturen und Maissaatverfahren, 3) Reihenweite.

Bei den Varianten mit gewalzten Zwischenfrüchten wurden systembedingt keine mechanische Unkrautregulierung und keine organische Düngung durchgeführt (Abb. 1).

Prüffaktoren:				Kontrolle
Erstkulturen/Zwischenfrüchte:	<u>Wintererbse und Winterwicke</u> Gemenge mit Roggen Reinsaat			ohne ZF Pflug
Verwendung Erstkulturen:	Ganzpflanzenernte Zerstörung mit Messerwalze			
Maissaat:	nach reduzierter Bodenbearbeitung	Direktsaat	Direktsaat	Saat nach Bodenbearbeitung
Reihenweite Mais:	50/75 cm	50/75 cm	50/75 cm	50/75 cm
Unkrautregulierung:	mechanisch	mechanisch	ohne	mechanisch
Maisdüngung:	ja	ja	nein	ja

Abb. 1: Übersicht der Anbaufaktoren

Die mechanische Unkrautregulierung erfolgte mit an den Standorten vorhandenen Hacksystemen nach Bedarf. Die organische Düngung wurde mittels Biogasgärresten bzw. Gülle durchgeführt.

Insgesamt ergaben sich aus den Anbaufaktoren 18 Varianten, die in vier Wiederholungen angeordnet in einem Lateinischen Rechteck an allen Standorten untersucht wurden. Die Parzellengröße betrug 30 m² (3 m x 10 m).

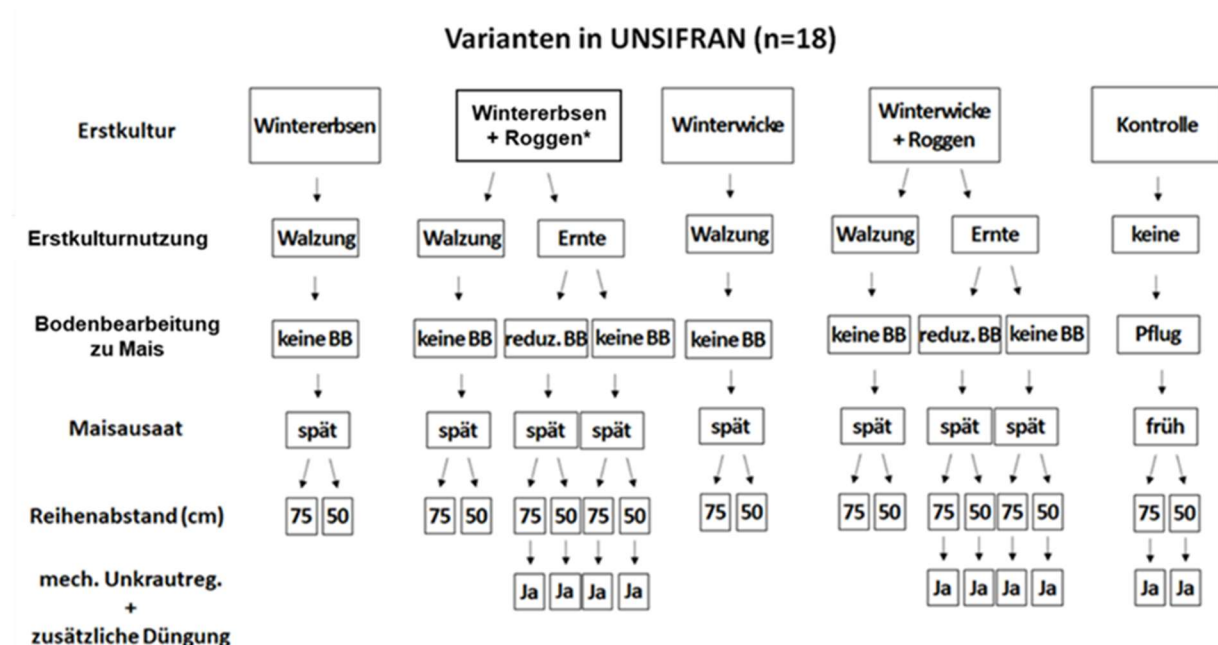


Abb. 2: Übersicht aller an allen Standorten geprüften Varianten.

*Im ersten Versuchsjahr 2019/2020 wurden Wintererbse/Triticale angebaut

In Abb. 2 sind zur Übersicht die einzelnen Varianten systematisch dargestellt und im Folgenden zusammenfassend aufgeführt:

- 1 = Kontrolle Mais 75 cm (Reihenabstand)
- 2 = Kontrolle Mais 50 cm
- 3 = Wintererbse - Walzen - Direktsaat - 75 cm
- 4 = Wintererbse - Walzen - Direktsaat - 50 cm
- 5 = Winterwicke - Walzen - Direktsaat - 75 cm
- 6 = Winterwicke - Walzen - Direktsaat - 50 cm
- 7 = Wintererbse/Roggen - Walzen - Direktsaat 75 cm
- 8 = Wintererbse/Roggen - Walzen - Direktsaat 50 cm
- 9 = Wintererbse/Roggen - Ernte - Direktsaat 75 cm
- 10 = Wintererbse/Roggen - Ernte - Direktsaat 50 cm
- 11 = Wintererbse/Roggen - Ernte - Bodenbearbeitung - 75 cm
- 12 = Wintererbse/Roggen - Ernte - Bodenbearbeitung - 50 cm
- 13 = Winterwicke/Roggen - Walzen - Direktsaat - 75 cm
- 14 = Winterwicke/Roggen Wi/Ro - Walzen - Direktsaat 50 cm
- 15 = Winterwicke/Roggen Wi/Ro - Ernte - Direktsaat 75 cm
- 16 = Winterwicke/Roggen Wi/Ro - Ernte - Direktsaat 50 cm
- 17 = Winterwicke/Roggen Wi/Ro - Ernte - Bodenbearbeitung 75 cm
- 18 = Winterwicke/Roggen Wi/Ro - Ernte - Bodenbearbeitung 50 cm

Bei den Erstkulturen wurden an allen drei Standorten die gleichen Sorten angebaut und die gleichen Saatstärken verwendet. Diese sind Tabelle 3 zu entnehmen. Triticale wurde nur im ersten Jahr (2019/2020) im Gemenge mit Wintererbsen angebaut und dann durch Roggen ersetzt. Aufgrund der späteren Blüte von Triticale konnte diese auch erst später geerntet oder gewalzt werden bzw. es kam zu einem stärkeren Wiederaustrieb, was zu einer späteren Maissaat bzw. einer erhöhten Konkurrenz im nachfolgenden Mais führte.

Tab. 3: Erstkulturen – Sorten und Saatstärken (Körner je m²) an allen Standorten

	Sorte	Saatstärke Reinsaat	Saatstärke Gemenge (40/60)
Wintererbse	EFB 33	80	32
Winterwicke	Otsaat Dr. Baumann	250	100
Winterroggen	Inspector		180
Wintertriticale	Tulus		180

Die Maissorten wurden standortspezifisch ausgewählt, da hinsichtlich der geeigneten Siloreifezahl für die jeweiligen Standorte große Unterschiede vorlagen. Dabei wurden i.d.R. für die Spätsaat von Mais nach Erstkulturanbau Sorten angebaut, die eine um 20-50 Punkte geringere Siloreifezahl als bei standortüblicher Aussaat aufwiesen.

Tab. 4: Maissorten (mit Siloreifezahlen) der einzelnen Standorte für Normal- und Spätsaat

	Normalsaat	Spätsaat
TRE	Keops (S 210)	Perez KWS (S 160)
NEB	Farmfire Öko bzw. Emeleen (S 230)	Cathy bzw. Crosbey (S 210)
PUC	Geoxx (S 240)	Keops (S 210)

3.3 Versuchsdurchführung

Für die Erstkulturen wurde eine abtragende Fruchtfolgestellung angestrebt, die idealerweise durch Getreide als Vorfrucht gekennzeichnet war. Zu den Erstkulturen erfolgte eine standortübliche intensivere Bodenbearbeitung, z.B. durch Pflugeinsatz oder mehrmaliges Grubbern. Die Erstkulturen wurden im Zeitraum Ende September bis Ende Oktober gesät, je nach Standort und Jahr unterschiedlich. In diesen wurden keine weiteren Pflegemaßnahmen und keine Düngung durchgeführt.

Die Erstkulturen wurden möglichst während der Blüte entweder als Ganzpflanze geerntet (Gemengeanbau) oder mit einer Messerwalze gewalzt (Gemenge- und reiner Leguminosenanbau). Dieser Zeitpunkt bewegte sich in den Versuchsjahren zwischen Ende Mai und Mitte Juni.

Anschließend wurde der Mais sowohl im Direktsaatverfahren ohne Bodenbearbeitung als auch nach einer leichten Bodenbearbeitung mit Scheibenegge, Zinkenrotor oder Kreiselegge nach der Gemengeernte gesät.

Die Düngung mit Gülle bzw. Gärrest erfolgte in Trenthorst zur Maissaat und in Neu-Eichenberg sowie in Puch ca. 3-4 Wochen nach der Maissaat in Kombination mit einer mechanischen Unkrautregulierung. Dabei wurden standortabhängig zwischen 50 und 80 kg N ha⁻¹ zu den Varianten mit Erstkulturernte appliziert (Trenthorst: jahresabhängig 50 oder 80 kg N ha⁻¹; Neu-Eichenberg: 80 kg N ha⁻¹; Puch: 50 kg N ha⁻¹). Die Maisvarianten nach gewalzter Zwischenfrucht wurden nicht gedüngt.

Die Unkrautregulierung erfolgte nach Ernte der Erstkulturen standortspezifisch und wurde zumeist mit zweimaligem Hacken durchgeführt. Dabei erwies sich der engere Reihenabstand von 50 cm teilweise als hinderlich für einen zweiten Hackvorgang, da aufgrund des früheren Reihenschlusses bei diesen Varianten das Zeitfenster zum Befahren der Bestände kürzer war.

Bei den Kontroll- bzw. Vergleichsvarianten wurde der Mais im herkömmlichen Verfahren angebaut. Dazu wurde im Herbst gepflügt, der Boden lag den Winter über brach

und es wurde nach intensiver Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung der Mais Anfang Mai gesät. Die Düngung erfolgte ebenfalls über Gülle bzw. Gärrest an allen Standorten mit 80 kg N ha^{-1} . Die Unkrautregulierung erfolgte ebenfalls standortüblich mit Striegel und Hackmaschine.

Im ersten Versuchsjahr wurde als Gemengepartner zur Wintererbse Triticale angebaut. Aufgrund der späteren Blüte von Triticale im Vergleich zu Roggen konnte diese auch erst später geerntet oder gewalzt werden bzw. es kam zu einem stärkeren Wiederaustrieb, was zu einer erhöhten Konkurrenz im nachfolgenden Mais führte. Daher wurde ab dem zweiten Versuchsjahr Triticale durch Roggen ersetzt.

3.4 Bonituren und Untersuchungsmethoden

Die **Pflanzenentwicklung** wurde regelmäßig anhand der Bestimmung der BBCH-Stadien (Meier, 2001) sowohl in Erstkulturen als auch im Mais erfasst. Diese Boniturdiente auch dazu, die Zeitspanne von der Maissaat bis zum Reihenschluss zu erfassen, die Aufschluss über die Maisentwicklung bei unterschiedlichen Saatterminen gibt (Abb. 9).

Die **Erträge** der Erstkulturen wurden mittels zweier Ertragsschnitte von je $0,75 \text{ m}^2$ pro Variante und Wiederholung zum anvisierten Entwicklungsstadium der Blüte bestimmt. Dabei wurde der Trockensubstanzgehalt durch Trocknung eines Aliquots bei 105°C für 48 Stunden bis zur Gewichtskonstanz ermittelt, so dass der Trockenmasseertrag berechnet werden konnte. Die Silomaiserträge wurden in den Kernbereichen (=innere Reihen) der Parzellen ermittelt. In Trenthorst und Puch wurde dies mit vollautomatischen Parzellenerntemaschinen durchgeführt. In Neu-Eichenberg erfolgte je Parzelle und Wiederholung eine händische Beerntung von $2,5 \text{ m}^2$ aufgeteilt auf zwei Teilflächen. Der TS-Gehalt und der daraus resultierende Trockenmasseertrag wurde wie bei den Erstkulturen ermittelt. Bei der vollautomatischen Ernte in Trenthorst und Puch wurden alle Varianten zum gleichen Termin ohne Berücksichtigung des Reifegrades geerntet. In Neu-Eichenberg wurden beim händischen Verfahren die Standardvarianten aufgrund der früheren Abreife auch früher als die Spätsaatvarianten geerntet, so dass alle Varianten meist zur Siloreife geerntet wurden.

Der **N-Gehalt** der Erstkulturen wurde an den einzelnen Standorten mit der vorhandenen N-Analytik (i.d.R. mit einem CNS-Analysator (Vario MAX Cube Elementar Analysensysteme, Langenselbold, D) bestimmt. Mittels Multiplikation mit dem Umrechnungsfaktor 6,25 (VDLUFA Methodenbuch Band III, 4.1.2) konnte der Rohproteingehalt in Prozent berechnet werden.

Der **Futterwert** von Mais wurde an den drei Standorten mittels NIRS-Analytik inklusive Energieberechnung entweder durch hauseigene Laboreinrichtungen (Puch) oder durch Auftragsvergabe an das Labor Agrolab (Trenthorst) bzw. an das Hessische Landeslabor Hessen (Neu-Eichenberg) ermittelt.

Der **Unkrautdeckungsgrad** wurde je Parzelle auf mehreren randomisierten $0,25 \text{ m}^2$ großen Flächen kontinuierlich aufgenommen (prozentualer Anteil der Fläche). Ferner wurden dabei die Hauptunkrautarten bestimmt.

Die **N_{min}-Gehalte** und die gravimetrischen **Wassergehalte** des Bodens wurden zur Maissaat, ca. 4-6 Wochen nach der Saat und zur Maisernte je Parzelle bestimmt.

Am Standort Neu-Eichenberg wurde die **Bodentemperatur** in den Jahren 2021 und 2022 mittels Bodentempertursensoren nach der Maissaat in einigen der geprüften Varianten ermittelt. Dazu wurden die Sensoren auf eine Tiefe von 5 cm eingegraben. Die Daten wurden bei jeder geprüften Variante über drei Wiederholungen erhoben.

Die **ökonomische Auswertung** erfolgte anhand einer einfachen Deckungsbeitragsberechnung. Dabei wurden die ermittelten Biomasseerträge in Wert gesetzt, indem für die Erstkulturen ein Verkaufswert von 137 € je t TM Ganzpflanze stehend ab Feld angesetzt wurde. Beim Mais wurde dieser Wert mit 183 € je t TM stehend ab Feld beziffert. Diese Werte wurden nach Recherche in Fachzeitschriften und in Rücksprache mit der Fachberatung der Bio-Anbauverbände Bioland und Naturland sowie einem Abgleich mit dem Deckungsbeitragsrechner der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (<https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html>) festgesetzt. Die Kosten wurden anhand der durchgeführten Arbeitsgänge bei den einzelnen Varianten ermittelt. Um diese Daten überschaubar zu halten, wurden gewisse Standardisierungen durchgeführt, z.B. wurde angenommen, dass vor den Erstkulturen grundsätzlich gepflügt wurde. Die Kosten der einzelnen Arbeitsgänge wurden anhand von Angaben der KTBL-Faustzahlen für den ökologischen Landbau (KTBL, 2015) sowie des Deckungsbeitragsrechners der LfL festgelegt. Im Anhang ist in den Abb. 3a-d beispielsweise für vier Varianten die Deckungsbeitragsberechnung aufgeführt.

Die **Datenauswertung und -bearbeitung** erfolgte mit Microsoft Excel und dem Statistikprogramm SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, US). Die Ertragsdaten und die TS-Gehalte wurden statistisch mittels Varianzanalyse und der Prozedur proc mixed verrechnet.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Versuchsdurchführung

Die Durchführung der Versuche an den drei Standorten erfolgte überall mit großem Engagement. Da die unterschiedlichen Anbausysteme auch unterschiedliche technische Ausstattung erforderten, war der Beginn des Projektes durch die Klärung und Lösung dieser technischen Herausforderungen geprägt. Durch Kooperationen mit Landmaschinenherstellern konnten dabei viele gute Lösungen gefunden werden. Zugleich mussten manche angedachten Anbaustrategien auch modifiziert werden, z.B. konnte der ursprünglich geplante verringerte Reihenabstand von 37,5 cm mit den Direktsaatmaschinen nicht realisiert werden, da die Räumsterne zur Freilegung des Saatschlitzes bei dieser Arbeitsbreite nicht ausreichend arbeiteten. Daher wurde der verengte Reihenabstand auf 50 cm festgelegt.

Bei der Umsetzung der Anbaustrategien zeigten sich an allen Standorten die erhöhten Anforderungen an das Anbaumanagement im Vergleich zum Standardanbau. Die sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den einzelnen Versuchsjahren verstärkten diese Anforderungen. Z.B. waren am Standort Neu-Eichenberg im Jahr 2021 aufgrund relativ hoher Niederschlagsmengen vor der Maissaat nasse Bodenbedingungen

gegeben, die dazu führten, dass die Saatschlitzte nach der Direktsaat oft nur ungenügend zugedrückt wurden, wodurch ein schlechterer Feldaufgang und verstärkter Vogelfraß auftraten. Hier hätten andere Andruckrollen ein besseres Ergebnis erzielen können. Im Jahr 2022 mit der ausgeprägten Trockenheit waren die herkömmlichen Andruckrollen wiederum sehr geeignet.

Die im ersten Versuchsjahr erworbenen Erfahrungen führten zur nahezu reibungslosen Versuchsdurchführung in den Folgejahren. Im Jahr 2023 traten in Puch starke Auswinterungsschäden bei den Erstkulturen und massive Trockenschäden im Mais auf, so dass in diesem Versuchsjahr in Puch keine durchgängig verwertbaren Ergebnisse erzielt werden konnten.

4.2 Erträge

Bei Betrachtung der Ertragsergebnisse über alle Versuchsjahre hinweg (Abb. 3) wird deutlich, wie unterschiedlich sich die Erträge der geprüften Varianten an den einzelnen Standorten entwickelten. Nur am Standort NEB erreichten mehrere innovative Anbauverfahren vergleichbare Silomaiserträge wie der Standardanbau mit $14,4 \text{ t TM ha}^{-1}$. Nach Ernte der Erstkultur Wintererbse/Roggen und reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais lag der Maisertrag bei $15,6 \text{ t TM ha}^{-1}$, nach geerntetem Wickroggen-Gemenge bei $14,4 \text{ t TM ha}^{-1}$. Vergleichbare Erträge wurden ebenso nach gewalzten reinen Leguminosen erzielt: nach Wintererbse $13,7 \text{ t TM ha}^{-1}$, nach Winterwicke $16,6 \text{ t TM ha}^{-1}$. Nach gewalzten Gemengen waren die Maiserträge deutlich niedriger. Auch bei der Direktsaat nach geernteten Erstkulturen wurden mit $10,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ nach Wintererbse/Roggen und $11,5 \text{ t TM ha}^{-1}$ nach Wickroggen geringere Maiserträge verzeichnet. Diese vier Varianten mit Maisanbau nach Gemenge ohne Bodenbearbeitung verzeichneten an allen Standorten die geringsten Erträge, so dass hier eine systembedingte Ertragsdynamik vorzuliegen scheint.

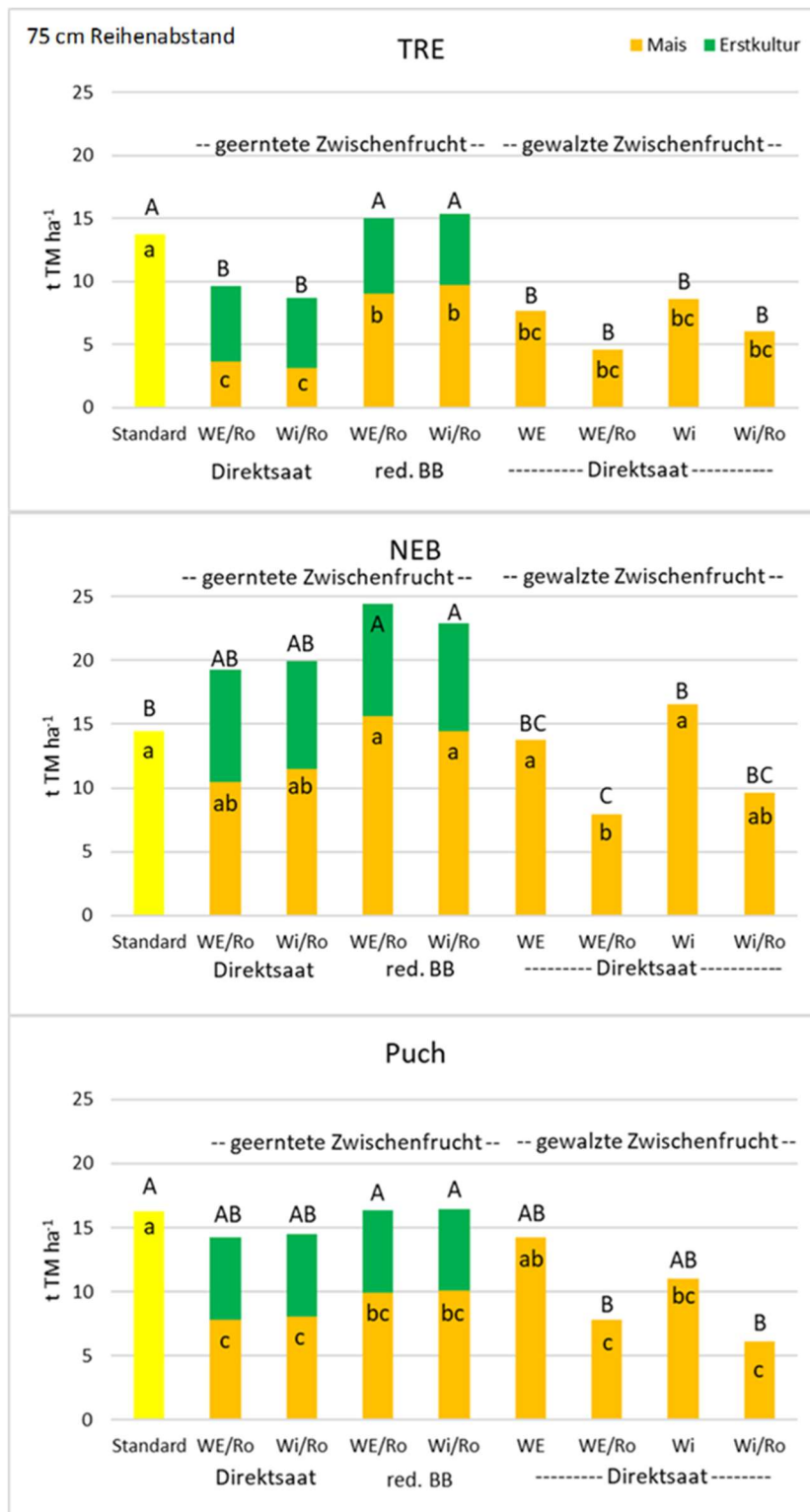


Abb. 3: Erträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit **75 cm Reihenabstand** an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p=0,05$, SNK-Test), Kleinbuchstaben = Maisertrag; Großbuchstaben=Gesamtertrag je Jahr.

Bei den gewalzten Gemengen wurde aufgrund des geringeren Leguminosenanteils weniger Stickstoff fixiert, was sich auch in den geringeren N-Gehalten im Aufwuchs der Gemengeerstkulturen widerspiegelte, der durchschnittlich halb so hoch wie bei den Leguminosenreinsaaten war (Kap. 4.4). Der Mais wurde bei den gewalzten Varianten nicht gedüngt, so dass nach Gemengeanbau aus den Erstkulturen und ihren unterirdischen Residuen weniger Stickstoff als nach reinem Leguminosenanbau zur Verfügung stand, was sich neben den Erträgen auch in der meist helleren Blattfärbung der Maispflanzen zeigte.

Bei den beiden Varianten mit Maisdirektsaat nach geernteten Erstkulturen wurde hingegen der Mais in gleicher Höhe wie bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais gedüngt. Daher scheinen hier andere Faktoren die geringeren Maiserträge bewirkt zu haben. Bei diesen Varianten war meistens ein höherer Unkrautdeckungsgrad als bei den anderen Varianten zu verzeichnen (Kap. 4.5), wodurch der Mais eine stärkere Konkurrenz hatte, die sich vermutlich ertragsmindernd auswirkte. Hinzu kommt, dass durch die Bodenbearbeitung zur Maissaat Mineralisierungsprozesse im Boden gefördert werden, die zu einer besseren Nährstoffversorgung und somit höheren Maiserträgen geführt haben könnten. Außerdem wurde teilweise festgestellt, dass in Einzeljahren die Saatgutablage des Mais in den Varianten mit Bodenbearbeitung besser als bei Direktsaat erfolgte, was wiederum zu einem besseren Maiswachstum beigetragen haben könnte.

In Puch erzielte nur die Variante nach gewalzten Wintererbsen mit $14,2 \text{ t TM ha}^{-1}$ einen annähernd ähnlichen Silomaisertrag wie der Standardanbau mit $16,3 \text{ t TM ha}^{-1}$. Nach Wintererbsen wurden etwas höhere Erträge als nach gewalzten Wicken erzielt, da die Wickenaussaat im Jahr 2019 aufgrund eines sehr geringen Feldaufganges wiederholt werden musste. Dies führte zu einer verzögerten Bestandesentwicklung und einer geringeren Biomasse. Zugleich muss darauf hingewiesen werden, dass im letzten Versuchsjahr 2022/2023 die Wintererbsen Anfang April stark ausgewintert waren und verbunden mit der folgenden Trockenheit im Jahr 2023 keine repräsentativen Erträge erzielt werden konnten, so dass diese nicht in den Mittelwerten berücksichtigt wurden.

Am Standort Trenthorst verzeichneten alle innovativen Varianten signifikant geringere Silomaiserträge als beim Standardanbau mit $13,7 \text{ t TM ha}^{-1}$. Zum Teil waren die Erträge um bis zu 10 t TM ha^{-1} geringer (Varianten mit Direktsaat von Mais nach Erstkulturernte). Aufgrund der klimatischen Bedingungen am Standort Trenthorst entwickelten sich die Zwischenfrüchte/Erstkulturen im Frühjahr relativ zögerlich, wodurch diese die Blüte als Entwicklungsstadium für die Ernte bzw. das Walzen erst relativ spät erreichten. Dadurch erfolgte die Maissaat als Zweitkultur häufig erst ab Mitte Juni, was zu den durchgängig geringeren Erträgen beitrug. An den anderen Standorten wurde der Mais zumeist Anfang Juni gesät.

Mit der Ernte der Erstkulturen Wintererbse-Roggen bzw. Winterwicke-Roggen werden zwei Biomasseernten pro Jahr durchgeführt, die für den Gesamtertrag pro Jahr mit dem Silomaisertrag aufsummiert werden. Dadurch steigt der Gesamtertrag eines Jahres im Vergleich zum alleinigen Silomaisanbau. In Trenthorst lag der durchschnittliche Ertrag der Erstkulturen bei $5,9 \text{ t TM ha}^{-1}$ bei Wintererbse/Roggen und bei $5,6 \text{ t TM ha}^{-1}$ bei Winterwicke/Roggen. Der Jahresertrag stieg somit bei Varianten mit Erstkulturernte und reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais auf $15,0$ (nach WE/Ro) bzw. $15,3 \text{ t TM ha}^{-1}$ und war etwas höher als beim alleinigen Maisanbau im Standardverfahren

mit 13,7 t TM ha⁻¹. Dies wirkte sich allerdings nicht positiv auf die Deckungsbeiträge aus (Abb. 12), da mit dem Anbau und der fallweisen Nutzung von zwei Kulturen im Jahr auch höhere Anbaukosten verbunden sind, die durch entsprechend höhere Erträge ausgeglichen werden müssen.

Am Standort Neu-Eichenberg führte die Ernte von zwei Kulturen im Jahr zu signifikant höheren Erträgen bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung als beim Standardverfahren mit 14,4 t TM ha⁻¹. Der Ertrag von Wintererbse/Roggen lag bei 8,8 und von Winterwicke/Roggen bei 8,5 t TM ha⁻¹. Dabei wurde der höchste Ertrag bei Ernte von Wintererbsen-Roggen und Silomais mit insgesamt 24,4 t TM ha⁻¹ erzielt. Auch die Varianten mit Direktsaat von Mais nach Erstkulturenernte verzeichneten höhere Jahreserträge von zwei Kulturen als der Standardanbau, allerdings auf einem geringeren Niveau als nach reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais.

In Puch erzielten alle Erstkulturen durchschnittlich einen Ertrag von 6,4 t TM ha⁻¹. Der Gesamtertrag der Varianten mit Erstkulturenernte lag ungefähr auf dem Niveau des alleinigen Maisanbaus im Standardverfahren. Dabei fielen auch hier die Gesamtjahreserträge bei Direktsaat von Mais nach Erstkulturenernte aufgrund der geringeren Maiserträge etwas ab.

Die Anbauverfahren mit Maisanbau nach gewalzten Zwischenfrüchten verzeichneten an allen Standorten aufgrund der Ernte nur einer Kultur (Mais) im Jahr die geringsten Erträge pro Jahr.

Diese beschriebene Ertragsdynamik ist in gleicher Art und Weise mit nur geringen Unterschieden bei den Varianten mit engerem Reihenabstand von Silomais mit 50 cm zu verzeichnen gewesen (Abb. 4), daher wird auf diese Varianten hier nicht detailliert eingegangen.

Generell ist festzuhalten, dass in den einzelnen Untersuchungsjahren an den drei Versuchsstandorten teilweise große Unterschiede bei den Erträgen der Varianten zu verzeichnen waren, die bei Betrachtung der Mittelwerte über alle Jahre so nicht in Erscheinung treten. Erkenntnisse aus den Einzeljahren sind aber für die Bewertung der einzelnen Anbausysteme von Bedeutung. Daher folgt eine Auflistung der wichtigsten Erkenntnisse aus den Erträgen der einzelnen Jahre von allen Standorten, die graphisch im Anhang in Tab. A 2a-c aufgeführt sind.

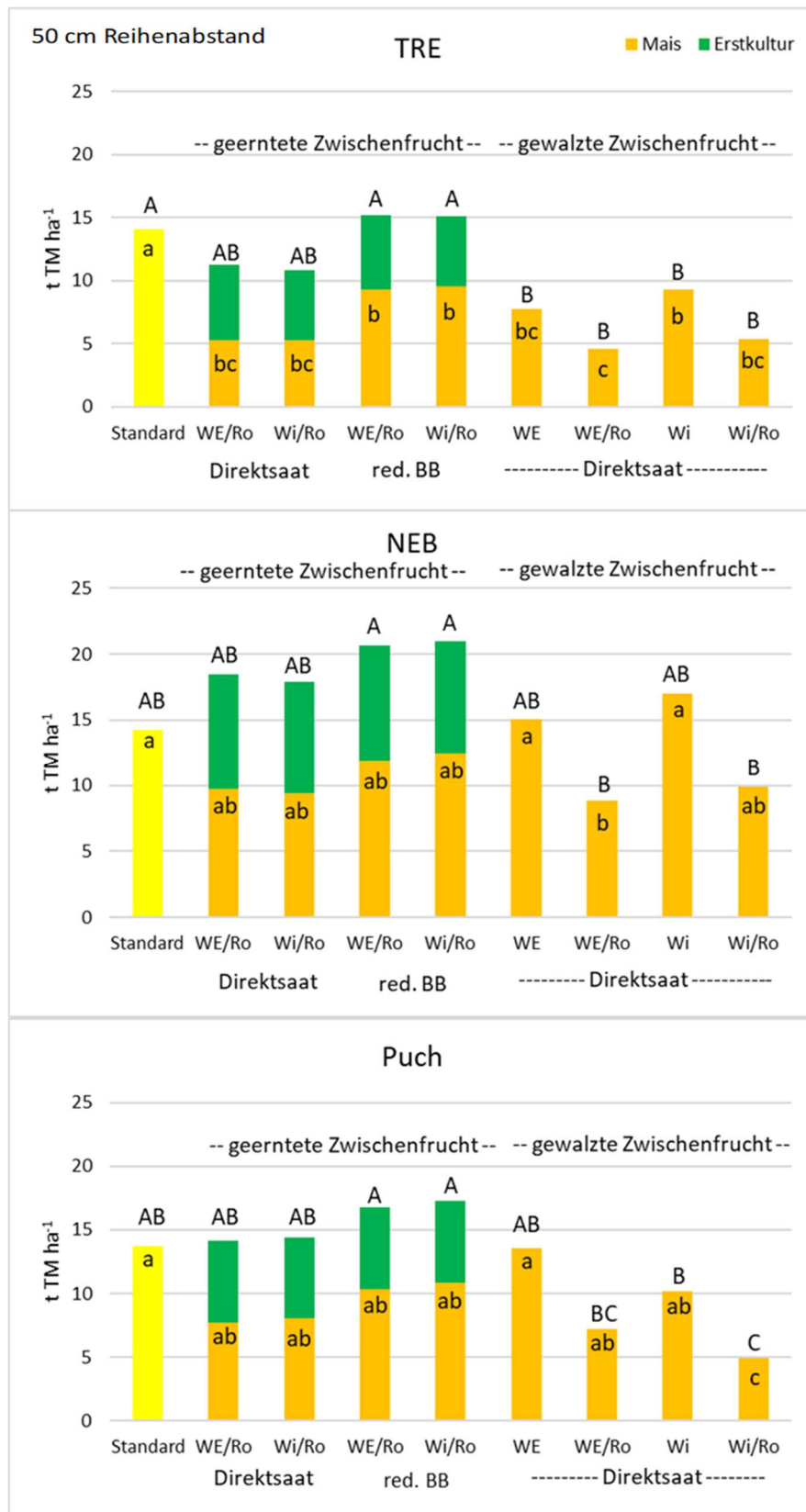


Abb. 4: Erträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit 50 cm Reihenabstand an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede (p=0,05, SNK-Test), Kleinbuchstaben = Maisertrag; Großbuchstaben=Gesamtertrag je Jahr.

Trenthorst

In 2021 benötigten die Erstkulturen länger, um das Entwicklungsstadium der Blüte zu erreichen, in dem diese geerntet bzw. gewalzt werden sollten. Dies führte zwar zu höheren Erstkultureerträgen als in den anderen Jahren, hatte aber auch eine spätere Maissaat zur Folge. Aufgrund von Vogelfraß mussten dann viele Parzellen noch einmal gesät werden, wodurch die Maissaat im Endeffekt ca. drei Wochen später erfolgte. Dies führte zu deutlich geringeren Maiserträgen in diesem Jahr, die durch die höheren Erstkultureerträge nur bedingt ausgeglichen werden konnten. Allerdings ersetzen die Erstkulturen den Silomais hinsichtlich des Energiegehaltes bei der Futterqualität nicht gleichwertig.

Neu-Eichenberg

Im Jahr 2022 erreichten die innovativen Varianten mit Spätsaat von Silomais generell sehr geringe Maiserträge im Vergleich zum Standardanbau. Dies wurde durch eine sehr stark ausgeprägte Trockenheitsphase in NEB während der Vegetationszeit verursacht. Die gewalzten Erstkulturen bedecken während des Maiswachstums den Boden, was u.a. zu einer reduzierten Evaporation führen soll. Dieser Effekt konnte im Jahr 2022 nicht merklich zu einer Erhöhung bzw. Stabilisierung der Erträge beitragen. Allerdings zeigte sich auch hier, dass nach gewalzten reinen Leguminosen die Maiserträge höher als nach gewalzten Gemengen waren. Dennoch bleibt festzuhalten, dass der Anbau bzw. die Nutzung von zwei Kulturen in einem Jahr auch Niederschläge mit entsprechender Verteilung während des Maiswachstums benötigt. In 2022 waren die Erträge der Erstkulturen mit über 10 t TM ha⁻¹ sehr hoch und stabilisierten bei den Varianten mit Erstkulturenernte den Gesamtertrag pro Jahr. Dadurch kommt es zu einer gewissen Risikoabfederung, die aufgrund der zunehmenden Unsicherheiten der klimatischen Entwicklung von Bedeutung ist. Auch hier gilt wieder, dass die Erstkulturen den Silomais hinsichtlich des Energiegehaltes bei der Futterqualität nicht gleichwertig ersetzen.

In 2023 wurden hingegen sehr hohe Maiserträge bei den Varianten mit Spätsaat erzielt, die z.T. deutlich über dem Standardanbau lagen. Insbesondere nach Erstkulturenernte mit Bodenbearbeitung zu Mais und bei Direktsaat nach gewalzten reinen Leguminosen wurden hohe Erträge erreicht. In 2023 waren beim Standardanbau nach der Maissaat kühlere Temperaturen vorherrschend, die zu einer langsamen Maisentwicklung führten. Der spät gesäte Mais hingegen wuchs unter optimaleren Bedingungen heran, die auch zur Abreife im Herbst anhielten und zu hohen Erträgen bei hohen TS-Gehalten führten.

Puch

Wie schon weiter oben erwähnt, bildeten die Winterwicken in 2019/2020 keinen repräsentativen Bestand, so dass sich die positiven Vorfruchtwirkungen für den Mais nur unzureichend ausbilden konnten, wodurch entsprechend geringe Maiserträge bei den Varianten nach gewalzten Wicken bzw. Wicke-Roggen-Gemenge erzielt wurden. Dies war bei den Varianten mit geerntetem Wick-Roggen nicht zu verzeichnen, vermutlich wurde hier durch die Ernte und der anschließenden Bearbeitung bzw. der

mechanischen Unkrautregulierung dem Mais ein Wachstumsvorteil ermöglicht. Dies zeigt die besondere Bedeutung guter Erstkulturbestände auf, da nach dem Walzen der Erstkulturen bei diesen Varianten nicht mehr regulierend eingegriffen werden kann. Auch die Auswinterungsschäden bei Wintererbsen durch starke Wechselfröste bestärken diese Erkenntnis.

In 2022 waren bei relativ guten Maiserträgen hohe Erträge der Erstkulturen zu verzeichnen. Dies führte bei den Varianten mit geernteter Erstkulturen zu besonders hohen Gesamterträgen pro Jahr, die das Potenzial aufzeigen, das diese Varianten bei entsprechender Witterung und Pflanzenentwicklung besitzen. Allerdings musste der Versuch in 2023 größtenteils abgebrochen werden und war nicht auswertbar, da aufgrund von Auswinterung der Wintererbsen und insbesondere von starker Trockenheit während des Maiswachstums keine erntbaren Maisbestände heranwuchsen. Dies zeigt wiederum die Grenzen dieser Anbauvarianten mit Spätsaat von Mais auf.

4.3 Trockensubstanz-Gehalte

Die geernteten **Erstkulturen** Wintererbse/Roggen und Winterwicke/Roggen wiesen durchschnittliche Trockensubstanz – (TS-) Gehalte zwischen 24 und 29 % in allen Versuchsjahren auf, so dass für eine gute Silagebereitung oftmals ein Anwelken zur Erhöhung der TS-Gehalte erforderlich ist.

In Abb. 5 sind die TS-Gehalte der geprüften Maisvarianten an den einzelnen Standorten aufgeführt. An den Standorten Trenthorst und Puch wies die Standardmaisvariante mit früherer Aussaat Anfang Mai mit über 35 % z.T. deutlich höhere TS-Gehalte als die alternativen Anbauverfahren auf. In Neu-Eichenberg war dieser Unterschied zwischen den Varianten deutlich geringer. Bis auf die Maisvarianten nach gewalzten Gemengen lagen hier alle Varianten auf vergleichbarem Niveau und erreichten mit Werten zwischen 30 und 35 % gute Werte für die Silierung. Dies hing auch damit zusammen, dass in Trenthorst und Puch die Ernte aller Varianten unabhängig vom Reifegrad zum gleichen Zeitpunkt erfolgte. Dieser wurde i.d.R. anhand des Reifegrades der früher gesäten Standardvarianten bestimmt, so dass die Spätsaatvarianten die Siloreife zumeist noch nicht erreicht hatten, obwohl dafür noch Vegetationszeit zur Verfügung gestanden hätte. Hingegen wurden in Neu-Eichenberg die Spätsaatvarianten später als die früher gesäten Standardvarianten geerntet, so dass sie länger auf dem Feld verblieben und höhere TS-Gehalte erreichen konnten.

Die Varianten mit Mais nach gewalzten Gemengen erzielten an allen Standorten die geringsten TS-Gehalte, dies waren auch die Varianten mit den geringsten Erträgen. Mit Werten zwischen durchschnittlich 20 und 25 % waren die TS-Gehalte meistens signifikant niedriger und für eine gute Silierung zu gering.

Zwischen den beiden Reihenabständen von Mais mit 75 und 50 cm waren oft nur geringe Unterschiede vorhanden, die auch nicht einheitlich auftraten. Zwischen den geprüften Varianten wiesen die Unterschiede bei beiden Reihenweiten die gleichen Tendenzen auf.

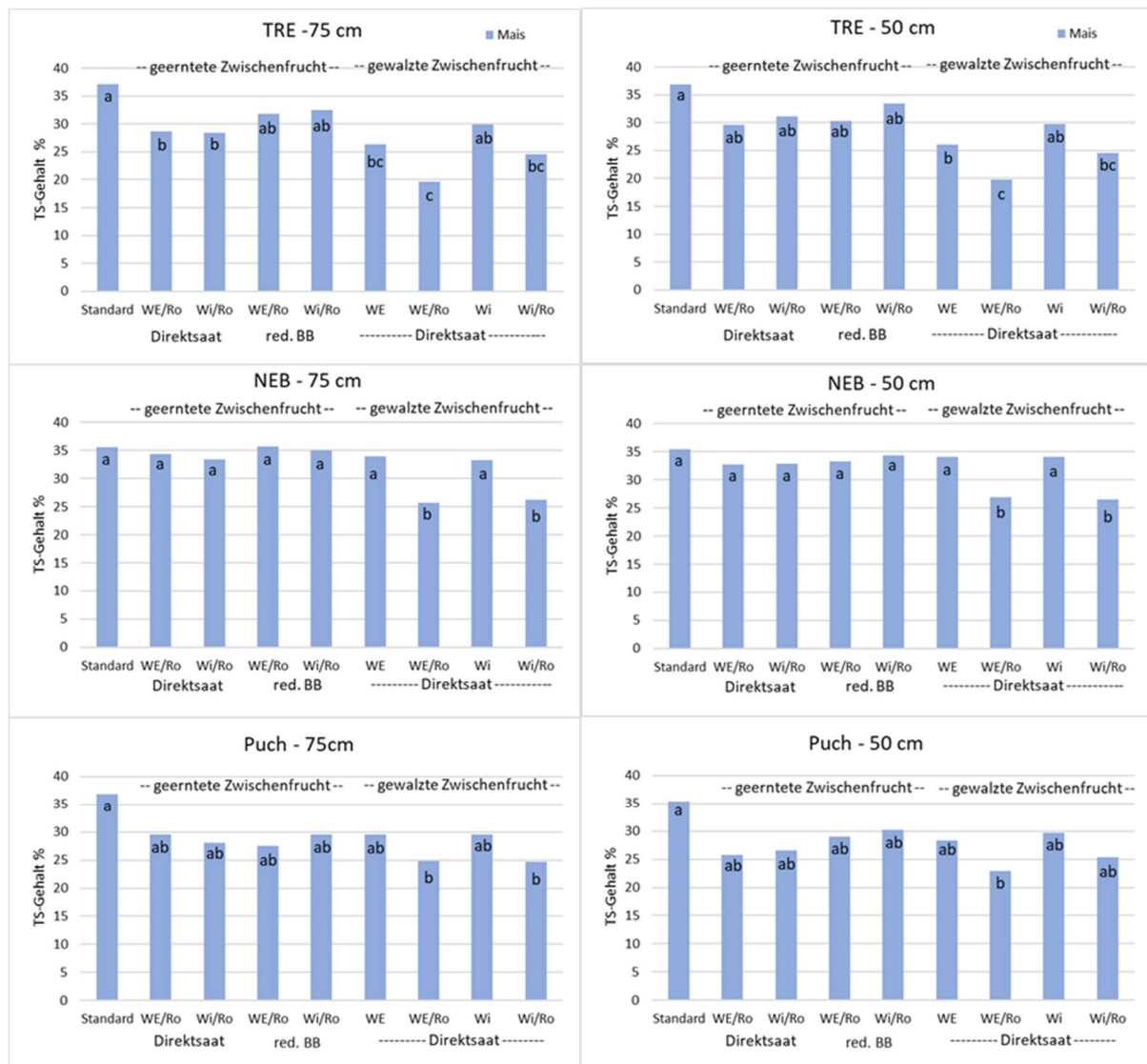


Abb. 5: TS-Gehalte von Silomais der geprüften Varianten mit 75 bzw. 50 cm Reihenabstand an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, verschiedene Buchstaben = signifikante Unterschiede ($p=0,05$, SNK-Test).

Dennoch gab es in den einzelnen Versuchsjahren unterschiedliche Werte bei den TS-Gehalten, die bei Betrachtung der Mittelwerte über alle Jahre nicht hervortreten, aber für die Bewertung der Anbauvarianten von Bedeutung sein können. Daher werden im Folgenden einige Aspekte gesondert beschrieben, ohne dass diese grafisch separat dargestellt werden.

- In Puch wurden in 2021 bei den innovativen Anbauverfahren mit Werten zwischen 20 und 22 % deutlich geringe TS-Gehalte als in den anderen Untersuchungsjahren erzielt. Aufgrund einer zögerlichen Entwicklung der winterharten Zwischenfrüchte in 2021 erfolgte deren Ernte bzw. das Walzen erst Mitte Juni mit der Folge einer bis zu drei Wochen verspäteten Maissaat, wodurch der Mais zur Ernte vermutlich die geringeren TS-Gehalte aufwies.

- In Trenthorst wurden in 2021 bei den Varianten mit Direktsaat nach Messerwalzeneinsatz bei den Erstkulturen bis zu 10 % geringere TS-Gehalte als bei den Varianten mit Maisspätssaat nach Ernte der Erstkultur erzielt. In 2021 wiesen die Erstkulturen hohe Biomasseerträge auf, so dass nach dem Einsatz der Messerwalze die Direktsaat in eine dicke Biomasseauflage erfolgte. Dabei waren Schneidwirkung und Kornablage der Direktsämaschine oft ungenügend, so dass die Maiskörner nur schlechten Bodenschluss erzielten. Die Folge war ein schlechter Feldaufgang und verstärkter Vogelfraß, so dass diese Varianten am 23.06.2021 noch einmal gesät wurden, was zu den geringeren TS-Gehalten führte.
- Auch in Neu-Eichenberg kam es in 2021 zu Vogelfraß, wovon besonders die Parzellen mit Direktsaat sowohl nach geernteter als auch nach gewalzter Erstkultur betroffen waren. Hier war aufgrund der hohen Bodenfeuchtigkeit in diesem Jahr nach der Maisdirektsaat der Säschlitz nur unzureichend wieder zugestrichen, so dass es auch hier neben schlechterem Bodenschluss zu verstärktem Vogelfraß kam. Daher wurden einige Varianten zwei Wochen nach der eigentlichen Saat noch einmal nachgesät mit der Folge geringerer TS-Gehalte zur Maisernte.

Diese Entwicklungen in den Einzeljahren verdeutlichen die erhöhten Anforderungen an das Anbaumanagement bei den innovativen Verfahren. Neben Risiken bei der aufwändigeren technischen Umsetzung sind witterungsbedingte Einflüsse sehr bedeutsam, die zu einer veränderten Wachstumsdynamik von Erstkulturen und Mais beitragen können. Hinzu kommt der weiter oben bereits beschriebene Aspekt, dass in Trenthorst und Puch alle Varianten zum gleichen Zeitpunkt geerntet wurden, der sich i.d.R. am Reifegrad der Standardvarianten orientierte, so dass die Spätssaatvarianten eigentlich zu früh geerntet wurden.

4.4 Futterqualität

Bei den **Erstkulturen** wiesen die reinen Leguminosen Wintererbse und -wicke immer höhere Stickstoffgehalte als die Gemenge mit Getreide auf. Dabei erzielten die Reinbestände N-Gehalte zwischen 2 und 4 % in der Trockenmasse (i.d. TM), die jahres- und standortbedingt unterschiedlich ausfielen. Die N-Gehalte der Gemenge waren durchschnittlich halb so hoch wie die der Reinsaaten. Dabei gab es keine nennenswerten Unterschiede zwischen den beiden Leguminosenarten. Die sich daraus ergebenden Rohproteingehalte bei den geernteten Gemengen, die als Futter genutzt werden können, lagen zwischen 8,8 und 13 %. Die Energiegehalte der Erstkulturen wurden in diesem Projekt nicht geprüft, aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass diese durchschnittlich zwischen 5,5 und 6,1 MJ NEL kg TM⁻¹ liegen (z.B. Groß et al., 2005).

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Futterwertuntersuchungen (Energiegehalt in MJ NEL und Rohproteingehalt) der geprüften Maisanbausysteme für die einzelnen Standorte aufgeführt.

Insgesamt waren bei den Energiegehalten nur geringe Unterschiede zwischen den Varianten zu verzeichnen gewesen, die keinem einheitlichen Trend folgten. Trotz späterer Maissaat bei den Varianten mit Erstkulturanbau wurden meist ähnlich hohe Energiegehalte wie beim Standardanbau erzielt.

Die Rohproteingehalte lagen bei den Varianten mit gewalzten Erstkulturen auf einem höheren Niveau, insbesondere nach den reinen Leguminosen. Hier scheint sich der positive Vorfruchteffekt der legumen Erstkulturen hinsichtlich der Stickstofffixierung positiv auf den Mais ausgewirkt haben, zumal diese Varianten keine weitere N-Düngung über Gülle/Gärreste erhalten haben. Teilweise wurden nach den gewalzten Gemengen die höchsten Rohproteingehalte erzielt, obwohl dort weniger Leguminosen bei den Erstkulturen vorhanden waren. Zugleich wiesen diese Varianten jedoch die niedrigsten Maiserträge auf (Abb. 3 und 4), so dass diese geringeren Biomassen vermutlich höhere Rohproteinwerte aufgrund des höheren N-Angebotes je Tonne Biomasse ausbilden konnten.

In Trenthorst hatten auch die Varianten mit Ernte der Erstkulturen höhere Rohprotein-gehalte, was bei den anderen Standorten so nicht auftrat.

Im Jahr 2021 wurden in Neu-Eichenberg sehr geringe Energiegehalte gemessen, wofür es keine Erklärung gab. Leider konnten aufgrund eines technischen Defektes keine Messwiederholungen durchgeführt werden, so dass diese Werte eher als „Ausreißer“ zu werten sind.

Tab. 5: Energiegehalte (NEL=Nettoenergielaktation) und Rohproteingehalte der Maisanbausysteme am Standort **Trenthorst** (BB=Bodenbearbeitung; reduz.= reduziert; MJ = Megajoule; i.d. TM = in der Trockenmasse)

Variante	NEL (MJ/kg TM)			Rohprotein (% i.d. TM)		
Jahr	2020	2021	2022	2020	2021	2022
75 cm Reihenabstand						
Standard	6,30	6,60	6,50	5,40	5,40	5,31
Erbsen + Roggen, keine BB		6,10	6,12		7,00	7,62
Wicke + Roggen keine BB		6,30	6,39		8,70	7,20
Erbsen + Roggen, reduz. BB	6,25	6,20	6,92	6,80	6,00	6,64
Wicke + Roggen, reduz. BB	6,40	6,10	7,10	8,10	6,70	7,21
Erbsen, gewalzt	6,60	6,40	7,03	6,80	8,40	7,33
Erbsen + Roggen, gewalzt	6,30	6,50	6,70	6,80	8,80	8,39
Wicke gewalzt	6,60	6,30	7,04	6,30	8,10	7,02
Wicke + Roggen, gewalzt	6,55	6,60	6,39	7,50	8,40	9,41
50 cm Reihenabstand						
Standard	6,80	6,20	6,60	5,50	5,50	5,40
Erbsen + Roggen, keine BB		6,60	6,22		7,00	8,71
Wicke + Roggen, keine BB		6,30	6,19		6,90	8,03
Erbsen + Roggen, reduz. BB	6,25	5,70	6,64	6,50	5,60	6,34
Wicke + Roggen, reduz. BB	6,40	6,71	6,90	8,30	6,00	6,52
Erbsen, gewalzt	6,60	6,30	6,93	6,80	7,40	7,91
Erbsen + Roggen, gewalzt	6,20	6,30	6,91	6,80	8,00	7,99
Wicke, gewalzt	6,40	6,30	6,70	6,30	7,90	6,93
Wicke + Roggen, gewalzt	6,30	6,80	6,29	7,50	8,30	8,78

Tab. 6: Energiegehalte (NEL=Nettoenergielaktation) und Rohproteingehalte der Maisanbausysteme am Standort **Neu-Eichenberg** (BB=Bodenbearbeitung; reduz.= reduziert; MJ = Megajoule; i.d. TM = in der Trockenmasse)

Variante	NEL (MJ/kg TM)				Rohprotein (% i.d. TM)			
Jahr	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
75 cm Reihenabstand								
Standard	6,31	5,08	6,75	6,70	5,22	5,05	5,31	5,45
Erbsen + Roggen, keine BB	6,42	4,87	6,51	6,45	4,48	4,13	4,34	4,72
Wicke + Roggen keine BB	6,61	4,99	6,47	6,50	4,99	4,88	4,41	4,88
Erbsen + Roggen, reduz. BB	6,53	5,08	6,64	6,75	4,59	4,94	4,82	5,39
Wicke + Roggen, reduz. BB	6,58	5,14	6,62	6,74	5,01	5,16	4,81	5,54
Erbsen, gewalzt	6,58	5,15	6,60	6,65	6,11	7,12	6,07	7,20
Erbsen + Roggen, gewalzt	6,46	5,06	6,32	6,22	6,47	6,21	5,95	6,81
Wicke gewalzt	6,58	5,36	6,45	6,68	5,94	6,72	6,13	7,25
Wicke + Roggen, gewalzt	6,41	4,97	6,22	6,13	4,91	6,10	5,71	6,55
50 cm Reihenabstand								
Standard	6,57	5,07	6,85	6,59	5,18	5,41	5,22	5,40
Erbsen + Roggen, keine BB	6,41	4,79	6,47	6,43	4,91	5,39	4,33	4,59
Wicke + Roggen, keine BB	6,59	4,83	6,38	6,37	5,04	5,92	4,27	4,53
Erbsen + Roggen, reduz. BB	6,42	4,89	6,66	6,69	4,77	4,70	4,67	5,44
Wicke + Roggen, reduz. BB	6,33	4,78	6,59	6,65	4,51	4,00	4,73	5,12
Erbsen, gewalzt	6,54	5,25	6,70	6,72	6,10	5,89	6,11	6,82
Erbsen + Roggen, gewalzt	6,39	5,10	6,12	6,09	6,32	6,24	5,58	6,39
Wicke, gewalzt	6,54	5,36	6,54	6,83	5,71	6,71	6,24	6,91
Wicke + Roggen, gewalzt	6,41	4,99	6,16	6,24	6,01	6,37	5,49	6,03

Tab. 7: Energiegehalte (NEL=Nettoenergielaktation) und Rohproteingehalte der Maisanbausysteme am Standort **Puch** (BB=Bodenbearbeitung; reduz.= reduziert; MJ = Megajoule; i.d. TM = in der Trockenmasse)

Variante	NEL (MJ/kg TM)			Rohprotein (% i.d. TM)		
Jahr	2020	2021	2022	2020	2021	2022
75 cm Reihenabstand						
Standard	6,64	6,25	6,50	5,99	6,72	6,91
Erbsen + Roggen, keine BB	6,71	5,89	6,36	5,98	6,47	5,82
Wicke + Roggen keine BB	6,15	5,82	6,28	5,78	6,14	5,40
Erbsen + Roggen, reduz. BB	6,41	5,82	6,47	5,38	6,07	5,83
Wicke + Roggen, reduz. BB	6,46	5,89	6,40	5,56	6,08	5,24
Erbsen, gewalzt	6,41	5,82	6,79	6,22	6,66	6,64
Erbsen + Roggen, gewalzt	6,41	5,82	6,84	6,40	6,93	7,28
Wicke gewalzt	6,64	5,68	6,90	6,10	7,40	5,71
Wicke + Roggen, gewalzt	6,36	5,82	6,94	7,04	7,18	7,12
50 cm Reihenabstand						
Standard	6,94	5,75	6,53	6,61	6,13	5,60
Erbsen + Roggen, keine BB	6,41	6,11	6,28	5,54	6,35	6,04
Wicke + Roggen, keine BB	6,55	5,97	6,34	5,83	6,25	5,37
Erbsen + Roggen, reduz. BB	6,34	5,97	6,37	5,22	5,80	5,24
Wicke + Roggen, reduz. BB	6,58	6,04	6,55	5,94	6,42	5,48
Erbsen, gewalzt	6,56	5,68	6,61	6,22	7,04	6,93
Erbsen + Triticale, gewalzt	6,34	5,68	6,58	5,89	7,06	7,38
Wicke, gewalzt	6,64	5,68	6,61	6,43	7,14	6,70
Wicke + Roggen, gewalzt	6,51	5,75	6,45	6,95	7,12	6,53

4.5 Unkrautdynamik und Maisentwicklung

Die Auswirkungen der innovativen Anbauverfahren für Silomais auf die Unkrautdynamik war ein zentraler Bestandteil der Untersuchungen. Der Anbau winterharter und massenwüchsiger Erstkulturen soll dabei präventiv zu einer Unkrautunterdrückung beitragen, die zu einem geringeren Regulierungsbedarf im nachfolgenden Mais führen kann. Dies verdeutlicht noch einmal die Bedeutung eines erfolgreichen Erstkulturanbaus.

Der Unkrautbesatz wurde bei den Erstkulturen zu deren Ernte bestimmt und anschließend im Mais in einem ca. zweiwöchigen Abstand bonitiert. Dabei stellte sich im Laufe der Untersuchungen heraus, dass ein sehr gut geeigneter Parameter für die Bewertung der Auswirkungen auf die Unkrautdynamik der Zeitpunkt des Reihenschlusses des Mais ist. Denn zu diesem Zeitpunkt sind alle Maßnahmen zur Unkrautregulierung in den entsprechenden Varianten abgeschlossen und der Mais hat selbst eine ausreichende Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern ausgebildet. Daher sind im Folgenden die Unkrautbesatzdichten der einzelnen Jahre an den einzelnen Standorten zu diesem Zeitpunkt abgebildet.

Wie schon mehrfach bei anderen Themenabschnitten erwähnt, sind homogene und gut entwickelte Erstkulturbestände der Winterungen Grundlage für ein Gelingen der innovativen Anbausysteme. Dies ist auch für eine effektive Unkrautregulierung von großer Bedeutung, da somit präventiv der Unkrautdruck im nachfolgenden Mais reduziert wird. Insbesondere bei den Varianten mit Walzen der Erstkulturen ist dies wichtig, da dort im Mais keine Unkrautregulierung mehr möglich ist.

Bei den Erstkulturen Wintererbsen und Winterwicken jeweils in Reinsaat bzw. im Gemenge mit Winterroggen wurden mit Werten zwischen 1 und 5 % zur Ganzpflanzenernte in der Blüte nur geringe Unkrautbesatzdichten festgestellt. Diese Werte erhöhten sich in Einzelfällen, wenn z.B. aufgrund von Auswinterung der Erbse die Erstkulturstände nicht geschlossen waren (z.B. in Puch) oder wenn aufgrund von Vorverunkrautung mit Weidelgras dieses auch in den Erstkulturen stark heranwuchs, wie es in 2023 in Neu-Eichenberg an einigen Stellen vorkam. Ansonsten haben die geprüften Erstkulturen das Potenzial, einen nahezu unkrautfreien Acker für den folgenden Maisanbau zu hinterlassen.

In den folgenden Abbildungen sind die Unkrautdeckungsgrade im Mais der geprüften Anbauverfahren zum Zeitpunkt des Reihenschlusses an den einzelnen Standorten aufgeführt.

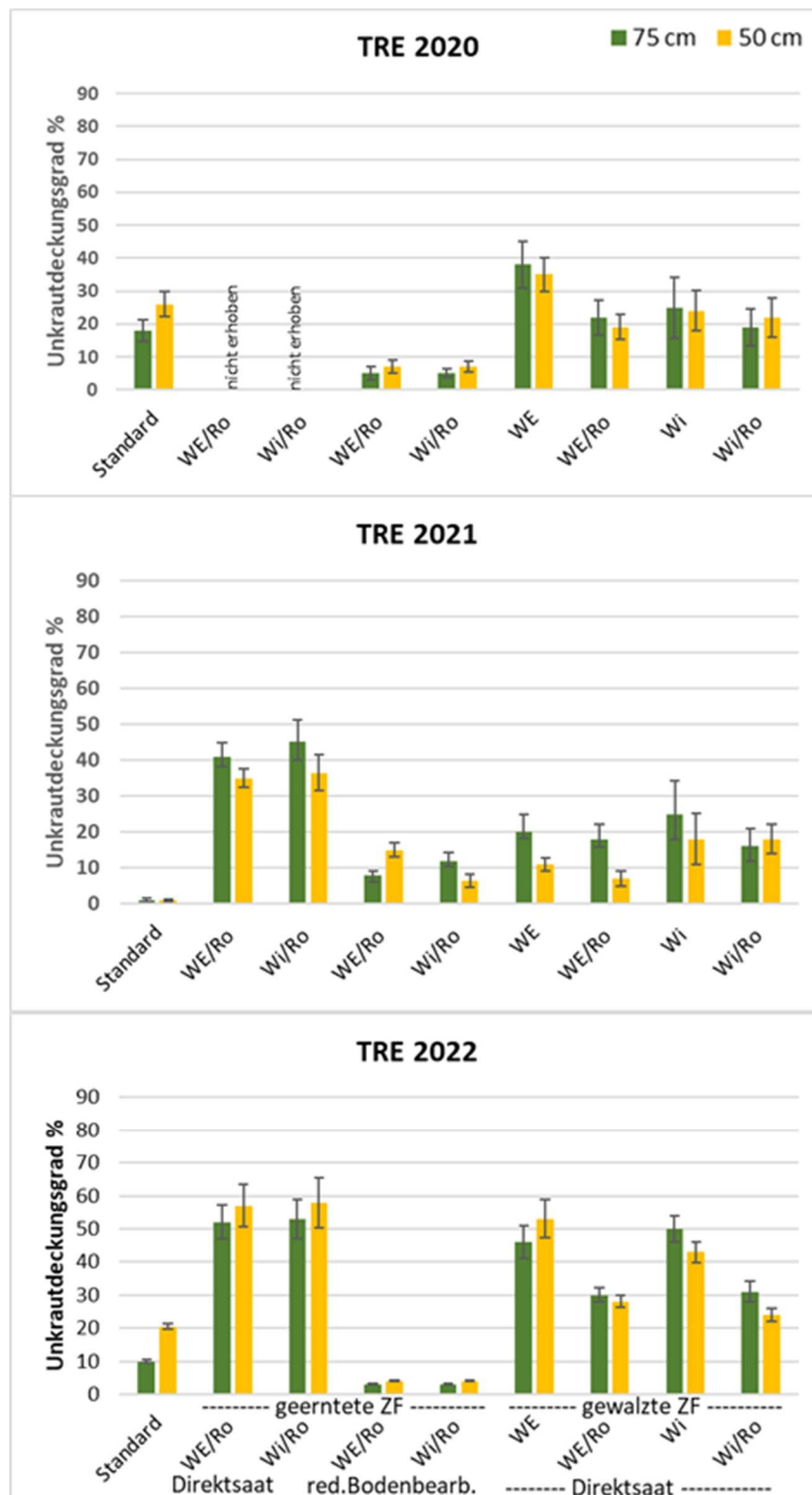


Abb. 6: Unkrautdeckungsgrade im Silomais zum Zeitpunkt „Reihenschluss“ in den Versuchsjahren 2020-2022 (WE=Wintererbse; Ro=Winterroggen; Wi=Winterwicke; ZF=Zwischenfrucht/Erstkultur), Trenthorst. Nach gewalzter ZF erfolgte keine Unkrautregulierung.

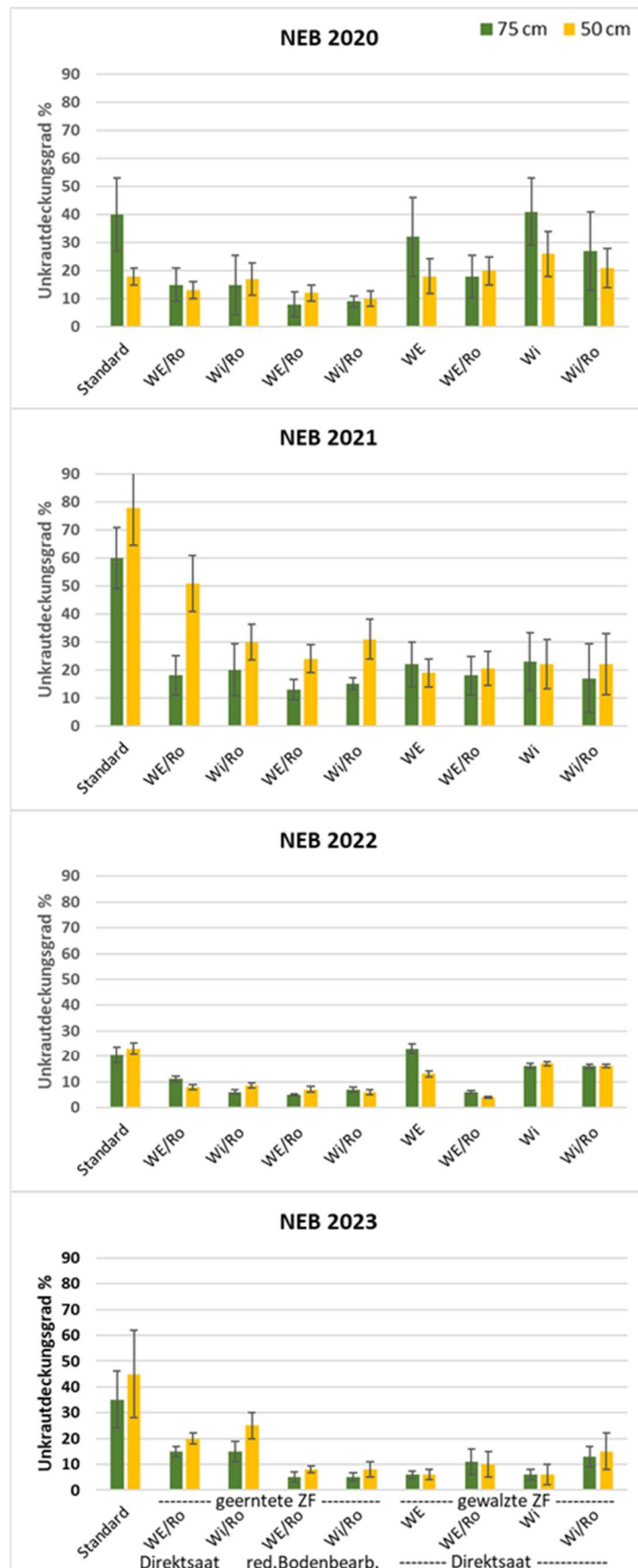


Abb. 7: Unkrautdeckungsgrad im Silomais zum Zeitpunkt „Reihenschluss“ in den Versuchsjahren 2020-2023 (WE=Wintererbse; Ro=Winterroggen; Wi=Winterwicke; ZF=Zwischenfrucht/Erstkultur), Neu-Eichenberg. Nach gewalzter ZF erfolgte keine Unkrautregulierung.

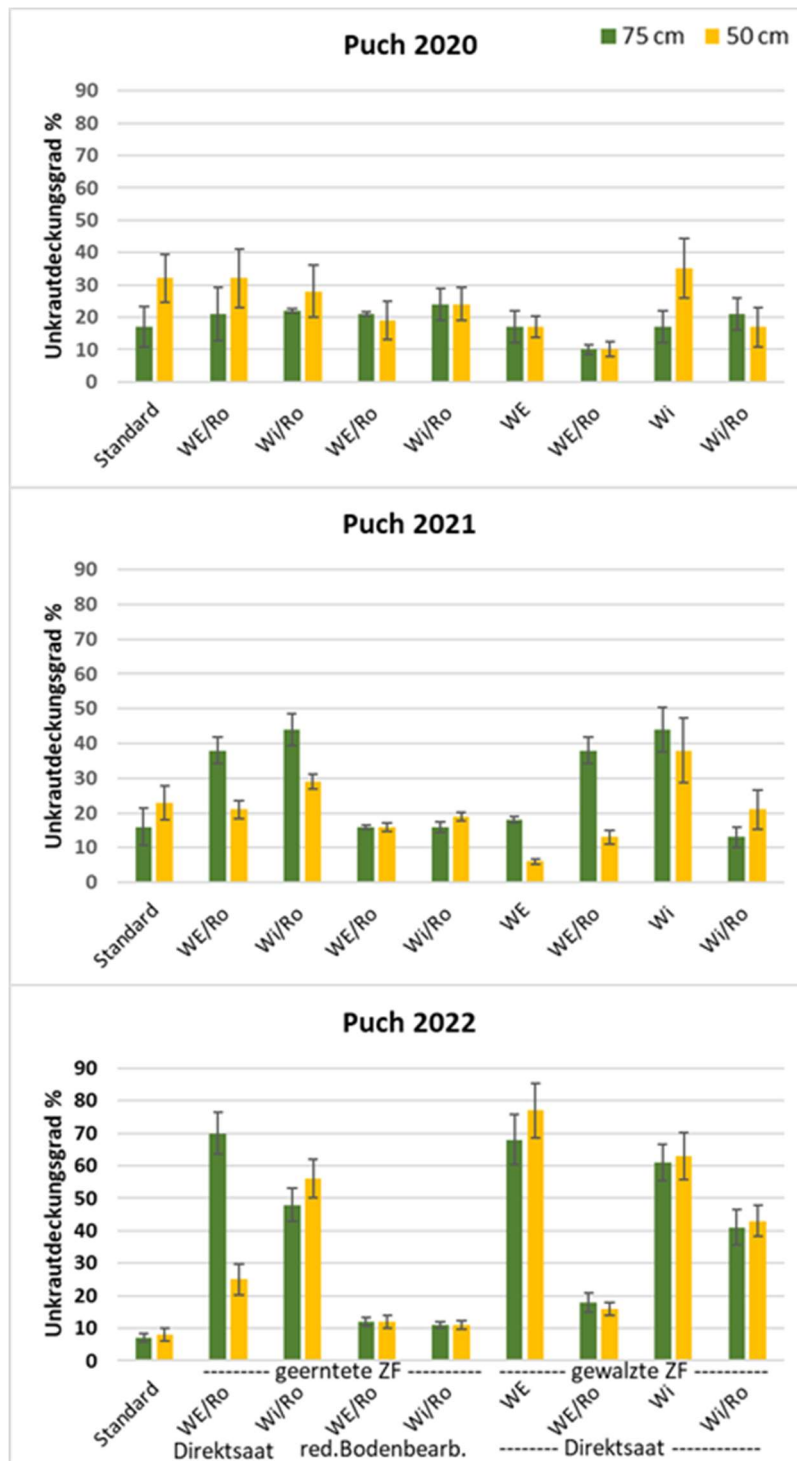


Abb. 8: Unkrautdeckungsgrade im Silomais zum Zeitpunkt „Reihenschluss“ in den Versuchsjahren 2020-2022 (WE=Wintererbse; Ro=Winterroggen; Wi=Winterwicke; ZF=Zwischenfrucht/Erstkultur), Puch. Nach gewalzter ZF erfolgte keine Unkrautregulierung.

In den einzelnen Untersuchungsjahren gab es große Unterschiede bei den Unkrautdeckungsgraden. Die häufiger höheren Werte bei den Varianten mit gewalzten Erstkulturen sind zumeist durch einen Wiederaustrieb gewalzter Erstkulturen verursacht worden. Dies zeigte sich z.B. in Trenthorst in den Jahren 2020 und 2022, in Neu-Eichenberg in 2020 und in Puch in 2021 und 2022. Daher kommt dem effektiven Walzen zum richtigen Zeitpunkt eine besondere Bedeutung zu, um einen Wiederaustrieb der Erstkulturen zu verhindern. In einzelnen Jahren wurden die gewalzten Bestände nach der Maissaat noch einmal mit einer Cambridge-Walze gewalzt, um die wiederausgetriebenen Bestände noch einmal zu regulieren. In den anderen Jahren war der Unkrautbesatz nach den gewalzten Erstkulturen zum Reihenschluss des Mais auf einem geringen Niveau, das z.T. unter den Werten der anderen Varianten lag, bei denen eine Unkrautregulierung vorgenommen wurde.

Die Unkrautregulierung erfolgte bei den entsprechenden Varianten im Durchschnitt der Jahre durch zweimaliges Hacken im Mais, ab und zu wurde beim Standardanbau nach der Saat noch gestriegelt oder es wurde dreimal gehackt, manchmal aber auch nur einmal. Dabei fällt auf, dass bei Direktsaat von Mais nach geernteter Erstkultur meistens ein höherer Unkrautdeckungsgrad zu verzeichnen war als bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung nach der Erstkulturente. Diese Bodenbearbeitung hat zum einen eine zusätzliche Regulierungswirkung, wodurch auch die Stoppelreste eingearbeitet und am Wiederaustrieb gehindert werden. Ein solcher Wiederaustrieb von Roggen trat bei Direktsaat nach Erstkulturente häufiger auf. Zum anderen wird durch die reduzierte Bodenbearbeitung der Boden gelockert, wodurch im nachfolgenden Mais die Hackschare besser im Boden arbeiten und Unkraut regulieren können. Bei Direktsaat ist der Boden im nachfolgenden Mais oft sehr hart und die Hackschare hatten Schwierigkeiten, für eine gute Hackwirkung ausreichend tief in den Boden zu kommen.

Die Standardvarianten wiesen zumeist wie die Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung nach Erstkulturente geringe Unkrautdeckungsgrade auf. In Neu-Eichenberg waren allerdings in den Jahren 2021 und 2023 beim Standardanbau sehr hohe Unkrautdeckungsgrade zu verzeichnen. In beiden Jahren war nach der Maissaat Anfang Mai eine kühl-nasse Witterung vorherrschend, die zu einer zögerlichen Maisentwicklung führte und Regulierungsmaßnahmen aufgrund schlechter Befahrbarkeit der Flächen durch Nässe erschwerte. Daher entwickelte sich ein verstärkter Unkrautbesatz, der bis zum Reihenschluss anhielt. Dieses Problem einer witterungsbedingten ungenügenden Unkrautregulierung tritt im herkömmlichen Maisanbau immer wieder auf. In den beiden Jahren 2021 und 2023 waren die Unkrautdeckungsgrade der anderen Varianten deutlich niedriger.

Eine geringere Reihenweite im Maisanbau wird häufig mit dem Ziel verbunden, dass der Mais eine bessere Bodenbedeckung erreicht und somit konkurrenzfähiger gegenüber dem Unkraut ist. Aus den Untersuchungen der verschiedenen Anbausysteme lässt sich dazu kein einheitlicher Trend ableiten. Mal wiesen die Varianten mit 75 cm Reihenabstand höhere Werte des Unkrautdeckungsgrades auf, mal die Varianten mit

50 cm. Allerdings war im Jahr 2021 am Standort Neu-Eichenberg bei nahezu allen Anbausystemen mit Unkrautregulierung ein höherer Unkrautdeckungsgrad bei den Varianten mit engerem Reihenabstand von 50 cm zu verzeichnen gewesen. Dies ist Folge des oben beschriebenen Einflusses der nasskühlen Witterung im Mai und Juni 2021, wodurch die Befahrbarkeit der Flächen zur termingerechten Unkrautregulierung oft nicht möglich war und der Mais nur verzögert heranwuchs. Da der mit einem engeren Reihenabstand von 50 cm gesäte Mais früher als der Mais mit 75 cm Reihenabstand die Reihen geschlossen hat, konnte dieser Mais nur noch ungenügend gehackt werden, während der mit 75 cm Reihenabstand gesäte Mais im weiteren Verlauf des Wachstums noch einmal gehackt werden und somit der Unkrautbedeckungsgrad reduziert werden konnte.

Die Hauptunkrautarten wurden an den einzelnen Standorten erfasst. Dabei gab es keine einheitlichen Tendenzen, dass einzelne Unkrautarten in spezifischen Anbausystemen verstärkt auftraten oder dies durch die Konzeption des Anbausystems zu erklären wäre. Wie bereits erwähnt sind bei den Varianten mit gewalzten Erstkulturen die wiederausgetriebenen Erstkulturen als Unkraut klassifiziert worden und stellen dort einen spezifischen Aspekt dar. Näheres dazu findet sich bei Schmidt et al. (2023).

Das Erreichen des Reihenschlusses stellt einen wichtigen Zeitpunkt in der Maisentwicklung dar. Neben der Ausbildung der eigenen Konkurrenzkraft beinhaltet dieser Zeitpunkt auch eine generelle Information zur **Maisentwicklung**. Dadurch lässt sich z.B. die Entwicklung des Mais bei den unterschiedlichen Saatterminen (Standard = früh; Zweitkultur = spät) vergleichen. Die Zeitspanne von Aussaat bis zum determinierten Entwicklungsstadium „Reihenschluss“ wird als „Tage nach Aussaat“ oder „days after sowing“ bezeichnet. In der folgenden Abb. 9 sind diese Zeitspannen für die Standorte Trenthorst und Neu-Eichenberg über die Versuchsjahre gemittelt aufgeführt. Am Standort Puch konnten aus technischen Gründen keine vollständigen Datensätze erhoben werden. Die Ergebnisse der beiden anderen Standorte wurden aber ähnlich auch in Puch festgestellt.

Bei späterer Saat wurde das Stadium des Reihenschlusses in einem durchschnittlich 16 Tage kürzerem Zeitraum als bei früherer Saat erreicht. Dies ist auch eine Folge der Nutzung von Silomaisorten mit geringerer Siloreifezahl (vgl. Tab. 4). Die Streuung der einzelnen Varianten war zum Teil sehr hoch und durch die unterschiedlichen Witterungs- und Wachstumsbedingungen in den einzelnen Versuchsjahren begründet. Der engere Reihenabstand von 50 cm führte zu einem um wenige Tage früheren Reihenschluss. „Wachstumsfördernde“ Bedingungen, die wie bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung zu verringerter Unkrautbedeckung und höheren Erträgen führen können, fördern auch die schnellere Entwicklung des Mais. Diese Varianten benötigten i.d.R. die kürzeste Zeit bis zum Erreichen des Reihenschlusses. Dagegen war nach gewalzten Gemenge-Erstkulturen diese Zeitspanne meist deutlich länger, vermutlich eine direkte Folge der ungünstigeren Wachstumsbedingungen bei diesen Varianten, die auch die geringsten Erträge aufwiesen (vgl. Abb. 3).

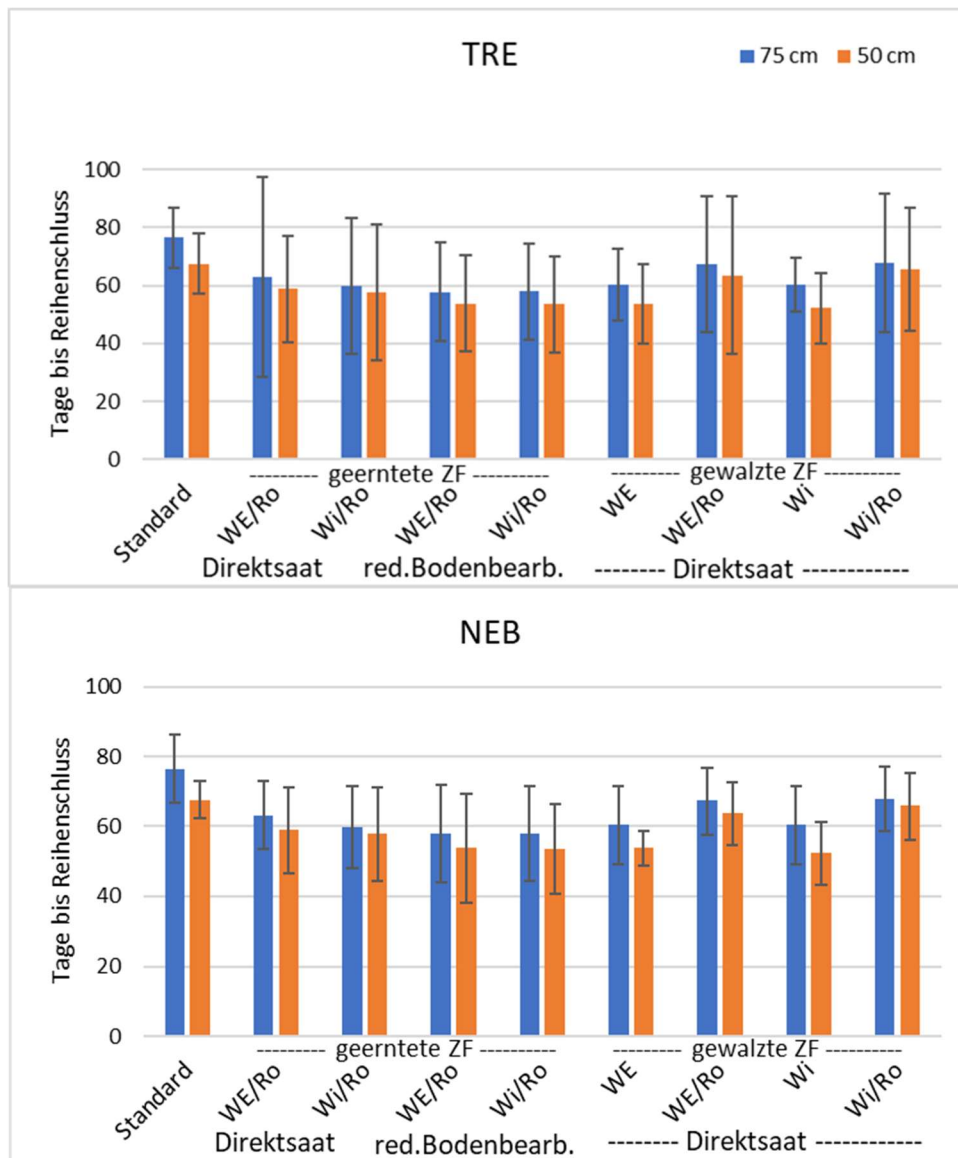


Abb. 9: Zeitspanne in Tagen von Maissaat bis Reihenschluss der einzelnen Varianten an den Standorten Trenthorst (TRE) und Neu-Eichenberg (NEB) über alle Versuchsjahre gemittelt (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro=Roggen; red.=reduziert).

4.6 Bodenaspekte

N_{min}-Gehalte

Zur Erfassung der Stickstoffdynamik bei den geprüften Anbausystemen wurden zur Maissaat bzw. Erstkulturernte, ca. 4-6 Wochen nach der Maissaat und zur Maisernte im Herbst N_{min}-Beprobungen von 0-60 cm Bodentiefe durchgeführt.

Die N_{min}-Gehalte zur **Maissaat** unterschieden sich je nach Jahr und Witterung an den einzelnen Standorten, dennoch konnte überall die nahezu identische Situation festgestellt werden: Beim Standardanbau mit früherer Maissaat lagen im Durchschnitt N_{min}-Gehalte zwischen 30 und 100 kg ha⁻¹ vor, die immer höher als bei der Maisspätssaat nach Ernte bzw. Walzen der Erstkulturen lagen. Nach dem Erstkulturanbau mit Leguminosen ist der Stickstoff vor allem organisch gebunden, so dass nur geringe N_{min}-

Gehalte vorlagen, die zwischen 20 und 30 kg N_{min} -N ha⁻¹ betrugen, was den Ergebnissen von Urbatzka et al. (2009) entspricht.

Da antragsbedingt in PUC nur die Varianten mit 75 cm Reihenabstand beim Mais beprobt wurden und es an den anderen Standorten zwischen den Varianten mit unterschiedlichem Reihenabstand keine nennenswerten Unterschiede gab, werden im Folgenden nur die Varianten mit dem weiteren Reihenabstand von 75 cm aufgeführt. Außerdem konnten nicht in allen Jahren alle Bodenproben wie geplant aufgrund von Trockenheit, Steinbesatz bzw. technischen Schwierigkeiten erhoben werden, so dass z.B. am Standort Puch nur vom Jahr 2020 ein kompletter Datensatz vorliegt. Dementsprechend sind dort keine Standardabweichungen angegeben.

Bei den beiden anderen Standorten wird deutlich, dass zum Termin 4-6 Wochen nach der Maissaat z.T. hohe Standardabweichungen über die Jahre vorlagen. Grund dafür sind vor allem die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den einzelnen Jahren. Auch wenn es sich bei der N_{min} -Beprobung immer um eine Momentaufnahme handelt, liefern diese Werte dennoch Anhaltswerte für die Entwicklung der Stickstoffdynamik. Deutlich wird dabei, dass besonders in Neu-Eichenberg nach reinen gewalzten Leguminosen und ohne weitere N-Düngung unter dem nachfolgenden Mais tendenziell höhere N_{min} -Werte erreicht wurden, die zu höheren Maiserträgen führten. In Puch konnte diese Dynamik ebenfalls nach reinen Wintererbsen verzeichnet werden, während nach reinen Wicken aufgrund der verzögerten Entwicklung in 2020 geringere Werte festgestellt wurden. In Trenthorst waren die N_{min} -Gehalte vermutlich aufgrund der geringeren Biomasseerträge der Erstkulturen geringer, wobei sich etwas höhere Werte nach Wicken dort in höheren Maiserträgen nach reinen Wicken widerspiegeln (Abb. 3). Die reduzierte Bodenbearbeitung nach Erstkulturenernte bewirkte höhere N_{min} -Werte als die Direktsaat von Mais. Vermutlich wird durch die Bodenbearbeitung die Stickstoffmineralisierung angeregt, wodurch bei diesen Varianten die höheren Erträge als bei Direktsaat nach geernteten Zwischenfrüchten begründet sein könnten. Der Standardanbau verzeichnete vor allem in Trenthorst und Puch höhere N_{min} -Werte als die meisten anderen Varianten, was sich ebenfalls ertragswirksam zeigte.

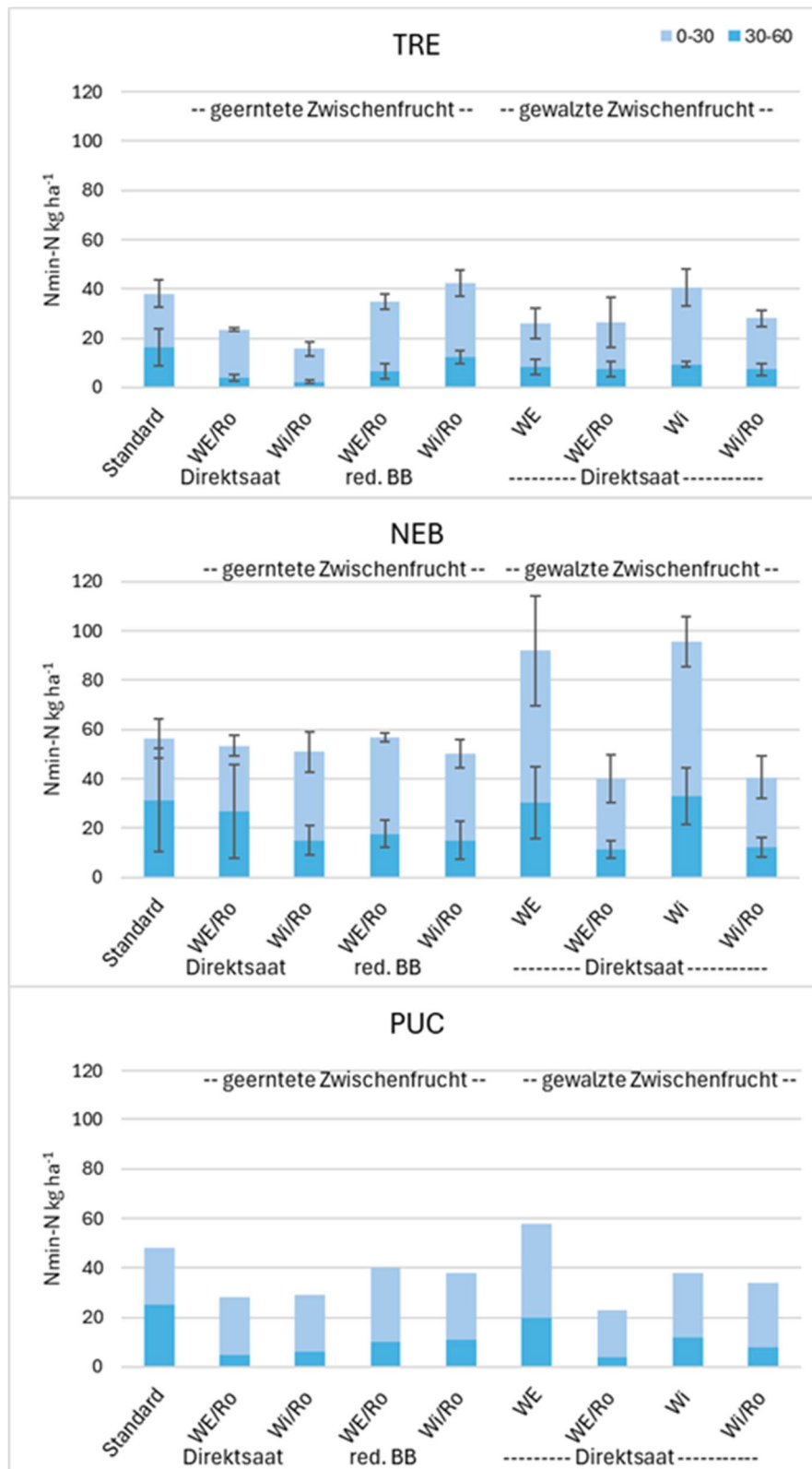


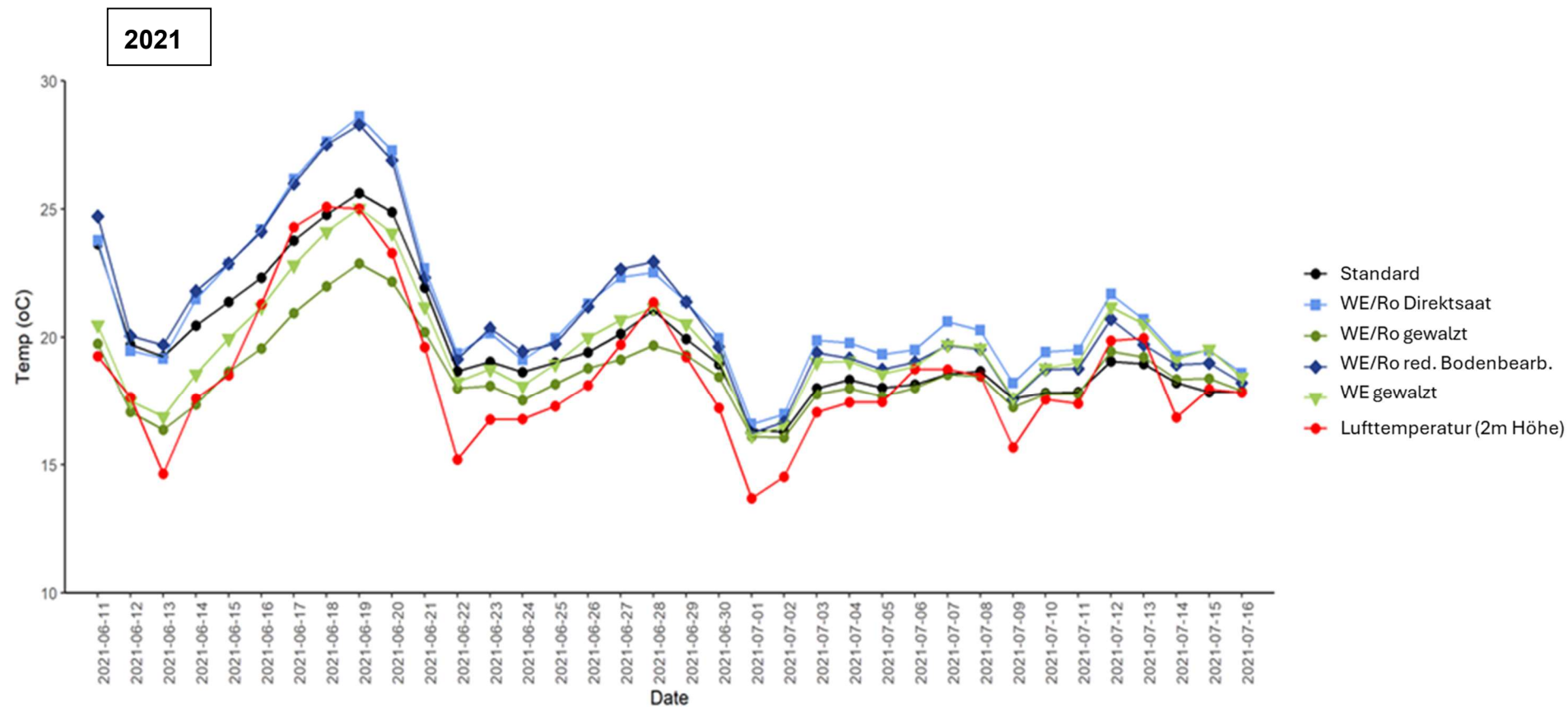
Abb. 10: N_{min} -Gehalte der geprüften Varianten zum Zeitpunkt „4-6 Wochen nach der Mais-saat“ an den einzelnen Standorten (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro=Winterroggen). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, PUC= Werte nur aus 2020).

Zur Maisernte im Herbst waren an allen Standorten stets nur geringe $N_{\min}$ -Gehalte mit Werten zwischen 10 und 23 kg ha⁻¹ gemessen worden. Dabei gab es zwischen den einzelnen Varianten kaum Unterschiede. Der aus der Mineralisation zur Verfügung stehende Stickstoff wurde von den Pflanzen nahezu komplett aus dem Boden aufgenommen. Bei diesen Werten kam es nicht zur Gefahr der Stickstoffauswaschung nach dem Maisanbau im Herbst.

Die **Bodenwassergehalte** wurden zu den einzelnen $N_{\min}$ -Beprobungsterminen gravimetrisch bestimmt. Hier war von besonderem Interesse, ob bei den Varianten mit gewalzten Zwischenfrüchten andere Bodenwassergehalte zum Zeitpunkt „4-6 Wochen nach der Maissaat“ vorlagen als nach geernteten Zwischenfrüchten. Dies war nicht der Fall, es konnten keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden. Die Bodenwassergehalte lagen bei allen Varianten auf vergleichbarem Niveau.

Am Standort Neu-Eichenberg wurden zusätzlich in den Jahren 2021 und 2022 die **Bodentemperaturen** mittels Temperatursensoren in einzelnen Varianten erhoben. Dabei ist deutlich zu sehen, dass die Varianten nach gewalzten Erstkulturen in den ersten Wochen nach der Maissaat geringere Bodentemperaturen aufwiesen als die Varianten, wo die Erstkultur geerntet und abgefahren wurde. In 2021 war auch bei der Standardvariante die Bodentemperatur niedriger und vergleichbar mit den Temperaturen der gewalzten Varianten. Die niedrigeren Lufttemperaturen (2 m Höhe) zu Beginn der Messungen können sich hier ausgewirkt haben. In 2022 glichen sich die Bodentemperaturen aller Varianten nach wenigen Tagen kurzzeitig an. Die Unterschiede wurden dann anhaltend wieder größer mit geringeren Bodentemperaturen unter Mais nach gewalzten Erstkulturen. In 2022 waren die Lufttemperaturen deutlich höher als in 2021. Der hier sich andeutende kühlende Effekt der gewalzten Schicht war aber vermutlich nicht ertragswirksam (vgl. Abb. 3).

In 2021 pendelten sich die Bodentemperaturen aller Varianten im weiteren Verlauf des Maiswachstums auf einem ähnlichen Niveau ein.



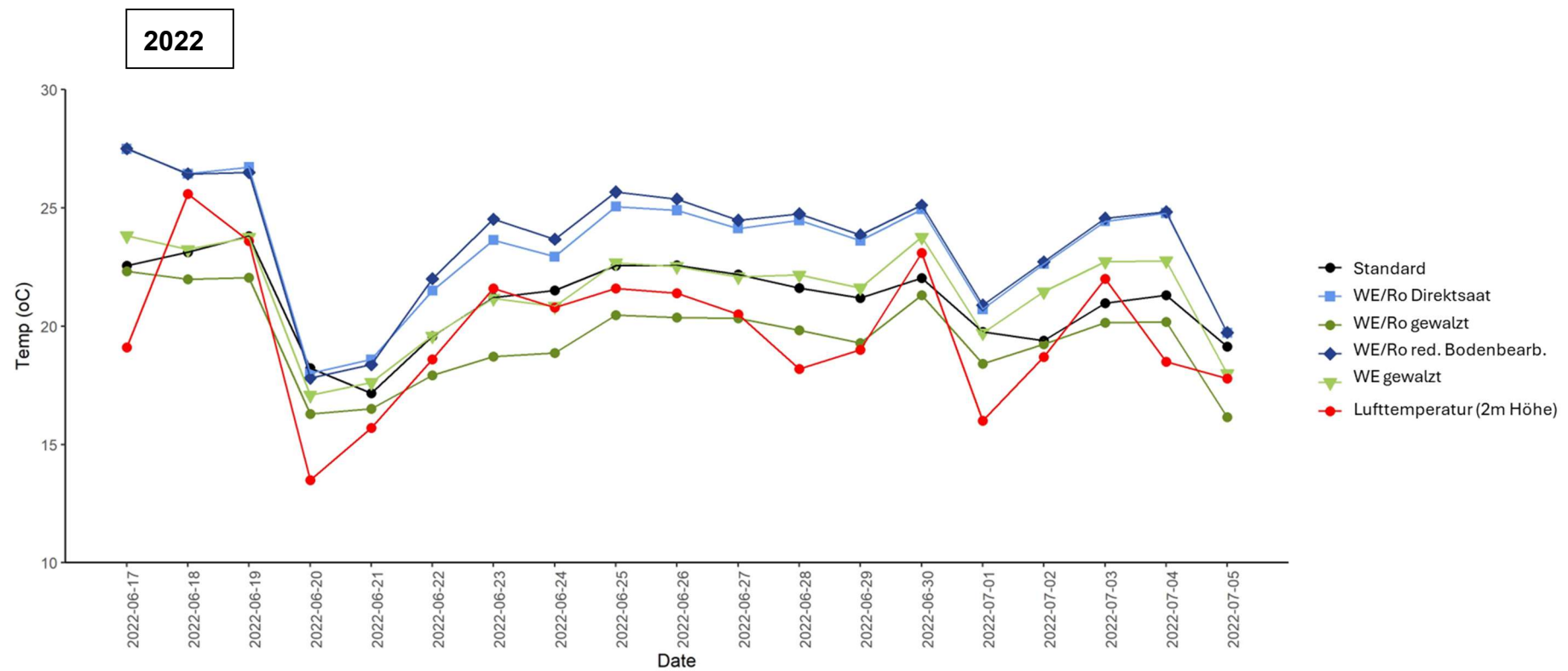


Abb. 11: Bodentemperaturverläufe unter Silomais am Standort Neu-Eichenberg bei ausgewählten Varianten (WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro=Winterrogen; red. = reduziert; Direktsaat nach geernteten Erstkulturen“ in den Jahren 2021 und 2022.

4.7 Ökonomie – Deckungsbeitragsberechnung

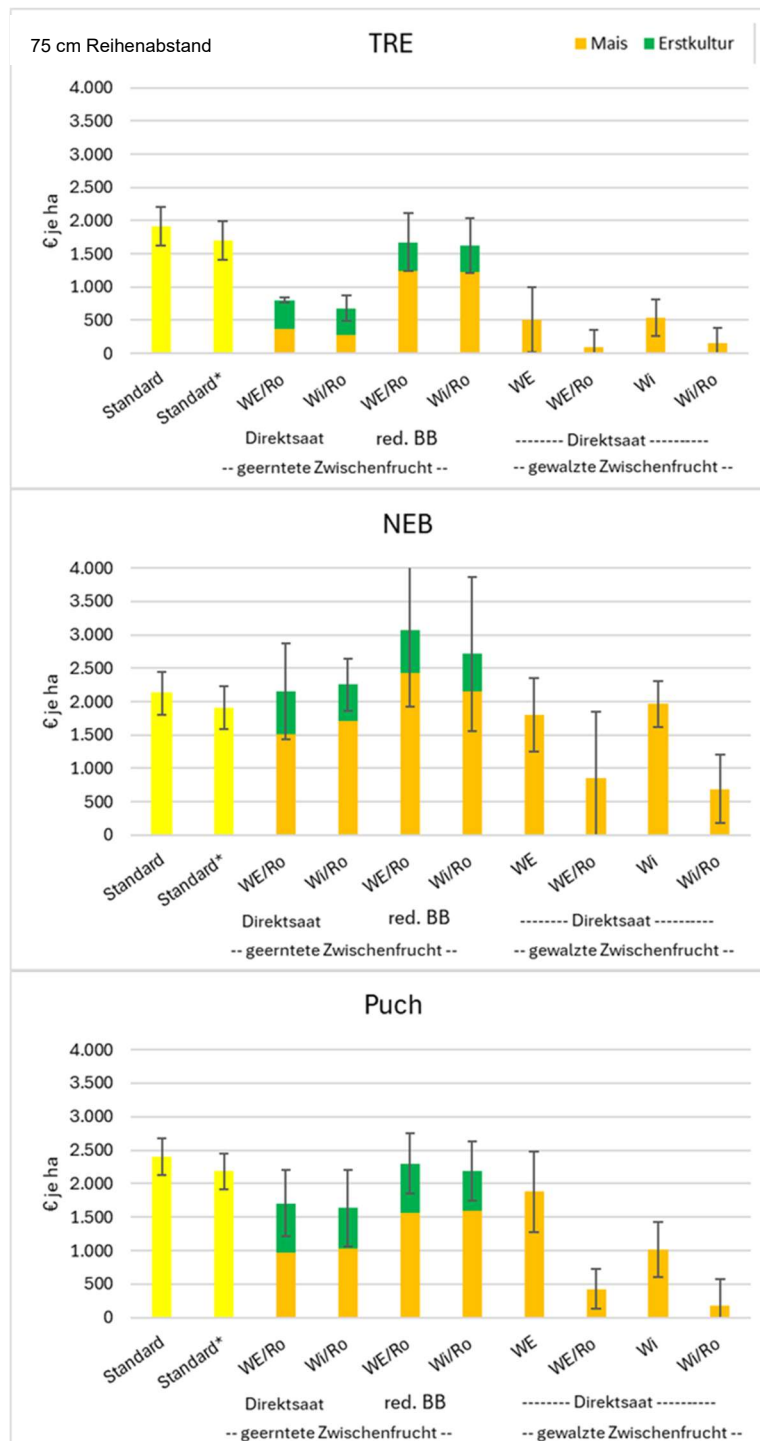


Abb. 12: Deckungsbeiträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit 75 cm **Reihenabstand** an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, Fehlerbalken = Standardabweichung der Deckungsbeiträge der Jahreserträge. Standard* Kalkulation mit Zwischenfruchtanbau vor Mais.

Bei Betrachtung der Deckungsbeiträge der geprüften Varianten werden deutliche Unterschiede zwischen den Standorten sichtbar, die in Übereinstimmung mit den unterschiedlichen Erträgen an den einzelnen Standorten auftraten (vgl. Abb. 3 und 4).

Sowohl in Trenthorst als auch in Puch erzielte der herkömmliche Standardmaisbau den höchsten Deckungsbeitrag. Wenn dieser um einen Zwischenfruchtbau vor Mais ergänzt wurde (Standard*), wie es aufgrund der EU-Regelungen zur Erhaltung eines guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustandes (GLÖZ) mittlerweile vorgeschrieben ist, verringerte sich der Deckungsbeitrag um 220 €. Er lag dann auf dem Niveau der Zweikulturnutzungsvarianten mit geernteter Zwischenfrucht und reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais, die die höchsten Deckungsbeiträge der geprüften innovativen Anbauverfahren erreichten. Am Standort Neu-Eichenberg wurden bei diesen Varianten die höchsten Deckungsbeiträge aller Varianten erzielt. Dabei erreichte der Mais als Zweitkultur vergleichbare Werte wie der alleinige Maisanbau beim Standardverfahren. Die Addition des Deckungsbeitrages der Erstkultur führte dann zu den höheren Werten beim Jahresertrag. Die Mittelwerte über mehrere Jahre wiesen gerade bei den Zweikulturnutzungsvarianten mit reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais eine hohe Streuung der Werte auf, die durch die sehr unterschiedlich ausgeprägten Erträge in den einzelnen Jahren hervorgerufen wurden und deutlich höher als beim Standardanbau waren. Dies unterstreicht das höhere Anbaurisiko, das mit diesen Systemen verbunden ist. Neben den erhöhten Anforderungen an das Anbaumanagement dieser Systeme ist auch das Witterungsrisiko ggf. höher, da z.B. aufgrund einer verzögerten Entwicklung der Erstkulturen und damit verbundenen späteren Maissaat geringere Maiserträge erzielt werden können (vgl. Kap. 4.2).

Obwohl bei Direktsaat von Mais nach geernteten Erstkulturen die Bodenbearbeitung zu Mais entfällt und die Kosten geringer sind, wurden bei diesen Varianten aufgrund der niedrigeren Erträge geringere Deckungsbeiträge erreicht. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit ausreichender Erträge, die auch durch einen etwas höheren Aufwand erreicht werden können. Bei den Varianten mit gewalzten Erstkulturen und Direktsaat von Mais sind die Anbaukosten ebenfalls geringer. Die Deckungsbeiträge dieser Anbausysteme sind aber nur nach reinen gewalzten Leguminosen annähernd in Neu-Eichenberg konkurrenzfähig und in Puch nur nach gewalzten Wintererbsen, was wiederum in Übereinstimmung mit der Ertragssituation zu sehen ist. In Trenthorst konnte keine Variante nach gewalzten Erstkulturen annähernd zufriedenstellende Deckungsbeiträge erreichen, der Standardanbau war mit und ohne Zwischenfruchtbau deutlich überlegen.

Damit wird auch bei den Deckungsbeiträgen wie schon an anderen Stellen dieses Berichts die Bedeutung der Standortfaktoren deutlich, die starken Einfluss auf die Pflanzenentwicklung und somit auf die Erträge haben.

Die Varianten mit einem engeren Reihenabstand von 50 cm wiesen in dieselbe Richtung wie beim weiteren Reihenabstand (Abb. 13) und werden daher nicht extra beschrieben!

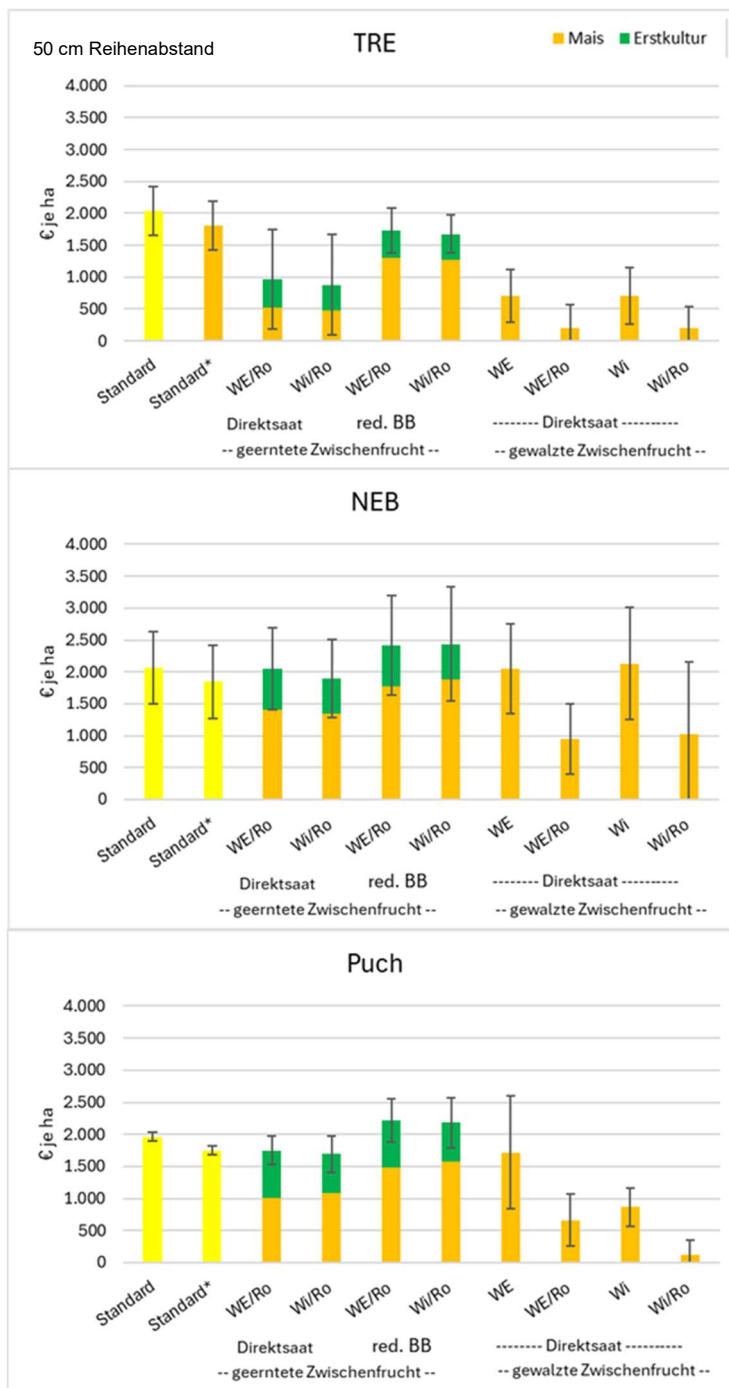


Abb. 13: Deckungsbeiträge von Silomais und Erstkulturen (Zwischenfrüchte: WE=Wintererbse; Wi=Winterwicke; Ro: Winterroggen) der geprüften Varianten mit **50 cm Reihenabstand** an den einzelnen Standorten (TRE=Trenthorst; NEB=Neu-Eichenberg) bei verschiedenen Maissaatverfahren (Direktsaat; red. BB=reduzierte Bodenbearbeitung). Mittelwerte über alle Versuchsjahre, Fehlerbalken = Standardabweichung der Deckungsbeiträge der Jahreserträge. Standard* Kalkulation mit Zwischenfruchtanbau vor Mais.

4.8 Praxisversuche

Praxisversuche des Thünen-Institut für Ökologischen Landbau (TI-OL)

Durchführung

Die Praxisversuche wurden in den Jahren 2020/21 und 2021/22 auf einem Bioland-Betrieb mit Milchviehhaltung in der Nähe von Lübeck durchgeführt. Der Betrieb wirtschaftet auf zumeist leichteren Böden (sandiger Lehm), hat Milchviehhaltung mit Nachzucht und in der Fruchtfolge sind 2-jähriges Klee gras, Getreide, Körnerleguminosen als auch Silomais fest verankert.

Im ersten Praxisversuchsanbau wurden als Streifenversuch die Winterzwischenfrüchte Wintererbsen in Reinsaat (15 m breit), Wintererbsen im Gemenge mit Hybridroggen und mit Populationsroggen (jeweils 36 m breit) (Länge ca. 150 m) angebaut. In allen 3 Winterzwischenfrüchten wurden folgende Varianten geprüft:

- Einsatz Messerwalze, anschließend Mais-Direktsaat, keine Düngung
- Einsatz Messerwalze, Strip-Till-Düngung (30 m³/ha), anschließend Mais-Direktsaat
- Einsatz Messerwalze, Gülle-Düngung mit Schleppschlauch (20 m³/ha), anschließend Mais-Direktsaat

In den beiden Gemengevarianten wurden zusätzlich Varianten mit Beerntung der Winterzwischenfrüchte (Ende Mai) zur Nutzung als Ganzpflanzensilage zur Fütterung etabliert:

- Beerntung, Strip Till-Düngung (30 m³/ha), Mais-Aussaat
- Beerntung, Gülle-Düngung (30m³ mit Schleppschlauch), Mais-Direktsaat
- Beerntung, Minimalbodenbearbeitung (ca. 10 cm), Düngung (30m³ mit Schleppschlauch), Mais-Aussaat

Ergebnisse und Diskussion

Die Wintererbsen, insbesondere in Reinsaat, sind aufgrund der recht frühen Aussaat (17. Sept.) und auftretender Kahlfröste stark ausgewintert. In den Messerwalzenvarianten wurde beim Einsatz des Strip-Till-Verfahrens eine recht starke Neigung zur Verstopfung beobachtet. In den beernteten Varianten konnte eine Unkrautregulierung erfolgreich mit der Sternrollhacke durchgeführt werden. Diese war in den flach bearbeiteten Varianten am effektivsten, aber auch in den Direktsaatvarianten war die Sternrollhacke aggressiv genug, die Unkräuter zu regulieren und gleichzeitig auch häufelnd an die Maispflanzen zu arbeiten.

Die Messerwalzen-Varianten wiesen die niedrigsten Maiserträge auf, während die Varianten mit Beerntung und reduzierter Bodenbearbeitung als auch die Strip-Till- sowie die Schleppschlauchvarianten alle vergleichbare Wuchshöhen als auch Erträge aufwiesen, die im Mittel bei 86 dt TM/ha lagen, im Vergleich zu den Messerwalzen-Varianten mit im Mittel 63 dt TM/ha.

Im zweiten Jahr wurden aufgrund der nicht so guten Erfahrungen mit den Wintererbsen auch Winterwicken-Roggen-Gemenge bzw. Winterwicken-Erbsen-Roggen-Gemenge angebaut. Bei den Gemengen mit Roggen kam zum Teil Grünschnittroggen oder

Populationsroggen als Gemegepartner zum Einsatz. Die Winterzwischenfrüchte konnten sehr gut etabliert werden. Aufgrund der späteren Aussaat (6. Okt.) entwickelten sich auch die Wintererbsen gut und winternten nicht aus.

Zum Mais wurde wiederum untergliedert in Varianten mit

- Messerwalze, Mais-Direktsaat
- Beerntung, Strip-Till-Düngung (30 m³/ha), Mais-Aussaat
- Beerntung, Gülle-Düngung (30m³ mit Schleppschlauch), Mais-Direktsaat
- Beerntung, Minimalbodenbearbeitung (ca. 10 cm), Düngung (30m³ mit Schleppschlauch), Mais-Aussaat

Die Witterungsbedingungen in 2021/22 waren hinsichtlich der Niederschlagshöhe als auch -verteilung besonders extrem. Dies führte zu gut entwickelten Winterzwischenfruchtbeständen mit hohem Ertragsniveau. Nach dem Auflaufen jedoch war eine langanhaltende Periode ohne nennenswerte Niederschläge zu verzeichnen. So konnte zum einen keine termingerechte Unkrautregulierung aufgrund zu feuchter Bodenverhältnisse durchgeführt werden, zum anderen war die Entwicklung des Mais aufgrund der Trockenheit und der durch die Zwischenfrüchte stark entleerte Bodenwasserhaushalt stark beeinträchtigt. Hinzu kam die schwache Konkurrenzsituation des Mais mit dem Unkraut. Somit konnten im 2. Versuchsjahr keine ansprechenden Erträge realisiert werden. Sie lagen in den Messerwalzen-Varianten im Mittel bei 39 dt TM/ha und in den beernteten Varianten bei 55 dt TM/ha, wobei keine Differenzierung zwischen den Varianten mit und ohne Minimalbodenbearbeitung festgestellt wurde.

Fazit

Winterzwischenfrüchte mit Wintererbsen dürfen wegen der Gefahr der Auswinterung nicht zu früh gedrillt werden. Der Winterzwischenfruchtanbau kann auf viehhaltenden Betrieben sowohl als Gründüngung zum Zwecke der Zufuhr organischer Substanz und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit als auch, insbesondere bei Futterengpässen, als Ganzpflanzensilage genutzt werden. Dies war auch ein wesentlicher Aspekt des Betriebsleiters für seine Beteiligung an dem Praxisversuch.

Im Gegensatz zum Standort Trenthorst mit schwerem Lehm Boden wirtschaftet der Praxisbetrieb bei vergleichbaren Witterungsbedingungen auf leichteren Böden. Diese zeigten insbesondere im zweiten Praxisanbaujahr ihre Grenzen hinsichtlich der ausreichenden Versorgung von einer gut entwickelten Winterzwischenfrucht, die die Bodenwasservorräte stark entleert hat, und einem nachfolgenden Mais als Zweikulturnutzungssystem. Folgt nach dem Zwischenfruchtanbau in der Periode der Maisaussaat und frühen Maisentwicklung eine Witterungsperiode mit wenig Niederschlag kann sich der Mais nicht ausreichend entwickeln, um entsprechende Ertragsleistungen zu realisieren. Dabei wurden keine Unterschiede zwischen den geernteten Varianten mit oder ohne Bodenbearbeitung zum Mais sichtbar. Die Varianten mit Messerwalze bewirkten trotz ihrer Mulchauflage keine besseren Maiserträge.

Praxisversuche der Universität Kassel-Witzenhausen, FG Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe (GNR)

Durchführung und Ergebnisse

Die Praxisversuche wurden in den Jahren 2020/2021, 2021/2022 und 2022/2023 auf einem Bioland-Betrieb mit Milchviehhaltung im Landkreis Göttingen durchgeführt. Außerdem erfolgte im Jahr 2022/2023 ein weiterer Praxisversuch auf einem konventionellen Milchvieh-Betrieb im Landkreis Werra-Meißner.

Auf dem Biobetrieb wurden im Jahr **2020/2021** folgende Varianten aus dem UNSIFRAN-Versuch mit einem Reihenabstand von 75 cm demonstriert:

1. Standardmaisanbau mit Herbstpflugfurche und intensiver Bodenbearbeitung zur Saat
2. Wintererbsen-Roggen-Ernte, reduzierte Bodenbearbeitung mit anschließender Maissaat
3. Wintererbse-Reinsaat gewalzt, Direktaat Mais
4. Wintererbse-Roggen, gewalzt, Direktsaat Mais
5. Winterwicke-Roggen, gewalzt, Direktsaat Mais

Die Varianten wurden jeweils in 6m breiten und 80m langen Streifen angebaut. Eine Düngung erfolgte über Gärreste bei Variante 1 in Höhe von 100 kg N je ha und bei Variante 2 in Höhe von 60 kg N je ha.

Die Erstkulturen entwickelten sich sehr gut und es wurden Erträge bzw. Biomasseaufwüchse von durchschnittlich 10,5 t TM ha⁻¹ bei den Gemengen und von 9,8 t TM ha⁻¹ bei den reinen Wintererbsen realisiert. Allerdings war bei den Gemengen zum Walzen starkes Lagern der Bestände zu verzeichnen, so dass diese nach dem Walzen in verschiedenste Richtungen lagen. Dadurch war das Säen mit der Direktsaatmaschine sehr erschwert, die Kornablage war oft unbefriedigend, da kein Bodenschluss erreicht werden konnte. Daher konnten besonders nach gewalzten Winterwicke-Roggen keine repräsentativen Maisbestände erreicht werden. Nach Wintererbse-Roggen waren die Bestände deutlich besser. Bei den gewalzten Varianten waren die besten Maisbestände nach Wintererbsen im Reinbestand zu verzeichnen gewesen, die aufgrund der Vorfruchtwirkung der Leguminosen auch eine gute Stickstoffversorgung aufwiesen. Hier konnten mit 11,7 t TM ha⁻¹ höhere Erträge als nach gewalzten Gemengen mit durchschnittlich 8,7 t TM ha⁻¹ erzielt werden. Nach geernteter Erstkultur lag der Maisertrag bei 10,8 t TM ha⁻¹, in Verbindung mit dem Ertrag der Erstkulturen wurde hier ein Gesamtertrag von 20,3 t TM ha⁻¹ erreicht werden. Der Maisertrag im herkömmlichen Verfahren lag bei 16,2 t TM ha⁻¹. Bei dieser Variante lag eine deutlich höhere Unkrautung vor, so dass drei Regulierungsmaßnahmen durchgeführt werden mussten, während nach den gewalzten Varianten bei nur geringem Unkrautdruck keine Maßnahmen erfolgten. Dennoch wurde beim Vergleichsanbau der höchste Ertrag erzielt.

Die Maissaat nach Erstkulturnutzung bzw. Walzen erfolgte erst am 11.6.2021, da sich aufgrund des nasskühlen Frühjahrs 2021 die Erstkulturen nur zögerlich entwickelten. Die Blüte als möglichst zu erreichendes Entwicklungsstadium begann erst zu diesem

Zeitpunkt. Aufgrund der späten Maissaat erreichten die Maispflanzen im Herbst mit 22-25 % nur geringe TS-Gehalte.

Dieser Praxisversuch wurde während eines Feldtages in Kooperation mit dem Bioland-Verband am 31.08.2021 ca. 50 Interessierten aus Praxis und Beratung vorgestellt.

Im Jahr **2021/2022** wurden auf 1,5 ha folgende Varianten ausgesät:

1. Standardmaisanbau mit Herbstpflugfurche und intensiver Bodenbearbeitung zur Saat
2. Wintererbsen-Roggen-Ernte, reduzierte Bodenbearbeitung mit anschließender Maissaat
3. Wintererbse-Reinsaat gewalzt, Direktsaat Mais
4. Winterwicke-Reinsaat, gewalzt, Direktsaat Mais.

Die Erstkulturen/Zwischenfrüchte entwickelten sich sehr gut und erbrachten ähnliche Aufwüchse wie im Vorjahr. Ernte bzw. Walzen der Erstkulturen sowie die Maissaat erfolgten am 03.06.2022. Nach einem sehr guten Feldaufgang vertrockneten aufgrund der anschließenden langanhaltenden Dürre alle Maispflanzen aller Varianten und es konnte keine Ernte durchgeführt werden.

Im Jahr **2022/2023** wurden folgende Varianten in jeweils 9 m breiten und 50 m langen Streifen ausgesät:

1. Standardmaisanbau mit Herbstpflugfurche und intensiver Bodenbearbeitung zur Saat
2. Wintererbsen-Roggen-Ernte, reduzierte Bodenbearbeitung mit anschließender Maissaat
3. Wintererbse-Reinsaat gewalzt, Direktsaat Mais
4. Winterwicke-Reinsaat, gewalzt, Direktsaat Mais.

Die Erstkulturen/Zwischenfrüchte erzielten 8,1 t TM ha⁻¹ beim Gemenge und 7,2 t TM ha⁻¹ durchschnittlich bei den Reinsaaten. Der Standardmais hatte eine starke Verunkrautung, die trotz Regulierungsmaßnahmen ertragsmindernd wirkte. Der Maisertrag lag bei 13 t TM ha⁻¹. Nach Ernte der Erstkultur Wintererbse/Roggen betrug der Maisertrag 16,2 t TM ha⁻¹, nach gewalzten Wicken lag er bei 21,2 t TM ha⁻¹ und nach gewalzten Erbsen bei 25 t TM ha⁻¹. Die TS-Gehalte lagen zwischen 32 und 34 %.

Fazit: Der Praxisanbau auf dem Bioland Milchvieh-Betrieb über drei Jahre zeigte alle Vor- und Nachteile der innovativen Anbausysteme auf. Besonders der ganzjährige Bodenschutz und die effiziente präventive Unkrautregulierung wurden im Betrieb positiv bewertet. Die späte Maissaat in 2021 aufgrund der langsamen Entwicklung der Erstkulturen verdeutlichte die Abhängigkeit von der Jahreswitterung. Die extreme Trockenheit in 2022 mit dem Totalausfall der Maisbestände war sehr unbefriedigend. Da dies auch den Standardmaisanbau betraf, lag ein Vorteil bei der innovativen Variante mit Ernte der Erstkultur darin, dass immerhin ein Ertrag von ca. 10 t TM ha⁻¹ erreicht werden konnte. Die Verteilung von Anbaurisiken auf zwei Kulturen wirkte sich hier positiv aus. Im letzten Anbaujahr konnten aufgrund der günstigen klimatischen Bedingungen die Potenziale der innovativen Anbauverfahren sehr gut ausgeschöpft werden.

Bodenschutz und Unkrautunterdrückung konnten mit hohen Silomaiserträgen verbunden werden. Allerdings wurde auch deutlich, dass die Notwendigkeit von Spezialmaschinen wie Messerwalze und Direktsaatmaschine ein Hindernis für den Betrieb zur Umsetzung der Anbauverfahren darstellt, so dass er sich derzeit eher für die Variante mit Ernte der Erstkulturen und reduzierter Bodenbearbeitung zur Maissaat entscheiden würde.

Auf dem konventionellen Betrieb wurden jeweils auf 0,4 ha im Herbst 2022 reine Wintererbsen und reine Winterwicken ausgesät, die sehr gute Bestände im Frühjahr 2023 entwickelten. Diese wurden am 05.06.2023 gewalzt und anschließend wurde der Mais direkt gesät. Auch hier wurden der ganzjährige Bodenschutz, die Unkrautunterdrückung und die Nährstoffversorgung durch die Leguminosen als positiv hervorgehoben. Die Maiserträge lagen bei beiden Varianten bei ca. 25 t TM ha⁻¹ ohne weitere N-Düngung und mit TS-Gehalten von 33-36 %. Der betriebsübliche Mais mit ca. 150 kg N-Düngung erreichte 33 t TM ha⁻¹. Auch auf diesem Betrieb wurde der technische Aufwand zur Umsetzung der Anbauverfahren als Hindernis gesehen. Außerdem wäre eine frühere Maissaat wünschenswert, um dem Mais eine längere Vegetationszeit zu ermöglichen. Dafür müssten die Erstkulturen entweder früher blühen (Sortenwahl bzw. Züchtung) oder durch andere mechanische Maßnahmen am Wiederaustrieb gehindert werden, um im nachfolgenden Mais keine Konkurrenz zu bewirken.

Praxisversuche der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Durchführung

Die Praxisversuche wurden im Anbaujahr 2020/2021 auf einem Betrieb im Landkreis Freising auf einem Hektar angelegt. Der Betrieb hatte im Vorjahr bereits eine Fläche mit Körnermais in dem Verfahren mit Wintererbsen angelegt. Aufgrund der guten Erfahrungen wurde auf andere Zwischenfruchtvarianten verzichtet. Die Saat erfolgte durch einen Lohnunternehmer und das Walzen der Wintererbsen erledigte der Betrieb selbst. Dieser Betrieb wirtschaftet ausschließlich auf stark erosionsgefährdeten Flächen (CC Wasser 2) und sieht sich mit diesem Verfahren in der Lage, Mais in die Fruchtfolge aufzunehmen.

Auf einem zweiten Betrieb im Landkreis Dachau wurde eine Demoanlage mit 12 m breiten Streifen mit Wicken und Erbsen im Vergleich zur betriebsüblichen Variante mit abfrierender Zwischenfruchtmischung angelegt. Der Mais wurde mit den Geräten der LfL angelegt. Der Mais nach den Winterzwischenfrüchten konnte den Entwicklungsrückstand durch die spätere Saat nicht aufholen. In dem Streifen mit Winterwicken zeigten sich zunehmend Probleme mit Wiederaustrieb. Es konnte keine Ertragsmessungen durchgeführt werden.

Im Anbaujahr 2021/2022 wurde wieder auf dem Betrieb im Landkreis Dachau ein Praxisversuch mit 12 m breiten Streifen Wintererbsen und Winterwicken angelegt. Aufgrund der wechselhaften Witterung konnte keine termingerechte Saat durchgeführt werden und der Versuch wurde im weiteren Jahresverlauf abgebrochen.

Auf einem weiteren Betrieb im Landkreis Dachau wurde ein 0,4 ha großer Demostreifen mit Wintererbsen und ein 0,2 ha großer Wickroggen Streifen angelegt. Hier wurden verschiedene Mais Saattermine ausprobiert. In den Wintererbsen wurden erste gute Ergebnisse mit einer Saat vor der Blüte der Erbsen erzielt. Der Mais hat eine gute Entwicklung gezeigt, die Wintererbsen konnten durch ein Befahren zwischen den Reihen nach dem Aufgang vom Mais abgetötet werden. Leider zeigten sich hier Probleme mit ungleichmäßigem und lückigem Aufgang. Zu späteren Saatterminen konnte eine Sämaschine mit Direktsaatausstattung der LfL-Landtechnikabteilung „Väderstad Tempo“ in der Demoanlage getestet werden. Die späte Maissaat in der Blüte der Wintererbsen zeigte einen gleichmäßigen Aufgang und eine gute Jugendentwicklung. Da der Praxisbetrieb die Nutzung als Körnermais anstrebt, wollten wir eine frühe Saat und einen niedrigen Kolben TS-Gehalt bis Anfang Oktober erreichen. In dem Demostreifen mit dem Wickroggen erfolgte die Saat zu spät, sodass die Vorführsämaschine Väderstad Tempo zwar keine Probleme mit der Ablage des Saatgutes hatte, der Mais jedoch Schwierigkeiten hatte, beim Auflauf durch die dicke Matte zu stoßen. Die Wicken konnten dennoch nicht zufriedenstellend abgetötet werden, sodass diese in der späteren Entwicklung auch eine Konkurrenz zu den jungen Maispflanzen darstellte. Im weiteren Jahresverlauf wurde auf dem flachgründigen Standort auch eine Wasserkonkurrenz bzw. der Wasserverbrauch der überwinternden Zwischenfrüchte ein Thema. Es konnten keine Ertragsmessungen durchgeführt werden.

Die Praxisversuche wurden im Anbaujahr 2023/23 wieder auf einem Betrieb im Landkreis Dachau angelegt. Aufgrund der Probleme mit den Wicken und den guten Erfahrungen mit den Wintererbsen wurde eine große Demofläche von 0,5 ha mit Wintererbsen angelegt. Leider sind die Wintererbsen wie in der Versuchsfläche im Februar 2023 komplett ausgewintert.

Fazit

Die Betriebe in Bayern sind prinzipiell aufgeschlossen gegenüber diesem neuen Anbauverfahren und zeigen Interesse. Mehrere Probleme gilt es in Zukunft noch zu lösen, um das Anbauverfahren in die breite Praxis einzuführen. So zeigten sich auf den Demobetrieben die Wintererbsen als geeignete Zwischenfrucht. Eine zeitige Maissaat, eine sichere Abtötung der Wintererbsen, geringer Wasserverbrauch der Zwischenfrucht und eine gute Mulchauflage sind den Betrieben wichtig. Probleme mit ungleichmäßigem Feldaufgang, Schnecken und Fraßschäden durch Krähen sind den Betrieben bekannt. Die Wintererbsen werden von den Betrieben als gute Stickstofflieferanten gesehen.

Es besteht weiterhin Forschungsbedarf, um die Sätechnik und die Messerwalze in Detailfragen weiter zu verbessern. Erste Erfahrungen wurden mit einer Maissaat vor der Blüte der Wintererbsen gemacht, um dieses Verfahren auch für den Körnermaisbau interessanter zu machen. Hier werden nach der Saat weitere technische Lösungen benötigt, um die Erbsen nach der Maissaat zwischen den Reihen abzutöten.

Bei den Winterzwischenfrüchten gilt es, neue Sorten mit besserer Kältetoleranz zu finden. Die Winterwicken sind aufgrund des Wiederaustriebs und der Verbreitung des Samenpotentials noch nicht für die Praxis geeignet.

5. Gesamtdiskussion und Fazit

Bei den Untersuchungen im Projekt UNSIFRAN wurde die Bedeutung von Zwischenfrüchten für die Gestaltung von Anbausystemen für Silomais mit verbessertem Bodenschutz bestätigt. Neben dem Bodenschutz über Winter kann dieser Effekt durch entsprechende Anbaumaßnahmen der reduzierten Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat auch im nachfolgenden Mais fortgeführt werden. Diese Bedeutung der Zwischenfrüchte wurde auch in anderen Studien z.B. von Mäder und Berner, 2011; Graß et al., 2013; Dierauer et al., 2014; Wittwer et al., 2017 und Grosse et al., 2022 beschrieben. Zugleich ermöglichen die legumen Zwischenfrüchte durch ihre Fixierungsleistung (Urbatzka et al., 2009) die Anreicherung von Stickstoff in der Fruchtfolge, der dem nachfolgenden Mais zugutekommt. Nach reinen Leguminosen in Neu-Eichenberg und nach Wintererbsen in Puch standen dem Mais vier bis sechs Wochen nach der Saat höhere Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff zur Verfügung als bei den meisten anderen Varianten (Abb. 10). Da zur Maisernte im Herbst die N_{min} -Werte im Boden wiederum sehr gering waren, kann von einer Aufnahme durch den Mais ausgegangen werden. So konnten z.T. auch ohne weitere Stickstoffdüngung nach gewalzten reinen Leguminosen gute Maiserträge erzielt werden (vgl. Abb. 3 und

), was – wie erwähnt - wiederum standortabhängig war und vor allem in Neu-Eichenberg und nach reinen Wintererbsen am Standort Puch zur Geltung kam. Dies verdeutlicht, dass bei den innovativen Anbausystemen vielfältige Faktoren einen Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzen und damit auf die Erträge haben (Gollner et al., 2023). Dabei sind die klimatischen Aspekte von großer Bedeutung, denn in Trenthorst erfolgte die Maissaat aufgrund der langsamen Entwicklung der Zwischenfrüchte meist später, so dass trotz Auswahl einer frühreifenden Maissorte nach Zwischenfruchtanbau bzw. -nutzung keine zufriedenstellenden Maiserträge erzielt werden konnten.

Generell zeigte sich die Bedeutung gut entwickelter Zwischenfruchtbestände, wie sie auch z.B. von Wittwer et al., 2017 und Grosse et al., 2022 beschrieben worden ist. In Puch waren die Winterwickenbestände in einzelnen Jahren sehr lückig, wodurch sich die positiven Eigenschaften der Erstkultur nicht ausbilden konnten und die Maiserträge niedriger waren. Auch Auswinterungsschäden insbesondere bei den Wintererbsen traten in Einzeljahren auf und führten zu lückigen Beständen. Die winterharten und massenwüchsigen Zwischenfrüchte tragen zu einer präventiven Unkrautregulierung bei, da sie andere Pflanzen unterdrücken (Gronle et al., 2017; Grosse et al., 2022). Bei der Direktsaat nach gewalzten Zwischenfrüchten kann dieser Effekt im nachfolgenden Mais auch ohne weitere Unkrautregulierung zu sehr geringen Unkrautdeckungsgraden führen (Abb. 7 und Abb. 8), was aber nicht immer gelang. In einzelnen Jahren verursachte besonders bei diesen Varianten mit gewalzten Zwischenfrüchten der Wiederaustrieb dieser Zwischenfrüchte eine erhöhte Konkurrenz und erhöhte Unkrautdeckungsgrade im Mais. Dies wurde auch in den Untersuchungen von Gollner et al.,

2020 und 2023 bestätigt. Die Bedeutung effektiven Walzens und exakter Saattechnik werden hier noch einmal unterstrichen.

Ein weiterer Effekt, der mit gewalzten Zwischenfrüchten erzielt werden soll, ist die Schaffung einer Mulchauflage, die im nachfolgenden Mais dazu beitragen könnte, die Bodenfeuchtigkeit zu erhöhen und damit hinsichtlich klimatisch bedingter längerer Trockenheitsphasen eine gewisse Resilienz aufzubauen, die dem Mais zugutekommt (Gollner et al., 2023). Dies konnte in den diesem Bericht zugrundeliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden. Zum einen konnten zwischen den verschiedenen Anbausystemen keine systematischen Unterschiede hinsichtlich der Wassergehalte des Bodens festgestellt werden (Kap. 4.6), zum anderen konnten unter extremeren Trockenheitsbedingungen wie z.B. in Neu-Eichenberg 2022 keine Wachstums- oder Ertragsvorteile dieser Varianten festgestellt werden. Dies wurde auch durch die Praxisuntersuchungen bestätigt (Kap. 4.8).

Die Variante mit Ernte der Zwischenfrüchte und reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais erzielte am Standort Neu-Eichenberg die höchsten Erträge und Deckungsbeiträge über alle Jahre. Dies bestätigt das Ertragspotenzial dieser Anbauvariante von Zweikulturnutzungssystemen, das bereits in früheren Studien (Heggenstaller et al., 2009; Graß et al., 2013) aber auch bei neuen Untersuchungen (Stepczynski et al., 2023) bestätigt wurde. Dabei konnten die oben beschriebenen Vorteile des Zwischenfruchtanbaus bestätigt werden, allerdings erfolgte im Mais eine mechanische Unkrautregulierung. Diese sowie die reduzierte Bodenbearbeitung führten zu höheren Anbaukosten im Vergleich zu den gewalzten Varianten, die durch die höheren Erträge mehr als ausgeglichen wurden, so dass z.T. deutlich höhere Deckungsbeiträge erzielt werden konnten (Abb. 12 und Abb. 13). Dennoch gelten diese Aussagen nur für den Standort Neu-Eichenberg. An den beiden anderen Standorten Trenthorst und Puch erreichte diese Variante geringere Maiserträge wie der Standardanbau, was wiederum die Bedeutung der Standortfaktoren bestärkt. Dies wurde auch durch Schmidt et al. (2023) bestätigt, die die Ertragsstabilität der in UNSIFRAN geprüften Varianten untersuchten. Dabei wies generell der Standardanbau eine höhere Ertragsstabilität als die Alternativvarianten auf. Die Differenz war aber an den einzelnen Standorten unterschiedlich, was Ergebnisse von Graß et al. (2013) bestätigt, wo an einzelnen Standorten auch höhere Ertragsstabilitäten bei Zweikulturnutzungssystemen im Vergleich zum Standardanbau ermittelt wurden.

In Puch lagen die Deckungsbeiträge des Gesamtertrags von zwei geernteten Kulturen im Jahr mit reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais auf dem Niveau des Standardanbaus ohne Zwischenfrucht. Bei einem Zwischenfruchtanbau im Standardverfahren kann mit diesem Zweikulturnutzungssystem ein höherer Deckungsbeitrag erreicht werden (Abb. 12 und Abb. 13). Dabei ist die Streuung der Werte der Zweikulturnutzungsvariante höher, was eine unterschiedliche Ausprägung der Erträge und somit eine größere Unsicherheit des Erreichens der Werte in einzelnen Jahren beschreibt. Hinzu kommt, dass die Zwischenfrüchte einen geringeren Futterwert als der Mais aufweisen (Kap. 4.4) und somit für die landwirtschaftliche Praxis weniger wertvoll als der Mais in der Fütterung sind. Daher bietet der beschriebene gleichwertige oder z.T. höhere

Deckungsbeitrag pro Jahr in Puch nur einen bedingten Vorteil. Dieser Vorteil könnte allerdings für Betriebe gesteigert werden, die eine Verwertungsmöglichkeit für diese Erstkulturen als Substrat in einer Biogasanlage haben. Zwar würde auch hier nicht die Gasausbeute wie mit Silomais erreicht werden, aber neben einer verminderten Flächenkonkurrenz könnten diese Erstkulturen in einem Substratmix zu einer stabilen Gärbiologie und damit zu stabilen Biogaserträgen beitragen.

Ferner erreichte der Mais bei Spätsaat besonders in Trenthorst und Puch geringere TS-Gehalte (Abb. 5), was wiederum zu Qualitätseinbußen und Problemen bei der Silagebereitung führen kann. Die Nutzung von Maissorten mit niedrigerer Siloreifezahl als beim Standardverfahren konnte diese Entwicklung nicht verhindern. In Neu-Eichenberg mit den höheren Maiserträgen auch bei Spätsaat war diese Tendenz nicht so stark ausgeprägt. Dies hing auch damit zusammen, dass in Neu-Eichenberg die Spätsaatvarianten später als die früher gesäten Standardvarianten geerntet, so dass sie länger auf dem Feld verblieben und höhere TS-Gehalte erreichen konnten. Hingegen wurde in Trenthorst und Puch die Ernte aller Varianten unabhängig vom Reifegrad zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt. Dieser Zeitpunkt wurde i.d.R. anhand des Reifegrades der früher gesäten Standardvarianten bestimmt, so dass die Spätsaatvarianten die Siloreife zumeist noch nicht erreicht hatten, obwohl dafür noch Vegetationszeit zur Verfügung gestanden hätte.

Daher besteht Bedarf an sich schneller entwickelnden Zwischenfrüchten bzw. Zwischenfruchtsorten, wie es im Rahmen der Praxisversuche formuliert worden ist (Kap. 4.8). Diese Sorten sollten das Entwicklungsstadium der Blüte früher erreichen und könnten somit früher geerntet bzw. vor allem gewalzt werden, wodurch eine frühere Maissaat ermöglicht würde. Dies könnte zu höheren Maiserträgen und höheren TS-Gehalten beim Mais führen. Ein Ansatz, der im Projekt WickGanz des Thünen-Instituts bzgl. der Winterwicken verfolgt wird (<https://orgprints.org/id/eprint/38393/>).

Eine Verringerung der Reihenabstände beim Mais von 75 cm auf 50 cm führte zu einem früheren Reihenschluss der Maisbestände (Abb. 9). Verbunden war damit das Ziel, dass der Mais somit eine höhere Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut erreicht (Reckleben, 2011). Dies konnte in den vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden, oft waren keine Unterschiede zwischen den Varianten festzustellen, teilweise waren die Unkrautdeckungsgrade bei engerem Reihenabstand sogar höher (Abb. 6 bis Abb. 8). Dies war v.a. bei Varianten mit Unkrautregulierung zu beobachten, da dort aufgrund des früheren Reihenschlusses für die Befahrung der Bestände nur ein kürzeres Zeitfenster zur Verfügung stand. Witterungsbedingt war die Befahrbarkeit der Bestände nicht immer gegeben, so dass die Unkrautregulierung nicht zeitgerecht oder teilweise gar nicht erfolgen konnte, was wiederum zu erhöhten Unkrautdeckungsgraden führte.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die im Projekt UNSIFRAN geprüften innovativen Anbauverfahren im Silomaisanbau bedeutende Potenziale zur Verbesserung des Bodenschutzes, der Nährstoffversorgung (insbesondere Stickstoff) und der präventiven Unkrautregulierung besitzen und damit diese Aspekte der in Kap. 1.2 beschriebenen Zielsetzung erfüllen. Die Ziele höherer Bodenwassergehalte nach gewalzten

Zwischenfrüchten und eine verbesserte Konkurrenzwirkung des Mais gegenüber Unkraut durch engeren Reihenabstand konnten nicht erreicht werden.

Es wurde deutlich, dass ein großer Einfluss des Standortes bzw. der klimatischen Bedingungen hinsichtlich der Ertragsentwicklung der Anbausysteme besteht. Hinzu kommt, dass das Zusammenwirken vieler Faktoren deutlich höhere Managementanforderungen gegenüber dem Standardanbau bewirkt. Dies ist zum Teil verbunden mit einem zusätzlichen technischen Bedarf an speziellen Maschinen wie Messerwalze und Direktsämaschine mit Räumsternen. Zugleich sind die innovativen Verfahren mehrheitlich anfälliger für witterungsbedingte Einflüsse, wodurch oft nur kurze Zeitfenster für die Bearbeitungsschritte vorhanden sind. Dies trägt zu einer etwas geringeren Ertragsstabilität bei den innovativen Verfahren im Vergleich zum Standardanbau bei. Während am nördlichen Standort Trenthorst keine Variante an den Standardanbau heranreichte und am südlichen Standort nur in Einzeljahren einige Varianten mit dem Standardanbau vergleichbar waren, konnten am Standort Neu-Eichenberg in der Mitte Deutschlands mit mehreren Varianten der Zweikulturnutzung im Mittel der Jahre vergleichbare oder z.T. bessere Ergebnisse als beim Standardanbau erzielt werden. Dabei wurde aus den Praxisuntersuchungen auch deutlich, dass die Durchführung der innovativen Anbausysteme mit zunehmender Anbauerfahrung besser gelingen kann.

6. Nutzen und Verwertbarkeit

Das vorliegende Verbundprojekt trägt dazu bei, den Wissensstand hinsichtlich systemarer Anbaustrategien zur präventiven Unkrautregulierung und zur Reduzierung der Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat im Silomaisanbau zu verbessern. Die umfangreichen Feldversuche an drei Standorten lieferten vielfältige Ergebnisse und Erkenntnisse, die sowohl im wissenschaftlichen Kontext als auch direkt für die landwirtschaftliche Praxis bedeutende Relevanz aufweisen. Die Kombination verschiedener Ansätze zur Verbesserung des Silomaisanbaus hinsichtlich von Anbauproblemen und Umweltgefährdungen und die vergleichende Prüfung dieser Strategien an drei Standorten ermöglichten eine regional bezogene Bewertung der geprüften Systeme. Die Bedeutung dieser Standortbezogenheit zeigte sich während des Projektes. Denn die geprüften Anbaustrategien entwickelten sich an den einzelnen Standorten sehr unterschiedlich, so dass sich für die landwirtschaftliche Praxis vor Ort direkte Erkenntnisse ergaben. Durch die umfangreichen Praxisversuche an den einzelnen Standorten und die damit verbundenen Veranstaltungen zum Wissenstransfer konnten Möglichkeiten und Grenzen der Anbausysteme aufgezeigt werden.

Zugleich wurden die geprüften Anbaustrategien im überregionalen Kontext bei den Öko-Feldtagen 2022 und 2023 auf Demo-Flächen umfangreich präsentiert, wodurch Praxis und Beratung in einem großen Rahmen erreicht wurden. Die Erkenntnisse und Ergebnisse des Projektes wurden im beigefügten „Praxis-Merkblatt“ zusammengeführt.

Ferner wurden über die wissenschaftliche Bearbeitung und Auswertung der Ergebnisse allgemeingültigere Erkenntnisse abgeleitet und durch die Publikation in

entsprechenden wissenschaftlichen Zeitschriften verbreitet. Die Resonanz auch bei Präsentationen auf wissenschaftlichen Tagungen bestätigte die Bedeutung dieses Erkenntnisgewinns.

7. Geplante und erreichte Ziele

Die im Projektantrag aufgeführten Arbeitsvorhaben wurden größtenteils wie geplant umgesetzt. Zu Projektbeginn musste die ursprünglich geplante Verringerung der Reihenweite im Maisanbau von 37,5 cm auf 50 cm modifiziert werden, da deutlich wurde, dass mit den vorhandenen Direktsämaschinen kein ausreichendes Freiräumen der Säschlitze bei 37,5 cm möglich war. Ferner wurden im Rahmen der Versuchsdurchführung nicht alle Bonituren (Pflanzenentwicklung und Unkrautdynamik) wie geplant durchgeführt, da infolge von Erkrankungen insbesondere während der Corona-Pandemie Personalmangel herrschte.

Die im Projektantrag genannten Zielsetzungen wurden nur teilweise erreicht. Zunächst ist aber die erfolgreiche Durchführung der umfangreichen Anbauversuche im Verbundprojekt hervorzuheben. Dabei war die technische Umsetzung der Anbaustrategien oft herausfordernd und gelang zu Projektbeginn nicht immer einwandfrei. Z.B. kam es durch ungenügendes bzw. zu frühes Walzen von Zwischenfrüchten zu einem Wiederaustrieb und Weiterwachsen der Zwischenfrüchte im nachfolgenden Mais, wo diese eine zusätzliche Konkurrenz ausbildeten. Zugleich waren solche Erfahrungen sehr wertvoll für die landwirtschaftliche Praxis, wie sich bei den Veranstaltungen zum Wissenstransfer zeigte.

Der mit den Anbausystemen verbundene ganzjährige Bodenschutz, die präventive Unkrautregulierung durch den Zwischenfruchtanbau sowie die Stickstoffnachwirkung reiner Leguminosenzwischenfrüchte wurden in den Versuchen erreicht und nachgewiesen, mit standortspezifischen Unterschieden. Hingegen konnte eine weitere Optimierung der präventiven Unkrautregulierung durch einen engeren Reihenabstand von 50 cm im Mais nicht erzielt werden. Ebenso führte das Walzen der Zwischenfrüchte und die damit verbundene Mulchschicht, in der der Mais heranwuchs, nicht zu höheren Bodenwassergehalten, wie dies ursprünglich angenommen wurde. Die damit verbundene Anpassung an den Klimawandel bzw. eine Erhöhung der Resilienz konnte nicht realisiert werden.

Die ökonomische Bewertung im Rahmen einer Deckungsbeitragsberechnung ergab, dass nur am Standort Neu-Eichenberg einige innovative Varianten gleich oder besser als der Standardanbau von Silomais abschnitten. Die Zielsetzung, dass die Ernte von zwei Kulturen in einem Jahr ökonomisch rentabel ist, konnte in Neu-Eichenberg bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung voll bestätigt werden. An den anderen Standorten war dies nicht gegeben, wobei in Puch bei diesen Varianten nahezu gleiche Deckungsbeiträge wie im Standardanbau mit der alleinigen Maisernte erzielt wurden. Allerdings ist der Futterwert der Erstkulturen/Zwischenfrüchte hinsichtlich des Energiegehaltes geringer als der von Mais.

Der technische Aufwand und die Anforderungen an das Anbaumanagement sind bei den geprüften innovativen Anbausystemen höher, wodurch die Umsetzbarkeit für die landwirtschaftliche Praxis erschwert ist. Dennoch zeigen sowohl die Ergebnisse der Versuche als auch das Interesse und die Rückmeldungen der landwirtschaftlichen Praxis das Potenzial der geprüften Anbaustrategien hinsichtlich Bodenschutz und Unkrautunterdrückung. Hierfür waren die Aktivitäten des Wissenstransfers sehr wertvoll (vgl. Kap.10) und können als sehr gelungen bezeichnet werden. Sowohl die regionalen Praxisversuche mit Feldtagen als auch die Demo-Vorhaben auf den Öko-Feldtagen sowie Vorträge und Beiträge in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften trugen dazu bei. Daraus ergaben sich weiterführende Fragestellungen, insbesondere hinsichtlich einer früheren Maissaat auch nach Zwischenfruchtanbau, um eine längere Wachstumsperiode für den Mais verbunden mit höheren Erträgen zu erreichen. Dies könnte über den Anbau sich schneller entwickelnder Zwischenfruchtarten bzw. -sorten erreicht werden, die früher das Stadium der Blüte erreichen und somit früher gewalzt werden können. Dazu liegen bisher nur wenig Erkenntnisse vorher, dieser Ansatz wird teilweise im Projekt WickGanz aufgegriffen (<https://orgprints.org/id/eprint/38393/>). Ein anderer Ansatz wäre eine frühere Ernte der Zwischenfrüchte bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais. Durch die Bodenbearbeitung wird ein Wiederaustrieb der Zwischenfrüchte ohnehin unterbunden, so dass die Ernte auch vor der Blüte erfolgen könnte. Dies würde zu geringeren Erträgen der Zwischenfrüchte führen, inwieweit diese dann durch höhere Maiserträge aufgrund einer früheren Saat kompensiert werden könnte, müsste untersucht werden.

8. Zusammenfassung

Mais hat während der Jugendentwicklung eine geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern. Pflugeinsatz vor und eine mehrfache mechanische Regulierung nach der Maissaat bilden in herkömmlichen Anbausystemen die Grundlage für die Unkrautregulierung. Dies führt häufig zu Bodenerosion und Nährstoffauswaschung. Auswirkungen des Klimawandels mit zunehmenden Witterungsextremen (z.B. Dürre, Starkregen) verstärken diese Probleme. Ziel des Projektes UNSIFRAN war es, die Probleme der aufwändigen Unkrautregulierung bzw. starken Verunkrautung und eines ungenügenden Bodenschutzes im Maisanbau zu reduzieren.

Dazu wurden in einem systemaren Ansatz verschiedene Anbaustrategien entwickelt, die einen intensivem Zwischenfruchtanbau vor Mais und eine reduzierte Bodenbearbeitung zu Mais bis hin zur Direktsaat beinhalteten. Als Zwischenfrüchte, die im Rahmen von Zweikulturnutzungssystemen auch als Erstkulturen bezeichnet werden, wurden die winterharten Leguminosen Wintererbse und Winterwicke jeweils in Reinsaat und im Gemenge mit Winterroggen angebaut. Diese unterdrücken aufgrund ihrer Massenwüchsigkeit andere Pflanzen und leisten dabei eine präventive Unkrautregulierung für den nachfolgenden Mais. Zur Maissaat wurden unterschiedliche Strategien der reduzierten Bodenbearbeitung zur Verbesserung des Bodenschutzes geprüft:

- Im ersten systemaren Ansatz wurden alle Varianten des Zwischenfruchtanbaus mit einer Messerwalze zum Zeitpunkt der Blüte ca. Ende Mai/Anfang Juni gewalzt und somit zum Absterben gebracht. Im Direktsaatverfahren wurde der Mais anschließend ohne Bodenbearbeitung in die gewalzten Zwischenfrüchte gesät. Dadurch sollten keine weiteren Unkrautsamen zur Keimung angeregt werden und der Mais mit optimalem Bodenschutz in der gewalzten Mulchschicht ohne weitere Konkurrenz heranwachsen. Bei diesen Varianten erfolgten keine Unkrautregulierung und keine Düngung im Mais.
- In einem zweiten Ansatz wurden die Zwischenfrüchte im Gemengeanbau zum Zeitpunkt der Blüte ca. Ende Mai bis Mitte Juni als Ganzpflanze geerntet und als Feldfutter genutzt. Der Mais wurde anschließend entweder direkt in die Stoppel der Erstkulturen oder alternativ nach einer reduzierten Bodenbearbeitung mit Scheibenegge, Zinkenrotor oder Kreiselegge gesät. Auch hier entstand durch die Erntereste der Erstkulturen ein verbesserter Bodenschutz im Maisanbau im Vergleich zu herkömmlichen Anbausystemen. Während bei Direktsaat ebenfalls keine Keimstimulierung von Unkrautsamen erfolgt, wird durch die leichte Bodenbearbeitung eine solche Stimulierung angeregt. In diesen Varianten wurden Unkrautregulierung und eine Düngung in Höhe von 50-80 kg N je ha in Form von Gülle/Gärresten durchgeführt.
- Zum Vergleich wurde der Mais im Standardverfahren mit Pflugfurche im Herbst und intensiver Bodenbearbeitung zur Maissaat Anfang Mai angebaut. Hier wurden ebenfalls Unkrautregulierung und eine Düngung in Höhe von 50-80 kg N je ha in Form von Gülle/Gärresten vorgenommen.

Zusätzlich wurden alle Strategien mit herkömmlichem Reihenabstand von 75 cm im Mais und mit einem verengten Reihenabstand von 50 cm geprüft. Dadurch ergaben sich insgesamt 18 Varianten, die in umfangreichen Feldversuchen von 2019 bis 2022 an drei Standorten über Deutschland verteilt vergleichend untersucht wurden: Trenthorst im Norden, Neu-Eichenberg in der Mitte und Puch im Süden. In Neu-Eichenberg und Puch wurde der Versuch um ein weiteres Jahr bis 2023 verlängert.

Die unkrautunterdrückende Wirkung der verschiedenen Zwischenfrüchte konnte an allen Standorten bestätigt werden, zur Blüte der Erstkulturen war nur ein sehr geringer Unkrautbesatz von bis zu 5 % vorhanden. Das Walzen und v.a. die anschließende Direktsaat in die gewalzte Mulchschicht waren technisch anspruchsvoll, die Sämaschinen mussten mittels Räumsternen die Saatreihe für den Mais freiräumen und nach der Saat durch Andrücken diese Saatreihe wieder schließen. Dies gelang nicht immer gleich gut, da aufgrund unterschiedlicher Bodenfeuchtigkeit in den einzelnen Jahren die Maschinen unterschiedlich arbeiteten. Wenn das Walzen zu früh erfolgte oder nicht ausreichend stark war, kam es zum Wiederaustrieb im nachfolgenden Mais. Bei optimaler Umsetzung aller Arbeitsgänge war der Unkrautdeckungsgrad im Mais bei diesen Varianten auch ohne weitere Unkrautregulierung sehr gering, der präventive Ansatz wirkte sich positiv aus. Dennoch waren die Maiserträge an den einzelnen Standorten sehr unterschiedlich ausgeprägt. Im Norden in Trenthorst zeigten die Erstkulturen

klimatisch bedingt eine langsamere Entwicklung, so dass das Stadium der Blüte später als an den anderen Standorten erreicht wurde. Dementsprechend erfolgte auch die Maissaat später, was zu teilweise deutlich geringeren Maiserträgen im Vergleich zum herkömmlichen Maisanbau führte. In Neu-Eichenberg konnten nach reinen gewalzten Leguminosen gleich hohe Erträge wie im Standardanbau erreicht werden, während nach den Zwischenfruchtgemengen die Erträge deutlich geringer ausfielen. Der reine Leguminosenanbau führte zu einer besseren N-Versorgung des nachfolgenden Mais. In Puch konnte nur die Variante mit reinem Wintererbsenanbau in Einzeljahren annähernd an den Maisertrag des Standardanbaus heranreichen. Auswinterungs- und Aufbauprobleme bei den Leguminosen führten hier öfter zu lückigen Beständen, was die Bedeutung gut entwickelter Zwischenfruchtbestände für die Umsetzung des präventiven Ansatzes verdeutlicht.

Die zusätzliche Ernte der Erstkulturgemenge führte zu einer Erhöhung des Jahresertrags von zwei Kulturen. Dieser war nach reduzierter Bodenbearbeitung zu Mais immer höher als nach Direktsaat von Mais. Durch die Bodenbearbeitung wurde ein Wiederaustrieb der Erstkulturen sicher vermieden, während bei Direktsaat ein solcher häufiger auftrat mit der Folge stärkerer Konkurrenz für den Mais. Außerdem wurde durch die Bodenbearbeitung die Unkrautregulierung erleichtert, da der Boden besser gehackt werden konnte als nach Direktsaat. Dies zeigte sich auch in geringen Unkrautdeckungsgraden bei diesen Varianten. Die engere Reihenweite von 50 cm stellte sich dabei in Einzeljahren als nachteilig heraus, da das Zeitfenster für die Unkrautregulierung aufgrund des früheren Reihenschlusses des Mais kürzer war. Bei entsprechend ungünstigen Witterungsverhältnissen konnten nicht immer alle geplanten Regulierungsmaßnahmen durchgeführt werden.

In Trenthorst und Puch lag der Jahresertrag von zwei Kulturen auf dem Niveau des Maisertrags im herkömmlichen Anbauverfahren. Aufgrund eines geringeren Futterwertes der Erstkulturen hinsichtlich des Energiegehaltes im Vergleich zum Mais kann die Wertigkeit des Ertrags aber nicht gleich gesetzt werden. In Neu-Eichenberg führte die Ernte von zwei Kulturen zu signifikant höheren Erträgen als der alleinige Maisanbau im Standardverfahren und erzielte die höchsten Erträge aller Varianten. Dies zeigte sich auch bei den Deckungsbeiträgen, die bei diesen Varianten am Standort Neu-Eichenberg am höchsten ausfielen. Der höhere Aufwand durch die Bodenbearbeitung zu Mais wurde durch die höheren Erträge kompensiert. An den anderen Standorten lagen die Deckungsbeiträge bei den geprüften innovativen Verfahren unter den Werten des Standardanbaus. Wenn bei diesem ein Zwischenfruchtanbau zur Erfüllung der ökologischen Auflagen im Maisanbau einkalkuliert wurde, konnten einige Varianten vergleichbare Werte zu dem Standardanbau erreichen.

In umfangreichen Praxisversuchen an den einzelnen Standorten wurden diese Ergebnisse bestätigt. Diese Versuche trugen zum umfangreichen Wissenstransfer bei, der ein zentraler Bestandteil des Projektes war.

Insgesamt zeigte sich, dass massenwüchsige winterharte Zwischenfrüchte wie Erbse und Wicke in Reinsaat oder im Gemenge mit Roggen mit nachfolgender reduzierter Bodenbearbeitung das Potenzial haben, den Unkrautdruck im Mais zu reduzieren und

den Bodenschutz zu verbessern. Dabei sind Anforderungen an Technik und Anbaumanagement hoch. Der Erfolg ist stark von den Standort- und Witterungsbedingungen zur optimalen Umsetzung der Strategien abhängig. Bei den innovativen Verfahren sind oft nur kurze Zeitfenster für die optimale Durchführung der Arbeitsgänge vorhanden. In Einzeljahren kam es durch Auswinterungen oder Trockenheit zu starken Ertragseinbußen. Hohe Bodengüte und geeignete klimatische Bedingungen wie in Neu-Eichenberg erleichtern diese Umsetzung, in Trenthorst sind die Systeme kaum und in Puch lediglich das System nach gewalzten Erbsen geeignet.

9. Literaturverzeichnis

Böhler, D. und H. Dierauer, 2017: Messerwalze statt Glyphosat. Landwirtschaft ohne Pflug, 5, 39-43.

Deutsches Maiskomitee, 2018: www.maiskomitee.de/Aktuelles/OEkomaisanbau-im-Aufwind

Dierauer, H., Böhler, D., 2012: Direktsaat Mais im Biolandbau. Zwischenbericht FIBL Schweiz. www.orgprints.org/22242/1/dierauer-boehler-2012-Direktsaat-Mais-zwischenbericht.pdf

Dierauer, H., Hegglin, D., Böhler, D., 2014: Direktsaat von Mais im Biolandbau. Zwischenbericht FIBL Schweiz. www.orgprints.org/28113/1/dierauer-et-al-2014-Direktsaat-Mais-2014-Zwischenbericht.pdf

Graß, R. (2003): Direkt- und Spätsaat von Silomais - Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge. Dissertation Universität Kassel. Cuvillier-Verlag, Göttingen.

Graß, R.; Scheffer, K., 2003: [Direkt- und Spätsaat von Silomais nach Wintererbsenvorfrucht – Erfahrungen aus Forschung und Praxis](http://www.orgprints.org/1231/). In: Freyer, Bernhard (Hrsg.) Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau - Ökologischer Landbau der Zukunft, S. 45-48. www.orgprints.org/1231/

Graß, R., 2013: Mais im Ökologischen Landbau. In: Lütke Entrup, N., Schwarz, F.J., Heilmann, H.: Handbuch Mais. DLG-Verlag, S. 178-186.

Graß, R., Thies, B., Henschke, C., Wachendorf, M., 2014: Anpassungsmaßnahmen im Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen im Einflussgebiet nordhessischer Fließgewässer. In: Bloch, R., Bachinmger, J., Fohrmann, R., Pfriem, R. (Hrsg.): Land- und Ernährungswirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen. Oekom-Verlag München, Band 8, S. 301-312.

Graß R., Thies B., Kersebaum K.C., Wachendorf, M., 2015: Simulating dry matter yield of two cropping systems with the simulation model HERMES to evaluate impact of future climate change. Europ. J. Agronomy, 70, 1-10

Graß R., Heuser F., Stülpnagel R., Piepho H.-P., Wachendorf M., 2013: Energy crop production in double cropping systems: Results from an experiment at seven sites. European Journal of Agronomy, 51, 120-129.

Gollner, G., Fohrafellner, J., Friedel, J. K., 2020: Winter-hardy vs. freeze-killed cover crop mixtures before maize in an organic farming system with reduced soil cultivation. Org. Agr. (2020) 10 (Suppl 1):S5–S11. doi.org/10.1007/s13165-020-00294-3

Gollner, G., Surböck, A., Friedel, J.K., 2023: Klimaresilienz im Bioackerbau. LUMBRICO 15, S. 26-31.

Gronle, A., Böhm, H., Heß, J., 2014: Effect of intercropping winter peas of differing leaf type and time of flowering on annual weed infestation in deep and shallow ploughed soils and on pea pests. Landbauforsch - Appl Agric Forestry Res. 1 (64) 31-44.

Gronle, A., Heß, J., Böhm, H., 2015: Weed suppressive ability in sole and intercrops of pea and oat and its interaction with ploughing depth and crop interference in organic farming. *Organic Agriculture*, 5, 39-51.

Grosse, M., Hasse, T., Heß, J., 2014: Influence of Reduced Tillage and Green Manures on Weed Emergence and Yield in Organic Farming (TILMAN-ORG SESSION). In: Rahmann, G., Aksoy, U., 2014: Proceedings of the 4th ISOFAR Scientific Conference. 'Building Organic Bridges', at the Organic World Congress 2014, 13-15 Oct., Istanbul, Turkey.

IPCC, 2013.

Grosse, M., Haase, T., Heß, J., 2022: Effects of Tillage Intensity, Cover Crop Species and Cover Crop Biomass on N-Fluxes, Weeds and Oat Yields in an Organic Field Experiment in Germany. *Crops* **2022**, 2, 461–475. <https://doi.org/10.3390/crops2040033>

Jung, R., Rauber, R., 2012: Reduzierung der Verunkrautung durch Untersaaten in Ökomais. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 24, 264-265.

Kainz, M., Siebrecht, N., Reents, H.-J., 2009: Wirkungen des Ökologischen Landbaus auf Bodenerosion. In: Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Zürich. Band 1, S. 53-56. www.orgprints.org/14385/1/Kainz_14385.pdf

KTBL, 2015: Faustzahlen für den Ökologischen Landbau. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt.

Lütke Entrup, N. 2013: Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe. In: Lütke Entrup, N., Schwarz, F.J., Heilmann, H.: Handbuch Mais. DLG-Verlag, S. 187-211.

Mäder, P., Berner, A., 2011. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renew. Agric. Food Syst.* 27, 7-11.

Meier, U. 2001. *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants - BBCH-Monograph*, Berlin, Braunschweig, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.

Paulsen, H.-M., Böhm, H., Freyer, B., 2016: Fruchtfolgen. In: Freyer, B. (Hrsg.): Ökologischer Landbau – Grundlagen, Wissenstand und Herausforderungen. utb-Verlag.

Reckleben, Y., 2011: Maisanbau – welcher Reihenabstand ist der Richtige? *Landtechnik* 5, S. 370-372.

Schmidt, F., Böhm, H., Graß, R., Wachendorf, M., Piepho, H.-P., 2023: Management effects on weed control efficiency in double cropping systems. *Agronomy* 2023, 13, 467. doi.org/10.3390/agronomy13020467

Stepczynski, S., Böhm, H., Witten, S., Wiskandt, J., Machner, M.-T., Aulrich, K., 2023: Winterzwischenfruchtanbau mit Ganzpflanzennutzung als Vorfrucht zu Mais: Wickenarten in Reinsaat und im Gemenge mit Grünschnittroggen im Vergleich. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 33: 105–106 (2023).

Urbatzka P., Graß, R., Haase, T., Schüler, C., Heß, J., 2009: Fate of legume-derived nitrogen in monocultures and mixtures with cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 132, 116-125. doi.org/10.1016/j.agee.2009.03.006

Urbatzka P., Graß, R., Haase, T., Schüler, C., Trautz, D., Heß, J., 2011: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Organic Agriculture*. Vol. 1, Issue 4, 187-202.

Wilhelm, B., 2010. Konservierende Bodenbearbeitung im Ökolandbau - Analyse einer Verfahrenstechnik im Kontext der Bodenfruchtbarkeit. Ph.D. Dissertation. Universität Kassel.

Wittwer, R., Dorn, B., Jossi, W., Zihlmann, U, van der Heijden, M., 2013: Zwischenfrüchte als wichtiges Potenzial für den pfluglosen ökologischen Landbau. In: Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn. S.46-49. www.orgprints.org/21340/1/21340_Wittwer.pdf

Wittwer, R., Dorn, B., Jossi, W., van der Heijden, M., 2017: Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. *Nature – scientific reports*, 7:41911 | DOI: 10.1038/srep41911

10. Übersicht über Veröffentlichungen und Aktivitäten

Das Projekt und seine Ergebnisse waren Gegenstand mehrerer Veröffentlichungen und Aktivitäten, die im Rahmen des Wissenstransfers durchgeführt wurden.

Begutachtete Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften:

Schmidt, F., Böhm, H., Piepho, H.-P., Urbatzka, P., Wachendorf, M., Graß, R., 2022: Management Effects on the Performance of Double Cropping Systems - Results from a Multi-Site Experiment. *Agronomy*, 12, 2104. doi.org/10.3390/agronomy12092104

Schmidt, F., Böhm, H., Graß, R., Wachendorf, M., Piepho, H.-P., 2023: Management effects on weed control efficiency in double cropping systems. *Agronomy* 2023, 13, 467. doi.org/10.3390/agronomy13020467

Schmidt, F., Böhm, H., Piepho, H.-P., Urbatzka, P., Wachendorf, M., Graß, R., 2023: Yield stability of silage maize double cropping systems across nine German environments. *Front. Agron.* 5:1235034. doi: 10.3389/fagro.2023.1235034

Konferenzbeiträge wissenschaftliche Tagungen:

Schmidt, F., S.-I. Horn, K. Stribny, F. Jobst, M. Mayr, H. Böhm, P. Urbatzka, R. Graß, M. Wachendorf, 2021: Silomaisanbau und Unkrautregulierung - präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung (UNSIFRAN) – Ergebnisse des 1. Versuchsjahres. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 32, 239-240.

Schmidt, F., S.-I. Horn, K. Stribny, F. Jobst, M. Mayr, H. Böhm, P. Urbatzka, R. Graß, M. Wachendorf, 2021: Silomaisanbau und Unkrautregulierung - präventive, systemare Maßnahmen in der Fruchtfolge- und Anbaugestaltung (UNSIFRAN) – Ergebnisse des 1. Versuchsjahres. 62. Deutsche Pflanzenschutztagung in Göttingen, Tagungsband, S. 533.

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf, 2023: Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz in Anbausystemen für Silomais: Unkrautwirkung. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 33, 315-316.

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf: Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz in Anbausystemen für Silomais: Auswirkungen auf den Ertrag. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.*, 33, 339-340.

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf, 2023: Anbausysteme für Silomais zur Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz: Auswirkungen auf den Ertrag. Beiträge zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, März 2023, Frick. S. 22-25.

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf, 2023: Anbausysteme für Silomais zur Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz:

Unkrautwirkung. Beiträge zur 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, März 2023, Frick. S. 26-27.

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, M. Wachendorf, 2024: Anbausysteme für Silomais zur Optimierung von Unkrautregulierung und Bodenschutz. In: Ulber, L., Rissel, D. (Eds.), 2024. Tagungsband: 31. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung; 27.-29. Februar 2024, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv. S. 63-64.

Beiträge in landwirtschaftlichen Fachzeitschriften:

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, 2023: Bio-Direktsaat statt Pflug. LUMBRICO, 16/2023, S. 20-25.

Graß, R., F. Schmidt, P. Urbatzka, H. Böhm, 2023: Reduzierte Bodenbearbeitung zu Silomais. Innovation 3/2023, S. 16-17.

Graß, R., F. Schmidt, W. Funke, 2023: Unkrautreduzierung bei Direktsaat von Öko-Mais. Landwirtschaftliches Wochenblatt – Hessenbauer, 40/2023, S. 9-13.

Graß, R., P. Urbatzka, H. Böhm, 2024: Bodenschutz und wenig Unkraut. bioland, 4/2024, S. 22-23.

Weitere Vorträge, Präsentationen und Aktivitäten:

- Universität Kassel: Feldtag in Kooperation mit dem Bioland-Verband Niedersachsen und dem Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen (KÖN) am 31.08.2021 auf dem Kooperationsbetrieb der Uni Kassel im Projekt, dem Milchhof Gartetal in 37130 Gleichen.
- LfL: Präsentation des Feldversuches in Puch auf dem Ökolandbaufeldtag als Informationsparcours vom 18. Juni bis 18. Juli 2021
- LfL: Versuchsführung in Puch am 21.9.2021
- Thünen Institut: Vortrag auf dem Leguminosen-Tag Ost: „Leguminosen und Klimawandel: Auswirkungen und Anpassungsstrategien“, 09.12.2021
- Universität Kassel: Vortrag auf der Wintertagung Bioland Nord: Direktsaat im Maisanbau. Online 13.01.2022.
- Universität Kassel: Vortrag auf der Tagung „Landwirtschaft in der Klimakrise – Wie wir die Ernten von morgen sichern“ am 06. September 2022 in Dannenberg.
- LfL: Vortrag auf der Naturland-Ackerbautagung Süd, online am 21.1.2022
- LfL: Vortrag auf der Bioland-Wintertagung Plankstetten, online am 9.2.2022
- Thünen-Institut: Vortrag auf dem 2. Virtuellen Feldtag: „Eignung unterschiedlicher Winterzwischenfrüchte als Vorfrucht zu Mais“, 10. Februar 2022, online-Veranstaltung per Webex mit Film.

- Thünen-Institut: Film auf dem 2. Virtuellen Feldtag: „Mais in Direktsaat – geht das im Öko-Landbau?, 10. Februar 2022, online-Veranstaltung per Webex sowie auf der Vimeo-Plattform: <https://vimeo.com/showcase/9198423>.
- Thünen-Institut: Vortrag auf dem Öko-Feldtag der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde: „Winterzwischenfrüchte und Gemengeanbau“ am 14. Juni 2022.
- Öko-Feldtage 2022, Gladbacher Hof, Limburg: Demo-Parzelle und Präsentation von Ergebnissen des Projektes UNSIFRAN.
- Öko-Feldtage 2023, Ditzingen: Demo-Parzelle und Präsentation von Ergebnissen des Projektes UNSIFRAN.
- Universität Kassel, 2023: Feldtag der Universität Kassel, FB 11 zum Thema „Regenerativ und biodivers für eine klimaresiliente Landwirtschaft, 22. Juni 2023.
- Universität Kassel, 2023: Vom Feldtag Juni 2023: youtube Video zur Direktsaat von Silomais. <https://www.youtube.com/watch?v=9FXUbLNysK4>
- Universität Kassel, 2023: Vortrag beim Öko-Ring im Norden e.V.: Innovative Strategien im Silomaisanbau. 5.10.2023, online.
- Universität Kassel, 2024: Vortrag beim Naturland webinar „Neue Lösungen für alte Herausforderungen? Direktsaatsysteme für den ökologischen Ackerbau“: Aktuelle Ergebnisse der reduzierten Bodenbearbeitung bis hin zur Direktsaat beim Silomaisanbau. 01.03.2024, online.