

Endbericht zum EIP-Agri Projekt KLIWA

**Klimaresilienz durch
wassersparenden Bio-Ackerbau
(Kurzversion)**

Projektlaufzeit: April 2019 – März 2022

Arbeitspaket 3 (Richtlinienpunkt 34.2.2.)

On-Farm Analyse

Arbeitspaket 4 (Richtlinienpunkt 34.2.2.)

Monitoring Langzeiteffekte

Antragsnummer: 16.2.1-S2-10/15

Förderungswerber: KLIWA

(Vertretungsbefugter: BIO AUSTRIA NÖ und Wien)

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 **Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft**


LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums.
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Inhaltsverzeichnis

1.	Arbeitspaket 3 (34.2.2) – On-Farm Analyse	3
1.1.	Soja-Praxisversuche	3
1.2.	Mais-Praxisversuche	8
1.3.	Kartoffel-Praxisversuche	14
2.	Arbeitspaket 4 (34.2.2) – Monitoring Langzeiteffekte	19
2.1.	Fragestellungen und Ziele.....	19
2.2.	Düngungsvarianten	20
2.3.	Ergebnisse	20
2.4.	Fazit	28
3.	Zusammenfassung	30
4.	Abbildungen und Tabellen	38
4.1.	Abbildungsverzeichnis	38
4.2.	Tabellenverzeichnis	39

Autor*innen: Dr. Gabriele Gollner
DI Andreas Surböck
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Ökologischen Landbau
Gregor Mendel Strasse 33
1180 Wien
eMail: gabriele.gollner@boku.ac.at

1. Arbeitspaket 3 (34.2.2) – On-Farm Analyse

1.1. Soja-Praxisversuche

Die Versuche im Jahr 2020 und 2021 zeigten auf allen 3 Standorten die möglichen Schwierigkeiten und das hohe Anbaurisiko der Direktsaat bei Sojabohnen. Dabei werden einige Faktoren als kritisch angesehen, die dann jeweils ausschlaggebend für einen erfolgreichen Anbau sind:

A. Entwicklung der Zwischenfrucht mit entsprechender Biomasseproduktion: bei einer geringeren Biomasse der Zwischenfrucht konnte das Sojasaatgut exakt abgelegt werden und ein guter Aufgang erzielt werden. Ist die Biomasse der Zwischenfrucht zu üppig, so kann dies auch durch die beste Sätechnik nicht ausgeglichen werden. Auch wenn die Ablagetiefe für das Sojasaatgut auf maximale Tiefe eingestellt wird, kann die Särille bei einer zu hohen Biomasse der Vor-Zwischenfrucht und der sich daraus ergebenden Mulchauflage nicht geschlossen bzw. das Saatgut nicht exakt abgelegt werden. Es sollte also die Saatstärke der Vor-Zwischenfrucht an die Sätechnik angepasst werden. Entscheidend für die Biomasseentwicklung der Zwischenfrüchte ist natürlich auch die Wasserversorgung im Frühling, die im Frühjahr 2020 nicht ausreichend war. Die in der Literatur angegebene erforderliche Zwischenfrucht-Biomasse von 5-8 t TM/ha, um eine ausreichende Mulchschicht für die Direktsaat vorzufinden, wurde nur auf 2 Standorten im Versuchsjahr 2021 erreicht (Tabelle 1, Tabelle 2). Auch die Stellung in der Fruchtfolge sowie die ausgebrachte Menge an organischem Dünger ist entscheidend für die Entwicklung der Zwischenfrucht, denn Roggen braucht Stickstoff für eine gute Ertragsbildung.

Tabelle 1: Zwischenfrucht Biomasse und N-Ertrag – Sojaversuche 2020

Var.	ZF-Ertrag (kg/ha)	N-Ertrag ZF (kg/ha)	ZF-Ertrag (kg/ha)	N-Ertrag ZF (kg/ha)	ZF-Ertrag (kg/ha)	N-Ertrag ZF (kg/ha)
Versuch	Michelhausen 2020 246 mm* Lehmiger Schluff VF Mais		Absdorf 2020 166 mm* Schluff VF Weizen		Senning 2020 274 mm* Lehmiger Schluff VF Winterroggen	
1 – BÜ / ET	3817 / 17.3.	98	598 / 19.3.	18	656 / 17.3.	18
2 – DSF / ET	4873 / 6.5.	98	3245 / 6.5.	26	3514 / 7.5.	28
3 – DSS / ET	5180 / 13.5.	110	6341 / 19.5.	41	4119 / 7.5.	23

*Legende: Niederschlagssumme September 2019-Mitte März 2020; ZF: Zwischenfrucht, VF: Vorfrucht; Saatstärke Roggen 130 kg/ha; ET: Ernte-Termin Roggen

Tabelle 2: Zwischenfrucht Biomasse und N-Ertrag – Sojaversuche 2021

Var.	ZF-Ertrag (kg/ha)	N-Ertrag ZF (kg/ha)	ZF-Ertrag (kg/ha)	N-Ertrag ZF (kg/ha)	ZF-Ertrag (kg/ha)	N-Ertrag ZF (kg/ha)
Versuch	Michelhausen 2021 312 mm* Schluffiger Lehm VF Weizen		Absdorf 2021 257 mm* Sandiger Lehm VF Hanf		Senning 2021 284 mm* Lehmiger Schluff VF Wintererbse-Triticale	
1 – BÜ / ET	1435 / 26.3.	49	471 / 15.3.	14	3070 / 19.3.	92
2 – DSF / ET	9731 / 7.5.	127	2856 / 4.6.	54	9253 / 4.5.	176
3 – DSS / ET	8765 / 28.5.	61	5374 / 4.6.	59	9302 / 31.5.	84

*Legende: Niederschlagssumme September 2020-Ende März 2021; ZF: Zwischenfrucht, VF: Vorfrucht; Saatstärke Roggen 180 kg/ha; ET: Ernte-Termin Roggen

Eventuell sollte auch die Zwischenfrucht Roggen durch eine andere, für das Trockengebiet eher geeignete Zwischenfrucht, ausgetauscht werden (geringere Biomasseentwicklung, früherer Umbruch möglich).

Die längere Wachstumsperiode der Zwischenfrucht vor den Direktsaat-Soja-Varianten ergab in der Simulation keinen gesteigerten Wasserverbrauch im Vergleich zur betriebsüblichen, früher umgebrochenen Variante bzw. wurde der Wasserbedarf der Zwischenfrüchte in den Direktsaat-Varianten durch die verringerte Evaporation (Mulchauflage) insgesamt ausgeglichen.

B. Niederschläge nach der Aussaat der Hauptkultur für den Aufgang und in der weiteren Vegetationszeit und der Bodenwasservorrat: der Bodenwassergehalt unter den Direktsaat-Varianten war in allen Praxisversuchen nur zeitweise etwas höher als unter der betriebsüblichen Variante. Dies war dem Umstand geschuldet, dass es im Sommer 2020 und 2021 teilweise überdurchschnittlich hohe Niederschlagsmengen gab. Die wochenlangen trockenen Phasen im Frühling und die kalten Temperaturen im Mai 2021 erschwerten die Entwicklung der Sojabestände. Die Sojabohne braucht für die Keimung und erste Entwicklung eine Bodentemperatur von mind. 10 °C. Unter einer dicken Roggen-Mulchschicht erwärmt sich der Boden langsamer, als offener bearbeiteter Boden. Entscheidend für den Aufgang sind außerdem natürlich die Niederschläge kurz nach der Aussaat der Kultur.

Außerdem ist der Wasserverbrauch der Vor-Zwischenfrucht für die Entwicklung der Direktsaat Sojabohne entscheidend. Es ist anzunehmen, dass für die Entwicklung der Sojapflanzen trotz ihres guten Feldaufgangs im Jahr 2021 zu wenig Bodenwasser vorhanden war, da die Vor-

Zwischenfrucht Roggen wahrscheinlich den Bodenwassergehalt bis tief in den Unterboden verringert hat.

Insgesamt können die einzelnen Einflussfaktoren wie z.B. Niederschlagsdynamik, Anbauermine, Pflanzenentwicklung oder Beikrautauflaufen auf den Bodenwasservorrat kaum voneinander getrennt werden. Insofern konnte nur eine Gesamtbeurteilung des Systems Direktsaat gegenüber dem betriebsüblichen System durchgeführt werden. Die Direktsaat-Variante mit späterem Anbauzeitpunkt zeigte sich hinsichtlich ihrer Wassernutzung sowohl im feuchteren Sommer 2020, als auch im Szenario unter trockeneren Verhältnissen (-50% Niederschläge) als die effizienteste Variante. Entscheidend hinsichtlich des Wasserverbrauches dürfte also der Anbauzeitpunkt sein, der alle anderen Maßnahmen und ihre damit verbundenen Effekte überlagert.

Im Trockengebiet ist eine Direktsaat von Winterkulturen im Herbst wahrscheinlich erfolgreicher z.B. von Winterweizen, denn der Anbauzeitpunkt braucht nicht verschoben zu werden, es gibt wenig Beikrautdruck und es steht ausreichend Wasser für den Aufgang und die Entwicklung der Direktsaat-Kultur zur Verfügung. Es bleibt zu überprüfen, welche Kulturen für eine Winter-Direktsaat geeignet sind und mit welcher Fruchtfolge dies umsetzbar wäre.

C. Geringer Beikrautdruck und niedrige Stickstoffnachlieferung am Standort: in den Praxisversuchen 2021 wurden im Frühling/Sommer kaum Unterschiede hinsichtlich des Boden Nmin-Gehaltes zwischen den Varianten festgestellt. Die potentiell mögliche höhere N-Nachlieferung in der betriebsüblichen Variante im Vergleich zur unbearbeiteten Direktsaat-Variante konnte also nicht festgestellt werden. Der Beikrautdruck war vereinzelt (Versuch Michelhausen, Versuch Absdorf) in den Direktsaat-Varianten höher als in der betriebsüblichen Variante, das war aber nur eine Folgewirkung des geringeren Feldaufgangs bzw. der geringeren Pflanzenzahl pro Flächeneinheit in den Direktsaat-Varianten. Neue technische Möglichkeiten sind zu prüfen, z.B. Beikrautregulierungsgeräte wie Zwischenreihenmulcher.

D. Richtiger Zeitpunkt und Art des Umwalzens (Blüte Roggen, Zwischenfrucht in Fahrtrichtung umlegen): in einer Versuchsvariante wurde schon früher in den noch stehenden Zwischenfruchtbestand (Roggen) die Direktsaat Soja durchgeführt. Man hat den Vorteil, dass der Saatzeitpunkt näher beim üblichen Saattermin liegt und nicht durch die Mulchschicht gesät werden muss. Der Nachteil ist, dass der stehende Roggen durch die Saat beeinträchtigt wird, wodurch das spätere Walzen nicht mehr so exakt möglich ist. In Jahren mit wärmeren Bodentemperaturen im Frühling kann die frühe Saat vorteilhaft beim Auflaufen und bei der

Entwicklung der Sojapflanzen sein, in kühleren Jahren jedoch nicht. In beiden Versuchsjahren zeigte dieser Faktor nur einen geringen Einfluss, d.h. keine Unterschiede zwischen den Varianten Direktsaat früh und spät hinsichtlich des Soja-Ertrags.

E. Saattechnik: Direktsämaschinen, die mit der großen Biomasse umgehen können, einen hohen Schardruck ermöglichen und das Saatgut sicher in die Erde bringen, sind notwendig (Scheibenschare oder Zinkensämaschinen; hoher Schardruck von mind. 200 kg). Eine optimale Einstellung, guter Zustand und Funktion der Werkzeuge der Sämaschine ist ebenfalls erforderlich. Unter Umständen sollte ein Striegel vor die Walze montiert werden, damit die Zwischenfrucht in Särichtung ausgerichtet werden kann. Die in beiden Versuchsjahren verwendeten Sämaschinen (bzw. durchgeführte Optimierungen) waren nur teilweise für die Soja-Direktsaat geeignet bzw. erfolgreich. Zwei Soja-Praxisversuche (Versuch Absdorf, Versuch Michelhausen) mussten im Jahr 2020 u.a. wegen technischer Probleme bei der Saat frühzeitig aufgegeben werden. Die in Österreich gängige Sätechnik ist nicht ganz auf die Bedingungen des Direktsaatverfahrens ausgerichtet. In Ländern mit längerer Direktsaat-Tradition gibt es Maschinen, die besser für die Direktsaat geeignet sind (bezüglich Schare und Schardruck sowie Gewicht der Sämaschinen). Es gibt zwar ein breites Spektrum an Vorwerkzeugen um Einzelkornsämaschinen direktsaattauglich zu machen (z.B. Räumscheiben oder -sterne, Scheibenseche), leider sind diese jedoch meist teuer oder es ist kein ausreichender Platz auf europäischen Maschinen dafür vorhanden. Andere, für die Direktsaat besser geeignete Sämaschinen (eingesetzt außerhalb von Europa) sind deshalb auf die Anforderungen im Trockengebiet zu überprüfen.

F. Bodenfruchtbarkeit: Ergebnisse betreffend Aggregatstabilität und das Vorkommen von Regenwürmern auf der Versuchsfläche (in Auswertung; nicht im Projektumfang enthalten) geben Hinweise, dass das Direktsaat-Verfahren hinsichtlich einzelner Bodenfruchtbarkeits-Parameter positiv im Vergleich zum betriebsüblichen Verfahren zu bewerten ist. Trotz der schwierigen Anbaubedingungen wurde bei den Direktsaat-Varianten teilweise ein höherer Knöllchenbesatz ermittelt, wahrscheinlich aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung bzw. Bodenruhe. Weitere Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkungen von Direktsaatverfahren auf die Bodenfruchtbarkeit sind notwendig, müssen jedoch langfristig betrachtet werden.

G. Sorten mit rascher Jugendentwicklung, erhöhte Saatstärke (+20%): wegen des späteren Saattermines bei der Direktsaat und des geringeren Feldaufganges sind Soja-Sorten

zu wählen, die sich nach der Aussaat rasch entwickeln und eine kurze Vegetationszeit haben (Reifegruppe 000). Die in den Praxisversuchen verwendete Sorte Lenka (Sortenwahl aufgrund Entscheidung der operationellen Gruppe) ist eine Sorte für günstige Standorte und gehört zur Reifegruppe 00.

H. Wilddruck (vor allem Hasen, Mäuse): der Wilddruck wird durch milde Winter gefördert, zusätzlich sind bestimmte Gebiete mehr betroffen, z.B. in der Nähe von Waldstücken oder Hecken. Ein Wildschutzzaun ist eine erste Maßnahme gegen Kaninchen und Hasen, jedoch besteht auch hier Verbesserungspotential.

Die Soja-Ertragsdaten aus dem Jahr 2020 (Tabelle 3) waren nicht repräsentativ, da die Soja-Versuche auf 2 Standorten (Absdorf, Michelhausen) komplett ausgefallen sind, und am dritten Standort (Senning) die Variante BÜ durch starken Wilddruck sehr beeinträchtigt wurde. Im Jahr 2021 zeigte sich im Mittel von 2 Standorten, dass die Direktsaat-Varianten DSF und DSS nur 34 bzw. 30% des TM-Kornertrages der betriebsüblichen Variante erreichten (Tabelle 4).

Tabelle 3: Soja-Kornerträge - Sojaversuche 2020

Var.	Soja-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Soja-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Soja-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ
Versuch	Michelhausen 2020		Absdorf 2020		Senning 2020	
1 – BÜ / ET	-	-	-	-	2,2	100
2 – DSF / ET	-	-	-	-	2,4	109
3 – DSS / ET	-	-	-	-	2,8	127

Tabelle 4: Soja-Kornerträge - Sojaversuche 2021

Var.	Soja-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Soja-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Soja-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ
Versuch	Michelhausen 2021		Absdorf 2021		Senning 2021	
1 – BÜ / ET	5,3	100	-	-	3,9	100
2 – DSF / ET	1,4	26	0,7	?	1,6	41
3 – DSS / ET	1,2	22	0,4	?	1,5	38

Die auf den Praxisversuchen gemachten Erfahrungen zur Direktsaat haben gezeigt, dass das Direktsaatverfahren im Biolandbau sehr komplex ist und viele Faktoren Einfluss auf das Gelingen der Direktsaat haben. Wenn ein Faktor nicht im optimalen Bereich liegt, wird der Erfolg des gesamten Verfahrens reduziert. Vor allem im Trockengebiet besteht ein hohes Anbaurisiko, geringere Erträge bis zu einem Komplettausfall der Kulturen sind möglich. Eine Anwendung des Verfahrens im Trockengebiet ist nur dann sinnvoll, wenn die Wasservorräte in den Wintermonaten ausreichend hoch waren, und somit keine Frühjahrstrockenheit zu erwarten ist. Bei erfolgreicher Ablage des Saatgutes könnte bei trockenen Bedingungen mit einer Bewässerung (sofern vorhanden) nach der Saat der Aufgang des Samens gefördert und abgesichert werden. Bei einem hohen Beikrautdruck oder Wiederaufrichten der Zwischenfrucht ist mehrmaliges Walzen oder der Einsatz einer Mäh- und Mulchtechnik in der Reihe notwendig. Es bedarf weiterer Optimierungen und Schritte zur Minderung des Anbaurisikos (z.B. Anbau von Winterkulturen in Direktsaat) sowie eine genaue Abstimmung auf das jeweilige Klima, die Böden und die vorhandene Mechanisierung. Zur Klärung der Einflussfaktoren und zur Optimierung der technischen Voraussetzungen für die Direktsaat sollten weiteren Versuche über eine längere Versuchsdauer durchgeführt werden. Eine kontinuierliche Bio-Direktsaat ist eher unwahrscheinlich, denn aufgrund der ausbleibenden Bodenbearbeitung würden die Felder zu sehr verunkrauten und der Schädlingsdruck wäre zu groß. Das sog. „Rotational No-Till“, d.h. Direktsaat mehrmals in der Fruchtfolge kombiniert mit einer intensiven und tiefen Bodenbearbeitung nach ein paar Jahren (auch mit dem Pflug) ist für die biologische Landwirtschaft ein interessantes Konzept, das Direktsaatverfahren weiterzuentwickeln bzw. anzuwenden. Diesbezüglich besteht in Europa, insbesondere in Österreich, noch großer Forschungsbedarf.

1.2. Mais-Praxisversuche

Im ersten Versuchsjahr 2020 hat die **Direktsaat von Mais** in eine gewalzte Wickroggen-Zwischenfrucht bei allen drei Praxis-Versuchen gut funktioniert. Mit den verschiedenen eingesetzten Sämaschinen konnte das Saatgut gut durch die Mulchschicht in den Boden gebracht werden. Der Aufgang des Mais war zufriedenstellend. Die Beimengung von geringen Mengen Roggen in die Wicke brachte den gewünschten Effekt eines stabileren Zwischenfruchtbestandes, der einfach und gleichmäßig gewalzt werden kann.

Zu einem Problem für die weitere Entwicklung der jungen Maispflanzen bei der Direktsaat wurde der Durchwuchs von Unkraut und das Wiederantreiben der Wicken. Ein Grund dafür wird im sehr trockenen Frühjahr und den folgenden hohen Niederschlagsmengen im Mai gesehen. Das Phänomen des Wiederantreibens aufgrund der Witterung war 2020 auch in vielen Getreidefeldern zu beobachten. Es wurde daher entschieden die Direktsaatflächen händisch zu regulieren, um die Konkurrenz für die Maispflanzen zu verringern. Für die Bearbeitung zwischen den Reihen bei Mais gibt es in der Praxis auch maschinelle Lösungen in Form einer Mäh- oder Mulchtechnik bzw. auch mit Bodenbearbeitung zwischen den Reihen (Reihenfräse). Zur Absicherung und Förderung des Maisbestandes im Falle eines zu hohen Beikrautdrucks bzw. einem Wiederaufwuchs der Zwischenfrucht in der Direktsaat ist der Einsatz dieser Maschinen zu prüfen. Auch der Saatzeitpunkt der Direktsaat in Abhängigkeit des Entwicklungszustandes der Wicken und des Roggens ist nochmals zu diskutieren, um einem Wiederaufwuchs der Zwischenfrucht entgegenzuwirken.

Bei der Auswertung der Mais-Ertragsparameter aller Versuchsstandorte zusammen, wurde der höchste Korn-TM-Ertrag bei der Transfermulch-Variante, gefolgt von der betriebsüblichen Variante und mit größerem Abstand von der Direktsaat-Variante festgestellt. Die Transfermulch-Variante erreichte durchschnittlich 114%, die Direktsaat-Variante durchschnittlich nur 53% der betriebsüblichen Variante (Tabelle 5).

Tabelle 5: Mais-Kornerträge - Maisversuche 2020

Var.	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ
Versuch	Michelhausen 2020		Absdorf 2020		Leitzersdorf 2020		Rutzendorf 2020	
1 – BÜ	10,3	100	14,3	100	12,0	100	11,5	100
2 – DS	5,2	50	7,6	53	6,6	55	6,3	55
3 – TM	11,4	110	17,3	121	12,3	103	12,9	112

Im Gegensatz zum Jahr 2020 hat die Direktsaat im Jahr 2021 beim Körnermais nicht zufriedenstellend funktioniert. Bei allen Versuchen (inkl. Rutzendorf) war grundsätzlich eine gute Mulchschicht mit dem Wickroggengemenge gegeben, die Mischung aus Wicken mit geringem Roggenanteil hat sich bewährt. Beim Versuch in Rutzendorf konnte das Saatgut mit der betriebsüblichen Sämaschine nicht durch die Mulchschicht in den Boden gebracht werden. Bei den anderen Praxisversuchen war die Direktsaat in den Boden zwar möglich, aber der

Aufgang des Mais nicht zufriedenstellend. Das kann an einem doch zu geringen Bodenkontakt des Saatgutes, einer zu geringen Bodenfeuchte und einem kühlen Boden aufgrund der geringen Lufttemperatur im Mai und einer langsameren Erwärmung des kompakten Bodens liegen. Die geringe Bestandesdichte beim Mais mit der Direktsaat und der spätere Anbau führten zu den sehr geringen Kornerträgen bei dieser Variante in den Praxisversuchen im Jahr 2021.

Bei der Auswertung der Mais-Ertragsparameter aller Versuchsstandorte zusammen, wurde der höchste Korn-Ertrag bei der Transfermulch-Variante mit durchschnittlich 104% der betriebsüblichen Variante festgestellt, die Direktsaat-Variante erreicht durchschnittlich nur 18% der betriebsüblichen Variante (Tabelle 6).

Tabelle 6: Mais-Kornerträge - Maisversuche 2021

Var.	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Mais-Ertrag (t/ha)	% zu BÜ
Versuch	Michelhausen 2021		Absdorf 2021		Leitzersdorf 2021		Rutzendorf 2021	
1 – BÜ	15,3	100	8,1	100	11,0	100	12,8	100
2 – DS	2,6	17	1,3	16	2,3	21	-	-
3 – TM	15,8	103	8,9	110	10,8	99	13,4	105

Die Direktsaat von Mais in Wick-Roggen kann grundsätzlich funktionieren, es besteht jedoch noch Optimierungsbedarf. Mit der Sätechnik muss eine sichere Ablage durch die Mulchschicht in die Erde gewährleistet sein. Ein hoher Schardruck von mindestens 200 kg scheint dafür notwendig. Der Striegel vor dem Roller-Crimper war auch bei der Wicke hilfreich um die Zwischenfrucht vor dem Walzen in Fahrtrichtung umzulegen. Als Zwischenfrucht für die Direktsaat ist Wicke geeignet, eine geringe Beimengung von Roggen führt zu einem besseren Bestandaufbau der Zwischenfrucht aufgrund der Stützwirkung des Roggens für die Wicke. Der Roggen kann zu einer stärkeren Mulchschicht mit besserer Bodendeckung beitragen und wird weniger rasch abgebaut. Die Wicke liefert Stickstoff für den Mais (über die N-Fixierung) und ihre Biomasse wird schneller als die des Roggens abgebaut. Aufgrund des Wiederaufwuchs von Wick-Roggen sowie hohem Beikrautdruck ist bei der Mais-Direktsaat eine Regulierung des Beikrauts notwendig. Eine maschinelle Beikrautregulierung nach der Saat z.B. mit einem Zwischenreihenmulcher wäre diesbezüglich zu prüfen (siehe dazu Projekt SoilSaveWeeding <https://www.zukunftsraumland.at/aktuell/478>).

Hinsichtlich des Wasserverbrauchs kann die Direktsaat-Mais-Variante gegenüber den anderen beiden Varianten als weniger effizient beurteilt werden. Anscheinend hat sich die Kombination aus höherer Biomasse der Wick-Roggen-Zwischenfrucht plus späterer Sätermin der Mais-Direktsaat-Variante nachteilig auf den Bodenwasserhaushalt ausgewirkt bzw. war die Kompensation durch die verdunstungsreduzierende Mulchaufgabe nicht ausreichend, um diese Effekte auszugleichen.

Generell wird durch einen intensiven Zwischenfruchtbau und Minimalbodenbearbeitung über mehrere Jahre ein stärkerer Wurzeltiefgang im Vergleich zum Pflügen gefördert. Entscheidend sind Maßnahmen, die die Bodenstruktur, das Bodenleben und die Durchwurzelung fördern und Verdichtungen vermeiden, wie das Direktsaatverfahren. Diese positiven Auswirkungen der Direktsaat werden erst nach mehrjähriger Anwendung des Verfahrens ausschlaggebend und sichtbar. Ein weiteres Argument für das Direktsaatverfahren ist die Möglichkeit der Arbeitersparnis (Zeit und Kosten) hinsichtlich der Beikrautregulierung.

Aufgrund der in den letzten Jahren immer wieder auftretenden Frühjahrstrockenheit wird es immer schwieriger, erfolgreiche Direktsaaten in bestehende Begrünungen einzusäen. Es gilt zu prüfen, ob eine zeitliche Verlagerung der Direktsaat in den Herbst erfolgreicher ist, da weder der Nachteil des späten Saattermines (im Vergleich zur betriebsüblichen Variante), noch die Wasserkonkurrenz zwischen der Zwischenfrucht und der Hauptfrucht zutragen kommt.

Die **Transfermulch-Verfahren bei Mais** bietet einen optimalen Boden- und Verdunstungsschutz zwischen den Maisreihen im Bestand, der jedoch aufgrund der hohen Niederschlagsmengen im Sommer 2020 nur zeitweise sichtbar wurde. Aufgrund der späteren Ausbringung des Mulchs in den Maisbestand in ein betriebsübliches System mit vorhergehender mechanischer Beikrautregulierung ist bei dieser Variante das Anbaurisiko gering. Die positive Wirkung von Transfermulch auf den Mais-Ertrag kann einerseits durch eine bessere Wasserversorgung, andererseits durch eine verbesserte Stickstoffversorgung bedingt sein. In den vorliegenden Versuchen wurde mit dem maschinellen Transfermulch-Verfahren im Jahr 2020 Stickstoff in der Höhe von 155 kg/ha (Leitzersdorf) bis 325 kg/ha (Rutzendorf) ausgebracht (Tabelle 7).

Tabelle 7: Transfermulch in den Mais-Versuchen 2020

Standorte	Termin TFM	Höhe Mais	TFM (TM t/ha)	N-Menge im TFM (kg/ha)	TFM (FM t/ha)	Schichtdicke (cm)	Stückgröße (cm)
Michelhausen	19.6.2020	25-30 cm	15	222	31	2-3	1-3
Absdorf*	9.7.2020	50-70 cm	20	502	41	5-10	20
Leitzersdorf	24.6.2020	30-40 cm	10	155	16	3-4	10-30
Rutzendorf	9.6.2020	5-15 cm	13	325	39	2	1-3

Legende: TFM: Transfermulch, TM: Trockenmasse, FM: Frischmasse; *: händische Ausbringung

Im Versuchsjahr 2021 wurden die Auswirkungen des Transfermulch-Verfahrens als Boden- und Verdunstungsschutz ebenfalls kaum wirksam, da die Niederschlagsmengen im Sommer 2021 außergewöhnlich hoch waren. Die Auswertung der Bodenwasser-Daten bzw. der Wasserbilanz-Simulation hat gezeigt, dass die Wassernutzungseffizienz der Transfermulch-Variante im Vergleich zu den anderen Varianten dennoch am höchsten war. Grund dafür ist die Kombination aus frühem Umbruch der Zwischenfrucht plus die bodenabdeckende Transfermulch-Schicht. Die Mehrerträge der Transfermulch-Variante waren durch eine bessere Stickstoffversorgung bedingt, es wurden mit dem maschinellen Transfermulch-Verfahren Stickstoff in der Höhe von 211 kg/ha (Leitzersdorf) bis 408 kg/ha (Rutzendorf) ausgebracht (Tabelle 8).

Tabelle 8: Transfermulch in den Mais-Versuchen 2021

Standorte	Termin TM	Höhe Mais	TFM (TM t/ha)	N-Menge im TFM (kg/ha)	TFM (FM t/ha)	Schichtdicke (cm)	Stückgröße (cm)
Michelhausen	29.6.2021	20-40 cm	12	228	36	3	2-3
Absdorf*	30.7.2021	80-100 cm	17	470	23	5-12	10-40
Leitzersdorf	24.6.2021	25-50 cm	7	211	13	3-6	20-30
Rutzendorf	18.6.2021	20-25 cm	16	408	41	2-4	1

Legende: TFM: Transfermulch, TM: Trockenmasse, FM: Frischmasse; *: händische Ausbringung

Die mit dem Transfermulch ausbrachte N-Menge zeigte sich nur teilweise im Herbst an den höheren Nmin-Gehalten im Boden. Anscheinend wurde der Nmin-Vorrat im Boden während der Vegetationsperiode hauptsächlich den Mais-Pflanzen genutzt, es gab augenscheinlich keine Verlagerungsprozesse in untere Bodenschichten. Bei einem C/N-Verhältnis von 14-18 ist nach Cropp (2021) mit einer N-Mineralisation von ca. 20 % des Gesamt-N bei eingemischtem organischem Material (ohne Einarbeitung: Grund-Mineralisierung = 10 % des

Gesamt-N) in der gesamten Vegetationsperiode zu rechnen. D.h. bei nicht eingearbeiteten Transfermulch ergeben sich mit den in Tabelle 8 angeführten N-Mengen in etwa 20-50 kg N/ha/Jahr. Somit leistet der Transfermulch nur einen geringen Beitrag zur N-Ernährung für Kulturen mit hohem N-Bedarf, der restliche Stickstoff aus dem Mulchmaterial dient dem Humusaufbau und wird erst in den Folgejahren verfügbar oder geht als Lachgas in die Luft. Dennoch sollte als Nachfrucht eine Folgekultur gewählt werden, die ausreichend Stickstoff vor Ende der Vegetationsperiode aufnehmen kann.

Die positive Nährstoff- und Humus-Wirkung des Transfermulch-Verfahrens in der Fruchtfolge einerseits, eine potentielle N-Verlagerungs- bzw. Auswaschungsgefahr andererseits, sind offene Fragen, die Zustand weiterer Untersuchungen sein sollten. Für die Beurteilung der Effektivität und Wirtschaftlichkeit der Transfermulch-Ausbringung sind die jeweiligen Bodenbedingungen und die Nährstoff-versorgung am Standort, sowie die maschinelle Ausstattung am Betrieb zu berücksichtigen. Generell ist die vorhandene Streutechnik ausgereift, problematisch ist jedoch das Streuen zwischen den Maisreihen. Entweder werden kleinere Kompoststreuer eingesetzt oder es müssen Fahrgassen für den Einsatz von größeren Maschinen angelegt werden.

Generell stellen sich folgende Herausforderungen beim System Transfermulch:

- Quantifizierung der Wirkung des Transfermulch (Wasser, Stickstoff, Ertrag, Wirkung in der Fruchtfolge)
- Abstimmung zwischen Geber- und Nehmerfeld (zeitlich, Mengen- bzw. Flächenverhältnisse)
- Verfügbarkeit von Häcksler, Kompoststreuer oder Kurzschnittladewagen, ökonomischer Aufwand Ausbringung Transfermulch
- Ausbringungsmengen und Höhe der Mulchschicht
- Mulch anwelken lassen oder frisch ausbringen
- Vorbereitung des Transfermulchs: feiner häckseln und dadurch auch leichtere Ausbringung des Materials oder nur grob Schneiden mit dem Kurzschnittladewagen, was wiederum den Maschinen- und Zeitaufwand bei der Ausbringung verringert. Die unterschiedliche Vorbereitung des Transfermulch kann auch Einfluss auf seine Wirkung im Maisbestand haben (Nährstofffreisetzung, Verdunstungsschutz).
- Streutechnik – große Maschinen mit schmaler Bereifung zur Erhöhung der Schlagkraft und des Zeitaufwandes
- Anwendungszeitpunkt (in den Bestand, Mais: 20-30 cm Höhe oder früher)

Generell spielt das Transfermulchverfahren eine große Rolle, wenn es darum geht, den Aufwuchs des Feldfutterbaus von Biobetrieben zu nutzen. Viehlose Betriebe suchen in den letzten Jahren vermehrt nach einer alternativen, ökonomisch interessanten Nutzung des Feldfutters, da der Anbau von Leguminosen wie Klee gras oder Luzerne eine große Rolle für den Stickstoffeintrag in der Fruchtfolge und die Humusmehrung im Boden spielt.

Bei der Transfermulch ausbringung in Mais gilt es also, die richtige Balance zwischen Aufwand und Nutzen zu finden. Weitere Versuche auf mehreren Standorten über mehrere Versuchsjahre sind notwendig, um klarere Ergebnisse bzw. Aussagen zum Einfluss der Mulchschicht auf Bodenwasserhaushalt und den Maisertrag zu erhalten. Auch zur optimalen Streutechnik und zum verwendeten Mulch sollten noch weitere Erfahrungen gesammelt werden.

1.3. Kartoffel-Praxisversuche

Die Ziele der Kartoffelversuche waren, die Auswirkungen der Abdeckung der Kartoffeldämme mit Transfermulch zu untersuchen sowie Erfahrungen mit der Umsetzung der Transfermulchgewinnung und -ausbringung zu sammeln. Als Mulchmaterial wurden mit Luzerne und Wickroggen unterschiedliche Kulturen gewählt, da sie sich in der Struktur und auch im C/N-Gehalt unterscheiden. Beide Kulturen sind aufgrund ihrer Leistungen wie Stickstofffixierung, Beikrautunterdrückung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit wichtige Bausteine von Biofruchtfolgen. Mit dem Transfermulchsystem kann ihr Aufwuchs genutzt und Nährstoffe und organische Substanz können besser in der Fruchtfolge verteilt werden.

Mit dem verwendeten Kompoststreuern bzw. mit einem Ladewagen mit aufgebauten Streuaggregat war die Ausbringung von beiden Mulcharten gut möglich. Mit beiden Materialien wurde eine ähnlich gute flächendeckende Mulchabdeckung erzielt. Der Wickroggen war durch seine gröbere Struktur bei Bodendeckung und Höhe der Mulchauflage etwas im Vorteil. Für die Qualität der Bodendeckung spielt auch die Ausformung der Dämme eine Rolle. Bei sehr hohen und steilen Dämmen, wie im Versuch am Standort Stetteldorf (H. Schwarzl), war die Abdeckung der steilen Dammlanken schwieriger, weil das Material in die Dammsohlen rutschte. In diesem Versuch wurden daher etwas höhere Mulchmengen ausgebracht.

Ein wichtiger Punkt ist weiters die Bestimmung des Zeitpunktes der Mulcherausbringung. Die Entwicklung der Kartoffel lässt ein bestimmtes Zeitfenster für die Ausbringung zu, auch abhängig davon, in welchem Umfang die Beikrautregulierungsmaßnahmen im Kartoffelbestand durchgeführt werden sollen. Eine frühere Ausbringung des Transfermulchs kann ev. noch den Knollenansatz beeinflussen, aber reduziert die Möglichkeit der Beikrautregulierung. Eine spätere Ausbringung kann das Kartoffelkraut beschädigen. Fahrspuren wie beim Versuch von Lukas Niedermayer können das verhindern, sind aber eine Fläche ohne Pflanzenbestand und Ertragsmöglichkeit.

Am Geberfeld ist die Entwicklung des Pflanzenbestandes wichtig. Hier stellt sich die Frage, wann vor allem in Abhängigkeit von der Witterung genug Biomasse am Geberfeldes gewachsen ist, was ganz entscheidend den Arbeitsaufwand und das Ausmaß der benötigten Geberfläche und letztlich wieder den Zeitpunkt der Transfermulcherausbringung beeinflusst.

In den vorliegenden Kartoffel-Versuchen wurde mit dem maschinellen Transfermulch-Verfahren im Jahr 2020 Stickstoff in der Höhe von 105-280 kg/ha (TFM Wick-Roggen) sowie 191-535 kg/ha (TFM Luzerne) ausgebracht (Tabelle 9).

Tabelle 9: Transfermulch in den Kartoffel-Versuchen 2020

Standorte	Termin TFM	Höhe Kartoffel (cm)	TFM (TM t/ha)	N-Menge im TFM (kg/ha)	TFM (FM t/ha)	Schichtdicke (cm)	Stückgröße (cm)
Aspersdorf	4.6.2020	20-30	WR: 14 LU: 8	WR: 168 LU: 191	WR: 38 LU: 26	2-4	2-10
Gaweinstal	28.5.2020	20-30	WR: 7 LU: 12	WR: 105 LU: 360	WR: 26 LU: 32	2-5	2-10
Stetteldorf	4.6.2020	20-30	WR: 18 LU: 20	WR: 280 LU: 535	WR: 46 LU: 55	3-7	2-10

Legende: TFM: Transfermulch, TM: Trockenmasse, FM: Frischmasse

Insgesamt war im Versuchsjahr 2020 eine positive (aber nicht signifikante) Tendenz der Transfermulch-Varianten Wick-Roggen (durchschnittlich 111% von BÜ) und Luzerne (durchschnittlich 109% von BÜ) auf die Kartoffel-Knollenerträge festzustellen, obwohl die Ertragseffekte der Varianten auf den Standorten teilweise unterschiedlich waren (Tabelle 10).

Tabelle 10: Kartoffel-Knollenerträge - Kartoffelversuche 2020

Var.	Knollen- Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Knollen- Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Knollen- Ertrag (t/ha)	% zu BÜ
Versuch	Aspersdorf 2020		Gaweinstal 2020		Stetteldorf 2020	
1 – BÜ	54	100	37	100	36	100
2 – TM Luzerne	57	107	46	122	35	97
3 – TM Wick-Roggen	52	97	47	127	39	109

Im Versuchsjahr 2021 waren die Witterungsbedingungen im Frühjahr sehr trocken, im Sommer fielen dagegen sehr hohe Niederschlagsmengen. Deshalb waren die positiven Auswirkungen des Transfermulchsystems auf den Bodenwasserhaushalt nur vereinzelt zu erkennen. Im Modell-Szenario „trockene Verhältnisse“ zeigte die TM Wick-Roggen-Variante die geringste Verdunstungsrate und den effizientesten Wasserverbrauch. Durch das hohe C/N-Verhältnis von Wick-Roggen blieb die Mulchauflage und damit der Verdunstungsschutz für einen längeren Zeitraum bestehen. Demgegenüber bewirkte die TM-Luzerne-Variante (enges C/N-Verhältnis, raschere Mineralisation) schon etwa 1 Monat nach dem Ausbringen des Transfermulches einen höheren N_{min}-Gehalt im Boden, der den Kartoffeln für ihre Ertragsbildung zur Verfügung stand. In den vorliegenden Kartoffel-Versuchen wurde mit dem maschinellen Transfermulch-Verfahren im Jahr 2021 Stickstoff in der Höhe von 67-130 kg/ha (TFM Wick-Roggen) sowie 226-297 kg/ha (TFM Luzerne) ausgebracht (Tabelle 11).

Tabelle 11: Transfermulch in den Kartoffel-Versuchen 2021

Standorte	Termin TFM	Höhe Kartoffel	TFM (TM t/ha)	N-Menge im TFM (kg/ha)	TFM (FM t/ha)	Schicht- dicke (cm)	Stück- größe (cm)
Aspersdorf	18.6.2021	20-30	WR: 6 LU: 8	WR: 67 LU: 226	WR: 20 LU: 32	2-4	WR 2-4: LU: 1-3
Gaweinstal	21.6.2021	20-30	WR: 7 LU: 12	WR: 125 LU: 267	WR: 20 LU: 40	1-6	WR: 2-5 LU: 1-3
Stetteldorf	18.6.2021	20-30	WR: 12 LU: 13	WR: 130 LU: 297	WR: 38 LU: 46	2-4	WR 2-4: LU: 1-3

Legende: TFM: Transfermulch, TM: Trockenmasse, FM: Frischmasse

Die Variante Transfermulch Luzerne hat beim Knollenertrag der Kartoffeln 108%, die Variante Transfermulch Wickroggen 107% zu der betriebsüblichen Variante erreicht, im Mittel über die Standorte war also auch im Versuchsjahr 2021 eine Tendenz zu höheren Kartoffelerträgen bei den Transfermulch-Varianten festzustellen (Tabelle 12). In beiden Versuchsjahren wurde von

den Landwirten in den Transfermulch-Varianten eine homogenere Form und eine bessere Qualität bei den Kartoffelknollen festgestellt (teilweise auch eine höhere Anzahl an größeren Knollen > 60 mm).

Tabelle 12: Kartoffel-Knollenerträge - Kartoffelversuche 2021

Var.	Knollen- Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Knollen- Ertrag (t/ha)	% zu BÜ	Knollen- Ertrag (t/ha)	% zu BÜ
Versuch	Aspersdorf 2021		Gaweinstal 2021		Stetteldorf 2021	
1 – BÜ	36	100	28	100	44	100
2 – TM Luzerne	43	119	29	106	43	98
3 – TM Wick-Roggen	40	112	31	112	42	97

Die Vorgehensweise bei der Transfermulch-Ausbringung war auf den drei Standorten ähnlich (Zeitpunkt, Art und Bereitung von Transfermulch, Häckseln und Ausbringen mit Kompoststreuer bzw. mit ein Ladewagen mit aufgebautem Streuaggregat), die ausgebrachten Mulchmengen waren aber teilweise sehr unterschiedlich (20-40 t FM/ha Wickroggen, 20-46 t FM/ha Luzerne). Als flexibles, kostengünstiges System hat sich der Kurzschnittladewagen mit dem aufgebauten Streuaggregat (eingesetzt im Mais-Versuch Leitzersdorf, Thomas Böhm) herausgestellt. Mit diesem Gespann aus Traktor und Kurzschnittladewagen kann der Transfermulch, nach dem Mähen und Antrocknen lassen, direkt vom Feld aufgenommen, geschnitten und anschließend in den Mais- oder Kartoffelbestand ausgebracht werden. Bei Einsatz von großen Maschinen (große Kompoststreuer oder Abschiebewägen) für die Transfermulch-Ausbringung, sind Fahrgassen bei der Anlage der Kartoffeldämme notwendig, so stellt sich die Frage des erhöhten Flächenverbrauches.

Aufgrund der Praxis-Erfahrungen in den vorliegenden Versuchen (Transfermulch-Verfahren bei Mais und Kartoffeln) wurden verschiedene Szenarien für die Ausbringung von Transfermulch bzw. die dabei entstandenen Maschinenkosten berechnet (Tabelle 13). Dabei wurde als kostengünstigstes und arbeitszeitsparendstes Szenario die Ausbringung mit großen Maschinen mittels Lohnunternehmer ermittelt.

Tabelle 13: Kalkulation Maschinenkosten - Transfermulchsystem

Szenario	Beschreibung	€ / ha ¹
1	Große Maschinen, Ausbringung mit Lohnunternehmen (z.B. Betrieb Niedermayer)	752,00
2	Große und kleinere Maschinen, Ausbringung mit Lohnunternehmen und betriebsinternen Maschinen (z.B. Betrieb Klingenbrunner)	845,00
3	Kleinere Maschinen, Ausbringung mit betriebsinternen Maschinen (z.B. Betrieb Wiesinger)	791,50

Legende: ¹ eigene Berechnung ohne MwSt., kalkuliert mit ÖKL-Maschinenkosten (für Häcksler, Traktoren, Frontlader, Kompoststreuer, Schwader usw.), Basis: Transfermulch Luzerne 30 t FM/ha (Geberfeld), Kartoffel oder Mais (Nehmerfeld), Verhältnis 2:1 (2 ha Geberfeld:1 ha Nehmerfeld); Entfernung zwischen den Feldern 1 km

Generell haben die Landwirte der operationellen Gruppe weiterhin großes Interesse, dass Transfermulchverfahren weiterzuentwickeln bzw. anzuwenden. Bisher wurde von den Landwirten die positiven Auswirkungen des Transfermulch-Verfahrens auf die Folgefrucht (Winterweizen) hinsichtlich Kornertrag und Proteingehalt (mehr als 5 t/ha Kornertrag, 13-14% Rohproteingehalt) festgestellt.

Generell stellen sich folgende Herausforderungen beim System Transfermulch in Kartoffelbeständen:

- Quantifizierung Wirkung Transfermulch (Wasser, Stickstoff, Ertrag)
- Einfluss auf Kartoffelkäferbefall bzw. Schädlinge und Krankheiten?
- Einfluss auf die Qualität der Knollen (Sortierung, Schäden)?
- Abstimmung Geber- und Nehmerfeld (zeitlich, Verhältnis, Entfernung)!
- Art des Transfermulchs (Luzerne(gras), Wickroggen, ...)?
- Ausbringungsmengen und Höhe Mulchschicht?
- Mulch anwelken oder frisch ausbringen?
- Technik Häckseln/Schneiden und Ausbringung, Fahrgassen?
- Anwendungszeitpunkt (nach Beikrautregulierung/Dammaufbau oder früher - Knollenansatz?)

Die Mehrkosten des Transfermulch-Verfahrens sollten durch die positiven Ertragszuwächse in der gesamten Fruchtfolge ausgeglichen werden. Bei hoher Wertschöpfung pro Flächeneinheit, wie z.B. bei Gemüse- und Kartoffelbaubetrieben, lohnt sich das System. Die Nährstoff- und

Humuswirkung durch den Transfermulch sollten langfristig, d.h. in der gesamten Bio-Fruchtfolge betrachtet werden. Die Nährstoffexporte auf der Geberfläche müssen natürlich berücksichtigt werden, um auch hier eine ausgeglichene Nährstoffbilanz zu erhalten. Generell bedarf es noch weiterer Erfahrungsberichte, es besteht großer Forschungsbedarf.

Literatur:

Cropp Jan-Hendrik (2021): Praxis Handbuch Bodenfruchtbarkeit. Ulmer Verlag, Stuttgart.

2. Arbeitspaket 4 (34.2.2) – Monitoring Langzeiteffekte

2.1. Fragestellungen und Ziele

Auf dem Praxis-Forschungsbetrieb Rutzendorf im Marchfeld in Niederösterreich wird seit dem Jahr 2003 eine Langzeituntersuchung zu den Auswirkungen einer Umstellung auf den biologischen Landbau auf Bodenfruchtbarkeit und Ertragsentwicklung durchgeführt (Projekt MUBIL bis zum Jahr 2015 und EIP-Projekt OG-BIOBO in den Jahren 2016 bis 2018). Der Betrieb wurde im Jahr 2002 auf den Biolandbau umgestellt und wird von der Landwirtschaftlichen Bundesversuchswirtschaften GmbH (BVW) bewirtschaftet. Eine wichtige Fragestellung im Langzeitversuch ist die Prüfung von verschiedenen organischen Düngungssystemen auf Basis einer einheitlichen Fruchtfolge zur Optimierung des Kohlenstoff- und Nährstoffmanagements in biologischen Marktfruchtbetrieben. Mit dem Herbstanbau 2015 wurde die Intensität der Grundbodenbearbeitung reduziert und von Pflug (wendend mit Bearbeitungstiefen bis ca. 25-30 cm) auf das Leitgerät Grubber (mit Flügelscharen, nicht wendend bis ca. 12-15 cm Bodentiefe) umgestellt.

Die Zielsetzung des Projekts KLIWA besteht darin, Strategien zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandel im Bio-Ackerbau zu untersuchen, zu erproben und weiterzuentwickeln. Das bestehende Versuchskonzept am Praxis-Forschungsbetrieb ermöglicht Erhebungen und Aussagen zu mittel- bis langfristig wirkenden Maßnahmen zur Klimawandel-Anpassung. Zusätzlich wurden in Anbindung an die Praxisversuche im AP3 auch Versuche zur Prüfung kurzfristig wirkender Maßnahmen eingebunden.

2.2. Düngungsvarianten

Auf Basis einer einheitlichen acht-feldrigen Fruchtfolge werden verschiedene organische Düngungssysteme bzw. -varianten (DV) in acht Kleinparzellenversuchen verglichen und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung von Erträgen und Bodeneigenschaften erhoben. Die geprüften Düngungssysteme unterscheiden sich hinsichtlich der Art, Menge, Qualität und Verteilung der Zufuhr von organischer Substanz und der Einbringung von Nährstoffen in das Betriebssystem. Die Fruchtfolge inklusive der Zwischenfrüchte und die Bodenbearbeitungsmaßnahmen sind beim Vergleich der Düngungsvarianten gleich gestaltet.

DV 1 („nur Gründüngung“): entspricht einem viehlosen Ackerbaubetrieb; die zweijährige Luzerne wird gemulcht und als Gründüngung genutzt (DV 1: „nur Gründüngung“).

DV 2 („Gründüngung + Biotonnenkompost“): In DV 2 wird zusätzlich zur Luzerne-Gründüngung Biotonnenkompost äquivalent zum Phosphor-Entzug der Marktfrüchte zugeführt. Es erfolgt ein Import von organischer Substanz und Nährstoffen von außerhalb des Betriebssystems.

DV 3 („Futternutzung + Stallmist“): entspricht einem viehhaltenden System mit einem Rinderbestand mit 0,5 GVE/ha; Luzerne und Stroh (Getreide) werden abgeführt, Rindermist wird äquivalent zugeführt. Dadurch wird ein teilweiser innerbetrieblicher Kreislauf von Nährstoffen und organischer Substanz umgesetzt.

DV 4 („Futternutzung + Pflanzliche Biogasgülle“): Luzernegrünmasse wird für die Erzeugung von Biogasgülle durch anaerobe Fermentation abgefahren. Dem Entzug äquivalente Mengen der Biogasgülle (fester und flüssiger Gärrest) werden als Dünger auf die Flächen zurückgebracht. Umsetzung seit dem Jahr 2008 nur in einem Kleinparzellenversuch (S1M).

2.3. Ergebnisse

Wie wirken sich verschieden organische Düngungssysteme viehloser und viehhaltender biologischer Landwirtschaft langfristig auf die Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit (Humus, Nährstoffe und bodenphysikalische Eigenschaften) und der Erträge bzw. auf die Ertragssicherheit aus?

Bis in das Erntejahr 2021 waren in Abhängigkeit der Fruchtfolge vier KPV viermal und vier KPV bereits fünfmal mit Biotonnenkompost (DV 2) bzw. Stallmist (DV 3) gedüngt. In der Variante Biotonnenkompost (DV 2) werden zusätzlich zur Gründüngung Nährstoffe und organische

Substanz von außen auf die Flächen zugeführt: bei zweimaliger Düngung innerhalb der Zielfruchtfolge ca. 42 kg Stickstoff, 8 kg Phosphor, 30 kg Kalium und 629 kg Kohlenstoff je Hektar und Jahr. Bei der Düngungsvariante Stallmist (DV 3) handelt es sich hingegen um einen simulierten innerbetrieblichen Kreislauf mit Abfuhr von Luzerne und Stroh und Rückfuhr von Nährstoffen und organischer Substanz über den Rindermist. Bei der DV 3 wurden je Luzernejahr im Mittel 82 dt/ha Luzernetrockenmasse mit 241 kg N/ha und 3672 kg C/ha geerntet. Zwischen den Düngungsvarianten (DV 1 bis DV 3) wurden keine signifikanten Unterschiede im Trockenmasse- und Stickstofftrag der Luzerne festgestellt.

Die Düngung mit Biotonnenkompost und Rindermist erfolgt zweimal innerhalb einer Fruchtfolgerotation zu Körnermais und zu Winterweizen nach Körnererbse bzw. Sojabohne.

Tabelle 14: Aufwandmengen und Nährstoffgehalte von Biotonnenkompost und Stallmist in den gedüngten Kleinparzellenversuchen (KPV) - Mittelwerte aus 36 Düngungen (DV2 und DV3) für die Erntejahre 2004 - 2021

Düngung für Erntejahre	Düngungsvariante (DV)	Aufwand-	Gesamt-	Gesamt-	Gesamt-	Organische	Gesamt-	C/N Verhältnis
		mengen (FM)	stickstoff (N)	phosphor (P)	kalium (K)	Substanz	kohlenstoff (C)	
		dt/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	
2004-21	DV2: Biotonnenkompost	186	168	33	122	4367	2515	15,0
	DV3: Stallmist	201	170	43	357	4400	2452	14,1

Bei der Untersuchung der chemischen Bodenparameter im Frühjahr 2021 im Hauptversuch S1M wiesen die DV 2 und die DV 3 bei allen Parametern die höchsten Werte auf (Tabelle 15). Die P_{CAL} -Gehalte der DV1-4 (Bonität gering und mittel) liegen alle im Übergangsbereich der Versorgungsstufen B (niedrig) und C (ausreichend). Alle K_{CAL} -Gehalte inkl. der konventionellen Fläche SK1 sind in der Versorgungsstufe C (ausreichend) einzustufen. In den Jahren 2020 und 2021 wurden in zwei weiteren Kleinparzellenversuchen chemische Bodenanalysen (C_{org} , P_{CAL} und K_{CAL}) durchgeführt, welche ähnliche Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten mit höheren Werten bei den DV 2 und DV 3 gegenüber der DV 1 zeigten.

Tabelle 15: Bodenparameter im Jahr 2021 in 0-30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität (Versuch S1M).

DV	Bonität	C _{org} -Gehalt (%)	Humus-Gehalt (%)	Gesamt-N-Gehalt (%)	CN-Gehalt	P _{CAL} -Gehalt (mg/kg)	K _{CAL} -Gehalt (mg/kg)
DV 1 - GR	mittel	2,12 a	3,66	0,20 a	10,6 ab	47 a	160 a
DV 2 - GR	mittel	2,24 a	3,88	0,21 b	10,5 ab	51 a	208 bc
DV 3 - GR	mittel	2,19 a	3,76	0,21 ab	10,4 a	52 a	241 c
DV 4 - GR	mittel	2,14 a	3,69	0,20 a	10,7 b	44 a	198 b
DV 1 – GR	gering	2,05	3,53	0,18	11,5	45	167
SK1 – konv.	mittel	1,78	3,05	0,17	10,3	76	164

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; DV 4: Biogasgülle; GR ... Grubber

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Bei den DV 1-3 ist bei den C_{org}-Gehalten seit Beginn der Langzeituntersuchung ein kontinuierlicher Trend zu höheren Gehalten sichtbar. Den höchsten Gehalt erreichte die DV 2 mit externer Zufuhr von Biotonnenkompost und damit organischer Substanz und Stickstoff, etwas darunter liegen die Stallmistvariante (DV 2) und die Variante nur mit Gründüngung über Luzernemulch (DV 1) (Abbildung 1). Bei den P_{CAL}-Gehalten wurde hingegen seit dem Jahr 2003 ein leicht rückläufiger Trend bei allen Düngungsvarianten festgestellt. Bei den K_{CAL}-Gehalten stiegen die Werte bei den DV 2 und DV 3 an, während es bei der DV 1 zu einem Rückgang kam. Über den Zeitraum 2003 bis 2021 sind im Versuch S1M zwei Fruchtfolgeperioden mit jeweils zweijährigem Luzernanbau gelaufen und die Parzellen wurden bereits fünfmal mit Biotonnenkompost oder Stallmist gedüngt.

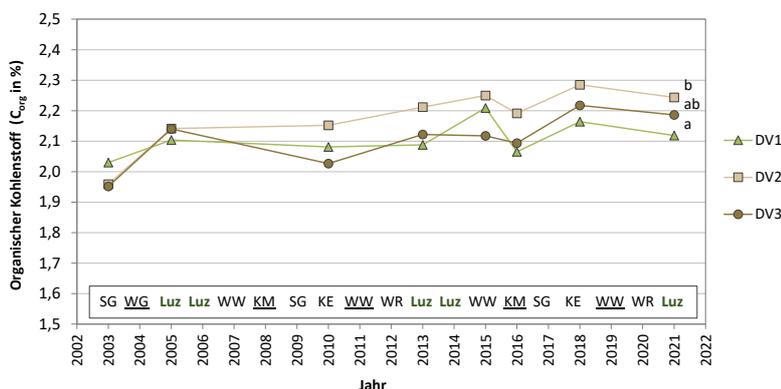


Abbildung 1: Veränderungen der Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in % im Zeitraum 2003 – 2021 im Kleinparzellenversuch S1M in Abhängigkeit der Düngungsvariante in 0 – 30 cm Bodentiefe

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist,

Mittelwerte einer Spalte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Im KPV S1M wurden im Frühjahr 2021 auch bodenphysikalische Kennwerte untersucht. Der langjährige Trend beim Wasserdurchlässigkeitsbeiwert und der Aggregatstabilität zeigte bei allen Düngungsvarianten einen Anstieg seit den Jahren 2009/2010. Im Jahr 2021 wurden hingegen wieder geringere Werte bei diesen beiden Parametern ermittelt. Die Werte der Trockendichte und des Porenanteil schwankten zwischen den Jahren ohne erkennbaren Trend in eine Richtung, die Werte lagen aber immer in einem pflanzenbaulich günstigen Bereich. Zwischen den Düngungsvarianten auf den biologisch bewirtschafteten Flächen wurden keine signifikanten Unterschiede bei allen bodenphysikalischen Kennwerten festgestellt, gegenüber der konventionellen Referenzfläche wiesen die Bioflächen jedoch höhere Werte auf.

Am Betrieb wird eine acht-feldrige Fruchtfolge durchgeführt. Nach einer zweijährigen Luzerne folgen sechs Marktfrüchte, die in den Jahren 2019 bis 2021 an die geänderten Klimabedingungen angepasst wurden. Statt Körnererbse wurde ab dem Jahr 2019 Sojabohne angebaut, die Fruchtfolgestellung der Sommergerste wurde über Wintergerste ebenfalls auf Sojabohnen umgestellt. Zwischen Winterweizen und Körnermais und zwischen den Sojabohnen standen Zwischenfrüchte. Das Ertragsniveau in den drei Jahren war bei allen Düngungsvarianten, mit Ausnahme des Körnermais und der Sojabohnen im Jahr 2019 aufgrund eines sehr trockenen Sommers, mittel bis hoch.

Im Mittel über die Jahre 2019 bis 2021 erzielte die DV 2 annähernd gleich hohe bzw. höhere Marktfruchterträge als die DV 1 (+ 5% im Mittel über alle Marktfruchterträge). Bei der DV 3 lagen die Winterweizenerträge nach Luzerne aufgrund der Luzerneabfuhr in dieser Variante deutlich unter den Erträgen der Varianten mit Luzernemulch (DV 1 und DV 2), auch bei der Sojabohne waren die Erträge in dieser Variante geringer. Bei den gedüngten Kulturen Körnermais, aber vor allem bei Winterweizen und dem nachfolgenden Winterroggen war der positive Ertragseinfluss der Stallmistgabe sichtbar. Im Mittel über alle Marktfrüchte konnte mit der DV 3 um 2 % mehr Ertrag als bei der DV 1 erreicht werden (Tabelle 16).

Tabelle 16: Mittlere Kornerträge der Marktfrüchte in den acht Kleinparzellenversuchen über die Jahre 2019 bis 2021 in Abhängigkeit der Düngungsvariante.

Fruchtfolge Jahre 2019-21	Winter- weizen VF Luzerne	Körner- mais*	2019: SGerste 2020: WGerste 2021: Soja	Soja- bohne	Winter- weizen* VF Soja	Winter- roggen	MW
DV 1 (dt/ha)	49,5	91,3	36,7	28,5	51,3	38,6	49,3
DV 2 (dt/ha)	49,2	93,7	37,7	27,9	56,4	42,8	51,3
DV 3 (dt/ha)	45,0	93,4	37,3	25,7	56,7	45,2	50,5
DV 1 - BÜ (%)	100	100	100	100	100	100	100
DV 2 - % zu BÜ	99	106	103	96	111	112	105
DV 3 - % zu BÜ	91	103	101	89	111	118	102

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist; MW...Mittelwert

Im Hauptversuch S1M war der Einfluss einer zusätzlichen Düngung mit Kompost, Stallmist oder Biogasgülle mit signifikant höheren Erträgen im Vergleich zur ungedüngten Variante (DV 1) sichtbar. Der Winterweizen im Jahr 2019 stand nach Körnererbse, die sich im Jahr 2018 sehr schlecht entwickelte was ihre Vorfruchtleistung schmälerte. Beim Luzernebiomasseertrag 2021 traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten auf. Der Ertrag der DV 1 auf der Parzelle mit geringerer Bodenbonität (sandiger Lehm, Ackerzahl 44) war bei Winterweizen deutlich geringer im Vergleich zur DV 1 bei mittlerer Bodenbonität (Lehm, Ackerzahl 77), bei Winterroggen und Luzerne wurden hingegen höhere Erträge bei der Fläche mit geringerer Bodenbonität festgestellt (Tabelle 17).

Tabelle 17: Kornerträge Getreide und Luzernebiomasseertrag im KPV S1M der Jahre 2019 bis 2021 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.

DV	Bonität	Winterweizen- Kornertrag (2019) (dt/ha, 86% TM)	Winterroggen- Kornertrag (2020) (dt/ha, 86% TM)	Luzerneertrag Biomasse (2021) (dt/ha, 100% TM)
DV 1 - GR	mittel	63,8 a	33,6 a	62,8 a
DV 2 - GR	mittel	67,1 b	40,4 b	68,6 a
DV 3 - GR	mittel	67,9 b	41,9 b	67,4 a
DV 4 - GR	mittel	68,1 b	41,3 b	55,5 a
DV 1 - GR	gering	51,9	38,8	70,4

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist, DV 4: Biogasgülle; GR...Grubber

Können mit der reduzierten Bodenbearbeitung mit dem Grubber im Vergleich zur Pflugbearbeitung die Bodenstruktur und die Wasseraufnahme verbessert und die Erträge erhöht werden?

Mit der Umstellung der Grundbodenbearbeitung im Herbst 2015 mit geringerer Bearbeitungstiefe (bis max. 15 cm und nicht wendend) mit dem Grubber kam es rasch zu einer Anreicherung der organischen Substanz (organischer Kohlenstoff bzw. Humus) in der obersten Bodenschicht, während die Schicht 15-30 cm gleichbleibende Werte aufwies. Bei der Pflugbearbeitung verteilte sich der organische Kohlenstoff gleichmäßiger über die Bearbeitungstiefe von 0-30 cm. Die Entwicklung der Werte in den beiden Bearbeitungsvarianten Grubber und Pflug zeigte jedoch grundsätzlich in die gleiche Richtung (Abbildung 2). Über die gesamte Schicht von 0-30 cm konnte im Jahr 2021 kein Unterschied zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten festgestellt werden (Grubber im Mittel 2,12 % und Pflug im Mittel 2,15 % C_{org}-Gehalt).

Die Anreicherung in der obersten Bodenschicht beim Grubber war auch beim Gesamt-N-Gehalt und bei den pflanzenverfügbaren Nährstoffen P_{CAL} und K_{CAL} zu sehen.

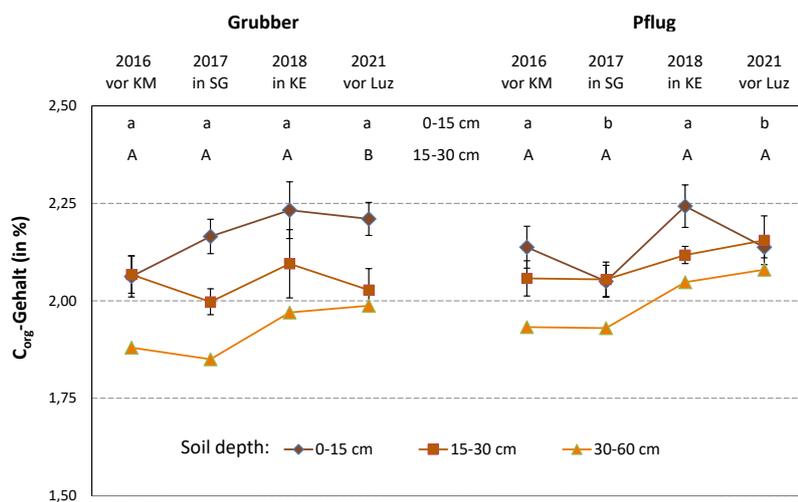


Abbildung 2: Entwicklung des organischen Kohlenstoffs (C_{org}-Gehalt in %) in unterschiedlichen Bodentiefen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Mittelwerte eines Jahres und einer Kultur mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$). KM...Körnermais, SG...Sommergerste, KE...Körnererbse, Luz...Luzerne

Die Umstellung von Pflug- auf Grubberbearbeitung zeigte (noch) keine signifikanten Effekte bei den bodenphysikalischen Parametern, es waren nur einzelne Trends erkennbar. Bei der Grubberbearbeitung war eine geringe Zunahme der Trockendichte im Bereich bis 20 cm und eine Reduktion der Werte im Bereich unterhalb von 25 cm feststellbar. Veränderungen in der Trockendichte durch Bearbeitung und Bewirtschaftung wirken sich auf den Porenanteil und den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert aus. Umgekehrt zeigte daher die Pflugvariante in der oberen Bodenschicht bis ca. 20 cm die größeren Porenanteile als die gegrubberten Flächen,

unterhalb von 25 cm Bodentiefe im Bereich des Pflughorizonts dagegen geringere Werte. 2018 lieferte die Pflugvariante eine überdurchschnittlich hohe und im Jahr 2021 eine deutlich geringere Aggregatstabilität als die mit Grubber bearbeiteten Flächen, was auf einen stärkeren Jahreseinfluss bei der Pflugvariante hindeutet.

Die Aggregatstabilität stellt ein Maß für den Widerstand von Bodenaggregaten gegen erosive Kräfte wie Wasser und Wind dar. Geringere Trockendichten können das Wachstum der Wurzeln und somit auch die Biomasseproduktion (Ertrag) verbessern. Eine Abnahme der Trockendichte führt stets zu einer Zunahme des Porenanteils. Ein höherer Porenanteil im Boden bewirkt eine größere und schnellere Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens und somit einen geringeren Abfluss bei Starkregenereignissen. Verantwortlich für die Zunahme des Porenanteils bei biologischer Bewirtschaftung sind vor allem die Fruchtfolge mit vorwiegend dicht wurzelnden Kulturen (wie z.B. Luzerne) und die Bodenbearbeitung.

Der Einfluss der Bodenbearbeitungsvarianten auf die Marktfruchterträge wurde im Kleinparzellenversuch S1M mit vier Wiederholungen und in drei weiteren Schlägen mit großflächigen Pflug- und Grubberstreifen festgestellt. Im Versuch S1M kam es zu unterschiedlichen Ertragsvorteilen in Abhängigkeit von Jahr und Kultur, im Mittel über alle Marktfrüchte (Jahre 2016 bis 2020) erzielte die Pflugvariante jedoch einen um 7,7 % höheren Ertrag im Vergleich zur Grubbervariante (Abbildung 3). Auch auf den weiteren Erhebungsflächen zeigte sich ein ähnliches Bild mit deutlich häufigeren Ertragsvorteilen der Pflugvariante, womit mit dem Pflug im Mittel über alle Auswertungen um 6,7 % höhere Marktfruchterträge geerntet wurden. Geringere Erträge bei den Grubberflächen werden vor allem auf pflanzenbaulich schwierige Bedingungen wie ein deutlich höheres Aufkommen der Ackerkratzdistel auf einem Schlag zurückgeführt.

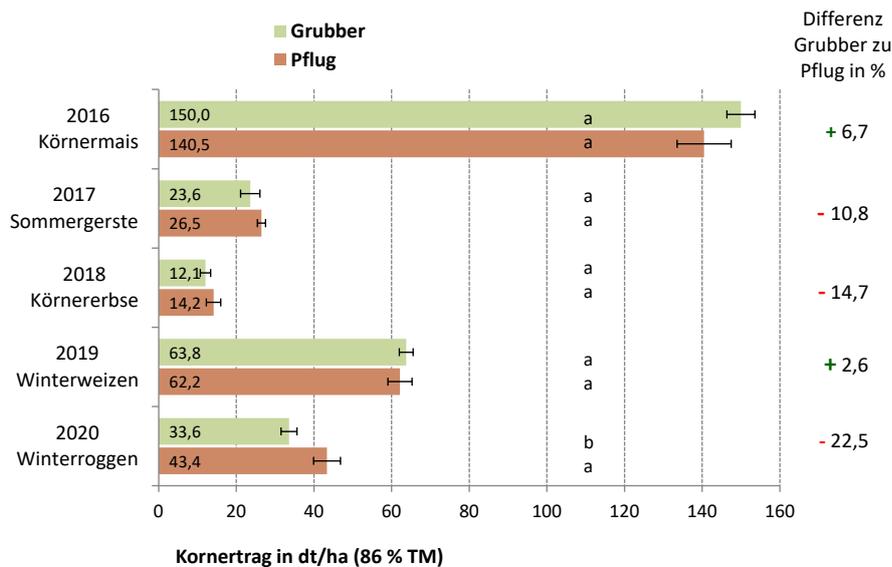


Abbildung 3: Kornerträge (dt/ha, 86 % Trockenmasse) der Marktfrüchte der Jahre 2016 bis 2020 im Kleinparzellenversuch S1M in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsvariante (nur DV1: Gründüngung)

Mittelwerte eines Jahres und einer Kultur mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Welchen Einfluss haben kurzfristig wirkender Maßnahmen (Bodenabdeckung mit Transfermulch) im Vergleich zu langfristig wirkenden Maßnahmen (Humusaufbau über langjährig differenzierter Düngungssysteme) auf die Erträge im Bio-Maisanbau?

Auf den Schlägen mit Körnermais wurden in den Jahren 2020 und 2021 neben den langfristigen Parzellenversuchen zum Einfluss der Düngungsvarianten auch einjährige Streifenversuche zur Frage der Auswirkungen einer Mulchabdeckung eingerichtet (Tabelle 18 und Tabelle 19). Bei höherer Bodenbonität (Ackerzahl 73/60) war die Mulchabdeckung mit Luzerne nur in einem Jahr wirksam, bei der geringeren Bodenbonität (Ackerzahl 59/43) hingegen in beiden Jahren und auch insgesamt mit einem höheren Einfluss auf den Maisertrag im Vergleich zur höheren Bodenbonität. Die Düngung mit Biotonnenkompost (DV 2) und Stallmist (DV 3) zeigte nur in einem Jahr eine positive Ertragswirkung im Vergleich zur DV 1, im Jahr 2020 war sogar ein gegenteiliger Ertragseffekt feststellbar. Mit der organischen Düngung und mit der Transfermulch-Systeme kam es bei gleichen Bodenbedingungen insgesamt zu ähnlichen Ertragswirkungen. Die Auswirkungen des Transfermulch-Systems auf die weiteren Nachfrüchte nach Körnermais wurden nicht untersucht, diese sind aber bei der Gesamtbeurteilung des Nutzens des Systems mitzubedenken.

Tabelle 18: Ertragsparameter von Mais im Mittel über die Jahre 2020 und 2021 bei unterschiedlicher Bodenbonität (in dt/ha, 86 % Trockenmasse) - Streifenversuche Transfermulch Mais Rutzendorf

Ackerzahl/ Bodenart	Var.	Jahr 2020		Jahr 2021		MW 2020/2021			
		Ertrag Korn (t/ha)	% zu BÜ	Ertrag Korn (t/ha)	% zu BÜ	Ertrag Korn (t/ha)	% zu BÜ	Ertrag Stroh (t/ha)	% zu BÜ
2020: 73	1 BÜ	12,2	100	13,4	100	12,8	100	8,2	100
2021: 73/60	3 TM	13,5	111	13,4	100	13,5	105	8,8	107
Schluffiger Lehm	MW Var.	12,9		13,4		13,2		8,5	
2020: 59	1 BÜ	10,9	100	12,3	100	11,6	100	7,1	100
2021: 43	3 TM	12,4	114	13,4	109	12,9	111	8,3	117
Sandiger Lehm	MW Var.	11,6		12,9		12,3		7,7	

BÜ...Betriebsüblich entspricht DV 1: nur Gründüngung, TM...Transfermulch: Variante BÜ mit zusätzlicher Aufbringung von Transfermulch

Tabelle 19: Ertragsparameter von Mais im Mittel über die Jahre 2020 und 2021 (in dt/ha, 86 % Trockenmasse) - Kleinparzellenversuche Düngungsvarianten Mais Rutzendorf

Ackerzahl/ Bodenart	Var.	Jahr 2020		Jahr 2021		MW 2020/2021			
		Ertrag Korn (t/ha)	% zu BÜ	Ertrag Korn (t/ha)	% zu BÜ	Ertrag Korn (t/ha)	% zu BÜ	Ertrag Stroh (t/ha)	% zu BÜ
2020: 73	DV 1	12,2	100	12,3	100	12,2	100	8,7	100
2021: 73	DV 2	11,5	94	13,1	107	12,3	101	9,8	113
Schluffiger Lehm	DV 3	10,7	88	14,1	115	12,4	102	9,7	111
	MW Var.	11,5		13,2		12,3		9,4	

DV: Düngungsvariante: DV 1: nur Gründüngung, DV 2: GD + Biotonnenkompost, DV 3: Stallmist

2.4. Fazit

Bei allen **Düngungssystemen** kommt es mit zunehmender Dauer biologischer Bewirtschaftung zu einer positiven Entwicklung der Humusgehalte und von bodenphysikalischen Kennwerten, wodurch auch die Widerstandskraft der Böden gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels erhöht werden konnte. Ein Rückgang einzelner bodenphysikalischer Werte (Aggregatstabilität, Wasserdurchlässigkeit) bei der Messung im Frühjahr 2021 nach längerer Phase ohne Vegetation am Untersuchungsschlag zeigte, dass zur Aufrechterhaltung einer günstigen Bodenstruktur eine möglichst lange Durchwurzelung und Bodendeckung, vor allem über Zwischenfrüchte, sehr wichtig ist.

Bei allen Düngungssystemen konnten in den letzten drei Jahren, mit Ausnahme von Körnermais und Sojabohnen im Jahr 2019 aufgrund einer ausgeprägten Sommertrockenheit,

angemessene Erträge und Qualitäten erzielt werden. Die Aufnahme der Sojabohne in die Fruchtfolge ist bisher hinsichtlich ihrer Ertrags- und auch Vorfruchtwirkung als günstig zu bewerten. Ein Grund dafür scheint die Einbindung in eine stabile Fruchtfolge mit Luzerne und die guten Bodenbedingungen am Standort. Die weitere Entwicklung mit dem höheren Anteil an Hackkulturen in der Fruchtfolge, vor allem hinsichtlich Bodenfruchtbarkeit und Beikräuter, ist zu beobachten.

Basis für die positive Entwicklungen in allen Düngungssystemen ist die Fruchtfolge mit der zweijährigen Luzerne als zentrales Element, da sie hohe Mengen an organischer Substanz und Luftstickstoff in den Boden bringt und Nahrung für die Bodenorganismen liefert.

Der höchste Anstieg der Humusgehalte sowie die höchsten und stabilsten Erträge waren beim System mit der Biotonnenkompostdüngung (DV 2) zu verzeichnen, wo noch zusätzlich organische Substanz mit stabilen Humusverbindungen und Stickstoff von außen in den Boden eingebracht wurden. Bei der DV 3 kann die Luzernebiomasse über den Stallmist als flexibler Dünger eingesetzt werden und der Ertrag vor allem der Kulturen mit späterer Fruchtfolgestellung gezielt gefördert werden.

Die Umstellung der **Bodenbearbeitung** von Pflug- auf Grubberbearbeitung hat noch keinen signifikanten Einfluss auf die bodenphysikalischen Parameter gezeigt, es waren nur einzelne Trends erkennbar. Deutlich ersichtlicher war die Umschichtung von Humus in die oberste Bodenschicht mit der Grubberbearbeitung. Im Hinblick auf den Klimawandel ist hier das Ziel, mit mehr organischer Substanz und einer höheren mikrobiellen Aktivität im Oberboden eine stabilere Krümelstruktur in der obersten Bodenschicht zu schaffen, um damit die Verschlammungsneigung zu reduzieren und die Wasserinfiltration zu erhöhen. Ertraglich lag die Grubbervariante bisher hinter der Pflugvariante, was auch auf teilweise höheren Disteldruck oder den Durchwuchs von Buchweizen aus der Zwischenfrucht zurückzuführen war. Die reduzierte Bodenbearbeitung erfordert eine genaue Beobachtung der Kulturen und des Bodens um vorbeugend diese Entwicklungen zu vermeiden oder rascher darauf reagieren zu können.

Mit der Ausbringung von **Transfermulch** konnte der Maisertrag, trotz guter Fruchtfolgestellung des Körnermais nach zweijähriger Luzerne und Winterweizen und hohen Sommerniederschlägen in beiden Erhebungsjahren, noch gesteigert werden. Der Ertragseinfluss fiel auf Flächen mit geringer Bodenbonität höher aus als auf Flächen mit guter Bodenbonität. Die Steigerung war auf den Stickstoffeintrag und den Verdunstungsschutz über

die Luzernemulchauflage zurückzuführen. Mit dem Transfermulch hat man vergleichbar mit dem Stallmist in viehlosen Betrieben eine flexible Möglichkeit, um vor allem auf Flächen mit schlechterer Fruchtfolgestellung, geringerer Bodenbonität und damit unzureichender Wasserversorgung oder verringerter Nährstoffnachlieferung, die Erträge zu sichern sowie den Luzerneaufwuchs zu nutzen und optimal in der Fruchtfolge zu verteilen. Der erhöhte Aufwand für die Gewinnung und Ausbringung des Transfermulchs muss natürlich berücksichtigt werden.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind teilweise schon jetzt extrem, mit sehr langen Trockenperioden, hohen Temperaturen und dementsprechend hohen Verdunstungsraten. Zur Anpassung des Pflanzenbaus und Minderung von Ertragsdepressionen sind daher sowohl langfristige Maßnahmen wie die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit bzw. der Humusgehalte, die Anpassung der Bodenbearbeitung, die Diversifizierung der Fruchtfolge (Winter- und Sommerkulturen, Einbindung von trockenheitsresistenteren Kulturen) als auch kurzfristige Maßnahmen wie Bodenschutz durch die Mulchauflage im Transfermulch-Verfahren oder über abgestorbene Zwischenfrüchte (Mulchsaat) notwendig. Aufgrund der Dringlichkeit und des Ausmaßes des Problems ist weiterer Forschungsbedarf bei allen angeführten Punkten gegeben.

3. Zusammenfassung

Direktsaat

Die Direktsaat ist durch die fehlende Grundbodenbearbeitung eine Möglichkeit, den Boden vor extremen Witterungsbedingungen in Zeiten des Klimawandels zu schützen und die Wasserverluste aufgrund der reduzierten Verdunstung zu reduzieren. Durch die schützende Mulchschicht wird die Bodenfruchtbarkeit und Bodenstruktur gefördert und die Erosion verringert. Das Bio-Direktsaatverfahren ist sehr komplex und anspruchsvoll. Entscheidend ist ein erfolgreicher Zwischenfruchtanbau, eine geeignete Sätechnik für die Ablage des Saatgutes durch die Mulchschicht und ausreichende hohe Winterhalbjahresniederschläge. Im Rahmen des EIP-Projektes KLIWA wurden auf jeweils drei Standorten im Osten Niederösterreichs von 2019-2021 Praxisversuche zur Direktsaat Mais und Direktsaat Soja durchgeführt.

Bei allen Maisversuchen im Erntejahr 2020 wurde in der Direktsaatvariante ein guter Aufgang mit ähnlicher Bestandesdichte wie bei der betriebsüblichen Aussaat erzielt, mit den verwendeten Sämaschinen konnte das Saatgut gut durch die Mulchschicht in den Boden gebracht werden. Die zur Mitte der Blüte gewalzte Zwischenfrucht (Wick-Roggen) wuchs jedoch wieder an und hemmte gemeinsam mit Beikräutern die Entwicklung der jungen

Maispflanzen. Eine händische Regulierung in den Versuchspartzen ermöglichte ein Weiterwachsen des Mais, die Entwicklung war jedoch verzögert und der Maisertrag lag im Mittel nur bei 53 % der betriebsüblichen Variante. Die Mais-Direktsaat im Erntejahr 2021 war nicht zufriedenstellend, denn ein zu geringer Bodenkontakt des Saatgutes, wenig Bodenfeuchte und die geringen Temperaturen im Mai führten zu einem schlechten Aufgang mit geringer Bestandesdichte und damit auch zu sehr niedrigen Kornerträgen der Mais-Direktsaat (1,3-2,6 t/ha, was durchschnittlich 18 % der betriebsüblichen Variante ausmachte). Die Soja-Direktsaatversuche mussten einerseits aufgrund des hohen Beikraut- und Wilddrucks, andererseits aufgrund von technischen Problemen bei der Saat teilweise abgebrochen werden. Der Soja-Kornertrag der Direktsaat-Variante erreichte nur etwa 25% (durchschnittlich 1,2 t/ha) gegenüber der betriebsüblichen Variante, weil die länger wachsende Zwischenfrucht Roggen anscheinend mehr Wasser verbraucht hat, als der verdunstungsreduzierende Effekt der Mulchauflage einsparen konnte.

In den Versuchen wurde als Zwischenfrucht vor Sojabohnen Grünschnittroggen und vor Körnermais Wick-Roggen gewählt. Die Ziele waren eine frühe und ausreichende Zwischenfruchtbiomasse zu erreichen. Bei Soja sollte nach Roggen wenig pflanzenverfügbarer Stickstoff im Boden sein, bei Körnermais wurde die Wicke zur Stickstofffixierung gewählt, durch die Beimischung von Roggen wurde die Wicke gestützt und die Mulchschicht sollte langsamer abgebaut werden (höheres C/N-Verhältnis). Beide Zwischenfrüchte waren für die Direktsaat gut geeignet. Etwas höhere Saatstärken und ein rechtzeitiger Anbau haben sich bewährt.

Eine große Herausforderung stellt die Aussaat der Hauptfrucht dar. Mit der Sätechnik muss eine sichere Ablage in den Boden durch die gewalzte Mulchschicht gewährleistet sein. Bei einer zu üppigen Mulchschicht war die Saat trotz maximaler Einstellung (Sätiefe, Schardruck) sehr schwierig, das Saatgut kam zu wenig tief in den Boden, die Saatrille war nicht gut genug geschlossen oder der Samen wurde nur in die Mulchschicht und nicht in den Boden abgelegt. Die in Österreich gängige Sätechnik ist nicht ausreichend für die Bedingungen dieses Direktsaatverfahrens ausgerichtet. In Ländern mit längerer Direktsaat-Tradition gibt es Maschinen, die besser für die Direktsaat geeignet sind (bezüglich Schare und Schardruck sowie Gewicht der Sämaschinen). Es gibt zwar ein breites Spektrum an Vorwerkzeugen um Einzelkornsämaschinen direktsaattauglich zu machen (z.B. Räumscheiben oder -sterne, Scheibenseche), leider sind diese jedoch meist teuer oder es ist dafür kein ausreichender Platz auf europäischen Maschinen vorhanden.

Bei erfolgreicher Ablage des Saatgutes könnte bei trockenen Bedingungen mit einer Bewässerung nach der Saat der Aufgang des Samens gefördert und abgesichert werden. Bei

einem hohen Beikrautdruck oder Wiederaufrichten der Zwischenfrucht ist mehrmaliges Walzen oder der Einsatz einer Mäh- und Mulchtechnik in der Reihe notwendig. Hier lohnen sich Versuche mit Zwischenreihenmulcher, der die Beikräuter bzw. den Aufwuchs bodennah mit rotierenden Messern mähen kann. Die Direktsaat im Feuchtgebiet mit besserer Wasserversorgung wird als weniger risikoreich eingestuft. Eine Auswahl von Zwischenfrucht-Hauptfrucht-Kombinationen für die Bio-Direktsaat im Trockengebiet muss überprüft werden. Die auf den Praxisversuchen gemachten Erfahrungen zur Direktsaat haben gezeigt, dass das Direktsaatverfahren im Biolandbau sehr komplex ist und viele Faktoren Einfluss auf das Gelingen der Direktsaat haben. Wenn ein Faktor nicht im optimalen Bereich liegt, wird der Erfolg des gesamten Verfahrens reduziert. Vor allem im Trockengebiet besteht ein hohes Anbaurisiko, geringere Erträge bis zu einem Komplettausfall der Kulturen sind möglich. Es bedarf weiterer Optimierungen und Schritte zur Minderung des Anbaurisikos sowie eine genaue Abstimmung auf das jeweilige Klima, die Böden und die vorhandene Mechanisierung. Direktsaatsysteme sind über einen längeren Zeitraum betrachtet aufgrund der positiven Effekte auf den Boden (reduzierte Verdunstung, höhere Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit) und die Umwelt (weniger Treibstoffbedarf, geringere Erosionsgefahr) wassereffizienter und ressourcenschonender als andere Anbausysteme, ein temporärer Wassermangel zum entscheidenden Zeitpunkt erschwert dennoch das Auflaufen und mindert den Ertrag der Hauptkultur. Eine kontinuierliche Bio-Direktsaat ist eher unwahrscheinlich, aufgrund der ausbleibenden Bodenbearbeitung würden die Felder zu sehr verunkrauten und der Schädlingsdruck wird zu groß. Ein gangbarer Weg ist die sog. periodische Bio-Direktsaat („Rotational No-Till“), d.h. ein bis mehrere Male in einer Bio-Fruchtfolge Direktsaat anwenden. Über das Ausmaß und die Häufigkeit der Anwendung von Direktsaatverfahren in einer Bio-Fruchtfolge besteht noch enormer Forschungsbedarf.

Transfermulch

Das Transfermulchverfahren, bei dem Mulchmaterial von einer Geberfläche entnommen und auf eine Nehmerfläche ausgebracht wird, stellt für viehlose Bio-Betriebe eine flexibel einsetzbare Nährstoffquelle dar, innerbetriebliche Kreisläufe können so geschlossen werden. Auf dem Geberfeld fördern Leguminosen als Transfermulch die Humusreproduktion und Biodiversität. Durch die Mulchabdeckung im Nehmerfeld wird die Bodenverdunstung reduziert, wodurch vor allem im Trockengebiet die Wassernutzung effizienter wird. Außerdem werden bei einer dicken Mulchschicht der Beikrautdruck während der gesamten Vegetationsperiode reduziert und die Bodenfruchtbarkeit gefördert. Nachteile des Verfahrens sind der zusätzliche

Aufwand für die Gewinnung, den Transport und die Ausbringung des Transfermulchs. Im Rahmen des EIP-Projektes KLIWA wurden auf jeweils drei Standorten im Osten Niederösterreichs von 2019-2021 Transfermulch-Praxisversuche in Mais- und Kartoffelbeständen durchgeführt. Bei Kartoffel- und Maisbeständen eignet sich die Nutzung des ersten Futterleguminosen-Schnittes oder von Wickroggen (Mitte Mai–Anfang Juni) als Transfermulch. Die Erosion auf Kartoffeldämmen und zwischen den Maisreihen kann durch die Mulchauflage deutlich verringert werden. In trockenen Jahren verringert die Mulchauflage die unproduktive Verdunstung, auch der Befall mit Kartoffelkäfer und Kraut- und Knollenfäule kann dadurch reduziert werden.

In den Praxis-Versuchen wurde Luzerne bzw. Luzerne-Gras als Transfermulch (13-36 t Frischmasse/ha; 155-288 kg N/ha) in den Maisbestand Mitte bis Ende Juni mit Kompoststreuer bzw. Kurzschnittdewagen ausgebracht. Trotz der unterschiedlichen technischen Durchführung auf den Praxisversuchen zeigten sich ähnliche Ertragseffekte auf allen Standorten (-1 bis +11 % Kornertrag bei den Transfermulch-Varianten im Vergleich zur betriebsüblichen Variante). Etwa 20-50 kg N/ha des nicht eingearbeiteten Transfermulchs standen für die N-Versorgung von Mais zur Verfügung, der restliche Stickstoff aus dem Mulchmaterial dient dem Humusaufbau und wird erst in den Folgejahren verfügbar oder geht teilweise als Lachgas in die Luft. Dennoch sollte als Nachfrucht eine Folgekultur gewählt werden, die ausreichend Stickstoff vor Ende der Vegetationsperiode aufnehmen kann.

Im Trockengebiet ist die Wirkung des Transfermulchs als Boden- und Verdunstungsschutz zwischen den Maisreihen bedeutend. Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen im Sommer 2020 und 2021 wurde dieser Effekt nur zeitweise beobachtet, die Wassernutzungseffizienz der Transfermulch-Variante war nur etwas höher als die der betriebsüblichen Bewirtschaftungsvariante.

In den Kartoffel-Praxisversuchen wurde der Transfermulch Wick-Roggen und Luzerne in die Kartoffelbestände etwa Ende Mai bis Mitte Juni ausgebracht. Die eher dünne Mulchschicht entsprach ca. 38-39 t Frischmasse Luzerne/ha und 26-37 t Frischmasse Wick-Roggen/ha. Beide Kulturen sind aufgrund ihrer Leistungen wie Stickstofffixierung, Beikrautunterdrückung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit wichtige Bausteine von Bio-Fruchtfolgen. Durch das Transfermulch-Verfahren wird ihr Aufwuchs genutzt und Nährstoffe und organische Substanz können besser in der Fruchtfolge verteilt werden. Mit den verwendeten Kompoststreuern bzw. mit einem Ladewagen mit aufgebauten Streuaggregat war die Ausbringung von beiden Mulcharten gut möglich, mit beiden Materialien wurde eine ähnlich gute flächendeckende Mulchabdeckung erzielt. Der Wickroggen war durch seine gröbere Struktur hinsichtlich der

Dauer der Bodendeckung und Höhe der Mulchauflage etwas im Vorteil. Das Ausbringen des Transfermulches und das Mulchmaterial war bei allen drei Standorten sehr ähnlich.

Insgesamt war bei der Auswertung aller Standorte eine positive, aber nicht signifikante Tendenz zu höheren Knollenerträgen (+7 bis +9 % gegenüber der betriebsüblichen Variante) bei den Transfermulch-Varianten zu beobachten. In den Versuchsjahren 2020 und 2021 waren die Witterungsbedingungen im Frühjahr sehr trocken, im Sommer fielen dagegen sehr hohe Niederschlagsmengen. Deshalb waren die positiven Auswirkungen des Transfermulchsystems auf den Bodenwasserhaushalt nur zeitweise erkennbar. Allerdings benötigt die Reduktion der Bodenverdunstung sehr hohe Mulchauflagen, ev. war die in den Praxisversuchen ausgebrachten Mulchauflagen zu gering, um positive Effekte auf die Bodenverdunstung zu bewirken.

Die in den Praxisversuchen gemachten Erfahrungen zum Transfermulch-Verfahren haben gezeigt, dass sich einige Herausforderungen beim Transfermulch-Verfahren stellen. Die Wirkungen des Transfermulchs sind aufgrund der Kombinationen von verschiedenen Effekten nicht eindeutig zuordenbar (Wirkung auf Wasserverbrauch, Stickstoffversorgung, Ertragsbildung, Wirkung in der Fruchtfolge). Allerdings kommt es durch die Anwendung von Transfermulch zu einer tendenziellen Ertragssteigerung, die positiven Effekte wirken direkt auf die gemulchte Kultur, in Folge auch noch auf die nächsten Kulturen in der Fruchtfolge. Eine Abstimmung in der Fruchtfolge zwischen Geber- und Nehmerfläche (zeitlich, Mengen- bzw. Flächenverhältnisse) ist bei Anwendung des Transfermulch-Verfahrens unbedingt notwendig. Die Nährstoffexporte auf der Geberfläche müssen berücksichtigt werden, um auch hier eine ausgeglichene Nährstoffbilanz zu erhalten. Abhängig von der Kultur auf der Nehmerfläche ist das Mulchmaterial auszuwählen (Struktur, C/N-Verhältnis, Stückgröße) und die Behandlungsschritte zu planen (Trocknung, Zwischenlagern, Silieren).

Die technischen Voraussetzungen bei Anwendung des Verfahrens sind vorab zu berücksichtigen. Sind Maschinen für das Mähen, Häckseln, Aufnehmen, Aufladen und Ausbringen des Transfermulches am eigenen Betrieb nicht vorhanden, so werden Kooperationen mit benachbarten Landwirten oder Lohnunternehmen notwendig. Der ökonomische Aufwand (Arbeitszeit und Maschinenkosten) des Transfermulchverfahren sollte im Vorhinein bedacht werden, die unterschiedliche Werbung bzw. Aufbereitung des Mulchmaterials hat natürlich auch Einfluss auf seine Wirkung (Nährstofffreisetzung, Verdunstungsschutz).

Erosionsgefährdete Kulturen wie Mais und Kartoffeln werden durch Mulchauflagen geschützt. Je strukturärmer das Material bzw. je enger sein C/N-Verhältnis ist, desto schneller baut es sich ab, wobei mit allmählich einsetzender Stickstofffreisetzung zu rechnen ist. Der Einfluss der Mulchschicht auf die Bodenfeuchtigkeit ist vor allem von der Bodenbeschattung abhängig. Ist diese aufgrund eines schnellen Reihenschlusses auch ohne Mulchauflage gegeben, so nimmt der Unterschied zu der ungemulchten Variante ab. Die Reduktion der Bodenverdunstung durch Transfermulch benötigt sehr hohe Mulchauflagen. Dabei ist zu beachten, dass nicht zuviel Stickstoff auf die Fläche ausgebracht wird.

Viehlose Betriebe suchen in den letzten Jahren vermehrt nach einer alternativen, ökonomisch interessanten Nutzung des Feldfutters, da der Anbau von Futterleguminosen wie Klee gras oder Luzerne eine große Rolle für den Stickstoffeintrag in der Fruchtfolge und die Humusmehrung im Boden spielt. Das Transfermulchverfahren bietet Bio-Ackerbaubetrieben die Möglichkeit, den Feldfutteraufwuchs effizienter zu nutzen und in der Fruchtfolge zu verteilen. Wird der Transfermulch in Kartoffel- und Maisbestände erst nach vorhergehender mechanischer Beikrautregulierung auf die Flächen ausgebracht, ist das Anbaurisiko des Transfermulch-Verfahrens generell gering. Bringt man den Transfermulch schon früher in die Bestände aus, so kann die Beikrautregulierung reduziert und eventuell eingespart werden, das Risiko des Verfahrens ist natürlich höher.

Der kurzfristige ökonomische Aufwand des Verfahrens wird durch die langfristigen positiven Wirkungen in der Fruchtfolge (Nährstoff- und Humuswirkung, Verdunstungsschutz, Förderung der Bodenfruchtbarkeit, Verringerung des Erosionsrisikos) aufgewogen. Sinnvoll ist es, den Transfermulch als erosionsmindernde Maßnahme (z.B. bei hängigen Feldern), bei schlechter Fruchtfolgestellung der Kulturen zur Nährstoffversorgung, bei Kulturen mit hoher Wertschöpfung pro Flächeneinheit (z.B. Gemüse- und Kartoffelbau), bei geringer Bodengüte (Wasserverbrauch und Nährstoffe) sowie generell zum Bodenschutz und zur Ertragssicherung auszubringen.

Düngungssysteme

Eine wesentliche Strategie die negativen Auswirkungen des Klimawandels im Ackerbau abzupuffern ist eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung mit dem Ziel die Bodenfruchtbarkeit zu steigern. Über eine verbesserte Bodenstruktur und höheren Humusgehalten kann die

Regenverdaulichkeit und Wasserspeicherung der Böden erhöht werden, um mehr Bodenwasser für die Pflanzen nutzbar zu machen und damit die Erträge zu stabilisieren.

In einem Langzeitversuch auf dem Praxis-Forschungsbetrieb Rutzendorf in Niederösterreich werden dazu seit dem Jahr 2003 verschiedene organische Düngungssysteme mit und ohne Tierhaltung auf Grundlage einer einheitlichen Fruchtfolge untersucht. Die Fruchtfolge ist 8-feldrig mit einer zweijährigen Luzerne und sechs Marktfruchtgliedern sowie Zwischenfrüchte in drei von acht Jahren. Die organischen Düngungssysteme bzw. -varianten (DV) zeigen unterschiedliche Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe: DV1: viehloses System mit Luzernemulch als Gründüngung. DV2: viehlos, zusätzlich zum Luzernemulch Düngung mit Biotonnenkompost (Zufuhr von organischer Substanz und Nährstoffen von außen, äquivalent dem Phosphor-Entzug der Marktfrüchte), DV3: Simulation einer Tierhaltung über Düngung von Stallmist äquivalent zur abgefahrenen Futter- und Strohmenge (teilweise innerbetrieblicher Kreislauf von Nährstoffen und organischer Substanz).

Mit zunehmender Dauer biologischer Bewirtschaftung kam es zu einer positiven Entwicklung der Humusgehalte in allen Düngungsvarianten. Vom Jahr 2003 bis zum Jahr 2021 stieg der Humusgehalt am stärksten bei der DV 2 mit Biotonnenkompost (+0,5 Prozentpunkte), gefolgt von der DV 3 mit Stallmist (+0,4 Prozentpunkte) und der reinen Gründüngungsvariante DV 1 (+0,2 Prozentpunkte).

Auch bei den bodenphysikalischen Kennwerten, wie dem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert und der Aggregatstabilität, zeigte der langjährige Trend bei allen Düngungsvarianten einen Anstieg. Im Jahr 2021 wurden hingegen wieder geringere Werte bei diesen beiden Parametern ermittelt. Dieser Rückgang wird auf eine längere Phase ohne Vegetation (Sommer 22 bis Frühjahr 23) am Untersuchungsschlag zurückgeführt. Zur Aufrechterhaltung einer günstigen Bodenstruktur ist daher eine möglichst lange Durchwurzelung und Bodendeckung, vor allem über Zwischenfrüchte, sehr wichtig.

Mit stabileren Bodenaggregaten, höherer Wasserinfiltration und höheren Humusgehalten können die Böden mehr Wasser aufnehmen und speichern, wodurch auch die Widerstandskraft der Böden gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels erhöht werden konnte.

Im Mittel der Jahre kann das Ertragsniveau der Marktfrüchte am Betrieb bei allen Düngungsvarianten als mittel bis hoch eingestuft werden. Die Erträge schwankten jedoch, entsprechend variierender Wasserversorgung während der Wachstumsperioden, sehr stark zwischen den einzelnen Jahren. Über die Jahre 2019 bis 2021 lagen die mittleren

Marktflechterträge der DV2 um 5 % und der DV 3 um 2 % über dem Marktflechtertrag der DV1. Vor allem bei den Kulturen am Ende der Fruchtfolge waren bei der DV 2 und der DV 3 signifikante Ertragssteigerungen (über 10 %) im Vergleich zur DV 1 zu verzeichnen. Am Beginn der Fruchtfolge führte aber die Luzerneabfuhr in DV 3 zu deutlichen geringeren Erträgen des nachfolgenden Weizens im Vergleich zu den Varianten mit Luzernemulch.

Basis für die positive Entwicklungen in allen Düngungssystemen ist die Fruchtfolge mit der zweijährigen Luzerne als zentrales Element, da sie hohe Mengen an organischer Substanz und Luftstickstoff in den Boden bringt und Nahrung für die Bodenorganismen liefert. Gewisse Anteile an Futterleguminosen sind daher auch in viehlosen Biobetrieben unverzichtbar.

Mit Biotonnenkompost kann Humus rasch aufgebaut werden und Humusmangel in der Fruchtfolge teilweise kompensiert werden (vor allem bei Betrieben mit intensiveren Fruchtfolgen und negativen Humusbilanzen). Die Grundlage der Bewirtschaftung sollte jedoch aufgrund ihrer vielfältigen Wirkungen immer der Anbau von Futterleguminosen sein und der Humusausgleich sollte über die Bewirtschaftung selbst, vor allem über die Fruchtfolge inklusive dem Zwischenfruchtanbau, erfolgen. Die Verfügbarkeit von Kompost ist zudem regional begrenzt und sein Zukauf auch ein Kostenfaktor.

Bei der DV 3 kann die Luzernebiomasse über den Stallmist als flexibler Dünger eingesetzt werden und der Ertrag vor allem der Kulturen mit späterer Fruchtfolgestellung oder auf schwächeren Schlägen gezielt gefördert werden. Möglichkeiten der Umverteilung des Aufwuchses der Futterleguminosen in viehlosen Betrieben ist die Kooperation mit einem viehhaltenden biologischen Betrieb über den Tausch von Luzerne gegen Stallmist, die direkt Einbringung der Grünmasse der Luzerne auf einem anderen Schlag (Transfermulchsystem) oder die Nutzung des Aufwuchses in einer Biogasanlage und Düngung mit Biogasgülle

Bodenbearbeitung

Ziele der Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität sind die Schonung des Bodens, die Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, die Verbesserung des Bodenwasserhaushaltes und mittelfristig die Erhöhung der Erträge. Ob und wie rasch diese Ziele erreicht werden, wird am Praxis-Forschungsbetrieb Rutzendorf seit dem Jahr 2016 untersucht indem eine reduzierte Grundbodenbearbeitung mit dem Grubber (nicht wendend, ca. 10-15 cm Bearbeitungstiefe) mit der Pflugbearbeitung (wendend, ca. 25-30 cm Bearbeitungstiefe) verglichen wird.

Mit der geringeren Bearbeitungstiefe mit dem Grubber kam es rasch zu einer Anreicherung der organischen Substanz bzw. Humus in der obersten Bodenschicht von 0-15 cm und höheren Werten im Vergleich zum Pflug, während in der gesamten Bodenschicht von 0-30 cm keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren festgestellt werden konnten. Bei den bodenphysikalischen Parametern waren hingegen nur einzelne Trends erkennbar. Beim Grubber war der Boden in der Schicht bis ca. 20 cm dichter gelagert, während die Pflugvariante unterhalb von 25 cm im Bereich des Pflughorizonts eine höhere Trockendichte aufwies. Hinsichtlich des Ertrages konnten teilweise mit dem Grubber höhere Erträge erzielt werden, häufiger lagen die Ertragsvorteile jedoch bei der Pflugvariante, wo im Mittel über alle Auswertungen um 6,7 % höhere Marktfruchterträge im Vergleich zum Grubber geerntet wurden.

Nach sechs Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung zeigte sich das Ziel die oberste Bodenschicht mit mehr organischer Substanz zu stabilisieren, um damit die Verschlammungsneigung zu reduzieren und die Wasserinfiltration zu erhöhen. Beim Grubber traten pflanzenbauliche Herausforderungen, wie ein höherer Disteldruck oder Durchwuchs von Ausfallsamen, aber stärker und mit deutlichen Auswirkungen auf den Ertrag auf. Das System mit reiner Grubberbearbeitung erwies sich als sensibler, mehr Beobachtung, ein genaues Arbeiten und eine rasche und flexible Anpassung der Bodenbearbeitung an geänderte Bedingungen sind notwendig.

4. Abbildungen und Tabellen

4.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderungen der Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in % im Zeitraum 2003 – 2021 im Kleinparzellenversuch S1M in Abhängigkeit der Düngungsvariante in 0 – 30 cm Bodentiefe.....	22
Abbildung 2: Entwicklung des organischen Kohlenstoffs (C_{org} -Gehalt in %) in unterschiedlichen Bodentiefen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung	25
Abbildung 3: Kornerträge (dt/ha, 86 % Trockenmasse) der Marktfrüchte der Jahre 2016 bis 2020 im Kleinparzellenversuch S1M in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsvariante (nur DV1: Gründüngung).....	27

4.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zwischenfrucht Biomasse und N-Ertrag – Sojaversuche 2020	3
Tabelle 2: Zwischenfrucht Biomasse und N-Ertrag – Sojaversuche 2021	4
Tabelle 3: Soja-Kornerträge - Sojaversuche 2020	7
Tabelle 4: Soja-Kornerträge - Sojaversuche 2021	7
Tabelle 5: Mais-Kornerträge - Maisversuche 2020	9
Tabelle 6: Mais-Kornerträge - Maisversuche 2021	10
Tabelle 7: Transfermulch in den Mais-Versuchen 2020.....	12
Tabelle 8: Transfermulch in den Mais-Versuchen 2021	12
Tabelle 9: Transfermulch in den Kartoffel-Versuchen 2020	15
Tabelle 10: Kartoffel-Knollenerträge - Kartoffelversuche 2020	16
Tabelle 11: Transfermulch in den Kartoffel-Versuchen 2021	16
Tabelle 12: Kartoffel-Knollenerträge - Kartoffelversuche 2021	17
Tabelle 13: Kalkulation Maschinenkosten - Transfermulchsystem	18
Tabelle 14: Aufwandmengen und Nährstoffgehalte von Biotonnenkompost und Stallmist in den gedüngten Kleinparzellenversuchen (KPV) - Mittelwerte aus 36 Düngungen (DV2 und DV3) für die Erntejahre 2004 - 2021	21
Tabelle 15: Bodenparameter im Jahr 2021 in 0-30 cm Bodentiefe in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität (Versuch S1M).....	22
Tabelle 16: Mittlere Kornerträge der Marktfrüchte in den acht Kleinparzellenversuchen über die Jahre 2019 bis 2021 in Abhängigkeit der Düngungsvariante.....	24
Tabelle 17: Kornerträge Getreide und Luzernebiomasseertrag im KPV S1M der Jahre 2019 bis 2021 in Abhängigkeit der Düngungsvariante und der Bodenbonität.	24
Tabelle 18: Ertragsparameter von Mais im Mittel über die Jahre 2020 und 2021 bei unterschiedlicher Bodenbonität (in dt/ha, 86 % Trockenmasse) - Streifenversuche Transfermulch Mais Rutzendorf.....	28
Tabelle 19: Ertragsparameter von Mais im Mittel über die Jahre 2020 und 2021 (in dt/ha, 86 % Trockenmasse) - Kleinparzellenversuche Düngungsvarianten Mais Rutzendorf.....	28