

Eignung von Anbausystemen bei Glyphosatverzicht



SACHSEN-ANHALT

Landesanstalt für
Landwirtschaft und
Gartenbau



Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
Sachsen-Anhalt
Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg
Tel.: 03471 / 334 – 0 Fax: 03471 / 334 105
www.llg.sachsen-anhalt.de

Bearbeiter: Lena Kathe
Landwirtschaftsreferendarin
lena.kathe@llg.mule.sachsen-anhalt.de

Dr. Joachim Bischoff
LLG, Dezernat 21
joachim.bischoff@llg.mule.sachsen-anhalt.de

Dr. habil. Roland Richter
LLG, Dezernat 13
roland.richter@llg.mule.sachsen-anhalt.de

Dr. Nadine Tauchnitz
LLG, Dezernat 25
nadine.tauchnitz@llg.mule.sachsen-anhalt.de

Bildnachweis: Dr. J. Bischoff
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
Sachsen-Anhalt

Redaktionsschluss: August 2020

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt.
Eine Veröffentlichung und Vervielfältigung (auch auszugsweise) ist nur mit
schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.

1 Zusammenfassung

Zur Bewirtschaftung von Acker- und Grünland wird in absehbarer Zeit kein Glyphosat mehr zur Verfügung stehen. Daher müssen standort- und betriebsspezifische Anpassungsstrategien gefunden werden, um weiter wirtschaftlich arbeiten zu können. Für einen Ersatz von Glyphosat stehen alternative Maßnahmen und Möglichkeiten zur Verfügung.

Nach gegenwärtiger Kenntnis ist jedoch eine permanente Direktsaat ohne den Einsatz von Glyphosat nicht möglich. Als Folge eines Glyphosatverbotes käme es demnach zu einer Intensivierung der Bodenbearbeitung und einem Mehreinsatz selektiver Herbizide.

An der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) wurde im Rahmen von zwei Feldversuchen unter Praxisbedingungen untersucht, welche Anbausysteme sich bei einem Glyphosatverzicht eignen und zusätzlich konservierende Bodenbearbeitungsverfahren zulassen. In einer Vierfelderfruchtfolge sowie einer erweiterten Fruchtfolge mit Luzerne wurden der Einfluss der wendenden Pflugarbeit, zweier Mulchsaatverfahren und der Direktsaat hinsichtlich ihrer Ertragswirkung bzw. der Unkrautbekämpfung miteinander verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl beim Einsatz des Pfluges als auch bei einer ganzflächig nicht wendenden, mischenden Bodenlockerung auf eine Glyphosatanwendung verzichtet werden kann. Das intensive Mulchsaatverfahren erwies sich über die Fruchtfolge hinweg als die wirtschaftlichste Variante. Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass besonders in Trockenjahren bei reduzierter Bodenbearbeitungsintensität eine höhere Ertragssicherheit gegeben war.

Durch Integration einer mehrjährigen Luzerne in die Fruchtfolge gelang es durch eine permanente Bodenbedeckung trotz reduzierter Bodenbearbeitung das Auflaufen von Unkräutern/-gräsern zu unterdrücken. Die Sommerblanksaat von Luzerne im Direktsaatverfahren (temporäre Direktsaat) erwies sich aufgrund der besseren Wassereffizienz, sowie der geringeren Produktionskosten als vorteilhaftes Anbauverfahren. Im vierten Jahr der Fruchtfolgeumstellung wurden verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten zu Sommerweizen im Rahmen einer Unkrautbonitur miteinander verglichen. Lediglich im Direktsaatverfahren kam es hier zu einem erhöhten Unkrautdruck.

2 Einleitung und Zielstellung

Der Wirkstoff Glyphosat stellt aufgrund der verschiedenen Anwendungsgebiete, seines breiten Wirkungsspektrums und der Wirkungssicherheit eine wichtige Komponente in Ackerbausystemen dar. Eine Erhebung für das Anbaujahr 2013/2014 von WIESE ET AL. 2016 ergab, dass ~ 37 % der deutschen Ackerflächen mit glyphosathaltigen Herbiziden behandelt werden. Stoppelbehandlungen sind dabei am bedeutendsten (22,2 %), gefolgt von Vorsaatanwendungen (12,7 %). Eine Vorernteanwendung wurde lediglich auf 2,2 % der Ackerflächen durchgeführt.

Der Glyphosateinsatz geht dabei mit dem betrieblichen Bodenbearbeitungsregime einher. Deutlich weniger Glyphosat kommt demnach bei wendenden Bodenbearbeitungssystemen zum Einsatz (STEINMANN ET AL. 2012, WIESE ET AL. 2016). Durch Aspekte des

Boden- und Erosionsschutzes sowie einer möglichst effizienten Betriebsorganisation, gewinnt die konservierende Bodenbearbeitung zunehmend an Bedeutung. Nach den Agrarstrukturerhebungen 2016 wird auf ~ 40 % der deutschen Ackerbauflächen bereits auf den Pflug verzichtet (DBV 2020). Untersuchungen von SCHMITZ ET AL. (2014) zeigen allerdings, dass ein nachhaltiger Glyphosateinsatz bei konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren ein wesentlicher Bestandteil ist.

Der Einsatz von Glyphosat bringt zudem vor allem ökonomische Vorteile im Hinblick auf die Reduzierung des Maschinenbesatzes, des Kraftstoffverbrauchs und des Arbeitskraftbedarfs mit sich (SCHULTE UND THEUVSEN 2015). Außerdem resultiert eine indirekte ertragssichernde Wirkung durch das breite Wirkspektrum und die hohe Bekämpfungsleistung. Ohne Glyphosat seien laut diversen Studien trotz zusätzlicher Bodenbearbeitungsgänge und alternativer Pflanzenschutzmaßnahmen Ertragsreduktionen um bis zu 10 % möglich (SCHULTE UND THEUVSEN 2015, SCHULTE ET AL. 2016, SCHMITZ UND GRAVERT 2012).

Der Wirkstoff Glyphosat wird hinsichtlich seines Umweltverhaltens mit einer geringen Auswaschungsgefährdung und einer geringen Persistenz (Halbwertszeit 6-41 Tage im Freiland) als unbedenklich eingestuft (PPDB 2020). Dennoch zählt Glyphosat zu den am häufigsten in Oberflächengewässern nachgewiesenen Wirkstoffen (PETERSEN 2019, TAUCHNITZ ET AL. 2020, VAN BRUGGEN ET AL. 2018). Das liegt einerseits daran, dass neben der landwirtschaftlichen Nutzung auch urbane Bereiche erhebliche Eintragsquellen darstellen können (SKARK ET AL. 2014, OKADA ET AL. 2020). Andererseits haben verschiedene Studien gezeigt, dass Glyphosat stark an der Bodenmatrix sorbiert wird und infolgedessen durch einen eingeschränkten mikrobiellen Abbau über längere Zeit im Boden akkumuliert (AL-RAJAB ET AL. 2008, GROS ET AL. 2017; 2020). Hierdurch können Glyphosateinträge in die Gewässer zum Teil sehr stark zeitlich verzögert und in keinem unmittelbaren Zusammenhang zur Applikation erfolgen. Die sachgemäße Anwendung von Glyphosat insbesondere die Vermeidung von Punktquellen durch unsachgemäße Spritzenreinigung auf den Hofflächen sowie alle Maßnahmen zum Schutz vor Erosion können Einträge in die Gewässer minimieren (SKARK ET AL. 2014, TAUCHNITZ ET AL. 2020).

Im März 2015 wurde von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) ein Bericht veröffentlicht, welcher Glyphosat als für den Menschen "wahrscheinlich krebserregend" bewertet. Obwohl von Glyphosat gemäß des Berichtes der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) vom Oktober 2015 und Einschätzung der WHO und FAO bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Anwendung kein Krebsrisiko ausgeht, besteht weiterhin eine kontroverse Diskussion in der Öffentlichkeit. Als Reaktion der Politik wurde die verbindliche Beendigung der Anwendung glyphosathaltiger Pflanzenschutzmittel zum Stichtag 31. Dezember 2023 im Rahmen des am 04. September 2019 beschlossenen „Aktionsprogramm Insektenschutz“ festgelegt. Bis zu diesem Stichtag soll eine „*substanzielle Reduzierung der ausgebrachten Mengen glyphosathaltigen Pflanzenschutzmittel [...] durch Anwendungsverbote*“¹ stattfinden. Die

¹ Aktionsprogramm Insektenschutz, herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Beschlossen am 04. September 2019: 36-37.

Zulassung des Wirkstoffes endet gemäß der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2017/2324 der Kommission² am 15. Dezember 2022.

Angesichts eines absehbaren Glyphosatverbotes gilt es betriebsindividuelle Alternativmaßnahmen zu erschließen.

Verschiedene Studien gehen von einem verstärkten Pflugeinsatz in Folge eines Glyphosatverzichts aus (STEINMANN ET AL. 2012, SCHULTE ET AL. 2016). Die Vorteile der konservierenden Bodenbearbeitung hinsichtlich des Erosionsschutzes und der Arbeitswirtschaft wären dann verloren.

Aufgelockerte Fruchtfolgen tragen maßgeblich dazu bei, den Unkrautdruck zu verringern. Besonders durch permanente Bodenbedeckung kann das Auflaufen von Unkräutern stark unterdrückt werden (PALLUTT 2000, ZWERGER UND AMMON 2002).

Um zu untersuchen, wie Anbausysteme gestaltet werden können, damit reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren trotz eines Glyphosatverzichts nachhaltig und profitabel umsetzbar sind, wurden an der LLG am Standort Bernburg-Strenzfeld zwei Feldversuche unter Praxisbedingungen durchgeführt. Dabei wurden in einer Vierfelderfruchtfolge sowie einer erweiterten Fruchtfolge mit Luzerne der Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungsvarianten (wendende Pflugarbeit, Mulchsaatverfahren flach und tief, Direktsaat) hinsichtlich ihrer Ertragswirkung beziehungsweise der Unkrautbekämpfung miteinander verglichen.

3 Feldversuche unter Produktionsbedingungen

3.1 Versuchsstandort

Die Untersuchungen basieren auf zwei Dauerfeldversuchen (Versuch I, Versuch II) der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) Bernburg. Der Versuchsstandort befindet sich am Südrand der Magdeburger Börde im nordöstlichen Regenschattengebiet des Harzes. Die klimatologischen Durchschnittswerte von 1981 – 2010 betragen 511 mm Jahresniederschlag und 9,7 °C Jahresdurchschnittstemperatur. Der Boden am Versuchsstandort ist eine Löss-Schwarzerde aus stark tonigem Schluff (Normtschernosem).

3.2 Versuch I

Der Versuch I, ein 2-faktorieller Feldversuch (Faktor A-Fruchtart x B-Bodenbearbeitung), wurde im Herbst 1997 als kombinierte Streifen-/ Blockanlage in 4 Wiederholungen angelegt. Der Prüffaktor A beinhaltet vier Fruchtfolgefelder mit 1. Zuckerrüben (ZR) – 2. Sommergerste (SG) – 3. Winterweizen (WW) – 4. Wintergerste (WG)/ Sommerzwischenfrucht (SZF). Alle Fruchtarten stehen entsprechend der Rotationsfolge jährlich nebeneinander. Zu jeder Kultur der 4-feldrigen Fruchtfolge sind der wendenden Pflugarbeit (P₂₅) zwei Mulchsaatverfahren (MS_{tief}, MS_{flach}) und die Direktsaat (DS) gegenübergestellt worden.

² Durchführungsverordnung (EU) Nr. 2017/2324 der Kommission vom 12. Dezember 2017 zur Erneuerung der Genehmigung des Wirkstoffs Glyphosat gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Änderung des Anhangs der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 der Kommission, Abl 2017 L 333/10

Die N-Düngermenge ist in der Fruchtfolge mit 80 kg N/ha zu Zuckerrüben, 40 kg N/ha zu Sommergerste, 160 kg N/ha zu Winterweizen und Wintergerste auf 80 % der Düngeempfehlung nach Stickstoffbedarfsanalyse reduziert worden. Das Rübenblatt und Stroh verbleiben in der Fruchtfolge auf dem Feld. Die Grunddüngung erfolgt ortsüblich unter der Vorgabe, dass in der Bodengehaltsklasse C nur die mit den Ernten (Rübe, Korn) abgefahrenen Kalium- und Phosphorentzüge ersetzt werden.

3.2.1 Bodenbearbeitungsvarianten

Die grundsätzlichen Verfahren werden nach BISCHOFF ET AL. 2018 hinsichtlich ihrer Intensität unterschieden in:

a.) Ganzflächig wendende, krumentiefe Bodenlockerung

Der Pflugeinsatz erfolgt bei der Grundbodenbearbeitung regelmäßig als Herbstfurche zu den Sommerungen oder als Saatfurche zu Winterungen. Die Aufgaben des Pflügens sind das Lockern, Wenden und Mischen der Ackerkrume, das Unterbringen von Dünger und der Ernte- und Wurzelrückstände. Von allen Bodenbearbeitungsmaßnahmen ist der Eingriff in die physikalischen, chemischen und biologischen Bodenvorgänge durch das Pflügen am intensivsten. Mit der Folge, dass sich die Umsetzungsprozesse, die in der Natur langsam ablaufen, beschleunigen. Die Verfügbarkeit wichtiger Pflanzennährstoffe wird gefördert, aber auch der Humusabbau. Positive Effekte der wendenden Pflugarbeit sind die mechanische Unkrautbekämpfung, die Verminderung von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen.

b.) Ganzflächig nicht wendende, mischende Bodenlockerung

Eine wichtige Aufgabe der nichtwendenden Bodenbearbeitung ist die Lockerung von Bodenverdichtungen. Dafür eignen sich schmale Werkzeuge an mehrbalkigen Grubbern besser als Flügelschare, weil der grobschollige Bodenaufbruch, den sie hinterlassen, die Gefahr eines mangelhaften Bodenschlusses hervorruft. Je tiefer das Lockerungsschar läuft und je höher die anzuhebende Bodenschicht ist, umso mehr Kraft kostet das Lockern. Bei stark verdichteten Böden wird man deshalb die Lockerungstiefe allmählich steigern, bevor man das gewünschte Resultat erzielt. Die Abkehr von immer gleichbleibenden Bearbeitungstiefen ist nicht nur beim Pflügen, sondern auch bei der konservierenden Bodenbearbeitung zur Vermeidung von wachstumshemmenden Verdichtungsschichten in der Ackerkrume und zur Verminderung der Erosionsgefährdung von Bedeutung.

c.) Ganzflächig flach mulchende, mischende Bodenbearbeitung

Die ganzflächig flach mulchende, mischende Bodenbearbeitung als Stoppelbearbeitung, Nachbearbeitung oder Saatbettbereitung fördert die mechanische Unkrautbekämpfung. Die Stoppelbearbeitung, die unmittelbar nach der Getreideernte mit einem Flachgrubber oder Scheibenegge und einer kombinierten Nachlaufwalze durchgeführt wird, leitet bei ausreichender Rückverfestigung des Bodens die Strohrotte ein und fördert das Keimen von Unkräutern und Ausfallgetreide. Der Aufwuchs wird nach etwa

vierzehn Tagen durch einen Nachbearbeitungsgang umgebrochen. Sinnvoll sind Bearbeitungswerkzeuge, die Unkräuter ganzflächig unter der Bodenoberfläche abschneiden und so Triebe von Wurzeln trennen, dabei aber die schützende Mulchdecke möglichst vollständig erhalten. Hierfür eignen sich Flachgrubber mit überlappenden Gänsefußscharen.

d.) Streifenbodenbearbeitung mit partieller krumentiefen Bodenlockerung (Strip Till)

Die Streifenbodenbearbeitung oder auch Strip-Tillage/ Strip-Till kombiniert die Vorteile der Direktsaat – bei der vor der Saat keine Bodenbearbeitung stattfindet – mit denen einer krumentiefen Bodenlockerung (≥ 25 cm). Die Aussaat kann in einem zweiten Arbeitsgang als absätziges/ klassisches Strip Till oder auch gleichzeitig erfolgen. Der Boden wird lediglich in der Saatreihe partiell gelockert. Durch die Lockerung und Räumung der späteren Saatreihe können innerhalb der Reihen optimale Wachstumsbedingungen geschaffen werden. Der so vorbereitete Streifen erwärmt sich im Vergleich zu Mulch- oder Direktsaatflächen mit Mulchauflage deutlich schneller und trocknet dadurch rasch ab, sodass auch frühe Saattermine, vergleichbar mit Terminen nach einer Pflugfurche realisiert werden können. Die Streifen zwischen den Reihen bleiben samt Strohecke, Restbewuchs und Wurzelwerk der Vorfrucht stehen. So bildet der Reihenzwischenraum einen guten Erosions- und Verdunstungsschutz. Durch die minimale Bearbeitung keimt außerdem weniger Unkraut und das Bodenleben wird geschont. Die erhöhte Regenwurmaktivität verbessert die Wasserinfiltration.

e.) Direktsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung

Das System der Direktsaat hat die geringste Arbeitsintensität. Die Saatgutablage erfolgt ohne vorherige Bodenbearbeitung in ungestörtem Boden durch eine Direktsaatsämaschine mit Scheiben- oder Meißelscharen. Der Eingriff in den Boden entspricht beim Direktsaatverfahren der Tiefe der Saatgutablage. Vorbedingungen für eine erfolgreiche Direktsaat sind ein Boden ohne Strukturschäden, Schadverdichtungen und Störschichten. Die ackerbaulichen Vorteile der Direktsaat sind die geringe Bodenwasserverdunstung durch den Erhalt schützender Pflanzenreste an der Oberfläche sowie die daraus resultierende geringe Verschlammungs- und Erosionsgefährdung. Hinzu kommt die verbesserte Tragfähigkeit des Bodens aufgrund einer ungestörten, kompakten Bodenstruktur.

Bodenbearbeitungsgänge in der Vierfelderfruchtfolge

Tabelle 1 beschreibt die einzelnen Arbeitsgänge der Bodenbearbeitung und Bestelltechnik in der Vierfelderfruchtfolge.

Die Bearbeitungsgänge zur Aussaat von Zuckerrüben, Sommergerste, Winterweizen, Wintergerste unterscheiden sich hinsichtlich der Intensität mit Auswirkungen auf die mechanische Unkrautbekämpfung. Gegenübergestellt werden die ganzflächig wendende, krumentiefe Bodenlockerung mit 25 cm Bearbeitungstiefe (P_{25}), die ganzflächig nicht wendende, mischende Bodenlockerung mit 10 bis 15 cm Bearbeitungstiefe

(MS_{tief}), die ganzflächig flach mulchende, mischende Bodenbearbeitung mit 4 – 6 cm Bearbeitungstiefe (MS_{flach}) und die Direktsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung (DS). Zu Zuckerrüben erfolgt seit 2011 die Streifenbodenbearbeitung mit partieller krumen-tiefen Bodenlockerung (25 cm) statt der Variante (MS_{flach}).

Tab. 1: Bodenbearbeitungsverfahren in Versuch I.

FF	BB	P25	MS _{tief}	MS _{flach} / Strip Till *)	Direktsaat *)
SZF	StB	2 x Strohstriegel	2 x Strohstriegel	2 x Strohstriegel	2 x Strohstriegel
	Saat	Direktsaatdrille	Direktsaatdrille	Direktsaatdrille	Direktsaatdrille
ZR	GBB	Pflug (≥ 25 cm)	Grubber/ Scheibenegge (10 - 15 cm)	Strip Till (≥ 25 cm) <i>seit 2011</i>	keine
	SBB	Feingrubber	Feingrubber	keine	keine
	Saat	EKS	Direktsaat-EKS	Direktsaat-EKS	Direktsaat-EKS
SG	GBB	Pflug (≥ 25 cm)	Grubber/ Scheibenegge (10 - 15 cm)	keine	keine
	SBB/ Saat	Kreiselegge-Drill.- Kombination	Kreiselegge-Drill.- Kombination	Kreiselegge-Drill.- Kombination	Direktsaatdrille
WW/ WG	StB	Grubber/ Scheibenegge (6 - 8 - 10 cm)	Grubber/ Scheibenegge (6 - 8 - 10 cm)	keine	keine
	GBB	Pflug (≥ 25 cm)	Grubber/ Scheibenegge (10 - 15 cm)	Grubber/ Scheibenegge (4 – 6 cm)	keine
	SBB/ Saat	Kreiselegge-Drill.- Kombination	Kreiselegge-Drill.- Kombination	Kreiselegge-Drill.- Kombination	Direktsaatdrille

FF = Fruchtfolge, BB = Bodenbearbeitung, StB = Stoppelbearbeitung, GBB = Grundbodenbearbeitung, SBB = Saatbettbereitung, EKS = Einzelkornsämaschine
P₂₅ = Pflug (≥ 25 cm), MS_{tief} = tiefes Mulchsaatverfahren, MS_{flach} = flaches Mulchsaatverfahren
SZF = Sommerzwischenfrucht, ZR = Zuckerrübe, SG = Sommergerste, WW = Winterweizen, WG = Wintergerste
*) mit Glyphosateinsatz

Die Aussaat der **Sommerzwischenfrüchte (SZF)** erfolgt im Direktsaatverfahren über alle Varianten gleich. Der Grundstein eines erfolgreichen Zwischenfruchtanbaus wird schon mit der Ernte der Getreidevorfrucht gelegt. Das Stroh sollte beim Mähdrusch fein gehäckselt und gleichmäßig verteilt werden – eine kurze Stoppel erleichtert die nachfolgenden Arbeitsgänge. Zur Zwischenfruchtbestellung erfolgt unmittelbar nach der Getreideernte ein zweimaliger Strohstriegeleinsatz, diagonal zur Drillrichtung und in möglichst hoher Ganggeschwindigkeit. Ziel ist die gleichmäßige und flächendeckende Strohverteilung als Voraussetzung für eine optimale Aussaat der Sommerzwischenfrüchte im Direktsaatverfahren. Der Umbruch der Zwischenfrüchte erfolgt in den Varianten P₂₅ und MS_{tief} mit der Grundbodenbearbeitung für die **Zuckerrüben (ZR)** im Folgejahr. Die Herbstfurche (P₂₅) wird bis Ende Oktober mit einem Vierschar-

Volldrehpflug mit Streifenkörper und schwerem 90er Doppelpacker (Arbeitstiefe mindestens 25 cm) durchgeführt. Für die ganzflächig nicht wendende, mischende Bodenlockerung (MS_{tief}) wird eine Grubber-/ Scheibenegge-Packerwalzen-Kombination (Arbeitstiefe 10 bis 15 cm) verwendet. Die Streifenbodenbearbeitung erfolgt zu Zuckerrüben ebenfalls im Herbst. Beim Strip-Till-Verfahren werden nur die Streifen gelockert, in die im Frühjahr die Rüben direkt gesät werden. Das Strip-Till-Gerät - ein eigens angefertigter HIRL-Prototyp – ist ein zweibalkiger 6-Schar-Schwergrubber mit 45 cm Strich-/ (Reihen-) abstand. Die starren schmalen Zinken lockern den Boden auf Krumentiefe (25 cm) ohne einen wesentlichen Mischeffekt des Bodens. Die gehärteten Scharspitzen des Strip-Till-Gerätes sorgen auch unter sehr harten und trockenen Bedingungen für den nötigen Untergriff/ Unterzug um Bodenschadverdichtungen aufzubrechen. Im Frühjahr erfolgt in P_{25} und MS_{tief} die Saatbettbereitung unmittelbar vor der Rübenaussaat. Beim Strip-Till- und Direktsaatverfahren erfolgt die Rübenaussaat ohne Saatbettbereitung mit einer speziellen Direktsaat-EKS. Zu **Sommergerste (SG)** unterscheiden sich die Varianten mit/ ohne Herbstbodenbearbeitung in der Intensität der mechanischen Unkrautbekämpfung. Nach der Rübenernte wird der Boden in der Variante P_{25} mit einem Vierschar-Volldrehpflug mit Streifenkörper und schwerem 90er Doppelpacker 25 cm tief gewendet bzw. in MS_{tief} mit einer Grubber-/ Scheibenegge-Packerwalzen-Kombination 15 cm tief gelockert. Die Bearbeitung der Variante MS_{flach} erfolgt erst im Frühjahr in einem kombinierten Arbeitsgang zusammen mit der Aussaat der Sommergerste. Gesät wird mit einer Kreiselegge-Drillmaschinen-Kombination (P_{25} , MS_{tief} , MS_{flach}) beziehungsweise im Direktsaatverfahren mit einer Direktsaatdrillmaschine (TANDEM FLEX 300). Die Vorbereitungen zur Aussaat von **Winterweizen (WW)** beginnen bereits mit der Ernte der Vorfrucht. Gelingt die gleichmäßige Verteilung des möglichst kurz gehäckselten Strohs nicht schon beim Mähdrusch, wird der Einsatz eines speziellen Strohstriegels erforderlich. In unmittelbarem Anschluss daran erfolgt in den Varianten P_{25} und MS_{tief} die Stoppelbearbeitung. Aufgabe der Stoppelbearbeitung ist es, Stroh und Stoppeln oberflächennah einzumischen und mit entsprechendem Walzendruck rückzuverfestigen. Ausfallgetreide und Unkrautsamen keimen so am besten. Ein Nachbearbeitungsgang zur mechanischen Unkrautbekämpfung erfolgt etwa 14 Tage später. Ausfallgetreide und Ungräser sowie andere Problemunkräuter werden dadurch beseitigt. Die Grundbodenbearbeitung wird als Saatsfurche (P_{25}) durchgeführt beziehungsweise als ganzflächig nicht wendende, mischende Bodenlockerung (MS_{tief}). Mit der Bearbeitungsvariante MS_{flach} erfolgt eine Abkehr der herkömmlichen Arbeitsabfolge: Stoppelbearbeitung, Nachbearbeitung, Grundbodenbearbeitung. Das Stroh der Getreidevorfrucht verbleibt nach einem Strohstriegeleinsatz zur gleichmäßigen Strohverteilung als Verdunstungsschutz an der Bodenoberfläche bis zur Weizenbestellung erhalten. Der einzige Arbeitsgang ist eine flache Vorsaatbearbeitung (4 – 6 cm). Entsprechend der Bodenbearbeitung erfolgt die Weizenaussaat mit einer Kreiselegge-Drillmaschinen-Kombination bzw. Direktsaatdrillmaschine mit Scheibenscharen. Die Arbeitsgänge zu **Wintergerste (WG)** erfolgen analog der Weizenaussaat.

Die **Pflanzenschutzmaßnahmen** werden bis auf den Herbizideinsatz über alle Vari-

anten einheitlich durchgeführt. Der Einsatz von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden erfolgt nach einem Schadschwellenkonzept. Auf Wachstumsregler werden im Feldversuch grundsätzlich verzichtet. Die Applikation eines nicht selektiven Herbizids (Glyphosat) ist bei der ganzflächig flach mulchenden, mischenden Bodenbearbeitung (MS_{flach}), dem Strip-Till-Verfahren und der Direktsaat zur Bekämpfung von Altunkräutern, Ungräsern und Ausfallgetreide erforderlich. In diesen Varianten ist auch der Einsatz eines speziellen Gräserherbizids nötig.

3.2.2 Versuchssparameter

Die Versuchsauswertung für die vorliegenden Untersuchungen erfolgte anhand der Prüfmerkmale Rübenfrischmasseertrag und dem Kornertrag beim Getreide. Des Weiteren wurde die Wirkung der reduzierten Stickstoff (N)- Düngung auf die Stickstoffbilanz und die Rohproteingehalte der Getreidekulturen erfasst. Die Wirtschaftlichkeit der Varianten wurde über die gesamte Fruchtfolge hinweg mit Hilfe der Direkt- und arbeits erledigungskostenfreien Leistungen bewertet (analog zu RICHTER 2020).

3.2.3 Ergebnisse und Diskussion

Stickstoffbilanz der Vierfelderfruchtfolge

Um zu vermeiden, dass durch Stickstoffüberangebot Unkräuter gefördert werden, wurde im Feldversuch die N-Düngung auf 80 % der Düngeempfehlung nach Stickstoffbedarfsanalyse begrenzt. Nach Abbildung 1 hatte eine langjährige Reduzierung der N-Düngung eine ausgeglichene bis leicht negative N-Bilanz zur Folge.

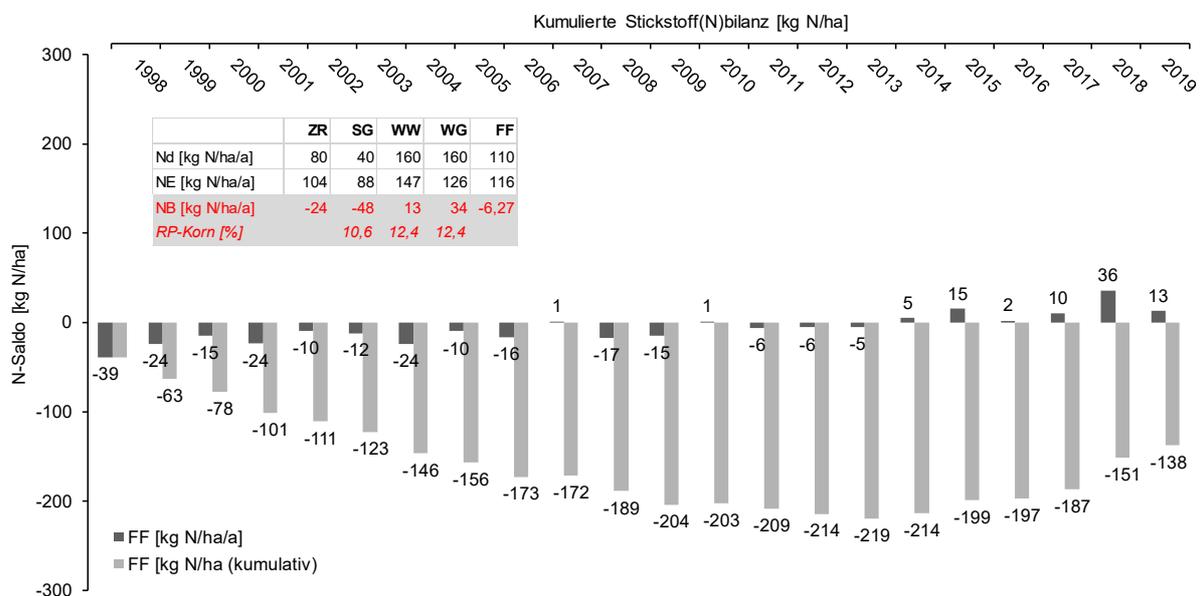


Abb. 1: Akkumulative Wirkung einer reduzierten Stickstoff (N)- Düngung in der Vierfelderfruchtfolge. (ZR = Zuckerrübe, SG = Sommergerste, WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, FF = Fruchtfolge, Nd = Stickstoffzufuhr durch Düngung, NE = Stickstoffentzug durch die Kultur, NB = Stickstoffbilanz, RP = Rohproteingehalt)

Bei 160 kg N/ha wurde mit 12,4 % Rohprotein im Versuchsdurchschnitt die A-Weizenqualität von 13 % Rohproteingehalt im Korn nicht erreicht. Dagegen wurden mit 40 kg

N/ ha bei Sommergerste den Anforderungen an die Brauqualität von weniger als 11 % Rohproteingehalt entsprochen. Sowohl in der Stickstoffbilanz als auch in der Ausprägung der Rohproteingehalte traten zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten keine nennenswerten Unterschiede im Versuchszeitraum auf.

Ertragsleistung

Die Erträge der Vierfelderfruchtfolge sind in Tabelle 2 durch den Median (Zentralwert) sowie als Minimum-Maximum-Spanne dargestellt.

Der statistische Test mit einfaktorieller Varianzanalyse weist bei allen Kulturen wegen hoher p-Werte keine signifikanten Unterschiede zwischen den geprüften Bodenbearbeitungsverfahren aus. Das heißt, dass mit konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat gleichhohe Erträge erzielt werden können wie mit der wendenden Pflugarbeit. Die Ergebnisse bestätigen praktische Erfahrungen, dass die tiefgründigen Lössböden der trockenen Lagen Sachsen-Anhalts für die pfluglose Bewirtschaftung besonders geeignet sind.

Ursächlich sind die positiven Ertragseffekte der konservierenden Bodenbearbeitung auf einen wirksamen Verdunstungsschutz zurückzuführen, der aus dem Erhalt einer geschlossenen Bodenbedeckung aus zerkleinertem Strohmulch und Zwischenfruchtresten resultiert. Als praxistauglich hat sich zu Zuckerrüben die Streifenbodenbearbeitung (Strip-Till-Verfahren) mit partieller Bodenlockerung erwiesen.

Bei Sommergerste und Winterweizen zeichneten sich tendenzielle Ertragsvorteile der Mulchsaatverfahren (MS_{tief} , MS_{flach}) ab. Wie bei Zuckerrüben hatte auch hier die pfluglose Bodenbearbeitung zur Überbrückung von Dürreperioden beigetragen.

Anders als bei Sommergerste und Winterweizen hatten bei Wintergerste die konservierende Bodenbearbeitung und besonders die Direktsaat Ertragseinbußen zur Folge. Wintergerste reift gewöhnlich früh genug ab und entzieht sich damit dem Trockenstress im Vorsommer, der die Vorteilhaftigkeit der konservierenden Verfahren bei Sommergerste und Winterweizen begründet.

Tab. 2: Rübenfrischmasse- und Getreideerträge in der Vierfelderfruchtfolge (1998-2019) (n = 1.408).

	P25	MS_{tief}	MS_{flach}/StripTill *)	DS_{seit 1997}
1. <u>Zuckerrübe</u> [Frischmasse (dt/ha)] F(3, 84) = 0.896; p = 0.447				
Min	201	226	300	326
Median (Zentralwert)	645	669	718	632
Max	890	962	957	847
2. Sommergerste [dt/ha (86% Trockensubstanz)] F(3, 84) = 0.375; p = 0.771				
Min	41	40	41	38
Median (Zentralwert)	61	63	64	61
Max	78	78	84	79
3. Winterweizen [dt/ha (86% Trockensubstanz)] F(3, 84) = 0.428; p = 0.733				
Min	47	46	42	38
Median (Zentralwert)	75	80	82	76
Max	101	104	106	102
4. Wintergerste [dt/ha (86% Trockensubstanz)] F(3, 84) = 0.333; p = 0.802				
Min	48	51	47	45
Median (Zentralwert)	79	75	73	76
Max	99	99	96	96
P ₂₅ = Pflug (≥ 25 cm), MS _{tief} = tiefes Mulchsaatverfahren, MS _{flach} = flaches Mulchsaatverfahren, DS = Direktsaat *) ab 2011 Wechsel von MS _{flach} auf Strip-Till zu Zuckerrübe				

Ertragsstabilität

Der Stichprobenumfang (22 Versuchsjahre x 4 Fruchtarten x 4 Bodenbearbeitungsvarianten x 4 Wiederholungen) ermöglicht es, statistisch zu prüfen, ob durch konsequenten Pflugverzicht die Ertragsstabilität der einzelnen Fruchtarten beeinflusst wird. Zum Nachweis der Ertragsstabilität sind in Tabelle 3 die Variationskoeffizienten (VK [%]) berechnet worden.

Tab. 3: Nachweis der Ertragsstabilität anhand von Variationskoeffizienten (VK [%]).

VK [%]	P25	MS _{tief}	MS _{flach} / Strip Till	DS _{seit 1997}
Zuckerrübe	31,3	29,6	26,5	25,2
Sommergerste	19,8	18,2	17,3	17,8
Winterweizen	20,6	19,3	20,2	20,8
Wintergerste	16,2	16,3	17,2	17,6

P₂₅ = Pflug (≥ 25 cm), MS_{tief} = tiefes Mulchsaatverfahren, MS_{flach} = flaches Mulchsaatverfahren, DS = Direktsaat.
 Variationskoeffizient [%] niedrige Werte bedeuten höhere/ bessere Ertragsstabilität.

Je geringer der Variationskoeffizient, desto geringer ist die Ertragsvariabilität und umso weniger Ertragsschwankungen treten von Jahr zu Jahr auf. Die bei Zuckerrüben und Sommergerste in der Pflugvariante tendenziell höheren Variationskoeffizienten geben einen Hinweis darauf, dass beim Anbau von Sommerungen nichtwendende Bodenbearbeitungsverfahren zu mehr Ertragssicherheit beitragen können. Durch den Anbau von Sommerungen vergrößert sich die Zeitspanne für Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur mechanischen Unkrautbekämpfung, sodass durch mehrmalige nichtwendende Bearbeitungsgänge die aufgelaufenen Ausfallkulturen und Unkräuter/-gräser beseitigt werden können. Bei Winterweizen und Wintergerste bestehen zwischen den Variationskoeffizienten keine wesentlichen Unterschiede. Das heißt, dass andere Einflussgrößen wie die phytosanitäre Situation durch eine ungünstigere Fruchtfolge die Ertragsstabilität stärker beeinflussen als die Bodenbearbeitungsverfahren und die Vorteile der nichtwendenden Bodenbearbeitung kompensieren können. Schlussfolgernd sind Fruchtfolgen mit 75 % Getreideanteil und ein wiederholter Wintergetreideanbau für die pfluglose Bodenbearbeitung ungeeignet.

Rentabilität

Die wirtschaftliche Bewertung der Bodenbearbeitungsverfahren erfolgt in Tabelle 4 anhand der Direkt- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung (DAL). Betrachtet man die gesamte Fruchtfolge zeigt sich, dass eine konservierende Bodenbearbeitung mit nichtwendender intensiver Bearbeitung (MS_{tief}) die wirtschaftlichste Variante ist. Neben geringeren Arbeitserledigungskosten können durch wasserersparnis Mehrerträge zu höheren Ernteerlösen führen, so dass durch den konsequenten Pflugverzicht höhere

Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden können. Die nichtwendende Bodenbearbeitung mit Grubber und/ oder Scheibenegge erzielte bei der Unkrautbekämpfung einen vergleichbar guten Wirkungsgrad wie die wendende Pflugarbeit, sodass auf den Einsatz eines Totalherbizides verzichtet werden konnte.

Tab. 4: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) der Vierfelderfruchtfolge unter Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten (1998-2019).

DAL [EUR/ha]	P25	MS _{tief}	MS _{flach} / Strip Till	DS _{seit 1997}
Zuckerrübe	622	738	872	698
Sommergerste	432	510	427	418
Winterweizen	426	551	525	467
Wintergerste	358	344	256	339
Fruchtfolge [EUR/ha/Jahr]	460	536	520	480

P25 = Pflug (≥ 25 cm), MS_{tief} = tiefes Mulchsaatverfahren, MS_{flach} = flaches Mulchsaatverfahren, DS = Direktsaat

3.3 Zwischenfazit

Ein Glyphosateinsatz lässt sich, wie die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, durch mechanische Bodenbearbeitungsverfahren ersetzen. Für eine zweckmäßige Unkrautbekämpfung eignet sich der Flachgrubber mit überlappenden Gänsefußscharen, die die Unkräuter ganzflächig unter der Bodenoberfläche abschneiden, die Triebe von Wurzeln trennen und die schützende Mulchdecke erhalten.

Dagegen sind nach den vorliegenden Untersuchungen Direktsaatverfahren, Streifenbodenbearbeitung sowie flach mulchende Verfahren für Anbausysteme ohne Glyphosat auf Dauer ungeeignet, da damit bedeutsame Ertragsverluste einhergehen können.

Wirtschaftliche Überlegungen führen häufig zu eingeeengten Fruchtfolgerotationen und zu *Minimal*-Bodenbearbeitungssystemen, die in einer zunehmenden Verunkrautung und Verungrasung resultieren können. Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Unkrautdruck, den Unkrautarten in der Vorfrucht und denen in der Folgefrucht. Fruchtfolgen mit einem hohen Getreideanteil erweisen sich oft als besonders problematisch und fördern das Auftreten von Ungräsern wie Ackerfuchsschwanz, Trespe und Windhalm sowie Fremdgetreide.

Als Folge eines Glyphosatverzichts käme es daher bei der hier betrachteten Vierfelderfruchtfolge zu einer Intensivierung der Bodenbearbeitung mit bis zu 3 Bearbeitungsgängen. Wenn trotz eines Glyphosatverbotes die Vorteile der konservierenden Bearbeitungsverfahren genutzt werden sollen, ist eine Umstellung der Fruchtfolge hilfreich.

3.4 Versuch II

Versuch II wurde im Herbst 1996 als Großversuch unter Produktionsbedingungen angelegt und ist ein einfaktorieller Feldversuch (A - Bodenbearbeitung) in 5 Langparzellen (2 Standards). Die grundlegenden Varianten der Bodenbearbeitung und Bestelltechnik sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tab 5.: Bodenbearbeitungsverfahren in Versuch II.

Var.	Bez.	Bodenbearbeitungsverfahren
a1 und a5	P ₂₅	Ganzflächig wendende, krumentiefe Bodenlockerung (Arbeitstiefe ≥ 25 cm)
a2	MS _{locker}	Ganzflächig nicht wendende, mischende Bodenlockerung (Arbeitstiefe ≥ 18 cm)
a3	MS _{tief}	Ganzflächig nicht wendende, mischende Bodenlockerung (Arbeitstiefe 10-15 cm)
a4	DS	Direktsaat seit 1996 ohne jegliche Bodenbearbeitung

Die bisher übliche Vierfelderfruchtfolge (1 x Blattfrucht 3 x Halmfrucht) wurde in 2016 durch Luzerneanbau erweitert. Ziel ist es, Praxislösungen für dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung/ Direktsaat (Einschränkung von N-Verlusten, bodenwasser-schonende Bearbeitung) bei reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz ohne Glyphosat zu entwickeln.

Auf dem 8,44 ha großen Feldschlag stehen in jährlicher Abfolge:

- 2016 Luzerne-Sommerblanksaat
- 2017 Luzerne (1. Hauptnutzungsjahr)
- 2018 Luzerne (2. Hauptnutzungsjahr)
- 2019 Hafer/ Sommerzwischenfrucht (3. Hauptnutzungsjahr)
- 2020 Sommerweizen/ Sommerzwischenfrucht

Die Luzerne (*Medicago sativa x varia cv. Plato*) wurde Ende Juli unmittelbar nach der Getreideernte und einem zweimaligen Strohstriegeleinsatz im Direktsaatverfahren als Sommerblanksaat ausgesät (temporäre Direktsaat). Das Luzernesaatgut war geimpft mit den Knöllchenbakterien *Sinorhizobium meliloti* und *Azospirillum brasilense*. Die Aussaatmenge betrug 30 kg/ha. Die Ernte erfolgte im Knospenstadium der Luzerne. Nach jedem Luzerneschnitt (3 Schnittnutzung) wurde von Juni bis Oktober jeweils ein 6 m breiter Luzerne-Randstreifen wechselseitig zum Abblühen stehen gelassen. Der Erhalt von blühenden Randstreifen bietet Lebensraum für Schmetterlinge und Wildbienen (zu denen auch die Hummeln zählen). Im 3. Hauptnutzungsjahr stand eine Hafer-

Luzerne-Mischkultur als Hafereinsaat in die Luzernestoppel nach zweimaligen Schröpfen der Luzerne (Bewirtschaftung ab 2016 nach EU-Öko-Verordnung 834/2007, VO 889/ 2008).

3.4.1 Versuchsparameter

Zwei unterschiedliche Systeme des Luzerneanbaus wurden zunächst hinsichtlich der Wassereffizienz und ihrer Wirtschaftlichkeit (analog zu RICHTER 2020) miteinander verglichen. Der Sommerblanksaat im Direktsaatverfahren stand die konventionelle Frühjahrsblanksaat mit Saatfurche gegenüber. Zu Sommerweizen nach Hafer-Luzerne gemenge und Sommerzwischenfrucht wurde der Einfluss der wendenden Pflugarbeit (P_{25}), zweier Mulchsaatverfahren mit 18 cm tiefer Bodenlockerung (MS_{locker}) und 10-15 cm tiefer Bodenlockerung (MS_{tief}) sowie der Direktsaat (DS) hinsichtlich des Feldaufgangs und der Verunkrautung an drei Terminen verglichen. Während des Entwicklungsstadiums BBCH 11-13 des Sommerweizens wurden die Prüfmerkmale an zwei Terminen erfasst. Eine dritte Bonitur folgte sieben Tage nach dem Einsatz des Unkrautstriegels in den Varianten a2 und a3 zu BBCH 23 bzw. des Mulchers in der Variante a4 zu BBCH 13.

3.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Wassereffizienz

Die Tabelle 6 zeigt den Wasserverbrauch unterschiedlicher Anbau-/ Nutzungssysteme im Verhältnis zur gebildeten Gesamtpflanzentrockenmasse.

Tab. 6: Wasserverbrauch im Verhältnis zur gebildeten Gesamtpflanzentrockenmasse (2016-2019).

Bewirtschaftung	TM [t/ ha/ a]	NS - Δ nFK [mm/ m ²]	Wasserverbrauch ^{**)} [m ³ / t TM]
Vierfelderfruchtfolge + Sommerzwischenfrucht (SZF)	8,5	379	446
Luzerne-Sommerblanksaat ^{*)} 1. Hauptnutzungsjahr	7,5	387	516
Luzerne-Frühjahrsblanksaat	5,2	398	765
Luzerne-Sommerblanksaat ^{*)} 2. Hauptnutzungsjahr	4,9	371	752
Luzerne-Frühjahrsblanksaat	3,9	383	982
Hafer-Luzernegemenge ^{*)}	5,2	261	499
^{*)} Direktsaat seit 1996 ^{**)} Wasserverbrauch (NS - Δ nFK [mm/ m ²]) je 1 Tonne [t] Trockenmasse (1 t TM/ ha = 0,1 kg TM/ m ²). TM = Trockenmasse, NS = Niederschlag, nFK = nutzbare Feldkapazität, Δ = Differenz SZF = Sommerzwischenfrucht			

Die Ergebnisse machen deutlich, dass sich die Anbauverfahren und auch die angebauten Kulturen sowohl im Wasserverbrauch als auch im Verhältnis zur gebildeten Trockenmasse unterscheiden. Der Wasserverbrauch aus Niederschlag und Bodewassereinspeicherung beträgt in unseren Untersuchungen zwischen 261 und 398 mm/m². Das ergibt zwischen 50 % und 80 % der langjährigen Niederschlagssumme. Der Vergleich der Bewirtschaftungsverfahren zeigt, dass der Wasserverbrauch im Verhältnis zur gebildeten Gesamtpflanzentrockenmasse von Luzerne ungünstiger ist als bei einer Vierfelderfruchtfolge mit Sommerzwischenfrucht. Die Sommerblanksaat in Direktsaat erzielte gegenüber der Frühjahrsblanksaat mit Saatsfurche eine bessere Wassereffizienz, das heißt weniger Wasserverbrauch je Einheit gebildeter Trockenmasse, bei gleichzeitig höheren Ernteerträgen. Noch günstiger war das Verhältnis von Wasserverbrauch zur gebildeten Gesamtpflanzentrockenmasse bei Hafer, der nach zweimaligem Schröpfen der Luzerne im Direktsaatverfahren ausgesät wurde. Die Ergebnisse sind ein beredtes Beispiel dafür, dass durch wassersparende Bodenbearbeitung und dazu geeignete Anbauverfahren auch bei einer landwirtschaftlichen Produktion wertvolles Bodenwasser eingespart werden kann.

Betriebswirtschaftlicher Vergleich der Anbauverfahren

Die geringeren Produktionskosten der Sommerblanksaat im Direktsaatverfahren spiegeln sich beim Vergleich der DAL wider (Tabelle 7).

Tab. 7: Direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Leistung (DAL) der Anbausysteme.

(1) Vierfelderfruchtfolge: Zuckerrüben (ZR) – Sommergerste (SG) – Winterweizen (WW) – Wintergerste (WG)/ Sommerzwischenfrucht (SZF).		
Anbauverfahren	Pflug/ Packer (25 cm Bearbeitungstiefe)	Mulchsaat (10-15 cm)
DAL [Euro/ha/Jahr]	460	536
(2) Luzerneanbau.		
Anbauverfahren	Frühjahrsblanksaat	Sommerblanksaat
1. Hauptnutzungsjahr	-138	203
2. Hauptnutzungsjahr	-308	-136
Hafereinsaat in Luzernestoppel	216	216
DAL [Euro/ha/Jahr]	-77	94
(3) Erweiterte Vierfelderfruchtfolge (Mulchsaatverfahren) und Luzernesommerblanksaat (Direktsaatverfahren) zur 7-Felderfruchtfolge.		
DAL [Euro/ha/Jahr]		347

Trotz der verhältnismäßig niedrigen Erträge aufgrund der vorherrschenden Trockenheit erwies sich die Sommerblanksaat der Luzerne im Direktsaatverfahren gegenüber der konventionellen Frühjahrsblanksaat als wirtschaftlich vorteilhaft. Allerdings ist dieses System weniger rentabel als der Anbau der Vierfelderfruchtfolge. Durch die erweiterte Vierfelderfruchtfolge (Mulchsaatverfahren) und Luzernesommerblanksaat (Direktsaatverfahren) zur 7-Felderfruchtfolge ist in der Summe von einem wirtschaftlichen Nachteil von rd. 200 EUR/ ha gegenüber der Vierfelder-Markfruchtfolge auszugehen.

Unkrautbonitur im vierten Jahr der Fruchtfolgeumstellung

Im Ergebnis der hier durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, dass bei Fruchtfolgen mit mehrjähriger Luzerne die Intensität der Bodenbearbeitung stark gemindert und auf den Pflug verzichtet werden kann (Tabelle 8).

Tab. 8: Mittelwerte der visuell erfassten Parameter: Getreidepflanzen je m², Unkrautpflanzenanzahl je m² und Unkrautdeckungsgrad [%], unterteilt für den jeweiligen Zeitpunkt der Bonitur (n = 10). Buchstaben zeigen Signifikanzen (Tukey, p < .05) zwischen den Varianten unterteilt für jedes Merkmal und den jeweiligen Zeitpunkt.

	Boniturtermin	Getreidepflanzen je m ²	Unkrautpflanzen je m ²	Unkrautdeckungs- grad [%]
a1	1	228 ± 32 ^a	13 ± 6 ^b	1 ± 1 ^b
P ₂₅	2	231 ± 37 ^a	18 ± 8 ^b	2 ± 2 ^b
	3	190 ± 40 ^a	13 ± 8 ^a	9 ± 9 ^b
a2	1	200 ± 33 ^a	21 ± 6 ^b	3 ± 2 ^b
MS _{locker}	2	208 ± 30 ^a	22 ± 9 ^b	6 ± 4 ^b
	3	166 ± 35 ^a	13 ± 7 ^a	7 ± 7 ^b
a3	1	220 ± 36 ^a	14 ± 7 ^b	1 ± 1 ^b
MS _{tief}	2	251 ± 51 ^a	16 ± 9 ^b	3 ± 2 ^b
	3	204 ± 44 ^a	13 ± 12 ^a	2 ± 2 ^b
a4	1	43 ± 17 ^b	60 ± 22 ^a	44 ± 16 ^a
DS	2	40 ± 18 ^b	50 ± 12 ^a	60 ± 18 ^a
	3	86 ± 41 ^b	22 ± 8 ^a	23 ± 3 ^a
a5	1	228 ± 49 ^a	17 ± 12 ^b	1 ± 1 ^b
P ₂₅	2	236 ± 34 ^a	16 ± 9 ^b	2 ± 2 ^b
	3	203 ± 36 ^a	11 ± 7 ^a	9 ± 9 ^a

P₂₅ = Pflug (≥ 25 cm), MS_{locker} = Mulchsaatverfahren Arbeitstiefe ≥ 18 cm, MS_{tief} = Mulchsaatverfahren Arbeitstiefe 10-15 cm, DS = Direktsaat

Die Grubbervariante MS_{tief} überzeugt in diesem Versuch mit einem hohen Feldaufgang

des Sommerweizens und einer vergleichsweise geringen Verunkrautung. Das Direktsaatverfahren eignet sich aufgrund des hohen Unkrautdeckungsgrades und des relativ geringen Feldaufgangs auch bei der erweiterten Fruchtfolge nicht bei einem Glyphosatverzicht. Die unkrautunterdrückende Wirkung der Luzerne kommt in fast allen Versuchsvarianten zum Tragen. Abgesehen vom verhältnismäßig geringen Durchwuchs der Luzerne konnte im Rahmen der Bonituren 1 und 2 kein Vorkommen weiterer Unkräuter-/gräser festgestellt werden. Lediglich in der Direktsaatvariante kam es zu verstärktem Auftreten durchwachsender Luzerne und weiterer Unkräuter (u.a. Wolfsmilch, Kamille, Löwenzahn, Ehrenpreis, Hirtentäschel, Storchschnabel, Greiskraut und Taubnessel), sodass diese den Aufgang des Sommerweizens fast gänzlich unterdrückten. Zum Entwicklungsstadium BBCH 21-22 des Sommerweizens konnte ein vermehrtes Unkrautauftreten in allen Bearbeitungsvarianten (Windknöterich BBCH 12-13) festgestellt werden. Nach ganzflächiger Unkrautbekämpfung durch den Einsatz des Unkrautstriegels in den Mulchsaatvarianten, sowie des Mulchers in der Direktsaatvariante konnte im Rahmen einer dritten Bonitur festgestellt werden, dass der Grad der Verunkrautung durch mechanische Verfahren zu regulieren ist. Besonders stark kam dies in der Variante a4 (DS) zum Tragen. Der Bekämpfungserfolg des Zinkenstriegels hängt sehr stark von der Unkrautart und ihrem Entwicklungsstadium ab. Die Wirkung beruht auf dem Verschütten von Keimlingen beziehungsweise dem Herausziehen kleiner Pflanzen. Der Unkrautstriegel kann bei möglichst trockenen Boden- und Witterungsverhältnissen in Getreide im Voraufbau als Blindstriegeln oder ab dem 3-Blattstadium erfolgen. Durch das Mulchen wurde die Luzerne in ihrer Konkurrenzkraft stark geschwächt, sodass mehr Kulturpflanzen je m² im Vergleich zu den vorherigen Bonituren festgestellt werden konnten. Auch die Anzahl der Unkrautpflanzen je m² konnte erheblich reduziert werden. Allerdings lag der Sommerweizen (BBCH 13) in dieser Variante im Vergleich zu den anderen in seiner Entwicklung zurück.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Einsatz von Glyphosat lässt sich durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen ersetzen. Bei der wendenden Pflugarbeit und dem tiefen Mulchsaatverfahren waren keine Behandlungen mit Glyphosat erforderlich. Die Substitution von Glyphosatanwendungen durch den Pflug wirkt sich jedoch nachteilig auf die Umwelt sowie den Erosionsschutz aus und verschlechtert die Wirtschaftlichkeit des Anbauverfahrens. Die Minderung von Wasserverlusten durch reduzierte Verfahren erwies sich in der Vierfelderfruchtfolge außerdem oftmals als ertragsentscheidend. Durch die Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität wird bei intakter Bodenstruktur langfristig das Infiltrations- und Speichervermögen von Niederschlägen erhöht. Das Gelingen des flachen Mulchsaat- und des Direktsaatverfahrens in der Vierfelderfruchtfolge setzte allerdings den Einsatz eines nicht selektiven Herbizids voraus. Ein hoher Konkurrenzdruck ausgehend von Durchwuchskulturen und phytosanitäre Aspekte, besonders in Fruchtfolgen mit einem hohen Getreideanteil, erfordern Unkrautbekämpfungsmaßnahmen. Erst in Kombination mit einer Erweiterung der Fruchtfolge kann das System nachhaltig funktionieren. Die Erweiterung der Fruchtfolgen mit mehrjähriger Luzerne erlaubt pfluglose Anbausysteme auch bei einem Glyphosatverbot und bietet einen hohen Grad

an Bodenbedeckung während der gesamten Rotation. Ökologische Effekte sind der Erosionsschutz durch mehrjährige Bodenbedeckung, die wirksame Unkrautbekämpfung durch Schröpfen, Mehrschnittnutzung, Sommerhaltung mit Schafen sowie die Unterdrückung der Feldmauspopulation durch den Huftritt der Schafe beim Weidegang. Durch mehrmaligen Schnitt der Luzerne (3 Schnittnutzung) war es möglich problematische Wurzelunkräuter innerhalb des Nutzungszeitraumes zu erschöpfen und schwer bekämpfbare Ungräser auszuschalten. Den Vorteilen stehen der Wasserverbrauch der Luzerne und die Bodenentleerung bis in den Unterboden/ Untergrund gegenüber. Die stark negative klimatische Wasserbilanz aufgrund langanhaltender Trockenperioden in 2016, 2018 und 2019 hatte zur Folge, dass tiefere Bodenschichten über den Winter nicht aufgefüllt wurden. Die Sommerblanksaat von Luzerne im Direktsaatverfahren (temporäre Direktsaat) überzeugte im Gegensatz zur konventionellen Frühjahrsblanksaat mit Saattfurche durch eine höhere Wassereffizienz bei gleichzeitig höheren Erträgen und geringeren Produktionskosten. Im vierten Jahr der Fruchtfolgeumstellung kam die unkrautunterdrückende Wirkung der Luzerne in Kombination mit Bodenbearbeitung zu Sommerweizen zum Tragen. Durch mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen (Striegeln/Mulchen) gelang es zudem den Unkrautdruck in allen Varianten auf einem überschaubaren Niveau zu halten. Lediglich die Direktsaatvariante zeigte ein verstärktes Unkrautauftreten und eignet sich daher auch bei der erweiterten Fruchtfolge nicht bei einem Glyphosatverzicht. Jede Situation verlangt letztlich ein anderes Vorgehen und auf den jeweiligen Standort, sowie der vorherrschenden Witterung abgestimmte Maßnahmen. Eine explizite Handlungsempfehlung als Patentlösung abgeben zu können, ist daher unmöglich. Viel eher sollte die Unkrautbekämpfung als ganzheitliches System verschiedenster standortangepasster acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen angesehen werden (Abbildung 2).

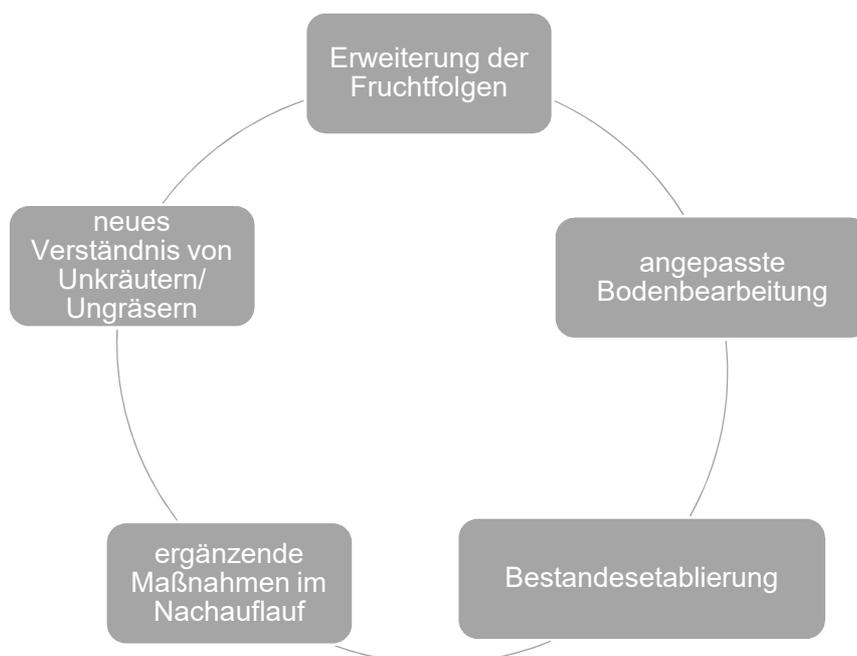


Abb. 2: Wesentliche Komponenten optimaler Anpassungsreaktionen in Folge eines Glyphosatverzichts.(eigene Darstellung)

Der unkrautregulierende Effekt der Bodenbearbeitung ist je nach Witterung und Boden nicht genau vorherzusagen. Daher kann ein vermehrter Aufwand selektiver Herbizide notwendig sein. Der Einsatz sollte stets bedarfsangepasst und situativ erfolgen. Ergänzend bieten sich Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung an. Striegel für die ganzflächige Unkrautregulierung in Getreidebeständen und Hacken für die Bearbeitung zwischen den Pflanzenreihen werden in unterschiedlichsten Ausführungen angeboten (DLG 2019). Die Etablierung der Kulturbestände sollte außerdem stets im Hinblick auf eine möglichst starke Konkurrenzkraft erfolgen. Die Wahl des optimalen Saatzeitpunktes, sowie die Anpassung von Aussaatmenge und Stickstoffversorgung und der Anbau konkurrenzstarker Sorten können den Grad der Verunkrautung maßgeblich beeinflussen (PALLUTT 2000, ZWERGER UND AMMON 2002). Schließlich sollte angelehnt an den ökologischen Landbau ein neues Verständnis von Unkräutern entstehen. Ziel sollte nicht mehr die vollkommene Vernichtung sein, sondern viel eher die Unkrautpopulationen auf einem überschaubaren Niveau zu halten ohne den Ertrag signifikant zu beeinflussen (SCHWARZER 2019). Voraussetzung dafür sind Kenntnisse über Interaktionen und Konkurrenzvorgänge zwischen Kulturpflanzen und Unkräutern (SCHWARZER 2019, ZWERGER UND AMMON 2002). Das Thema Glyphosatverbot ist aktuell von starker Bedeutung und neue Lösungsansätze werden derzeit bundesweit gesucht. Den Betrieben kann aber nur empfohlen werden, schon jetzt betriebsindividuelle Strategien zu entwickeln, um sich auf die Zeit „nach Glyphosat“ einzustellen.

Literatur

AL-RAJAB, A.J., AMELLAL, S., SCHIAVON, M. (2008) Sorption and leaching of ¹⁴C-glyphosate in agricultural soils. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 419-428.

BISCHOFF J., GROSA A., GRUBE J., MEINEL T. (2018) *Praxishandbuch Bodenbearbeitung und Aussaat*. Hrsg.: Erling Verlag GmbH & Co. KG.

DEUTSCHER BAUERNVERBAND (DBV) (2020) *Situationsbericht 2019/20. Trends und Fakten zur Landwirtschaft*. Hrsg.: Deutscher Bauernverband e.V..

DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (DLG), KÖLLER K.H., VINZENT B., DEMMEL M. (2019) *DLG-Merkblatt 449 Mechanische Unkrautregulierung – Technik für die Praxis*. Hrsg.: DLG e. V. Fachzentrum Landwirtschaft.

GROS, P., AHMED, A., KÜHN, O., LEINWEBER, P. (2017) Glyphosate binding in soil as revealed by sorption experiments and quantum-chemical modeling. *Science of the Total Environment* 586. 527-535.

GROS, P., MEISSNER, R., WIRTH, M.A., KANWISCHER, M., RUPP, H., SCHULZ-BULL, D.E., LEINWEBER, P. (2020) Leaching and degradation of ¹³C₂-¹⁵N-glyphosate in field lysimeters. *Environmental Monitoring and Assessment* 192, 127. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8045-4>.

OKADA, E., ALLINSON, M., BARRAL, M.P., CLARKE, B., ALLINSON, G. (2020) Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) are commonly found in urban streams and wetlands of Melbourne, Australia. *Water Research* 168, 115139. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115139>.

PALLUTT B. (2000) Unkrautunterdrückung und -bekämpfung durch Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung, Aussaatzeit, Saatmenge und Stickstoffversorgung. Tagungsbeitrag zur Konferenz: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze. Drittes Fachgespräch: "Unkrautregulierung im ökologischen Landbau", am 02.11.1999 in Kleinmachnow. 46. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft: 35-46.

PETERSEN J. (2019): Gesamtbetriebliche Effekte zur Anwendung von Glyphosat. Tagungsbeitrag zum Fachkolloquium zur Anwendung von Glyphosat am 18.02.2019 in Jena.

PESTICIDE PROPERTIES DATABASE (PPDB) University of Hertfordshire. Glyphosate and AMPA. University of Hertfordshire. Abgerufen 25. März 2020, von <https://system.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/373.htm>.

RICHTER R. (2020) Prozesskosten im Ackerbau in Sachsen-Anhalt. Hrsg.: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau.

SCHMITZ M. UND GRAVERT H. (2012) Die ökonomische Bedeutung des Wirkstoffes Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. Journal für Kulturpflanzen 64 (5): 150-162.

SCHMITZ P.M., MAL P., HESSE J.W (2014) The Importance of Conservation Tillage as a Contribution to Sustainable Agriculture: A Special Case of Soil Erosion. Ed. Institute for Agribusiness, Agribusiness-Research (32).

SCHULTE M. UND THEUVSEN L. (2015) Der ökonomische Nutzen von Herbiziden im Ackerbau unter besonderer Berücksichtigung des Wirkstoffs Glyphosat. Journal für Kulturpflanzen 67 (8): 269-279.

SCHULTE M., THEUVSEN L. WIESE A., STEINMANN H.H. (2016) Die ökonomische Bewertung von Glyphosat im deutschen Ackerbau. Tagungsbeitrag zur 56. Jahrestagung der GEWISOLA „Agrar- und Ernährungswirtschaft: Regional vernetzt und global erfolgreich“ am 28.- 30.09 2016 im Bonn.

SCHWARZER S. (2019) Alternativen zur Nutzung von Glyphosat – Methoden einer Ressourcen aufbauenden Landwirtschaft. LOP 09/10: 40-43.

STEINMANN H.-H., DICKEDIUSBERG M., THEUVSEN L. (2012) Uses and benefits of glyphosate in german arable farming. Crop Protection 42: 164-169.

SKARK C., ZULLEI-SEIBERT N., WILLME U., GATZEMANN U., SCHLETT C. (2004) Contribution of non-agricultural pesticides to pesticide load in surface water. Pest Manag. Sci. 60 (6): 525-530.

TAUCHNITZ N., KURZIUS F., RUPP H., SCHMIDT G., HAUSER B., SCHRÖDTER M., MEISSNER R. (2020) Assessment of pesticide inputs into surface waters by agricultural and urban sources - A case study in the Querne/Weida catchment, central Germany. Environ. Pollut.: In Press, Available online 11 July 2020, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115186>.

VAN BRUGGEN, A.H.C., HE, M.M., SHIN, K., MAI, V., JEONG, K.C., FINCKH, M.R., MORRIS, J.G.JR. (2018) Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. Science of the Total Environment 616-617: 255-268.

WIESE A., SCHULTE M., THEUVSEN L., STEINMANN H-H. (2016) Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Betriebliche Aspekte. Julius-Kühn-Archiv, 452: 255-262.

ZWERGER P., AMMON H.-U. (2002) Unkraut: Ökologie und Bekämpfung. Verlag Eugen Ulmer.

