

# Untersuchung des Einflusses einer diskontinuierlichen Ablage der P-Unterfußdüngung bei Mais – erste einjährige Ergebnisse von Feldversuchen

Max Bouten, Till Meinel, Wolfgang Kath-Petersen

Für eine zügige Jugendentwicklung ist Mais auf eine unmittelbare Verfügbarkeit der notwendigen Nährstoffe angewiesen, da er besonders im Jugendstadium ein eingeschränktes Aneignungsvermögen besitzt. Die P-Versorgung wird in der Praxis häufig durch eine Unterfußdüngung sichergestellt. In der Regel wird hier auf Mehrfachdünger mit Anteilen an Phosphor (P), Stickstoff (N), Schwefel (S) sowie weiteren Nährstoffen zurückgegriffen. Das Düngergranulat wird als kontinuierliches Düngeband parallel zur Saatreihe, auch im Bereich zwischen den Körnern, abgelegt. Dosierte man den Dünger gezielt und konzentriert ihn im Bereich des einzelnen Kornes könnten bis zu 25% der aufgewendeten Menge eingespart werden. So lassen sich Kosten senken und die Umwelt schonen. Im Rahmen eines durch das BMEL geförderten Forschungsprojektes sollen die Möglichkeiten einer punktgenauen Düngerapplikation untersucht und eine technische Lösung zur Realisierung der punktgenauen Ablage gefunden werden. Die Durchführung des Projektes erfolgt in Kooperation mit der Kverneland Group Soest. In ersten Freilandversuchen mit Diammoniumphosphat konnte die Hypothese einer verbesserten Jugendentwicklung auf verschiedenen Standorten bestätigt werden. Die Versuche zeigten bei den punktuell gedüngten Varianten sogar signifikante Wachstumsvorteile in der Jugendphase.

## Schlüsselwörter

Maisaussaat, Jugendentwicklung, Unterfußdüngung, Düngereinsparung, Freilandversuche

Zur Maisaussaat hat sich die Unterfußdüngung mit Mineraldünger in der Praxis etabliert. Dabei handelt es sich in der Regel um ein phosphorhaltiges Düngergranulat, das besonders während der Jugendentwicklung der Maispflanze die Nährstoffaufnahme unterstützen soll (HEINITZ et al. 2013). Bei Einzelkornsämaschinen erfolgt die Dosierung der zum Standort und zum Saatzeitpunkt passenden Dünge menge kontinuierlich und wird durch ein dem Sächar vorlaufendes Dünge schar an der Säreihe der Einzelkornsämaschine in den Boden eingebracht (Abbildung 1). So wird etwa 5 cm unterhalb und 5 cm neben der Saatreihe ein kontinuierliches Dünge band abgelegt, welches den Keimwurzeln einen direkten Zugriff auf die Nährstoffe ermöglicht.

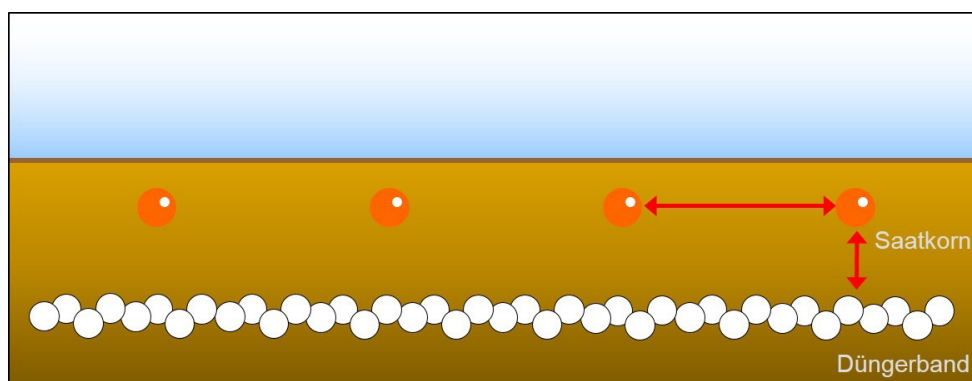


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer kontinuierlichen Ablage der Unterfußdüngung

Bei Maisaussaaten mit einer Saatstärke von rund 90.000 Körner/ha bei einer Reihenweite von 75 cm sind die Maiskörner in einem Abstand von etwa 15 cm in der Reihe abgelegt. Gerade in der Jugendentwicklung ist aber die Durchwurzelung des Bodens und somit die Nährstoffaufnahme der Maispflanze begrenzt und damit bleibt ein Teil des Düngers im Düngeband möglicherweise ungenutzt. Es wird vermutet, dass bis zu 25% der ausgebrachten Düngemenge durch eine optimierte Ablage der Unterfußdüngung eingespart werden kann (Abbildung 2). Dies hat positive Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaftlichkeit des Maisanbaus. Die Schlagkraft der Aussaat wird gesteigert, der Aufwand für die Düngelogistik gemindert sowie ein eventuell vorhandener Nährstoffüberschuss an Phosphor reduziert.

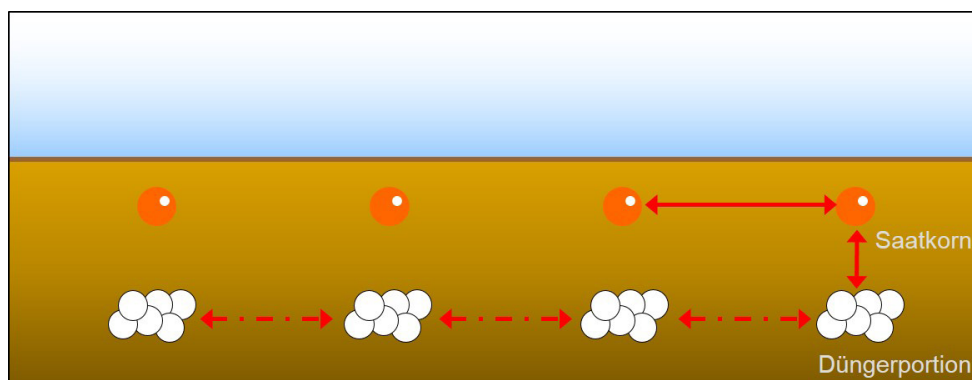


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer diskontinuierlichen Ablage der Unterfußdüngung

In einem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten Forschungsprojekt soll dieser Fragestellung nachgegangen werden. Dabei steht zunächst die pflanzenbauliche Betrachtung im Vordergrund. Nur wenn der Maisbestand keine negativen Auswirkungen aufgrund der veränderte Zuteilung des Düngers zeigt, sollen in weiteren Untersuchungen die technischen Möglichkeiten geklärt werden.

Das Forschungsvorhaben verfolgt dazu folgende pflanzenbauliche Hypothesen:

- Rasche und sichere Jugendentwicklung durch punktgenaue Düngerapplikation
- Ertragsneutrales Einsparpotenzial durch punktgenaue Zuteilung
- Steigerung des Ertragspotenzials bei gleichbleibendem Düngeaufwand
- Erhöhtes Einsparpotenzial bei Engsaat gegenüber Normalsaat bei punktgenauer Düngerablege

## Material und Methoden

Die ersten Feldversuche wurden in der Vegetationsperiode 2017 angelegt. Da noch keine Technik für die gezielte Dosierung verfügbar ist, erfolgte die diskontinuierliche Düngapplikation manuell.

Für den durchgeführten Praxisversuch wurden drei Flächen ausgewählt (Tabelle 1). Unterschiede im Klimaverlauf und wechselnde Bodenverhältnisse wurden dabei genauso berücksichtigt wie die Möglichkeit der zeitgerechten und kostenbewussten Betreuung, da während der Jugendentwicklung wöchentlich Bonituren durchgeführt wurden. Die beiden ausgewählten Versuchsstandorte im Rheinland unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrer Bodengüte, während die dritte Versuchsfläche (Südwestfalen) zum einen das Risiko durch klimatische Einflüsse (bspw. Unwetter) mindern soll, zum anderen eine weitere für den Maisanbau typische Bodenart betrachtet wird.

Die Versuchsstandorte unterscheiden sich im Hinblick auf ihren Versorgungszustand für wichtige Pflanzennährstoffe im Boden (Tabelle 1) und ihrer fruchtfolgetypischen Bewirtschaftung.

Tabelle 1: Charakterisierung der Versuchsflächen mit Angabe der Fruchtfolge, der erfolgten Bodenbearbeitung und Nährstoff-Versorgungsklassen (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2017, LUFA Nord-West 2017)

Versuchsfläche	Fläche – Rheinbach	Fläche – Weilerswist	Fläche – Lippstadt
Region	Rheinland		Südwestfalen
Vorfrucht	Zuckerrüben	Wintergerste	Körnermais
Bodenart	sandiger Lehm (sL)	sandiger Lehm (sL)	lehmiger Sand (IS)
Bodentyp	Pseudogley-Vega	Parabraunerde	Gleye
Grundbodenbearbeitung	-	Pflug	Pflug + Packer
Saatbettbereitung	Kurzscheibenegge	Kreiselegge	Grubber
<b>Nährstoffversorgungsgrad nach Bodenuntersuchung</b>			
N <sub>min</sub> (0–30 cm) in kg N ha <sup>-1</sup>	45	24	18
Phosphor (P)	B	C	B
Kalium (K)	A	C	C
Magnesium (Mg)	C	C	B
Kupfer (Cu)	C	C	C
Mangan (Mn)	E	E	E
Bor (B)	C	C	C
Zink (Zn)	E	E	E
pH-Wert	B	B	B

Gehaltsklassen nach LUFA Nord-West (2017):

A = sehr gering; B = niedrig; C = anzustreben; D = hoch; E = sehr hoch

Zwei der Versuchsflächen (Rheinbach und Lippstadt) weisen vor der Versuchsanlage mit Versorgungsstufe B für Phosphor eine leichte Unterversorgung auf. Es wurde daher erwartet, dass unterschiedliche Effekte der oben beschriebenen Düngerplatzierung (Abbildung 1 und 2) nachgewiesen werden können.

Zur Prüfung der genannten Hypothesen wurden Versuche mit fünf unterschiedlichen Düngungsvarianten in vierfacher Wiederholung auf den Versuchsfeldern angelegt. Die Versuchsanlage erfolgte als vollständig randomisiertes Design (Abbildung 3). Die Aussaat erfolgt auf allen Flächen mit 75 cm Reihenweite und auf den zwei Flächen im Rheinland zusätzlich in Engsaat mit 37,5 cm Reihenweite.

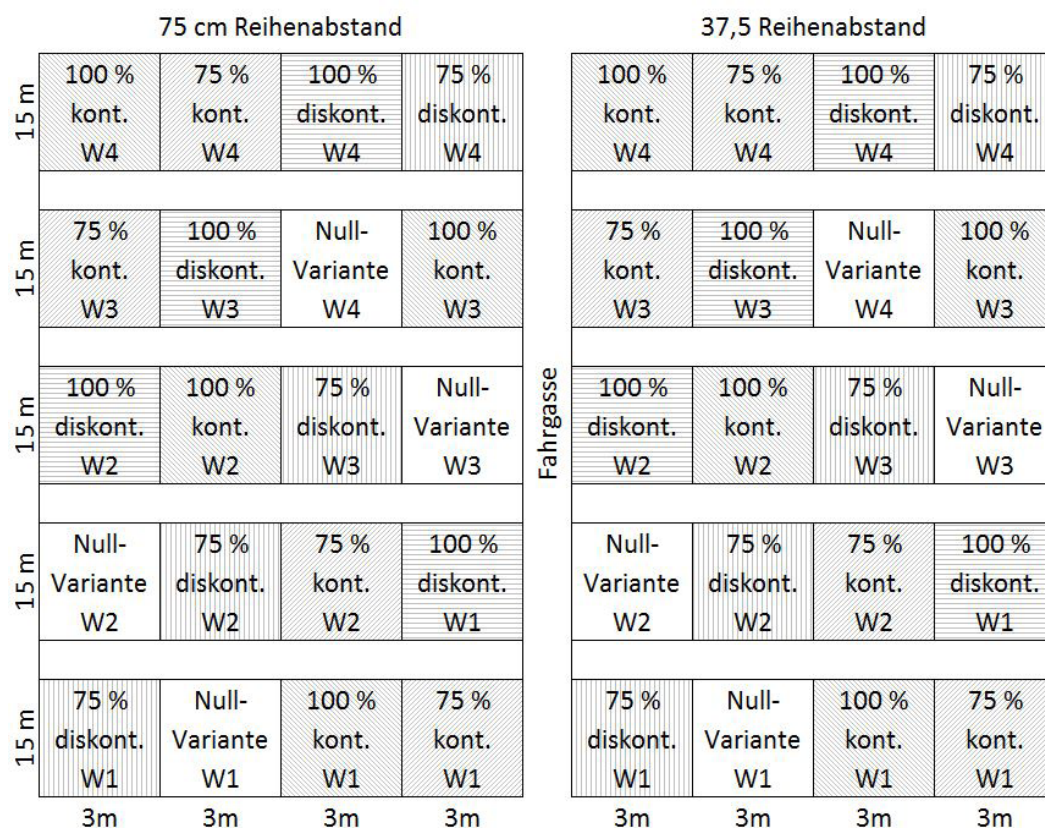


Abbildung 3: Anlageplan der Versuchsglieder (kont. = kontinuierliches Düngeband; diskont.= punktgenaue Düngergabe; W1-W4 = Wiederholungen 1-4; Dünger = DAP; Null-Variante ohne DAP)

Neben den „kontinuierlichen“ und „diskontinuierlichen“ Varianten mit 100% der heute praxisüblichen Düngermenge wurde mit jeder Ablageart auch eine auf 75% Aufwandmenge reduzierte Variante angelegt. Für die Versuche kam auf allen Standorten Diammoniumphosphat (DAP) mit einem Massenanteil von 46% Phosphat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) und 18% Ammoniumstickstoff (NH<sub>4</sub>-N) zum Einsatz (Tabelle 2).

Die standortspezifische Düngermenge der 100-Prozent-Varianten orientierte sich an dem Versorgungszustand und der Bodengüte des Standortes (siehe Tabelle 1).

Tabelle 2: Übersicht der angewandten Aussaatstärke und Düngeraufwandmenge in Abhängigkeit von Versuchsvariante und Standort

Versuchsvariante	Einheit	Rheinbach	Weilerswist	Lippstadt
		sL	Bodenart sL	IS
100 % kontinuierlich	kg DAP ha <sup>-1</sup>	120	100	150
100 % diskontinuierlich				
75 % kontinuierlich	kg DAP ha <sup>-1</sup>	90	75	110
75 % diskontinuierlich				
Kontrollvariante	kg DAP ha <sup>-1</sup>	0	0	0
Düngerart	Diammoniumphosphat (46 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 18 % NH <sub>4</sub> -N)			
Aussaatstärke Mais	8,9 Körner/m <sup>2</sup> (Sorte: KWS Ricardinio)			

Die Aussaat erfolgte mit einer handelsüblichen Einzelkornsämaschine (Modell „Optima“ der Fa. Kverneland). Die Einzelkornsämaschine „Optima“ verfügt über das sogenannte GEO-seed – eine elektronische Aussaatsteuerung und -synchronisation –, wodurch die Saatkörner aller vier Reihen im Rechteckverband zeitgleich abgelegt werden können (Parallelsaart). Dies erleichtert die ortsgenaue Platzierung der manuellen Düngegabe mit einer speziell angefertigten Dängelanze. Stichprobenartige Kontrollen bestätigen die exakte Arbeit der Elektronik und der dazu passenden manuellen Düngergabe. Die jeweils äußeren Maisreihen (1 und 4) wurden zur Kontrolle der Saatgenauigkeit verwendet; die beiden mittleren Maisreihen dienten für nachfolgende Pflanzenbonituren. Nach der Aussaat erfolgte die diskontinuierliche Unterfußdüngung manuell, da die verwendete Maschine keine Möglichkeit der diskontinuierlichen Zuteilung bietet. Hierbei wird mit einer manuellen Vorrichtung das Düngergranulat in der Nähe des Kornes punktgenau abgelegt, die Kontrollreihen werden wieder verschlossen und mit handgeführter V-Druckrolle angeedrückt. Diese Arbeitsschritte wurden zügig ausgeführt, damit die Saatreihen nicht austrockneten.

Die Aussaattermine waren entsprechend der Standorte „betriebsüblich“ von Anfang bis Ende April 2017 (Tabelle 3). Ein anschließender Kälteeinbruch verzögert den Feldaufgang der Fröhsaaten. Da über alle Behandlungsvarianten ein homogener Feldaufgang vorlag, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den manuell gedüngten und den maschinell gedüngten Maisbeständen nachgewiesen werden.

Tabelle 3: Aussaattermine und mittlerer Feldaufgangsraten in den Versuchspartellen

	Rheinbach	Weilerswist	Lippstadt
Bodenart	sL	sL	IS
Aussaattermin	07.-08.04.2017	10.-11.04.2017	27.-28.04.2017
Feldaufgang in % (Wertespanne aller Varianten je Standort)	86-91	86-89	91-96

DLG Bewertungsschema Feldaufgang: „gut“ (85-89 %); „sehr gut“ (≥ 90 %)

Das Anbaujahr 2017 war gekennzeichnet durch ein überdurchschnittlich warmes und trockenes erstes Halbjahr (Tabelle 4) sowie durch ungewöhnlich hohe Niederschlagsmengen im Juli und August in beiden Versuchsregionen. Weiterhin verzögerten die Wetterbedingungen im April 2017 aufgrund der niedrigen Temperaturen die Entwicklung der Maisbestände.

Tabelle 4: Wetter- und Klimadaten der Versuchsstandorte Rheinland und Südwestfalen unter Angabe der monatsbezogenen Abweichungen zum Mittelwert der Jahre 1981 bis 2010 (WETTERKONTOR GMBH 2017)

Monat	Rheinland (Standorte Rheinbach, Weilerswist) (Messstation: Euskirchen-Lommersum)				Südwestfalen (Standort Lippstadt) (Messstation: Lippstadt-Borkenförde)			
	Temperatur in °C		Niederschlag in mm		Temperatur in °C		Niederschlag in mm	
	Monats- mittel	Abweichung vom lang- jährigen Mittel	Monats- summe	Abweichung vom lang- jährigen Mittel in %	Monats- mittel	Abweichung vom lang- jährigen Mittel	Monats- summe	Abweichung vom lang- jährigen Mittel in %
Jan. 2017	0,0	-2,6	22,7	-40	0,1	-2,3	36,8	-43
Feb. 2017	5,6	+2,8	26,8	-65	4,9	+2,3	49,1	-6
Mrz. 2017	9,2	+3,0	47,3	-1	8,7	+2,9	33,7	-52
Apr. 2017	8,2	-1,2	17,3	-64	8,0	-1,1	23,4	-55
Mai. 2017	15,5	+1,7	36,5	-43	14,8	+1,4	72,6	+8
Jun. 2017	19,1	+2,7	48,5	-27	18,1	+2,1	42,2	-46
Jul. 2017	19,2	+0,3	118,1	<b>+79</b>	18,6	+0,3	153,7	<b>+81</b>
Aug. 2017	18,3	+0,1	87,5	<b>+46</b>	18,1	+0,1	110,2	<b>+45</b>
Sep. 2017	14,1	-0,6	44,3	-21	13,8	-0,6	71,2	-1
Okt. 2017	12,5	+1,6	26,1	-46	12,2	+1,6	39,5	-40

Die Maisbestände wurden in der Jugendentwicklung wöchentlich bonitiert (n = 40 Pflanzen je Versuchsvariante und Standort). Neben der Pflanzenhöhe und dem Entwicklungsstadium nach BBCH-Skala (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT 2001) wurden unter anderem die Blattfarbe erfasst. Die in jungen Maisbeständen häufig auftretenden Phosphormangelercheinungen, erkennbar durch eine Purpurfärbung der Blätter, wurden visuell durch den Vergleich mit Farbkarten mit ganzzahligen Bewertungszahlen zwischen 0 (kein Mangel erkennbar) und 4 (starke und großflächige Verfärbungen) bewertet. In Ergänzung zu der wöchentlichen visuellen Bonitur wurden Blattproben des sich entfaltenden achten Laubblattes (BBCH 18) bei allen Versuchsgliedern genommen und die Blätter auf ihren Stickstoff- und Phosphorgehalt untersucht.

## Ergebnisse und Diskussion

Im Verlauf der Jugendentwicklung wurden die Wachstumsvariablen wöchentlich erfasst. Zudem wurden Blattanalysen als Verifizierung der visuellen Bewertungen zu unterschiedlichen Wachstumsstadien durchgeführt. Die Ernte der Maispflanzen und alle erforderlichen Analysen erfolgen für die Ganzpflanze bei Silomais und für die Kolben bei Körnermais.

### Jugendentwicklung

Abbildung 4 zeigt exemplarisch den Einfluss der Düngungsvarianten auf der Fläche „Rheinbach“ mit 37,5 cm Reihenabstand auf den Wachstumsverlauf der Maispflanzen. Die Varianten mit 75 cm Reihenabstand (Daten in Abbildung 4 nicht dargestellt) zeigen vergleichbare Ergebnisse und folgen dem gleichen Trend: Im frühen Jugendstadium liegen die Varianten noch sehr dicht beieinander. Ab Kalenderwoche 21 wächst der Bestand auseinander und die gedüngten Parzellen treten deutlicher hervor. Die kontinuierlich gedüngten Pflanzen fallen jetzt erkennbar hinter den punktuell gedüngten zurück. Die Kontrollvariante (ohne Unterfußdüngung) zeigt erwartungsgemäß die geringste mittlere Pflanzenhöhe. Es zeigt sich sowohl ein Effekt bei den aufgewendeten Düngemengen als auch bei der Form der Zuteilung.

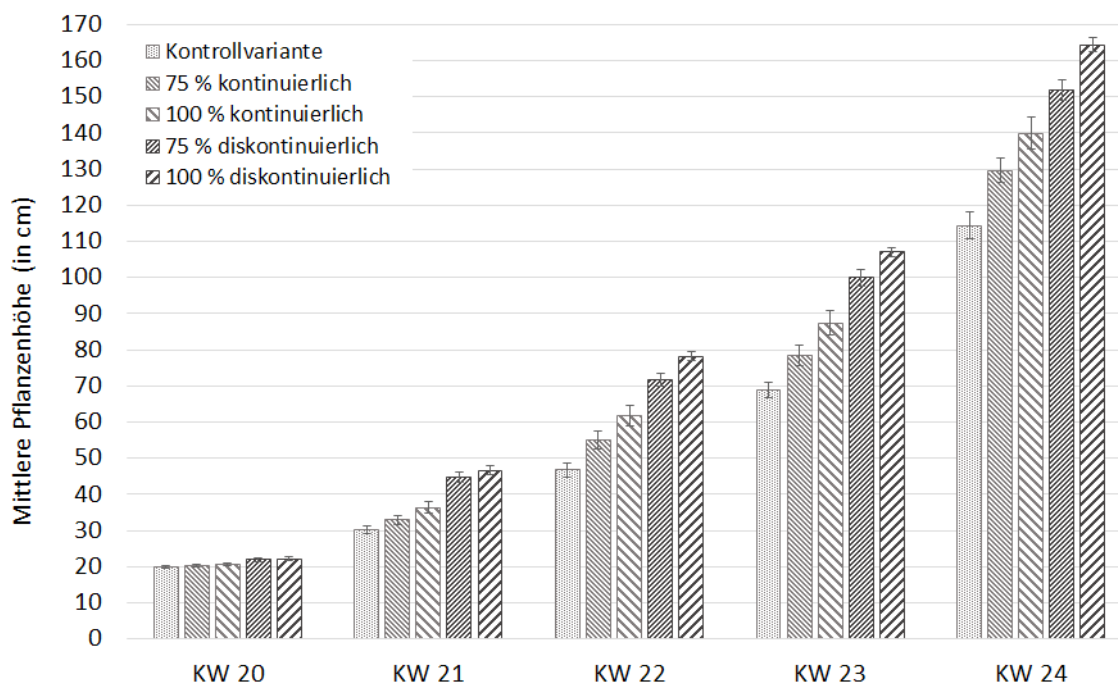


Abbildung 4: Entwicklung der mittleren Pflanzenhöhe bei 37,5 cm Reihenabstand auf dem Versuchsstandort Rheinbach für den Zeitraum von KW 20 bis KW 24 (KW = Kalenderwoche) mit grafischer Angabe des 90-Prozent-Konfidenzintervalls (Fehlerbalken oberhalb der jeweiligen Säulen)

Ein Vergleich der Varianten „100 % kontinuierlich“ zu „75 % diskontinuierlich“ zeigt einen signifikanten Effekt ( $p < 0,1$ ) der diskontinuierlichen Ablage der Unterfußdüngung auf die mittlere Pflanzenhöhe in Kalenderwoche 24, vermutlich verursacht durch die höhere Nährstoffkonzentration und dadurch bessere Nährstoffverfügbarkeit.

Zusammenfassend für alle Versuchsflächen und Varianten zeigt Tabelle 5 die mittlere Pflanzenhöhe zum Zeitpunkt des Überganges von der Jugendentwicklung zum Längenwachstum (BBCH 19/30, Messungen vom 12.-18.06.17), jeweils normiert auf die Variante „100 % kontinuierlich“. Die Messdaten erfüllen ein 90-Prozent-Signifikanzniveau ( $p < 0,1$ ), was primär auf die recht geringen Unterschiede zwischen den Varianten auf der besser versorgten Fläche „Weilerswist“ zurückzuführen ist. Besonders auffällig ist, dass die höchste „diskontinuierliche“ Konzentration des Düngedepots auch das größte Längenwachstum zeigt.

Tabelle 5: Mittlere relative Pflanzenhöhe normiert auf die jeweilige 100%-kontinuierlich-Varianten (= 100 %) bei Abschluss der Jugendentwicklung (BBCH 19/30). Ein Vergleich ist nur innerhalb der Spalten sinnvoll. Mittelwerte, die mit einem gemeinsamen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ( $p < 0,1$ ).

		Einheit	Rheinbach	Weilerswist	Lippstadt	Mittelwert über alle Standorte
Bodenart			sL	sL	IS	
75 cm Normalsaat	Kontrollvariante	%	68 <sup>A</sup>	94 <sup>A</sup>	87 <sup>A</sup>	83 <sup>A</sup>
	75 % kontinuierlich	%	98 <sup>B</sup>	100 <sup>B</sup>	98 <sup>B</sup>	99 <sup>B</sup>
	100 % kontinuierlich	%	100 <sup>B</sup>	100 <sup>B</sup>	100 <sup>B</sup>	100 <sup>B</sup>
75 cm Engsaat	75 % diskontinuierlich	%	114 <sup>C</sup>	102 <sup>BC</sup>	108 <sup>C</sup>	108 <sup>C</sup>
	100 % diskontinuierlich	%	122 <sup>D</sup>	104 <sup>C</sup>	111 <sup>C</sup>	112 <sup>C</sup>
37,5 cm Engsaat	Kontrollvariante	%	79 <sup>A</sup>	91 <sup>A</sup>	-	85 <sup>A</sup>
	75 % kontinuierlich	%	90 <sup>B</sup>	97 <sup>B</sup>	-	94 <sup>B</sup>
	100 % kontinuierlich	%	100 <sup>C</sup>	100 <sup>C</sup>	-	100 <sup>B</sup>
	75 % diskontinuierlich	%	115 <sup>D</sup>	104 <sup>D</sup>	-	110 <sup>C</sup>
	100 % diskontinuierlich	%	123 <sup>E</sup>	106 <sup>D</sup>	-	115 <sup>C</sup>

Neben dem Längenwachstum wurden auch visuell erkennbare Mangelerscheinungen dokumentiert. Besonders auffällig zeigt sich der P-Mangel in der Jugendentwicklung durch Verfärbungen einzelner Blätter an den Maispflanzen (Abbildung 5).



Abbildung 5: Visueller Vergleich im Hinblick auf Mangelerscheinungen zwischen „Kontrollvariante“ (Bild links) und der „100 % diskontinuierlich“ gedüngten Variante (Bild rechts) auf der Fläche Rheinbach (aufgenommen am 29.05.17). Das linke Bild zeigt ausgeprägte P-Mangelerscheinungen bei der Maispflanze, das rechte Bild eine Maispflanze ohne visuell feststellbare Nährstoffmangelerscheinungen.

Generell traten die für Phosphormangel typischen purpurnen Verfärbungen im Frühjahr 2017 nur auf einer der drei Versuchsflächen (Rheinbach im Rheinland) in größerem Umfang auf. Die Intensität der Verfärbungen hängt hier direkt mit der Aufwandmenge und der Applikationsart der Unterfußgabe zusammen. Durch die platzierte Düngung konnten visuell erkennbare Phosphormangelerscheinungen deutlich gesenkt werden. So zeigten sich bei den diskontinuierlich gedüngten Varianten bei weniger als 10% der bonitierten Pflanzen ein Phosphormangel. Bei den kontinuierlich ge-



düngten Varianten zeigten hingegen über 50% der bonitierten Pflanzen mittlere oder starke Mangelerscheinungen. Die Pflanzenanalysen der Blätter ergaben keine signifikanten Unterschiede bei den Inhaltsstoffen Stickstoff und Phosphor. Dies lässt auf eine höhere absolute Nährstoffaufnahme der diskontinuierlich gedüngten Varianten schließen, da diese Varianten bei vergleichbaren Nährstoffgehalten analog zur Wuchshöhe mehr Pflanzenmasse gebildet haben. Aus den Ergebnissen wird daher die Schlussfolgerung abgeleitet, dass ein in der Nähe des Saatkorns ausgebrachtes Phosphat-Nährstoff-Depot zu einer besseren Jugendentwicklung der Maispflanzen führt als durch die klassische Platzierung des Düngers in einem kontinuierlichen Düngerband.

### Ernteergebnisse

Ende September begann die Ernte der Parzellen zur Silomaisreife (BBCH 87, Erntezeitpunkt 21.09.17). Nach Schnitt und Häckseln der Ganzpflanze folgte die Bestimmung der Inhaltsstoffe durch die LUFA. Die Ergebnisse zur Erntemenge zeigen eine Annäherung der Varianten.

Die Unterschiede sind nicht mehr so deutlich wie noch im Frühjahr. Die 100-Prozent-Variante mit gezielter Ablage des Depots setzt sich aber dennoch signifikant ab: Es liegen bis zu 15% Ertragsunterschied zwischen der Nullvariante und der maximal versorgten Variante. Vergleicht man aber, wie zu Beginn, die 100%-kontinuierlich-Variante mit der 75% diskontinuierlich gedüngten Variante, so haben sich die Unterschiede deutlich verwachsen. Sie sind auf maximal 2% zurückgegangen und sind damit nicht signifikant (Tabelle 6). Trotzdem wird die anfängliche Hypothese damit bestätigt, denn die diskontinuierliche Variante ist auf jeden Fall nicht schwächer. Diese Äquivalenz zwischen den beiden Varianten galt es zu prüfen. Die wachsende Maispflanze ist scheinbar in der Lage den Unterschied im Bestand auszugleichen, wenn die äußeren Verhältnisse günstig sind. Mehrjährigen Versuche sollen zeigen, ob sich diese Eindrücke aus den Witterungsverhältnissen auch wiederholt bestätigen lassen. Mit Feldaufgang und beginnender Vegetation lagen milde Temperaturen vor. Der Sommer war warm und regenreich. Günstige Voraussetzungen also, kontinuierlich mobilisierte Nährstoffe aus dem Boden aufzunehmen und intensiven Stoffumsatz für C4-Pflanzen zu erreichen. Welchen Einfluss kalte oder feuchte Verhältnisse auf die Auswirkungen der punktgenauen Düngerplatzierung haben, sollen die Folgejahre zeigen.

Tabelle 6: Absoluter und normierter Silomais-Trockenmasseertrag (Werte in Klammern; 100 % kontinuierlich = 100 %) der Engsaat-Varianten in Rheinbach und Weilerswist. Ein Vergleich ist nur innerhalb der Spalten sinnvoll. Mittelwerte die mit einem gemeinsamen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ( $p < 0,1$ ).

		Rheinbach	Weilerswist	Mittelwert
Bodenart		sL	sL	
Ertrag Silomais Trockenmasse in t/ha	Kontrollvariante	18,8 (97%) <sup>A</sup>	16,2 (95%) <sup>A</sup>	96% <sup>A</sup>
	75% kontinuierlich	18,9 (97%) <sup>A</sup>	17,0 (100%) <sup>A</sup>	98% <sup>A</sup>
	100% kontinuierlich	19,4 (100%) <sup>A</sup>	17,0 (100%) <sup>A</sup>	100% <sup>A</sup>
	75% diskontinuierlich	19,9 (102%) <sup>AB</sup>	16,9 (99%) <sup>A</sup>	101% <sup>AB</sup>
	100% diskontinuierlich	21,8 (112%) <sup>B</sup>	17,7 (104%) <sup>B</sup>	108% <sup>B</sup>

Wie bei der Silomaisernte dargestellt, zeigt sich auch in den Ernteparzellen für Körnermais ein ähnliches Bild (Tabelle 7): Die Varianten haben sich untereinander angenähert, der Unterschied zwischen Kontrollvariante und diskontinuierlich zugeteilter Menge bleibt signifikant. Insgesamt haben sich auch im Kornertrag die anfänglich schwächeren Bestände erholt und den besseren angenähert. Vergleicht man die Körnermaiserträge der gedüngten Varianten zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten 100 % diskontinuierlich und 100 % kontinuierlich ( $p < 0,1$ ).

Tabelle 7: Absoluter und normierter Körner-Trockenmasseertrag (Werte in Klammern; 100 % kontinuierlich = 100 %) der Normal Saat-Varianten über alle Standorte. Ein Vergleich ist nur innerhalb der Spalten sinnvoll. Mittelwerte die mit einem gemeinsamen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich nicht signifikant ( $p < 0,1$ ).

		Rheinbach	Weilerswist	Lippstadt	Mittelwert
Bodenart		sL	sL	IS	
Kornertrag TM in t/ha	Kontrollvariante	11,3 (96%) <sup>A</sup>	10,2 (96%) <sup>A</sup>	9,1 (96%) <sup>AB</sup>	96% <sup>A</sup>
	75% kontinuierlich	11,9 (102%) <sup>A</sup>	10,5 (99%) <sup>A</sup>	9,2 (97%) <sup>A</sup>	99% <sup>AB</sup>
	100% kontinuierlich	11,7 (100%) <sup>A</sup>	10,7 (100%) <sup>A</sup>	9,5 (100%) <sup>AB</sup>	100% <sup>AB</sup>
	75% diskontinuierlich	12,3 (105%) <sup>AB</sup>	10,4 (97%) <sup>A</sup>	9,9 (104%) <sup>AB</sup>	102% <sup>BC</sup>
	100% diskontinuierlich	12,6 (107%) <sup>B</sup>	10,7 (100%) <sup>A</sup>	10,4 (109%) <sup>B</sup>	106% <sup>C</sup>

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Zum Vegetationsbeginn konnten die gezielt gedüngten Varianten, auch bei reduzierter Nährstoffmenge, überzeugen. Es zeigten sich signifikante Unterschiede auf allen Standorten. Im Laufe der Vegetation nahm dieser Vorteil ab, die Varianten glichen sich über die weitere Vegetationsphase an. Dies verdeutlicht, dass die junge Pflanze den räumlich zum Saatkorn nah platzierten Dünger besser nutzen kann als den zwischen den Einzelpflanzen platzierten. Die Konzentration nahe des Saatkornes wird natürlich höher, wenn die Menge aus dem Pflanzenzwischenraum dort zusammengefasst liegt. Aber der Mais scheint das Angebot nutzen und umsetzen zu können. In dem dargestellten Versuchsjahr nahm der Vorsprung im Wachstum nach rund vier bis sechs Wochen ab. Es wird daher vermutet, dass der leicht verfügbare P-Vorrat nach diesem Zeitraum aufgebraucht ist und die Pflanzenwurzeln die notwendigen Nährstoffe aus dem umliegenden Boden aufnehmen.

Eine ungünstigere Witterung im Sommer kann die Vorteile der diskontinuierlichen Varianten noch steigern, so die Vermutung. Im Jahr 2017 waren die Verhältnisse mit feuchter, warmer Witterung im Sommer allgemein förderlich für das Wachstum. Trockene Kälte im Frühjahr kann der mangelhaft versorgten Maispflanze zusetzen. Dann könnte ein früher Zugang zu einem ausreichenden Nährstoffangebot günstig sein. Der Vorteil in der Jugendentwicklung konnte mit der gezielten Düngung nachgewiesen werden. Weitere Versuchsjahre werden zeigen, ob anspruchsvollere Witterungsverhältnisse zur Vegetation auch noch Unterschiede zeigen, wenn das zur Saat angelegte Depot verbraucht ist.

Die anfängliche Hypothese zur punktgenauen Ablage des Düngers am Korn scheint nach dem ersten Versuchsjahr bestätigt. Fasst man die übliche P-Düngemenge zur Aussaat zusammen und konzentriert diese unterhalb des Kornes kann man 25 % der P-Düngemenge einsparen. Besonders auffällig ist in der Saison 2017, dass die Maßnahme nicht nur gleichwertig, sondern in der Jugendentwicklung sogar signifikant besser abschneiden kann als die übliche 100-Prozent-Variante.

Die folgenden Versuchsjahre sollen die ersten Eindrücke und Ergebnisse im Feld festigen und neue Erkenntnisse liefern. Parallel dazu wird die Technik entwickelt, die in der Lage sein soll, die Düngergabe in punktgenauer Form anzulegen.

## Literatur

- Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. BBCH Monografie, 2. Auflage
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2017): Geoviewer. <https://geoviewer.bgr.de/mapapps/resources/apps/geoviewer/index.html?lang=de>, Zugriff am 20.07.2017
- Heinitz, F.; K. Farack, K.; Albert, E. (2013): Verbesserung der P-Effizienz im Pflanzenbau. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Schriftenreihe Heft 9
- LUFA Nord-West (2017): Ergebnisbericht Bodenuntersuchung. Berichtsnummer 629414, Hameln
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG e.V.) (1991): DLG Prüfrahrmen für Einzelkornsäegeräte, Groß-Umstadt
- WetterKontor GmbH (2017): Monats- und Jahreswerte für Weilerswist-Lommersum und Lippstadt-Borkenförde. <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswerte-station.asp?id=H932>, Zugriff am 12.10.2017

## Autoren

**M. Sc. Max Bouten, Prof. Dr. Ing. Till Meinel und Prof. Dr. agr. Wolfgang Kath-Petersen,**  
Institut für Bau- und Landmaschinentechnik, Technische Hochschule Köln, Betzdorfer Straße 2, 50679 Köln,  
E-Mail: [wolfgang.kath-petersen@th-koeln.de](mailto:wolfgang.kath-petersen@th-koeln.de)

## Danksagungen

Das Forschungsprojekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Die Autoren danken der KWS Saat SE für die Bereitstellung des Saatgutes. Besonderer Dank gilt auch den Landwirten für die Bereitstellung der Versuchsfelder.