



Unterflurdüngung mit organischen Flüssigdüngern zu Mais (1. Mitteilung)



Einleitung

Steigende Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln, aber auch nach Biomasse (z.B. Mais) als Energieträger, unbefriedigende N-Ausnutzungsraten infolge hoher Ammoniakverluste bei der Ausbringung insbesondere von flüssigen Wirtschaftsdüngern (Gülle und Gärreste aus Biogasanlagen), Bilanzüberschüsse bei Stickstoff, aber auch bei Phosphor, und schwankende bzw. steigende Preise für mineralische N(P-) Dünger erfordern einen schonenden und effizienten Einsatz organischer Flüssigdünger. Hierzu wird an verschiedenen Stellen intensiv gearbeitet (auch an technischen Möglichkeiten), flüssige Wirtschaftsdünger, in der Konsequenz deren Nährstoffe, verlustarm möglichst nah und zum richtigen Zeitpunkt an die Pflanzenwurzel zu bringen. Da diese Verfahren besonders sinnvoll im Maisanbau eingesetzt werden können und bei der Produktion insbesondere von Silo- oder Energiemais flüssige Wirtschaftsdünger für eine ausgewogene Pflanzenernährung prädestiniert sind, würde dies in der Konsequenz bedeuten, alternativ zur gängigen breitflächigen Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger über eine sog. Depotdüngung nachzudenken.

Zielsetzung und Motivation

Als oberstes Ziel einer Düngung mit organischen Flüssigdüngern muss die Verbesserung der Ökologie und Ökonomie (= Erhöhung der N- und P-Effizienz) durch die Reduktion von $\text{NH}_3\text{-N}$ -Verlusten bei der Ausbringung sowie von N_2O - (Lachgas) und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Verlusten während und insbesondere außerhalb der Vegetationszeit stehen.

Für eine Zielerreichung stehen der Landwirtschaft vielfältige Werkzeuge zur Verfügung, von denen einige „gute fachliche Praxis“ sind, andere allmählich in der landwirtschaftlichen Pflanzenerzeugung Einzug halten und wieder andere sich erst in der Prüfphase befinden. Alle Werkzeuge verfolgen jedoch das Ziel, die Umwelteinflüsse einer Düngungsmaßnahme zu reduzieren, wohlwissend dass kein Verfahren frei von Einflüssen auf die Umweltbereiche „Boden - Wasser - Luft“ sein kann.

Im vorliegenden Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob eine platzierte Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger im sog. Unterflurverfahren mit einer Flächendüngung im Ertrag und der N-Effizienz vergleichbar sein kann. Hierzu werden die Verfahren kurz beschrieben und ausgewählte Ergebnisse langjähriger Feldversuche vorgestellt, die vom LTZ Augustenberg im Rahmen sog. produktions-technischer Versuche für die landwirtschaftliche Fachberatung durchgeführt werden.



Verfahren, Nährstoffe gezielt zu platzieren, sind bekannt, beispielsweise aus der Unterfußdüngung von Mais mit mineralischen (N-)P-Düngern zur Saat. Zum Aufbau eines entsprechenden Nährstoffdepots gibt es verschiedene Möglichkeiten, die auf ohne Pflug, aber auch auf mit Pflug bestellten Böden gleichermaßen einsetzbar sind, deren Verbreitung jedoch stärker vom Vorhandensein geeigneter Technik und den Ausbringkosten abhängig sein wird. Zu nennen sind – ohne endgültige Bewertung und Reihung - folgende Hauptverfahren:

- Verfahren 1: herkömmliche Unterfußdüngung in der Saatreihe ca. 5 bis 8 cm unter dem Saatkorn (i.d.R. mit mineralischen (N)P-Düngern)
- Verfahren 2: Unterfußdüngung in den Mais-Zwischenreihen ca. 10 bis 15 cm tief abgelegt (z.B. 1 oder 2 reihige strip tillage Verfahren)
- Verfahren 3: Unterflurdüngung in der Saatreihe ca. 15 bis 20 cm unter dem Saatkorn
- Verfahren 4: Unterflurdüngung in jeder oder jeder 2. Mais-Zwischenreihe ca. 15 bis 20 cm tief abgelegt.

Tab. 1 *Verfahrensvergleich*

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Unterfuß-Düngung (= UF) in Saatreihe	Düngungsmaßnahme (Teilgabe) – insbesondere mit mineralischen (N)P-Düngern – ist Stand der Praxis (auch im Einzelbetrieb); Ertragswirkung vorhanden und bekannt	nur kleine Nährstoffgaben möglich (Salzstress f. keimende Pflanze); zunehmend im Konflikt hinsichtlich P-Saldierung nach DüV (!); keine Düngung mit Gülle oder Gärrest fl. alleine sinnvoll!
Unterfuß-Düngung (10 - 15 cm) in Mais-zwischenreihe (z.B. strip-tillage System)	gesamter N- und P-Bedarf kann in einer Gabe m. Gülle oder Gärrest ausgebracht werden; Ammoniakverluste sind auszuschließen; gutes Nährstoffangebot über gesamte Vegetationsperiode; mit GPS Anlage des Depots auch nach der Saat möglich (= größeres Zeitfenster); keine Vernässung des Saatbereiches; keine Strukturschäden in der Saatreihe	geringe Flächenleistung; Anlage des Depots vor oder zur Saat nur in einem engen Zeitfenster möglich; GPS-Steuerung nötig; geringe Nährstoffkonzentration im Depot; nur überbetrieblicher Einsatz oder Lohnunternehmer bzw. Maschinenring sinnvoll (Kosten!)
Unterflur-Düngung (15 - 20 cm) in Saatreihe (= Ufl)	gesamter N- und P-Bedarf kann in einer Gabe m. Gülle oder Gärrest ausgebracht werden; Ammoniakverluste sind auszuschließen; gutes Nährstoffangebot über gesamte Vegetationsperiode	Anlage des Depots vor oder zur Saat nur in einem engen Zeitfenster möglich; GPS-Steuerung nötig; Vernässungsrisiko und Gefahr von Strukturschäden in der Saatreihe; nur überbetrieblicher Einsatz oder Lohnunternehmer/Maschinenring sinnvoll (Kosten!)
Unterflur-Düngung (15 - 20 cm) in Mais-zwischenreihe	gesamter N- und P-Bedarf kann in einer Gabe m. Gülle oder Gärrest ausgebracht werden; Ammoniakverluste sind auszuschließen; optimales Nährstoffangebot über gesamte Vegetationsperiode; mit GPS Anlage des Depots auch nach der Saat möglich (= größeres Zeitfenster); keine Vernässung des Saatbereiches; keine Strukturschäden in der Saatreihe	GPS-Steuerung nötig; (derzeit) geringe Schlagkraft; nur überbetrieblicher Einsatz oder Lohnunternehmer/Maschinenring sinnvoll (Kosten!)

In der Reihe von Verfahren 1 nach 4 nehmen einerseits die Vorteile für das Pflanzenwachstum und die Bodenfruchtbarkeit (Schonung der Bodenstruktur), aber auch die Kosten für die Anschaffung der Ausbringtechnik und die Ausbringung - selbst bei überbetrieblicher Nutzung - (Tab. 1) zu. Ebenso ist zu beachten, dass Unterflurverfahren derzeit nur begrenzt einsatzfähig sind, d.h. auf steinigem, flachgründigen oder sehr tonigen Böden und - mit gewissen Abstrichen - bei sehr hängigem Gelände ihre Verwendung technisch noch schwierig ist. Die Entwicklung aktiver Steuerungssysteme kann mittelfristig jedoch eine deutliche Verbesserung bringen.

Ein besonderer und maßgeblicher Vorteil eines Verfahrens mit platzierter Nährstoffablage muss sein, dass die im Depot abgelegten Nährstoffe über einen längeren Zeitraum (mind. 4 bis 6 Wochen nach Applikation) in ausreichender, gut löslicher und somit pflanzenverfügbarer Menge und Form ortsfest vorliegen. Dies würde beispielsweise die Ausnutzung der P-Düngung mit flüssigen Wirtschaftsdüngern im Anwendungsjahr deutlich verbessern und somit die Problematik von P-Überschüssen in vielen Betrieben mit Viehhaltung und/oder Biogaserzeugung entschärfen.

Als besonders erstrebenswerter Vorteil ist die Verringerung von N-Verlusten zu nennen. Bekanntlich liegt der lösliche Stickstoff in den flüssigen Wirtschaftsdüngern zunächst als $\text{NH}_4\text{-N}$ vor. Bei pH-Werten deutlich größer pH 7 geht hiervon insbesondere bei breitflächiger Ausbringung Stickstoff in Form von Ammoniak - selbst bei Einarbeitung bis spätestens 4 Stunden nach Ausbringung auf unbewachsenem Boden - verloren. Eine zweite, nicht unerhebliche Verlustquelle im Maisanbau können Nitratverluste sein, da ohne eine sog. $\text{NH}_4\text{-Stabilisierung}$ Ammonium-N bereits 2 bis 3 Wochen nach der Düngung vollständig nitrifiziert ist. Somit ist ein Großteil des Dünger-N in der Zeit zwischen Düngung und N-Aufnahme durch die Maispflanze (ca. 4 bis 8 Wochen!) vor einer Aus- oder Einwaschung in tiefere Bodenschichten „ungeschützt“. In einem konzentrierten Unterflurdepot kommt es dagegen infolge hoher Ammoniumkonzentrationen zu einer verzögerten Nitratbildung. Folglich wird deutlich weniger Stickstoff in Form von Nitrat verlagert oder ausgewaschen, falls die Voraussetzungen hierfür gegeben sind. In welcher N-Form, ob als Nitrat- oder Ammonium-N, die Pflanze Stickstoff aufnimmt, ist von untergeordneter Bedeutung, solange die jeweilige N-Quelle, insbesondere eine Ammonium-N-Quelle, für die Pflanze erreichbar ist. Daher und weil Ammonium im Boden nicht beweglich ist, sollte Ammonium-N wurzelnah in einem konzentrierten Depot angeboten werden.

Versuchsbeschreibung

In der Konsequenz werden daher Unterflur-Depotverfahren für den Einsatz flüssiger Wirtschaftsdünger zu Reihenkulturen wie Mais favorisiert. Die Exakt-Feldversuche des LTZ Augustenberg mit Mais (Silo- wie Körnermais) konzentrieren sich auf den Vergleich zwischen einer „breitflächigen“ Ausbringung organischer Flüssigdünger ohne und mit $\text{NH}_4\text{-Stabilisierung}$ (= gängiges Verfahren) mit dem Verfahren „Unterflur-Depot“ in jeder 2. Mais-Zwischenreihe.

Die breitflächige Ausbringung von Gärresten (Tab. 2) erfolgte zur Aussaat mit zeitnaher Einarbeitung, um potentielle Ammoniakverluste zu minimieren. Das Unterflur-Depot (Abb. 1) wurde ca. 1 Woche nach der Mais-Aussaat in jeder 2. Zwischenreihe mit einem Abstand von max. 1,5 m angelegt. Da sich die Maispflanzen jedoch aus dem direkt benachbarten Düngerband ernähren, reduziert sich der

tatsächliche Abstand zwischen Düngerband und Maisreihe auf ca. 30 cm. Die Vorteile des Verfahrens sind somit:

- Anregung und Intensivierung des Wurzelwachstums zu einem frühen Entwicklungszeitpunkt
- konzentriertes und vollständiges Nährstoffangebot für die Pflanzen über die gesamte Wachstumsphase an der Wurzel
- Vermeidung von Salzstress, da die Ablage des Nährstoffdepots in 15 bis 20 cm Tiefe neben der Maisreihe erfolgt, und
- Nutzen zusätzlicher Wasservorräte im Zwischenreihenbereich während Trockenphasen.

Tab. 2 *Versuchsplan – N-Wirkung im UF-Depot*

Variante	Zusatz	anr. N	Verfahren
		[% v. Ges. N]	
ohne N			
Alzon 46			breitflächig (z. Saat)
Gärrest fl.	--	60	breitflächig (v. Saat)
	NH ₄ -Stabilisator		
Gärrest fl.	--	60	UF-Depot (n. Saat)

In keinem Versuchsjahr wurden Wachstumsverzögerungen der Pflanzenbestände der UF-Depotvarianten im Vergleich zu einer Flächendüngung festgestellt. Dies kann als Indiz dafür angesehen werden, dass die Maispflanze sehr rasch in Richtung des Nährstoffdepots im Zwischenreihenbereich wächst, wo Nährstoff- sowie Wasserangebot in ausreichender Menge und Form vorliegen.

Zum Aussattertermin lagen die N_{min}-Werte von 0 bis 90 cm in den Versuchsjahren 2010 bis 2012 zwischen 40 und 60 kg Nitrat-N/ha.



Abb. 1 *UF-Depot mit flüssigen Gärresten in 15 bis 20 cm Tiefe* (Quelle: Wiech, 2012)

Die Ertragserwartung wurde bei Silo-/Energimais auf 60 t FM/ha festgelegt. Dementsprechend lag der berechnete N-Düngebedarf im Mittel der Jahre bei 155 kg N/ha. Bei den organischen Flüssigdüngern

entsprach dies - 60 % des Gesamt-N als anrechenbarer N unterstellt – einer Ausbringmenge von ca. 220 kg/ha Gesamt-N. Die N-Obergrenze n. DüV von 170 kg N/ha wurde jedoch eingehalten, da der tierische Anteil der verwendeten Gärreste unter 50 % lag. Die Versuche waren in eine drei gliedrige Fruchtfolge mit (Körner-/Silo-) Mais - Winterweizen - Winter- bzw. Sommergerste eingegliedert. Die Bodenbearbeitung erfolgte durchgehend ohne Pflug in einem Mulchsaat-Verfahren.

Versuchsergebnisse

N-Wirkung im Unterflur-Depot

Um das N-Angebot im UF-Depot im Vergleich zu einer Flächendüngung erfassen und beschreiben zu können, wurden regelmäßig über einen längeren Zeitraum Bodenproben aus der Fläche bzw. dem Düngedepot bis in eine Tiefe von 20 cm exakt entnommen und die Ammonium- und Nitratmengen bestimmt (Abbildungen 2 und 3). Zur Beurteilung der jeweils gemessenen N-Mengen ist anzumerken, dass die in den Abbildungen 2 und 3 ausgewiesenen Werte im Falle der Variante „UF-Depot“ einen Konzentrationsfaktor von etwa 5 beinhalten, der zwangsweise flächengewichtet bei der Anlage des UF-Depots entsteht. Die Darstellungsweise wurde gewählt, um den Konzentrationsunterschied der Nährstoffe beim Vergleich der Verfahren „UF-Depot“ und „flächige Ausbringung“ zu verdeutlichen. Werden die Ammonium- und Nitratwerte im Verfahren „UF-Depot“ entsprechend mit dem Faktor 5 dividiert, ergeben sich die bei der Berechnung des N-Düngebedarfs im Versuchsjahr 2012 ermittelten und ausgebrachten N-Mengen von ca. 160 kg N/ha.

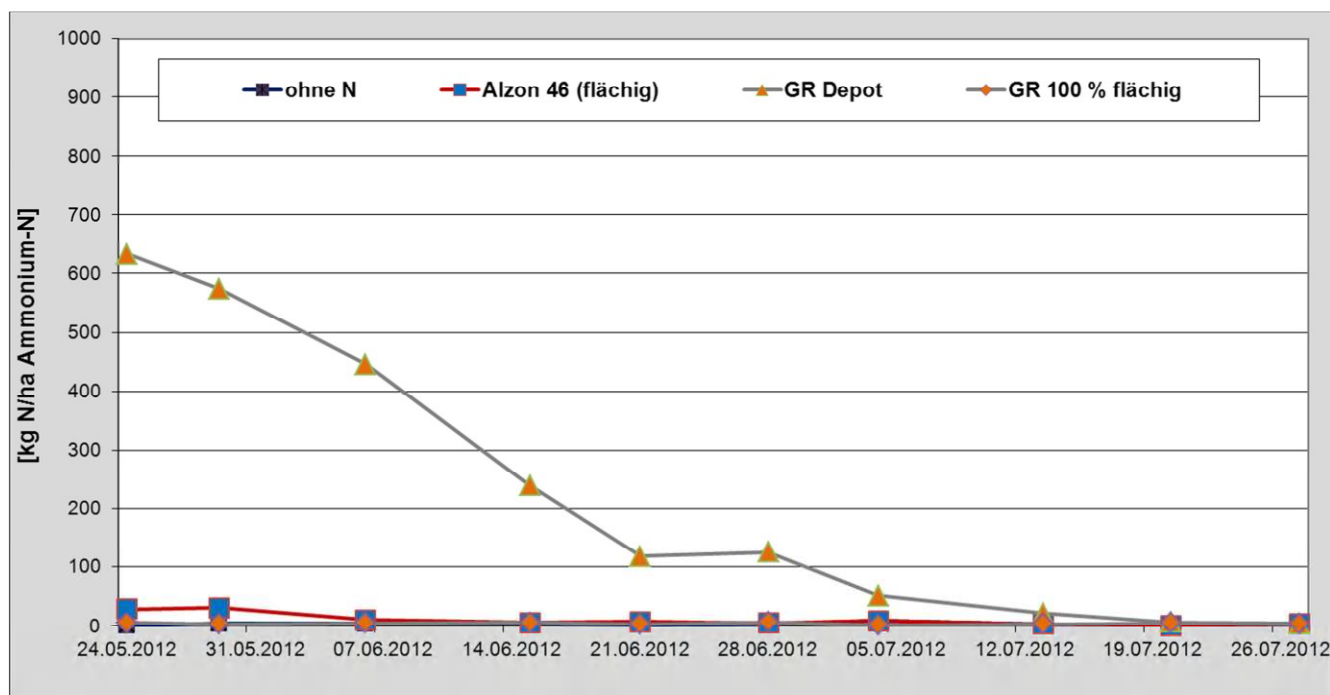


Abb. 2 Verlauf der Ammonium-N-Konzentrationen im Boden (Versuch 2012)

Demnach wurden über einen Zeitraum von 6 bis 8 Wochen nach Applikation der organischen Düngung (10.05.2012 - 10 Tage nach Maissaat!) im UF-Depot sehr hohe, aber auch langfristig stabile Ammonium-N-Gehalte nachgewiesen (Abb. 2). Hierdurch erübrigte sich zur Unterbindung einer raschen Nitrat-N-Bildung eine zusätzlich chemische NH_4 -Stabilisierung. Alle breitflächig gedüngten Varianten - ob mit mineralischen oder organischen Düngern - zeigten niedrige (typische) Ammoniumgehalte, die erwartungsgemäß auch nur über einen Zeitraum von max. 4 Wochen stabil waren.

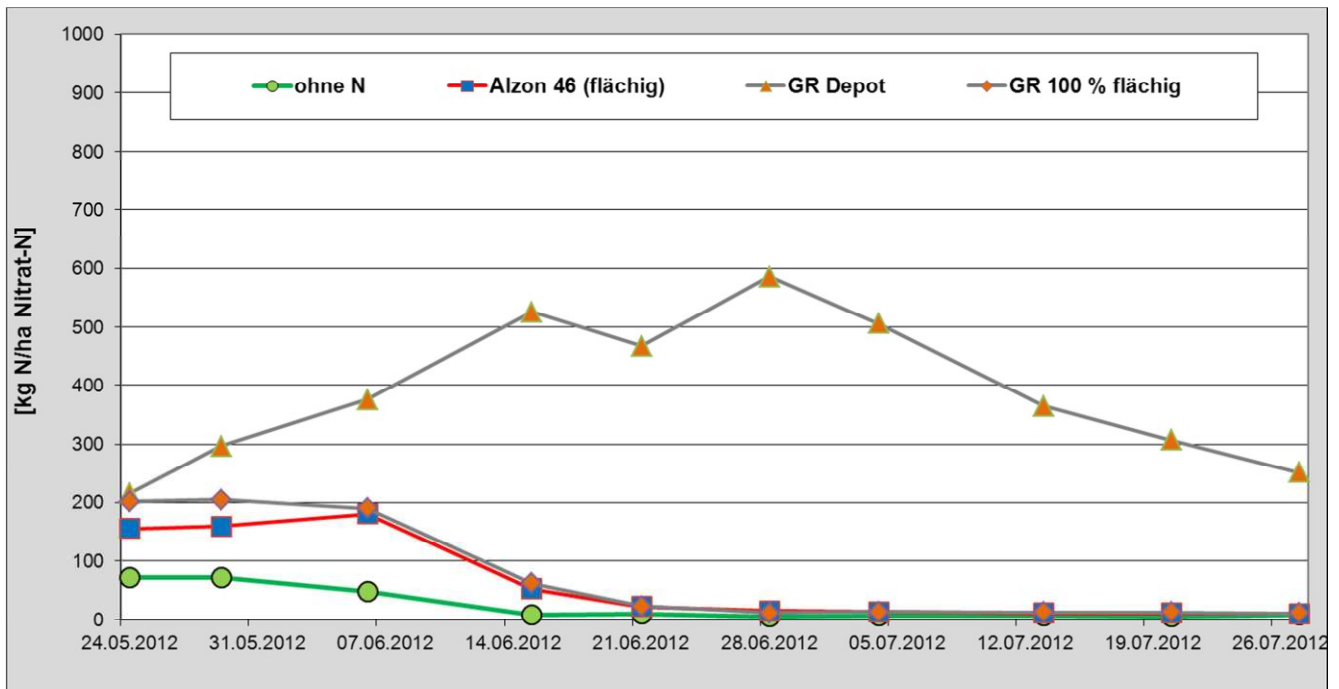


Abb. 3 Verlauf der Nitrat-N-Konzentrationen im Boden (Versuch 2012)

Betrachtet man im selben Zeitraum die Nitratwerte (Abb. 3), so stellt sich ein gegenläufiges Bild dar. Hohe Nitratgehalte von 150 bis 200 kg/ha auf den breitflächig gedüngten Varianten zu Beginn der Messperiode stehen einem relativ niedrigen Nitratangebot im UF-Depot gegenüber. Im Verlauf der Vegetation (= steigender N-Bedarf!) nimmt dieses jedoch in dem Maße zu, wie die Ammoniumwerte (s. Abb. 2) abnehmen und erreicht zur Hauptwachstumsphase des Maisbestandes sein Maximum. Auffallend ist weiterhin, dass selbst Ende Juli noch größere Nitratmengen (40 bis 50 kg/ha) im UF-Depot vorrätig waren.

Tab. 3 Ertrag und N-Effizienz von Silomais – im Mittel von 3 Jahren (NiHe = Nitrifikationshemmer)

Versuchsglied	Ertrag-Ganzpflanze		N-Abfuhr [kg/ha]	N-Effizienz [%] [netto-anr. N]
	[t TM/ha]	rel. zu V. Mittel		
ohne N-Düngung	11,6	78	90	
mineralisch N (Alzon 46) - vSE	14,9	101	186	62
Gärrest fl. - breitflächig/o. NiHe (vSE)	15,3	103	186	62
Gärrest fl. - breitflächig/m. NiHe (vSE)	15,3	103	185	61
Gärrest fl. - Unterflur-Depot (nS)	16,6	112	202	72
Versuchsmittel	14,7			

Im 3 jährigen Versuchsmittel erzielte die Variante „UF-Depot“ einen signifikanten Mehrertrag von ca. 10 % (Tab. 3) im Vergleich zur Flächendüngung – ob mit oder ohne NH_4 -Stabilisierung. Es überraschte nicht, dass „ohne N-Düngung“ – wie häufig bei Mais festgestellt - bereits ca. 80 % des mittleren Ertrages erreicht wurden. In Korrelation zum Ertrag waren die N-Entzüge und folglich die N-Effizienz der Variante „UF-Depot“ gegenüber der breitflächigen Ausbringung von Gärresten bzw. von Alzon 46 ebenfalls um etwa 10 % höher.

In Abbildung 4 sind die N_{\min} -Werte aus den Jahren 2010 und 2011 im Frühjahr sowie nach der Ernte von Silomais dargestellt. In beiden Jahren waren die Nitratwerte, obwohl der gesamte N-Bedarf auch mit organischen Flüssigdüngern in einer Gabe ausgebracht worden war, weder bei der Flächen-, noch bei der UF-Depot-Düngung erhöht. Bei sorgfältiger N-Bedarfsermittlung und exakter Düngeraus-

bringung können folglich überhöhte Rest-N-Mengen – wie sie häufig in der Praxis beobachtet werden – auch im Verfahren „UF-Depot“ nahezu ausgeschlossen werden.

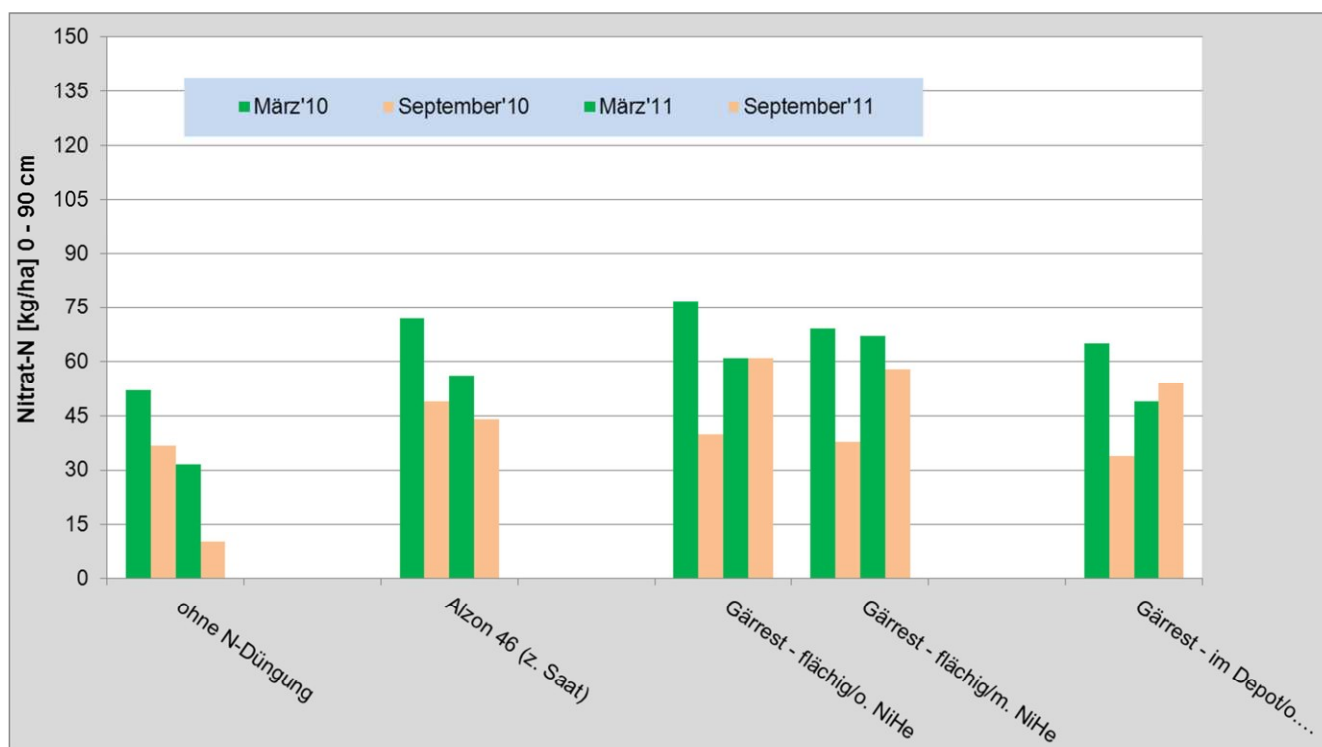


Abb. 4 N_{min} -Werte (2 jährig) vor Aussaat und nach der Ernte (NiHe = Nitrifikationshemmer)

P-Wirkung im Unterflur-Depot

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die P-Wirkung der Düngungssysteme „UF-Depot“ und „Flächendüngung“ mit Gärresten alleine und mit einer ortsüblichen mineralischen P-Unterfußdüngung zur Saat (40 kg/ha als Triple-Superphosphat) verglichen (Tab. 4).

Tab. 4 Versuchsplan, Ertrag und P-Effizienz von Silomais – im Mittel von 2 Jahren

Variante	System	P-Düngung	Ertrag	P-Effizienz
		[kg P ₂ O ₅ /ha]	[t TM/ha]	[% netto]
ohne N-Düngung	ohne UFD		20,4	
	mit UFD-P _{min}	40	19,8	0,09
mineralisch N (Alzon 46) - vSE	ohne UFD		21,0	
	mit UFD-P _{min}	40	23,1	0,19
Gärrest fl. - breitflächig (vSE)	ohne UFD	65	20,5	
	mit UFD-P _{min}	105	22,2	0,14
Gärrest fl. - Unterflur-Depot (nS)	ohne UFD	60	22,0	0,20
	mit UFD-P _{min}	100	20,7	

Eine Unterfußgabe mit mineralischem Phosphat zur Saat (UFD-P_{min}) hatte bei einer Flächendüngung mit mineralischen wie organischen Düngern einen signifikanten Mehrertrag von ca. 10 % zur Folge, nicht jedoch bei der UF-Depot-Düngung. In diesem Fall wurde bereits ohne eine UFD mit P_{min} der Maximalertrag erreicht. Eine zus. UFD mit P_{min} zur Saat hatte dagegen tendenziell einen Ertragsrückgang zur Folge. Dies kann damit erklärt werden, dass das Wurzelwachstum zunächst auf das mineralische P-Depot gerichtet und daher im weiteren Wachstumsverlauf die N-Versorgung nicht mehr ausreichend war. Infolgedessen musste sich die Pflanze „umorientieren“, um das N- (Nährstoff-)

Angebot aus dem seitlich liegenden „UF-Depot“ zu erreichen. Dies hatte einen Verlust an Vegetationszeit und Substanz zur Folge, der sich in einem Ertragsrückgang äußerte.

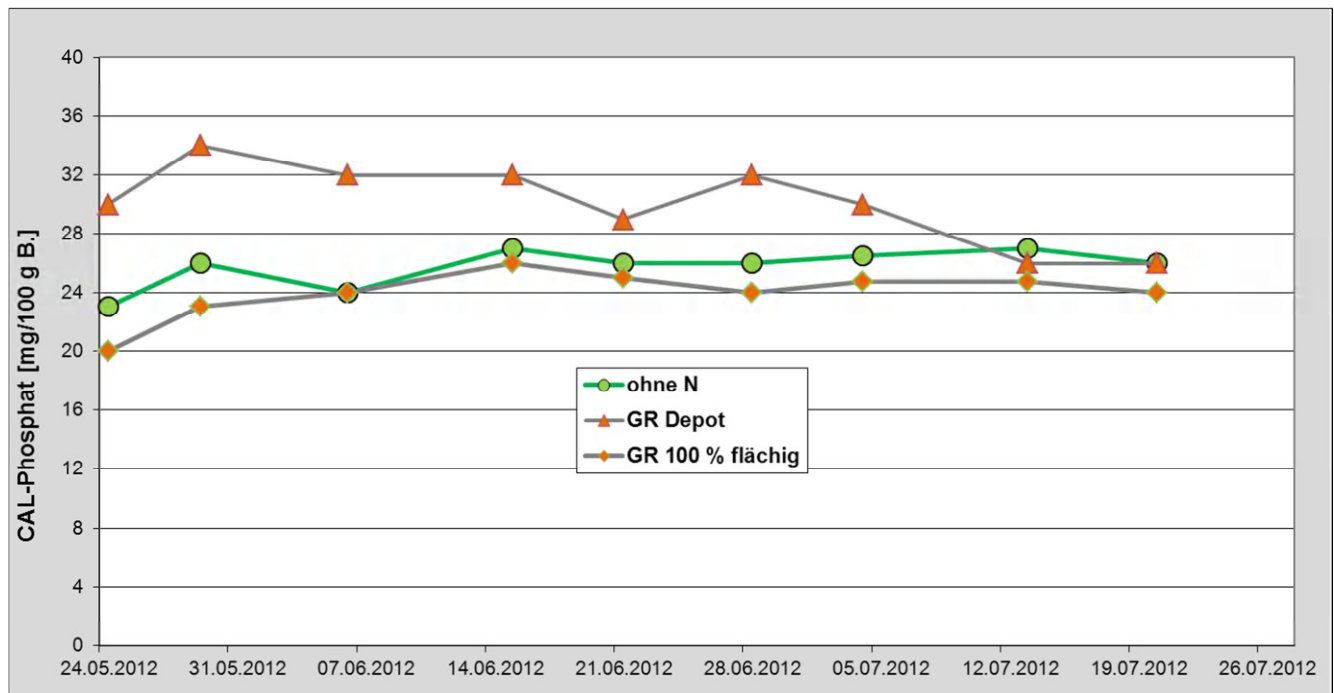


Abb. 5 Verlauf der CAL-Phosphatwerte (Versuch 2012)

Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, dass ähnlich dem Verlauf der Ammonium- und Nitrat-N-Werte im „UF-Depot“ auch die CAL-Phosphatwerte über den gesamten Beobachtungszeitraum signifikant höher waren als bei den Vergleichsvarianten mit Flächendüngung „ohne UFD-P_{min}“. Hiermit lassen sich die absoluten Unterschiede im Ertrag und vor allem in der P-Effizienz zwischen den Düngungssystemen aus Sicht der P-Ernährung erklären.

Fazit

- Beim Einsatz organisch-mineralischer Flüssigdünger wie Gülle oder Gärreste im Maisanbau stellt das System „Unterflur-Depot“ eine sehr effektive Möglichkeit dar, N-Verluste in Form von Ammoniak (NH₃) bei der Ausbringung, aber auch im weiteren Verlauf der Vegetation in Form von Nitrat-N und Lachgas zu reduzieren.
- Die vorgestellten 3 jährigen Versuchsergebnisse bestätigen, dass die hochkonzentrierten Stickstoff-, aber auch Phosphat-Depots bis weit in die Hauptwachstumsphase stabil sind und in der Folge die Versorgung der Maispflanzen mit diesen Nährstoffen, aber auch mit weiteren Haupt- und Spurennährstoffen aus dem Düngerdepot sichergestellt ist.
- Hieraus resultieren höhere Maiserträge sowie N- und P-Entzüge bzw. N und P-Ausnutzungsraten.
- Folglich lassen sich mit diesem System – technische Weiterentwicklung unterstellt - die N- und P-Bilanzen einer sorgfältig durchgeführten Düngung mit organisch-mineralischen Flüssigdüngern verbessern.
- Für die landwirtschaftliche Praxis ist festzuhalten, dass für nahezu alle Gegebenheiten in Abhängigkeit vom Standort (Bodenart und Geländemorphologie) und vom Betriebstyp die technischen Möglichkeiten vorhanden sind und sich weiter entwickeln werden, um den

ökologischen wie ökonomischen Anforderungen einer sach- und fachgerechten Düngung mit flüssigen Wirtschaftsdüngern gerecht zu werden.

IMPRESSUM

Herausgeber:
Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg (LTZ)
Neßlerstraße 23-31
76227 Karlsruhe

Tel.: 0721 / 9468-0
Fax: 0721 / 9468-209
eMail: poststelle@ltz.bwl.de
Internet: www.ltz-augustenberg.de

Bearbeitung und Redaktion:
LTZ Augustenberg
Dr. Markus Mokry
Referat 12: SG Pflanzenernährung

Auflage: Ex.
Druck:

Stand: November 2013