

Fachinformationen Landwirtschaft

Optimale Nährstoffversorgung von Körnermais auf einem Hohertragsstandort ohne organische Düngung

Demonstrationsbericht zur Praxisdemonstration 2024

1 Versuchsfrage

Silomais profitiert im Gegensatz zu Raps und Getreide in höherem Maße von der N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens. In feuchten Jahren stellen sich die Mineralisationsbedingungen oftmals so gut dar, dass – je nach Bodengüte und langjähriger organischer Düngung – über 100 kg N/ha (und mehr) aus dem Boden bereitgestellt werden können. Dieser Umstand wird bei der Ermittlung der N-Obergrenze nach Düngeverordnung für Mais nur unzureichend berücksichtigt. Die zur Sicherung hoher Erträge notwendigen Stickstoffgaben liegen daher in vielen Fällen deutlich darunter. Unter den Düngevorgaben im Nitratgebiet werden vor allem auf hohertragreichen und tiefgründigen Lößstandorten die im Mais einsparbaren N-Mengen dringender im Weizen benötigt, um dort die von der aufnehmenden Hand geforderten Qualitäten zu erreichen. Neben einer angemessenen N-Düngung tragen auch eine ausgewogene Versorgung mit Grund- und Spurennährstoffen zur Verbesserung der N-Effizienz im Maisanbau bei. Vor allem in Marktfruchtbetrieben lassen sich auf diesem Wege möglicherweise weitere Ertragsreserven unter stickstofflimitierten Bedingungen und bei Zunahme von Witterungsextremen erschließen. Im Rahmen der Praxisdemonstration wurden daher auf einer langjährig ausschließlich mineralisch gedüngten Fläche die Effekte einer Mikronährstoffdüngung bei moderatem N-Einsatz geprüft. Die für den Mais relevanten Mikronährstoffe Bor und Zink wurden hierbei sowohl über einen speziell konfektionierten Unterfußdünger, als auch über das Blatt verabreicht.

2 Ausgangsbedingungen

- | Ort: Groitzsch bei Klipphausen
- | Oberflächengewässerkörper: Burkhardswalder Bach und Groitzscherbach, Mündung in Triebisch
- | Grundwasserkörper: Elbe
- | Bodentyp: Parabraunerde-Pseudogley aus periglaziärem Schluff
- | Bodenart: toniger Schluff; Ut3; 54 Bodenpunkte
- | Fruchtart: Körnermais

Zur Einschätzung der Grund- und Mikronährstoffsituation auf dem Versuchsschlag wurden im Februar Bodenproben in 0-30 cm Bodentiefe entnommen. Wie sich im Laufe des Versuchs zeigte, stammten diese jedoch fälschlicherweise von einem anderen Sommerungsblock auf dem Versuchsfeld. Eine zweite Beprobung Anfang Mai, welche im unmittelbaren Bereich der Versuchspartzen (vor der Düngerausbringung) erfolgte und der Feststellung der Kohlenstoffvorräte im Boden diente, zeigte deutliche Abweichungen in den – routinemäßig ebenfalls mitbestimmten – Gehalten an CAL-löslichem Phosphor und Kali. Die Ergebnisse beider Beprobungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Im Ergebnis der zweiten Probenahme Anfang Mai konnte die ursprünglich für die Versuchsfläche angenommene optimale Versorgung (siehe Ergebnisse Probe 1) des Oberbodens mit Kali, aber auch P (jeweils Gehaltsklasse B), nicht bestätigt werden. Auch das gute P-Nachlieferungsvermögen des Bodens (Methode nach FLOßMANN UND RICHTER 1982¹) sowie die angetroffenen Mikronährstoffgehalte (Tabelle 2) sind nicht unmittelbar auf die eigentliche Versuchsfläche übertragbar.

Die auf dem schluffigen Lehm zu erwartenden hohen Vorräte an organischem Kohlenstoff gehen mit beachtlichen Mengen an organisch gebundenem Stickstoff einher (rd. 6.750 kg N/ha). Angesichts des engen C:N-Verhältnis von 8:1 kann mit einer potenziell hohen N-Nachlieferung aus der Ackerkrume gerechnet werden, insofern die obere Bodenschicht in den Sommermonaten ausreichend durchfeuchtet ist.

Tabelle 1: Grundnährstoff- und Humusversorgung auf dem Demonstrationsschlag (Bodenschicht: 0-30 cm, Einstufung von pH-Wert und Makronährstoffgehalten entsprechend der vorherrschenden Bodenart Lehm)

Probe	pH-Wert	P _{CAL}	K _{CAL}	Mg _{CaCl2}	P-Freisetzungsrate	C _t	N _t	C/N
		mg/100 g Boden			Kinetikstufe	%	%	-
Probe 1 (20.02.24)	6,0 (B)	7,9 (D)	14,4 (C)	24,2 (E)	hoch	n. b.	n. b.	n. b.
Probe 2 (03.05.24)	7,0 (C)	4,4 (B)	8,7 (B)	17,8 (D)	n. b.	1,20	0,15	8,0

n. b. = nicht bestimmt

Tabelle 2: Mikronährstoffversorgung (CAT-Methode²) auf dem Demonstrationsschlag (Bodenschicht: 0-30 cm, Einstufung der Mikronährstoffgehalte entsprechend der vorherrschenden Bodenart Lehm und in Abhängigkeit vom pH-Wert)

Probe	Mn	Cu	Zn	B
	mg/1000 g Boden			
Probe 1 (20.02.24)	159 (E)	2,8 (C)	5,7 (E)	0,33 (C)

¹ Floßman, R.; Richter, D. (1982): Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. 26, 703-709

² Verwendetes Extraktionsmittel: Lösung aus Calciumchlorid und DTPA

3 Demonstrationsanlage

Die Praxisdemonstration wurde als Streifenversuch mit jeweils vier unechten Wiederholungen angelegt (Abbildung 1). Die Aussaat der drei Meter breiten Anlageparzellen (4 Reihen, 75 cm Reihenabstand) und der Drusch der beiden Kernreihen erfolgten jeweils mit Parzellentechnik durch den vor Ort tätigen Dienstleister, der A&W FieldScreen GmbH.

Schein-Wdh. 4	4	1	2	3
Schein-Wdh. 3	4	1	2	3
Schein-Wdh. 2	4	1	2	3
Schein-Wdh. 1	4	1	2	3

Abbildung 1: Anlageplan (Variantenbeschreibung siehe Tabelle 3)

Tabelle 3 fasst die vier Varianten im Versuch zusammen. Bei insgesamt moderatem N-Düngeniveau von 110 kg N/ha war zunächst die Wirksamkeit der Unterfußdüngung mit Diammonphosphat (DAP) im Vergleich zu einem speziell für den Maisanbau konfektionierten Mehrnährstoffdünger (Yara Mila Mais) bei einheitlicher Aufwandmenge von 100 kg/ha (Ware) von Interesse. Letztgenannter enthält neben Stickstoff (7 % Nitrat und 12 % Ammonium) und Phosphor u. a. die für den Mais bedeutsamen Spurenelemente Zink und Bor. Diese werden in einer weiteren Variante im 6-Blattstadium des Maises über das Blatt verabreicht. Um die N-Nachlieferung aus der Ackerkrume abschätzen zu können, blieben zudem einzelne Parzellen ungedüngt.

Tabelle 3: Düngevarianten in der Praxisdemonstration

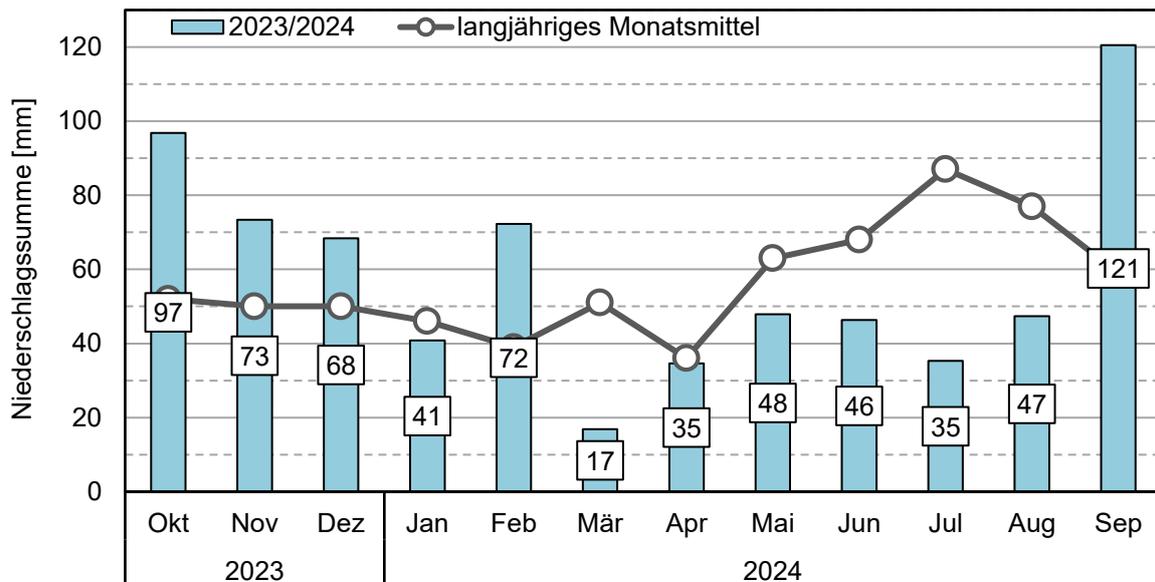
Variante	Düngestrategie
1	ohne Unterfußdüngung, ohne Blattdüngung
2	100 kg/ha Yara Mila Mais als Unterfußdüngung, ohne Blattdüngung
3	100 kg/ha DAP als Unterfußdüngung, ohne Blattdüngung
4	100 kg/ha DAP als Unterfußdüngung, Blattdüngung mit Bor und Zink

4 Material und Methoden

4.1 Einschätzung der Witterungssituation im Untersuchungszeitraum

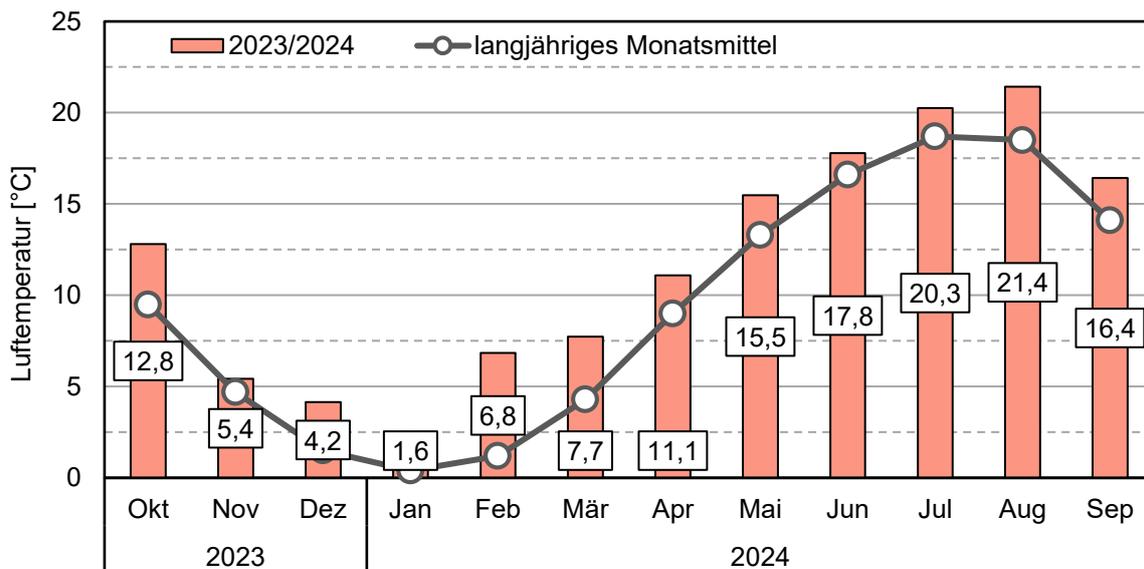
Die durchschnittlichen Niederschlagswerte und Lufttemperaturen (jeweils Monatsmittel) für den Berichtszeitraum sind in Abbildung 2 und in Abbildung 3 dargestellt. Hierbei handelt es sich um Daten der Wetterstation des DWD in Nossen, die sich rund 10 km westlich vom Versuchsstandort befindet.

In der Abbildung 2 ist zu erkennen, dass über die Wintermonate überdurchschnittlich viel Niederschlag gefallen ist, welcher den Bodenvorrat auf dem tiefgründigen Standort gut aufgefüllt hat. In den für die Ertragsbildung des Mais wichtigen Monaten Juni bis August blieben die Niederschlagsmengen hingegen deutlich (mehr als 100 mm Niederschlag) hinter dem langjährigen Mittel zurück. Bei der Betrachtung des Temperaturdiagramms in Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die Monatsmitteltemperaturen in allen Monaten, z.T. weit über dem langjährigen Niveau lagen. Wichtig aus Sicht der Kolbenentwicklung war, dass die Tageshöchsttemperaturen im Zeitraum der Blüte nur an einzelnen Tagen die 30°C Marke deutlich überschritten. Die Bestände reiften u. a. auch aufgrund der starken Trockenheit und der im September noch außergewöhnlich hohen Temperaturen sehr zügig ab.



Quelle: DWD Station Nossen

Abbildung 2: Monatlicher Niederschlag im Zeitraum Oktober 2023 bis September 2024 im Vergleich zum langjährigen Mittel



Quelle: DWD Station Nossen

Abbildung 3: Monatsmitteltemperaturen im Zeitraum Oktober 2023 bis September 2024 im Vergleich zum langjährigen Mittel

4.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch stand nach einer Herbstfurche. Die Aussaat erfolgte am 29.04.2024 mit der für die verwendete Sorte Vasari empfohlenen Saatstärke von 8 keimfähigen Körnern je m². Tabelle 4 gibt einen Überblick über die im Versuchsverlauf realisierten Maßnahmen.

Tabelle 4: Durchgeführte agrotechnische Maßnahmen im Versuch

Parameter	Beschreibung
Bodenbearbeitung	Herbstfurche
Saattermin	29.04.2024
Sorte	Vasari (K250)
Saatstärke	8 kf. Körner/m ²
N-Düngung	03.05.2024
Blattdüngung	05.06.2024
Ernte	14.10.2024

Im Ergebnis der Düngebedarfsermittlung ergab sich für den auf der Versuchsfläche angebauten Mais eine N-Obergrenze von 140 kg N/ha. Diese resultierte aus dem ertragsabhängigen Sollwert von 210 kg N/ha, bei einem für den Standort realistischen Kornertrag von 100 dt/ha (bei 86 % TS) und dem in 0-90 cm Bodentiefe festgestellten N_{min} von rd. 70 kg/ha. In Anlehnung an die Vorgaben im Nitratgebiet wurde die Höhe der N-Gesamtzufuhr in der Praxisdemonstration auf 80 % der nach DüV zulässigen N-Menge bemessen. Diese fiel in der Variante ohne Unterfußdüngung als Einmalgabe in Höhe von 110 kg N/ha Anfang Mai. In den Varianten mit Unterfußdüngung wurde die Kopfdüngung entsprechend auf 90 kg N/ha reduziert. Zum Einsatz kam ein urease- und nitrifikationsinhibierter Harnstoff, welcher in den Parzellen von Hand ausgebracht wurde (Abbildung 4). Die Blattdüngung erfolgte mit der Parzellenspritze Anfang Juni im 6-8-Blattstadium des Bestandes. Die in den jeweiligen Versuchsvarianten ausgebrachten Nährstoffmengen sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Ausgebrachte Nährstoffmengen in den Düngevarianten

Variante	Unterfußdüngung (29.04.24)	Kopfdüngung ¹⁾ (03.05.24)	Blattdüngung (05.06.24)	N	P	Zn	B
	kg Ware/ha	kg Ware/ha	l Ware/ha	kg/ha			
1	Ohne	240	ohne	110	-	-	-
2	100 kg/ha Yara Mila Mais ²⁾	200	ohne	109	8	0,10	0,15
3	100 kg/ha DAP ³⁾	200	ohne	108	20	-	-
4	100 kg/ha DAP	200	InnoFert Mais ⁴⁾ + Bor ⁵⁾ (4,0 + 1,5)	108	20	0,18	0,23

1) ALZON neo-N

2) 19 % N; 17 % P₂O₅ (7,5 % P); 6 % S; 0,15 % Bor; 0,1 % Zink

3) 18 % N, 46 % P₂O₅ (20 % P)

4) 440 g/l P₂O₅ (190 g/l P₂O₅), 46 g/l Zink

5) 150 g/l Bor



Foto: AgUmenda GmbH

Abbildung 4: Händische Ausbringung der Kopfdüngung vor dem Auflaufen des Maisbestandes

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes unter dem Maisbestand

Um Aussagen über die N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat treffen zu können, wurden ausgangs des Winters, nach der Maisaussaat sowie Ende Mai Bodenproben in den ungedüngten Bereichen der Versuchsanlage gezogen und auf den N_{\min} -Gehalt analysiert. Die dabei ermittelten Werte sind in der Abbildung 5 in den beprobten Bodenschichten 0-30 cm und 30-60 cm zusammengestellt.

Mit der zügigen Erwärmung der oberen Bodenschicht im April ging zum Beprobungstermin Anfang Mai ein deutlicher Anstieg des N_{\min} in der zu diesem Zeitpunkt noch ausreichend durchfeuchteten Ackerkrume einher. Zum dritten Probenahmetermin am Monatsende stagnierten die Werte hingegen. Zu begründen ist dies mit den geringen Niederschlagsmengen nach der Saat und der zunehmenden Austrocknung der oberen Bodenschicht, welche einen Rückgang der mikrobiellen Aktivität zur Folge hatte. Die in 30 bis 60 cm Tiefe festgestellten N_{\min} -Werte waren über alle Probenahmetermine weitgehend konstant. Dies weist darauf hin, dass diese Bodenschicht aus Sicht der N-Bereitstellung für den Mais weniger bedeutsam und die Fokussierung auf die Entwicklung der Werte im Oberboden fachlich ausreichend ist.

Trotz trockenheitsbedingt eingeschränkter N-Mineralisation standen den Maispflanzen zu Beginn des Längenwachstums mit rd. 130 kg/ha in 0-60 cm dennoch beachtliche Mengen an verfügbarem Stickstoff im durchwurzelbarem Bodenraum zur Verfügung. Aus methodischer Sicht ist diesbezüglich anzumerken, dass der ab Mitte Juni zu erwartende Mineralisationspeak nicht mehr valide mithilfe von Bodenproben erfasst werden kann, da die Maispflanzen ab diesem Zeitpunkt die Nährstoffvorräte im Boden verstärkt in Anspruch nehmen und somit direkten Einfluss auf die N_{\min} -Werte haben.

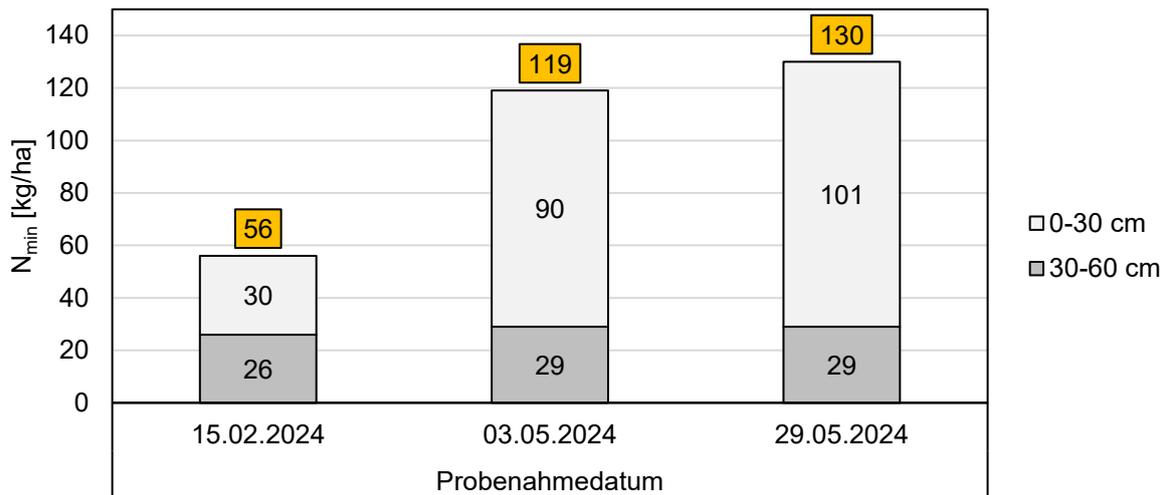
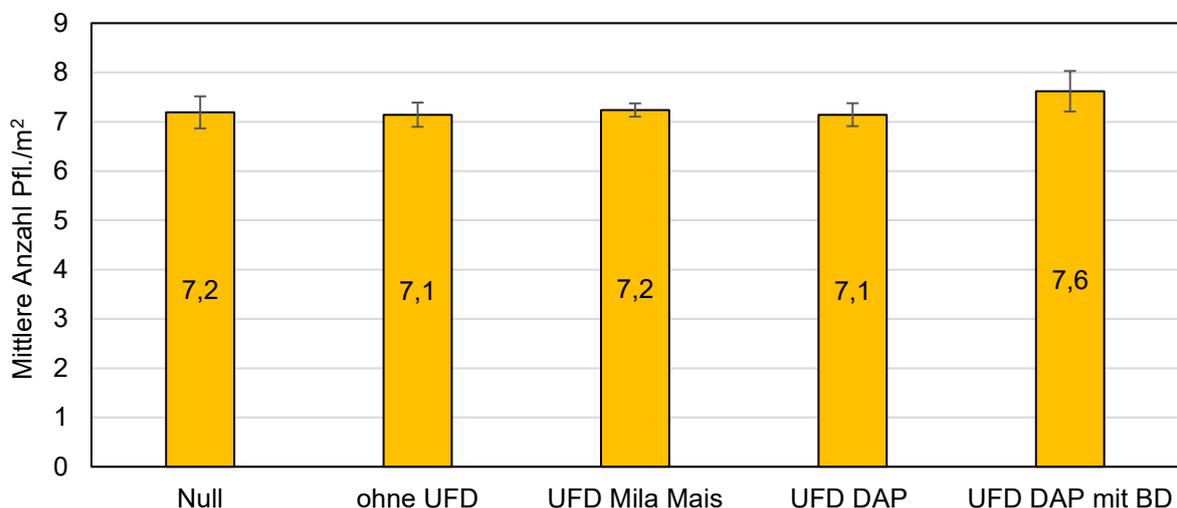


Abbildung 5: Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes in der ungedüngten Kontrollparzelle zu drei Terminen in den Schichten von 0-30 cm und 30-60 cm

5.2 Feldaufgang

Am 29.05.24 erfolgte eine Feldaufgangsbonitur in den zur Ertragsfeststellung vorgesehenen Kernreihen der Parzellen. Wie in Abbildung 6 zu erkennen ist, sind im Mittel über alle Parzellen 7 von 8 kf. Körnern aufgelaufen, dies entspricht einem Feldaufgang von etwa 90 %. Neben der Pflanzenanzahl wurde auch die Verteilung der Pflanzen in der Reihe (Doppelbelegungen, Einhaltung Sollabstand, Fehlstellen) sowie die Einzelpflanzenentwicklung (indirektes Maß für den Zeitpunkt des Auflaufens) bonitiert. Diesbezüglich konnten keine Unterschiede zwischen den Prüfvarianten festgestellt werden (Ergebnisse nicht dargestellt), welche als Störgröße bei der Versuchsauswertung Berücksichtigung finden müssten.



UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung

Abbildung 6: Mittlere Anzahl Pflanzen pro m² in den Düngevarianten (bonitiert wurden die Kernparzellen je Scheinwiederholung und Variante)

5.3 Jugendentwicklung und Längenwachstum des Mais

Bereits bei der Vorstellung der Versuchsanlage im Rahmen eines Workshops Anfang Juni, zeigte sich der erwartete Entwicklungsvorsprung der Pflanzen in den Varianten mit platzierter Nährstoffgabe zur Saat (Abbildung 7). Dieser Effekt war unabhängig vom eingesetzten Dünger und somit auch von der unterfuß applizierten P-Menge.



Foto: AgUmenda GmbH

Abbildung 7: Praxisdemonstration am 05.06.2024 bei der gemeinsamen Feldbegehung mit der BayWa Agrarhandel GmbH

Am 21.06.2024 wurden die Pflanzen in den unterschiedlich behandelten Parzellen hinsichtlich Blattfärbung und Wuchshöhe eingeschätzt. Die bereits Anfang Juni im Versuch zu beobachtende Differenzierung hatte auch zu diesem Boniturtermin Bestand. Die Pflanzen ohne Unterfußdüngung (Variante 1) waren sichtbar kleiner (rd. 15 cm Wuchsunterschied) und zeigten eine hellere Blattfärbung (Tabelle 6 und Abbildung 8). Die Pflanzen in den ungedüngten Kontrollparzellen unterschieden sich zu diesem Zeitpunkt optisch (noch) nicht von den gedüngten Pflanzen ohne Unterfußdüngung. Dies unterstreicht den zu diesem Zeitpunkt noch moderaten Nährstoffbedarf des Maises und die Wirksamkeit des in der Bodenschicht bis 60 cm angetroffenen N_{min} .

Tabelle 6: Einschätzung der Jugendentwicklung des Maises in den Düngevarianten (Bonitur am 21.06.2024)

Variante	Blattfarbe	Jugendentwicklung
Ungedüngte Kontrolle	blass/normal	langsam
Ohne UFD (1)	blass/normal	mäßig
UFD Mila Mais (2)	normal	zügig bis mäßig
UFD DAP (3)	normal	zügig
UFD DAP mit BD (4)	normal	zügig

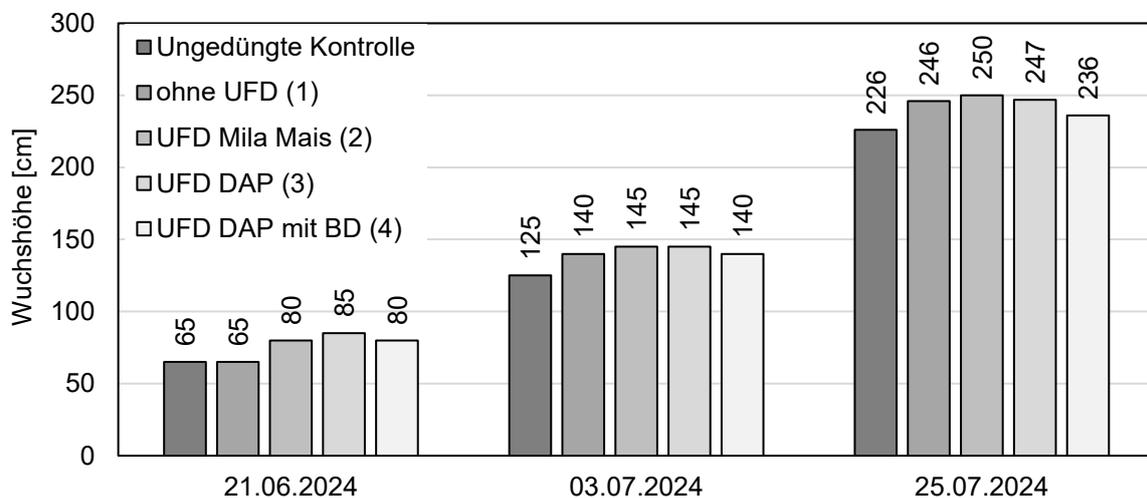
UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung



Foto: AgUmenda GmbH

Abbildung 8: Pflanzen links vom Zollstock ohne Unterfußdüngung, Pflanzen rechts davon mit 100 kg/ha DAP unterfuß (Foto vom 21.06.2024)

Am 03.07.2024 wurde die Versuchsanlage erneut bonitiert. Der noch rd. 14 Tage zuvor beobachtete Wachstumsvorsprung der unterfuß gedüngten Pflanzen hatte sich zu diesem Zeitpunkt bereits nahezu vollständig verwachsen. In der von hohem Biomassezuwachs und beachtlichen Nährstoffaufnahmen geprägten Phase, zeichneten die Pflanzen in den ungedüngten Kontrollparzellen inzwischen sehr deutlich (Abbildung 10). Bei der Bonitur zu Blühbeginn und damit Abschluss des Längenwachstums wurden folgerichtig sichtbar kürzere Wuchslängen bonitiert (Abbildung 9).



UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung

Abbildung 9: Gemessene Wuchshöhe des Mais in den unterschiedlichen Düngewarianten an drei Terminen (dargestellt ist der Mittelwert der vier Scheinwiederholungen)



Fotos: AgUmenda GmbH

Abbildung 10: Ungedüngte Kontrollparzellen am 03.07.2024 (vier Maisreihen rechts vom Feldweg)

5.4 Komplexe Pflanzenanalyse zu Schossbeginn und zur Blüte

Um einen Überblick über den Nährstoffstatus der Pflanzen in den unterschiedlichen Düngevarianten zu erhalten, wurden an zwei Terminen Pflanzenproben für die komplexe Pflanzenanalyse gewonnen. Während zu Beginn des Schossens (21.06.24) jeweils die mittleren Blätter eingesammelt wurden (Abbildung 11), erfolgte die Probenahme zur Blüte (25.07.24) an den Kolbenblättern.



Quelle: AgUmenda GmbH

Abbildung 11: Probenahme für die komplexe Pflanzenanalyse am 21.06.2024

Die Ergebnisse für beide Probenahmeterminen sind in Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt. Die Nährstoffzusammensetzung der Pflanzen zum ersten Probenahmetermin war in allen Düngevarianten durch mangelhafte Kalium- und Borgehalte gekennzeichnet. Während letztere durch Verlagerungen (keine Zwischenfrucht) infolge der hohen Winterniederschläge erklärt werden können, überraschten die geringen Kaligehalte in den Blättern hingegen zunächst. Aufgrund der Grundnährstoffbeprobung im falschen Bereich des Versuchsfeldes war vor Versuchsanlage von einer ausreichenden Kaliversorgung ausgegangen worden (siehe Tabelle 1). Erst die direkte Beprobung im Bereich der Versuchspartellen offenbarte das Kalidefizit im Boden (Gehaltsklasse B), was sich bei unterlassener Kalidüngung, letztlich auch in geringen Konzentrationen in den Pflanzen bemerkbar machte. Auch die bei der Nachbeprobung Anfang Mai festgestellten P-Gehalte in der Krume lagen deutlich unterhalb der zu Versuchsbeginn „erwarteten“ Werte. Trotz Versorgungsstufe B im Boden zeigten sich in den gänzlich ungedüngten Maispflanzen und Pflanzen ohne Unterfußdüngung ausreichende P-Gehalte. Die frühzeitig erwärmte und anfangs noch ausreichend durchfeuchtete Krume bot offensichtlich gute Bedingungen für das Wurzelwachstum und begünstigte zugleich die P-Mobilität im Boden. Damit kann letztendlich auch die These bestätigt werden, dass die beobachtete Startwirkung der Unterfußdüngung nicht ausschließlich dem wasserlöslichen P, sondern anteilig auch dem Ammonium zugesprochen werden kann.

Dass überraschenderweise in den mit 20 kg wasserlöslichem P als DAP unterfuß gedüngten Maispflanzen die geringsten P-Gehalte angetroffen wurden, lässt sich vermutlich durch einen Verdünnungseffekt erklären. Die Pflanzen hatten zum Zeitpunkt der Probenahme, die zur Einordnung der Nährstoffkonzentrationen empfohlene Wuchshöhe von 60 cm, bereits sichtbar überschritten (siehe Abbildung 9).

Tabelle 7: Ergebnisse der komplexen Pflanzenanalyse – Termin bis 60 cm Wuchshöhe (Probenahme am 21.06.2024 als Mischprobe der vier Scheinwiederholungen aus den nicht beernteten Randraihen)

Parameter	Einheit	Orientierungswert ¹⁾	Ohne N	Ohne UFD (1)	UFD Mila Mais (2)	UFD DAP (3)	UFD DAP mit BD (4)
Stickstoff	%TS	3,5 – 5	3,7	3,7	3,5	3,2	3,1
Phosphor	%TS	0,3 – 0,5	0,35	0,35	0,34	0,29	0,27
Kalium	%TS	3,1 – 5	2,4	2,3	2,2	1,9	1,6
Magnesium	%TS	0,16 – 0,5	0,24	0,27	0,28	0,30	0,31
Calcium	%TS	0,30 – 1,00	0,50	0,43	0,47	0,51	0,48
Schwefel	%TS	-2)	0,30	0,29	0,27	0,26	0,26
Kupfer	mg/kg TS	6 – 17	14,8	12,8	13,1	12,1	10,6
Mangan	mg/kg TS	40 – 160	77	68	68	67	60
Zink	mg/kg TS	22 – 70	33	31	29	22	23
Bor	mg/kg TS	7 – 30	4,5	2,7	3,9	3,7	3,0
Molybdän	mg/kg TS	0,20 – 0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40
Eisen	mg/kg TS	-2)	373	227	176	155	168

farbliche Markierung nach Versorgungsstufe: **A, B, C, D, E**; A = Mangel, B = leicht unterversorgt, C = optimale Versorgung, D = leicht überversorgt, E = Nährstoffüberschuss

UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung

1) Bergmann, Werner (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 3. Aufl.; 2) es liegen keine Orientierungswerte vor

Auffällig zum Probenahmetermin zum Zeitpunkt der Maisblüte waren neben der weiterhin suboptimalen Kaliversorgung auch die vergleichsweise niedrigen N-Gehalte in den Kolbenblättern. Diese spiegeln die trockenheitsbedingt stark eingeschränkte N-Nachlieferung aus der Ackerkrume, bei gleichzeitig hohen Wachstumsraten der Pflanzen, wieder. Am deutlichsten wurde dies in den ungedüngten Kontrollparzellen. Die ursprünglich noch zum Zeitpunkt Anfang Juni festgestellte mangelhafte Borversorgung, zeigte sich zum Zeitpunkt der Blüte hingegen nicht mehr.

Tabelle 8: Ergebnisse der komplexen Pflanzenanalyse – Termin zur Blüte (Probenahme am 25.07.2024 als Mischprobe der vier Scheinwiederholungen aus den nicht beernteten Randreihen)

Parameter	Einheit	Orientierungswert ¹⁾	Ohne N	Ohne UFD (1)	UFD Mila Mais (2)	UFD DAP (3)	UFD DAP mit BD (4)
Stickstoff	%TS	2,8 – 3,5	2,1	2,3	2,5	2,2	2,3
Phosphor	%TS	0,16 – 0,35	0,21	0,26	0,24	0,24	0,23
Kalium	%TS	2,0 – 4,0	1,7	1,8	1,6	1,5	1,4
Magnesium	%TS	0,20 – 0,50	0,35	0,36	0,33	0,34	0,37
Calcium	%TS	- ²⁾	0,96	0,92	0,87	0,91	0,95
Schwefel	%TS	- ²⁾	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18
Kupfer	mg/kg TS	8,0 – 16,0	11,5	16,8	13,5	13,6	12,6
Mangan	mg/kg TS	20 – 150	61	61	62	64	60
Zink	mg/kg TS	22 – 60	28	34	31	27	29
Bor	mg/kg TS	8,0 – 20,0	9,2	10,2	11,0	8,5	10,0
Molybdän	mg/kg TS	0,15 – 0,5	0,40	0,50	0,50	0,60	0,40
Eisen	mg/kg TS	- ²⁾	119	124	111	116	111

farbliche Markierung nach Versorgungsstufe: **A, B, C, D, E**; A = Mangel, B = leicht unterversorgt, C = optimale Versorgung, D = leicht überversorgt, E = Nährstoffüberschuss

UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung

1) Bergmann, Werner (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen, 3. Aufl.; 2) es liegen keine Orientierungswerte vor

5.5 Kornertrag

Am 14.10.2024 erfolgte die Ertragsfeststellung in den mittleren Kernreihen der Anlageparzellen mittels Parzellendrescher. Die Kornerträge sind in Abbildung 12 im Mittel der vier separat beernteten Scheinwiederholungen und korrigiert auf 14 % Basisfeuchte dargestellt. Aufgrund der heißen und trockenen Abreifbedingungen im September erfolgte der Drusch bei vergleichsweise geringen Kornfeuchten deutlich unterhalb von 20 %. Unterschiede zwischen den Düngevarianten bestanden hierbei nicht.

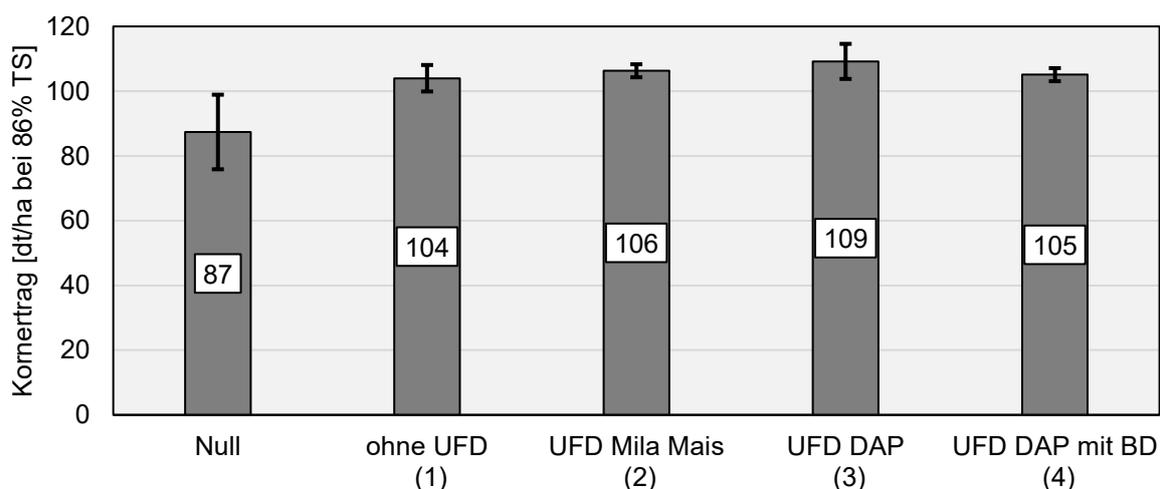


Abbildung 12: Mittlerer Kornertrag der Düngevarianten (Fehlerbalken kennzeichnet die Standardabweichung)

Das am Standort erzielte Ertragsniveau von über 10 t/ha ist in Anbetracht des enormen Niederschlagsdefizits von rd. 100 mm im Zeitraum von Juni bis August noch beachtlich und zeigt eindrucksvoll die Bedeutung der Bodenwasservorräte auf tiefgründigen Lößstandorten für die Ertragsbildung in trockenen Jahren.

Ertragseffekte der Unterfußdüngung mit DAP bzw. mit Yara Mila Mais konnten, trotz zwischenzeitlich sichtbarer Wachstumsvorteile im Juni, nicht festgestellt werden. Anders als beim Kali, wo sich die geringen Bodengehalte (Gehaltsklasse B) auch in geringen Pflanzengehalten bei der komplexen Pflanzenanalyse widerspiegelten, waren auch in den Maispflanzen ohne Unterfußdüngung ausreichende P Gehalte anzutreffen. Dies legt den Schluss nahe, dass die Bedingungen für die P-Aufnahme und P-Nachlieferung aus der Bodenmatrix offenbar günstig waren.

Auch die zusätzliche Bereitstellung von Zink und Bor über die Unterfußdüngung (Variante 2, Yara Mila Mais) bzw. über das Blatt (Variante 4) schlug sich nicht im Kornertrag nieder, obwohl im Juni noch mangelhafte Borgehalte in den Pflanzen festgestellt worden waren. Zum Zeitpunkt der Blüte war dies hingegen auch in den Pflanzen ohne Mikronährstoffdüngung nicht mehr der Fall.

Trotz der trockenheitsbedingt eingeschränkten N-Nachlieferung aus dem organischen N-Pool fielen die durch die Stickstoffdüngung erzielten Mehrerträge von rd. 17 % vergleichsweise moderat aus.

5.6 Nährstoffausnutzung und N-Nachlieferung unter dem Bestand

Dem moderat mit Stickstoff gedüngten Mais standen in allen Versuchsvarianten beachtliche N-Entzüge über Korn (rd. 125 kg N/ha) und Restpflanze (rd. 60 kg N/ha) gegenüber. Der N-Entzug über die Restpflanze wurde hierbei exemplarisch durch zusätzliche Handbeerntungen in Düngewariante 4 abgeschätzt und kann auch als Orientierung für die anderen Düngewarianten angesehen werden (Tabelle 9). Aus den beschriebenen Gesamtentzügen leitet sich bei dem realisierten N-Düngeniveau von 110 kg N/ha ein deutlich negativer N-Saldo, in Höhe von -76 kg/ha, ab.

Tabelle 9: N-Entzüge über Korn und Restpflanze

Variante	RP im Korn [%]	N-Entzug Korn [kg/ha]	RP in der Restpflanze ¹⁾ [%]	N-Entzug der Restpflanze [kg/ha]
Ohne N	8,2	101	3,4	38
Ohne UFD (1)	8,3	119	n.b.	n.b.
UFD Mila Mais (2)	8,4	122	n.b.	n.b.
UFD DAP (3)	8,3	125	n.b.	n.b.
UFD DAP mit BD (4)	8,7	126	4,5	61

1) exemplarisch ermittelt mithilfe von Handernten

n.b. nicht bestimmt; UFD = Unterfußdüngung; BD = Blattdüngung

Anhand des Gesamt-N-Entzuges des Mais in den ungedüngten Kontrollparzellen und dem Saldo aus N_{\min} zu Vegetationsbeginn (56 kg/ha in 0-60 cm) und nach der Ernte kann auf eine beachtliche N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat in Höhe von rd. 149 kg N/ha geschlossen werden (Tabelle 10). Unter dem gedüngten Mais wurden rechnerisch rd. 100 kg N/ha freigesetzt. In Anbetracht der Trockenheit von Juni bis August kann auf dem tiefgründigen Standort davon ausgegangen werden, dass ein gewisser Teil des vom Bestand aufgenommenen Stickstoffs, auch aus tieferen Bodenschichten (jenseits von 90 cm) stammt.

Die nach der Ernte angetroffenen N_{\min} -Beträge im ungedüngten (66 kg N/ha) und gedüngten Mais (80 kg N/ha) weisen darauf hin, dass nach den hohen Niederschlagsmengen im September und ent-

sprechender Wiederbefeuchtung der oberen Bodenschicht wieder mineralischer Stickstoff freigesetzt wurde (Tabelle 10). Hierfür sprechen auch die deutlich höheren N-Mengen im schwächer durchwurzelten Reihenzwischenraum im Vergleich zu den N_{min} -Werten in der Reihe. Diese Beprobungen erfolgten exemplarisch in den ungedüngten Kontrollparzellen und Düngevariante 4 (Tabelle 11).

Tabelle 10: N-Bilanzsaldo und N_{min} nach der Ernte

Variante	N-Düngung kg/ha	Gesamt-N-Entzug kg/ha	N-Bilanzsaldo kg/ha	Rest- N_{min} 0-60 cm kg/ha	N-Nachlieferung kg/ha
ohne N	0	139	-139	66	149
Mit N (Var. 1-4)	110	186	-76	80	100

Tabelle 11: Exemplarische N_{min} -Untersuchung nach der Ernte in der Maisreihe und dazwischen

Variante	Bereich der Probenahme	N_{min} in kg/ha in 0-60 cm
ohne N	in der Reihe	50
ohne N	zwischen den Reihen	83
UFD DAP mit BD (4)	in der Reihe	57
UFD DAP mit BD (4)	zwischen den Reihen	104

UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung

Die in den komplexen Pflanzenanalysen zum Zeitpunkt des einsetzenden Längenwachstums sowie zur Blüte festgestellten niedrigen Kaligehalte in den Blättern waren Anlass auch die Gehalte im geernteten Maiskorn zu ermitteln (Tabelle 12). Diese lagen mit 0,25 kg bis 0,30 kg je dt Kornertrag (86 % TS) zum Teil um mehr als ein Drittel unterhalb des vom LfULG in der Datensammlung Düngerecht angegebenen Richtwertes. Eine Ertragsbeeinflussung infolge der suboptimalen Kaliversorgung ist insbesondere unter dem trockenen Witterungsverlauf im Jahr 2024 zu vermuten.

Tabelle 12: Kaliumgehalte im Maiskorn

Variante	Kaliumgehalt im Korn [kg /dt FM]	Kaliumgehalt im Korn relativ
Richtwert ¹⁾	0,42	100
Ohne N	0,30	71
Ohne UFD	0,28	67
UFD Mila Mais	0,25	59
UFD DAP	0,29	69
UFD DAP mit BD	0,29	69

1) Datensammlung Düngerecht: Nährstoffgehalte pflanzlicher Erzeugnisse aus Ackerkulturen und sonstiger Kulturen sowie legume N-Bindung – konventioneller Landbau

UFD = Unterfußdüngung, BD = Blattdüngung

6 Fazit

Das Maisjahr 2024 am Standort Groitzsch war von Aussaat bis Ernte durch überdurchschnittliche Monatsmitteltemperaturen sowie ein enormes Niederschlagsdefizit von über 100 mm in den Hauptwachstumsmonaten von Juni bis August geprägt. Nach den außerordentlich hohen Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr profitierte der Mais auf dem tiefgründigen Lehmboden noch bis in den Sommer hinein von den vollständig aufgefüllten Bodenwasservorräten und erbrachte bei moderatem N-Düngeniveau von 110 kg N/ha, welches vollständig mineralisch verabreicht wurde, noch beachtliche Kornerträge von über 10 t/ha (bei 86 % TS).

Weder die platzierte Nährstoffgabe unterfuß mit einem NP-Dünger (DAP, Yara Mila Mais), noch die zusätzliche Bereitstellung der für den Mais bedeutsamen Spurennährstoffe Zink und Bor über den Unterfußdünger (Yara Mila Mais) bzw. über das Blatt, erbrachten im Vergleich zur Kontrolle, welche lediglich die gleiche N-Menge als Kopfdüngung erhielt, nennenswerte Ertragseffekte.

Mit zunehmender Austrocknung der Ackerkrume im Juni, zum Zeitpunkt des einsetzenden Hauptnährstoffbedarfes des Maises, dürfte die Bodenaktivität und damit die N-Nachlieferung aus dem Oberboden in den Sommermonaten oftmals deutlich herabgesetzt gewesen sein. Die in den gedüngten Maisparzellen beobachteten moderaten Mehrerträge in Höhe von 17 % im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle, weisen dennoch auch auf eine beachtliche N-Bereitstellung aus dem Boden im Laufe der Vegetationsperiode hin. Abgeleitet aus dem N-Entzug des ungedüngten Maises und der Veränderung des N_{\min} unter dem Bestand, vom Frühjahr bis nach der Ernte, ergab sich eine Nettomineralisation in Höhe von rd. 150 kg N/ha. Aufgrund der oftmals trockenen Bedingungen ist zu vermuten, dass Teile des in den Pflanzen zur Ernte festgestellten Stickstoffs auch aus tieferen Bodenschichten (unterhalb von 90 cm) stammen und unter derartigen Standortbedingungen ebenfalls zur Nährstoffversorgung des Bestandes beitragen können.

Zur Absicherung der im Jahr 2024 gemachten Beobachtungen, soll der Versuch im nächsten Jahr am Standort Groitzsch bei Klipphausen wiederholt werden.