

Landwirtschaftliche Nutzpflanzenkunde

LT3 - Wintersemester 2025/26

Prof. Dr. Carl-Philipp Federolf

08.12.2025

Evaluierung des Moduls

- Start der Umfrage: 05.12.2025
um 08:01:00
- Ende der Umfrage: 19.12.2025
um 17:00:00



Mais Düngung

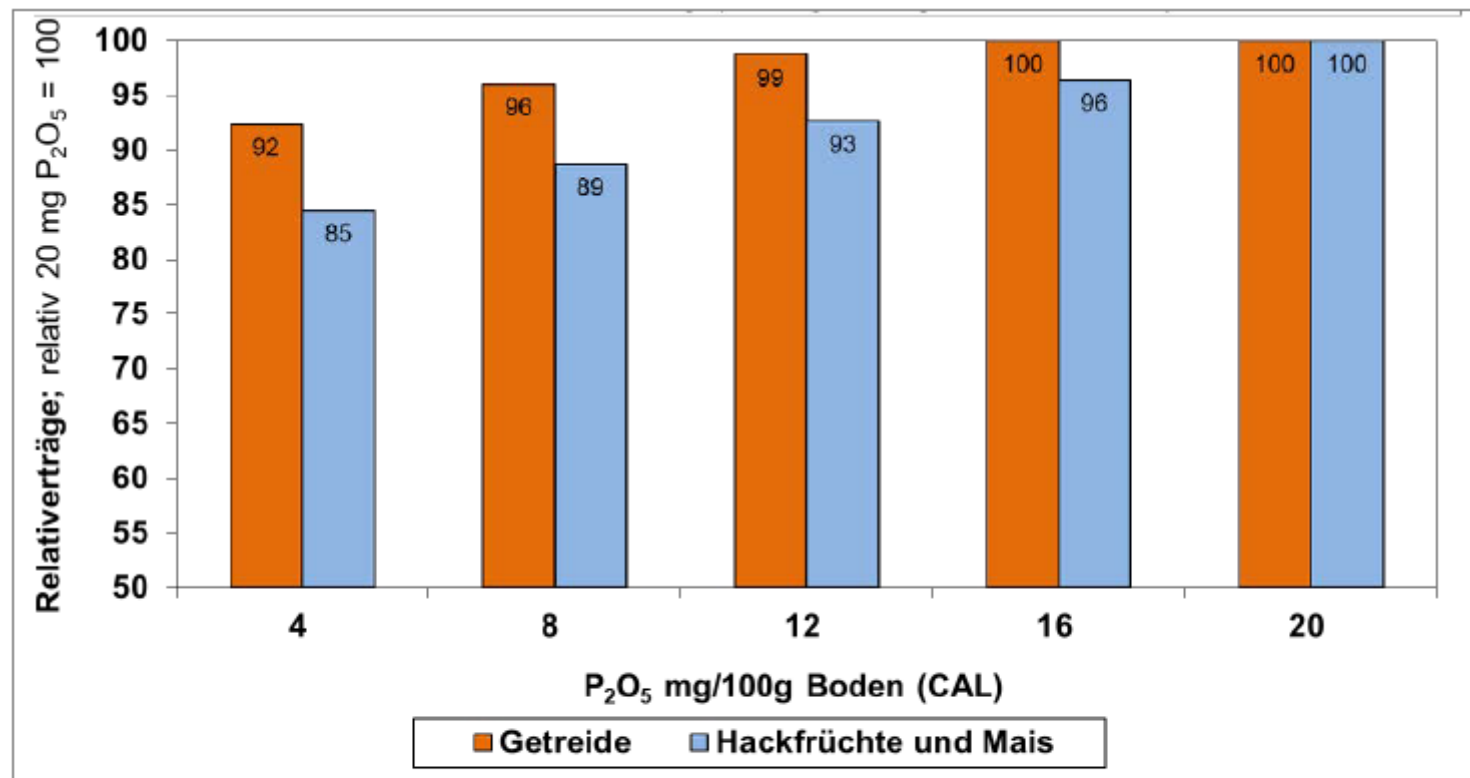
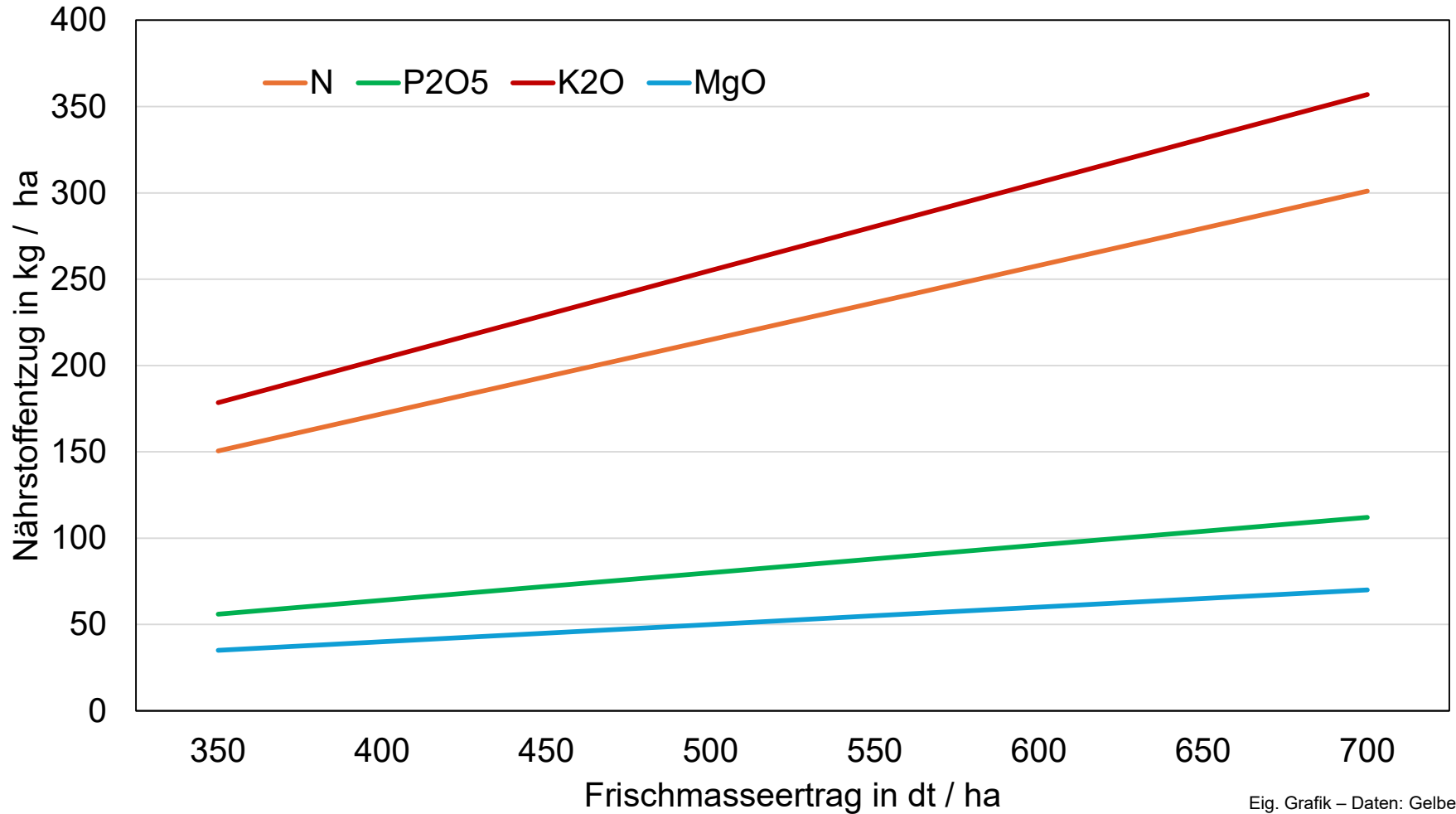
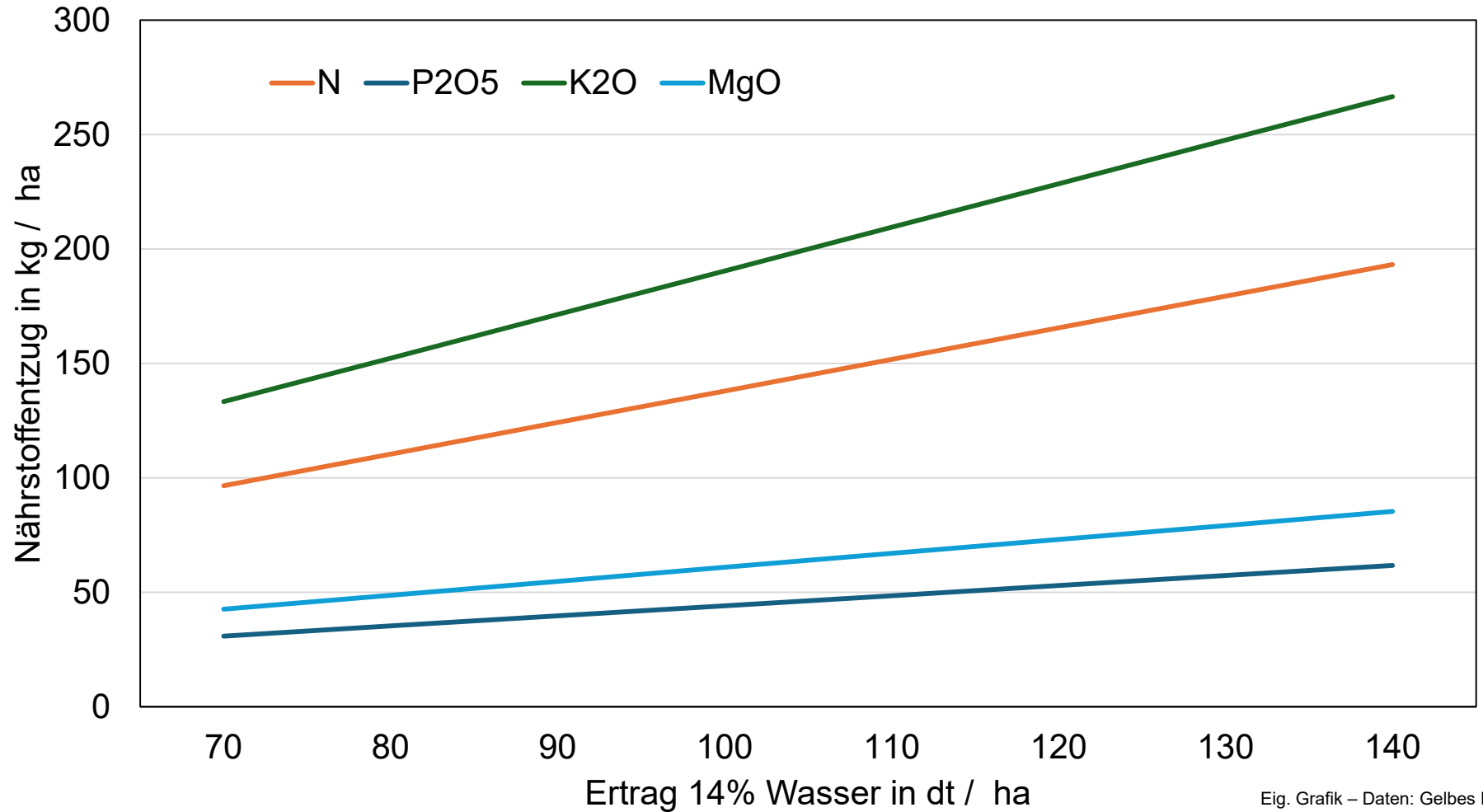


Abbildung 3: Relativerträge von Getreide im Vergleich zu Hackfrüchten und Mais in Abhängigkeit von der Phosphat-Versorgung des Bodens im Falle fehlender Phosphat-Düngung (Schematische Darstellung, Datengrundlage: LfL-Versuche)

Silomais Nährstoffentzug

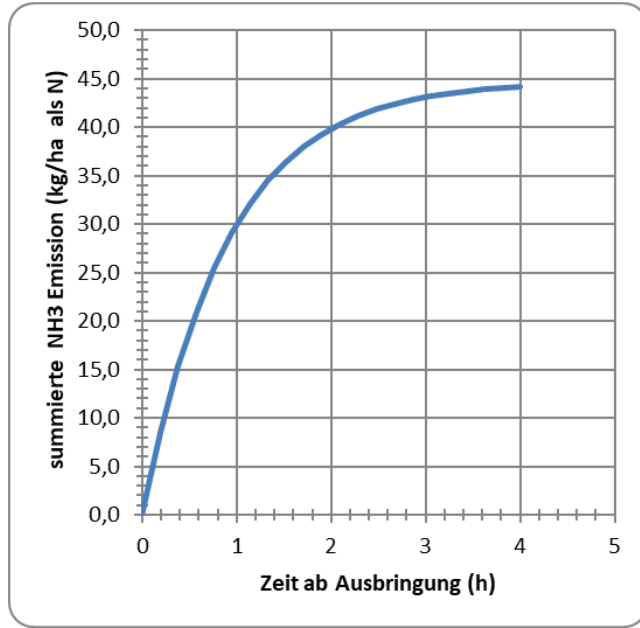


Körnermais Nährstoffentzug

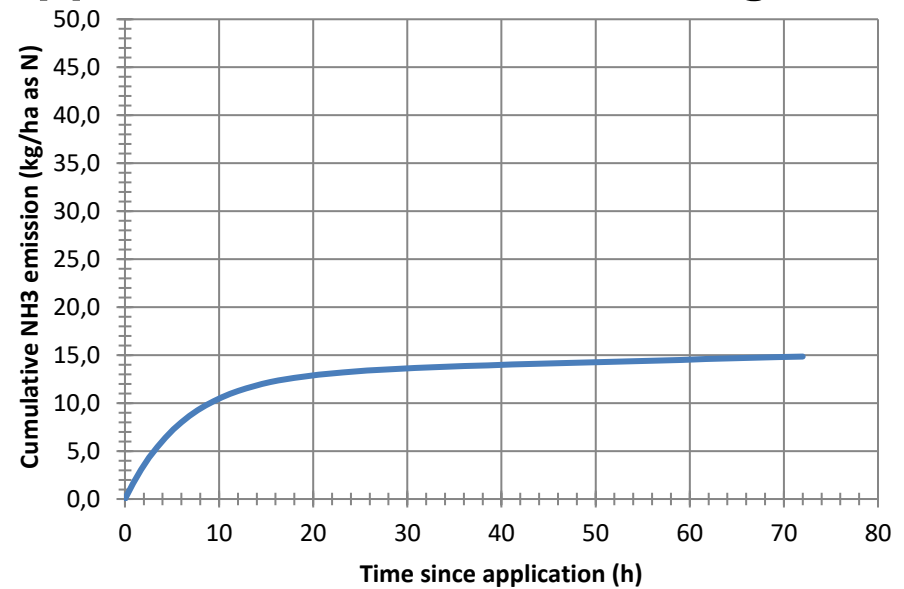


Düngebedarfsermittlung → Gelbes Heft, Online-Tools, usw...

Ammoniakverluste nach Gülleapplikation ohne Einarbeitung



Das ALFAM2 Modell berechnet anhand zu definierender Kenngrößen den Ammoniakverlust. Dargestellt: 33 m³ **Gärrest** mit 3 kg/m³ NH₄, 8% TS, pH-Wert: 8,2, mit Schleppschläuchen ausgebracht und nicht eingearbeitet bei Lufttemp. 15° C und leichtem Wind.



Das ALFAM2 Modell berechnet anhand zu definierender Kenngrößen den Ammoniakverlust. Dargestellt: 40 m³ **Rindergülle** mit 1,9 kg/m³ NH₄, 5 % TS, pH-Wert: 6,9, mit Schleppschläuchen ausgebracht und nicht eingearbeitet bei Lufttemp. 15° C und leichtem Wind.

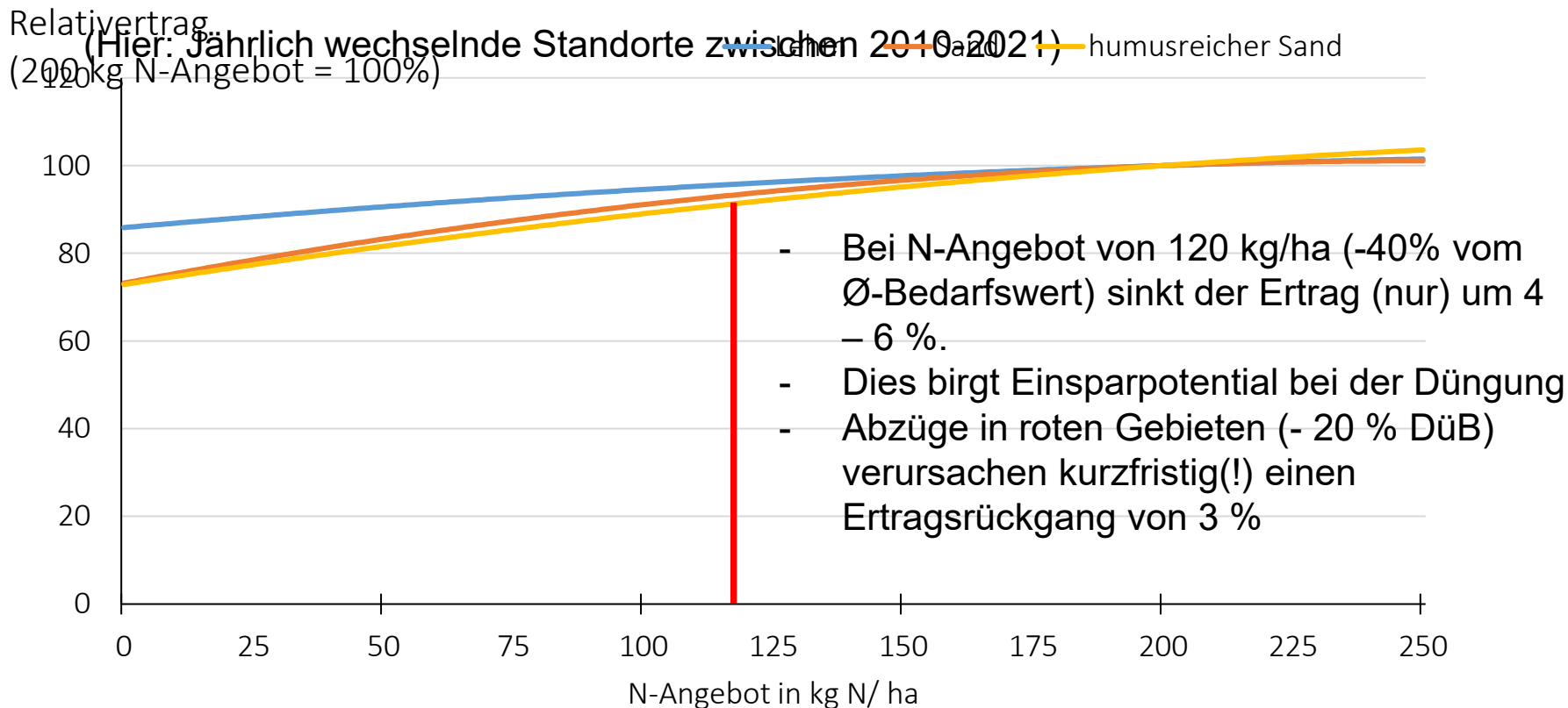
Mais kann wie keine andere Kulturart von der N-Nachlieferung des Bodens zehren. Das hat folgende Gründe:

- Die typischen Maisstandorte verfügen als Folge der langjährigen organischen Düngung über ein hohes Stickstoffnachlieferungsvermögen.
- Wegen der Bodenbearbeitung im Frühjahr und der zunächst fehlenden Beschattung des Bodens sind die Mineralisationsbedingungen ausgesprochen günstig.
- Mais kann den mineralisierten Stickstoff aufgrund des vergleichbar späten Stickstoffbedarfs sowie der langen Vegetationszeit sehr effizient nutzen.
- Diese Gesichtspunkte müssen bei der Stickstoffdüngung berücksichtigt werden, um unwirtschaftliche und ökologisch unerwünschte Überdüngungen zu vermeiden!!!

N-Aufnahme: Langjährige Versuchsauswertungen der LWK NDS

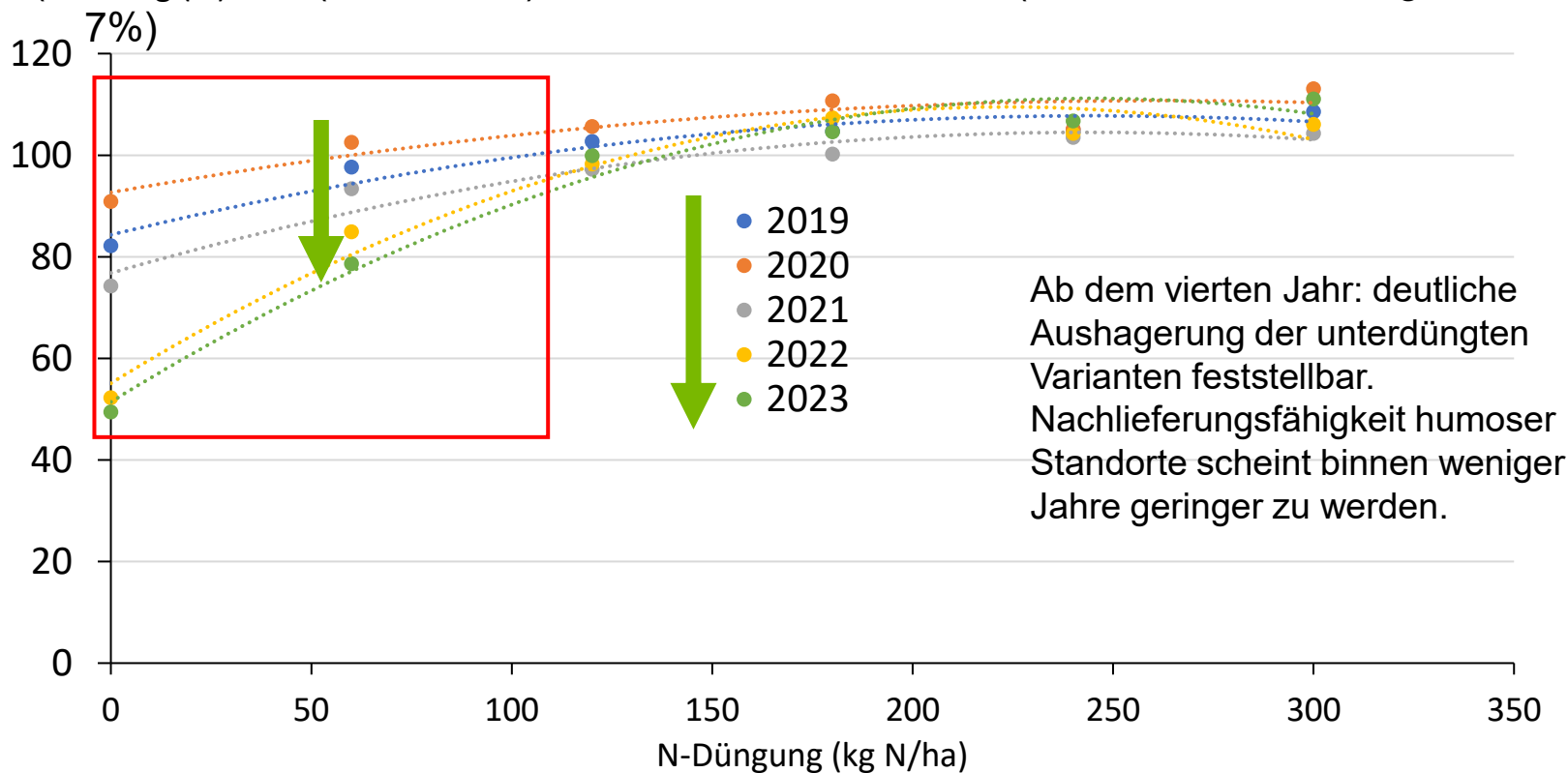
- Im Folgenden: Auswertung mehrjährig, sämtliche N-Steigerungsversuche der LWK Niedersachsen
- Differenziert nach Standorten:
 - Lehm
 - Sand
 - Sand org. (> 8-15% Humus)
- Mais-Ertragskurven in Abhängigkeit der N-Versorgung

N-Dynamik: Ertragskurven Silomais in Abh. vom N-Angebot (relativ)



N-Dynamik: Ertragskurven Silomais in Abh. vom N-Angebot (relativ)

(Dauerversuch (2019-2023) am Standort Feldhausen (Bodenart IS; Humusgehalt: 7%))



Silomais Düngung – der Standard

Güllebreitverteilung im Frühjahr vor der Aussaat



Möglichst nah am
Aussaatzeitpunkt:
4 Wochen vorher ist zu
früh!



Gülleearbeitung

- max 1 Stunde nach Ausbringung
- nicht tiefer als Saattiefe
- Bodenbedingungen beachten – keine Schmieren
- Fahrspuren einebnen
- ...nicht zu viel Überfahren!

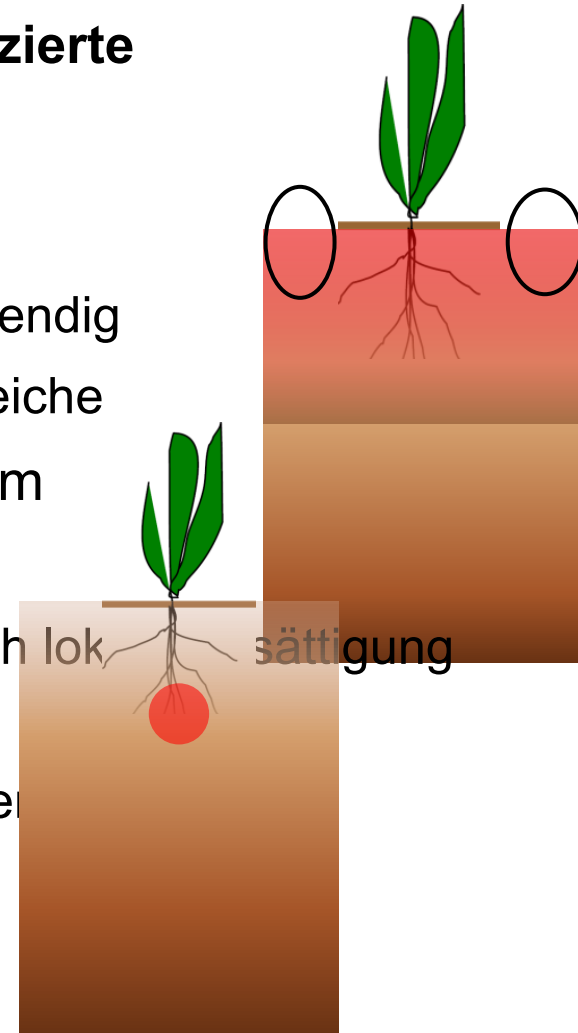
... Startdüngung: mineralische Unterfußdüngung zur



- N/P Unterfußdüngung: 5 cm neben, 5 cm unter dem Korn
- wenn dichter, dann Keimschäden wegen Salzkonzentration möglich

„Standardverfahren“: breitflächige und platzierte Nährstoffgabe

- breitflächige Nährstoffgabe
 - Absättigung des gesamten Oberbodens notwendig
 - z.T. Düngung nicht durchwurzelter Bodenbereiche
- platzierte Nährstoffablage in den Wurzelraum
 - räumliche Zugänglichkeit steigt
 - Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit durch lokale Sättigung der Sorbenten
 - Wesentlich für die P-Verfügbarkeit in der Jugend

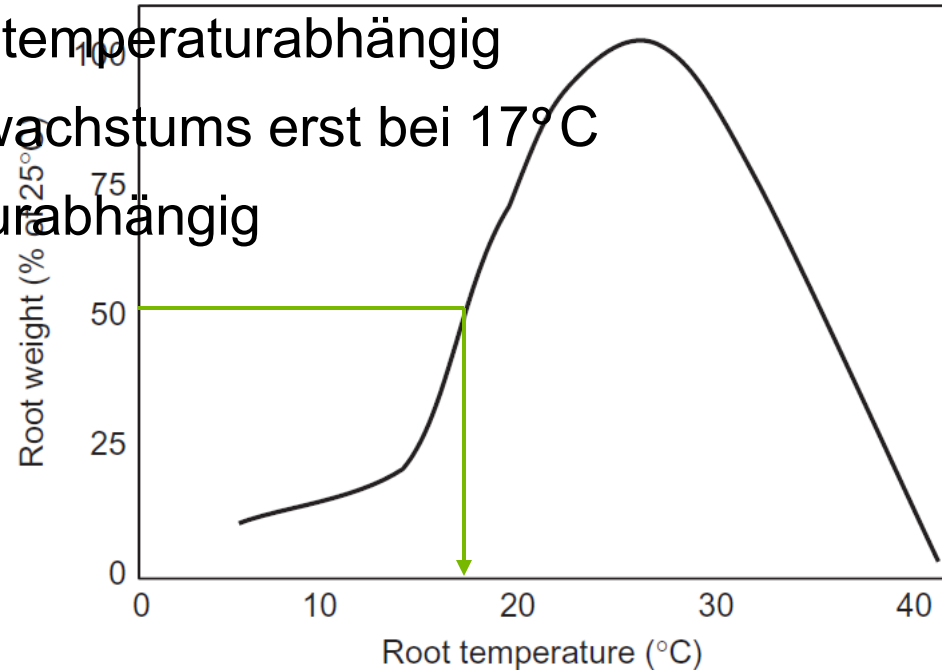


Startdüngung: P-Mangelsymptome bei schlechter Verfügbarkeit ohne N/P-Unterfußdüngung UFD



Exkurs P-Verfügbarkeit

- Mais Wurzelwachstum stark temperaturabhängig
- 50% des optimalen Wurzelwachstums erst bei 17°C
- Phosphatdiffusion Temperaturabhängig



Kaspar, T. C., & Bland, W. L. (1992). Soil Temperature and Root Growth. *Soil Science*, 154(4). [Link](#) in: Marschner, H., & Marschner, P. (Hrsg.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., S. 651). Academic Press.

<http://www.worldcat.org/oclc/749852775>

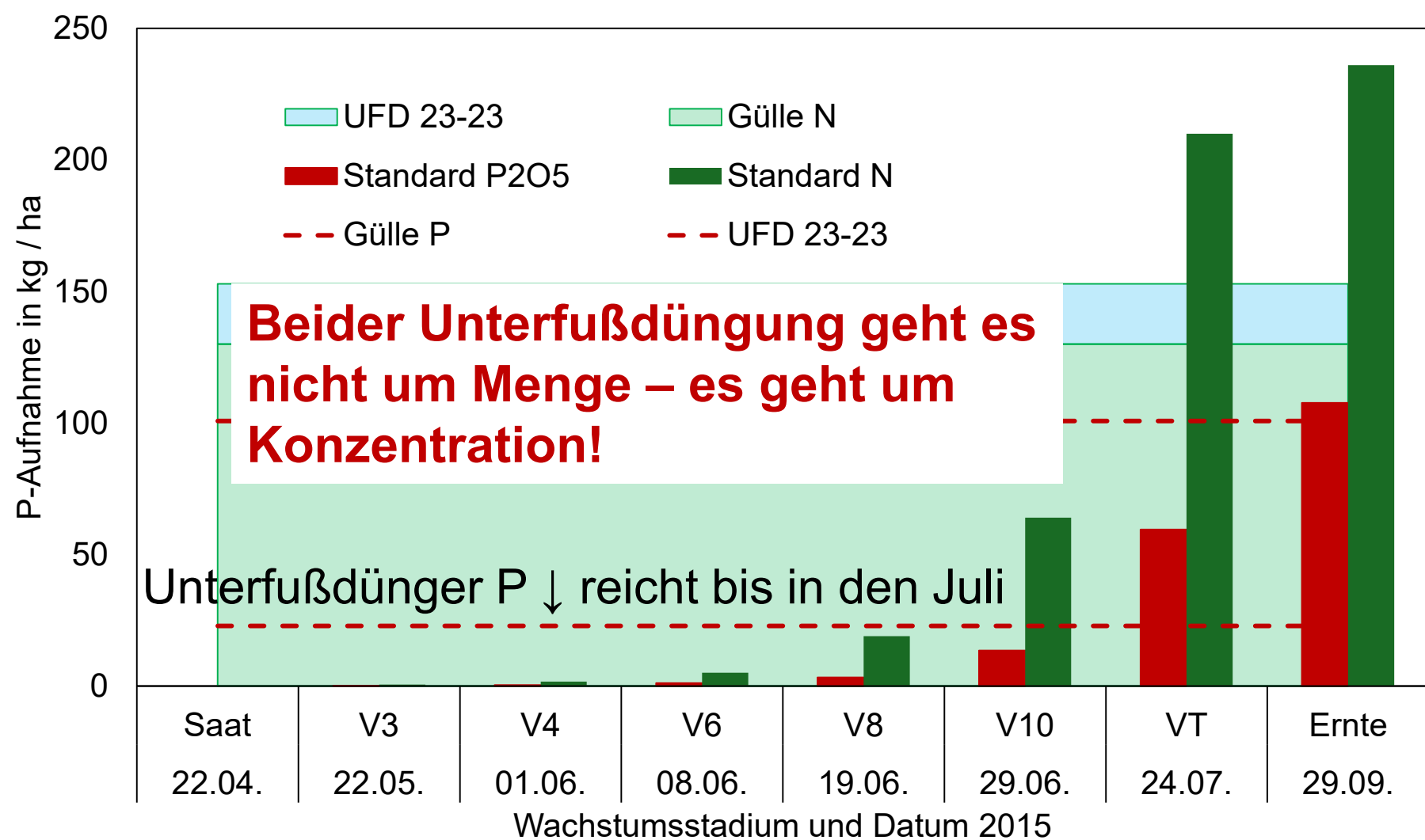
Barber, S. A. (1995). *Soil nutrient bioavailability* (2nd ed, S. xi, 414). Wiley.

<http://www.worldcat.org/oclc/30893303>

FIGURE 13.17 Root biomass of 24-day-old maize seedlings at different temperatures. Based on Kaspar and Bland (1992). With permission from *Soil Science*.

Startdüngung: Worauf bei mineralischer UFD achten?

- Klassisch wird die Unterfußdüngung (UFD) mit einem NP-Dünger durchgeführt.
 - Ca. 20 kg/ha P_2O_5 sind i.d.R. für eine Ertragsabsicherung ausreichend (bei entsprechendem P-Düngebedarf bis ca. 45-50 kg/ha als UFD)
 - Betriebliche P-Bilanz muss den Einsatz mineralischer Unterfußdüngung zulassen.
- Stickstoff sollte als Ammonium-N vorliegen
 - Bei Aufnahme → Absenkung des Rhizosphären-pH → Verbesserung der P-Verfügbarkeit
 - Außerdem: gute Bindung an die Bodenmatrix → Auswaschung ↓
 - bei größeren Mengen in stabilisierter Form (+ Nitrifikationshemmstoff)



Startdüngung: Wann ist eine Startdüngung notwendig?

- versch. Güllemenge
- links oder rechts Startdüngung



Startdüngung: Wann ist eine Startdüngung notwendig?

- Selber Versuch – anderer Standort



Startdüngung: Wann ist eine Startdüngung notwendig?

- P-Gehalt des Bodens ist keine Hilfe, die Wirkung liegt in der hohen P-Konzentration (Verfügbarkeit) im direkten Wurzelbereich.
- Auch die P-Freisetzungsrates, die durch eine definierte Bebrütung einer Bodenprobe festgestellt werden kann, gibt keine Auskunft über den zu erwartenden Effekt einer UFD.
- Maisanbauer sollten daher Düngefenster bei der Anwendung der UFD anlegen und die Bestände bis zum Reihenschluss beobachten, um ihren Standort richtig einschätzen zu können.
- Treten hierbei keine oder nur geringe sichtbare Effekte auf, so ist eine UFD (auf der jeweiligen Fläche) voraussichtlich nicht notwendig.
- Düngefenster sollten zur Abschätzung repräsentativ in der Fläche verteilt erfolgen.

Gülle-Unterfußdüngung

- Ziel des Verfahrens: Ersatz der mineralischen N/P-Unterfußdüngung
- Umsetzung:
 - Injektion der Gülle im Frühjahr vor der Aussaat des Maises
 - Zugabe eines Nitrifikationshemmstoffes zur Gülle
 - Verringerung der Auswaschungs- und gasförmigen N-Verluste
 - Verbesserung der Nährstoffaneignung (insb. P & Mikronährstoffe in der Jugend)
 - Kombination mit „Strip-Till-Verfahren“ direkt in die abgestorbene Zwischenfrucht oder Ackergras/Grünschnittroggen möglich
- Wichtig:
 - Verfahren kommt auf schweren Böden an seine Grenzen (schüttfähige Böden von Vorteil)
 - hohe Ansprüche an die exakte praktische Umsetzung ...



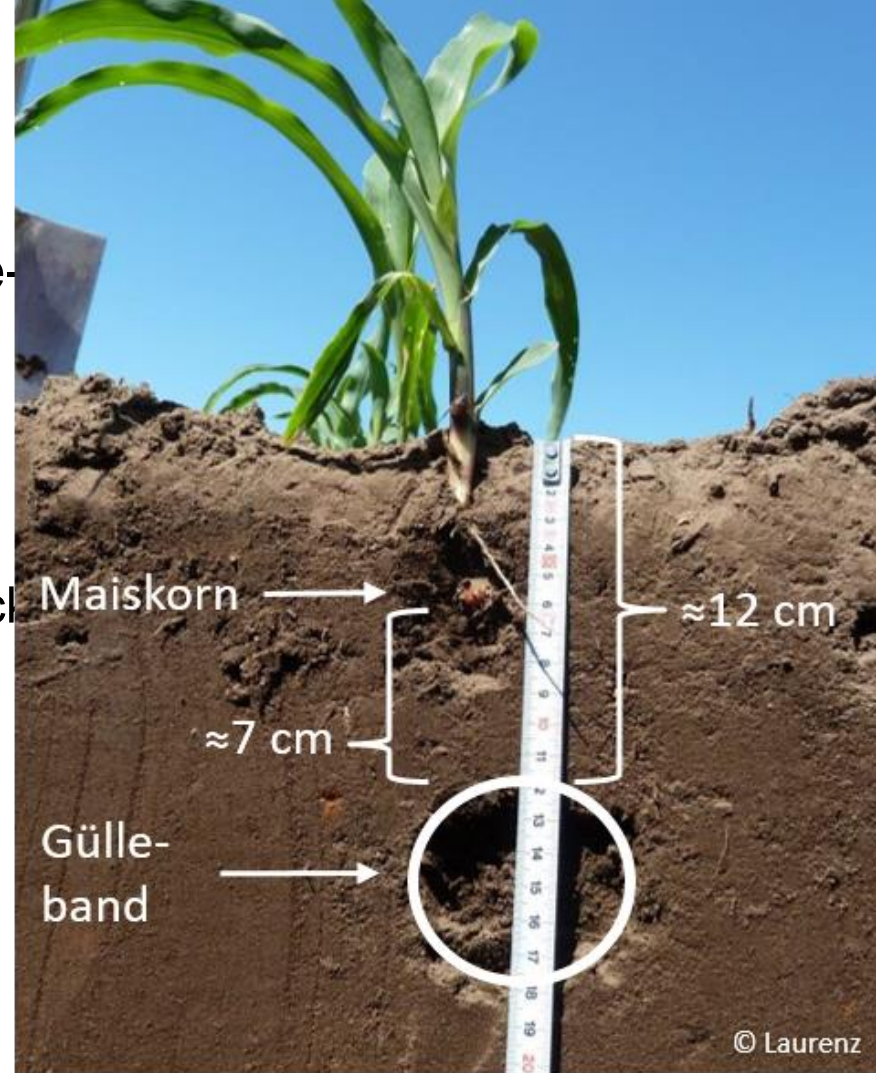


Aussaat direkt über dem
Gülleband Voraussetzung für
erfolgreiche Umsetzung



Gülle-Unterfußdüngung

- Schnelle Erreichbarkeit der Gülle-Wurzeln wichtig!
- Abstand
 - Zu gering: Verätzung
 - Zu weit: Verzögerte Jugendentwicklung



Attraktionswirkung:
Gülleband wird intensiv durchwurzelt
(Wurzelstrang unter der Maisreihe)

→ Höhere Nährstoffausnutzung aus
der Gülle

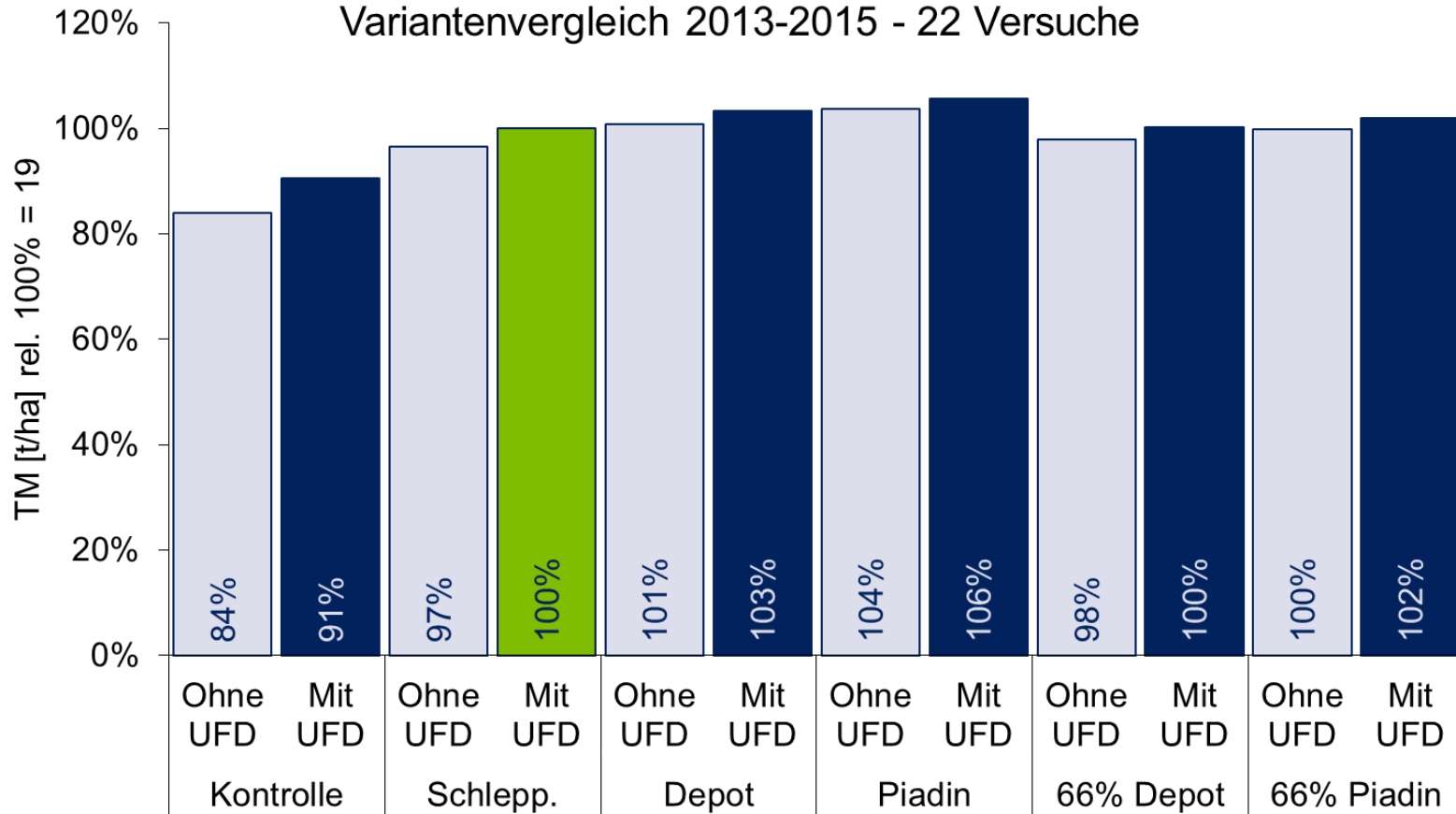




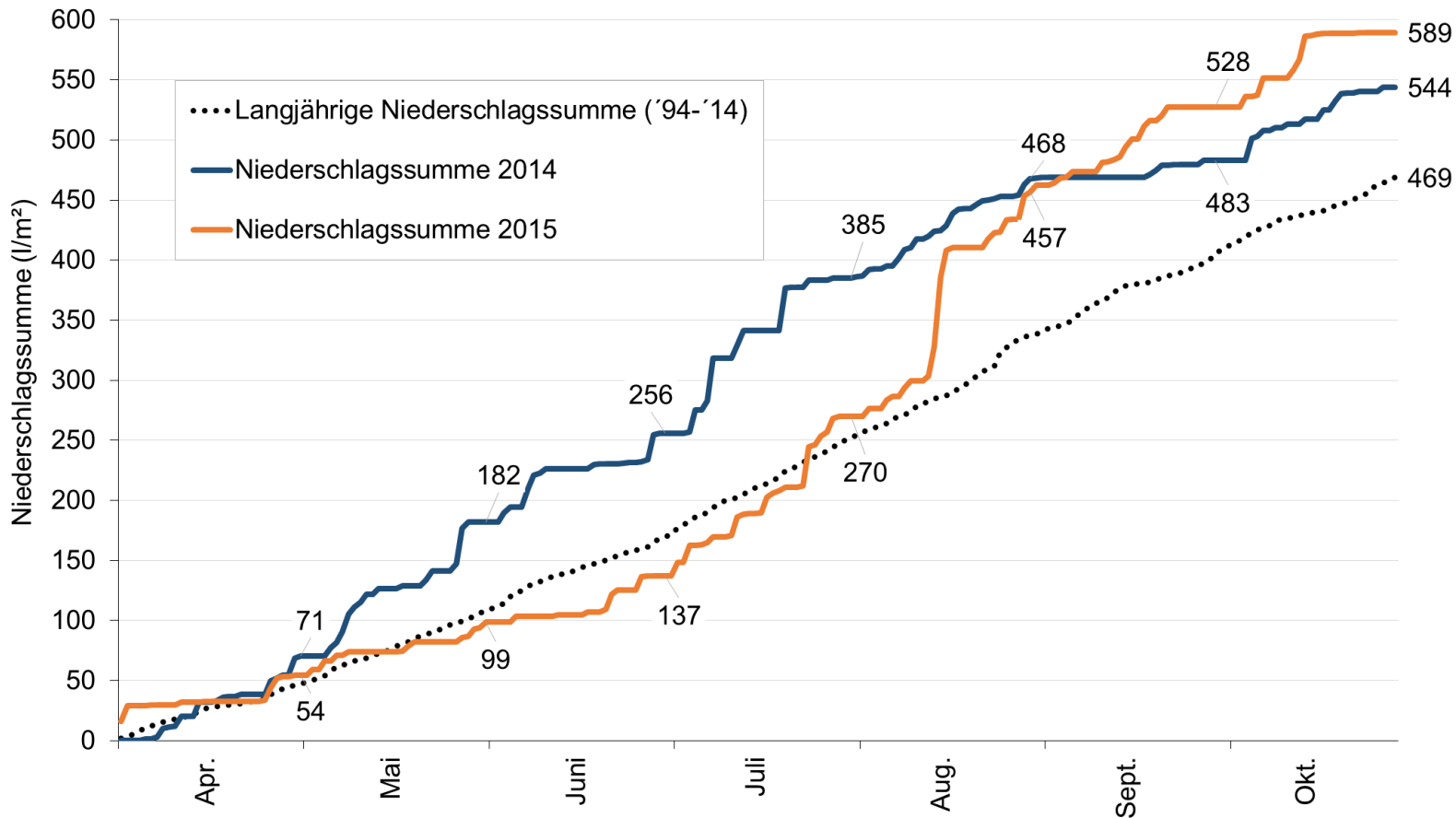


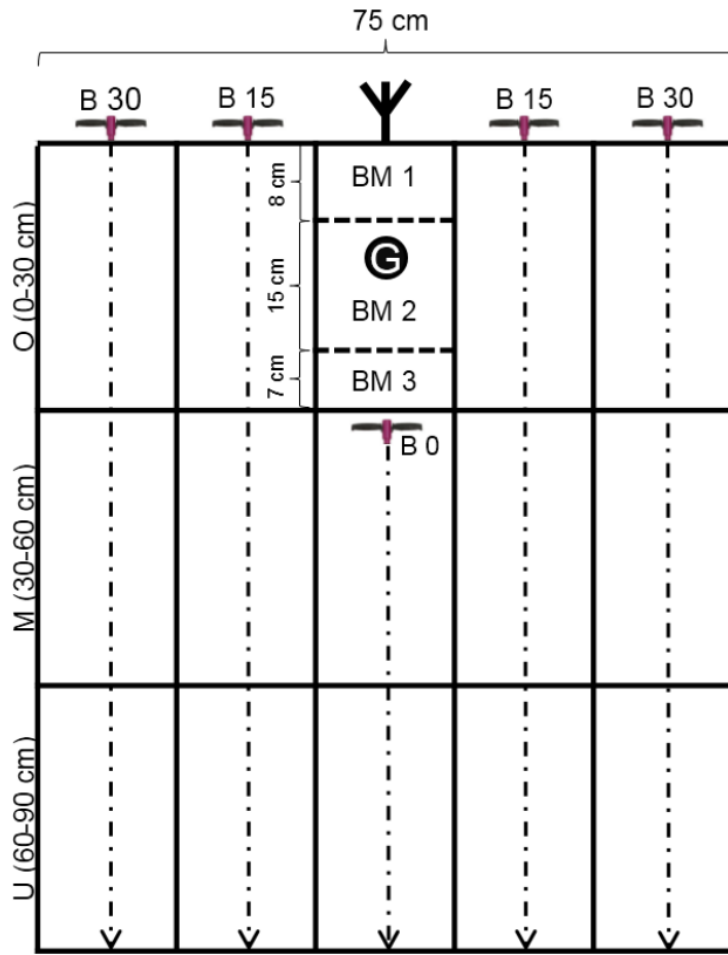
Gülle-Unterfußdüngung: Ertragsergebnisse aus 22

Variantenvergleich 2013-2015 - 22 Versuche

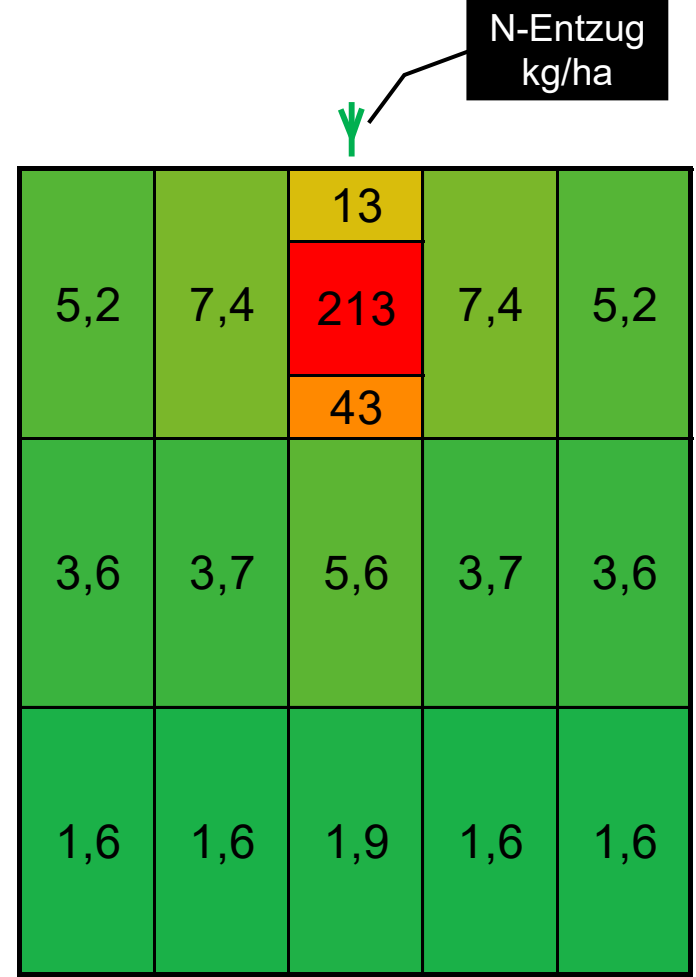


Gülle-Unterfußdüngung: Exaktversuche zur Boden-N-Dynamik auf leichtem Standort in Osnabrück 2014 und





Bodenbeprobungsmethode



Ergebnisdarstellung

2014 Nach Ablauf (24 Tage nach Gülle-Applikation)



19	19	35	19	19
		45		
		9,4		
3,1	3,1	4,1	3,1	3,1
1,7	1,5	1,6	1,5	1,7

Standard



5,2	7,4	13	7,4	5,2
		213		
		43		
3,6	3,7	5,6	3,7	3,6
1,6	1,6	1,9	1,6	1,6

Depot + Ni

2014 6-Blatt (61 Tage nach Gülle-Applikation)

13 kg/ha



4,6	7,4	4,8	7,4	4,6
		2,8		
		5,8		
11	15	15	15	11
11	12	15	12	11

Standard

22 kg/ha



3,7	4,9	5,4	4,9	3,7
		49		
		46		
3,4	4,4	25	4,4	3,4
3,8	5,4	18	5,4	3,8

Depot + Ni

2014 10-Blatt (81 Tage nach Gülle-Applikation)

34 kg/ha



		7,2		
3,0	3,1	1,8	3,1	3,0
		1,3		
7,0	9,6	5,7	9,6	7,0
8,9	11	13	11	8,9

Standard

69 kg/ha



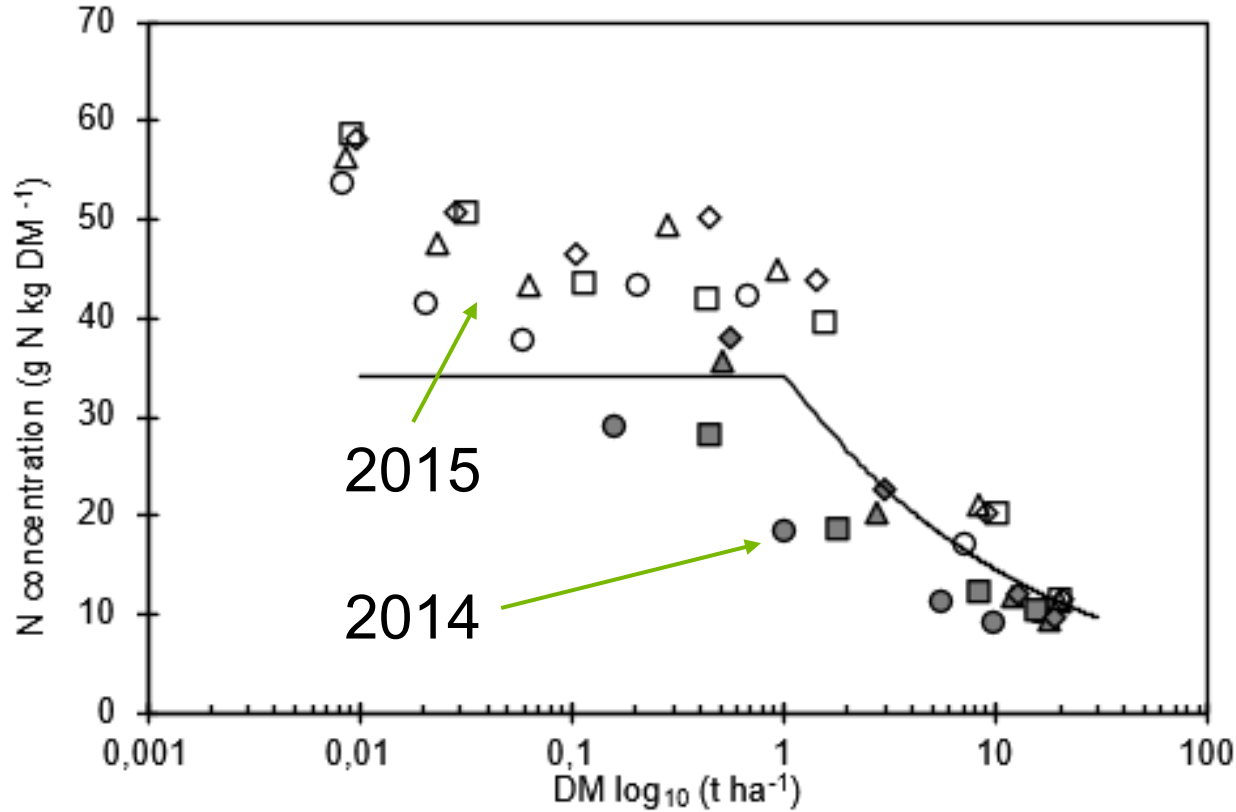
		7,8		
3,0	3,5	5,5	3,5	3,0
		4,8		
2,7	4,5	8,2	4,5	2,7
3,2	4,8	14	4,8	3,2

Depot + Ni

02.07.2014



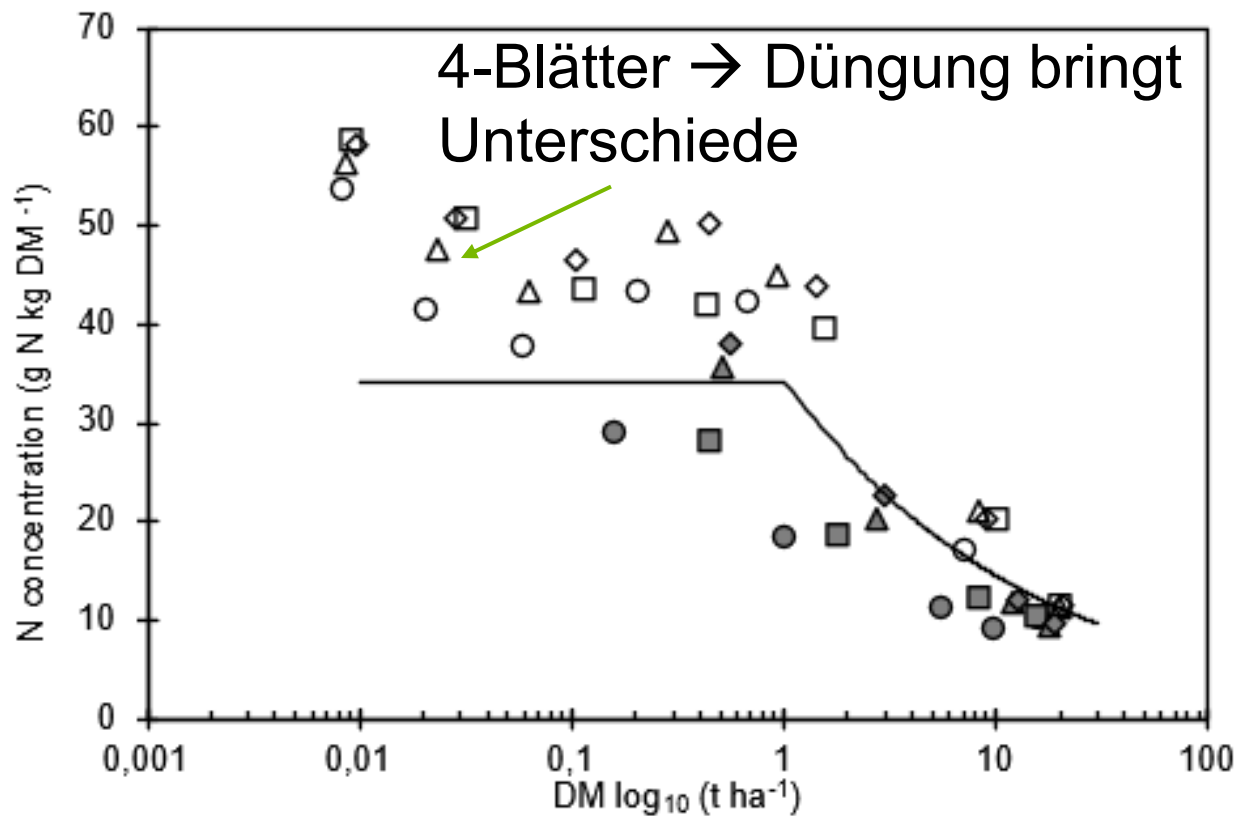
Kritische N-Konzentration in der Biomasse



Federolf, C. P., Westerschulte, M., Olfs, H. W., Broll, G., & Trautz, D. (2017). Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: Crop development. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9813-y>

Plénet, D., & Lemaire, G. (1999). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, 216(1), 65–82. <https://doi.org/10.1023/A:1004783431055>

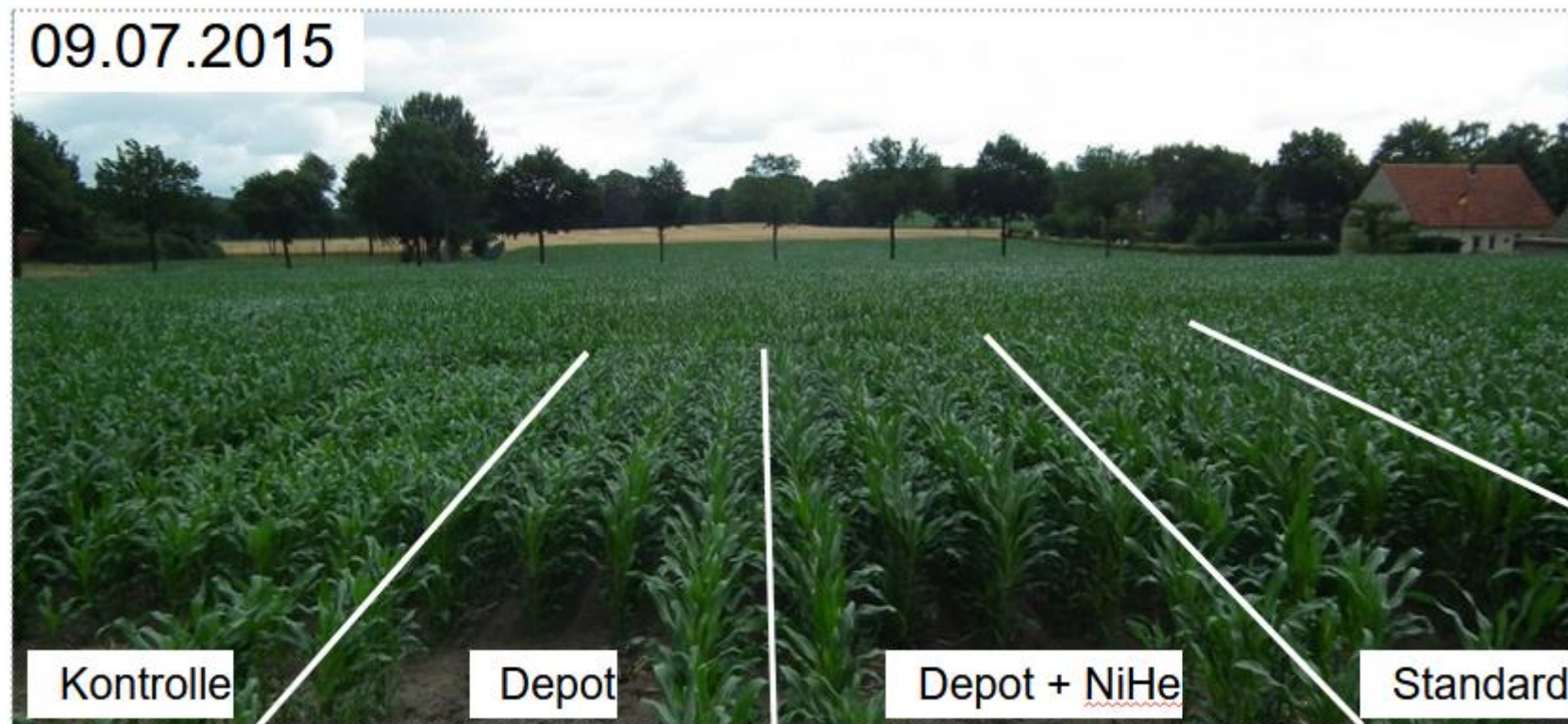
Kritische N-Konzentration in der Biomasse

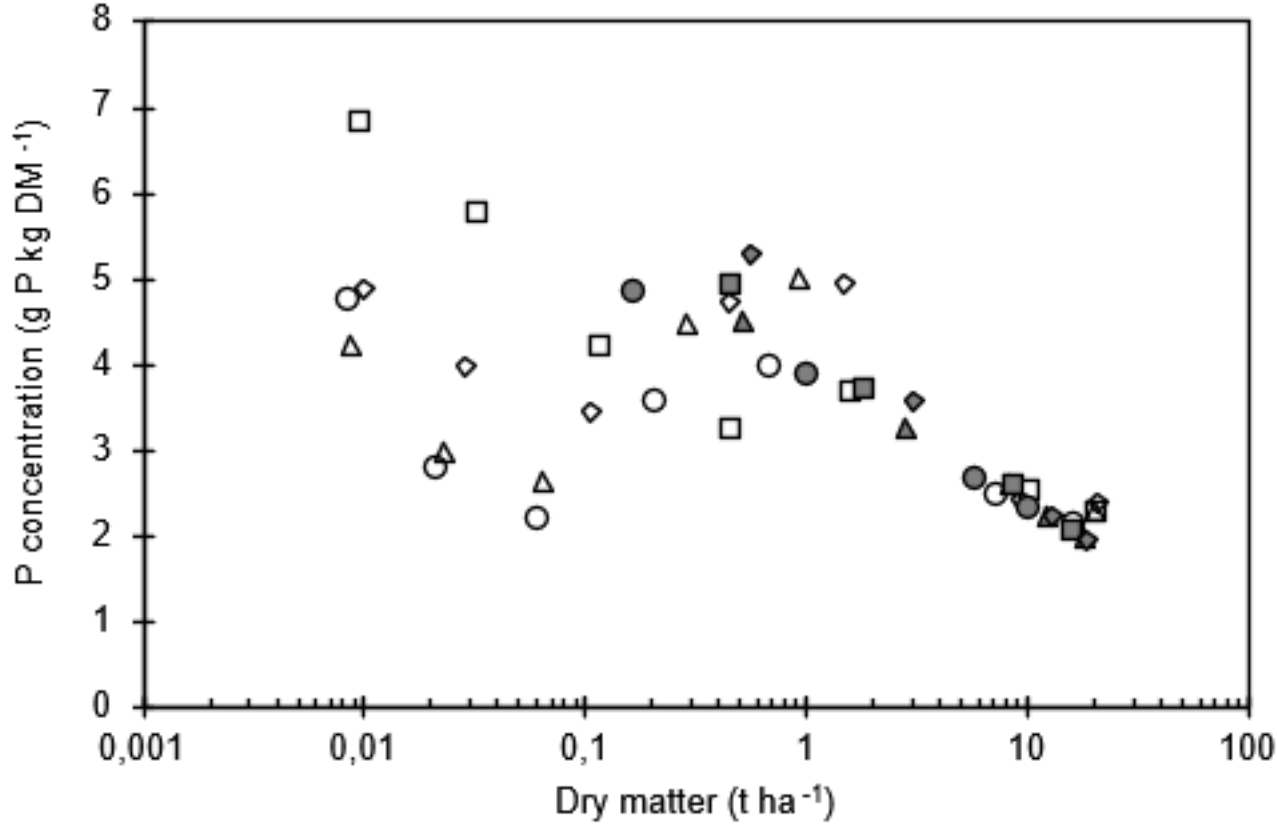


Federolf, C. P., Westerschulte, M., Olfs, H. W., Broll, G., & Trautz, D. (2017). Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: Crop development. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9813-y>

Plénet, D., & Lemaire, G. (1999). Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, 216(1), 65–82. <https://doi.org/10.1023/A:1004783431055>





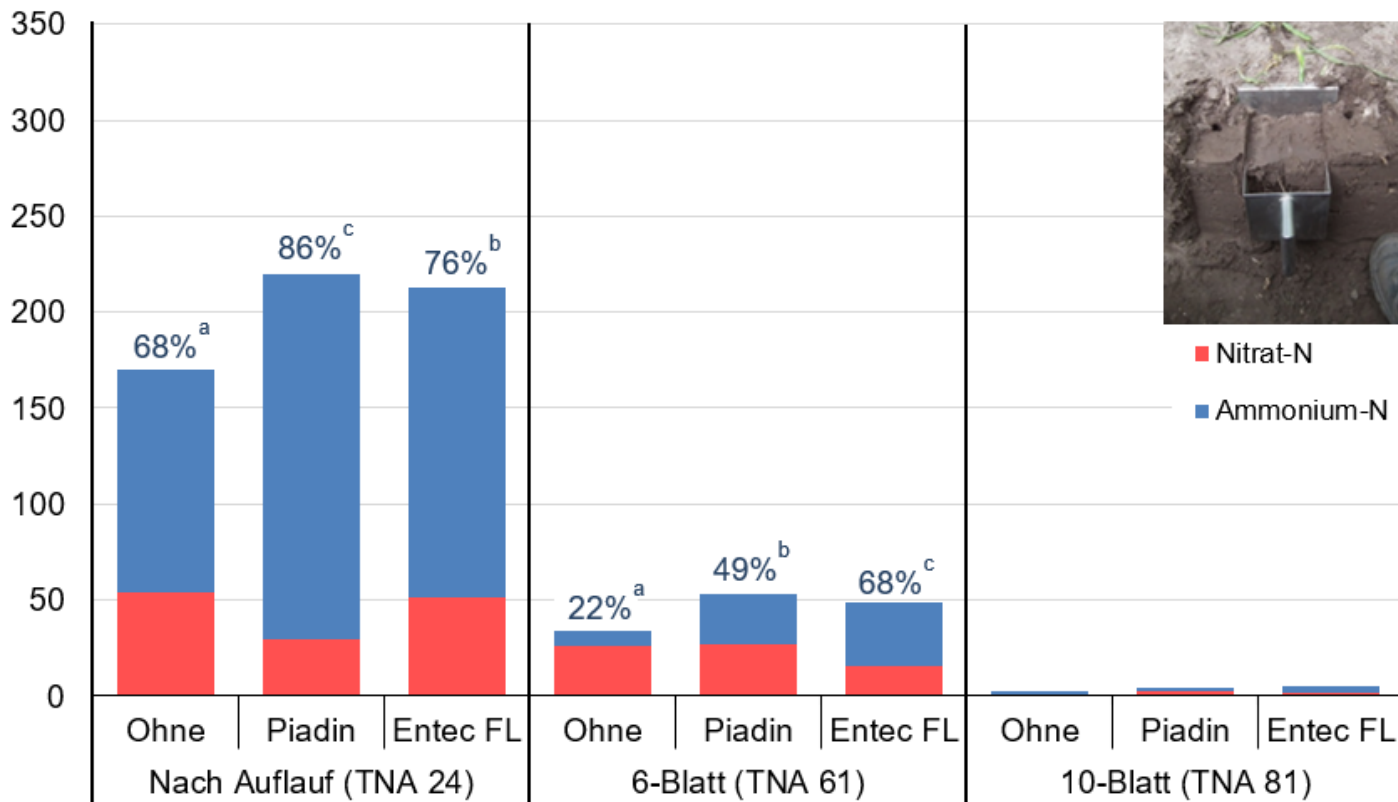


Federolf, C. P., Westerschulte, M., Olfs, H. W., Broll, G., & Trautz, D. (2017). Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: Crop development. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9813-y>

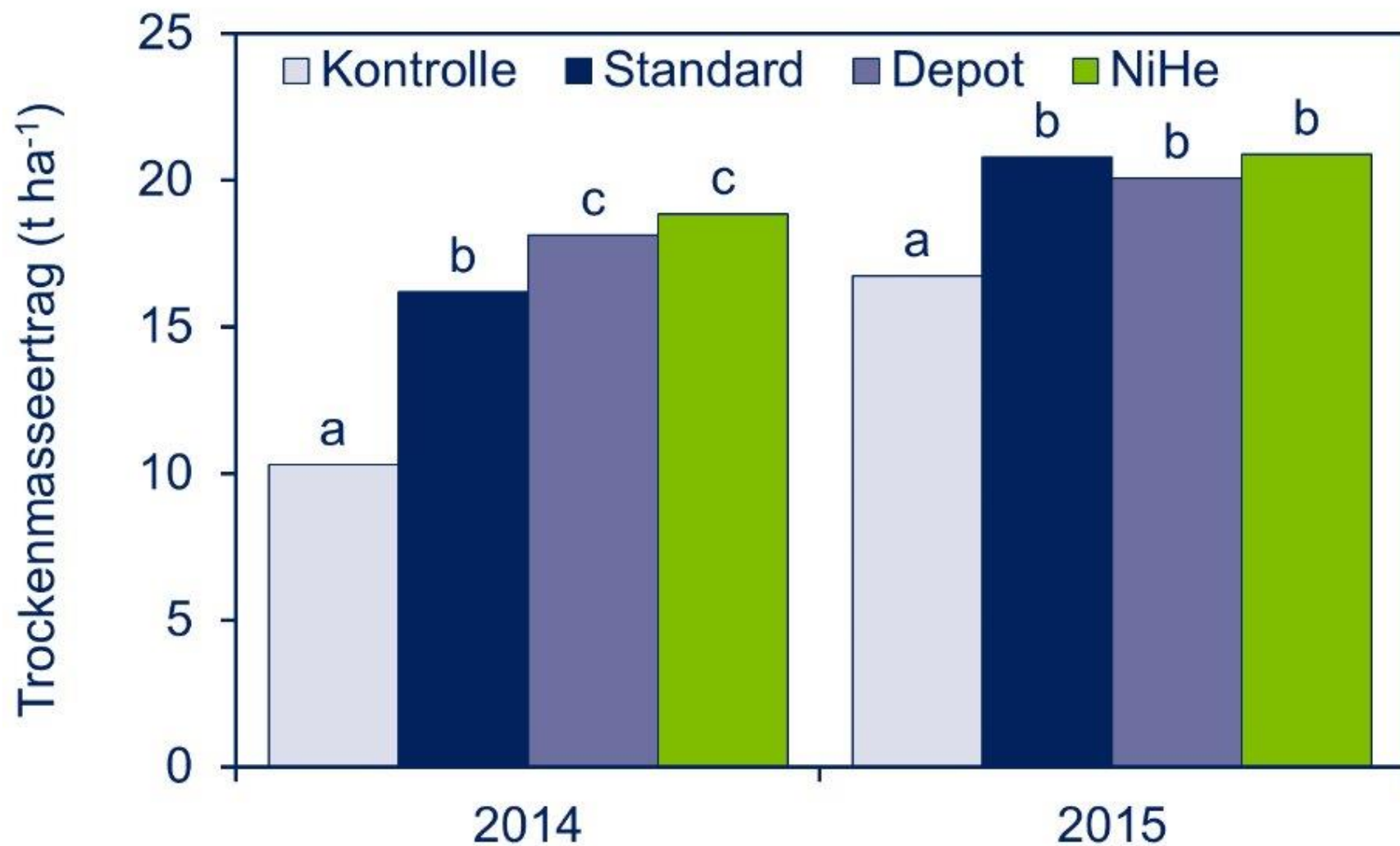
Plénet, D., Mollier, A., & Pellerin, S. (2000). Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and Soil*, 224(2), 259–272. <https://doi.org/10.1023/A:1004835621371>

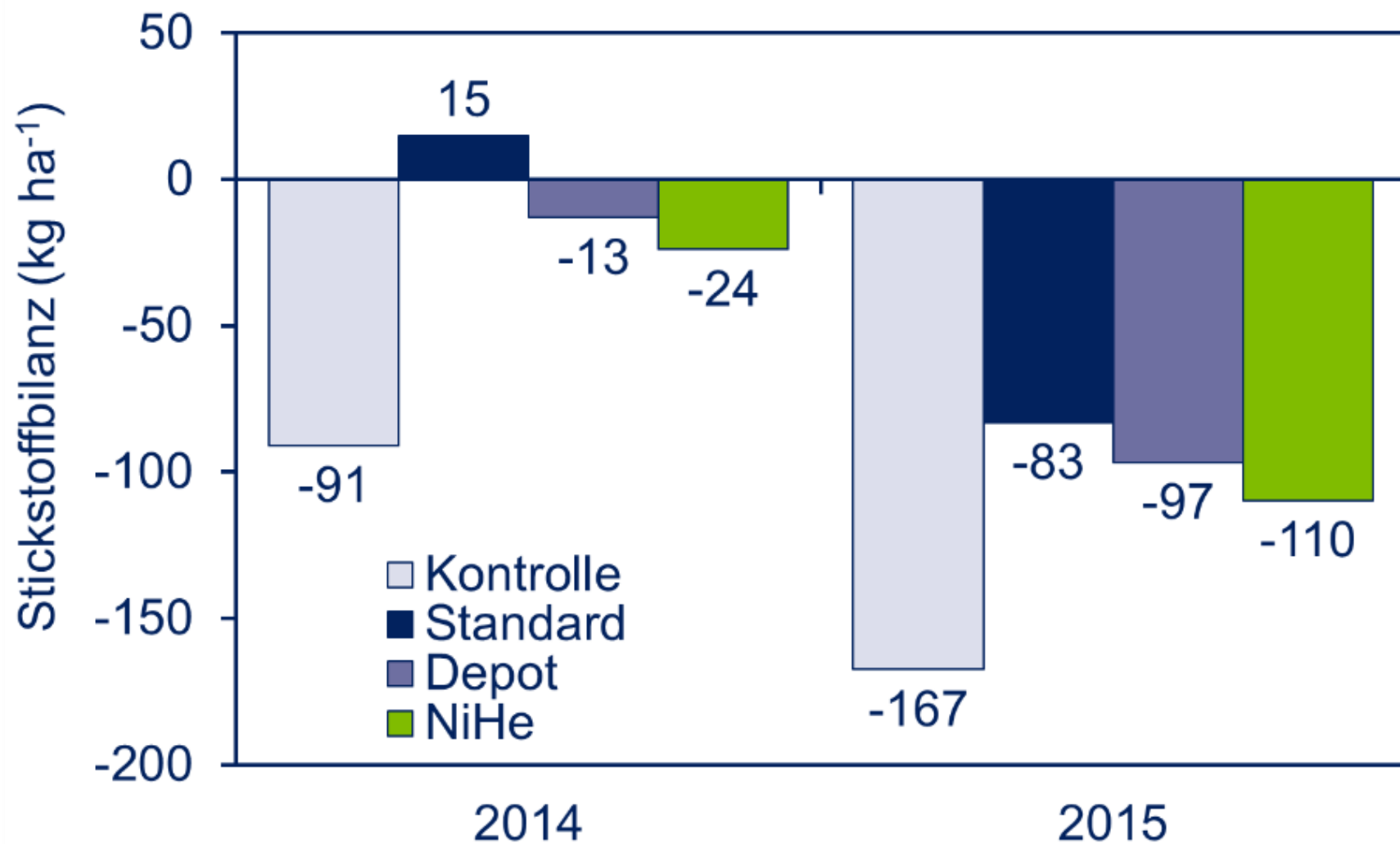
Gülle-Unterfußdüngung: Stabilisierende Wirkung des Nitrifikationshemmstoffs

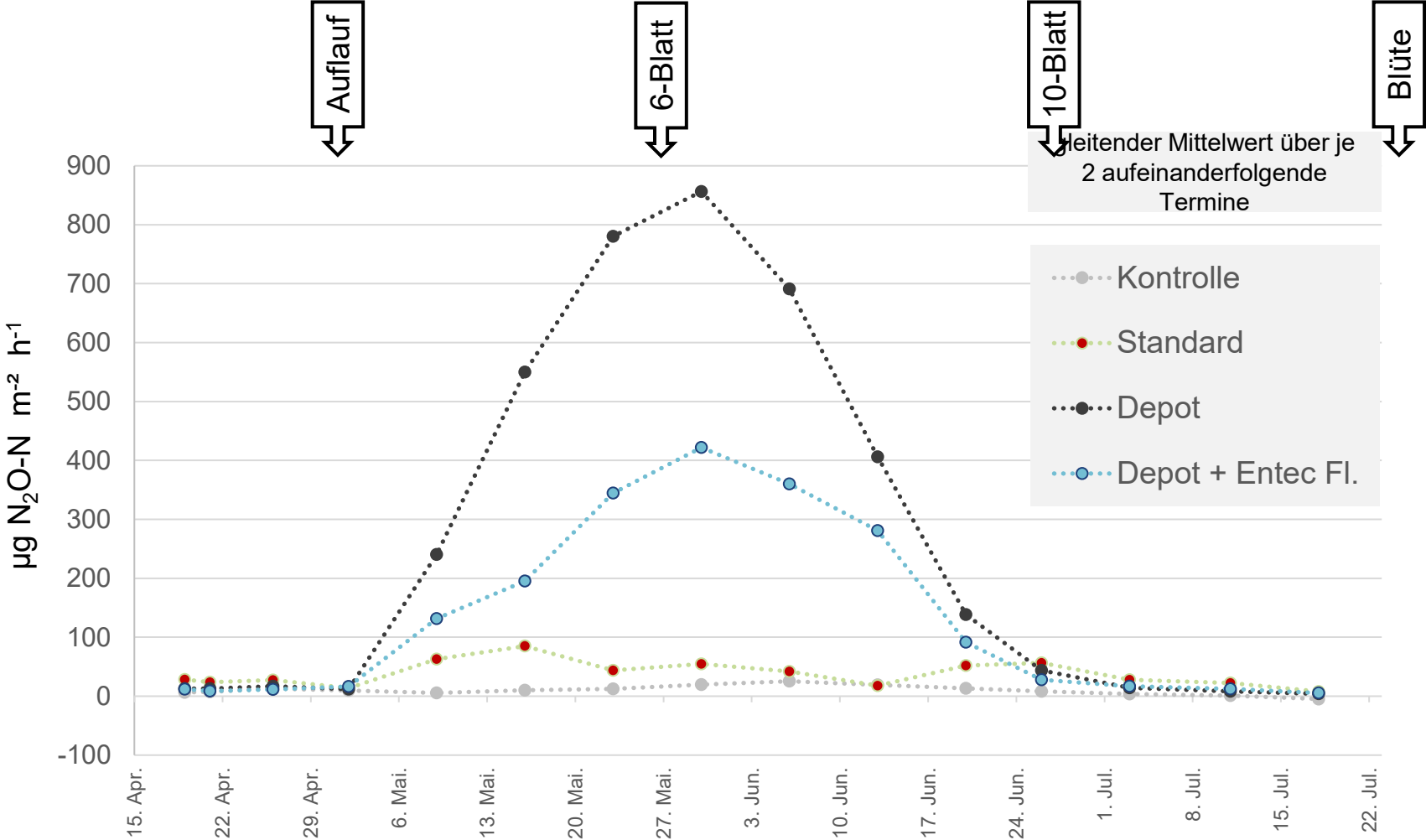
mg/kg



(LSD; $\alpha = 5\%$; ANOVA)







Gülle-Unterfußdüngung: Fazit

- Ersatz des mineralischen Unterfußdüngers möglich
 - Mindestens gleiche Erträge
 - Verbesserte Nährstoffausnutzung aus Wirtschaftsdüngern → Entlastung der Bilanzen
 - Insb. im Zuge der neuen Düngeverordnung höchst attraktiv
- Nahezu keine Ammoniakverluste
- Verringerung der Auswaschungs- und Erosionsverluste
- Nitrifikationshemmstoffe notwendig
 - Verbesserung der P- und Zn-Aufnahme
 - Reduktion von Lachgasverlusten
 - Ohne Zugabe höhere Lachgasverluste als bei breiflächiger Applikation möglich

Voraussetzung:

- Exakte praktische Umsetzung notwendig
- Unter extrem kalten Frühjahrsbedingungen → verzögerte Jugendentwicklung möglich, aber i.d.R. nicht ertragswirksam





Saatbanddüngung

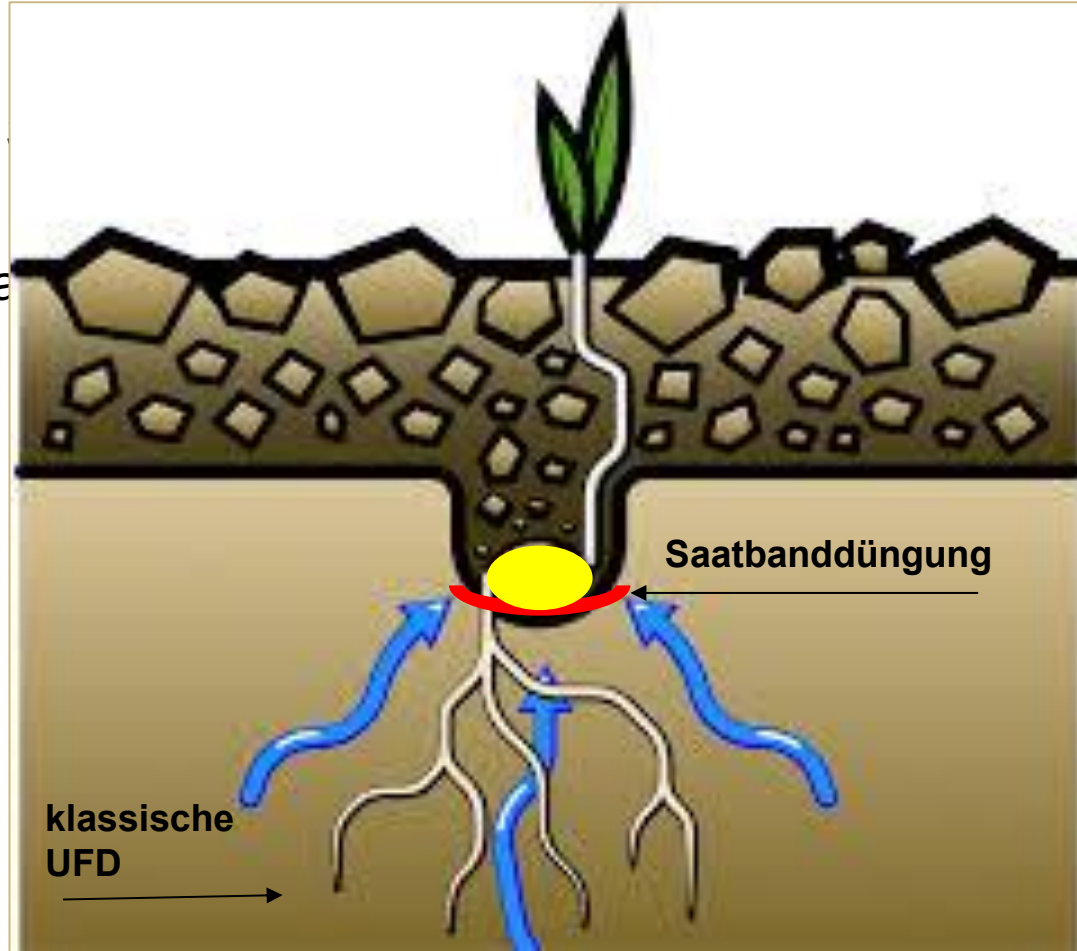
Startdüngung: Alternative Saatbanddüngung?

Hintergrund Mikrogranulatdünger:

- Werden interessant bei sehr engen P-Bilanzen, wenn der ermittelte P-Düngebedarf nur noch Mengen von deutlich unter 20 kg / ha mineralischem P_2O_5 erlaubt
- Sie wirken nicht ätzend und wurden speziell für die Saatbanddüngung (SBD, Applikation in der Saatsfurche) entwickelt. Diese eher hochpreisigen Spezialdünger enthalten hohe P-Gehalte und meist kleine Mengen an Stickstoff. Teils kommen noch weitere Nährstoffe dazu.
- Bei der SBD werden nur rund 10 kg/ha Phosphat als Startdüngung ausgebracht – bei üblichen Aufwandmengen von circa 20 bis 30 kg/ha.

Bessere Nährstoffverfügbarkeit durch Saatbanddüngung?

- Nährstoffe werden um das
- Wurzeln erreichen sofort das
vom Düngerband weg.
- Bis zum Dreiblattstadium
 - Ernährung aus dem Korn,
erschlossen sein.
- Wurzeln wachsen auf UFD



Granulate: Applikation geringerer Düngermengen im Saatband

Korngröße von Umstart Super[®] Zn im Vergleich zu DAP



5 g Umstart bestehen aus ca.
25.000 Düngerkörnchen



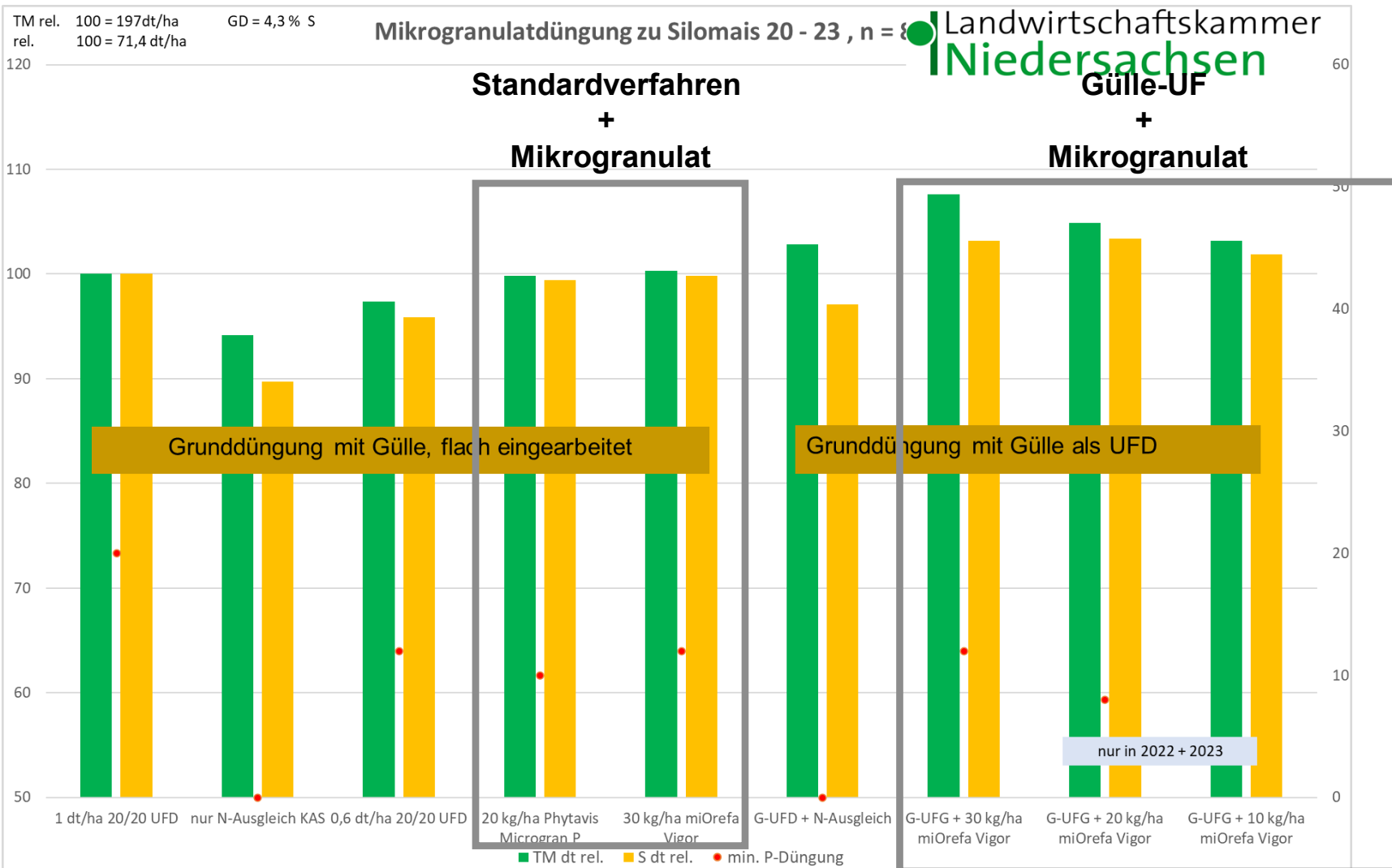
5 g DAP 18:46 bestehen aus
ca. **200** Düngerkörnern

Granulate: Applikation geringerer Düngermengen im Saatband

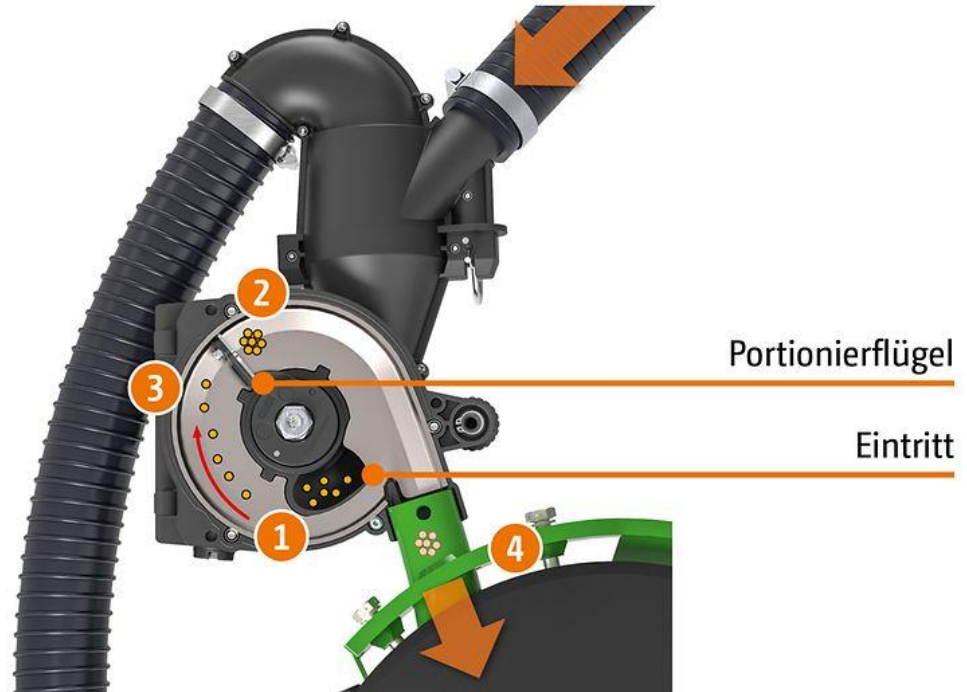
z. T. spezi
werden

einggebracht



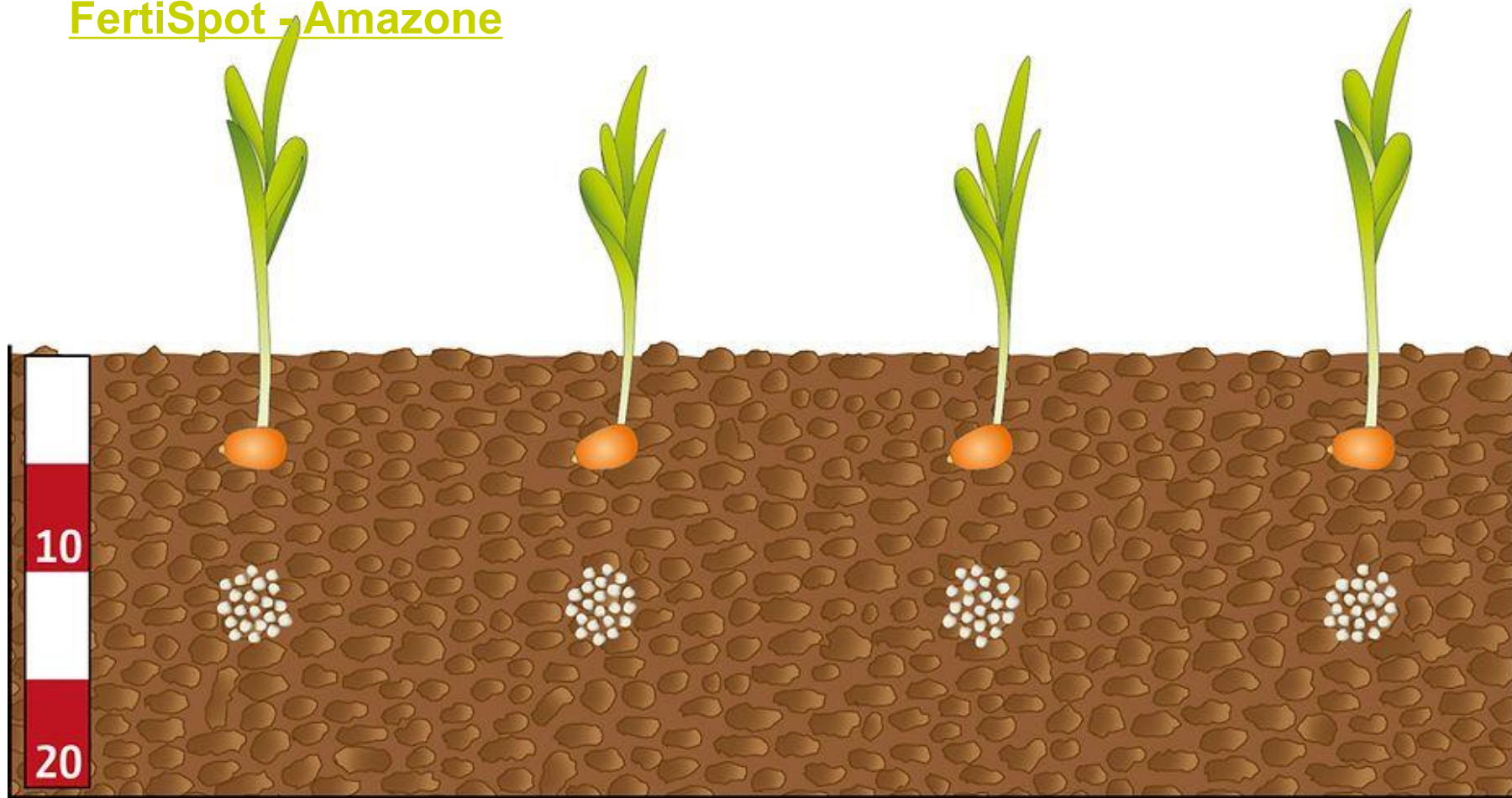


FertiSpot - Amazo



1. Dünger tritt kontinuierlich von oben in den Portionierer ein. Der Schlauch ist mit einem klassischen Dosierer verbunden.
2. Der Portionierflügel dreht schneller als die eintretenden Körner fliegen und wird passend zur Drehfrequenz der Vereinzelung von einem elektrischen Motor angetrieben.
3. Die Körner werden während einer Dosierflügelumdrehung aufgesammelt und zusammengeschoben. Es entsteht eine kompakte Portion.
4. Die Körner verlassen den Portionierer in Richtung Schar.

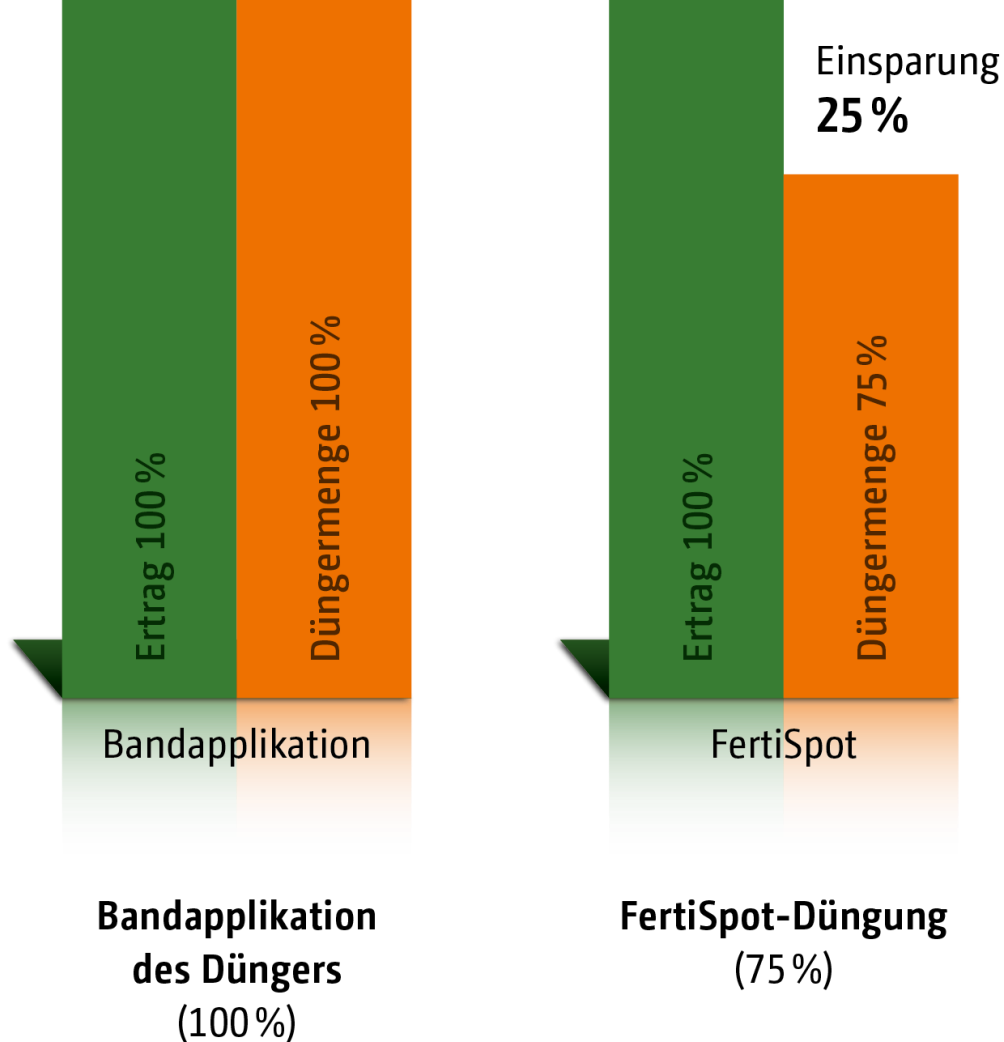
FertiSpot - Amazone



FertiSpot - Amazone



FertiSpot - Amazone



Fazit – Mais Start-Düngung

- Standard ist eine mineralische UFD: ca. 20 kg/ha P_2O_5 sind i.d.R. ausreichend.
- Lässt die P-Bilanz /-Bedarfsermittlung diese Menge nicht zu, so ist Saatbanddüngung (SBD) mit Mikrogranulatdüngern eine Alternative, hierbei kommen ca. 10 kg/ha P_2O_5 zum Einsatz
- Geringere P-Mengen haben sich bislang als nicht praxistauglich erwiesen.
- Punktdüngungssysteme sind sowohl bei festen als auch bei flüssigen Düngern in der Entwicklung, sowohl als UFD als auch als SBD
- Ist die P-Bilanz ausgereizt (Stoffstrombilanz), bleibt zusätzlich zu Anpassungen in der Fütterung nur der Verzicht auf mineralische P-Dünger

Gülleunterfußdüngung kann diese Lücke füllen!!!

Reiner N-Dünger als „UFD-Ersatz“ ist ungeeignet!!!

Mais-Spätdüngung

... z.T. Splitting der Gülledüngung: 2. Gabe in den Bestand

... Kombiniert mit „Später N_{\min} -Methode“:

N-Sollwert:

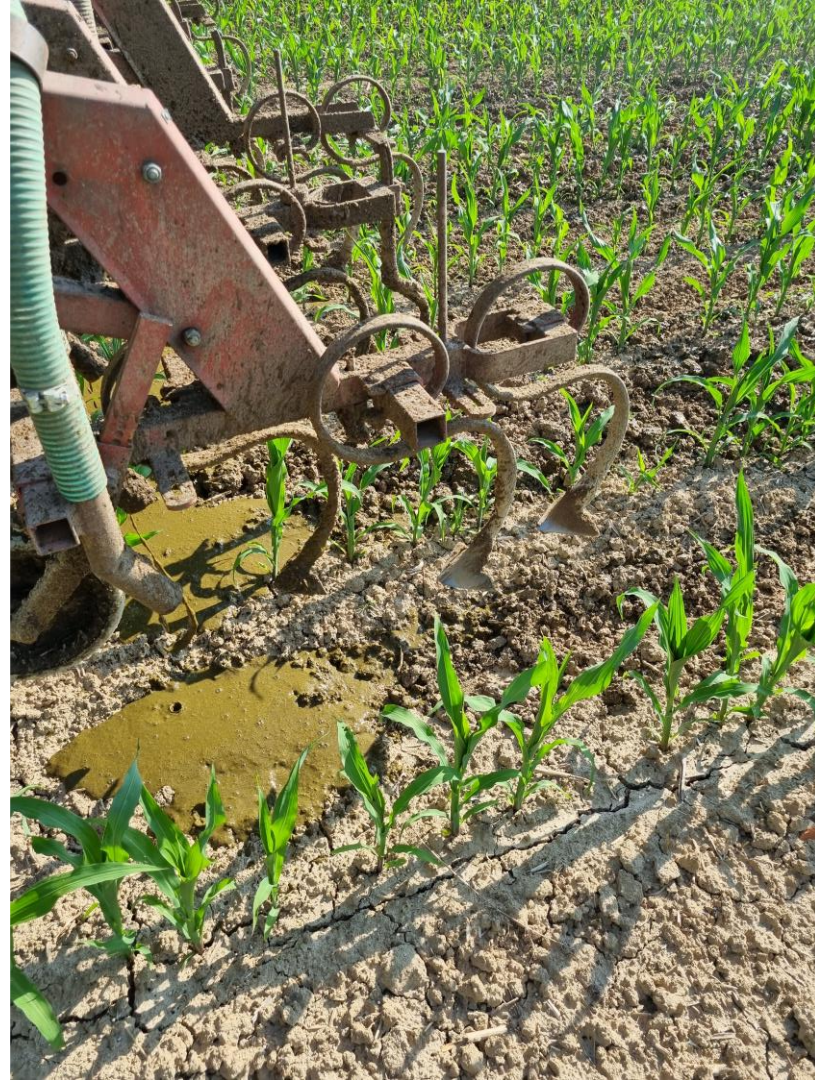
- N_{\min} -Gehalt Ende Mai/Anfang Juni (0-60 cm)
 - N-Menge aus der mineralischen Unterfußdüngung
- = Nachdüngbedarf

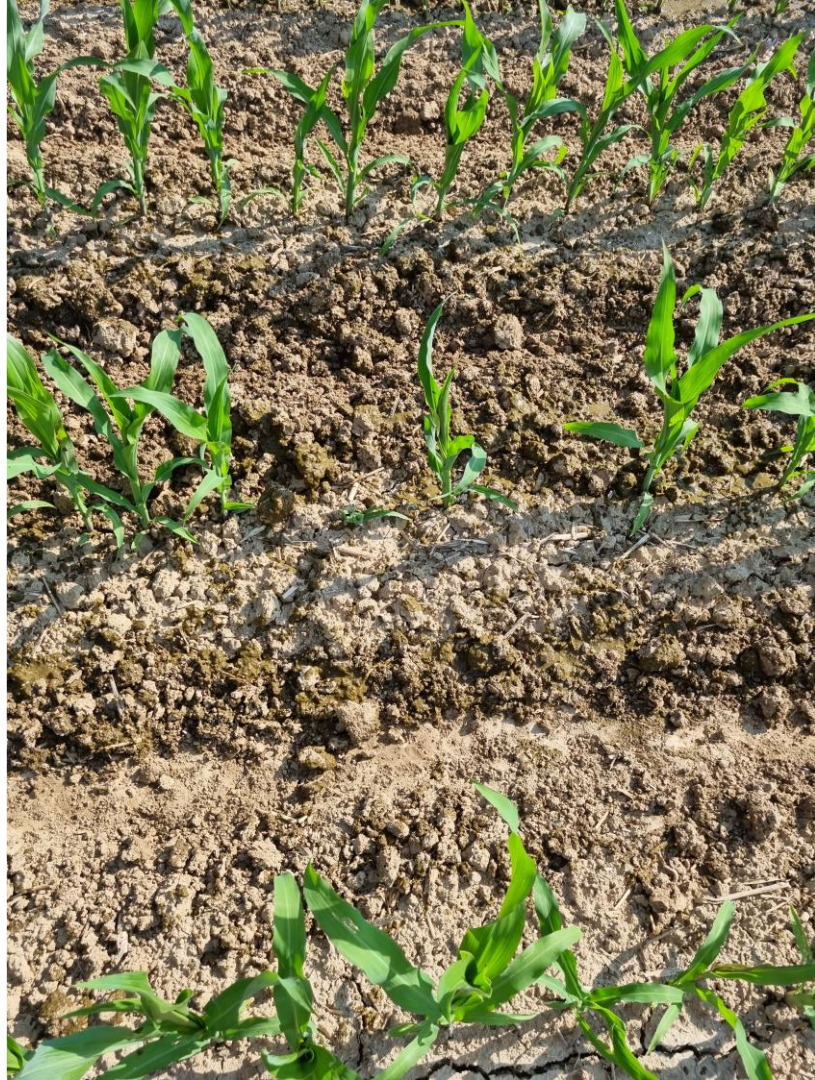


... z.T. Splitting der Gülledüngung: 2. Gabe in den Bestand

Problem: Nährstoffverfügbarkeit - Ammoniakemissionen, Einwaschen in Wurzelraum







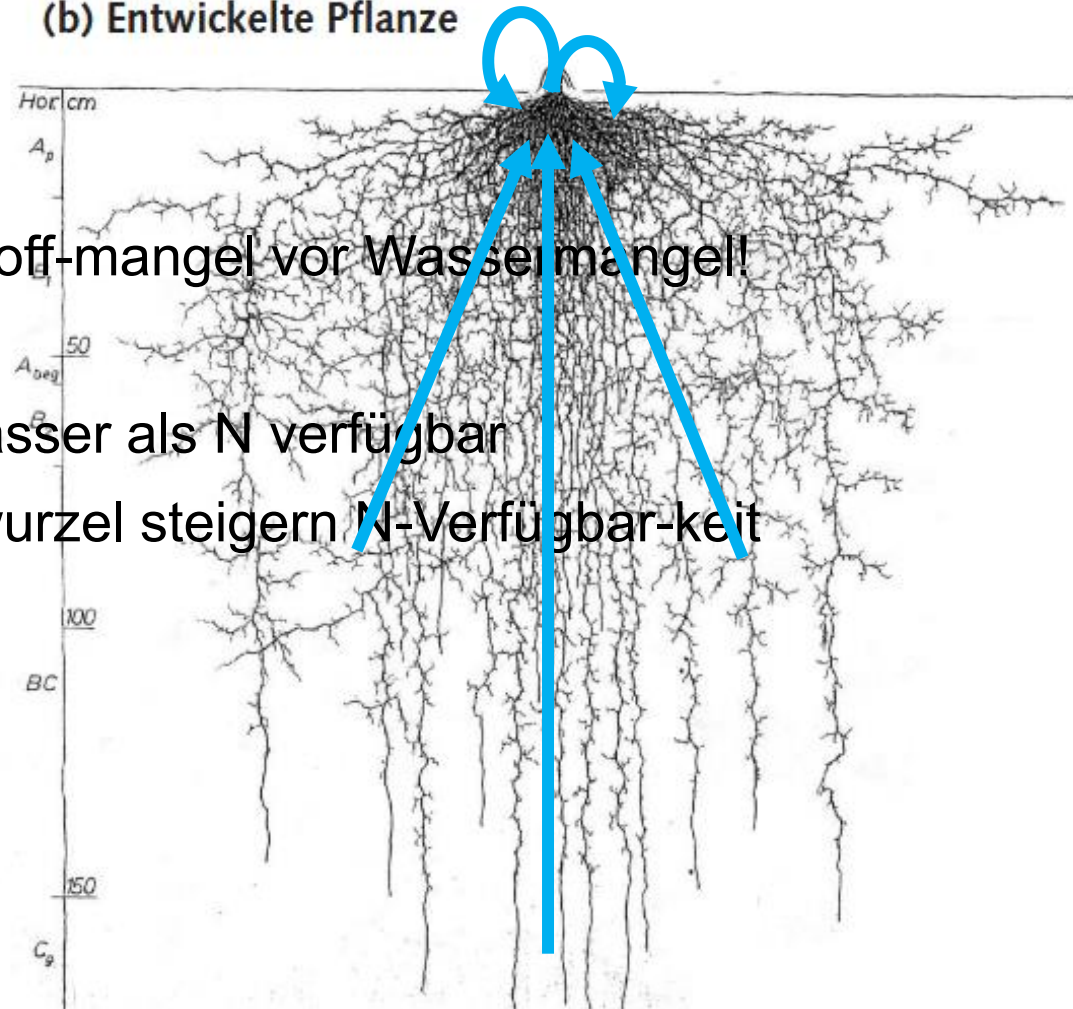


Kronenwurzeln - Exsudate



(b) Entwickelte Pflanze

- Bei Trockenheit: Stickstoff-mangel vor Wassermangel!
- Im Unterboden eher Wasser als N verfügbar
→ Exsudate an Kronen-wurzel steigern N-Verfügbar-keit



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit