

Effiziente Wasserspeicherung und Stickstoff-Düngung durch den Einsatz von Absorbern zur Reduzierung der Nitratauswaschung ins Grundwasser

SupA-B Projekt Nr. 2017-02

Abschlussbericht

30. Juni 2020



Projektlaufzeit 1.4.2017 – 31.3.2020

Klaus Ernst, Jürgen Maier, Karl Müller-Sämann

Kontaktdaten:

Klaus Ernst

(Projektleitung)

ek-management, Schmiede 17, 79238 Ehrenkirchen,

Telefon: 07633-9243036 Mobil: 0171-9290890

E-Mail: info@pflanzenvital.de Internet: www.pflanzenvital.de

Jürgen Maier

(Leitung und Bearbeitung Praxis-Feldversuche Biengen und Neuenburg, Bodenproben)

Landratsamt Breisgau Hochschwarzwald Freiburg

Außenstelle Breisach, Europaplatz 3, 79206 Breisach

Telefon: 0761-21875821 E-Mail: juergen.maier@lkbh.de

Dr. Karl Müller-Sämman

(Koordination und Bearbeitung der Praxisversuche in Hausen, Lehen, Gefäßversuch und Recherche zur Umweltbewertung der Additive).

cult-tec Agrolutions UG Freiburg, Klarastr. 94, 79106 Freiburg

Telefon: 0761-2023230; E-Mail: info@cult-tec.de

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg LTZ, Karlsruhe

(Kooperationspartner Praxisversuche in Biengen und Neuenburg, Gefäßversuch; Analytik der Boden- und Pflanzenproben)

Neßlerstr. 25, 76227 Karlsruhe;

Ansprechpartner: Dr. Jörn Breuer, Telefon: 0721-9468-130 E-Mail: joern.breuer@ltz.bwl.de

Sebastian Maise (landw. Kooperationsbetrieb)

Bohrerhof Feldkirch, Bachstr. 6, 79258 Hartheim am Rhein

Telefon: 07633-92332-170 email: smaise@bohrerhof.de

Egbert Studer (landw. Kooperationsbetrieb)

Mühlenstr. 10, 79395 Neuenburg

Telefon: 07631-72349 email: egbert.studer@online.de

Alexander Spahr (Landw. Kooperationsbetrieb)

Im Korntal 1, 79189 Biengen , Telefon: 07633-12709

email: alex.spahr@t-online.de

Projektförderung:

Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova

Ansprechpartner: Richard Tuth und Michael Artmann, Telefon: 0761 279-2984

<https://www.badenova.de/ueber-uns/engagement/innovativ/innovationsfonds-projekte/>

Gefördert durch den
Innovationsfonds
Klima- und Wasserschutz

badenova
Energie. Tag für Tag

Inhalt

1. Projektinhalt

Durch Exaktversuche im Feld soll die Auswirkung auf Ertrag, Qualität, Nitratauswaschung am Beispiel der Kulturen Körnermais und Kürbisse auf regionalen Erfolg gemessen werden.

Die Versuche sollen mit der herkömmlichen Düngungsmethode (breitflächig) mit und ohne Stockosorb sowie alternativen Absorbentien auch kombiniert mit der Depotdüngung angewendet werden, um die Effizienz noch weiter zu steigern.

Im Projekt werden technische Lösungsansätze zur gezielten Applikation von Superabsorbentien mit den Düngemitteln erforscht und ausprobiert.

Projektbeschreibung

Der Oberrhein ist geprägt durch einen hohen Anteil an wasserdurchlässigen Sand- und Kiesboden, was die Nitrat-Auswaschung von Dünger ins Grundwasser durch vermehrte extreme Niederschläge begünstigt. Als weiteres ist zu beobachten, dass durch den Klimawandel die Sommertrockenheit ansteigt, was dann häufiger zu Einbußen, sogar zu Totalausfällen der Ernten wie bereits 2015/2018 führte. Dadurch steigt der Beregnungsbedarf und das Zurückgreifen auf die Grundwasserreserven stetig an.

Des Weiteren als Folge: Erhöhte Nitratauswaschung ins Grundwasser. Die Effizienz der eingesetzten Stickstoffdünger ist zu niedrig und muss gesteigert werden.

1.1 Projektpartner

Co-finanzierende Partner:



Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg



LANDRATSAMT
BREISGAU-
HOCHSCHWARZWALD

Landwirtschaft



Lohnunternehmen- und Landwirtschaftliche Betriebe:

- Klaus Schitterer, Freiburg
- Alexander Spahr, Biengen
- Egbert Studer, Neuenburg

Sponsoren:



Bei der Firma DOMO Chemicals GmbH, Leuna, bedanken wir uns für die freundliche Bereitstellung des Düngers Domogran45® für die Durchführung der Feld- und Gewächshausversuche.

1.2 Lösungssatz

Durch den Einsatz des Superabsorbers Stockosorb als wasserspeicherndes Granulat, eingearbeitet im Wurzelbereich der Pflanzen, soll zum einen sichergestellt werden, dass genügend Wasser

(bei Regen oder zusätzlicher Bewässerung) pflanzenverfügbar gespeichert wird und als weiterer Effekt ebenso die wassergelösten Nährstoffe wie Nitrat und Ammonium im Granulat aufgenommen werden. Dadurch kann die Auswaschung ins Grundwasser verhindert, bzw. erheblich reduziert werden.

Stockosorb (Polymer auf Kaliumbasis) fungiert hier als Bindungsglied als sogenannter Bodenhilfsstoff um enorme Mengen von Wasser und die darin gelösten Nährstoffe zu speichern, (bis zum 300-fachen seines eigenen Gewichtes), um es bei Bodentrockenheit gezielt wieder an die Pflanzenwurzeln abzugeben.

Somit stehen den Pflanzen genügend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung, um ihr volles Potential auch auszuschöpfen und durch die Aufnahme der wasserlöslichen Nährstoffe kann eine Auswaschung ins Grundwasser erheblich reduziert werden.

Stockosorb besitzt Langzeitwirkung (4-5 Jahre) und wurde in Deutschland vom Konzern Evonik/Degussa vor ca. 30 Jahren für die Windelindustrie entwickelt in den letzten 20 Jahren wurde es für den Einsatz im Agrarbereich stets weiterentwickelt. Der Einsatz erfolgte jedoch bisher mehr in südlicheren Ländern, da diese vermehrt Probleme mit der Wasserversorgung haben.

Im vorliegenden Projekt soll untersucht werden, ob Stockosorb in unseren Breitengraden und Bodenverhältnissen eine deutliche Wirkung entfaltet, um effizient dem Klimawandel und der Nitrat Auswaschung entgegen wirken zu können.

1.3 Erwartete Ergebnisse

Durch den Einsatz des Superabsorbers Stockosorb® als wasserspeicherndes Granulat soll zum einen eine verbesserte Wasserversorgung durch im Absorber pflanzenverfügbar gespeicherte Niederschläge/Beregnungsgaben sichergestellt werden.

Zum anderen sollen als weiterer Effekt wassergelöste Nährstoffe wie Nitrat und Ammonium im gequollenen Absorbergel aufgenommen werden und dadurch die Auswaschung ins Grundwasser verhindert, bzw. erheblich reduziert werden.

Als Folge daraus werden stabilere Erträge und Produktqualitäten erwartet.

1.4 Kosten-Nutzung

Im Projekt soll je nach Bodenverhältnissen und Beschaffenheit --(sandiger Boden mit hoher Wasserdurchlässigkeit und lehmiger Boden mit geringerer Wasserdurchlässigkeit)- festgestellt werden, wieviel kg/Hektar Superabsorber benötigt werden, um Ernteauffälle vor Trockenheit zu sichern und zu steigern. Die Rentabilität eines möglichen Einsatzes von Superabsorber wird geprüft.

Ebenso soll der Einsatz von alternativen Absorbentien in Kombination mit dem Depotdüngungsverfahren für mineralischen Stickstoff hinsichtlich seiner Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit geprüft werden.

1.5 Budgetplanung und Förderung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Gesamtkosten des Projektes und die Beiträge der Partner und des Innovationsfonds aufgelistet.

Gesamtausgaben 100 %	325.507,-
Eigenanteil 51 %	164.888,-
Beantragte Zuwendung badenova 49 %	160.619,-

2 Projektaktivitäten und Ergebnisse

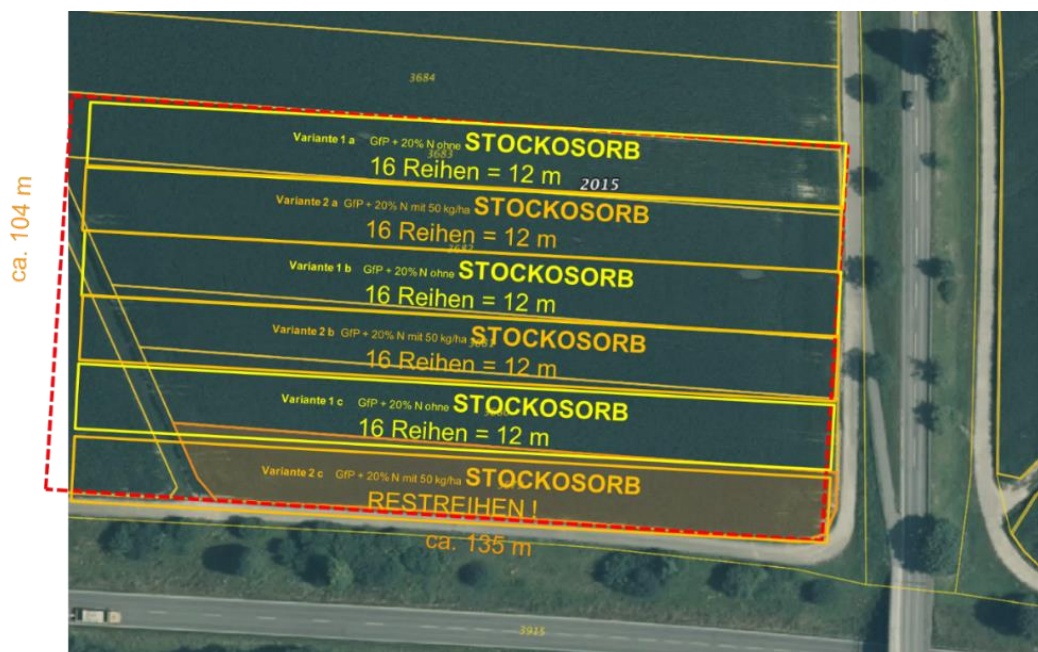
2.1 Versuche zum Nitratauswaschungspotenzial bei Körnermais und Hirse / Triticale (LTZ)

2.1.1 Standort Biengen (WSG Hausen, Ackerzahl ca. 90) – Körnermais 2017-2019

In dem dreijährigen Versuch mit Körnermais wurden 2 Varianten mit 2 Wiederholungen in einem Streifenversuch getestet:

- Variante 1 N-Düngung konventionell (100 % nach Düngeverordnung)
 ohne *Stockosorb*
- Variante 2 N-Düngung konventionell (100 % nach Düngeverordnung)
 mit *Stockosorb* (50 kg / ha u. Jahr flächige Ausbringung)

Versuchsplan Biengen 2017 – 2019:



Die wichtigsten Anbaumaßnahmen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

		2017	2018	2019
Bodenbearbeitung		Pflug Herbst	Pflug Herbst	Pflug Herbst
N-Düngung	kg N/ha	100	100	90
N-Dünger		Harnstoff; Alzon1:1	Harnstoff; Alzon1:1	Harnstoff; Alzon1:1
Stockosorb	kg/ha	50	50	50
Ausbringungstechnik		Granulatstreuer jede Reihe	Scheibenegge mit Granulatstreuer	
Ausbringungstermin		Maissaat	Mitte März	
Erntedatum		14.10.2017	13.09.2018	26.10.2019



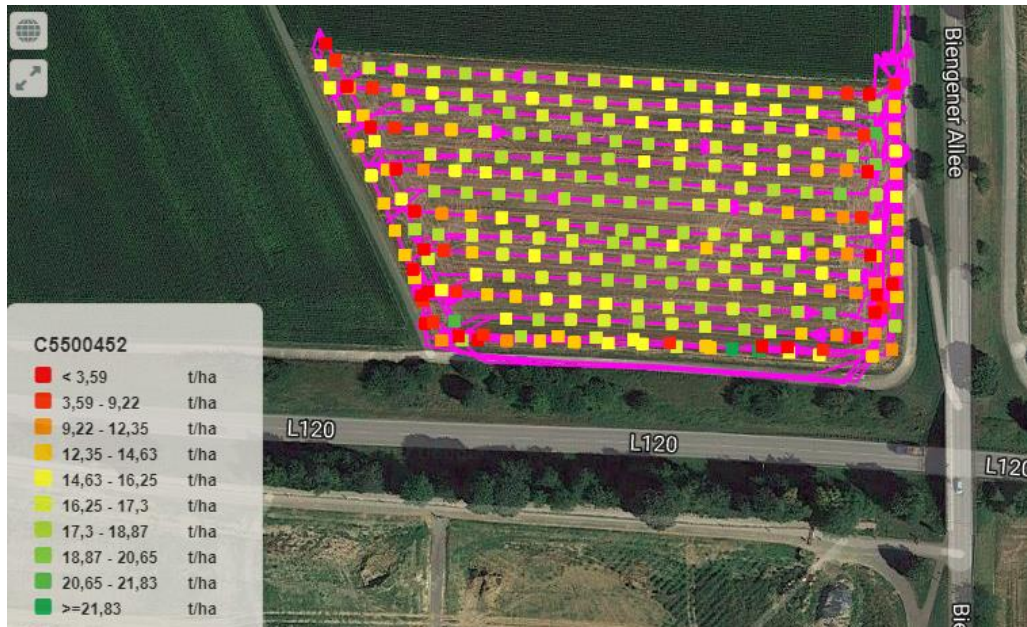
Abbildung: Einarbeitung des Stockosorb-Granulates mit Granulator auf Scheibenegge (17. März 2018)



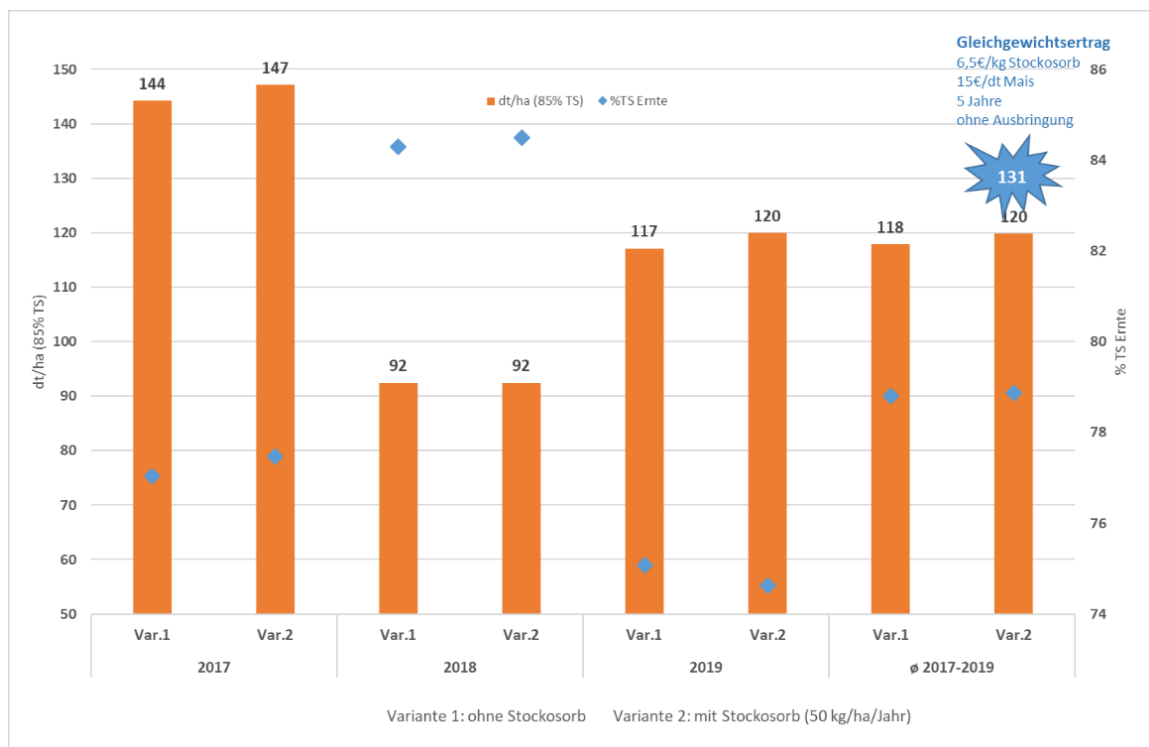
Abbildung: Feldansicht Wachstumsverlauf Körnermais (24. Mai 2018)

Ergebnisse und Diskussion

Zur agronomischen Beurteilung der Wirkung des Superabsorbers *Stockosorb* wurden die Körnermaiserträge mit einem GPS-Mähdrescher erfasst. Nachfolgend die Ertragskarte von 2017:

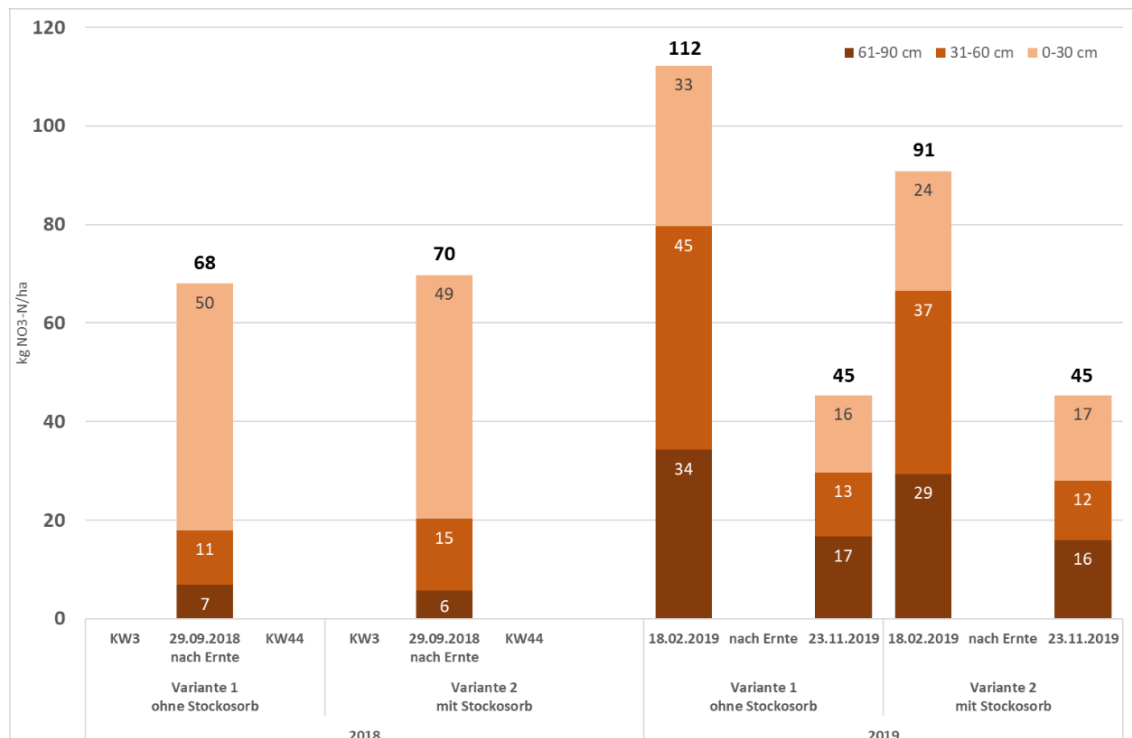


Die Körnermaiserträge der 3 Versuchsjahre 2017 bis 2019 sind in nachfolgender Grafik ersichtlich. Das Ertragsniveau unterscheidet sich deutlich aufgrund der jahresbedingten Witterungen zwischen den Jahren, besonders niedrig war er im Trockenjahr 2018. In den Jahren und im Mittel der Jahre unterscheiden sich die beiden Varianten nicht voneinander. Der notwendige Ertrag



(Gleichgewichtsertrag) müsste, um die zusätzlichen Kosten von *Stockosorb* (ohne Berücksichtigung der Ausbringungskosten) an diesem Standort zu kompensieren, deutlich über dem erzielten Durchschnittsertrag liegen.

Mit dem Superabsorber soll Wasser im Boden und die darin enthaltenen Nährstoffe gespeichert werden, so dass z.B. Nitrat nicht oder weniger ausgewaschen werden kann und im Folgejahr der Folgekultur zur Ertragsbildung zur Verfügung steht. Um die Nitratspeicherung im Boden und damit die Reduzierung des Nitratauswaschungspotenzials zu ermitteln, wurde in den beiden Versuchsjahren 2018 und 2019, in denen insgesamt bereits 100 bzw. 150 kg *Stockosorb* je Hektar ausgebracht waren, zu verschiedenen Terminen der Nitratgehalt des Bodens bestimmt. In nachfolgender Grafik sind die Werte dargestellt:



Theoretisch wäre zu erwarten gewesen, dass die Nitratwerte nach der Ernte und entsprechend bei Vegetationsbeginn bei Variante 2 höher sind. Diese Theorie wurde an diesem Standort nicht bestätigt, die Nitratgehalte waren zu keinem untersuchten Zeitpunkt höher. Im Februar 2019 war sogar die Variante 1 ohne *Stockosorb* höher, was durchaus auf die Variabilität der Nitratgehalte auf Flächen zurückgeführt werden kann.

Als Fazit aus den 3 Versuchsjahren kann zusammengefasst werden:

- ✓ **Ausbringungstechnik:**
Die breitflächige Ausbringung von *Stockosorb* mit der Scheibenegge funktioniert, sollte aber aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Superabsorbers bei trockenen Verhältnissen durchgeführt werden.
- ✓ **Ertrag:**
Die breite Ausbringung von *Stockosorb* führt an dem untersuchten Hohertragsstandort zu keiner signifikanten Steigerung des Ertrages. Der Gleichgewichtsertrag müsste circa 10 % höher sein als der ermittelte Durchschnittsertrag.
- ✓ **Nitratauswaschungspotenzial (Nmin-Gehalte Boden):**
Der flächige (bzw. im ersten Jahr streifenförmige) Einsatz des Superabsorbers hat aufgrund der guten wasser- und nährstoffspeichernden Eigenschaften des Bodens am untersuchten Standort keinen entscheidenden Einfluss auf die Nitratdynamik.

2.1.2. Standort Neuenburg (Ackerzahl ca. 35) – Hirse, Triticale 2017 – 2019

In dem dreijährigen Versuch mit einer Fruchtfolge Energie-Ganzpflanzen Hirse – Triticale / Mais – Hirse wurden 4 Varianten mit 2 Wiederholungen in einem Streifenversuch getestet:

- | | |
|------------|---|
| Variante 1 | N-Düngung konventionell (80 % nach Düngeverordnung)
ohne <i>Stockosorb</i> |
| Variante 2 | N-Düngung konventionell (80 % nach Düngeverordnung)
mit <i>Stockosorb</i> 50 kg / ha u. Jahr flächige Ausbringung |
| Variante 3 | N-Düngung konventionell (100 % nach Düngeverordnung)
ohne <i>Stockosorb</i> |
| Variante 4 | N-Düngung konventionell (100 % nach Düngeverordnung)
mit <i>Stockosorb</i> 50 kg / ha u. Jahr flächige Ausbringung |

Nachfolgend der Lageplan der Versuchspartellen:



Die folgende Übersicht zeigt die Fruchtfolge in den Versuchsjahren 2017 – 2019 mit Ernteterminen:

Jahr	Hauptfrucht	Ernte	Zweitfrucht	Ernte
2017	Hirse	25.09.17	Triticale	2018
2018	Triticale	18.06.18	Mais	13.10.18
2019	Hirse	8.09.19	Triticale	in 2020

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Anbaumaßnahmen der 3 Versuchsjahre aufgeführt:

		2017	2018		2019
Kultur		Hirse	Winter-Triticale	Energie-Mais	Hirse
N-Düngung	kg N/ha	Variante 1 und 2: 60 Variante 3 und 4: 80	Variante 1 und 2: 98 Variante 3 und 4: 118		Variante 1 und 2: 63 Variante 3 und 4: 83
N-Dünger			Mineraldünger	Gülle	56N Gärrest (Entec. Fl.) und 1 dt KAS
Stockosorb	kg/ha	50	50		50
Ausbringungstechnik		Scheibenegge mit Granulatstreuer	Scheibenegge mit Granulatstreuer		Scheibenegge mit Granulatstreuer
Ausbringungstermin					
Erntedatum		25.09.2017	18.02.2018	13.10.2018	28.09.2019



Einarbeitung des Stockosorb-Granulates mit Granulator und Scheibenegge nach Hirse vor Triticale (September 2017):



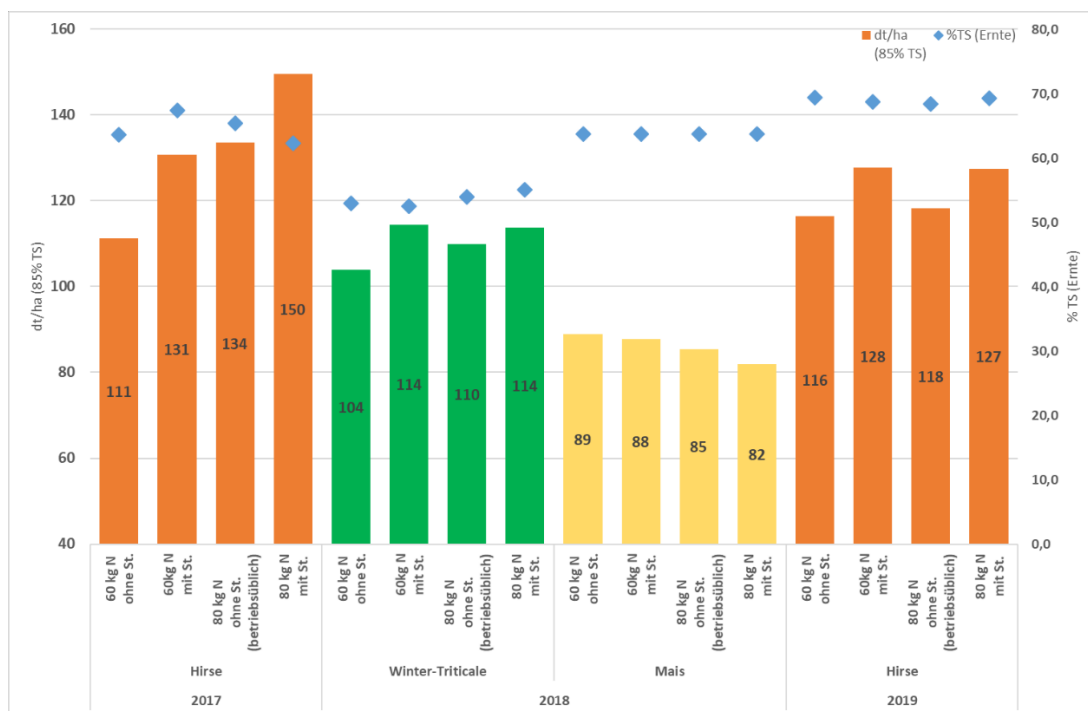
Ansicht der Ernte von Triticale-Ganzpflanzen Neuenburg (18. Juni 2018)



Bodenprobenahme zur N_{\min} Bestimmung in Versuch mit Triticale, Neuenburg am 17. März 2018

Ergebnisse und Diskussion

Zur agronomischen Beurteilung der Wirkung des Superabsorbers *Stockosorb* wurden die Ganzplanzerträge mit einem GPS-Häcksler erfasst. In der nachfolgenden Grafik sind die Ganzpflanzenerträge aller Kulturen und Jahre dargestellt:



Bei der Wirkung des Superabsorbers ist zu beachten, dass sie mehrere Jahre anhält, da pro Jahr etwa 10 % biologisch abgebaut werden. Das heißt, dass am Standort Neuenburg folgende Mengen *Stockosorb* im Boden wirksam waren:

		2017	2018	2019
Ausbringung gesamt	kg / ha	50	100	150
(50 kg / ha u. Jahr)				
Wirkung Anwendungsjahr	kg / ha	50	95	136
Biologischer Abbau 10 %	kg / ha	5	10	14
Wirkung Folgejahr	kg / ha	45	86	122

Der Superabsorber führt bei den Hauptkulturen Hirse und Triticale bei beiden Düngungsstufen zu Mehrerträgen. Im ersten Versuchsjahr 2017 erzielte die 100 % Variante witterungsbedingt zu den höchsten Erträgen, in den Folgejahren waren die Erträge bei

beiden Düngungsstufen mit *Stockosorb* auf demselben Niveau. Eine kumulierende Wirkung im 3. Versuchsjahr konnte nicht festgestellt werden.

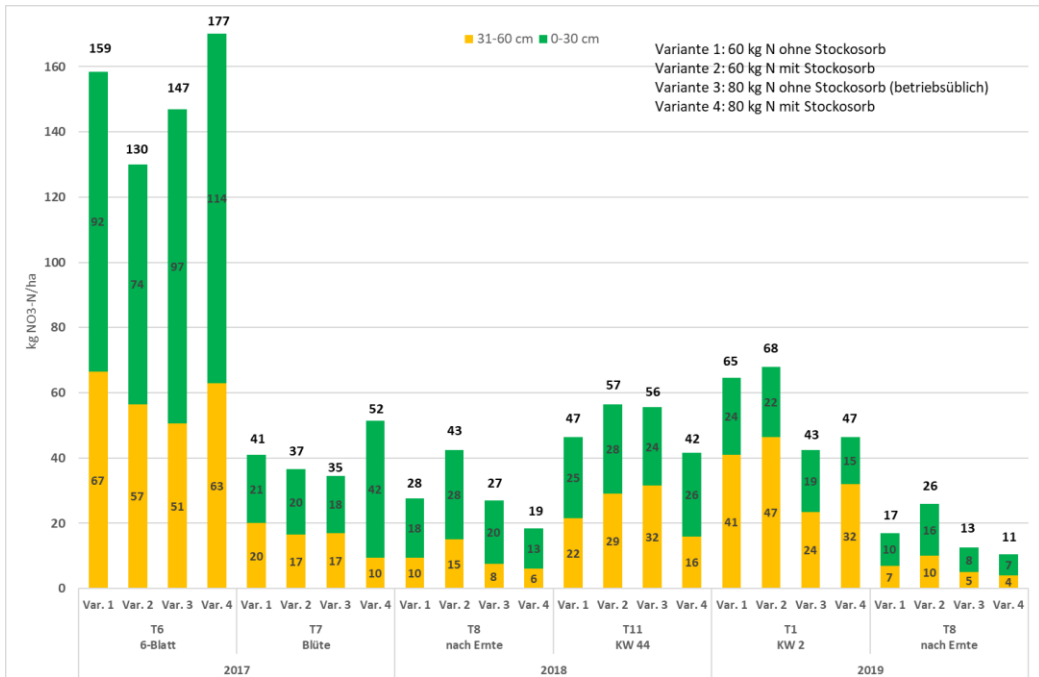
In der nachfolgenden Grafik sind die Erträge der Ganzpflanzen-Hirse in den beiden Anbaujahren 2017 und 2019 dargestellt:



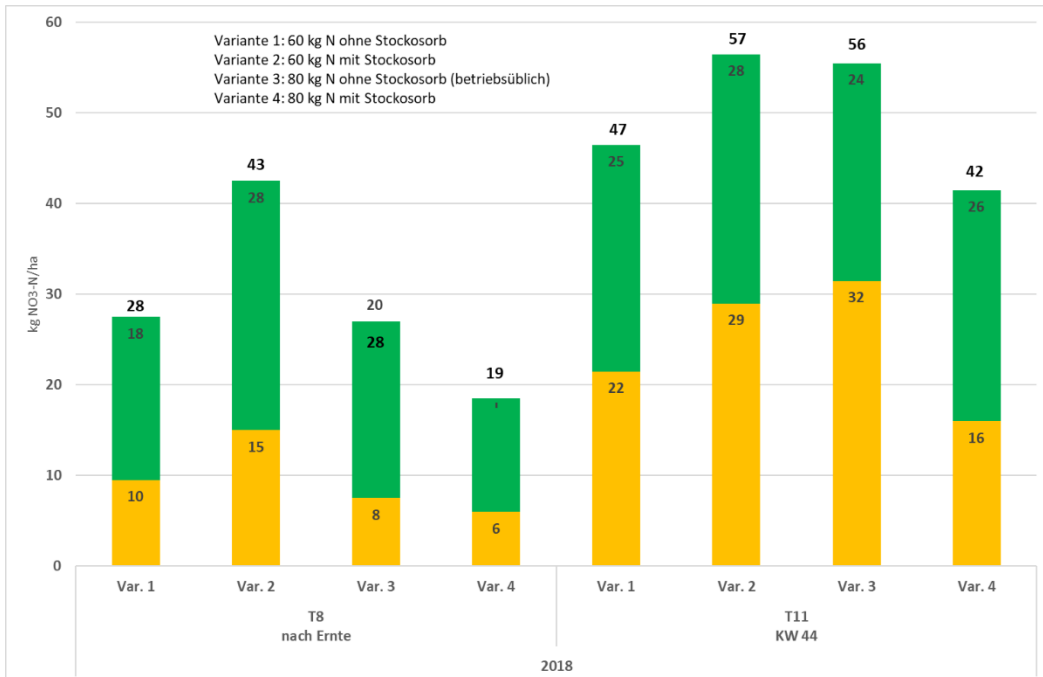
Betrachtet man den Durchschnittsertrag der Hirse aus den beiden Anbaujahren 2017 und 2019 ist die ertragssteigernde Wirkung von *Stockosorb* um circa 13 bzw. 10 Prozent erkennbar. Um die Kosten des Superabsorbers zu kompensieren (ohne Berücksichtigung der Ausbringungskosten), müsste der Ertrag bei circa 151 dt / ha (85 % TS) liegen.

Mit dem Superabsorber soll Wasser im Boden und die darin enthaltenen Nährstoffe gespeichert werden, so dass z.B. Nitrat nicht oder weniger ausgewaschen werden kann und im Folgejahr der Folgekultur zur Ertragsbildung zur Verfügung steht. Um die Nitratspeicherung im Boden und damit die Reduzierung des Nitratauswaschungspotenzials zu ermitteln, wurde in den drei Versuchsjahren 2017 bis 2019 zu verschiedenen Terminen der Nitratgehalt des Bodens bestimmt. In den beiden nachfolgenden Grafiken sind die Werte dargestellt:

N_{min}-Gehalte im Boden in allen Kulturen zu verschiedenen Terminen:



N_{min}-Gehalte im Boden nach Ernte und Herbstbeprobung SCHALVO nach Triticale / Mais 2018:



Als Fazit aus den 3 Versuchsjahren kann zusammengefasst werden:

✓ Ausbringungstechnik:

Die breitflächige Ausbringung von *Stockosorb* mit der Scheibenegge funktioniert, sollte aber aufgrund der hygroskopischen Eigenschaften des Superabsorbers bei trockenen Verhältnissen durchgeführt werden.

✓ Ertrag:

Stockosorb erhöht an dem untersuchten Standort mit geringem Nährstoffspeichervermögen die Ganzpflanzenerträge. Der Gleichgewichtsertrag bei Hirse müsste bei der stickstoffreduzierten Variante circa 15 % und bei der betriebsüblichen Variante knapp 10 % höher sein als der ermittelte Durchschnittsertrag aus 2 Jahren, um die zusätzlichen Kosten (ohne Ausbringungskosten) zu kompensieren.

✓ Nitratauswaschungspotenzial (N_{\min} -Gehalte Boden):

Die an dem Untersuchungsstandort festgestellten Gehalte an NO_3 -N sind sehr heterogen. In Variante 4 (80 kg N mit *Stockosorb*) wies 2017 die oberste Bodenschicht mehr Nitrat auf, was auf die erwünschte Haltefähigkeit von Nährstoffen hindeutet. Auch war der Ertrag in dieser Variante am höchsten. Die Speicherfähigkeit von Nitrat im Herbst und Winter konnte nicht eindeutig festgestellt werden.

2.2 Praxisversuche zu Düngung in Kürbis und Mais mit und ohne Zusatz von Stockosorb® und anderen Additiven 2017 bis 2019

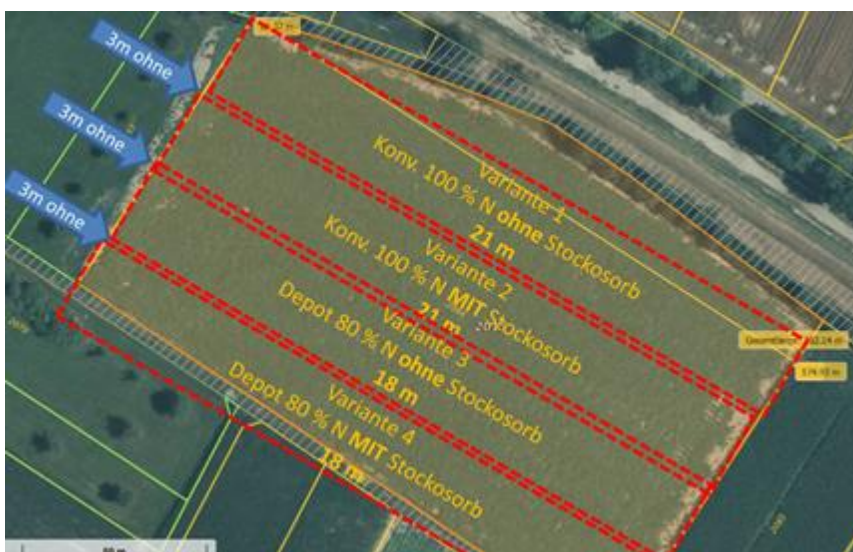
2.2.1 Vergleich konventionelle und platzierte N-Depotdüngung mit Superabsorber bei Körnermais und Kürbis (2 Orte)

Versuchsfrage: Wirkung der Zugabe eines Superabsorbers (Stockosorb®) auf Wachstum, Ertrag und Nmin Gehalte bei konventioneller Düngung (breit) und als Zusatz im Rahmen einer N-reduzierten Depotdüngung (80 %)

Feldversuchspläne der zwei Standorte in Hausen:



Standort Wasserwerk



Standort Dornsmatten

Versuchsaufbau und Anbaumaßnahmen

Versuchsaufbau Praxisversuch Absorberanwendung mit unterschiedlichen Düngeverfahren		
Faktor 1	Düngeverfahren	1 Konventionelle Düngung breit oberflächlich 100% N *) 2 Depotdüngung 1,5 m Abstand, 18 cm tief 80% N
Faktor 2	Absorber	1 mit Stockosorb 100 kg/ha (breit und im Depot) 2 ohne Absorber
Standorte		A am Wasserwerk - Gemarkung Hausen B Dornsmatten – Gemarkung Hausen

*) konventionelle Düngung 1917 mit NPK Dünger und 2018 und 2019 mit Mischung Alzon & Harnstoff
Depotdüngung mit Rauch Prototyp 2; Domogran 45 (21 % N als NH₄ SO₄ und 24 % S), 1,5 m Abstand

Anbaumaßnahmen

Standort	Wasserwerk			Dornsmatten		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Kultur	Kürbis *)	Mais	Mais	Kürbis	Mais	Kürbis
N -Düngung kg/ha	70/56 3.5./17.5.	160/128 /23.4	37/29 /14.5.	70/56 3.5./17.5.	150/120 /23.4.	-- /--
Saat	15.05.	20.04.		15.05.	18.4.	14.5.
Ernte	26.09.	13.09.	5.11.	26.09.	13.09.	18.11.
Nmin	20.4./29.9.	11.4./29.9.	12.4/6.5.	20.4./29.9.	11.4./29.9.	12.4/6.5.

*) Kürbissorte Hokkaido, Reihenabstand 1,5 m

Versuche mit Kürbis 2017

Entwicklung der Bestände 2017

2017 wurden die Depotdüngewarianten am Standort Wasserwerk durch starken Unkrautwuchs anfänglich erheblich in ihrer Entwicklung gehemmt. Der Nachtschatten (*Solanum nigrum* L.) wuchs über den Düngerdepots deutlich besser und höher und hat den Kürbispflanzen wohl einen Großteil des Stickstoffs entzogen (Abbildung). Die Handhacke war betriebsbedingt erst spät zum 13/14.06.2017 erfolgt und konnte so den negativen Einfluss der Verunkrautung auf die Jugendentwicklung des Kürbispflanze nicht verhindern. Am 21. Juni, ca. 5 Wochen nach der Saat waren die Wirkungen der Verunkrautung in den Varianten 3 und 4 deutlich zu sehen. Gegenüber dem konventionell gedüngten Feldteil (Varianten 1 und 2) lagen sie in der Entwicklung zurück. In den Monaten Juni und Juli lag der Boniturwert für Blattgrün bei Depotdüngung mit 7 um jeweils 1 Punkt niedriger als in den breit gedüngten Varianten (8). Es muss davon ausgegangen werden, dass dies die Ertragsbildung negativ beeinflusst hat. Der Abstand der Düngedepots zu den Kürbispflanzen von 75 cm verstärkte noch die Konkurrenz durch die Unkräuter; eine Depotdüngung näher an den Kürbisreihen (30-35 cm) wird empfohlen.

Am Standort Dornsmatten waren die Anbauverhältnisse 2017 ohne Unregelmäßigkeiten



Abbildung: Verunkrautung am Standort Wasserwerk, Depotdüngearien 2 Wochen nach der Saat



Abbildung: Entwicklung der Kürbisbestände am Standort Wasserwerk zum 21. Juni 2017, 38 Tage nach der Saat. Von links nach rechts: Variante 4 (Depot 56 N/ha mit Additiv), Variante 3 (Depot 56 N/ha ohne Additiv, Variante 2 (breit gedüngt 70 kg N/ha mit Additiv) und Variante 1 (breit gedüngt 70 kg N/ha ohne Additiv).

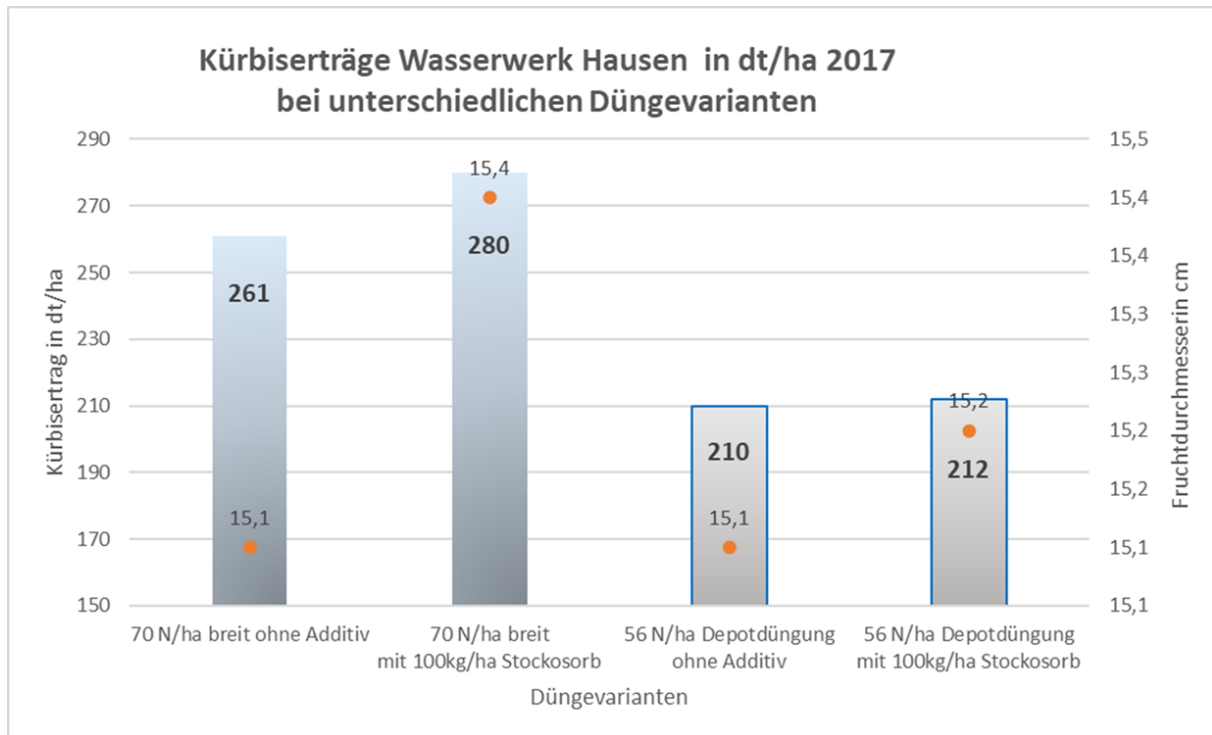


Abbildung: Kürbis Dornsmatten von links nach rechts : Variante 1: breit gedüngt 70 kg N/ha ohne Stockosorb , Variante 2: breit gedüngt 70 kg N/ha mit Stockosorb, Variante 3: Depotdüngung 56 kg N/ha ohne Additiv, Variante 4: Depotdüngung 56 kg N/ha mit Stockosorb ; Datum: 21. Juni 2017;

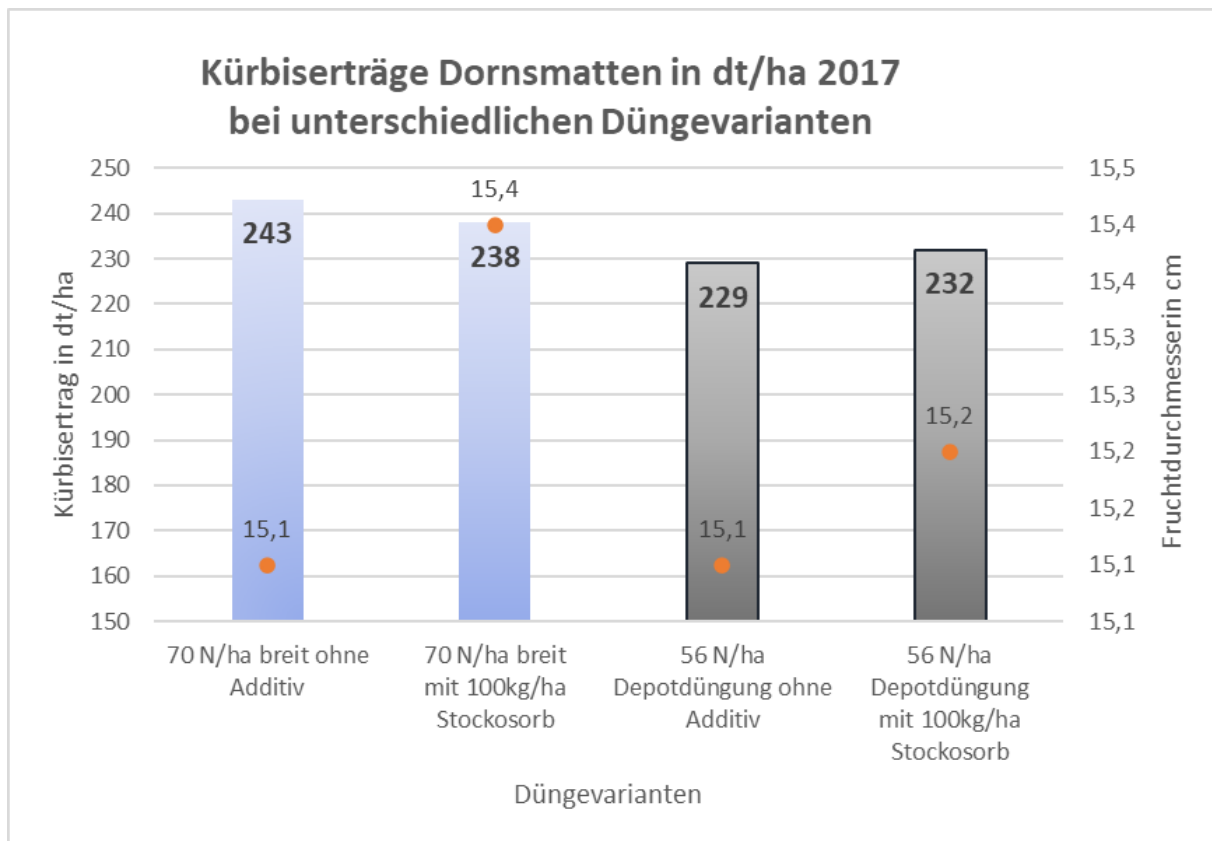
Erträge: Die Wirkungen des Zusatzes von 100 kg Stockosorb - breit oder zum Düngerdepot (Gabe erst mit der N-Düngung) war bezüglich des Ertrags gering (3-20 dt/ha) oder nicht nachweisbar und auch

die Wirkungen auf den Fruchtdurchmesser waren mit Zuwächsen von 15,1 zu 15,2 bzw. 15,1 zu 15,3 cm mit 2-3 mm im Jahr der Erstanwendung gering. Bei Anwendung erst im Mai konnte auch noch kein zusätzliches Wasser von Winterniederschlägen gespeichert werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Erträge am Standort Wasserwerk und Dornsmatten und die ermittelten Beziehungen von Kürbisdurchmesser und Gewicht anhand der Versuchsauswertung.



Die Abbildung zu den Erträgen und zur Ertragsqualität zeigt tendenziell leichte Vorteile bei den Varianten mit Stockosorb Absorber. Die Erträge der Depotdüngung bleiben aufgrund der starken Verunkrautung in der Jugendphase zurück.



Auf dem Standort Dornsmatten ist nur in der Depotvariante ein minimaler Ertragsvorteil in der Absorbervariante gegeben. Leicht verbessert ist auch hier der Kürbisdurchmesser in den Varianten mit Absorber.

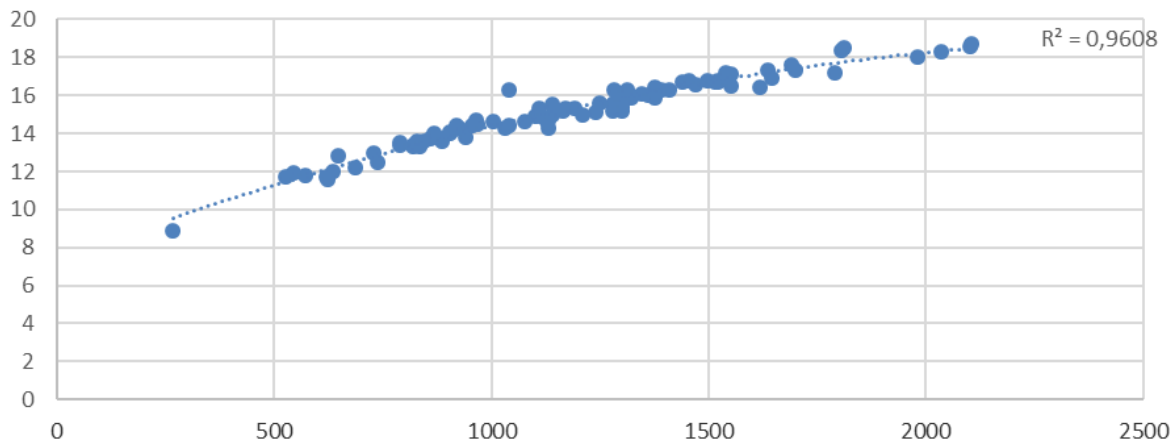


Abbildung. Ermittelte Beziehung zwischen Kürbisdurchmesser in cm und Kürbisgewicht in Gramm bei der Sorte Hokkaido auf den Versuchsstandorten Wasserwerk und Dornsmatten, 2017

Nmin Situation und Qualität der N- Düngedepots kurz nach der Ablage

Die Nmin Werte vor der Kürbissaat am 15. Mai betragen 93 kg/ha am Standort Dornsmatten und 66 kg/ha am Standort Wasserwerk, so dass nur noch 56-70 kg N/ha gedüngt wurden.

Wie die zwei folgenden Grafiken beispielhaft zeigen, wurden die Depots sehr exakt abgelegt und eine Beprobung unmittelbar nach der Düngung zeigt, dass die Konzentrationen in den Depots der 4 Wiederholung zum einen sehr hoch waren (exakte Ablage) und b) dass der Stickstoff vor allem als Ammoniumstickstoff vorlag.

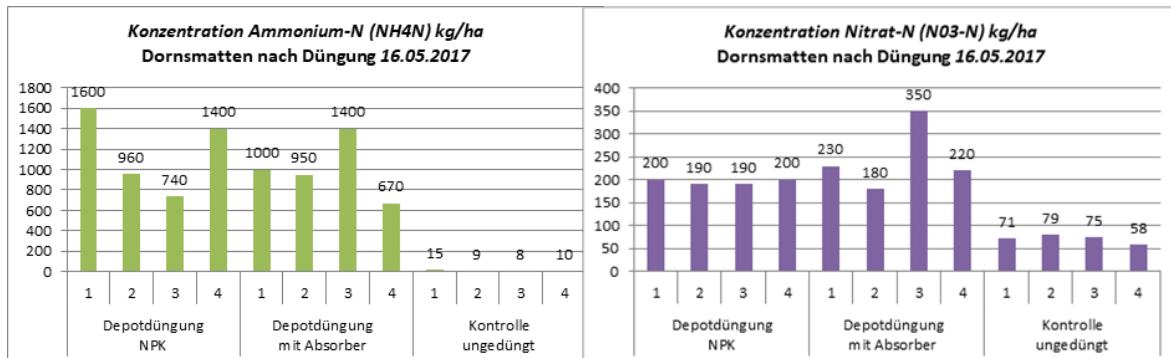


Abbildung. Ergebnisse der Beprobungen 0-30 cm der Positionen der Düngerdepots und ausserhalb in ungedüngtem Abschnitt zwischen Pflanzen und schurförmiger Depotablage.

Versuche mit Körnermais 2018

Bestandesentwicklung

Wie die nachfolgend aufgeführten Tabellen zeigen gab es 2018 kaum Unterschiede in der Bestandesentwicklung bei den Versuchsvarianten. Ende Juni, als schon Trockenstress auftrat waren die Bestände in ihrer Entwicklung und in ihrem Erscheinungsbild gleichauf. Stickstoff war zu keinem Zeitpunkt ein limitierender Faktor, denn hohe Frühjahrswerte und die zusätzliche Mineraldüngung sorgten in allen Varianten für ein überreichliches N Angebot (von >250 kgN/ha), das aufgrund der Trockenheit aber nicht abgerufen werden konnte (Entzüge zwischen 95 und 160 kg N/ha).

Bonituren zur Bestandesentwicklung Körnermais, Wasserwerk Hausen 2018									
Versuchsvariante/ Parzellen-Nr.	Düngungs- variante	Entwicklungs- Stadium 23.4.2018	Entwicklungs- Stadium 25.5.2018	Entwicklungs- Stadium 14.06.2018	Entwicklungs- Stadium 29.6.2018	Grün- färbung *) 25.5.2018	Grün- färbung *) 14.6.2018	Grün- färbung *) 29.6.2018	Beobachtungen zum Bestandd Allgemein
1	N-Düngung breit 100 % ohne Stockosorb	01	18	36	53	7	8	7	sehr große Trockenheit ab Ende Juni
2	N-Düngung breit +Stockosorb ^{*)}	01	18	36	53	7	7	7	
3	Depotdüngung ohne Stockosorb	01	17	36	53	7	8	7	
4	Depotdüngung +Stockosorb ^{*)}	01	18	36	53	7	8	7	

*) Bonitur Grünfärbung: 1 fahl-gelb bis 9 tiefgrün
^{*)} N-Düngung konventionell: 160 kg N/ha (Mischung 50% Alzon/50% Harnstoff); Düngung Depot: 128 kg N/ha
 Nmin Werte vor der Saat: 65- 36- 22 (123 kg N/ha); bedingt durch warmen, trockenen Winter

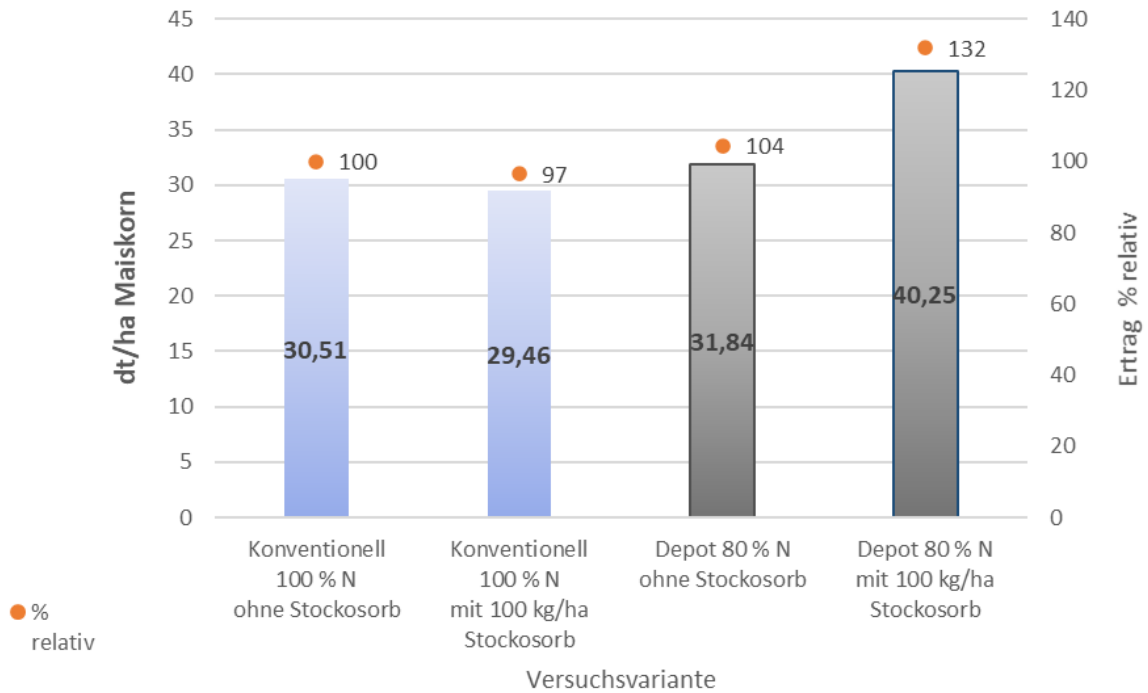
Bonituren zur Bestandesentwicklung Körnermais, Dornsmatten 2018									
Versuchsvariante/ Parzellen-Nr.	Düngungs- variante	Entwicklungs- Stadium 23.4.2018	Entwicklungs- Stadium 25.5.2018	Entwicklungs- Stadium 14.06.2018	Entwicklungs- Stadium 29.6.2018	Grün- färbung *) 25.5.2018	Grün- färbung *) 14.6.2018	Grün- färbung *) 29.6.2018	Beobachtungen zum Bestandd Allgemein
1	N-Düngung breit 100 % ohne Stockosorb	08	18	36	53	7	8	8	sehr große Trockenheit ab Ende Juni
2	N-Düngung breit +Stockosorb ⁺⁾	08	18	36	53	7	8	8	
3	Depotdüngung ohne Stockosorb	08	17	35	51	6	8	8	
4	Depotdüngung +Stockosorb ⁺⁾	08	17	36	51	7	7	8	
*) Bonitur Grünfärbung: 1 fahl-gelb bis 9 tiefgrün									
+) N-Düngung konventionell (23.04.18): 150 kg N/ha; als Mischung 20% Harnstoff, 40% Alzon, 40 % DAP; Depotdüngung (120 kg N/ha nach der Saat 3 Blatt Stadium)									
Nmin Werte vor der Saat: 52- 31- 27 (110 kg N/ha); bedingt durch warmen, trockenen Winter									

Hinsichtlich der Erträge zeigten sich im zweiten Jahr des Versuchs mit Körnermais und ohne störende Verunkrautung in den Depotvarianten Ertragsvorteile für die Depotdüngung und insbesondere bei der Kombination Depotdüngung und Absorber-Additiv im Depot.

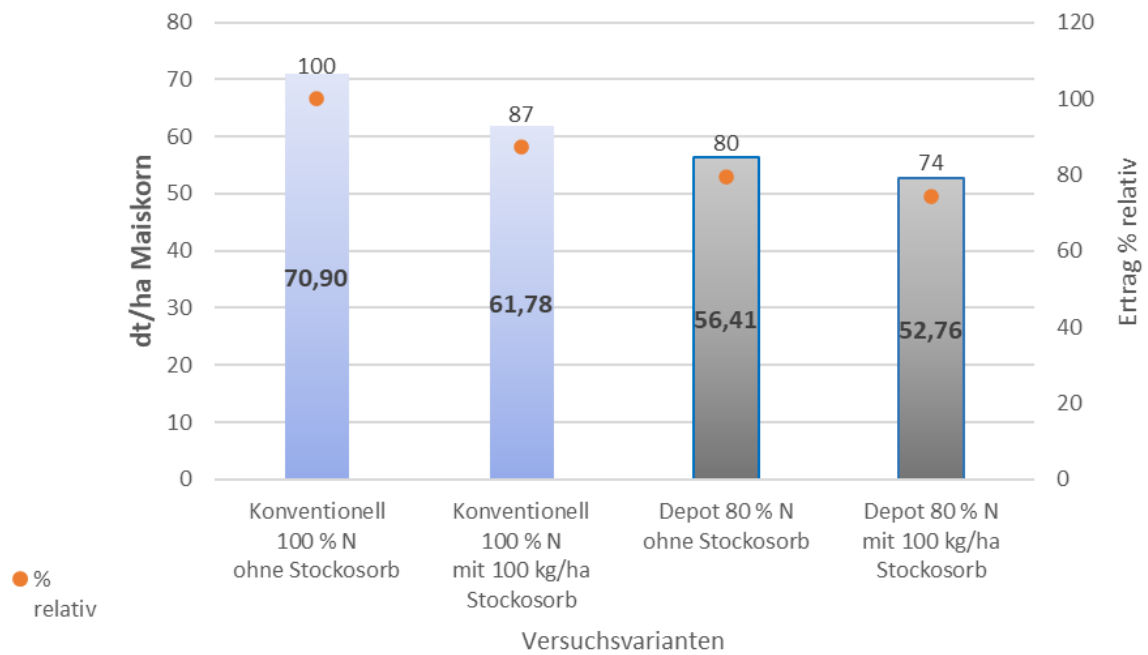
Unter den ab Ende Juni durch extremen Trockenstress geprägten Bedingungen im Jahr 2018, konnten die Pflanzen im Depot mit Stockosorb - wegen der konzentrierten Einlagerung von Wasser in den gallertig aufgequollenen Depots - möglicherweise etwas länger an die Nährstoffe herankommen. Die Erträge wurden aber letztlich in ihrer absoluten Höhe durch die ausserordentliche Sommertrockenheit begrenzt (siehe Ertragsgrafiken auf der folgenden Seite).

Anders als am Standort Wasserwerk (obere Abbildung auf der nachfolgenden Seite) kam die Wirkung der Depotdüngung und der Absorber-Zugaben auf dem auf dem benachbarten Schlag Dornsmatten nicht zum Tragen. Bei guter Nährstoffversorgung in der Jugend und dann einsetzender Trockenheit wurde das Ertragsgeschehen in dem extremen Dürrejahr vom Gradienten „Abstand zum Fließgewässer *Möhlin*“ bestimmt. Variante 1 konventionell lag nahe am Bach (Anschluss ans Grundwasser), Variante 4 Depot mit Absorber war am weitesten entfernt. Dies führte im Dürrejahr in Gewässernähe zu bis zu doppelt so hohen Erträgen wie auf dem wasserfernen Standort am Wasserwerk. Der Anschluss an das Grundwasser überlagerte aber alle anderen Einflüsse. Das Wasserspeicherpotenzial von 300 kg (konventionell) bzw. 200 kg Stockosorb (Depotvariante), das in etwas 6-4 mm Niederschlag entspricht, konnte unter solch extremen Bedingungen bei durchgängig guter Nährstoffversorgung auch in den Depotvarianten die immensen Wasserdefizite nicht ausgleichen.

Körnermaiserertrag Wasserwerk Hausen 2018 dt/ha (86% TM)



Körnermaiserertrag Dornsmatten 2018 dt/ha (86 % TM)



Nmin Situation 2018

2018 lagen die Nmin Werte nach der Kultur Kürbis relativ hoch (123 kg N/ha). Die Entzüge durch die Maisernte waren- trotz der absoluten Begrenzung durch fehlende Niederschläge in den Depotvarianten erhöht,- Insbesondere in der Variante mit Absorber im Depot dies führte in Kombination mit einer geringeren N-Düngergabe auch zu geringeren Nmin Werten nach der Ernte. Während auf dem Schlag Wasserwerk in der ersten Vegetationsperiode die Erträge in der konventionellen Düngevariante überlegen waren, schnitten in den Folgejahren mit Mais die Depotdüngewarianten und tendenziell auch die Varianten mit Absorber besser ab.

Am Standort Wasserwerk konnte durch die Kombination von reduzierter N-Düngung in der Depotdüngewariante und Absorbereinsatz die Nmin Situation verbessert werden.

Diese Trends und Aussagen konnten durch die Ergebnisse am Standort Dornsmatten, bis auf einen leichten Trend zu Vorteilen mit Absorberzugabe aufgrund der offensichtlich unterschiedlichen Wasserversorgung innerhalb der Versuchsparzelle nicht untermauert werden, weil hier ein Gradient bei der Wasserverfügbarkeit alles andere überlagerte.

Nmin Situation Wasserwerk Hausen 2018 ; vor der Saat und Nacherntebeprobung (nach trockenem Sommer)									
Variante / Parzellen-Nr.	Parzellen- code	Nmin 11.04.2018 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-90 cm	Nmin 29.09.2018 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-60 cm
1	N-Düngung breit 100 % ohne Stockosorb	65	36	22	123	98	13	ne	111
2	N-Düngung breit +Stockosorb ⁺⁾	Mischprobe				97	13	ne	110
3	Depotdüngung ohne Stockosorb					87	22	ne	109
4	Depotdüngung +Stockosorb ⁺⁾					57	18	ne	75

Nmin am 11.4.2018 vor Aussaat: 123 kg N/ha ; Düngung mit 160 kg N/ha (breit) bzw. 128 kg N/ha (Depotvarianten); Mischung Alzon Harnstoff (50:50)

Nmin Situation Standort Hausen-Dornsmatten, Ausgang Winter und zum Termin der N Bedarfsermittlung 2018									
Variante/ Parzellen-Nr.	Parzellen- code	Nmin 11.04.2018 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-90 cm	Nmin 29.09.2018 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-60 cm
1	N-Düngung breit 100 % ohne Stockosorb	52	31	27	110	92	10	ne	102
2	N-Düngung breit +Stockosorb ⁺⁾	Mischprobe				73	10	ne	83
3	Depotdüngung ohne Stockosorb					72	15	ne	87
4	Depotdüngung +Stockosorb ⁺⁾					111	27	ne	138

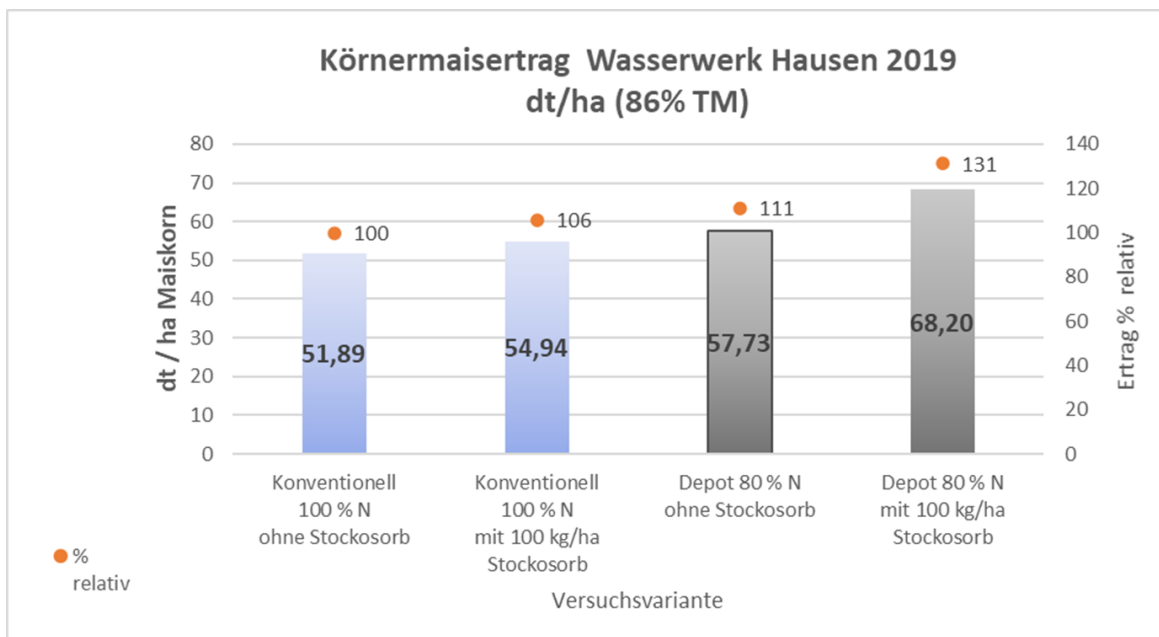
Nmin am 11.4.2018 vor Aussaat: 110 kg N/ha ; Düngung mit 150 kg N/ha (breit) bzw. 120 kg N/ha (Depotvarianten); Mischung: Harnstoff, Alzon, DAP (20:40:40)

Auch auf dem Schlag Dornsmatten waren die Nmin Werte im Frühjahr nach Kürbis relativ hoch, so dass ausreichend Nährstoffe für die Jugendentwicklung des Mais vorhanden waren. In der Folgezeit wirkten dann nicht Nährstoffe, sondern der ausbleibende Regen ertragsbestimmend. Anders als auf dem benachbarten Schlag am Wasserrwerk, kam eine etwas längere Wasser- und Nährstoffversorgung in den Depotvarianten und besonders auch bei den Depotvarianten mit Absorber hier nicht zum Tragen. Wegen deutlich geringerer Erträge verblieben auch höhere Nmin Werte, insbesondere wenn Depotdüngung (höhere Effizienz) und stark verringerte Erträge zusammenwirkten (weniger Entzug).

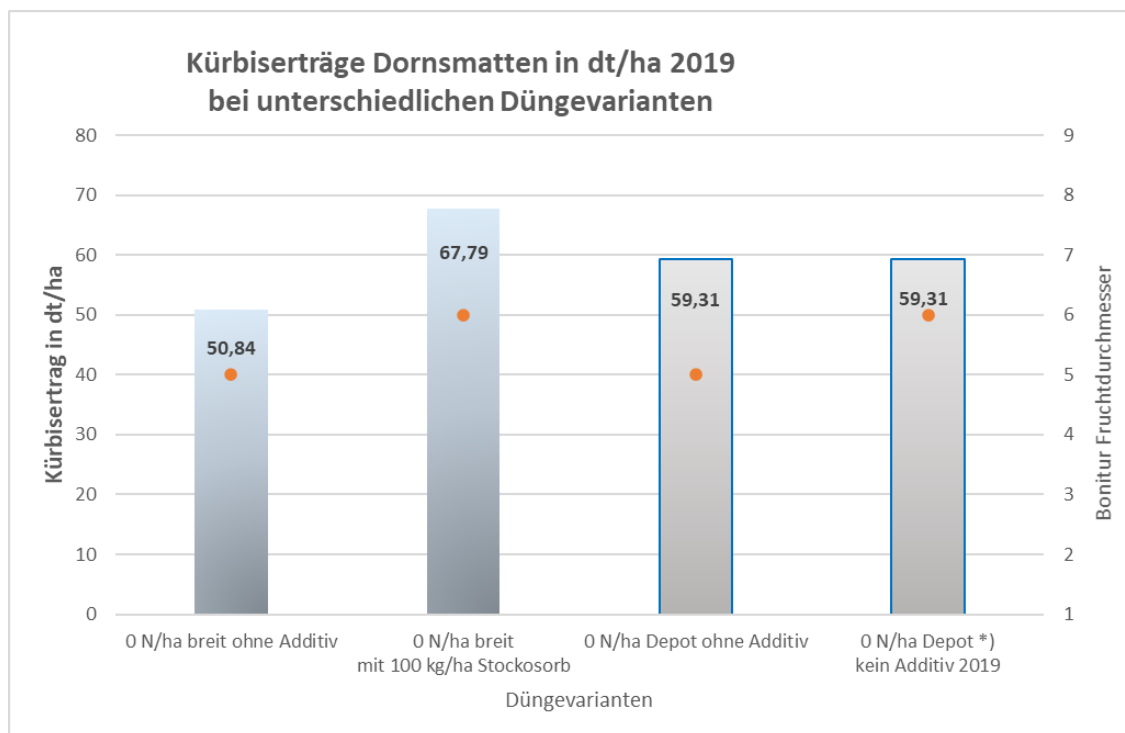
Die Ergebnisse der Versuche 2019 mit Körnermais und Kürbis mit Stockosorb Absorber und dessen Anwendung bei konventioneller Düngung und mit Depotdüngung standen noch sehr unter dem Eindruck der trockenheitsbedingten Ertragseinbußen 2018. Hohe N Hinterlassenschaften und geringe Winterniederschläge hatten sehr hohe N_{min} Werte im Frühjahr zur Folge (siehe Tabellen unten in diesem Kapitel).

Die auf Bodenanalysen vor der Saat und den zu erwartenden Erträgen beruhende Ermittlung des Stickstoff-Düngerbedarfs für die Kulturen Körnermais am Standort Wasserwerk und Kürbis am Standort Dornsmatten ergab bei Mais nur einen sehr geringen Bedarf von 30 kg/ha. Für Kürbis musste die Düngung sogar unterbleiben. Das hatte zur Folge, dass auf dem Standort Dornsmatten mit Kürbis nur in der konventionellen Düngevariante Stockosorb ausgebracht wurde (50 kg/ha vor der Düngung zur Bodenbearbeitung), während in der Depotdüngewariante wegen des Wegfalls der Düngung im Jahr 2019 kein Stockosorb verabreicht wurde.

Auch 2019 litten die Erträge der Kulturen nach zunächst nasskalter Witterung zur Saat bis zum Juli unter Trockenstress, so dass auch in der dritten Vegetationsperiode Unterschiede beim Düngenniveau nicht (Dornsmatten) oder wenig (Standort Wasserwerk) zum Tragen kamen. Das Ertragsgeschehen auf dem Standort Wasserwerk folgte in etwas dem gleichen Muster wie 2018 mit Vorteilen für die Depotdüngung und mit synergistischer Wirkung der Absorber bei Anwendung im Düngedepot (mehr als doppelt so wirksam, wie bei breitflächiger Ausbringung).



Auf dem Standort Dornsmatten (nächste Grafik) wurde 2019 wieder Kürbis angebaut. Wie bereits oben erwähnt wurde die Kultur Kürbis wegen der hohen N_{min} Werte im Frühjahr 2019 gar nicht gedüngt. Dies führte dazu, dass nur in der konventionellen Düngevariante auch Absorber ausgebracht wurde (Einarbeitung im Herbst mit dem Pflug). Die marktfähigen Erträge (ermittelt durch den Landwirt) lagen deutlich niedriger als 2017. Anders als bei Mais 2018 auf diesem Standort folgten die Erträge bei der Kultur Kürbis und bei weniger Trockenheit auch nicht dem Gradienten der Entfernung vom Bach, sondern waren in der Menge in etwa gleich verteilt- mit Ausnahme von Variante 3, wo nach drei Jahren Stockosorb Anwendung (entsprechend 4-6 mm höhere Wasserspeicherung) ein leichtes Ertragsplus zu erkennen war. Wie schon 2017 waren die Kürbisdurchmesser in den Absorber Varianten leicht verbessert (Qualitätsangaben des Landwirts).



In den nachfolgenden Tabellen ist die Nmin Situation an den beiden Versuchsstandorten zum Vegetationsbeginn 2019 dargestellt.

Nmin Situation Wasserwerk Hausen Ausgang Winter und zum Termin der N Bedarfsermittlung 2019									
Variante / Parzellen-Nr.	Parzellen- code	Nmin 12.04.2019 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-90 cm	Nmin 06.05.2019 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-90 cm
1	N-Düngung breit 100 % ohne Stockosorb	46	88	70	204	40	65	59	164
2	N-Düngung breit +Stockosorb ^{+))}	48	107	59	214				0
3	Depotdüngung ohne Stockosorb	44	87	63	194	39	82	60	181
4	Depotdüngung +Stockosorb ^{+))}	48	88	74	210				

Die Werte vom 12. April liegen aufgrund der hitzebedingten Ertragsausfälle und geringer Sickerwasserbildung im Winter sehr hoch. In der Variante Depotdüngung liegen die Nmin Werte (ohne Zusatz von Absorber) aufgrund der geringeren N-Düngung und etwas höherer N-Entzüge erwartungsgemäß etwas niedriger (-10 kg N). Allerdings ist dies in den Varianten mit Zugabe von Absorbern nicht der Fall. Hier liegen die Nmin Werte nach Winter sogar 10-15 kg/ha höher.

Dies kann ein Hinweis sein, dass durch den 3-jährigen Einsatz von Absorbern (300 kg/ha) ein Teil des verbliebenen und neu mineralisierten Stickstoffs vor Auswaschung geschützt wurde. Insbesondere, wenn die Absorber direkt in die N-Depots gegeben wurden. Diese Hypothese wird gestützt durch die Beobachtung am Parallelstandort Dornsmatten, wo es sich ebenso verhielt, wo aber auch die unterschiedlichen Düngerüberschüsse noch nachwirkten. Dass die Nmin Werte der Nachbeprobung

zur Düngerbemessung Anfang Mai niedriger ausgefallen sind, könnte durch die ergiebigen Frühjahrsregen und den Abbau von Maisstrohresten mit weitem C/N Verhältnis bedingt sein.

Nmin Situation Standort Hausen-Dornsmatten, Ausgang Winter und zum Termin der N Bedarfsermittlung 2019									
Variante/ Parzellen-Nr.	Parzellen- code	Nmin 12.04.2019 0-30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-90 cm	Nmin 06.05.2019 0 -30 cm	30-60	60-90	Nmin 0-90 cm
1	N-Düngung breit 100 % ohne Stockosorb	40	98	52	190	43	89	32	164
2	N-Düngung breit +Stockosorb ⁺	38	96	64	198				0
3	Depotdüngung ohne Stockosorb	40	86	42	168	37	76	39	152
4	Depotdüngung +Stockosorb ⁺	50	142	60	252				

Die nachwinterlichen Nmin-Werte auf dem Standort Dornsmatten liegen wegen hitzebedingten Ertragsausfällen und geringen Winterregen am 12. April ebenfalls außerordentlich hoch. In der Variante Depotdüngung ohne Absorber liegen die Nmin Werte aufgrund der geringeren N-Düngung erwartungsgemäß auch auf diesem Standort niedriger (-22 kg N/ha). Auch hier lässt sich, wie am Standort Wasserwerk beobachten, dass die Nmin Werte nach Winter in den Parzellen mit jährlicher Zugabe von Absorber höher sind und dass der Effekt auch auf diesem Standort in der Variante wo der Absorber direkt mit den Nährstoffen ins Depot gegeben wird besonders deutlich ausfällt. (Im Horizont 30-60 cm der Variante 4 wurde vermutlich, trotz vorgehendem Pflug auch ein ehemaliges Depot erfasst). Auch auf dem Standort Dornsmatten wurde gemäß diesen Beobachtungen nach mehrjährigem Einsatz des Absorberadditivs ein Teil des Stickstoffs vor Auswaschung geschützt. Das war insbesondere zu beobachten, wenn die Absorber direkt in die N-Depots gegeben wurden.

Fazit:

Bei normalem Vegetationsverlauf ergaben in den Praxisversuchen bei Mais Ertragsvorteile für die Depotdüngung mit 80 % N gegenüber breiter Düngung mit 100 % N. Dies führt in der Regel zu geringeren Nmin Werten zum Ende der Vegetationszeit. Durch den Einsatz von Superabsorbentien mit der Depotdüngung wurden die positiven Ertragseffekte verstärkt (synergistische Wirkung), was auch die Auswaschungsrisiken für Stickstoff minderte.

Bei Frühjahrsbeprobungen des Stickstoff liess sich nach 2-3 Absorbergaben im dritten Jahr beobachten, dass die Nmin Werte im Frühjahr gegenüber den Varianten ohne Stockosorb erhöht waren und dass dieser Effekt, der auf einen verbesserten Schutz des N vor Auswaschung hindeutet verstärkt wird, wenn der Absorber mit in das N Düngerdepot verabreicht wird.

Bei konventioneller Düngung konnte im dritten Jahr der Anwendung von Superabsorber ebenfalls eine Tendenz zu leicht verbesserten Erträgen beobachtet werden. In den Jahren davor waren die Additivwirkungen bei breiter Düngung uneinheitlich.

Hinsichtlich der Kürbisqualität konnte bei Absorbereinsatz in allen Fällen ein leichter Trend zu besseren Kürbisqualitäten (plus beim Kürbisdurchmesser) beobachtet werden.

Was die Wirtschaftlichkeit des Absorbereinsatzes anbelangt, so reichten die beobachteten Ertragseffekte durch Stockosorb auch in den günstigsten Versuchssituationen nicht aus, um den Mehraufwand zu kompensieren. Würde die Schutzwirkung der Absorber gegen die Auswaschung von Stickstoff monetär bewertet, verbessert sich die Wirtschaftlichkeit. Hierzu wären zur Absicherung noch vertiefende Untersuchungen nötig.

2.2.2 Depotdüngung mit Superabsorber und natürlichen Additiven in Körnermais (Praxisversuch Lehen)

Versuchsfrage: Wie wirken sich unterschiedliche Zusätze (Additive) zu den Stickstoff-Düngedepots aus auf Düngereffizienz und Ertrag und hinsichtlich der chemischen und physikalischen Stabilisierung der N-Depots im Boden.



Feldversuchsplan 2017



Feldversuchsplan 2018 / 2019

Versuchsaufbau

N-Depotdüngung zu Mais mit Zusatz von Additiven im Depot	
---Wirkungen auf Ertrag und N-Dynamik ---	
dreijähriger Praxisversuch am Standort Freiburg Lehen, 2017 -2019	
Varianten	Depotdüngung*)
	1 Depotdüngung Kontrolle ohne Zusatz im Depot (K)
	2 Depotdüngung mit 50 kg/ha Stockosorb Superabsorber(S)
	3 Depotdüngung mit 50 kg/ha Mineralzusatz (NA1)
	4a Depotdüngung mit 50 kg/ha Biokohle (NA2)
	[4b Depotdüngung mit 50 kg/ha Humuskomplex] ¹⁾ (NA3)

*) Die N-Depotdüngung erfolgte praxisüblich mit 80 % N nach N-Bedarfsermittlung (LEL).

¹⁾ Im zweiten und dritten Jahr wurde diese Parzelle für eine weitere Variante aufgeteilt

Während in den ersten beiden Jahren *jeweils* eine Mischung von Domogran 45® Dünger (reines Ammoniumsulfat) mit tags zuvor eingemischten Additiven zum Einsatz kam, wurden die Additive - mit Ausnahme des Superabsorbers Stockosorb - im Jahr 2019 vor der Düngung in einer industriellen Anlage der Firma **Inprotec** in Heitersheim in einem Agglomerationsverfahren auf den Dünger aufgetragen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil es zum einen praxisnäher ist (Landwirte werden die Additive nicht am Feldrand einmischen wollen), zum anderen sollte herausgefunden werden, ob bei einer praxisnahen Formulierung der Dünger die Düngewirkung und die Schutzwirkung für das Ammonium (nicht auswaschungsgefährdet) erhalten bleibt oder sogar noch verbessert werden kann.

Bei den aufgetragenen Additiven handelte es sich um natürliche und naturbelassene Mineralien, Biokohle und Humusverbindungen. Deren genaue Zusammensetzung ist den Versuchsanstellern bekannt, kann im Rahmen dieses Berichts aber nicht ganz offengelegt werden, da dadurch mögliche Schutzrechte an den Formulierungen verletzt würden.

Anbaumaßnahmen und Messungen im Praxisversuch Lehen

Jahr	2017	2018	2019
Nmin Frühjahr	19.4.(66 Nmin)	11.4. (60 Nmin)	12.4. (56 Nmin)
Aussaat	10.5.	19.4.	30.4.
Depotdüngung	24.5.	2.5.	5.05.
	135 kg N/ha	113 kg N/ha (80%)	118 kg N/ha (80%)
Profilproben	10.5.	4.5.	15.5.
	11.7.	5.6.	27.6.
		11.7.	
	2.11.	8.10.	10.10.
Ernte	2.11.	8.10.	08.10.2019
Erntequalität	ja		ja
Bonituren Bestand	29.5	23.4	13.6.
	22.6.	25.5.	27.6.
	7.7.	10.6.	24.7.
	31.7.	29.6.	
	28.8.		
Humax Depotproben	10.5	4.5.	15.5.
	11.7.	5.6.	27.6.
	2.11.	11.7.	24.7.
		8.10.	10.10.



A) Präzise Ablage der Düngedepots mit Rauch BLE Prototyp in Freiburg Lehen. B) Ansicht des Profils direkt nach der Ausbringung von 640 kg/ha Domogran 46 (136 kg N/ha) in 20 cm Tiefe im Abstand von 1,5 m in jeder zweiten Gasse zwischen den Maisreihen (2-Blatt Stadium); - Pfeil zeigt auf das Depot in einem Profilanschnitt.



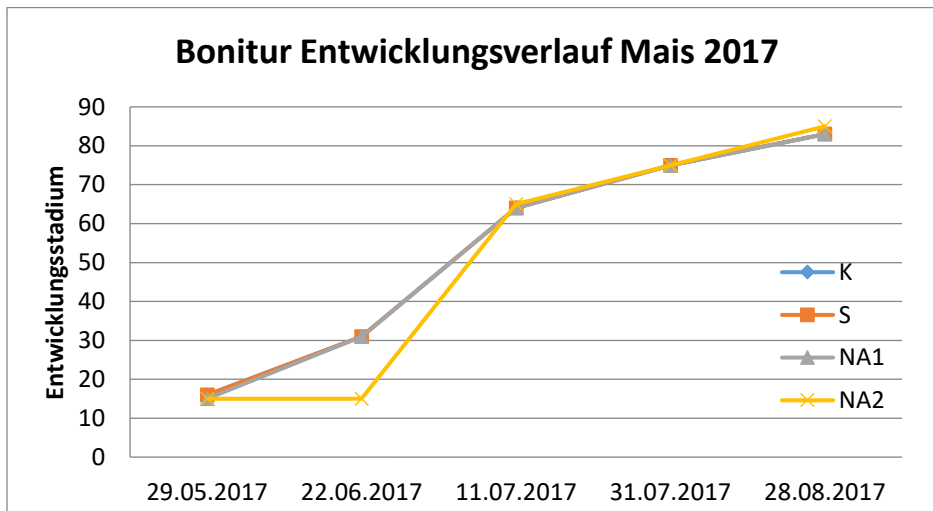
Entnahme der Bohrkerne von den N-Düngedepots zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach der Ausbringung mit einem „HUMAX“ Bohrstock mit innerer Hülse für die Probe (0-30 cm). Die Proben wurden so gezogen, dass sie nach Möglichkeit die Depots im Boden erfassten (mit Ausnahme der Kontrolle in den alternierend ungedüngten Zwischenreihen). Nach der Entnahme wurden die Proben aus den Röhren entnommen gemischt und gekühlt vom Projektpartner am Landratsamt zur Analyse für Nitrat und Ammonium ins Labor der LTZ Augustenberg geschickt

Der Boden am Standort Lehen war ein kolluvialer Auenboden mit hohem Steinanteil. Es handelte sich um einen sandigen Lehmboden mit mittlerer Ackerzahl (40-60) und einer Ertragserwartung von 100 dt/ha Körnermais.

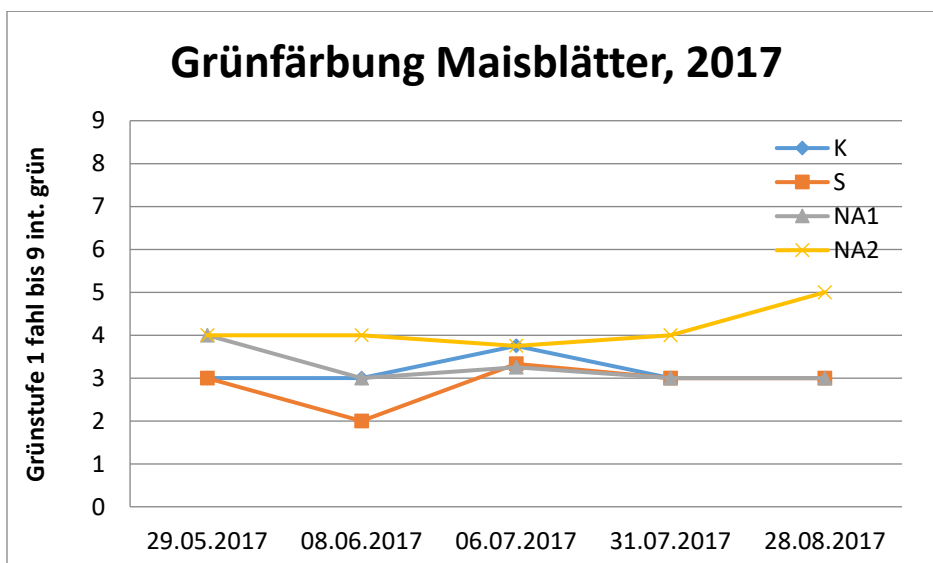
Ergebnisse des Praxisversuchs Lehen 2017

Bestandesentwicklung: Wie die nachfolgenden dargestellten Abbildungen zu den vegetationsbegleitend durchgeführten Bonituren zeigen 2017 zeigen, war nur bei der Zugabe von Biokohle (Natürliches Additiv 2- NA2) anfänglich eine etwas verzögerte Entwicklung zu sehen, sie sich aber später auflöste. Bei der Grünfärbung der Maisblätter als Gradmesser für die Stickstoffversorgung waren die Verhältnisse bei Versuchsbeginn noch heterogen, glichen sich aber mit dem Eintritt in die Blühphase Anfang Juli bis auf die Variante Biokohle-Zusatz aus. Diese Versuchsvariante war bis zum Ende der Beobachtungen stets etwas grüner im Erscheinungsbild.

Anmerkung: Da es bei der Ausbringung der Mischung mit Biokohle (fettig) zur Problemen bei der Dosierungseinrichtung kam, musste in dieser Variante ein Teil des Düngers nachträglich von Hand nachgestreut werden. Dies könnte auch Ursache für die frühere Nitratfreisetzung und zeitige N-Aufnahme gewesen sein.



Entwicklungsverlauf bei Kontrolle (Domogran-Depot ohne Additiv) und bei Varianten mit 50 kg/ha Zusatz von Stockosorb(S) Mineraladditiv (NA1) und Biokohlezusatz (NA2) in das Düngedepot.

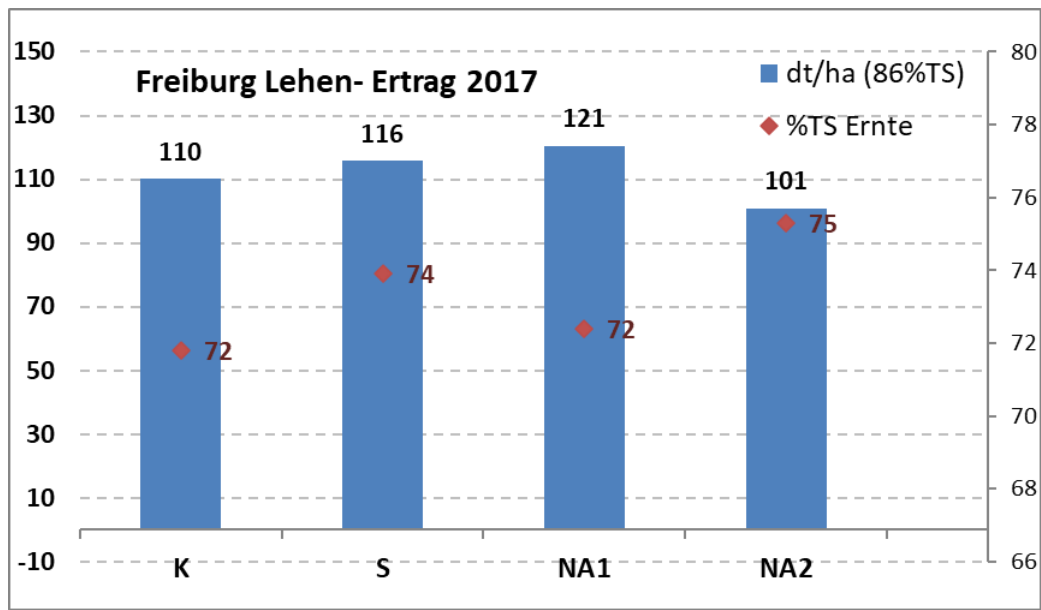




Praxisversuch Lehener Winkel am 22. Mai 2018 Parzellengrenze Variante 1 Depotdüngung ohne Additiv und Variante 2 (links) mit Stockosorb im Düngedepot.

Erträge und Qualität

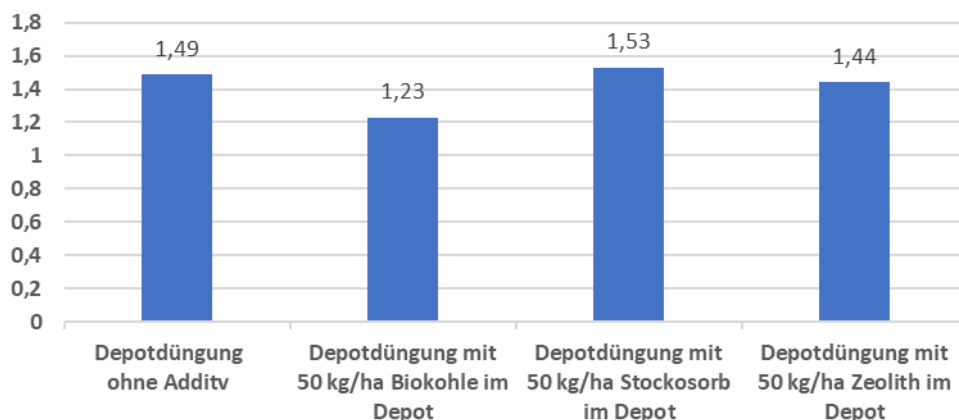
Wie in der nachfolgenden Grafik dargestellt, ergab sich durch den Zusatz der Additive in die Düngerdepots mit Ausnahme der nicht aktivierten Biokohle (minus 6 %) ein positiver Ertragseffekt von plus 6 % bei Stockosorb und von plus 8 % bei Zugabe von Mineraladditiv Zeolith.



Körnermaiserträge im Depotdüngerversuch am Standort Lehen bei Zugabe von jeweils 50 kg/ha Additiven in das N-Düngedepot. K= Kontrolle ohne Additive, S= Superabsorber Stockosorb, NA1= Mineral-Additiv Zeolith, NA 2 = nicht aktivierte Biokohle.

2017 wurden am Standort Lehen auch Proben zur chemischen Analyse entnommen und auf N P K und Mg Gehalte untersucht. Dabei zeigten sich gegenüber der Kontrolle Depot mit reinem Ammoniumsulfat nur in der Variante mit Superabsorber etwas höhere N -Gehalte, was wieder als Indikator für eine leicht bessere N-Aufnahme gewertet werden kann (Abbildung unten). Zeolith Zugabe führte zwar auch zu höheren Erträgen, die N-Gehalte im Korn waren aber niedriger. Bei Biokohlezusatz litten sowohl der Ertrag als auch der N-Gehalt im Korn. Die P Gehalte (nicht dargestellt) waren mit 0,32 % in der Trockenmasse am höchsten bei der Variante ohne Additive, mit Additiven lagen die Werte geringfügig darunter 0,29-0,30 %.

% N in TM Maiskorn

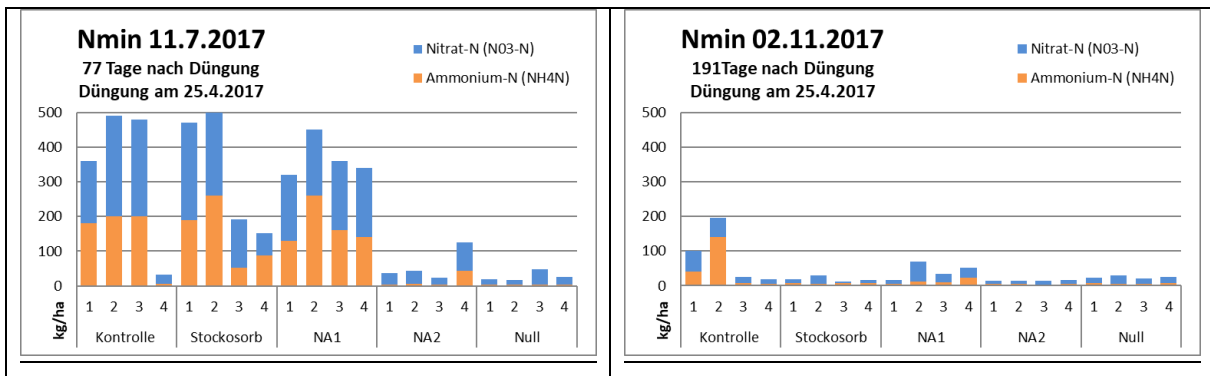


N-Gehalte im geernteten Maiskorn in Lehen, 2017.

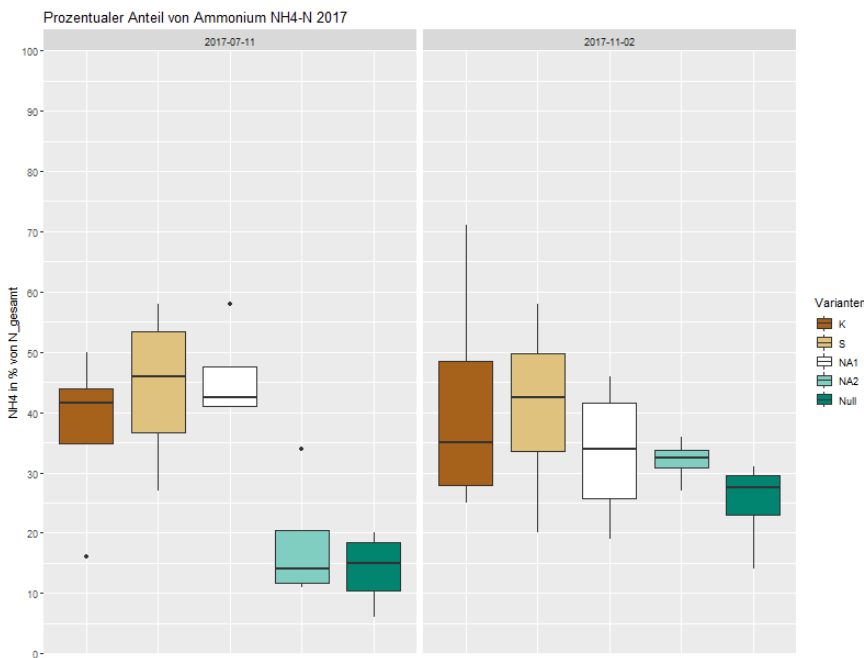
N-Dynamik

Im Jahr 2017 wurden die Proben zur Analyse der Depotstabilität zum Zeitpunkt der Blüte des Mais (Hauptaufnahme von N zu über 70 % abgeschlossen) und nach der Maisernte vorgenommen. Das entspricht 9 Wochen und 26 Wochen nach der Düngung. Zur Blüte, am 11.7. waren die Konzentrationen an Stickstoff und Ammonium (NH₄) in den Depots der ersten drei Varianten noch sehr hoch und fast die Hälfte des Stickstoffs im Umfeld des Depots lag noch als Ammonium (NH₄) vor und konnte als solches von den Pflanzen aufgenommen werden. Zur Ernte (Probetermin 2.11.) waren die Depots entleert, von dem wenigen Stickstoff lagen aber immer noch 35 -40 % als Ammoniumstickstoff vor. Durch die Anwendung nicht aktivierter Biokohle konnten keine Depots an pflanzenverfügbarem Ammonium etabliert werden.

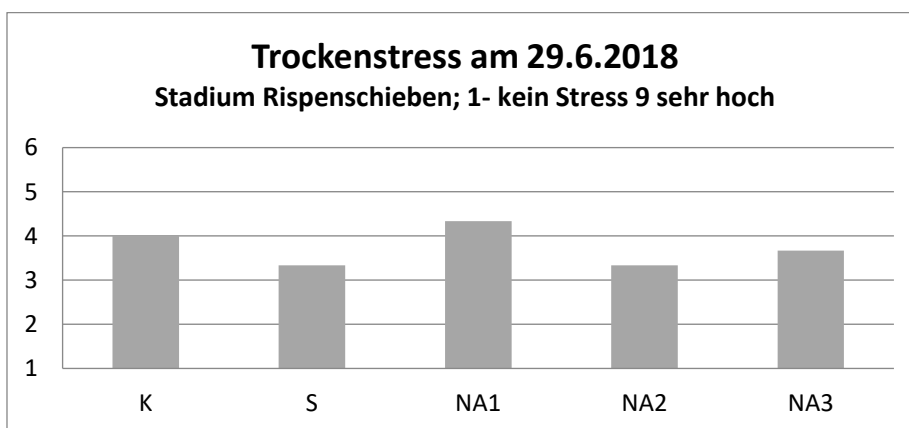
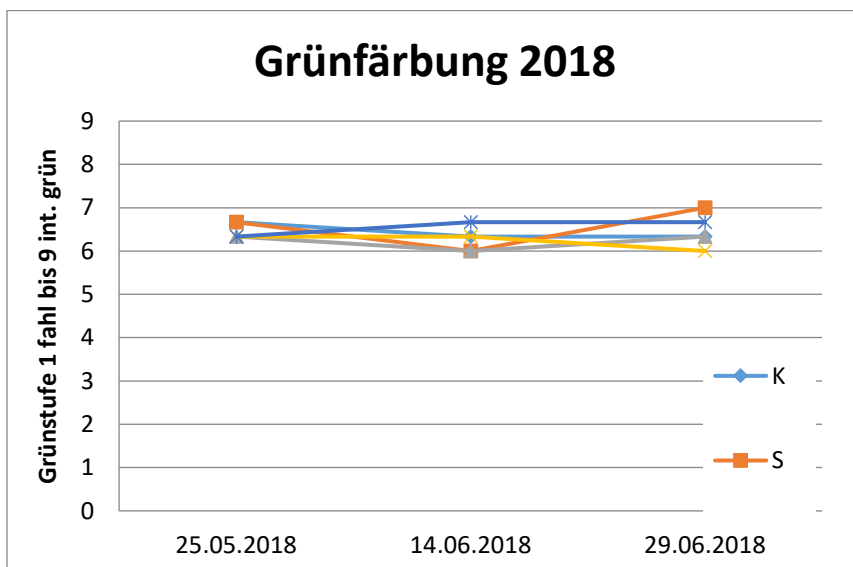
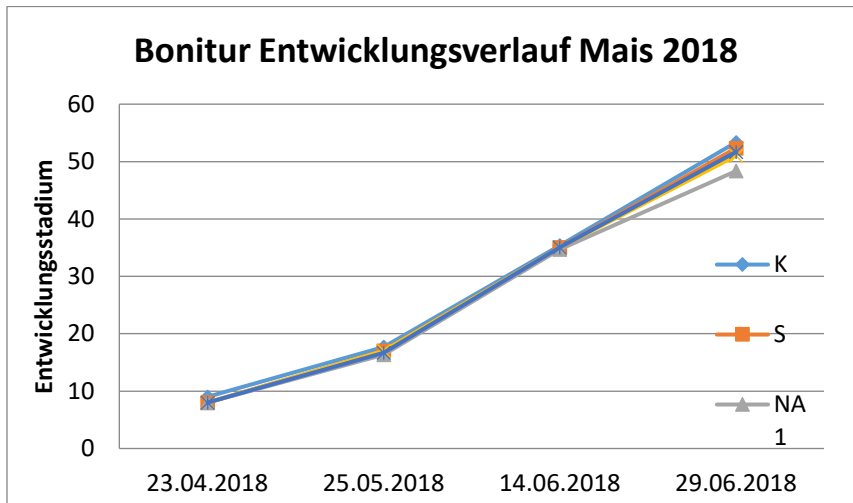
Gegenüber dem Depot mit reinem Ammoniiumsulfat, das selbst auch schon stark stabilisierend wirkt konnte die Stabilität in den Depots mit Stockosorb und Mineralabsorber (NA1) nochmals leicht verbessert werden.



Nmin Situation in Düngedepots 2017 a) b) Gehaltskonzentrationen an Ammonium und Nitrat zum Zeitpunkt der Maisblüte (11.7.) und nach der Ernte des Mais (1.11.).



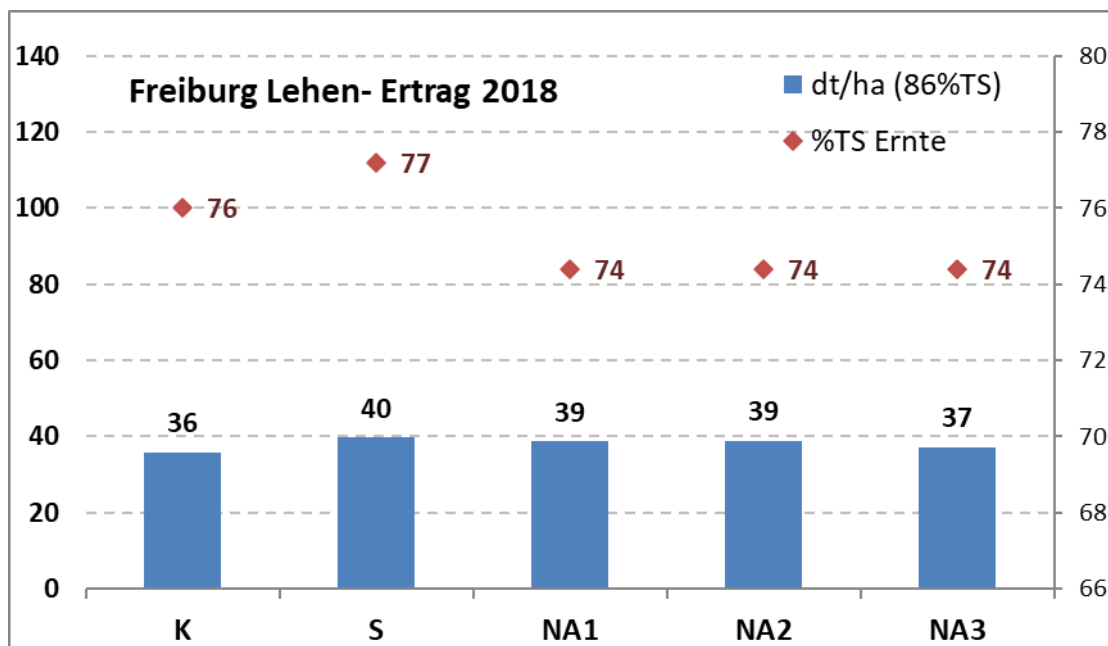
Nmin 2017 c) Mittelwert und Streuung des prozentualen Ammoniumanteils am gesamten mineralisierten Stickstoff in den Düngedepots zum Zeitpunkt der Maisblüte (11.7.) und nach der Ernte des Mais (1.11.)



Bonitur des Trockenstress Ende Juni 2018 im Depotdüngerversuch Lehen.
 K= Kontrolle ohne Additive, S= Superabsorber Stockosorb,
 NA1= Mineraladditiv Zeolith, NA 2 = trockene Biokohle,
 NA3= kommerzielle Humusformulierung

Erträge und Qualität

Im Jahr 2018 fielen die Erträge trockenheitsbedingt gegenüber 2017 nur etwas halb hoch aus. Die Menge an insgesamt im Boden vorhandenem Stickstoff spielte unter diesen Bedingungen für die Ertragsbildung keine Rolle, sondern allenfalls die etwas bessere oder längere Verfügbarkeit unter den Bedingungen früh einsetzender Trockenheit. Alle Additive zeigten – bei allerdings insgesamt niedrigem Ertragsniveau eine positive Wirkung mit Mehrerträgen zwischen 4 % und 11 %. Wie bereits am Standort Hausen (siehe oben) beobachtet führte insbesondere die Zugabe des Wasserabsorbers Stockosorb zu positiven Effekten, was vermutlich auf die etwas längere Verfügbarkeit von Wasser und N im Depot zurückgeführt werden kann.



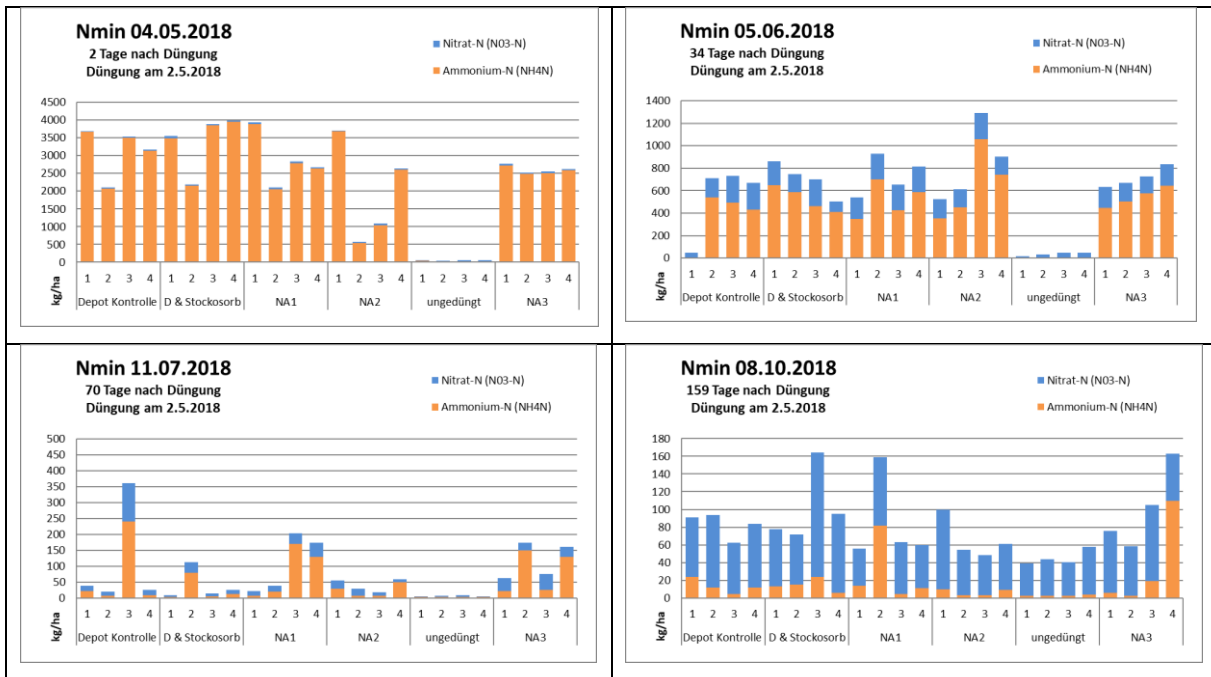
Körnermaiserträge im Depotdüngerversuch am Standort Lehen bei Zugabe von jeweils 50 kg/ha Additiven in das N-Düngedepot. K= Kontrolle ohne Additive, S= Superabsorber Stockosorb, NA1= Mineraladditiv Zeolith, NA 2 = aktivierte Biokohle, NA3= kommerzielle Humusformulierung.

N-Dynamik

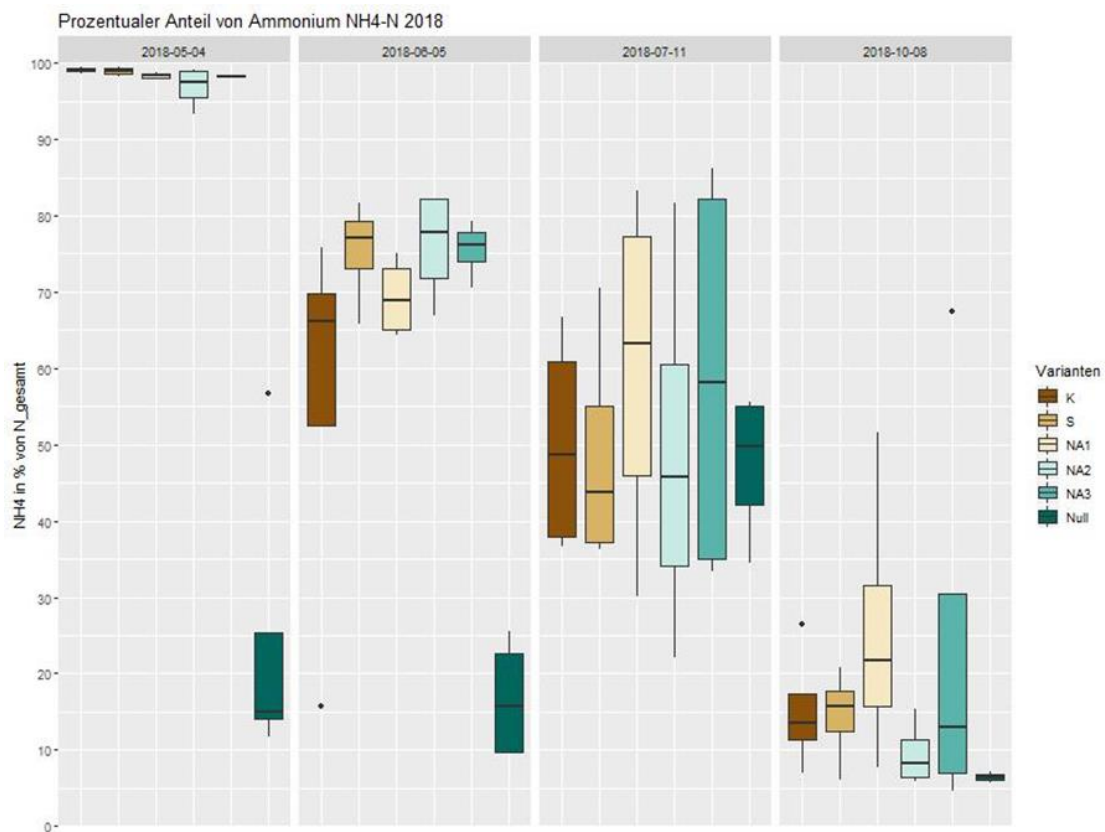
Im Jahr 2018 erfolgten Beprobungen der Stickstoff Düngedepots zu vier Zeitpunkten; nach der Düngung, zum Schossbeginn, zur Blüte und nach der Ernte.

Die Ergebnisse in den folgenden Grafiken zeigen, dass die Depots auch 2018 sehr stabil waren und das auch 34 und 70 Tage nach der Düngung der Stickstoff noch überwiegend als NH₄ Vorlag.

Gegenüber dem Depot mit reinem Ammoniumsulfat, das selbst auch schon stark stabilisierend wirkt konnte die Stabilität in den Depots mit Stockosorb und Mineralabsorber (NA1) auch 2018 nochmals leicht verbessert werden (plus 10-15 %).



Nmin Situation in Düngedepots 2018 a) b) Gehaltskonzentrationen an Ammonium und Nitrat zum Zeitpunkt der Maisblüte (11.7.) und nach der Ernte des Mais (1.11.).



Nmin 2018 c) Mittelwerte und Streuung des Ammoniumanteils am gesamt-N in den Düngedepots zu vier Terminen nach der Depotdüngung.

Ergebnisse Praxisversuch Lehen 2019

Im letzten Versuchsjahr erfolgte die Depotdüngung mit Verwendung von Stockosorb in Mischung und von experimentellen Düngerformulierungen mit Additiven an den Düngergranalien. Dies geschah in der Absicht nach den ersten positiven Ergebnissen mit zugemischten Additiven die Tür in Richtung praxistauglicher, innovativer Depotdünger einen Spalt weit zu öffnen und das Verfahren hinsichtlich Stickstoff-Effizienz und Emissionsminderung weiter zu optimieren und das noch bestehende Potenzial aufzuzeigen.

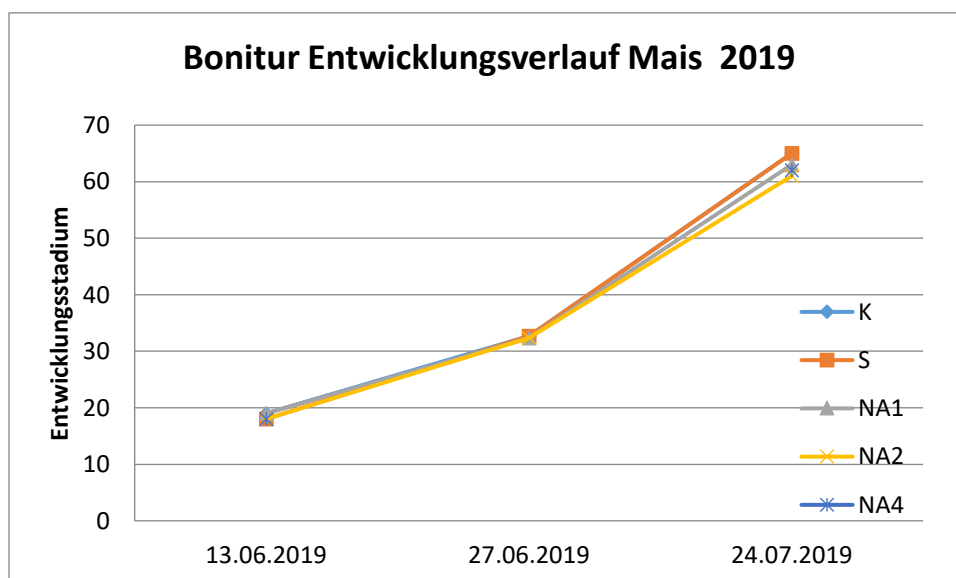
Kommentar zu den verwendeten Düngerformulierungen: Variante 1 Domogran ohne Additive: keine Probleme bei der Ausbringung und Dosierung. Variante 2: Domogran kurz zuvor handgemischt mit 50 kg /ha Stockosorb, mittlere Körnung) ebenfalls problemlos bei der Ausbringung. Die Mischung ist aber nicht lagerstabil und bei längerer Anwendung problematisch, da sich stark hygroskopischer Staub des Absorbers an Oberflächen festsetzt, auf denen sich dann gallertige Schichten bilden.

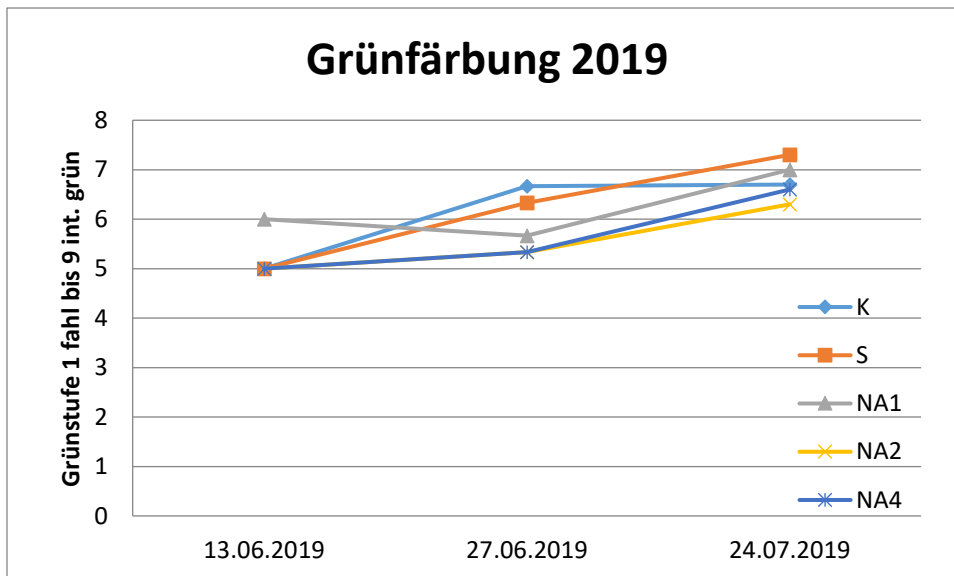
"Variante 3: Mischung (Agglomeration) von Domogran (93%) mit Mineralabsorber. Diese Mischung roch beim Öffnen der Säcke nach Ammoniak; der Dünger rutschte nicht leicht aber ließ sich noch gut dosieren. Für eine optimale Anwendung wäre eine stärkere Trocknung nach der Beschichtung optimal.

Variante 4a): bei dieser Formulierung von Domogran (95%) mit Biokohle traten keine Ausgasungen von Ammoniak auf, bei der Anwendung kam es aber zu sehr starker, rußähnlicher Staubbildung, die nach Einschätzung des Lohnunternehmers als inakzeptabel einzustufen war. Die Rieselfähigkeit war leicht eingeschränkt.

Variante 4b): Bei der neuen Formulierung von Domogran (93 %) mit Mineral-, Biokohle- und Humusadditiv) konnte beim Öffnen der Säcke auch eine Ausgasung festgestellt werden. Der Dünger war noch etwas feucht, verklebte und musste mit Stampfwerkzeugen in die Dosiereinheit gestopft werden, um ihn dosiergerecht anwenden zu können.

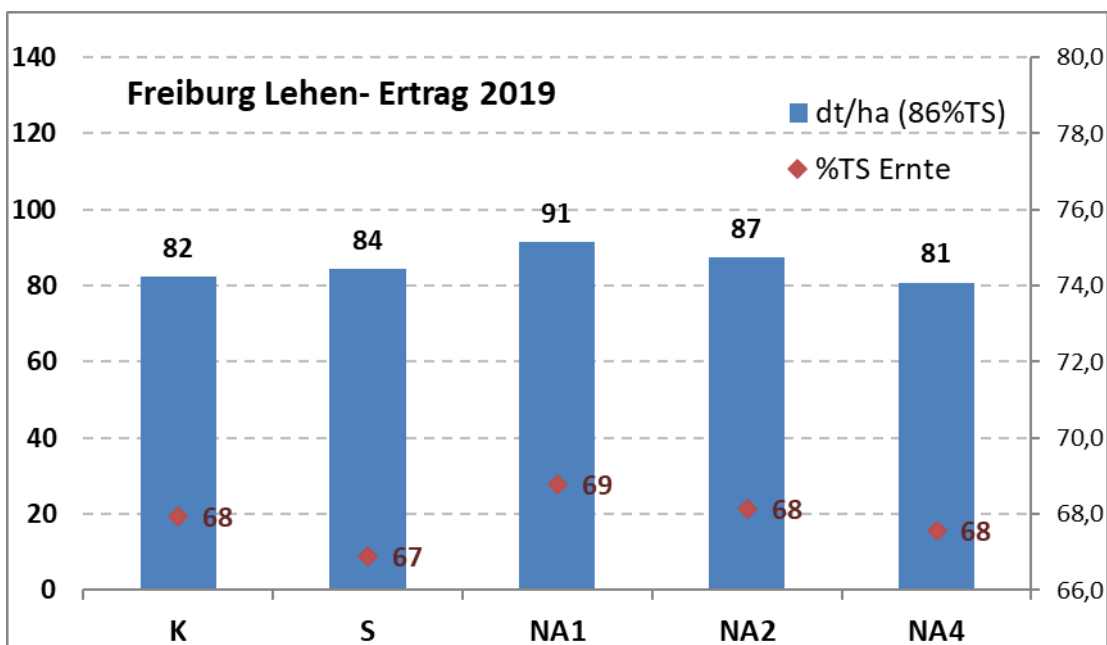
Entwicklung der Maisbestände





Erträge und Qualität

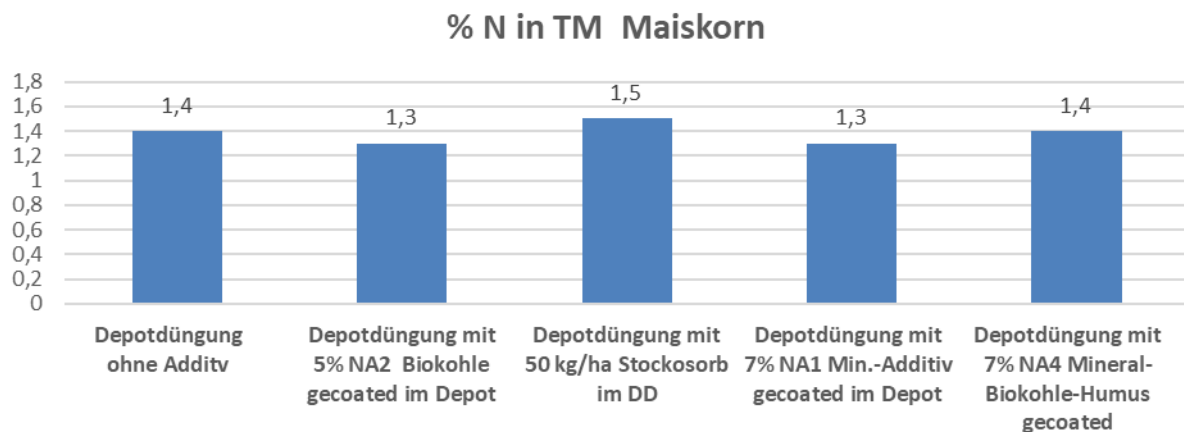
Im Versuchsjahr 2019 konnten bei wieder besseren Niederschlagsverhältnissen trotz fröhsommerlicher Trockenperioden wieder bessere, aber erneut unter dem langjährigen Mittel liegende Erträge erzielt werden. Die Mehrerträge durch den Zusatz der Additive waren mit Werten zwischen plus 2-10 % insgesamt geringer als 2018. Bei Additiv NA4 konnte kein Mehrertrag gemessen werden. Unter den Anbaubedingungen 2019 war das Ertragsplus bei Coating mit dem Mineraladditiv (NA1) mit plus 10 % am größten. Es entsprach 9 dt/ha mit einem Verkaufswert von ca. 135 Euro.



Körnermaiserträge im Depotdüngerversuch am Standort Lehen bei Zugabe von jeweils 50 kg/ha Additiven in das N-Düngedepot. K= Kontrolle ohne Additive, S= Superabsorber Stockosorb, und beim „coating“ mit Additiven NA1= Mineraladditiv, NA 2 = aktivierte Biokohle, NA4= Coating mit Mineral-, Biokohle- und Humusadditiv.

Auch im letzten Versuchsjahr 2019 wurden am Standort Lehen noch einmal Kornproben zur chemischen Analyse entnommen und auf N P K und Mg Gehalte untersucht (siehe nächste Abbildung). Dabei zeigte sich, wie schon im Jahr 2017, dass die N Gehalte im Korn leicht anstiegen, wenn Stockosorb ins Depot verabreicht wurde. Mit der Zugabe von Zeolith-Mineral nahmen sie gegenüber der Kontrolle in beiden Jahren leicht ab – es wurden aber jeweils die höchsten Erträge erzielt. Dies könnte zu einem leichten Verdünnungseffekt geführt haben.

Das Coating mit Biokohle und weiteren Mischkomponenten wirkte neutral oder leicht Gehaltsmindernd auf das N im Korn. Die P Gehalte (nicht dargestellt) lagen mit 0,3 % in etwa überall gleich mit Ausnahme des Mineral-Coatings, wo sie auf 0,27 abfielen. Mg, K, und S Gehalte reagiert kaum auf die Additive.

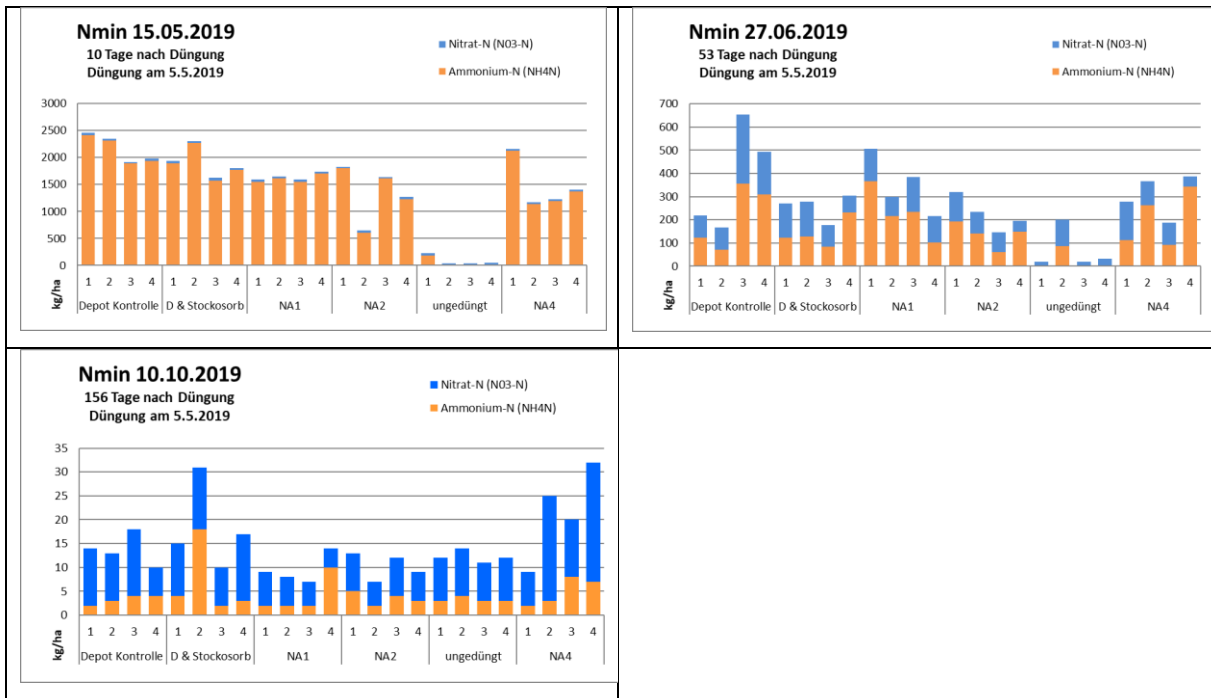


N-Gehalte im geernteten Maiskorn in Lehen, 2019.

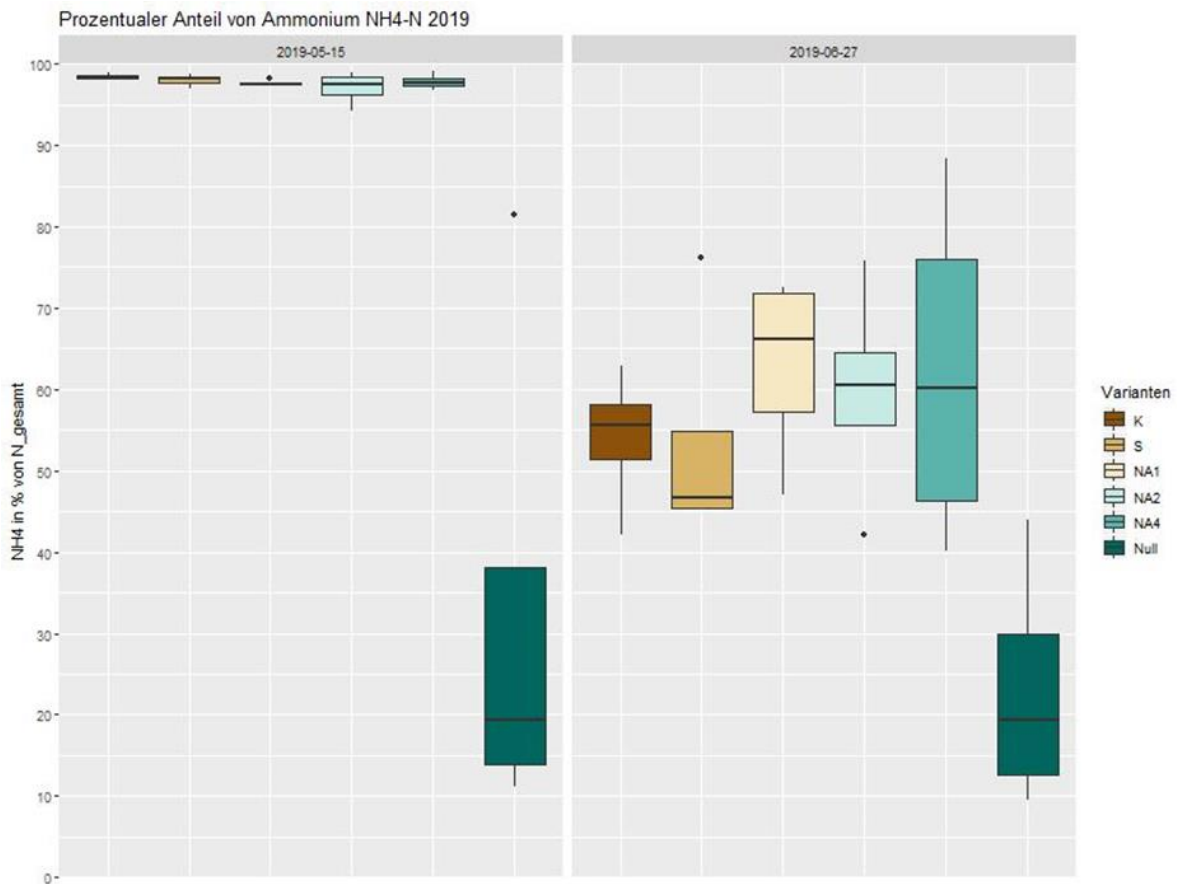
N-Dynamik 2019

Am 15. 5 (kurz nach der Düngung), am 27.6. (vor Blüte) und am 10.10.2019 (nach der Ernte) wurden die Positionen der Depotdüngung in den vier Versuchsvarianten mit einem Humax® Bohrstock (siehe oben) beprobt und auf Ammonium und Nitrat analysiert. Je höher die N Gehalte und je höher der Anteil an Ammonium (NH₄) gegenüber Nitrat -N (NO₃) in den Proben, desto stabiler sind sie Depots und desto weniger Auswaschungsverluste treten auf.

Gegenüber dem Depot mit reinem Ammoniumsulfat, das selbst auch schon stark stabilisierend wirkt konnte die Stabilität in den Depots mit Stockosorb und Mineralabsorber (NA1) auch 2018 nochmals leicht verbessert werden (plus 10-15 % Ammoniumanteil in Phase der Hauptnährstoffaufnahme).



Nmin Situation in Düngedepots 2019 a) b) c) Gehaltskonzentrationen an Ammonium und Nitrat zum drei Zeitpunkten nach der Depotdüngung.



Nmin 2019 d) Mittelwerte und Streuung des prozentualen Ammoniumanteils am Gesamtstickstoff in den Düngedepots zu zwei Terminen nach der Depotdüngung.

Fazit:

Nach wiederholter Anwendung zeigt sich bei der Bonitur der Grünfärbung in den Trockenjahren 2018 und 2019 ein leichter Vorteil für die Variante mit Stockosorb. Auch in Lehen wird die bereits in Hausen gemachte Beobachtung gestützt, dass der Mais bei eintretender Trockenheit etwas länger Zugang zu Stickstoff hat, wenn der Wasserabsorber direkt ins Düngedepot gelegt wurde. Die Auswirkungen auf die absolute Ertragshöhe blieben aber gering und wurden durch die Trockenheit in ihrer globalen Dimension limitiert.

Anlage zu Kapitel 2.2: Komplette Analyseergebnisse der Gehalte von Maiskörnern in den Depotdüngerversuchen mit Additiven in Freiburg Lehen.

Kornqualität von Mais in Abhängigkeit von der Düngung und den Additiven zum Düngedepot (Freiburg Lehen, 2017)						
Versuchsjahr 2017, Standort Lehener Winkel						
Variante	Kornfeuchte in %	% N in TM	% P ges. in TM	% K in TM	% Mg in TM	% S in TM
Depotdüngung ohne Additiv	9,2	1,49	0,32	0,39	0,11	0,10
Depotdüngung mit 50 kg/ha Stockosorb zu Depot	9,1	1,53	0,29	0,36	0,10	0,11
Depotdüngung mit 50 kg/ha Mineral-Additiv zu Depot	9,0	1,44	0,29	0,37	0,10	0,10
Depotdüngung mit 50 kg/ha Biokohle zu Depot	9,2	1,23	0,30	0,39	0,10	0,10

Kornqualität von Mais in Abhängigkeit von der Düngung und den Additiven zum Düngedepot (Freiburg Lehen, 2019)						
Versuchsjahr 2019, Standort Lehener Winkel						
Variante	Kornfeuchte in %	% N in TM	% P ges. in TM	% K in TM	% Mg in TM	% S in TM
Depotdüngung ohne Additiv	9,04	1,4	0,30	0,40	0,11	0,11
Depotdüngung mit 50 kg/ha Stockosorb im DD	9,18	1,5	0,31	0,41	0,11	0,12
Depotdüngung mit 7% NA1 Min.-Additiv geocoated im Depot	9,1	1,3	0,27	0,39	0,10	0,11
Depotdüngung mit 5% NA2 Biokohle geocoated im Depot	9,23	1,3	0,30	0,40	0,11	0,11
Depotdüngung mit 7% NA4 Mineral-Biokohle-Humus geocoated	9,08	1,4	0,32	0,42	0,11	0,12

2.3 Gefäßversuche Depotdüngung mit Additiven

In den Praxisversuchen konnte aufgezeigt werden, dass die Ablage der Depots zusammen mit Absorbieren (Mischungen des Düngers und der Additive kurz vor der Ausbringung) die Stabilität der Depots noch erhöht. Die Verbesserung der Stabilität und damit auch der Effizienz und Grundwasserverträglichkeit erfolgte, ohne die Erträge zu mindern (– ausgenommen „unbehandelte Biokohle“ ,2017, die Ertragsdepressionen zur Folge hatte).

Unter praktischen Gesichtspunkten stellt die manuelle Mischung von Düngern vor der Ausbringung oder alternativ die mechanische Ausbringung der Dünger mit zwei getrennten Tanks und Dosiereinheiten bei annuellen Feldkulturen wie Mais ein bedeutendes Hemmnis für die Akzeptanz dar.

Komplementär zu den Praxisversuchen mit Stockosorb und natürlichen Additiven in der Depotdüngung wurden deshalb im Jahr 2019 auch Gefäßversuche durchgeführt, um vorläufige Trends und Ergebnisse aus den Einzelbeobachtungen auf Praxisschlägen in Exaktversuchen im Gewächshaus zu stützen und zu ergänzen.

Im Gefäßversuch wurden mineralische und biologisch-mineralische Additive, die im Rahmen des Supa-B Projekts als innovative Lösungen für die Depotdüngung entwickelt worden sind , direkt als „Coating-Stoffe“ auf- (=Coating) und in (= Matrix) den Dünger gebracht, so dass dieser auch mit der existierenden Depotdüngetechnik der Firma Rauch als „optimierter Depotdünger“ ausgebracht werden konnte.

Es sollte in einem mehrfach wiederholten Experiment geklärt werden, wie die unterschiedlichen Dünger und Anwendungen (breit gestreut oder als punktförmiges Depot abgelegt) sich auf die Stickstoffverfügbarkeit und Ertragsfähigkeit bei Mais auswirken und ob sich Hinweise auf eine Verbesserung der Langzeitstabilität des Ammoniums in den Depots (durch eine Bodenanalyse von Nitrat- und Ammonium-N) absichern lassen.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde in Zusammenarbeit mit dem LTZ Augustenberg ein Gefäßversuch mit den nachfolgend beschriebenen 6 Versuchsvarianten durchgeführt. (Annahmen: Ertragsniveau bei 120 dt /ha; (NH₄SO₄) als Domogran®; Depotablage punktförmig im Gefäß, randlich positioniert. Als Boden wurde die beim LTZ übliche Standarderde verwendet.

- | | |
|-----------------------|--|
| Var 1: (Gefäße 1-6) | keine N Düngung; P, K, Mg - optimal |
| Var 2: (Gefäße 7-12) | Kontrolle; 100 % N als (NH ₄ SO ₄), breit gedüngt, eingemischt
(2 g N/ Gefäß) (9,5 g Domogran®/ Gefäß) |
| Var 3: (Gefäße 13-18) | 80 % N als (NH ₄ SO ₄), 15 cm tiefe Depotablage in seitlicher Randposition
(1,6 g N/ Gefäß) (7,6 g Domogran®/ Gefäß) |
| Var 4: (Gefäße 19-24) | 80 % N als (NH ₄ SO ₄ plus Additiv 1), 15 cm tiefe Depotablage
(1,6 g N/ Gefäß) (8,2 g Batch 6 coating/ Gefäß) |
| Var 5: (Gefäße 25-30) | 80 % N als (NH ₄ SO ₄ plus Additiv 2), 15 cm tiefe Depotablage
(1,6 g N/ Gefäß) (8,2 g Batch 6 Matrixmischung/ Gefäß) |
| Var 6: (Gefäße 31-36) | Kontrolle; 80 % N als (NH ₄ SO ₄), breit gedüngt, eingemischt
(1,6 g N/ Gefäß) (7,6 g Domogran®/ Gefäß) |

6 Wiederholungen - 36 Gefäße; Versuchsdauer: ca. 9 Wochen bis zur Blüte

- Versuchsdüngung: N wie oben beschrieben, P (0,9 g P₂O₅/Gefäß.)

während der Vegetationsperiode: K und Mg: als Düngelösung in 2 Teilgaben (3 g K₂O und 0,6 g MgO/Gefäß)

Ergebnisse: Auswirkungen auf Wachstum und Entwicklung

In der folgenden Übersicht sind die Ergebnisse des Gefäßversuchs zu den Düngerverfahren und Düngerformulierungen zusammengestellt. Als Merkmale für die Qualität der vegetativen Entwicklung der Maispflanzen wurden der jeweilige phänologische Entwicklungsstand der Pflanzen (BBCH Stadium, die Pflanzenhöhe und der Stängeldurchmesser zum Zeitpunkt der Blüte gemessen.

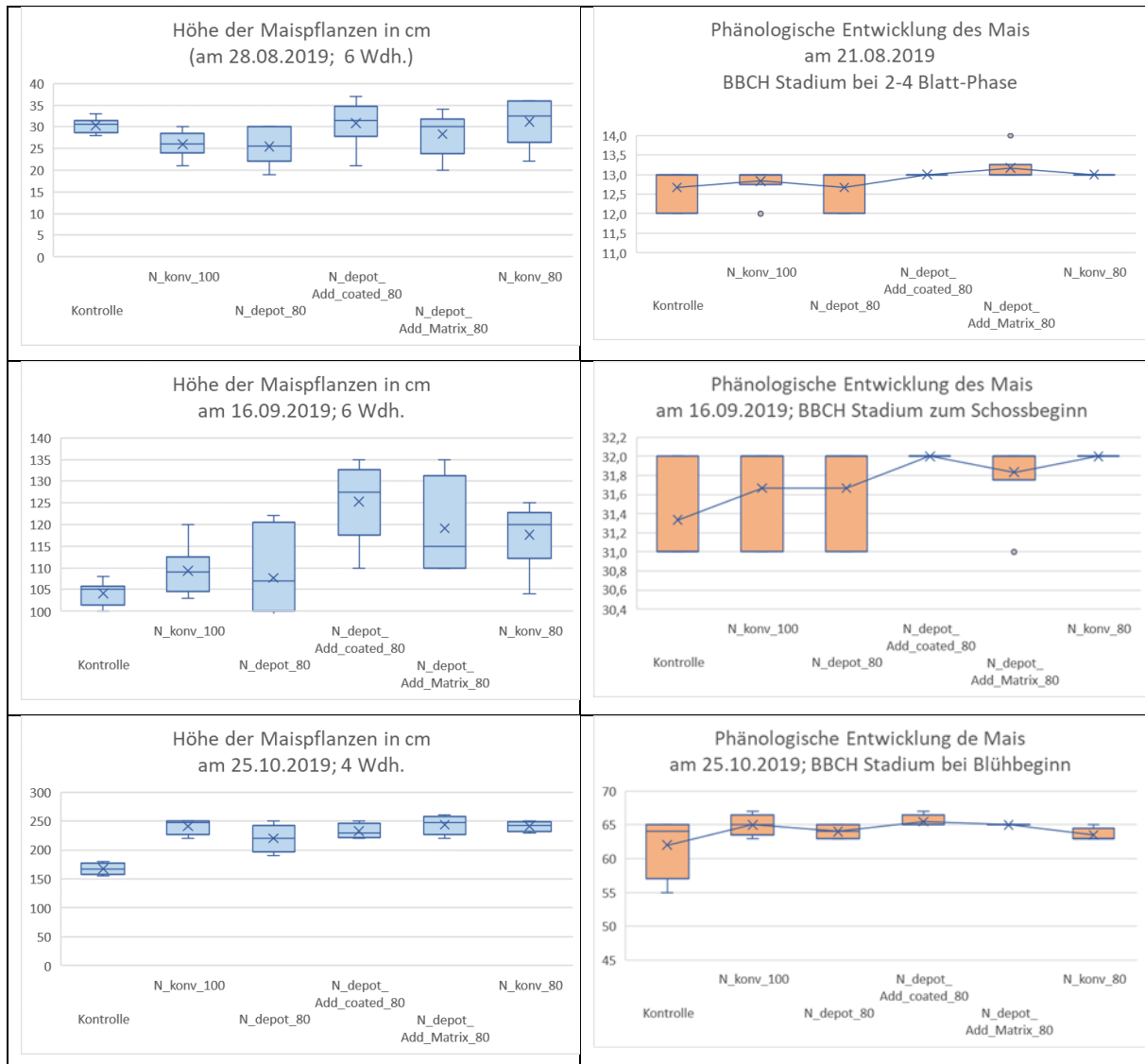


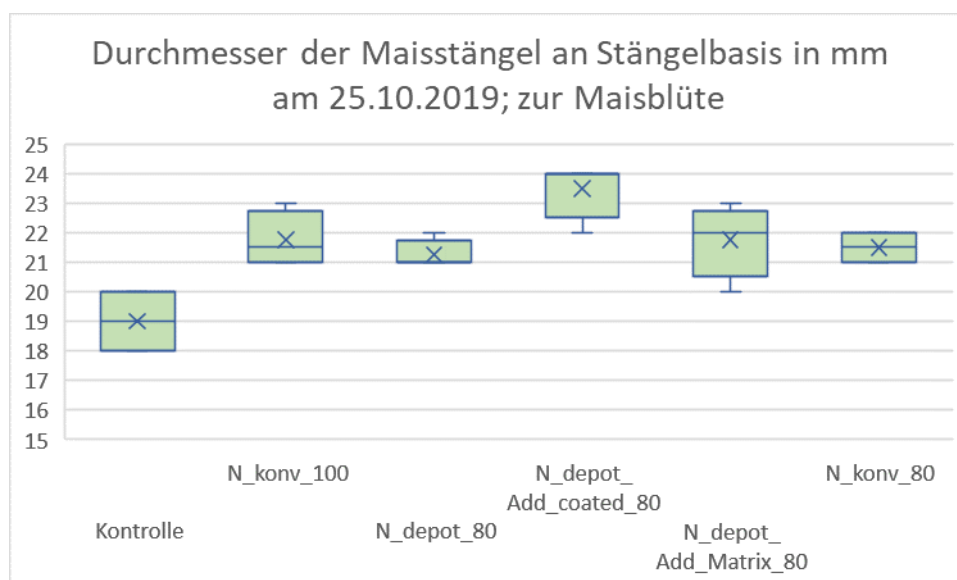
Abbildung: Mittelwerte und Streuung der Parameter Pflanzenhöhe und Entwicklungsstand bei Mais im Gefäßversuch mit sechs bzw. vier Wiederholungen (25.10.) in Abhängigkeit von Düngungshöhe, - Verfahren und dem Zusatz stabilisierender Additive.

Wie die Zusammenstellung der Messergebnisse zeigt, hatte das „Coating“ und die Einbringung der Additive in die Matrix der Düngerkörner gegenüber der Depotdüngung ohne Additive einen positiven Effekt auf die Entwicklung und die Wuchshöhe der Maispflanzen. Mit der verwendeten Menge an Additiv (entsprechend ca. 40-50 kg/ha) wurde das Ammonium offensichtlich nicht so stark absorbiert, dass die Pflanzenverfügbarkeit litt. Die aufwendigere Einbringung des Additivs in die Düngermatrix brachte im Gefäßversuch keine Verbesserung gegenüber dem „Coating“.

Noch etwas deutlicher traten die Vorteile der Additive hervor, wenn man den Stängeldurchmesser zum Zeitpunkt der Maisblüte betrachtet (nachfolgende Abbildung). Er ist in der Zusammenschau mit der Höhe der Pflanze ein guter Indikator für das angelegte Ertragspotenzial. Mit 23 und 22 mm lagen die Depots mit den Additiven und 80 % N Düngung vor allen anderen Behandlungsvarianten. Die tendenziellen Vorteile gegenüber einfachen Depots mit reinem Ammoniumsulfat, die bereits in den Praxisversuchen beobachtet wurden, konnten bestätigt werden.

Die Depotdüngung mit reinem Ammoniumsulfat und reduzierter Düngermenge fiel im Gefäßversuch gegenüber der Depotdüngung mit Additiven und der konventionell- oberflächlich ausgebrachten Düngung zurück. Als Erklärung dafür kann der Umstand gelten, dass gegenüber der Situation im Feldversuch die Depotdüngung im Gefäß nicht zu einem verstärkten Wurzelapparat führt. Eventuell kam es auch zu leicht toxischen Ammoniakkonzentrationen bei tiefer Einbringung des NH_4SO_4 -Depots in das enge Gefäß. Mit den Absorber-Additiven, die das NH_4 an ihren Oberflächen binden können, konnten die negativen Effekte offensichtlich auch in den Gefäßen ins Positive umgekehrt werden.

Im Rahmen des InnovAR Projekts (Programm Interreg V), das sich der Erforschung und Entwicklung innovativer und umweltschonender Pflanzenbauverfahren widmet, führte die LTZ zu diesem Versuch mit den im Supa-B Projekt entwickelten speziellen Depotdüngern auch noch Analysen zur Stabilisierungswirkung der Additive auf das Ammonium und zur Quantität und Qualität der produzierten Biomasse durch. Diese Ergebnisse lagen bei Berichtslegung noch nicht vor.











Einfluss unterschiedlicher Stickstoff-Dünger und von N-Düngeverfahren auf die Maisentwicklung im Gefäßversuch 2019.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Fotos der Maispflanzen in den unterschiedlichen Düngevarianten im Versuch zur Evaluierung der Wirkung von Düngeradditiven zur Stabilisierung der Ammoniumdepots bei gleichzeitiger Sicherstellung der Verfügbarkeit des Stickstoffs für die Maispflanzen.

Fazit: Durch die Agglomeration auf - und /oder durch die Einbringung natürlicher Absorber-Additive in die Matrix der Düngerkörner, konnte die positive Wirkung der Depotdüngung gegenüber konventioneller Düngung und der Depotdüngung ohne Additive nochmals verbessert werden.

Auf den nächsten zwei Seiten finden sich Ansichten vom 16.09.2019; Wachstumsstadium BBCH 32 (Hauptphase der Nährstoffaufnahme) und vom 25.10.2019 zum Zeitpunkt der Maisblüte.

Var.	Beschreibung	Foto 6 Gefäße	Einzelpflanzen
Var 1	keine N-Düngung, P, K Mg optimal		
Var 2	Kontrolle, 100% N; NH4SO4; breit		
Var 3	80 % N, NH4SO4; Depot		
Var 4	80 % N, NH4SO4 +Additiv B6 coated;		





Var 5	80 % N, NH ₄ SO ₄ +Additiv B6 Matrix;		
Var 6	Kontrolle, 80 % N, NH ₄ SO ₄ ; breit		

Abbildung: Maispflanzen in unterschiedlichen Düngevarianten im Gefäßversuch am 16.09.2019


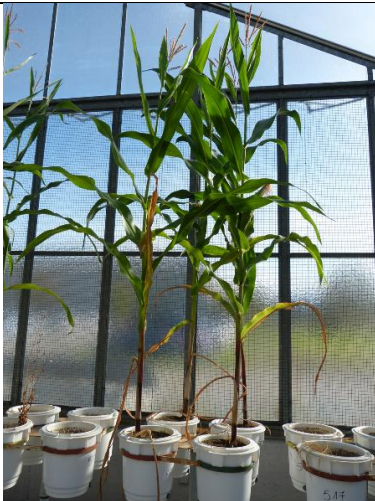

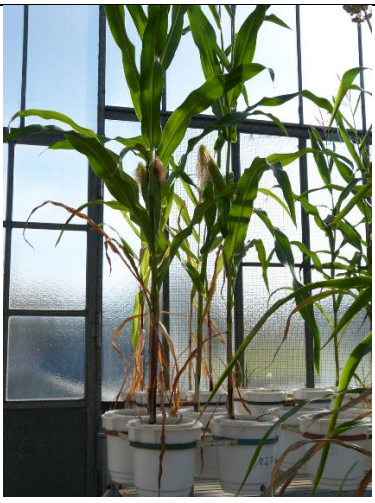
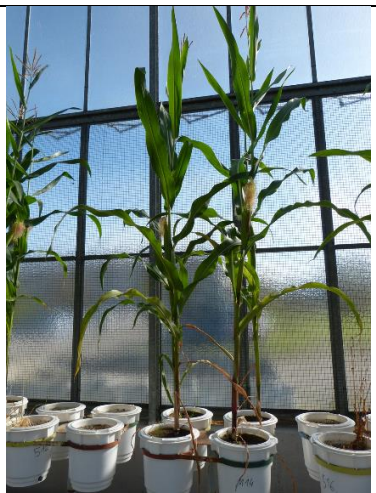
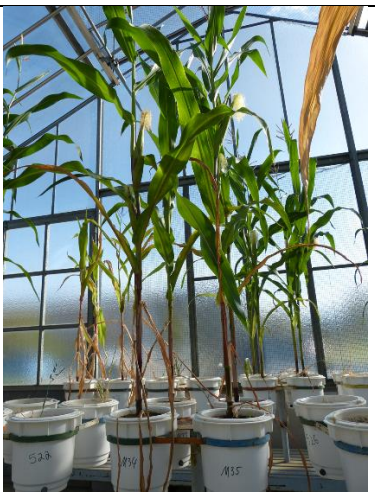
Beschreibung	Einzelpflanzen		
Var1 keine N-Düngung, P, K Mg optimal		Var4 80 % N, NH4SO4 +Additiv B6 coated;	
Var 2 100% N; NH4SO4; breit		Var5 80 % N, NH4SO4 +Additiv B6 Matrix;	
Var 3 80 % N, NH4SO4; Depot		Var6 80 % N, NH4SO4; breit	

Abbildung: Maispflanzen in unterschiedlichen Düngevarianten im Gefäßversuch am 25.10.2019

2.4 Literaturrecherche zur Wirkung und zur biologischen Abbaubarkeit von Stockosorb®

Was ist Stockosorb? STOCKOSORB® ist ein – EG-Düngemittel NK-Dünger (13+5), das als Granulat in den Handel kommt. Das synthetische Polymer quillt bei Kontakt mit Wasser stark auf und kann nach Herstellerangaben in Reinform bis zum 250-300-fachen seines Gewichts an Wasser aufnehmen und auch wieder an die Pflanzen abgeben. Da die synthetischen Absorber-Polymere sehr große Mengen an Wasser reversibel aufnehmen können, werden sie auch als Superabsorber Polymere (SAPs) bezeichnet. Chemisch betrachtet handelt es sich bei Stockosorb um ein quervernetztes Acrylamid/Acrylsäure Copolymer (Kaliumsalz) der Firma Evonic Industries AG. Nach Kontakt mit Wasser oder hoher Luftfeuchte bildet es ein Hydrogel (ähnlich wie in den heute weithin gebräuchlichen Absorberwindeln).

Wird es in den Boden ausgebracht, sind die aufgenommenen Wassermengen geringer (<50 %), es werden aber ebenfalls noch große Mengen an Wasser und darin gelöste Nährstoffe aufgenommen und in der gallertigen Struktur gespeichert. Werden die Granulate in der Wurzelzone von Nutzpflanzen breit ausgebracht oder als Depot im Boden abgelegt wird die Wasserverfügbarkeit im Wurzelbereich verbessert (sofern zusätzliches Wasser festgehalten wird, das ansonsten in den Unterboden versickert wäre). Die Ausnutzung des Wassers (WUE, Water Use Efficiency) kann sich verbessern.

In den gallertigen Strukturen eingelagerte Nährstoffe bleiben für die Pflanzen verfügbar, da sie in dem wasserhaltigen Gel für die Wurzeln gut zugänglich sind (siehe Infobox).

Infobox: Demonstrationsversuch zur Wirkung kombinierter Absorber-Dünger Depots

Ein Depot wurde in einem 10 l Pflanzgefäß in ein Sand-Erde Gemisch in 15 cm Tiefe in randlicher Position zusammen mit der Aussaat des Mais abgelegt.

Es enthielt 6,25 g Alzon 46 (Harnstoffdünger mit Nitrifikationshemmer) und 1,25 g Stockosorb® Granulat. Unter Feldbedingungen würde dies ca. 250 kg N/ha und 100 kg Superabsorber/ha entsprechen.

Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, hatten die Maiswurzeln zum Zeitpunkt der Blüte das gallertige Depot vollständig erschlossen. Die Wurzeln wuchsen auch direkt in das Depot aus Dünger (schon aufgelöst) und Wasserabsorber hinein. Es kam nicht zu phytotoxischen Erscheinungen z.B. durch Ammoniakbildung. Die Maispflanzen waren zu jedem Zeitpunkt gut mit Stickstoff versorgt.



Detail: Absorber-Depot mit Maiswurzel



Was macht Stockosorb? Wenn das Stockosorb Granulat schon im Herbst zur Bodenbearbeitung ausgebracht wird, können sie die absolut verfügbare Wassermenge in fast allen Böden erhöhen, da es in dieser Jahreszeit in der Regel zu Wasserüberschüssen im Boden kommt und alles Wasser, das der Boden nicht mehr aufnehmen kann mitsamt den darin gelösten Nährstoffen ins Grundwasser versickert.

Bei breiter Ausbringung von Stockosorb im Ackerbau sind diese Effekte in Hinblick auf die Verbesserung der Wasserausnutzungseffizienz und den Wasserhaushalt der Pflanzen-Boden Gemeinschaft bei den zulässigen Ausbringungsmengen (150 kg/ha in 10 Jahren bei langsam abbaubaren Polymeren) in absoluten Zahlen relativ gering. Dennoch kann es vor allem in leichten Böden zu Veränderungen führen, die positive Effekte auf das Pflanzenwachstum nach sich ziehen.

Deutlichere Wirkungen lassen sich mit der konzentrierten Anwendung der Superabsorber erzielen (z.B. bei Anwendung im Pflanzloch bei Aufforstungen oder bei der im Projekt getesteten Ausbringung in Depotform). Wird Granulat zusammen mit Dünger als Punkt – oder Schnurdepot im Boden abgelegt, so führt dies zu einer konzentrierten Anreicherung von Wasser und Nährstoffen im Boden. Die Verfügbarkeit für die Pflanze (z. B. von Ammonium-Stickstoff; NH_4^+) kann verbessert werden. Die Nährstoffe bleiben bei zunehmender Austrocknung der Böden im Depot noch etwas länger gelöst. Bei Wasserüberschüssen sind sie im Absorber Gel besser vor Auswaschung und chemischer Umwandlung geschützt.

Das Vermögen der Polymere Wasser einzulagern hängt dabei stark von äußeren Bedingungen wie etwa der chemischen Beschaffenheit des Wassers und der des Bodens ab. Am höchsten ist das Wasserspeichervermögen von Stockosorb bei Zugabe von destilliertem oder ionenfreiem Wasser, wo es leicht das 250 bis 300-fache seines Gewichts an Wasser einlagern kann. In den Boden eingebracht reduziert sich das Speichervermögen des Absorbergranulats zum Beispiel in Sand- und Lössböden auf Werte die beim 80 bis 100-fachen des Eigengewichts liegen¹⁾. Dies entspricht bei Gaben von 50 bis 100 kg/ha in einem Lössboden einer Erhöhung des Wasserspeichervermögens von 0,6 bis 1,2 l pro Quadratmeter oder einem Niederschlagsäquivalent von 0,6-1,2 mm Niederschlag. Praktische Anwendungen in der Landwirtschaft, in Gartenbau und Forstwirtschaft zielen deshalb in der Regel auf die Konzentrierte Anwendung der SAPs im unmittelbaren Pflanz- und Wurzelbereich von Dauerkulturen oder auf die Anwendung in Mischungen mit Düngern und Huminstoffen oder Pflanzerden im unmittelbaren Wurzelbereich von Dauerkulturen oder als Zusatz zu gärtnerischen Anbausubstraten.

Wie verhält sich Stockosorb im Boden (Abbaubarkeit, Unbedenklichkeit)?

Nach einiger Zeit im Boden, setzt bei Stockosorb® der Abbau durch physikalische, chemische und mikrobiologische Prozess ein und führt den Herstellerangaben gemäß zu letztlich harmlosen Verbindungen wie Kaliumsalzen, CO_2 , Wasser und kohlenstoffhaltigen Gerüstsubstanzen die fest in die Bodenmatrix verbaut werden. Bisher liegen keine Hinweise vor, die darauf hindeuten, dass es zur Einlagerung von Rückständen oder kritischen Abbauprodukte in Pflanzen oder in der Bodenfauna kommt. Verlagerungen von Abbauprodukten in das Grundwasser wurden ebenfalls nicht beobachtet (EVONIK, o.J.).

In Untersuchungen zur Biologische Abbaubarkeit synthetischer superabsorbierender Bodenhilfsstoffe fanden Wolter et al. (2002) bei Experimenten zum Abbau kreuzvernetzter Copolymerisate von Acrylamid und Acrylsäure in Böden, die mit Pilzen beimpft waren Abbauraten von bis zu 9% in 22 Wochen. Noch einmal deutlich höher war die Mineralisierung des ^{14}C -Copolymers in Reinkultur von

P. ostreatus auf Weizenstroh (31 % Abbau innerhalb von 28 Wochen). Ohne die Zugabe von Pilzen zum Boden, bei Vorliegen einer originären Bodenmikroflora waren nach 22 Wochen ca. 2 % des Co-Polymers mineralisiert.

Nach Angaben von Oksińska et al. (2016) sind superabsorbierende Polymere vor allem wegen der Vernetzungsstrukturen und wegen ihres hohen Molekulargewichts relativ schwer mikrobiologisch abbaubare Substanzen. Dennoch fanden sie bei Experimenten mit vernetzten Co-Polymeren von Acrylamid und Kaliumacrylat, dass die Substanzen leicht von Mikroorganismen besiedelt werden, welche die Polymere als C-Quelle nutzen. In einem Inkubationsexperiment konnten in einem Zeitraum von 8 Monaten bis zu 31 % der zugegebenen Trockenmasse verstoffwechselt werden. Demgegenüber berichteten Wilske et al. (2014) bei Experimenten mit einem anderen superabsorbierendem Polyacrylat von sehr niedrigen Abbauraten von unter einem Prozent in 6 Monaten in landwirtschaftlich genutzten Böden.

Da die unterschiedlichen Angaben zur Abbaubarkeit in der Fachliteratur stark schwanken muss genau darauf geachtet werden welche Absorber und Polymere in den Experimenten verwendet wurden. Überdies existieren nach Angaben der Bundesregierung (siehe unten) noch keine einheitlichen Standardmethoden zur Beurteilung und Einstufung des Abbauverhaltens, wodurch ein Teil der beobachteten, teils erheblichen Abweichungen erklärt werden kann.

Eine ausführliche Darstellung zum Abbau- und Umweltverhalten von synthetischem, quervernetztem Acrylamid/Acrylsäure Copolymer findet sich im Anhang dieses Berichts.

Rechtliche Einordnung und Beurteilung

Synthetische Polymere, wie zum Beispiel Stockosorb® sind in der Düngemittelverordnung (DüMV) welche die Zulassung und Anwendung von Düngern und Hilfsstoffen in der pflanzlichen Produktion regelt als Hilfsstoff eingestuft.

Traditionell werden synthetische Polymere in Deutschland vor allem eingesetzt, um Klärschlämme und flüssige Gärprodukte zu entwässern und aufzubereiten, um sie anschließend als Düngemittel einer stofflichen Verwertung zuzuführen.

Kommen sie, wie im Falle der Nutzung von Stockosorb® als reiner Hilfsstoff direkt im Ackerbau zur Anwendung, so sind einige Vorschriften zu beachten.

Nach den Vorgaben der Düngemittelverordnung (DüMV) und nach der zweiten Verordnung zur Änderung der Düngemittelverordnung vom 9.2.2017 (Drucksache Bundesrat 128/17), welche die Grundlage für die Anwendung von Düngemitteln und Bodenhilfsstoffen wie z. B. Stockosorb ist, gilt für diese Stoffe eine Hinweispflicht mit nachfolgendem Inhalt :-„Dieses Produkt enthält synthetische Polymere. Stoffe nach § 2 Nummer 1 und 6 bis 8 des Düngegesetzes, die synthetische Polymere enthalten, dürfen auf derselben Fläche nur so angewendet werden, dass die hierbei aufgebrachte Menge an synthetischen Polymeren 150 kg Wirksubstanz je Hektar innerhalb von 10 Jahren nicht überschreitet.“

Weiter heisst es in der Änderungsverordnung, in der die neuen Anforderungen an die Verwendbarkeit von Polymeren im Anwendungsbereich des Düngemittelrechts festgelegt sind:

„Die Verwendung von synthetischen Polymeren lässt aus toxikologischer und ökotoxikologischer Sicht nach gegenwärtigem Kenntnisstand keine unvermeidbaren Risiken erwarten. Im Hinblick auf mögliche schädliche Bodenveränderungen gibt es nach gegenwärtigem Kenntnisstand keine Hinweise. Letztlich lassen diese sich aber auch nicht mit Sicherheit ausschließen. Zwischenergebnisse aus industrie-eigenen Studien weisen bei den zur Konditionierung von Klärschlämmen verwendeten synthetischen Polymeren darauf hin, dass sich diese Stoffe zwar nicht im Sinne einer vollständigen

Mineralisierung abbauen, aber dass sich deren Abbauprodukte irreversibel – und nach derzeitigem Kenntnisstand in nicht schädlicher Weise – in der Bodenmatrix einlagern. Zudem weisen diese Ergebnisse auch darauf hin, dass unter Freilandbedingungen ein Abbau erreicht werden könnte, der die nach geltendem Recht spätestens ab 1. Januar 2017 maßgeblichen Vorgaben der Düngemittelverordnung erfüllt.“ (Anmerkung: Abbaubarkeit von 20 % in 2 Jahren). „

Weiter heisst es: „Eine von Seiten des BMEL geförderte Studie, die der Entwicklung einer Nachweismethode zum Abbau synthetischer Polymere diene, lieferte im Labormaßstab diesen Hinweis allerdings nicht. Es besteht also noch Unsicherheit darüber, ob die neuen Erkenntnisse zur Abbaubarkeit auf alle einschlägigen Produkte übertragbar sind..... Mit Blick auf die weitere Verwendbarkeit von synthetischen Polymeren soll unter Berücksichtigung künftig zu erwartender wissenschaftlicher Erkenntnisse eine Evaluierung der Regelungen für diese Stoffgruppe nach neuestem Kenntnisstand bis zum 31.12.2019 erfolgen. Es sollen insbesondere offene Fragen zur Abbaubarkeit dieser Stoffe geklärt werden.“

Anmerkung: Im Rahmen der Beantwortung einer kleinen Anfrage von Abgeordneten an die Bundesregierung verwies die Bundesregierung jüngst darauf, dass „ Im Anwendungsbereich des Düngemittelrechts... die Verantwortung dafür, dass die düngerechtlich relevanten Stoffe bei sachgerechter Anwendung die Gesundheit von Menschen und Tieren nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden und die übrigen düngemittelrechtlich vorgeschriebenen Anforderungen an das Inverkehrbringen erfüllen, grundsätzlich beim Inverkehrbringer liegen. Es wurden vom Bund auch keinen eigenen Untersuchungen zu diesen Stoffen in Auftrag gegeben (Deutscher Bundestag, Drucksache 19/18446 vom 31.03.2020).

In der Antwort wird auch darauf verwiesen, dass am 24. Oktober 2019 auf Einladung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen der Evaluierung nach § 9a DüMV ein Fachgespräch „Synthetische Polymere im Anwendungsbereich des Düngemittelrechts“ stattgefunden hat und dass sich dabei keine grundlegend neuen Aspekte ergeben haben, die eine Änderung der aktuellen Regelungen erfordert.

Weiter heißt es in der Antwort zu dieser Anfrage bezüglich möglicher ökotoxikologischer und humantoxikologischer Wirkungen: „Polymere sind unter der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) gemäß Artikel 2 Nummer 9 von den Titeln II (Registrierung) und VI (Bewertung) ausgenommen. Daher liegen für Polymere im Vergleich zu anderen Stoffen nur begrenzt öko- und humantoxikologische Daten vor. Bisherige ökotoxikologische Untersuchungen mit den strukturell zu Polyacrylaten verwandten Polyacrylamiden (Testorganismen: Regenwurm, Daphnien, Lumineszenz und Ammonium Oxidation) ergaben keine Hinweise auf Effekte. Für anionische Polyacrylamide liegen Daten vor, die auf eine geringe aquatische Toxizität hinweisen (Testorganismen: Fische, Invertebraten, Pflanzen und Algen). ...Das im Rahmen des Umweltforschungsplans des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit vergebenen Forschungsvorhabens „Plastik in Böden – Vorkommen, Quellen und Wirkungen“ (FKZ: 3717 72 2320) sollte erste Ergebnisse über ökotoxikologische Wirkungen von ausgewählten Kunststoffen bis Ende 2020 erwarten lassen.

Der Wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen bringt in der Verordnung (2017) seinen Willen zum Ausdruck, dass er -ungeachtet der aktuellen unbedenklichen Einstufung der synthetischen Polymere- gerne deren Ersatz durch eine neue Generation von (*Wasser-*)¹⁾ Absorbentien sehen würde, die auf der Verwendung von Chitin und Stärke basieren. So wird die „Schaffung eines Anreizsystems vorgeschlagen, das die Anwendung alternativer Polymere oder die Verbesserung der Abbaubarkeit synthetischer Polymere fördern soll. Aus Sicht der Bundesregierung sollte daher der Anreiz zur Entwicklung synthetischer Polymere, die sich um mindestens 20 % in zwei Jahren abbauen, aufrechterhalten werden. Zu diesem Zweck sollen die oben beschriebenen Kennzeichnungspflichten

und die damit zusammenhängenden Anwendungsvorgaben im Falle einer hinreichenden Abbaubarkeit nicht gelten.“

1) Anmerkung der Autoren

Kennzeichnungs- und Anwendungsvorgaben ab 2019

Ab 01.01.2019 müssen synthetische Polymere, die zur Steuerung des Wassergehaltes eingesetzt werden, zusätzlich gekennzeichnet werden. Die Anwendungsvorgabe umfasst, dass die aufgebrachte Menge an synthetischen Polymeren 45 kg Wirksubstanz je Hektar innerhalb von drei Jahren nicht überschreiten darf. Kennzeichnungsvorgaben gelten nicht im Falle synthetischer Polymere, die sich um mindestens 20 Prozent in zwei Jahren abbauen.

Nach Herstellerangaben (Evonik, 2005) kann bei Stockosorb® unter Feldbedingungen in biologisch aktiven Böden bei kontinuierlicher Aktivität mit mittleren Abbauraten von 10 % pro Jahr gerechnet werden (biologische Halbwertszeit von 8 Jahren). Damit werden die geforderten Abbauraten eingehalten. Von einer hohen Streubreite um diesen mittleren Abbauwert in unterschiedlichen Milieus und Böden muss nach den unterschiedlichen Forschungsergebnissen hierzu ausgegangen werden.

3. Öffentlichkeitsarbeit

Für die Öffentlichkeitsarbeit und Sichtbarkeit des Projekts wurden diverse Aktivitäten realisiert

Erstellung und Ausgabe eines Projektflyer (2017)

In dem Projekt SupA-B erprobt die Firma eK-Management in Zusammenarbeit mit Landwirten, dem Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald, Cult-tec und der LTZ Karlsruhe den Bodenhilfsstoff Stockosorb (GeleeVital), sowie Zeolith und Biokohle.

Dabei handelt es sich um sogenannte Superabsorber oder Bodenhilfsstoffe, die bis zum 300-fachen ihres Eigengewichts an Wasser – und damit auch die darin gelösten Nährstoffe speichern können. So wird bei Regen weniger Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen und das Wasser steht Pflanzen in Trockenzeiten zur Verfügung.

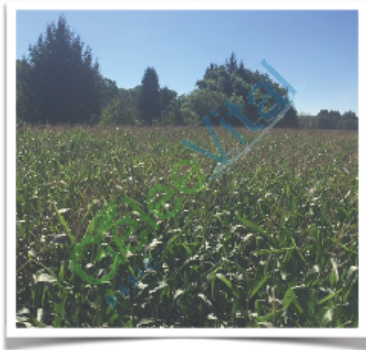
In anderen Ländern werden diese Bodenhilfsstoffe bereits erfolgreich eingesetzt, in Deutschland bisher nur selten. Am Oberrhein sind sie noch unerprobt, aber wegen der wasserdurchlässigen Kies- und Sandböden besonders relevant.

Der Klimawandel stellt auch die heimische Landwirtschaft vor Herausforderungen. Einerseits gibt es immer mehr und heftigere Starkregen, wobei vermehrt Nitratdünger ins Grundwasser ausgewaschen wird. Gleichzeitig werden die Sommer trockener und heißer, so dass die Landwirte die Felder immer häufiger beregnen müssen und dabei auf Grundwasserreserven zurückgreifen.

Die Landwirte die keine Möglichkeit zur Bewässerung haben kämpfen mit Ernteausfällen sogar bis zum Total-Ausfall.



SupA-B Projekt
 Effiziente Wasser- und Nährstoffspeicherung
 2017 - 2020



Geleert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz

badenova
Energie. Tag für Tag

Bericht zum Projekt in der Badischen Bauernzeitung, Frühjahr 2017

Testlauf für den Superabsorber

Feldversuch in Hausen an der Möhlin mit Granulat, das Wasser und Dünger speichern soll

Von Gabriele Hennicke

EHRENKIRCHEN/BAD KROZINGEN. Es ist ein Feldversuch im wahren Sinne des Wortes: Auf einem Acker in Hausen an der Möhlin wird ein neues Düngerverfahren getestet. Dabei wird zusätzlich zum Dünger ein Granulat in den Boden gelegt, das Wasser speichern kann. Die Kürbisse, die hier wachsen, können das Dünger-Wasser-Depot dann direkt anzapfen. Und – so die Idee – es wird weniger Nitrat aus dem Dünger ausgewaschen.

Das Granulat stammt ursprünglich aus der Windindustrie. Mit dem Einsatz dieses Superabsorbers beim Mais- und Kürbisbau soll das Auswaschen des Nitrats im Dünger verringert und dessen Effizienz erhöht werden. Ob der Absorber praxistauglich und wirtschaftlich ist, soll ein vom Innovationsfonds des Energieversorgers Badenova mit 160 000 Euro gefördertes Projekt zeigen. Mit im Boot bei diesem auf drei Jahre angelegten Versuch sind der Fachbereich Landwirtschaft des Landratsamts, das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg und verschiedene Landwirte. Die testen gerade mit weiteren Partnern, darunter auch ein französisches Forschungsinstitut, die Injektion von Stickstoffdünger in Depotform und vergleichen sie mit herkömmlichen Düngemethoden. Die anstehenden Versuche mit dem Superabsorber werden deshalb in dieses Projekt integriert.

Auf dem Hausener Acker, einer Fläche des Feldkircher Bohrerhofs, findet der erste Feldversuch statt. Hier sollen Kürbisse wachsen. Mit Scheiben schneidet ein Düngerstreuer den Boden auf und platziert mit einem Injektionsmesser Stickstoffdünger in 20 Zentimetern Tiefe. „Es geht darum, durch die präzise Platzierung von stabilen Stickstoffdünger-Depots die bedarfsgerechte Ernährung von Kürbis und Mais sicherzustellen und Verluste durch Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser und die Abgasung von Ammoniak in die Luft zu vermeiden“, sagt Jürgen Maier vom Landwirtschaftsamt, der die Versuche koordiniert.

„Gelee vitale“, nennt Klaus Ernst, Inhaber des in Ehrenstetten ansässigen Un-

Klaus Ernst (links) und Jürgen Maier begutachten das tief im Boden eingebrachte Düngerband samt Granulat.

FOTO: GABRIELE HENNICKE

ternehmens EK-Management das Granulat. Ursprünglich für die Windindustrie entwickelt, wird es vor allen Dingen in südlichen Ländern eingesetzt. „Trockenheit wird auch bei uns zu einem immer größeren Problem, die letzten Jahre haben es uns doch gezeigt“, sagt Ernst. Mit dem Superabsorber, der das 300-fache seines Gewichts aufnehmen können soll, kann Wasser im Boden gespeichert werden, so dass es den Pflanzen verfügbar ist. Vier bis fünf Jahre lang soll ihnen nach jedem Regen viel mehr Wasser im Boden zur Verfügung stehen. Der Clou sei, dass auch der gelöste Dünger im Granulat gespeichert wird und so Nitrat und Ammonium im Grundwasser erheblich reduziert oder gar verhindert werden sollen.

Wie das Granulat funktioniert, führt Ernst vor. Im Kofferraum seines Autos hat er die weißen Körner, Wasser und Flüssigdünger dabei. Je nach Bedarf gibt es unterschiedliche Korngrößen. Ernst gießt einmal Wasser, einmal Flüssigdünger auf das Granulat. Innerhalb kurzer Zeit haben die Körner die Flüssigkeit komplett aufgenommen. „Ich beschäftige mich seit über zwei Jahren mit dem Granulat, das unter dem Namen Stockosorb auf dem Markt ist und eine EU-Zulassung als Düngemittel hat. Ich habe schon 2016 zusammen mit dem Bohrerhof Versuche unternommen und das Landwirtschaftsamt ins Boot geholt“, sagt Ernst. Jetzt gehe es darum, den wissenschaftlichen Nutzen des Einsatzes in Deutschland zu beweisen. Für den Experten vom Landwirtschaftsamt ist Depotdüngung die Zukunft. „Wir testen Depotdünger im Mais-, Kürbis- und Energiehirseanbau an unterschiedlichen Standorten und mit drei verschiedenen Additiven“, sagt Maier, „mit Superabsorber, mit Biokohle und mit Tonmineralien.“

Drei Jahre würde das Nitrat sechs Mal der Düngung bis nach der Ernte gesenkt, die Ergebnisse analysiert und ausgewertet, „und dann sehen wir weiter“.

Ernst ist stolz darauf, dass es ihm gelungen ist, so viele Akteure zusammen zu bekommen. „Unsere Erfahrungen zeigen, dass auch zehn bis dreißig Prozent weniger Dünger eingesetzt werden muss. Zudem helfe es auch bei zu viel Regen, weil es das Wasser bindet und für eine homogene Feuchte im Boden sorgt. Auch Hobbygärtner könnten mit dem Granulat Dünger, Zeit und Wasser sparen.“

Superabsorber scheint sich zu bewähren

Erste Ergebnisse beim Einsatz eines wasserspeichernden Granulats in der Landwirtschaft

Von Louis Groß

BREISGAU-HOCHSCHWARZWALD. Im Projekt Sup-A-B wird getestet, ob mit aus der Windeltechnologie bekannten Superabsorbent die Speicherkapazität für Wasser und Nährstoffe im Boden erhöht werden kann. So sollen Pflanzen besser vor Trockenheit geschützt und die Auswaschung von in Düngemitteln enthaltenen Nitraten ins Grundwasser reduziert werden. Gefördert wird das Projekt vom Innovationsfonds des Energieversorgers Badenova. Erste Ergebnisse liegen nun vor.

Die Maispflanzen auf den Feldern sind längst über Augenhöhe hinausgewachsen, selbst wenn die Kolben ihre goldgelbe Farbe noch vermissen lassen. Acker wie diese in den Hausener Dornsmatten,



So sieht es aus, wenn das Granulat Wasser und Dünger absorbiert hat.

aber auch weitere in Neuenburg und Lehen sind Teil des Projekts Sup-A-B, das dazu beitragen soll, den Pflanzenertrag und damit das Einkommen von Landwirten besser zu sichern und gleichzeitig das Grundwasser zu schützen.

Projektleiter Klaus Ernst erklärt, was dahinter steckt: Ein Granulat, das ursprünglich für die Windelindustrie entwickelt wurde, soll Pflanzen einen Wasserspeicher im Boden bieten. Ähnlich wie ein Schwamm sei der sogenannte Superabsorber in der Lage, Wasser und die darin enthaltenen Nährstoffe aufzusaugen – und zwar bis zur 300-fachen Menge des Eigengewichts. Vermengt mit der Erde im Boden würde diese vor Austrocknung geschützt, und die Pflanzen könnten länger auf Wasser und Nährstoffe zugreifen.

Ernst zufolge ist der Superabsorber biologisch abbaubar und ökologisch unbedenklich. Erst nach vier bis fünf Jahren lasse die Saugfähigkeit nach. Mit seinem Unternehmen EK-Management in Ehrenstetten vertreibt Ernst den Superabsorber Stockosorb unter dem Namen „Celee Vital“. Unterstützt wird das Projekt vom Badenova-Innovationsfonds für Klima und Wasserschutz, der mit 160 000 Euro etwa die Hälfte der Projektgesamtkosten trägt.

Ein weiteres Ziel sei zu überprüfen, wie Düngemittel effizienter und somit weniger umweltbelastend verwendet werden können. „In der Landwirtschaft wer-

den Nitrate als Dünger eingesetzt, denn sie sind ein Hauptnährstoff und entscheidend für das Pflanzenwachstum“, erklärt Jürgen Maier aus dem Fachbereich Landwirtschaft des Landratsamts Breisgau-Hochschwarzwald. Nitrat sollte nicht ins Grundwasser gelangen, da eine zu hohe Belastung schädlich sein könne. Maier hofft, dass durch den Superabsorber die Auswaschung reduziert werden kann, besonders bei wasserdurchlässigen Kies- und Sandböden wie in der Rheinebene.

Kürzlich hat der Europäische Gerichtshof Deutschland verurteilt, weil die Bundesregierung zu wenig gegen die Nitratbelastung im Grundwasser unternommen habe. „Tendenzen zeigen auch hier eine steigende Nitratbelastung, trotz der Bemühungen in den letzten Jahren, weniger zu düngen“, sagt Frank Bartmann, Betriebsleiter der Trinkwasserversorgung bei der Badenova-Tochter BN-Netze. Vor allem in trockenen Jahren gehe die Nitratbelastung deutlich nach oben. Je weiter die Messungen von der Möhlin entfernt seien, desto höher werde die Nitratbelastung. „Keiner der Brunnen übersteigt jedoch die gesetzlich festgelegten Trinkwasserwerte“, sagt Bartmann.

In Kombination mit dem Superabsorber würde bei dem Projekt zudem auch die konventionelle, breitflächige Düngestreue gegenüber der effizienteren Depotdüngung getestet. Durch die Depotdüngung könnten in einer Versuchsreihe mit Mais im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren bis zu 20 Prozent Stickstoffdünger eingespart werden. Weitere



Klaus Ernst (links) und Jürgen Maier prüfen die Feuchtigkeit im Boden eines Maisfeldes.

FOTOS: LOUIS GROSS

Versuche sollen zeigen, ob mit dem Zusatz des Superabsorbers oder mit Ton oder Kohle im Düngedepot auf noch mehr Düngemittel verzichtet werden könnte. „Wir wollen die maximalen Effekte für die Umwelt herausholen“, sagt Maier.

Die ersten Testergebnisse versprechen einen Erfolg. „Bei Hirse und Kürbissen konnte im letzten Jahr in einer Kultur mit Verwendung des Granulats bis zu 17 Prozent mehr Ganzpflanzenertrag gemessen werden“, berichtet Ernst. Das Ziel sei, über einen Zeitraum von drei Jahren die Granulatmenge im Boden zu erhöhen. Abschließend bewertet werden könne das Projekt jedoch erst am Ende – in der Landwirtschaft sei „ein Jahr kein Jahr“.

INFO

SUPERABSORBER

Superabsorber sind Kunststoffe, die ein Vielfaches ihres Eigengewichts an Flüssigkeiten wie Wasser aufsaugen können. Dabei quillt das Material auf und bildet eine Art Gel. Superabsorber setzen sich in der Regel aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammen. In OECD-Tests wurde nachgewiesen, dass das unter dem Namen „Stockosorb“ laufende Granulat nicht toxisch für Pflanzen, Bodenorganismen oder das Grundwasser ist.

lgr

Messestand des Projekts auf der Regio Agrar Baden in Freiburg i. Br. 19-21. März 2019,



Messestand mit einer Injektionseinheit des Präzisionsinjektionsgerätes der Fa. RAUCH für feste Dünger.

Messestand des Projekts auf der Regio Agrar Baden in Freiburg i. Br. 19-21. März 2019,



Messestand des Projekts auf der Regio Agrar Baden in Freiburg i. Br. 19-21. März 2019,



4. Zusammenfassung /Abstract

Im Supa B Projekt wurde in dreijährigen Feldversuchen geprüft, ob synthetische und biogene Superabsorber geeignet sind, Wasser und Nährstoffe im Boden zusätzlich zu speichern, mit dem Ziel, Nährstoffverluste zu vermindern und Erträge zu sichern bzw. zu steigern.

Der synthetische Superabsorber Stockosorb wurde mit ganzflächiger und platzierter Applikation (Depot) in Praxisversuchen auf mehreren Feldern geprüft. Weitere natürliche Superabsorber wurden als Additive in platzierten Düngerdepots ebenso getestet.

Die flächige Ausbringung von Stockosorb führte auf ertragsschwachen, d.h. durchlässigen Böden zu leichten Ertragssteigerungen, die allerdings nicht rentabel waren. Sie waren vermutlich auf eine bessere Speicherung von Nitrat im durchwurzelten Boden zurückzuführen.

Auf einem ertragsstarken, tiefgründigen Standort mit Mais wurden in drei Versuchsjahren keine Ertragseffekte oder eine erhöhte Speicherung von Nitrat im Boden festgestellt.

Die hygroskopischen Eigenschaften von Stockosorb stellen hohe Anforderungen an die Ausbringungstechnik und erfordern trockene Wetterbedingungen bei der Ausbringung.

Der Einsatz von Stockosorb als Additiv in platzierten Stickstoffdüngerdepots erwies sich in allen Versuchen als ertragssteigernde Maßnahme. Seine hygroskopischen Eigenschaften stellen hohe Anforderungen an die Mischung mit dem Dünger und an die Applikationstechnik.

Sein Preis reduziert im Vergleich zu den natürlichen, biogenen Additiven deutlich die Rentabilität der erzielten Ertragszuwächse.

Die verwendeten natürlichen mineralischen und organischen Superabsorber als Additiv im Düngerdepot führten auf dem untersuchten durchlässigen Standort zu folgenden Ergebnissen:

- Deutliche Ertragssteigerung bzw -stabilisierung. Synthetische Superabsorber demnach am ehesten sinnvoll bei konzentrierter Anwendung in Sonderkulturen in Verbindung mit Düngung, Bewässerung und/oder Trockenstress.
- Agglomeration mit N-Dünger bei den mineralischen und biogenen natürlichen Absorbieren war gut möglich.
- Natürliche Additive können rentabel eingesetzt werden, verbesserten die Düngereffizienz und verringern die Gefährdung des Grundwasserkörpers.

Die getesteten synthetischen und biogenen Superabsorber können umweltverträglich eingesetzt werden.

5 Fazit mit Ausblick

Der Einsatz von synthetischen und biogenen Superabsorbentien kann auf leichteren, durchlässigen Böden zur Steigerung der Erträge und der Speicherkapazität von Nährstoffen führen.

Der Einsatz von Stockosorb war auf den geprüften Standorten nicht rentabel.

Synthetische Superabsorbentien demnach am ehesten sinnvoll bei konzentrierter Anwendung in Sonderkulturen in Verbindung mit Düngung, Bewässerung und/oder Trockenstress.

Die Verwendung von mineralischen und biogenen Superabsorbentien als Additive in platzierten Düngerdepots erhöht bei Körnermais die Rentabilität des Anbaues. Sie können vermutlich auch breit ausgebracht erfolgreich eingesetzt werden.

Der Anwendung von biogenen Additiven in platzierten Stickstoffdüngern erscheint eine zukunftssträchtige Lösung zur Steigerung der Umweltverträglichkeit und der Rentabilität der Stickstoffdüngung. Geeignete Rezepturen und Verfahren zur Agglomeration sollten weiter erforscht und evaluiert werden.

Anlage zum Abschlussbericht:
Literaturrecherche zur Umweltbewertung von Stockosorb® und den
verwendeten natürlichen Additiven

Bericht zu dem als Bodenhilfsstoff
eingesetzten Acrylamid- Acrylsäure
Copolymer Stockosorb[®].

Dominik Holland, Dr. Karl Müller-Sämman, cult-tec Agrolutions UG

cult-tec Agrolutions UG

Freiburg, den 26.03.2020

Inhalt

Einleitung	73
Fragestellung	73
Stand des Wissens	74
Voraussetzungen des Inverkehrbringens der Bodenhilfsstoffe	74
Wasserlöslich vs. nicht wasserlöslich	74
Acrylamid	74
Polyacrylamid	75
Quervernetzte Acrylamid/ Acrylsäure Copolymere	77
Weitere getestete Additive zur Verbesserung der Stabilität und Effizienz von präzise applizierten Düngedepots	79
Zeolith	79
Biokohle	82
Zusammenfassung und Fazit	83
Konsultierte Literatur	84

Einleitung

Die Landwirtschaft am Oberrhein sieht sich immer mehr Herausforderungen gegenübergestellt. Zwei wesentliche Herausforderungen sind zum einen der Einfluss des Klimawandels, der sich unter anderem in Form von häufigerer Sommertrockenheit und damit einhergehendem Wasserstress zeigt, zum anderen die Auswaschung von Nährstoffen und speziell Nitrat durch Starkregenereignisse und vermehrte Winterniederschläge, welches sich dann im Grundwasser wiederfindet und die Wasserversorger vor Probleme stellt (Parlow et al., 2005).

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden im Rahmen des Projekts „Supa B“ des Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG Untersuchungen zum Einsatz von „Stockosorb“[®] gemacht. Dabei handelt es sich um ein quervernetztes Acrylamid/Acrylsäure Copolymer (Kaliumsalz) der Firma Evonic Industries AG. Der als Granulat auszubringende Bodenhilfsstoff der als superabsorbierendes organisches Polymer über lange Zeit ein vielfaches seines Gewichts an Wasser und darin gelöste Nährstoffe aufnehmen und wieder abgeben kann, verbessert laut Firmenangaben die nutzbare Wasserkapazität des Bodens und schützt die im Absorbergel gelösten Nährstoffe vor Auswaschung. Damit hilft das gelartig aufquellende Polymer die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen zu sichern (www.creasorb.com).

Der Einsatz des Copolymers als Bodenhilfsstoff hat demnach das Potenzial einen Beitrag zur Lösung der beiden eingangs genannten Probleme des Pflanzenbaus zu leisten. Wasser wird im Wurzelraum gehalten und fördert so zum einen das Pflanzenwachstum und verhindert zum anderen eine Auswaschung von Nährstoffen, speziell Nitrat, in das Grundwasser.

Fragestellung

Vor einem möglichen großflächigen Einsatz des Absorbers muss zweifelsfrei geklärt werden, ob der Einsatz des Bodenhilfsstoffs ökologisch unbedenklich ist oder ob durch seinen Einsatz unter Umständen auch neue Probleme geschaffen werden. Es ist zu fragen, ob ausgeschlossen werden kann, dass sich die Metaboliten oder etwaige Produktionsrückstände schädlich auf die Umwelt auswirken?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden eine Reihe bereits durchgeführter Studien und Veröffentlichungen herangezogen und im Hinblick auf diese Fragestellung ausgewertet.

Zu beachten ist hierbei, dass in der konsultierten Literatur nicht explizit das Verhalten des Handelsproduktes (Stockosorb[®]) untersucht und beschrieben wird, sondern das Verhalten verschiedener Acrylamid basierter Polymere, die aufgrund ihrer variablen Strukturen mehr oder weniger wasserlösliche Anteile enthalten. Die untersuchten Acrylamid-/ Acrylsäure- Copolymere

entsprechen in ihrer Struktur und in ihrem Verhalten jedoch grundsätzlich dem Handelsprodukt Stockosorb, das in diesem Projekt betrachtet wird.

Stand des Wissens

Voraussetzungen des Inverkehrbringens der Bodenhilfsstoffe

Die untersuchten Stoffe „Stockosorb“, Pflanzenkohle und Zeolith dürfen als Bodenhilfsstoffe dann in den Verkehr gebracht werden, wenn sie nach §4.1 bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden und die gesetzlichen Grenzwerte einhalten. Dasselbe gilt auch für die zur Herstellung benötigten Stoffe, welche „einen pflanzenbaulichen, produktions- und anwendungstechnischen Nutzen haben, oder dem Bodenschutz sowie der Erhaltung und Förderung der Fruchtbarkeit des Bodens dienen“. Außerdem dürfen die nach Anlage 2 Tabelle 1 Zeile 4-10 Spalte 4 geltenden Grenzwerte für Schwermetalle und andere schädliche Stoffe nicht überschritten werden (DüMV, 2012).

Wasserlöslich vs. nicht wasserlöslich

Eine ausführliche Dokumentation zu diesen Stoffen die von Wolter et al. (2002) vorgelegt wurde, stützt sich zu großen Teilen auf Studien von Kay-Shoemake et al. (2002), Green et al. (2000) und Seybold et al. (2002), die sich hauptsächlich mit dem wasserlöslichen Polyacrylamid (PAM) beschäftigten.

Polyacrylamid ist zwar verwandt mit den sogenannten Superabsorbent, es ist in seiner Molekülstruktur aber nicht vernetzt. Daher rührt die Wasserlöslichkeit. Im Boden tritt es aufgrund seines anionischen Charakters in komplexe elektrostatische Wechselwirkungen mit Bodenaggregaten und über Kationenbrücken interagiert das Molekül hauptsächlich mit der Bodenfraktion und wird dort irreversibel gebunden.

Im Gegensatz zu Polyacrylamid sind die sogenannten Superabsorber, wozu auch Stockosorb gehört, stark quervernetzt und daher nicht wasserlöslich. Sie bestehen aus Acrylamid/Acrylsäure Copolymeren (AAC). Auch diese vernetzten Copolymere gehen Verbindungen mit den Bodenaggregaten ein (Wolter et al., 2002).

Acrylamid

Beiden Polymeren ist gemeinsam, dass sie auf dem Grundstoff **Acrylamid** basieren, das laut Barvenik (1994), Seybold (1994), Smith und Oehme (1991) (zit. in Wolter et al. 2002) in hohen Konzentrationen potentiell karzinogen und neurotoxisch sein kann.

Allerdings beträgt der technisch bedingte Restgehalt nach der Synthese von PAM und AAC in der Regel weniger als 0,1% (Weindel & Sontheimer 1971, zitiert von Wolter et al., 2002). Im technischen Datenblatt zu Stockosorb 500[®] werden Gehalte von weniger als 0,0025 % (25 mg Acrylamid/kg Stockosorb) angegeben (EVONIK, 2015). Nach Seybold et al. 1994 ist es bei geringen Anteilen von < 0,5% nicht umweltgefährdend, obwohl es wasserlöslich ist und theoretisch die Gefahr bestünde, dass es ins Grundwasser verlagert wird.

In mehreren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass freies Acrylamid leicht biologisch abbaubar ist und nicht im Boden akkumuliert (Seybold, 1994 in Wolter et al. 2002) da es sehr schnell von Mikroorganismen abgebaut wird, die das Acrylamid als Stickstoffquelle nutzen. Als Rest- und Endprodukt bleibt bei diesem Prozess nur ein Kohlenstoffgerüst, das fest in die Bodensubstanz eingebaut oder weiter zu CO₂ und Wasser abgebaut wird (Sojka et al. 2007). Shanker et al. (zitiert in Sojka et al. 2007), geben die Halbwertszeit von freiem Acrylamid im Boden mit 20 – 48 Stunden an.

Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Lande et al. (1979), zitiert in Entry et al. (2002). Sie hatten 25 mg PAM auf ein Kilogramm Boden ausgebracht und konnten nachweisen, dass die darin produktionsbedingt enthaltene Restmenge Acrylamid schon nach kurzer Zeit nahezu vollständig abgebaut war. Barvenik (1994) zitiert von Wolter et al. (2002) berichtet von Untersuchungen, wo dies nach spätestens 20 Tagen der Fall war. In Untersuchungen von Lande et al. (1979) brauchte es für den Abbau nur 5 Tage. Der Abbauweg geht über Propionamid und einem darauffolgenden Hydrolyseschritt zu Propionsäure und weiter zu den finalen Abbauprodukten CO₂, NH₃ und H₂O (Wallace et al. 1986, zitiert von Entry et al. 2002). Daher besteht nach Metcalf et al. (1973) und Neely et al. (1974), (zitiert von Sojka et al. 2007) auch keine Gefahr einer Bioakkumulation des Acrylamids in der Nahrungskette, zumal es auch in unvernetzter, freier Form kaum in Pflanzengewebe aufgenommen wird und selbst bei direkter Injektion des Acrylamids in die Pflanze wird es schnell metabolisiert (Bologna et al. 1999 zit. in Entry et al. 2002).

Polyacrylamid

Wie bereits erwähnt ist **Polyacrylamid** eng verwandt mit den Superabsorbentpolymeren, aber in seiner Struktur nicht vernetzt und daher wasserlöslich (Kay-Shoemaker et al. 1998, zitiert von Wolter et al. 2002). Es wird seit den 1950er Jahren intensiv wissenschaftlich in seiner Wirksamkeit auf verschiedene Bodeneigenschaften bearbeitet. Positive Effekte auf Bodenstruktur, Wasserinfiltration, Bodendurchlässigkeit und den damit zusammenhängenden Phänomenen wie Verschlammung, Erosion und Oberflächenabfluss konnten gezeigt werden (Sojka et al. 2007). Der Haupteinsatzzweck, zum Beispiel in den USA ist der Erosionsschutz auf bewässerten Flächen. Hier führte eine geringe Einsatzmenge von 1-2 kg/ha und Bewässerungsvorgang, zu einer deutlichen Verringerung von

Verschlämmungen und Erosion. Unvernetztes Polyacrylamid (PAM) sorgt im abfließenden Wasser für eine Flockung der transportierten Bodenbestandteile und kann dadurch die durch Bewässerung induzierte Erosion um bis zu 94% reduzieren (Lentz & Sojka 1994 zitiert in Entry et al. 2007). Liegt im Boden gelöstes Calcium vor, erhöht sich die Effizienz des PAM noch zusätzlich. Die dünne Hydrathülle des Calciums hilft die elektronische Doppelhülle von Partikeln zu verkleinern und so die Flockung zu fördern (Sojka et al. 2007). Aufgrund seiner negativen Ladung interagiert das Polymer über Kationenbrücken irreversibel mit der Tonfraktion im Boden und stabilisiert ihn dadurch (Green et al. 2000, Seybold et al. 1994 zitiert in Wolter et al. 2002). Ferner hat PAM die positive Eigenschaft, dass über die Vermeidung von Erosion auch verhindert wird, dass sorbierte Nährstoffe, organische Substanz und Pflanzenschutzmittel desorbiert und mit oberflächlich abfließendem Wasser abtransportiert werden. So scheint der Einsatz von PAM mit dem Boden auch Grund- und Oberflächenwasser zu schützen (Sojka et al. 2007). Auch bei massivem Einsatz von PAM, bei dem über die Jahre deutlich mehr als die empfohlenen Mengen eingesetzt wurden, zeigten sich nur geringe Auswirkungen auf die mikrobielle Biomasse oder das metabolische Potential im Boden. Wurden praxisübliche Mengen von 5-10 kg/ha in der Bewässerung eingesetzt, ist ein negativer Einfluss auf die Mikroorganismen des Bodens nach diesen Studien nicht zu erwarten (Sojka et al. 2006 zitiert in Sojka et al. 2007). Die Autoren geben auch an, dass das Polyacrylamid nicht toxisch ist und auch biologische Membrane nicht überwinden kann. Der im Molekül enthaltene Stickstoff kann allerdings verschiedenen Mikroorganismen im Boden als Nahrungsquelle dienen. Dabei werden die C-N-Bindungen der Amidgruppe durch Amidasen unter Freisetzung von NH_3 hydrolysiert (Kay-Shoemake et al. 1998a zitiert von Wolter et al. 2002). Polyacrylamid wird durch diesen Vorgang über eine hydrolytische Desaminierung in Polyacrylat umgewandelt (Chang et al. 2001, zitiert in Wolter et al. 2002). Bei diesem Abbau entsteht kein Acrylamid. Das verbleibende C-Skelett bleibt nach der Desaminierung zunächst weitgehend erhalten, wird aber langfristig durch biologische oder physikalische Prozesse ab- oder in die organische Substanz des Bodens eingebaut (Wolter et al. 2002). Der mikrobiologische Abbau, der durch chemische, photolytische oder mechanische Prozesse ergänzt wird, verläuft aufgrund der großen Molekülgröße langsam. Erst wenn das Polymer nur noch 6—7 Monomere lang ist, kann das Gerüst auch von Mikroorganismen „verdaut“ werden (Hayashi et al. 1993 zitiert von Sojka et al. 2007). Weitere Einflüsse auf den Abbau von PAM werden der Temperatur und dem Salzgehalt des Bodens zugesprochen (Tolstikh et al. 1992, Wallace et al. 1986b zitiert von Sojka et al. 2007). Die jährliche Abbaurate der PAM wird von Azzam et al. 1983, zitiert von Sojka et al. 2017) auf etwa 10% geschätzt. Dabei ist aber unsicher, ob der experimentelle Ansatz der veröffentlichten Untersuchung auf einen praktischen Einsatz übertragbar ist. Stahl et al. (2000) gehen von einer erhöhten Abbaurate von ca. 7% in 80 Tagen im Freiland aus.

Quervernetzte Acrylamid/ Acrylsäure Copolymere

Für den Abbau von wasserunlöslichen **Acrylamid/ Acrylsäure Copolymere** (AAC, Superabsorber), zu denen auch Stockosorb zählt (Wasserlöslichkeit von 6%, Wolter et al. 2002, Angabe Evonic: „im Wesentlichen unlöslich“), gibt es verschiedene Wege bzw. Ansätze. Der Hersteller selbst gibt an, dass Stockosorb relativ persistent gegenüber einem Abbau im Boden sei. Das Produkt wird hier mit Lignin, das ebenfalls ein Polymer mit sehr komplexer Struktur ist und hauptsächlich von holzerstörenden Pilzen (Basidiomycetes) zersetzt werden kann, verglichen. Das heißt, auch Stockosorb wird im Wesentlichen von holzzeretzenden Pilzen, die auch in Ackerböden vorkommen, zerlegt. Wolter et al. (2002) untersuchten zunächst diesen Abbau von AAC durch verschiedene Fäulepilze, die das C-Skelett nach der Desaminierung durch Mikroorganismen weiter aufspalten sollen (Zandrazil, 1985 zitiert von Wolter et al. 2002). Diese Pilze sind durch den Einsatz verschiedener Enzyme (Exoenzyme, Peroxidasen, Laccasen) besonders effizient bei der Umsetzung bzw. dem Abbau der Polymere (Buswel, 1991, Evans et al. 1994, Leonowicz et al. 1999 zitiert von Wolter et al. 2002). Besonders der Weißfäulepilz „Phanerchaete chrysosporium“, der auch in der Lage ist Lignin zu zerlegen, ist dazu befähigt die dreidimensionale Struktur des Polymers zu spalten, so dass im Laborversuch eine 8%ige Mineralisierung des Copolymers innerhalb von drei Monaten möglich war (Sutherland et al. 1997, Stahl et al. 2000 zitiert in Wolter et al. 2002).



Abbildung 1: Stockosorbgranulat neben gequollenem, gelförmigen Stockosorb

(Bildquelle: https://ixquick-proxy.com/do/spg/show_picture.pl?l=deutsch&rais=1&oiu=https%3A%2F%2Fimages-na.ssl-images-amazon.com%2Fimages%2F1%2F41i84EA4PVL.jpg&sp=39f5f89da89cdc679658f42e29c5d6e2)

Wilske et al. (2014) kritisieren in diesem Zusammenhang, dass im normalen Ackerboden in der Regel nur wenige holzabbauende Weißfäulepilze vorkommen und dieser Abbauweg somit eigentlich nicht in Frage kommt. Deshalb haben die Autoren in einem Versuch die Abbaubarkeit, die ja eine gewünschte Schlüsseleigenschaft des AAC darstellt, in verschiedenen Böden bei verschiedenen Temperaturen

beobachtet. Um das Abbauverhalten genauer zu charakterisieren wurden Polymere verwendet, die entweder einfach an der Außenhülle des Moleküls mit einem ^{13}C -Atom markiert, oder dreifach (1x Außenhülle, 2x Hauptstrang) ^{13}C markiert wurden.

Nach 24 Wochen Versuchslaufzeit zeigte sich beispielsweise für das einfach markierte Polymer eine durchschnittliche Abbaurate in lehmigen Sand von 0,48% und 0,82% in Lehm, wobei die Variabilität sehr groß war. Unterschiede in der Temperatur (20°C vs. 30°C) führten nicht zu signifikanten Unterschieden.

Übertragen auf den Einsatz von AAC in normalen landwirtschaftlichen Böden entspräche dies Abbauraten des Copolymers von <1% in sechs Monaten, was zur Aussage von Wolter et al. (2002) passt, die auf Ackerland einen durchschnittlichen Abbau von 0,3% in 28 Wochen festgestellt haben. Dabei ist festzustellen, dass bereits in den ersten beiden Wochen 25-50% des kompletten Abbaus von statten gehen. Demnach ist also von einem relativ stabilen AAC-Pool im Boden auszugehen.

Die Abbaurate des dreifach markierten AAC lag sogar noch niedriger als die des einfach markierten Polymers (0,12-0,24% in 24 Wochen). Das führte die Autoren zu der Annahme, dass der Abbau des Polymers von den Oberflächen und dort von losen Enden her passiert. Dadurch verlangsamt sich der Abbau danach deutlich, was sich in der Wiederfindungsrate des ^{13}C zeigte (Wilske et al. 2014).

Die Autoren beschreiben aber ein zusätzliches Phänomen. Trotz der geringen ermittelten biologischen Abbauraten zeigte sich in einem Sandboden nach kurzer Zeit eine deutlich verringerte Wasserhaltekapazität. Die Autoren erklären dies mit einem Zusammenbruch des Polymergerüsts, ausgelöst durch freie Kationen (z.B. Kalium, K^+), die aufgrund des niedrigen Tonanteils- und der geringen Kationenaustauschkapazität von Sandböden an das Polymer gebunden werden, das wie Ton eine negative Ladung besitzt.

Weitere Einflussfaktoren, die den Abbau im Freiland beschleunigen können werden von Wilske et al. (2014) beschrieben. Zunächst wird eine Düngung z.B. mit N-haltigen Düngern beschrieben. Vor allem auf Böden, die besonders von der Zugabe von Superabsorbent profitieren würden, herrscht häufig C- und N-Mangel, so dass die vorhandenen Mikroorganismen und Pilze besonders von einer Düngung profitieren und dadurch der Abbau der Polymere beschleunigt wird.

Ferner ist eine zufällige erhöhte Pilztätigkeit auf Teilflächen möglich. Neben den Weißrottepilzen, die Wolter et al. (2002) beschreiben, können auch imperfekte Pilze (Deuteromyceten) und Fusariumpilze die ähnlich komplexe Ligninstrukturen im Boden abbauen das ACC angreifen (Rodriguez et al. 1996 zitiert in Wilske et al. 2014).

Ein weiterer Punkt den Wilske et al. (2014) ansprechen, ist der Umstand, dass auf den Flächen eine, möglicherweise durch den Pflanzenbestand beeinflusste, erhöhte mikrobielle Aktivität auftritt.

Abiotischer Stress kommt laut Wilke et al. (2014) als Einflussgröße weniger in Frage, da das Copolymer bis wenigstens 200°C temperaturstabil ist. Auch UV-Licht dürfte für AAC kein Problem darstellen, da der Teil des Lichts, der z.B. PAM zersetzen könnte, bereits von der Ozonschicht herausgefiltert wird bevor es den Erdboden erreicht (Diffey et al. 1995 zitiert in Sojka et al. 2007). Außerdem wird das AAC in den Boden eingearbeitet und ist dem Sonnenlicht daher nicht längerfristig ausgesetzt.

Der letzte Faktor, der angesprochen wird, ist der mögliche Einbau der Polyacrylketten in die organische Bodensubstanz, den Humus.

Letztendlich kann aufgrund der langsamen Abbaubarkeit von einer Jahrzehnte langen Verweilzeit des AAC im Boden ausgegangen werden (Passauer, 2008).

Weitere getestete Additive zur Verbesserung der Stabilität und Effizienz von präzise applizierten Düngedepots

Zeolith

Bei Zeolith handelt es sich um eine Stoffgruppe, deren Gemeinsamkeit ein Aufbau aus kristallinen Aluminiumsilikaten ist. Sie kommen natürlich vor und können auch synthetisch hergestellt werden. Die Bestandteile sind AlO_4^- und SiO_4^- Tetraeder. Diese werden durch Sauerstoffatome verbunden. Je nach Strukturtyp ergeben sich entweder Poren- oder Röhrenstrukturen. In diesen Poren und Röhren kann Wasser gespeichert werden, sie können aufgrund der großen inneren Oberflächen aber auch andere Nährstoffe und Moleküle einlagern oder sorbieren.

Zur Stoffgruppe der Zeolithe zählen etwa 50 natürlich vorkommende und mehr als 150 künstlich hergestellte Zeolithe. Allen gemeinsam ist eine sehr große innere Oberfläche, die je nach Material mehr als 1000 m²/g Zeolith betragen kann.

Durch den Anteil an AlO_4^- haben diese Oberflächen eine anionische Ladung, weshalb sich dort Kationen wie Na^+ , K^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} und NH_4^+ befinden können. Sind diese Kationen zusätzlich im Wasser gelöst, das sich in der Poren- oder Röhrenstruktur befindet, sind sie leicht zugänglich und daher austauschbar (www.chemie.de).

Tsadilas und Argyropoulos (2006) testeten diesbezüglich die Eignung des Zeoliths Clenoptilolith (CP), das eine Kationenaustauschkapazität (KAK) von mehr als 180 meq/ 100 g hat (natürlicherweise liegt die KAK verschiedener Zeolithe zwischen 100 und 300 meq/ 100 g), als eine Art slow release fertilizer.

Sie gingen dabei von der Überlegung aus, dass gedüngtes Ammonium (als Ammoniumsulfat ausgebracht) in der Zeolithstruktur gebunden wird und aufgrund des geringen Durchmessers der Poren nicht durch Bakterien aufgeschlossen werden kann, was die Autoren aus einem Bericht von Mumpton & Fishmann (1977) folgerten. Sowohl bei ihren Überlegungen als auch bei den im Projekt angestellten Versuchen, soll also durch den Einsatz des Zeoliths dafür gesorgt werden, dass gedüngter Stickstoff effizienter eingesetzt wird und dieser weniger auswaschungsgefährdet ist.

Zwei Wege des Zeolitheinsatzes werden hierbei von Tsadilas und Argyropoulos (2006) beschrieben:

- Zum einen wird Zeolith in den Boden eingearbeitet, in der Hoffnung, dass freier Ammonium-Stickstoff aus der Wurzelzone festgehalten wird, bevor er einer Nitrifikation und damit in der Nitratform einer potenziellen Auswaschung unterworfen ist. Dieses Vorgehen hat zur Folge, dass große Mengen Zeolith gebraucht werden.
- Die zweite beschriebene Option der Ausbringung ist die Nutzung des Zeoliths als Trägermaterial für NH_4^+ . In diesem Fall wäre die auszubringende Menge deutlich geringer.

In einem Gefäßversuch mit Weizen auf einem sandigen Lehmboden (Xerorthent (62% Sand, 20% Schluff, 18% Ton, pH 5,6, 0,95% OS) wurde der Einfluss verschiedener Zeolithmengen untersucht. Die Ergebnisse zeigten durchwegs positive Wirkungen. Es konnte eine erhöhte Ammoniumspeicherung festgestellt werden, die im weiteren Vegetationsverlauf zu einer besseren Stickstoffversorgung der Pflanzen und zu verbesserten Biomasseerträgen führte. Die optimale Zeolithmenge lag aber auch hier mit etwa 15 t/ha Clinoptilolith noch sehr sehr hoch.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Studie von He et al. (2002), bei der Zellulose und Clinoptilolith auf einem Sandboden eingesetzt wurden, um deren Wirkung auf die Fluktuation des Stickstoffangebots im Boden zu untersuchen. Auch in diesem Fall konnte durch den Einsatz von Zeolith die Verflüchtigung von Stickstoff in Form von Ammoniak verringert werden. Die Autoren führen dies darauf zurück, dass das Ammonium an Zeolith als Ionenaustauscher gebunden wird.

In beiden Studien wurde der Versuch auf Böden mit geringen Tonanteilen und damit auch geringer Kationenaustauschkapazitäten durchgeführt. Es bleibt also die Frage offen, wie sich eine Zeolithausbringung auf sorptionsstärkeren Böden mit höheren Tonanteilen auswirken würde.

Negative Folgen für die Umwelt und das Grundwasser sind durch die Anwendung des Zeoliths nicht zu befürchten. Im Gegenteil; bestimmte Zeolithe (z.B. Clinoptilolith, Mordenit, NaP) werden in der Reinigung kommunaler Abwässer oder der NH_4^+ Entfernung aus dem Wasser von Fischzuchtbetrieben eingesetzt (Puppe, 1986). Mühlbach et al. (2005) konnten in einer Studie sogar eine Reduzierung von Schwermetallen (Pb & Zn) in belasteten Böden durch Clinoptilolith feststellen.

Im vorliegenden Projekt wurde das Zeolith nur in einem sehr geringen Umfang von maximal 50 kg/ha eingesetzt, um seine Wirkung auf die Nährstoffdynamik in schnurförmig abgelegten Stickstoffdepots im Boden zu testen, weshalb ohnehin nur eine minimalste Schadstofffracht erwartet werden könnte.

Bei Verwendung spezieller im Supra B Projekt entwickelter „Coatings“ reduzierte sich die benötigte Menge noch einmal.

Biokohle



Abbildung 2: Pflanzenkohle (Bildquelle: www.biomassehof.de)

Sun & Lu (2014) stellen fest, dass sogenannte Pflanzenkohlen, die aus verschiedenen Ausgangsmaterialien durch Pyrolyse hergestellt wurden, positive Wirkung auf Böden, in diesem Fall tonige Böden, haben können. In einem Versuch, in dem Kohlen aus Stroh, Klärschlamm und Hackschnitzeln getestet wurden, konnten (für Kohle aus Stroh und Klärschlamm) positive Wirkungen auf die Größe der Bodenaggregate und der Aggregatstabilität ermittelt werden. Dies konnte auf eine erhöhte Kohäsion innerhalb der Partikel zurückgeführt werden. Durch den Zusatz von Pflanzenkohle veränderte sich vermutlich die Aggregation der Bodenkomplexe und die Porenverteilung im Boden. Nach dem Zusatz von Pflanzenkohle aus Stroh konnte eine Zunahme der Makroporen ($>75\mu\text{m}$) und der Mesoporen festgestellt ($30\text{-}75\mu\text{m}$) werden, was zur Folge hatte, dass mehr Wasser pflanzenverfügbar war. Daher wird darüber nachgedacht, Pflanzenkohle als Bodenzusatzstoff zur Bodenverbesserung zu empfehlen. Kloss et al. (2014) stellten in einem Gefäßversuch fest, dass Pflanzenkohlen - je nach Bodenart- bodenchemische Prozesse wie die Kationenaustauschkapazität und allgemein den Nährstoffstatus verbessern können. Dennoch wurde eine signifikante Ertragsdepression von bis zu 68% in der ersten Kultur (Senf) nach dem Einsatz der Kohle aus Holzhackschnitzeln und Weinrebenschnitt festgestellt, die sich in geringerem Ausmaß auch noch in der Folgekultur Gerste fortsetzte. In der dritten Folgekultur Rotklee, ließ sich der Effekt nicht mehr feststellen. Die Ertragsdepression wurde von einer verringerten Aufnahme von Mikronährstoffen wie Cu, Fe, Mn und Zn begleitet, während sich die Aufnahme von Mo erhöhte. Kohle aus Weizenstroh hatte demgegenüber keine negativen Auswirkungen auf den Ertrag, sondern erhöhte den Gerstenertrag sogar um 6% gegenüber der unbehandelten Kontrolle.

Nach den Ergebnissen dieser Veröffentlichung ist eine vergleichbare Wirkung wie durch den Einsatz der Superabsorber möglich. Allerdings wurden in den zitierten Untersuchungen deutlich größere Mengen eingesetzt. In den Gefäßversuchen wurden pro kg Erde, 20, 40 oder 60 g Pflanzenkohle eingesetzt, was in etwa einer Menge von etwa 90, 180, 270 t/ha entspricht (berechnet aus $1\text{m}^2 \cdot 30$

cm Bodentiefe und einer Trockenrohdichte von 1,5 kg/l). Im vorliegenden Projekt wurden Stockosorb, Zeolith und Pflanzenkohle in Kombination mit der N-Depotdüngung in sehr geringen Mengen von etwa 50 kg/ha eingesetzt, das heißt hier standen nicht Wirkungen auf die Bodeneigenschaften, sondern Effekte auf die Nährstoffdynamik und die Verbesserung der Effizienz bei der Stickstoff- Depotdüngung im Vordergrund.

Für den sicheren Einsatz der Pflanzenkohle, ist auf eine Zertifizierung des Produkts nach den Richtlinien der European Biochar Foundation (EBC) zu achten. Es handelt sich beim European Biochar Certificate um einen freiwilligen, europäischen Industriestandard, der in der Schweiz aber verpflichtend für die Genehmigung des Einsatzes der Pflanzenkohle in der Landwirtschaft ist. Das Zertifikat stellt sicher, dass umweltrelevante Grenzwerte (Schwermetalle, Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB), Dioxine und Furane) eingehalten und die für den landwirtschaftlichen Einsatz wichtigen Eigenschaften deklariert sind. Dies beinhaltet den Anteil des Kohlenstoffs, der mehr als 50% der Trockenmasse betragen muss, aber auch Nährstoffanteile (N, P, K, Mg und Ca). Weiterhin müssen das molare H/Corg- Verhältnis kleiner als 0,7 und das O/Corg- Verhältnis kleiner als 0,4 sein. Aufgrund der in der Regel in der Praxis ausgebrachten Einsatzmengen der Pflanzenkohlen und der niedrigen Grenzwerte für Schadstoffe, ist eine Gefährdung der Umwelt durch den Einsatz zertifizierter Kohlen nahezu auszuschließen (EBC, 2015). Da der Preis für zertifizierte Pflanzenkohlen in der Regel bei über 500 €/t liegt ist ein exzessiver Einsatz auch nicht zu erwarten.

Zusammenfassung und Fazit

Nach Analyse der zitierten Studien und Untersuchungen kann davon ausgegangen werden, dass es bei einem kontrollierten Einsatz des Superabsorbers[®] nicht zu umweltschädlichen oder toxischen Auswirkungen und auch nicht zu einer Akkumulation potenzieller Schadstoffe im Boden kommen wird.

Der in diesem Zusammenhang wegen seiner Wasserlöslichkeit und möglichen Kanzerogenität kritische Grundstoff Acrylamid ist sowohl in Polyacrylamid (PAM) als auch in Acrylamid/ Acrylsäure Copolymeren (AAC) nur in Spuren (< 0,1%) vorhanden. Da Acrylamid im Boden schnell von Mikroorganismen als Stickstoffquelle genutzt wird und das verbleibende toxikologisch unbedenkliche Kohlenstoffgerüst in die organische Bodensubstanz aufgenommen wird, geht davon keine Gefahr aus. Auch eine Aufnahme des Acrylamids durch die Pflanzen scheidet als mögliche Gefahr aus, da Acrylamid von Pflanzen kaum aufgenommen wird und im Falle einer Aufnahme direkt metabolisiert wird.

Nicht quervernetztes Polyacrylamid (PAM) ist weder toxisch, noch überwindet es biologische Membrane. Im Boden wird es relativ schnell metabolisiert. Mikroorganismen nutzen es als

Stickstoffquelle und nach der Desaminierung, bei der Polyacrylat, aber kein Acrylamid, entsteht, wird das verbleibende C-Gerüst in die organische Bodensubstanz eingebaut.

Der Abbau von Acrylamid/ Acrylsäure Copolymeren (AAC) geht aufgrund der vernetzten Molekülstruktur weniger schnell. Sie sind aber weder wasserlöslich, noch können sie von Pflanzen aufgenommen werden. In normalen Ackerböden vollzieht sich der Abbau sehr langsam. Hier wird in einem halben Jahr weniger als ein Prozent abgebaut. Wird allerdings ein holzabbauender Pilz (*Phanerchaete chrysosporium*) aktiv, kann die Mineralisierungsrate auf bis zu acht Prozent in drei Monaten gesteigert werden.

Im Freiland können unvorhergesehene Umstände die Abbaurate der Acrylamid-/ Acrylsäure Copolymeren erhöhen. Dazu gehören die Düngung, zufällig erhöhte Pilz oder Mikroorganismusaktivität, die mitunter auch von der Pflanzengesellschaft auf der Oberfläche beeinflusst sein können und der Einbau von Polyakrylketten in den Humus.

Solange die untersuchten Materialien die nach DüMV geltenden Grenzwerte einhalten, was nötig ist, damit sie als Bodenhilfsstoff zugelassen werden, geht von den untersuchten Stoffen, bei sachgemäßer Anwendung, keine Gefahr für den Menschen, Tieren und Nutzpflanzen aus. Auch der Naturhaushalt oder die Fruchtbarkeit des Bodens wird durch den Einsatz der Bodenhilfsstoffe in Mitleidenschaft gezogen.

Literaturstand : 9/2017

Konsultierte Literatur

Barvenik F. W. (1994): Polyacrylamide characteristics related to soil applications. Soil Science 158 (4): 235-243

EBC (2012) 'European Biochar Certificate – Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle', European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland.
<http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 7.4 of 14th August 2017, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043

Entry, J.A., Sojka, R.E., Watwood, M.m Ross, C. (2002): Polyacrylamide preparations for protection of water quality. Environmental Pollution 120: 191–200

EVONIK Industries (2005): STOCKOSORB® Biologische Abbaubarkeit und Umweltverträglichkeit von Bodenhilfsstoffen. Informationsblatt, Evonik Stockhausen GmbH, Krefeld, 4 S.

EVONIK Industries (2011): Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) 1907/2006. Stand 25.03.2011, Version 2.1 (STOCKOSORB 660 MICRO). 7 Seiten (http://www.datenblaetter.proagro-gmbh.de/2015/Stockosorb_MSDS.pdf)

EVONIK Industries (2017): Stockosorb 660® Technisches Datenblatt, 2 Seiten.
http://www.creasorb.com/sites/lists/NC/DocumentsSU/Creasorb_038%20Stockosorb_660_deutsch_Aufl6_EVI.pdf

He, Z.L., Calvert, D.V., Alva, A.K, Li, Y.C., Banks, D.J. (2002): Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil* 247: 253-260

Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., Soja, G. (2014): Biochar application to temperate soils: Effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177: 3-15

Parlow E., Scherer D. & Fehrenbach U. (2005): Regionale Klimaanalyse der Region Südlicher Oberrhein (REKLISO)-Abschlussbericht. Studie im Auftrag des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein. Basel und Berlin

Puppe, L. (1986): Zeolithe- Eigenschaften und technische Anwendungen. *Chemie in unserer Zeit*. 20. Jahrgang, 4: 117-127

Sojka R. E., Bjorneberg D. L., Entry J. A., Lentzl R. D. and Orts W. J. (2007): Polyacrylamide in Agriculture and environmental Management. *Advances in Agronomy* 92: 75-162

Stahl J. D., Cameron M. D., Haselbach J., Aust S.D., (2000): Biodegradation of Superabsorbent Polymers in Soil. *Environmental Science and Pollution Research* 7 (2): 83-88

Sun, F., Lu S. (2014): Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177: 26-33

Tsadilas C.D. und Argyropoulos (2006): Effect of Clinopilolite Addition to Soil on Wheat Yield and Nitrogen Uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 2691-2699

Wilske B., Bai M., Lindenstruht B., Bach M., Rezaie Z., Frede H. G., Breuer L. (2014): Biodegradability of a polyacrylate superabsorbent in agricultural soil. *Environmental Science and Pollution Research* 21: 9453-9460

Wolter M., in der Wiesche C., Zadrazil F., Hey S., Haselbach J., Schnug E. (2002): Biologische Abbaubarkeit synthetischer superabsorbierender Bodenhilfsstoffe. *Landbauforschung Völkenrode* 52 (1): 43-52

http://www.chemie.de/lexikon/Zeolithe_%28Stoffgruppe%29.html (konsultiert am 14.9.2017)

www.creasorb.com/product/creasorb/de/produkte/stockosorb/Pages/default.aspx (konsultiert am 25.8.2017)

https://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/BJNR248200012.html (konsultiert am 21.9.2017)