



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Pflanzenernährung und Bodenkunde

Bachelorarbeit

Effiziente Versorgung von Maisbeständen mit Stickstoff und Phosphor mittels Unterfußdüngung

Von Max Pickert

Betreuung:

Prof. Dr. sc. agr. Bernhard Seggewiß

Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze

September 2011

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2011-0510-4

Zusammenfassung

Das Nährstoffaneignungsvermögen und die Toleranz gegenüber kühlen Temperaturen des Maises sind besonders in der Jugendentwicklung gering. Probleme bereitet vor allem der Nährstoff Phosphor. Daher wird das Verfahren der Unterfußdüngung angewendet. Bei diesem wird leicht lösliches Phosphat, meist in Verbindung mit Ammoniumdüngern, in einem Düngerband fünf cm unter und fünf cm neben der Saatreihe, direkt bei der Maisaussaat ausgebracht. Ziel ist die Phosphatkonzentration stark zu erhöhen, um eine ausreichende Versorgung der jungen Maispflanze zu gewährleisten.

Diese Arbeit gibt eine Empfehlung zur effizienten Unterfußdüngung unter besonderer Beachtung von Einflüssen durch die Bodeneigenschaften wie Phosphatversorgungsstufe und Bodenart sowie die Witterung am jeweiligen Standort.

Zunächst werden pflanzenphysiologische Aspekte, insbesondere die Aufnahme der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff beleuchtet. In diesem Rahmen wird ebenfalls das Verhalten des Phosphors im Boden genauer erläutert. Anschließend werden grundlegende technische Verfahren sowie genutzte Maschinen zusammengefasst und damit verbundene arbeits- und betriebswirtschaftliche Zusammenhänge erläutert.

Hintergrund der Überlegungen ist die Auswertung einer Reihe von Feldversuchen. Auf dieser Grundlage wird das Ertragsverhalten unter verschiedenen Bedingungen charakterisiert. Ausgehend von diesen Schlussfolgerungen wurden für verschiedene Standort- und Betriebsbedingungen relevante Ertragswartungen für die Unterfußdüngung zu Mais formuliert.

Unter Nutzung dieser Werte wurde eine Kostenrechnung für drei verschiedene Produktionsvarianten sowohl für Körner- wie auch für Silomais erstellt. Die Produktionsvarianten unterscheiden sich durch Betriebsform, Nutzungsrichtung sowie in Verbindung damit unterschiedlichen Düngungsmanagements.

Für diese Produktionsvarianten wurden über die teilweise Vollkostenrechnung Varianten errechnet, in denen keine Unterfußdüngung durchgeführt wurde und denen mit Unterfußdüngung gegenübergestellt. Zu Veranschaulichung wurde die ermittelten Ergebnisse mit den Wetterdaten der Jahre 1990 bis 2011 gegenübergestellt und die relative Wirkung der Varianten mit und ohne Unterfußdüngung verglichen. Schließlich kann gezeigt werden, dass die Wirkung der Unterfußdüngung in erster Linie in von der Witterung, sowie dann von Bodenart und Phosphatgehaltstufe abhängt. Die Unterfußdüngung bringt besonders in Jahren mit kühlem Frühjahr sowie auf Standorten mit geringer Bodengüte und geringem Phosphorgehalt und besonders bei Nutzungsrichtung Körnermais Ertragsvorteile. Die Unterfußdüngung führt jedoch generell zu erhöhten Kosten je dt Erntegut.

Am Schluss stehen für die dargestellten Produktionsvarianten Empfehlungen für den effizienten Einsatz der Unterfußdüngung.

Inhalt

Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Aufgabenstellung.....	7
3 Pflanzenbauliche Grundlagen der Unterfußdüngung	7
3.1 Nährstoffbedarf	7
3.2 Düngung	8
3.3 Nährstoffaufnahme	10
3.3.1 Aufnahme von Phosphor	11
3.3.2 Aufnahme von Stickstoff.....	13
4 Verfahrenstechnische Grundlagen Unterfußdüngung	14
4.1 Unterfußdüngung.....	14
4.2 Düngeverfahren Unterfußdüngung.....	14
4.3 Technik der Unterfußdüngung	15
5 Material und Methoden	18
5.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse bei der Unterfußdüngung.....	18
5.1.1 Körnermais	20
5.1.2 Silomais	28
5.2 Einfluss der Witterung auf die Ertragswirkung der Unterfußdüngung	34
5.3 Betriebswirtschaftliche Variantenrechnung	36
6 Ergebnisse und Diskussion.....	41
6.1 Düngung ohne UFD P1 bis P3	41
6.2 Produktionsvariante P1 Marktfruchtbetrieb	43
6.3 Produktionsvariante P2 Gemischtbetrieb	44
6.4 Produktionsvariante P3 Futterbaubetrieb	46
6.5 Anwendung der UFD P1 bis P3	47
6.6 Anwendung der UFD in Abhängigkeit von der Witterung für P1 bis P3.....	48
7 Fazit.....	50
8 Literaturverzeichnis.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nährstoffentzug in Abhängigkeit vom TM-Ganzpflanzenertrag nach (Hanus, Heyland, & Keller, 2008).....	8
Tabelle 2:Nährstoffgehalte verschiedener Düngemittel nach (Hanus, Heyland, & Keller, 2008) (Schilling, 2000).....	9
Tabelle 3: Zeitliche Nährstoffaufnahme in % der benötigten Gesamtnährstoffmenge nach (Entrup Lütke & Schäfer, 2011).....	11
Tabelle 4: Phosphatgehaltstufen nach (VDLUFA, 2010)	12
Tabelle 5: Nährstoffgehalte und Preise von Unterfußdüngern.....	15
Tabelle 6: Versuchsübersicht	19
Tabelle 7: Zusammenfassung der Versuche mit Körnermais.....	20
Tabelle 8: Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag an drei Standorten 2001 bis 2003	21
Tabelle 9: Übersicht Standorte Wehnen Essen Bersenbrück	22
Tabelle 10: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Gehalt im Korn an drei Standorten 2001 bis2003	23
Tabelle 11: Ertrag und Ertragsvorteil im Reihenweitenversuch bei Körnermais.....	24
Tabelle 12: Kornerträge im Unterfußdüngerversuch am Standort Wehnen 1997 - 1999.....	26
Tabelle 13: Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag rel. in Abhängigkeit von der Bodenversorgung an insgesamt 19 Standorten nach (Jacobs, 2010).....	26
Tabelle 14: Ergebnisse der Versuche und Ableitungen für Variantenrechnung mit Körnermais	27
Tabelle 15: Zusammenfassung der Versuche mit Silomais.....	28
Tabelle 16: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Ganzpflanzenertrag an fünf Standorten 2001-2003 (eigene Darstellung nach LWK Westfalen-Lippe).....	29
Tabelle 17: TM-Ertrag rel. SH 1997 – 1999 (2 Standorte)	31
Tabelle 18: Stärkegehalt in der TM, rel. SH 1997 – 1999 (2 Standorte).....	31
Tabelle 19: Einfluss der Unterfußdüngung auf TM-Ertrag und Stärkegehalt im Mittel über 3 Jahre u. 3 Standorte Niedersachsen(nach. LWK Hannover)	32
Tabelle 20: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Ganzpflanzenertrag an drei bzw. vier Standorten in Niedersachsen (nach LWK Hannover), Angaben in Relativwerten	32
Tabelle 21: Ergebnisse der Versuche und Ableitungen für Variantenrechnung mit Silomais	33
Tabelle 22: Ertragswirkung der UFD für Körner- und Silomais in Abhängigkeit von der Witterung in der Jugendentwicklung und der Hauptwachstumsphase in %.....	34
Tabelle 23: Wirksamkeit der UFD in Abhängigkeit von der Witterung	35
Tabelle 24: Beispiel Datenblatt Datensammlung	37
Tabelle 25: Produktionsvarianten P1 bis P3.....	38
Tabelle 26: Übersicht Düngung der Varianten.....	39
Tabelle 27: Ertragsstufen in den Standortbedingungen S1 bis S4.....	39
Tabelle 28: Ertragssteigerung in % in Abhängigkeit von P und S Varianten	40
Tabelle 29: Kosten beim Silomaisanbau ohne Unterfußdüngung in verschiedenen Produktionssystemen P1 - 3	42
Tabelle 30: Kosten beim Körnermaisbau ohne Unterfußdüngung in verschiedenen Produktionssystemen P1 -3	42
Tabelle 31: Kosten beim Maisanbau für mit und ohne Unterfußdüngung sowie Wirkung für Produktionsvariante 1	43
Tabelle 32: Kosten beim Körnermaisbau für die Unterfußdüngung Produktionsvariante 1	44
Tabelle 33: Kosten beim Silomaisanbau P2	45
Tabelle 34: Kosten beim Körnermaisbau für P2	46
Tabelle 35: Kosten beim Silomaisanbau für P3	46

Tabelle 36: Kosten beim Körnermaisbau für P3	47
Tabelle 37: Kosten der UFD bei 5 % Minderertrag für P1 bis P3 im Körnermaisbau	48
Tabelle 38: Ertrags- und Kostenveränderung durch UFD bei Silo- und Körnermais über einen Zeitraum 1990 bis 2011.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Platzierung der Unterfußdünger (KWS).....	15
Abbildung 3: Aufgesattelte Maschine mit pneumatischer Düngerverteilung (Quelle: Horsch)	16
Abbildung 4: Anbaumaschine ohne UFD (Quelle :Monosem)	17
Abbildung 5: TM-Kornertrag Ertragsvorteil in % drei Standorte 2001 bis 2003.....	22
Abbildung 6: TM-Kornertrag Ertragsvorteil in % zwei Standorte 2004 NRW.....	25
Abbildung 7 : Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag rel. in Abhängigkeit von der Bodenversorgung.....	27
Abbildung 8: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Ganzpflanzenertrag nach LWK Westfalen-Lippe.....	30

1 Einleitung

Mais ist eine Kulturpflanze der Subtropen. Durch züchterische Erfolge gelang es, auch für einen Anbau in den gemäßigten Breiten geeignete Sorten zu entwickeln. Dennoch besteht weiterhin eine große Abhängigkeit des Maiswachstums vom Wärmeangebot des Standortes.

Mais nimmt den Hauptteil seiner Nährstoffe erst unmittelbar vor der Hauptwachstumsphase im Frühsommer innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne auf. Darauf ist die Entwicklung seiner Organe eingestellt. Unter den deutschen Witterungs- und Standortbedingungen hat es sich gezeigt, dass der Mais in seiner Jugendentwicklung offenbar Probleme hat, selbst die relativ geringen Nährstoffmengen aufzunehmen. Dies wird besonders in Jahren mit kühler Frühjahrswitterung im Frühjahr, zur Zeit des Jugendwachstums, festgestellt und betrifft hauptsächlich den Nährstoff Phosphor.

Daher wurde das Verfahren der Unterfußdüngung (UFD) entwickelt, bei dem der Mais bereits bei der Aussaat gezielt mit vor allem mit Phosphor versorgt wird. Die Unterfußdüngung ist derzeit in vielen Regionen eine Standardmaßnahme und wird von der größten Zahl der Betriebe durchgeführt (Entrup Lütke & Schäfer, 2011). Dennoch zeigt sich in der Praxis, dass die Unterfußdüngung nicht in jedem Fall erfolgreich angewendet wird und auch Probleme mit sich bringt.

Unterfußdüngung ist ein spezielles Düngeverfahren, das besondere technische Ausrüstungen erfordert. Darüber hinaus verursacht die Durchführung Zeit, die in der angespannten Phase der Maisaussaat in allen Betrieben sehr knapp ist. In Betrieben, die aufgrund ihres hohen Tierbesatzes eigentlich über ausreichend organischen Dünger verfügen, fallen Düngerkosten an, die von der Betriebsleitern hinterfragt werden. Die im Unterfußdünger eingesetzten Nährstoffe sind teurer als im herkömmlichen Mineraldünger wie Triplesuperphosphat (TSP) oder Kalkammonsalpeter (KAS). Grundsätzlich muss den gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich der N- und ggf. P-Bilanzen entsprochen werden, was gerade in mit Nährstoffen ausreichend ausgestatteten Futterbau- und Veredlungsbetrieben ein Problem sein kann.

All diese Kosten und Probleme werden durch den Betriebsleiter nur in Kauf genommen, wenn durch das Unterfußdüngungsverfahren Ertrags- und/oder Qualitätsverbesserungen beim Maisanbau erreichbar sind.

2 Aufgabenstellung

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Einschätzung zur Notwendigkeit und zum effektiven Einsatz der Unterfußdüngung beim Maisanbau unter verschiedenen betrieblichen Situationen zu geben und dies auch betriebswirtschaftlich zu bewerten.

Zunächst werden die pflanzenbaulichen Grundlagen der Unterfußdüngung des Maises und die verfahrenstechnischen Abläufe dargelegt.

Einen Hauptteil der Arbeit bildet die Einschätzung der ertragssteigernden Potenziale der Unterfußdüngung unter verschiedenen Standortbedingungen, die anhand der vorliegenden Ergebnisse relevanter Feldversuche zum Thema Unterfußdüngung vorgenommen wird.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse werden betriebswirtschaftliche Variantenrechnungen vorgenommen und Empfehlungen für die Anwendung der Unterfußdüngung unter verschiedenen Standort- und Betriebsbedingungen gegeben.

3 Pflanzenbauliche Grundlagen der Unterfußdüngung

3.1 Nährstoffbedarf

In Abhängigkeit von der Klima und Standort werden in Deutschland Ganzpflanzenerträge Trockenmasse (TM) von 100 bis 250 dt/ha erreicht. Im Körnermaisbau bewegen sich die Kornerträge je Hektar zumeist zwischen 50 und 100 dt.

Bei der Ermittlung des Düngebedarfes wird der Ganzpflanzenertrag herangezogen. Zwischen den Nutzungsrichtungen Silomais, Körnermais, Corn-Cob-Mix und Lieschkolbenschrotsilage wird dabei nicht unterschieden. Jedoch fallen unterschiedliche Mengen an Ernteresten an. Während beim Körnermaisbau große Mengen Stroh auf der Fläche verbleiben, wird bei der Silomaisernte je nach Stoppelhöhe die gesamte oberirdische Biomasse abgefahren. Die Höhe

der Menge an Nährstoffen die der Folgekultur angerechnet werden können sind so sehr unterschiedlich. (Hanus, Heyland, & Keller, 2008)

Bei einem Ganzpflanzenertrag von 150 dt TM/ha werden von einem Maisbestand 195 kg Stickstoff und 35 kg Phosphor je Hektar entzogen, bei einem Ertrag von 200 dt TM/ha sind es 260 kg N/ha und 46 kg P/ha (Tabelle 1).

Tabelle 1: Nährstoffentzug in Abhängigkeit vom TM-Ganzpflanzenertrag nach (Hanus, Heyland, & Keller, 2008)

Maisertrag (Ganzpflanze) dt TM/ha	Nährstoffentzug, kg/ha		
	N	P	P ₂ O ₅
100	130	23	53
125	163	29	66
150	195	35	79
175	228	40	92
200	260	46	105
225	293	52	119
250	325	58	132

3.2 Düngung

Zur Deckung des Nährstoffbedarfes eines Maisbestandes werden Nährstoffe aus dem Bodenvorrat, aus organischer - und aus mineralischer Düngung herangezogen. Zu den organischen Düngern zählen organische Dünger tierischen- und pflanzlichen Ursprungs. Mineralische Dünger sind nur dann einzusetzen, wenn der Nährstoffbedarf aus dem Bodenvorrat und den organischen Düngern nicht gedeckt werden kann.

Besondere Beachtung sollte die exakte Kalkulation von Nährstoffen aus organischer Düngung erhalten, da diese im Vergleich zu Mineraldüngern relativ günstig sind und deren Nährstoffmengen oft unterschätzt werden. In viehstarken Betrieben sind sie ausreichend vorhanden, u.U. besteht auch der Gefahr der Überdüngung allein aus organischen Düngern.

Der Mais unterscheidet sich von den anderen Getreidearten durch den weit ins Jahr reichenden Vegetationszeitraum, in dem auch organische Dünger relativ gut verwertet werden. Der Nährstoffbedarf ist in der Jugendentwicklung relativ gering. Erst ab etwa dem sechsten bis achten Blatt werden Nährstoffe in größeren Mengen aufgenommen. Es wird also der größte Teil des Nährstoffbedarfes im Frühsommer und Sommer gedeckt. Zu dieser Zeit herrschen

normalerweise optimale Mineralisationsbedingungen. Die durch Mineralisation aus Ernteres-
ten, organischen Düngern, Zwischenfrüchten und dem Bodenvorrat verfügbar werdenden
Nährstoffe können so von der Maispflanze sehr gut verwertet werden.

Die Bewertung von organischen Düngern gestaltet sich schwierig. Besonders bei Wirtschaftsdü-
ngern tierischer Herkunft schwanken die Nährstoffgehalte stark, je nach Tierart, Haltungs-
system, Leistung-, Fütterung- und Alter der Tiere. Zur korrekten Bewertung können eigent-
lich nur Laboranalysen aus dem eigenen Betrieb dienen. Da die Probenahme bei organischen
Düngern schwierig ist, können Tabellenwerte aus der Literatur und den Beratungsempfehlun-
gen hinzu gezogen werden.

Tabelle 2:Nährstoffgehalte verschiedener Düngemittel nach (Hanus, Heyland, & Keller,
2008) (Schilling, 2000)

		N	NH₄-N	P₂O₅	P
Gülle	TS %				
Milchvieh	7,5	3,5	1,7	1,4	0,6
Mastbullen	7,5	3,8	1,9	1,8	0,8
Schweine	7,5	6,0	4,2	3,0	1,3
Geflügel	7,5	4,9	3,5	3,8	1,7
Stallmist	m³/t				
Rinder	1,2	5,0		3,5	1,5
Schweine	1,1	7,0		7,5	3,3
Hühner	1,3	13,0		8,0	3,5
Jauche	TS%				
Rinder	2,0	4,0	3,5	0,2	0,1
Schweine	2,0	5,0	4,5	0,9	0,4

Im Vergleich zu Mineraldüngern sollten die in organischen Düngemitteln enthaltenen Pflan-
zennährstoffe aufgrund ihrer zum Teil organischen Bindungsform hinsichtlich der zeitlichen
Verfügbarkeit für die Pflanze differenziert betrachtet werden. Dies gilt besonders für den
Pflanzennährstoff Stickstoff.

Zur Bewertung von Nährstoffen aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft kann das Mine-
raldüngeräquivalent herangezogen werden. Bei jährlicher Anwendung können für Stickstoff
70-80 bei Gülle (6% TM) und 40 bei Rottemist (25% TM) angenommen werden. Bei periodi-

scher Anwendung 60 bzw. 30 im Anwendungsjahr und 10-20 als Nachwirkung vom Vorjahr. Für Phosphor aus Gülle und Festmist kann mit einem Mineraldüngeräquivalent von 100 gerechnet werden. (Hanus, Heyland, & Keller, 2008)

3.3 Nährstoffaufnahme

Im Gegensatz zu anderen monokotylen Pflanzen entwickelt der Mais vier verschiedene Wurzeltypen. Nach den primären und sekundären Keimwurzeln entwickeln sich die Kronenwurzeln. Vor allem diese sind für die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanze verantwortlich. Als vierter Wurzeltyp entwickeln sich schließlich die Luftwurzeln. Der Mais reagiert zudem besonders empfindlich auf länger andauernde kühle Temperaturen während der Jugendentwicklung. Unter diesen Bedingungen ist die Wurzelentwicklung im Verhältnis zur Entwicklung des Blattapparates vermindert. Ein zu schwach entwickeltes Wurzelsystem muss unter diesen Bedingungen einen übermäßig entwickelten Blattapparat versorgen (Hanus, Heyland, & Keller, 2008). Die Maispflanze reagiert auf niedrige Tagesdurchschnittstemperaturen von unter 10 °C über mehrere Tage mit einer reduzierten Nährstoffaufnahme und verminderten Assimilationsleistung. Chlorotische Blattverfärbungen sind die Folge (Entrup Lütke & Schäfer, 2011). Nährstoffe werden bis zur vollständigen Ausbildung des Wurzelsystems hauptsächlich aus der Saatreihe herangezogen. Der in der Regel relativ weite Reihenabstand von 75 cm begünstigt so eine Verlagerung von Nährstoffen aus dem Zwischenreihenbereich in tiefere Bodenschichten und einen Verlust von Nährstoffen durch Erosion.

Für den Gegenstand der Arbeit sind vor allem die Aufnahme des Nährstoffs Phosphor, aber auch des Stickstoffs bedeutsam.

Die Nährstoffaufnahme ist in der Jugendentwicklung des Maises noch niedrig, bis zum acht-Blattstadium werden gerademal zwei Prozent des gesamten Stickstoffs und ein Prozent des gesamten Phosphors aufgenommen (Tabelle 3).

In der Phase zwischen Ende Jugendentwicklung und dem Ende der Blüte findet eine starke Trockenmassezunahme statt, und die Nährstoffaufnahme nimmt schnell zu. Bis zum Ende der Blüte werden drei Viertel des Phosphors und 85 % des gesamten Stickstoffs aufgenommen. Das Wurzelwachstum nimmt stark zu, und ab dem etwa dem Fahnschieben können auch die Nährstoffe aus dem gesamten Reihenzwischenraum verwertet werden.

Erst nach der Blüte ist das Wurzelwachstum abgeschlossen. Während der Kolbenreife werden die restlichen 25% des Phosphors und 15 % des Stickstoffs von der Maispflanze aufgenommen.

Tabelle 3: Zeitliche Nährstoffaufnahme in % der benötigten Gesamtnährstoffmenge nach (Entrup Lütke & Schäfer, 2011)

Stadium	Stickstoff N	Phosphor P
Jugendentwicklung(bis 8.Blatt)	2	1
Hauptwachstum(bis Ende Blüte)	85	73
Abreife	13	26

3.3.1 Aufnahme von Phosphor

Je nach Humusgehalt und Ausgangsgestein der Böden enthalten Ackerböden 0,02 bis 0,15 % Phosphor. Der Großteil des im Boden befindlichen Phosphors ist gebunden. Zwischen 25 und 60 % liegen in organischer Bindung vor. Nur ein geringer Anteil von ca. 0,1 % befindet sich in der Bodenlösung (Schilling, 2000). Die Phosphorversorgung eines Standortes wird in Gehaltsklassen in mg Phosphat/100g Boden charakterisiert (Tabelle 4).

Die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors ist stark von der Temperatur abhängig. Die Nachlieferung von Phosphat aus organischen Phosphaten ist bei niedrigen Temperaturen durch die langsam verlaufende Mineralisation gehemmt. Erst über +12°C findet eine vollständige Umsetzung statt (Lütke Entrup & Oehmichen, Lehrbuch des Pflanzenbaues, 2000). Zudem verläuft die Nachlieferung von an Bodenkolloiden gebundenen Phosphates in die Bodenlösung langsamer (Hanus, Heyland, & Keller, 2008).

Bei einem zu niedrigem oder zu hohem Boden pH-Wert wird die Phosphorverfügbarkeit ebenfalls eingeschränkt. Bei pH-Werten unterhalb von 5,5 und über 7 kommt es zunehmend zur Umwandlung von löslichem und labilen Phosphates in schwerlösliches stabiles Bodenphosphat (Entrup Lütke & Schäfer, 2011). Im sauren Bereich kommt es zur Bildung von Aluminium- und Eisenphosphaten. Steigt der pH-Wert über den Optimalbereich kommt es zur Bildung von Calciumphosphaten. Auf die Nachlieferung aus organischen Phosphaten wirkt sich ein höherer pH-Wert, durch eine erhöhte biologische Aktivität im Boden positiv aus.

Tabelle 4: Phosphatgehaltstufen nach (VDLUFA, 2010)

Gehaltstufe	Alle Bodenarten	Anmoor	Düngeempfehlung
	CAL Methode	Moor	
	mg P ₂ O ₅ /100g Boden	mg P ₂ O ₅ /100ml	kg P ₂ O ₅ /ha
A (sehr niedrig)	<5	<3	Abfuhr + 60 kg/ha
B (niedrig)	5-9	3-6	Abfuhr + 60 kg/ha
C (anzustreben, optimal)	10-20	7-14	Abfuhr
D (hoch)	21-30	15-21	Abfuhr/2
E (sehr hoch)	>30	>21	keine

Die Anlieferung von Phosphor an die Wurzel erfolgt überwiegend über die Diffusion. Einen direkten Einfluss auf die Phosphordiffusion hat das Wasserhaltevermögen des Standortes. Bei Trockenheit ist die Diffusion gehemmt. Die mikrobielle Aktivität eines Bodens hängt vom Luft-Wasserhaushalt ab. So wirken sich indirekt die Boden-physikalischen Eigenschaften eines Standortes auf die P-Konzentration in der Bodenlösung aus (Lütke Entrup & Oehmichen, Lehrbuch des Pflanzenbaues, 2000).

Durch nicht angepasste Bewirtschaftung kann es Schadverdichtungen im Boden kommen, die eine starke Veränderung des Luft-Wasserhaushaltes zur Folge haben. So das, kommt es ebenfalls zu den damit verbundenen Problemen.

Phosphor wird von der Maispflanze hauptsächlich als Orthophosphat aufgenommen, am häufigsten als H₂PO₄- und HPO₄- Ionen. Die erste organische Phosphorverbindung scheint das ATP zu sein. Unter Esterbildung geht der Phosphor verschiedenste Verbindungen in der Pflanze ein. In der Pflanze ist der Phosphor in zahlreichen sehr wichtigen Verbindungen enthalten z.B. Phospholipiden, Ribonucleinsäuren und Desoxyribonucleinsäuren (Schilling, 2000).

Bei einem Mangel an Phosphor zeigen sich Nährstoffmangelsymptome zuerst an den älteren Blättern da Phosphor in der Pflanze mobil ist und bei einem Mangel Phosphor in die jüngeren Blätter verlagert wird. Die Maispflanzen weisen im Mangel einen kümmerlichen Wuchs auf,

in Folge des gestörten Nucleinsäurehaushaltes wird die Zellteilung gehemmt. Durch P-Mangel wird die Dunkelreaktion der CO_2 Assimilation gehemmt und es kommt zur Anthocyaninbildung. Außerdem zeigen Maispflanzen Starrtracht in Folge der gehemmten Zellteilung bei weiterlaufender Chlorophyll und Zellwandbildung (Schilling, 2000).

3.3.2 Aufnahme von Stickstoff

In Ackerböden sind je nach Humusgehalt des Bodens 2000 bis 20000 kg/ha Stickstoff enthalten. Der Stickstoff liegt anorganisch- oder organisch gebunden oder gelöst in der Bodenlösung im Boden vor.

Von der Maispflanze können über die Wurzeln die mineralischen Stickstoffverbindungen Ammonium und Nitrat aufgenommen werden. Organisch gebundener Bodenstickstoff muss vor der Aufnahme durch die Pflanzenwurzeln durch Mikroorganismen im Boden mineralisiert werden um in Form von Ammonium oder Nitrat aufgenommen werden zu können. Die mengenmäßige Nachlieferung von mineralischem Stickstoff aus der organischen Substanz unterliegt starken Schwankungen und wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Als einflussreichste sind hier der Gehalt an organischer Substanz des Bodens, die Bodentemperatur, die Bodenfeuchte, die Bodenreaktion und die Intensität der Bodenbearbeitung zu nennen.

Bedingt durch den i.d.R. weiten Reihenabstand von 75cm und die verhaltende Nährstoffaufnahme und Durchwurzelung des Zwischenreihenraumes in der Jugendentwicklung sind Nährstoffe verlustgefährdet. Zwischen Ausbringung und der Hauptbedarfsperiode liegen bei Ausbringung vor der Saat mehrere Wochen. Zum einen besteht die Gefahr dass im Boden Phosphat und Stickstoff durch Erosion verloren gehen. Zum anderen kann durch Niederschlag Nitrat in tiefere Bodenschichten oder ins Grundwasser gelangen. Um diesem Problem entgegenzuwirken werden in der Praxis verschiedene Strategien angewendet. Durch Teilung der Stickstoffdüngung in zwei Gaben können Verluste vermieden werden. Außerdem kann dabei durch eine Bodenuntersuchung möglicherweise die Düngermenge reduziert werden. Als weiterer Ansatz besteht darin, mit Nitrifikationshemmern zu arbeiten. Auf diese Weise liegt N länger als Ammonium vor, das in Mineraldüngern und Gülle weniger auswaschungsgefährdet ist (Entrup Lütke & Schäfer, 2011).

4 Verfahrenstechnische Grundlagen Unterfußdüngung

4.1 Unterfußdüngung

Zur Unterfußdüngung werden im Maisanbau in Deutschland Mineraldünger eingesetzt. Organische Dünger finden sich nur in betrieblichen Einzellösungen, die bisher nicht serienreif sind. Zurzeit befinden sich daher am Markt keine praxistauglichen Lösungen, die Maisausaat und die Gülleunterfußdüngung in einem Arbeitsgang durchzuführen. Alle nachfolgenden Darlegungen beziehen sich daher auf die mineralische Unterfußdüngung.

Trotzdem sei darauf hingewiesen, dass einzelne Versuchsergebnisse vorliegen, die die Frage klären sollten, ob mit einer Unterfußdüngung mit Gülle gleiche Ergebnisse zu erreichen sind wie mit mineralischem Unterfußdünger. So verglich die Landwirtschaftskammer Weser-Ems in einem dreijährigen Versuch mit unterschiedlichen Unterfußdüngern mineralische Varianten wie DAP und KAS und Wirtschaftsdüngemittelvarianten wie Schweinegülle und Hühner trockenkot. Die Ergebnisse zeigen das mit 6,5 m³/ha Schweinegülle schon das gleiche Ertragsniveau wie mit der Unterfußdüngung von 1,3 dt/ha KAS + DAP erreicht wurde. Eine erhöhte Gölledüngung, mit 13 m³/ha erreichte einen nochmals um vier % erhöhten Kornertrag, der aber nicht abgesichert werden konnte. Im Versuch wurde die Gülle zuvor eingeschlitz und danach in einer weiteren Überfahrt wurde der Mais ausgesät. Das Gülleband befand sich in acht bis zehn cm Tiefe neben dem Saatkorn.

4.2 Düngeverfahren Unterfußdüngung

Bei dem Düngungsverfahren der Unterfußdüngung wird in einem Arbeitsgang die Maisausaat und die Reihendüngung durchgeführt. Dabei wird ein Düngerband ca. fünf cm neben und fünf cm unter dem Maiskorn abgelegt (Abbildung 1). Die Platzierung unter und neben dem Saatkorn ermöglicht der Maiswurzel den Dünger schnell zu erwachsen. Der Abstand von fünf cm verhindert Schäden durch Verätzung an den Maiswurzeln.

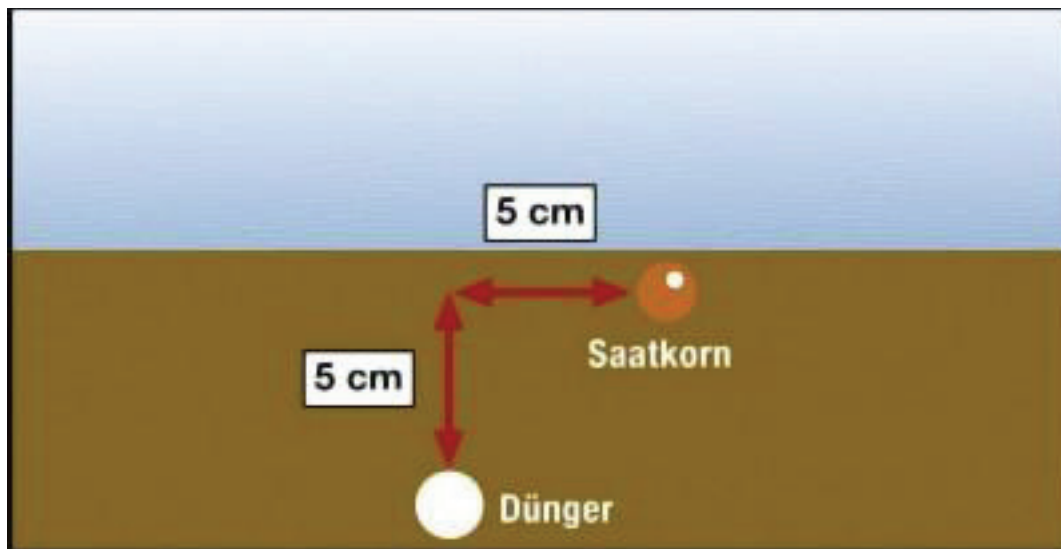


Abbildung 1: Platzierung der Unterfußdünger (KWS)

Zur Anwendung kommen in der Regel 100 bis 200 kg/ha leicht verfügbarer Ammoniumphosphatdünger wie z.B. Diammonphosphat (DAP). In Tabelle 5 sind Nährstoffgehalte der gängigsten Unterfußdünger dargestellt.

Tabelle 5: Nährstoffgehalte und Preise von Unterfußdüngern

Dünger	Nährstoffgehalt, %		Preis €/dt
	N	P ₂ O ₅	
MAP	11	52	47,50
DAP	18	46	49,30
NP 20/20	20	20	

Durch den leicht löslichen Phosphatanteil in den applizierten Mineraldüngern wird eine sehr hohe Phosphatkonzentration in unmittelbarer Nähe zur Maiswurzel erzeugt. Der Anteil des Stickstoffes in Form von Ammonium soll durch seine versauernde Wirkung auf den Boden pH-Wert die Phosphatverfügbarkeit erhöhen.

4.3 Technik der Unterfußdüngung

Gegenwärtig sind in Deutschland Einzelkornsäegeräte von vier bis zu 24 Reihen bei 75 cm Reihenabstand erhältlich. Der Großteil der Hersteller hat Maschinen im Programm die sich

zur Unterfußdüngung mit Mineraldüngern eignen. Bei Anbaumaschinen werden Düngertanks von 700 bis 1300 l verbaut, bei den aufgesattelten Maschinen mit großem Düngertank bis zu 7000 l (Abbildung 2). Zur Reduzierung des Bodendrucks und zur Steigerung der Schlagkraft besteht das Hauptangebot aus aufgesattelten Maschinen mit großem Sä- bzw. Düngewagen. Zusatz tanks für die vordere Dreipunkthydraulik des Schleppers enthalten je nach Größe des Schleppers 1000 bis 2000 l Dünger zusätzlich. Weiterentwicklungen der konventionellen Einzelkornsäaggregate erlauben heute eine pneumatische Saatgutverteilung aus dem Säwagen auf die einzelnen Säaggregate bei einem Fassungsvermögen bis zu 1000 l. Dadurch kann die Flächenleistung je Befüllung deutlich gesteigert werden. Neben der Maisaussaat mit konventionellen Einzelkornsägeräten gibt es auch Systeme zur Saat mit herkömmlichen Combidrillmaschinen, die aber mit wesentlich geringeren Reihenabständen arbeiten.

Durch die z. T. wesentlich größere Masse der Maschinen mit Unterfußdüngung und dem zusätzlich mitgeführten Dünger muss der Schlepper auch entsprechend dimensioniert werden.



Abbildung 2: Aufgesattelte Maschine mit pneumatischer Düngerverteilung (Quelle: Horsch)



Abbildung 3: Anbaumaschine ohne UFD (Quelle :Monosem)

Besonders bei Anbaumaschinen und v.a. wenn zusätzlich ein Frontdüngertank verbaut wird, muss auf den Bodendruck geachtet werden, um Schadverdichtungen bei der Saat zu vermeiden. Mit angepasstem Reifendruck und Mehrfachbereifung kann diesem Problem begegnet werden. Bei der Wahl des Reifeninnendrucks bleibt aufgrund der Tragkraft des Reifens und der hohen Last durch Düngemittel und Zusatztanks nicht viel Spielraum.

Die Befüllung der Düngertanks erfolgt bei kleinen Mengen aus dem Sack oder einem Bigbag mit der Hand oder einer zusätzlichen Maschine zum Laden. Bei größeren Tanks kann die Befüllung über Förderschnecken vom Anhänger erfolgen und durch einen zusätzlichen Lader mit Schaufel. So wird je nach Verfahren zusätzlich Transport- und Ladetechnik sowie Arbeitskraft benötigt.

Der Befüllrhythmus von Saatgut und Dünger ist in der Regel nicht identisch. Daraus folgt, dass nicht beide Tanksysteme gleichzeitig gefüllt werden können oder das installierte Volumen nicht ausgenutzt wird. In jedem Fall ist mit höheren Befüllzeiten zu rechnen, die allerdings von vielen Faktoren abhängen und schwer quantifizierbar sind. In der nachfolgenden betriebswirtschaftlichen Bewertung wird dieser erhöhte Aufwand mit durch den Preis (siehe

weiter unten) der Maislegemaschine mit Unterfußdüngungseinrichtung von 69.000 € umgesetzt.

Die Anschaffungspreise für Einzelkornsägeräte wird hauptsächlich von der technischen Ausstattung beeinflusst. Maschinen die über eine Unterfußdüngungseinrichtung verfügen sind erheblich teurer gegenüber einfachen Maschinen ohne diese, da zusätzlich Düngerschare, Tankeinrichtung, Befüllereinrichtung usw. montiert werden und Rahmenbauteile durch zusätzliche Last wesentlich stärker dimensioniert sind. Bei angebauten Maschinen liegen die Preise weit unter denen der angehängten, da kein zusätzliches Fahrwerk benötigt wird. Jedoch kann bei großen Reihenanzahlen aufgrund des hohen Gewichtes, besonders bei Maschinen mit Unterfußdüngung nur auf angehängte Maschinen zurückgegriffen werden kann.

Eine Einzelkornsämaschine mit acht Reihen, Unterfußdüngungseinheit, großem Tank, und extra Fahrwerk kostet je nach Händler und Hersteller ca. 60 000 Euro. Bei den relativ günstigeren Maschinen ohne Unterfußdüngungseinheit, die meist angebaut angeboten werden, mit acht Reihen kostet ca. 30 000 Euro.

5 Material und Methoden

5.1 Pflanzenbauliche Ergebnisse bei der Unterfußdüngung

Um einen möglichst repräsentativen Überblick über die Auswirkungen der Unterfußdüngung auf verschiedenen Standorten zu erhalten, sollten möglichst umfangreiche Versuchsergebnisse aus dem norddeutschen Raum herangezogen werden. Außer vereinzelt vorhandenen Versuchen der Industrie standen jedoch nur die Versuche der Landwirtschaftskammern (LWK) Westfalen-Lippe, Hannover, Schleswig-Holstein in Veröffentlichungen zur Verfügung. Allerdings liegen sie aus vielen Jahren (1997 bis 2011), von unterschiedlichen Standorten und als mehrjährige Versuche vor, so dass sie für die Heranziehung in der Arbeit als ausreichend eingeschätzt werden können. In den Versuchen wurden jeweils Erträge von Varianten mit und ohne Unterfußdüngung verglichen. Zudem wurden in einzelnen Versuchen weitere Faktoren wie Düngemittel, Düngerform bzw. Düngungshöhe variiert, wie Tabelle 6 zu entnehmen ist.

Darüber hinaus auch vereinzelt vorhandene einjährige Versuchsergebnisse wurden nicht dargestellt.

Tabelle 6: Versuchsübersicht

Lfd. Nr.	LWK		Jahr	ausgewertete Versuche	Faktoren
1	Nordrhein-Westfalen ¹	SM	2001-2003	4	Unterfußdüngung
2	Niedersachsen ²	SM	1995-1997	3	Unterfußdüngung Düngemittel
3	Schleswig-Holstein ³	SM	1996-1998	2	Unterfußdüngung Düngemittel
4	Nordrhein-Westfalen ¹	KM	2001-2003	3	Unterfußdüngung
5	Niedersachsen ⁴	KM	1997-1999	1	Unterfußdüngung Org. vs. min. Düngung Düngungshöhe
6	Nordrhein-Westfalen ⁵	KM	1993-1998	19	Unterfußdüngung Düngemittel Düngungshöhe

SM = Silomais, KM = Körnermais

¹ Landwirtschaftskammer Westfalen/Lippe 2004

² Landwirtschaftskammer Hannover 1997

³ Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein 1998

⁴ Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2000

⁴ Landwirtschaftskammer Niedersachsen 1999

⁵ Jacobs 2002, Ertragsangaben relativ

Die Versuche zum Thema Unterfußdüngung sind in die Untersuchungen zum Körnermais und solche zum Silomais zu unterscheiden. Diese unterscheiden sich sowohl in den Ergebnissen sowie auch teilweise hinsichtlich des Versuchsaufbaus sowie der überprüften Faktoren. In drei Versuchen wurde mit Körnermais gearbeitet und in drei Versuchen mit Silomais.

Es wurden verschiedene Parameter bestimmt, um die Effekte durch die Unterfußdüngung darzustellen. Für Silomais als Futtermittel ist neben dem absoluten Trockenmasseertrag vor

allem der Energieertrag je Hektar von entscheidender Bedeutung. Außerdem ist Mais ein Stärke lieferndes Futtermittel, daher wurde auch der Parameter Stärkegehalt (absolut und in % der TM) mit bestimmt. Beim Körnermais ist für den Erzeuger vor allem der Kornertrag von Bedeutung. Zudem wurde der Trockensubstanzgehalt zur Ernte als Indikator für das Abreifeverhalten und eventuell zu beachtende Trocknungskosten herangezogen.

5.1.1 Körnermais

Bei der Ernte des Körnermaises wird lediglich die Karyopse geerntet. Restpflanze und auch Lieschblätter sowie Kolbenspindel verbleiben auf dem Feld. Daher wird bei Versuchen zum Körnermais in erster Linie der Ertrag untersucht. Weiterhin wird in der Regel der Trockenmassegehalt des Korns als Indikator für das Abreifeverhalten erfasst.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Versuche mit Körnermais

Ver- such	Standortbedingungen	UFD Menge	Ertrag (86 %TM) dt/ha bzw. rel.	TM-Gehalt %
4	Gülledüngung 2 Standorte hS, P in E, 1 Standort lS, P in D,	Ohne	107,1	69,8
		Mit	114,8	70,2
		GD 5 %	6,9	0,7
5	Gülledüngung hS, P in D,	Ohne	81,1	64,5
		DAP + KAS 1,3 dt/ha	91,9	65,0
		Schweinegülle 6,5m ³ /ha	93,5	64,8
		Schweinegülle 13m ³ /ha	97,2	65,5
		GD 5 %	5,3	0,5
6	5 Versuche, P in C	Ohne	100	
		Nur N	100	
		P ₂ O ₅ 23 kg/ha	106	
		46 kg/ha	108	
		69 kg/ha	110	
	14 Versuche, P in D	Ohne	100	
		Nur N	101	
		P ₂ O ₅ 23 kg/ha	103	
		46 kg/ha	104	
		69 kg/ha	103	

Versuch-Nr. vgl. Tabelle 6

Untersuchungen der LWK Westfalen-Lippe der Jahre 2001 bis 2003 beschäftigten sich mit den Auswirkungen der Unterfußdüngung auf den Kornertrag. Hierzu wurden mehrjährige Versuche an drei Standorten durchgeführt (Tabelle 8).

Die Versuchsstandorte sind alle sehr hoch mit Phosphor, in Klasse E versorgt. Alle Standorte wurden regelmäßig mit Gülle gedüngt. Aber die Bodengüte unterscheidet die Flächen. Wehnen kennzeichnet eine Ackerzahl von 20 und die Bodenart humoser Sand. Essen hat eine Ackerzahl von 40 und auch humosen Sand und in Bersenbrück liegt lehmiger Sand mit einer Ackerzahl von 60 vor (Tabelle 9).

Die Erträge lagen zwischen 79,6 dt/ha und maximal 128,5 dt/ha, im Mittel der Jahre 2001 bis 2003 und über alle Standorte lagen die Varianten mit Unterfußdüngung um 7,7 dt/ha höher gegenüber der Variante ohne Unterfußdüngung. Im Jahr 2003 war der Sommer sehr warm und trocken, bei allen Ackerkulturen musste mit Ertragseinbußen aufgrund der extremen Trockenheit gerechnet werden. Aus diesem Grund sollten die Jahre 2001 und 2002 extra betrachtet werden. Im Mittel der Jahre 2001 und 2002 wurden an den drei Versuchsstandorten ein abgesicherter Mehrertrag von 12,3 dt/ha erreicht.

Tabelle 8: Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag an drei Standorten 2001 bis 2003

Standort	2001		2002		2001- 2002		2003		2001- 2003	
	Abs. dt/ha	rel. 100 = 118.7	Abs. dt/ha	rel. 100 = 109.5	Abs. dt/ha	rel. 100 = 113,5	Abs. dt/ha	rel. 100 = 105.9	Abs. dt/ha	rel. 100 = 110.9
<u>Wehnen</u>										
mit	120.1	101	108.8	99	114.5	101	113.3	107	114.5	103
ohne	96.3	81	96.4	88	96.4	85	108.9	103	100.5	91
<u>Essen</u>										
mit	122.4	103	119.4	109	120.9	107	79.6	75	107.1	97
ohne	115	97	108.6	99	111.8	99	84.6	80	102.7	93
<u>Bersenbrück</u>										
mit	128.5	108	118.3	108	123.5	109	122.4	116	123.1	111
ohne	122.4	103	105.3	96	113.9	100	126.8	120	118.2	106
<u>Mittel</u>										
mit	124.1	105	115.5	105	119.6	105	105.1	99	114.8	103
ohne	113.3	96	103.4	94	107.3	95	106.7	101	107.1	97
GD 5% Orte			5.8	5.3	4.8	40.2				
GD 5% UFD			4.7	4.3	3.9	3.4	3.4	3.3	6.9	6.2

Betrachtet man Orte und Jahre für sich wird deutlich, dass große Schwankungen sowohl zwischen Orten und Jahren bestehen (Abbildung 4). Lediglich in Wehnen brachte die Unterfußdüngung in jedem Jahr einen Ertragsvorteil. Auf den anderen beiden verbleibenden Standor-

ten führte die Unterfußdüngung im Jahr 2003 zu keinen Ertragsvorteilen, tendenziell lagen in diesem Jahr die Varianten mit Unterfußdüngung sogar unter denen mit alleiniger Flächendüngung. Im Mittel der Standorte führte die Unterfußdüngung im Jahre 2003 zu einem Ertragsverlust 1,5 %. Am Standort Wehnen brachte die Unterfußdüngung einen deutlichen Ertragsvorteil von 12 %. Auch in Essen und Bersenbrück brachte die Unterfußdüngung einen Ertragsvorteil, dieser lag jedoch im Schnitt unter 5 % und ist nicht statistisch abgesichert.

Tabelle 9: Übersicht Standorte Wehnen Essen Bersenbrück

Standort	Wehnen	Essen	Bersenbrück
Ackerzahl	20	40	60
Bodenart	humoser Sand	humoser Sand	Lehmiger Sand
P-Versorgung	E	E	E

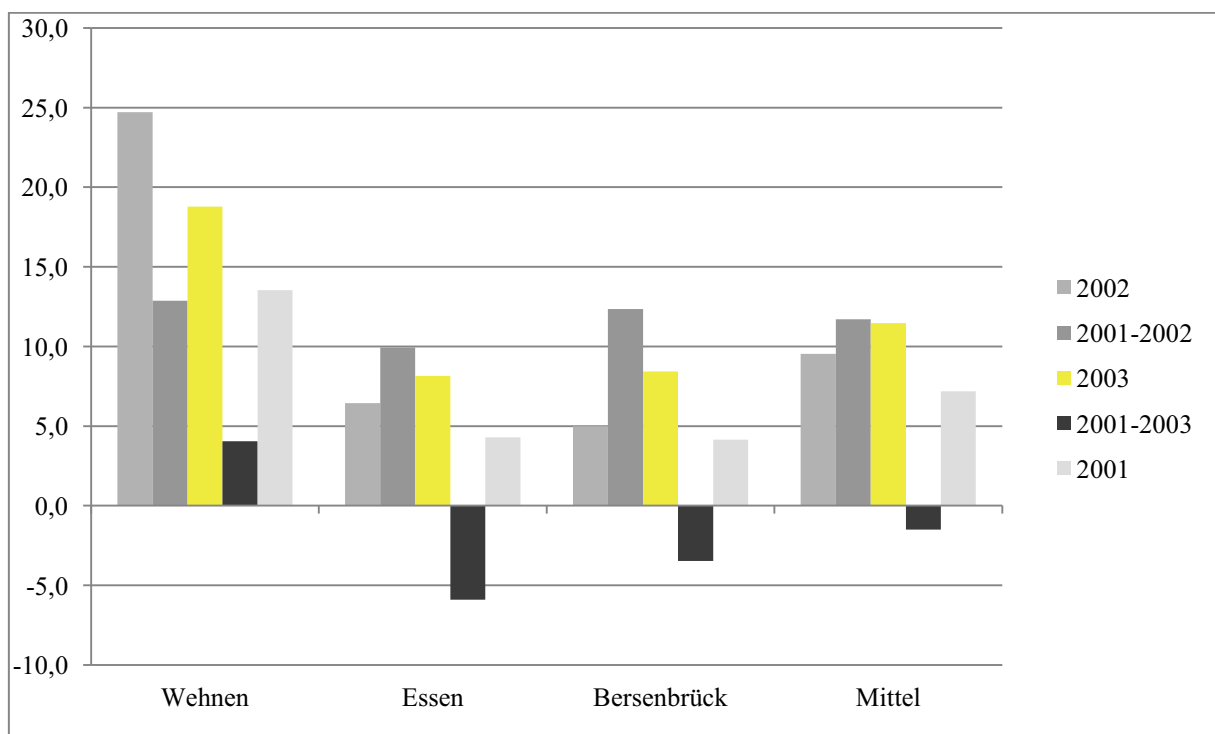


Abbildung 4: TM-Kornertrag Ertragsvorteil in % drei Standorte 2001 bis 2003

Die Mindererträge im Jahr 2003 erklären sich die Versuchsansteller mit der Trockenheit in diesem Jahr, wo offensichtlich die weiter entwickelten UFD-Varianten schneller in Trockenstress gerieten, als die zunächst schwächeren ohne UFD Varianten. Dieser Effekt trat in Weh-

nen nicht auf da es aufgrund der Grundwassernähe des Standortes nicht zu Trockenstress kam.

Am Standort Wehnen führte die Unterfußdüngung zu stärkeren Ertragsvorteilen. Dieser Standort weist die geringste Bodengüte aus. Die Bodenart steht also in Beziehung mit Wirkung der UFD. Der humose Sand in Wehnen hat eine Ackerzahl von 20 (Tabelle 9) gegenüber den Standorten Essen und Bersenbrück mit einer Ackerzahl von 40 und 60. Am Standort Wehnen wurde im Mittel von 2001 und 2002 ein Mehrertrag von 18 dt/ha. erreicht und im Mittel 2001 bis 2003 einen Mehrertrag von 14 dt/ha, während in Essen 8 bzw. 4 dt/ha rel. und 9 bzw. 5 dt/ha rel. in Bersenbrück.

Der Ertragsparameter TM-Gehalt im Korn zur Ernte ist in Tabelle 10 dargestellt. Dieser lag in den Versuchen in den Jahren sowie an allen Standorten in der Variante mit Unterfußdüngung tendenziell geringfügig über der Variante ohne, jedoch nicht statistisch abgesichert. Ein Unterschied am Standort Wehnen wie er beim Kornertrag vorlag konnte nicht festgestellt werden.

Tabelle 10: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Gehalt im Korn an drei Standorten 2001 bis 2003

Standort	2001		2002		2001-2002		2003		2001-2003	
	Abs.	rel.	Abs.	rel.	Abs.	rel.	Abs.	rel.	Abs.	rel.
UFD	%	100=70%	%	100=67.9%	%	100=68.6%	%	100=72.8%	%	100=70%
<u>Wehnen</u>										
mit	67.9	97	67.7	100	67.8	99	72.3	99	69.3	99
ohne	67.6	97	67.5	99	67.6	99	72	99	69	99
<u>Essen</u>										
mit	70.7	101	68.6	101	69.7	102	76	104	71.8	103
ohne	69.9	99	69.5	102	69.5	101	75.2	103	71.4	102
<u>Bersenbrück</u>										
mit	70	100	66.9	99	68.5	100	71.6	98	69.5	99
ohne	70.3	100	67.1	99	68.7	100	69.7	96	69	99
<u>Mittel</u>										
mit	70.3	100	67.7	100	68.6	100	73.3	100	70.2	100
ohne	69.8	100	68	100	68.6	100	72.3	99	69.8	100
GD 5 % Orte			0.3	0.4	0.8	1.2				
GD 5 % UFD			0.2	0.3	0.7	0.9	0.9	1.2	0.7	0.9

Die Landwirtschaftskammern (Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, 2004) führte im Jahr 2004 einen Versuch zur Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag bei unter-

schiedlichen Reihenweiten auf zwei Standorten durch. Es wurden eine Variante ohne Unterfußdüngung und eine Variante mit Unterfußdüngung in Höhe von 1,0 dt/ha NP 20/20 sowie eine Variante in doppelter Höhe angelegt. Die beiden Versuchsstandorte unterscheiden sich in der Bodenqualität. Am Standort Essen weist der humose Sand eine Ackerzahl von 40 und Phosphorversorgung in Gehaltsstufe C auf, während in Merfeld die Bodenart Sand mit einer Ackerzahl von 28 vorliegt. Die Phosphorversorgung des Bodens in Merfeld liegt in Gehaltsklasse D.

Die Kornerträge lagen im Mittel über beide Standorte bei der Variante mit 75 cm Reihenabstand zwischen 130,9 dt/ha und 136,6 dt/ha (Tabelle 11).

Tabelle 11: Ertrag und Ertragsvorteil im Reihenweitenversuch bei Körnermais

Standort	Kornertrag	UFD 1		UFD 2	
		Ertragsdifferenz	Ertragsvorteil	Ertragsdifferenz	Ertragsvorteil
UFD	dt/ha	dt/ha	%	dt/ha	%
<u>Essen</u>					
Ohne	135.7	-2	-1.5	4.5	3.3
UFD 1	133.7				
UFD 2	140.2				
<u>Merfeld</u>					
ohne	126,0	5.8	4.6	6.9	5.5
UFD 1	131.8				
UFD 2	132.9				
<u>Mittel</u>					
ohne	130.9	1.9	1.5	5.7	4.4
UFD 1	132.8				
UFD 2	136.6				

Am Standort Essen führt die Unterfußdüngung von 1,0 dt/ha NP 20/20 zu einem Minderertrag von 1,5 %. Die Variante in doppelter Höhe brachte dagegen einen um 4,5 dt/ha und 3,3 % höheren Kornertrag gegenüber der Variante ohne Unterfußdüngung.

Die Ergebnisse aus Merfeld zeigen ein anderes Bild. Hier führte schon die erste Stufe zu einem Ertragsvorteil von 4,6 %. Durch die doppelte Menge konnte hier der Kornertrag um weitere 0.9 % auf 5,5 % gegenüber der Variante ohne Unterfußdüngung gesteigert werden (Abbildung 5).

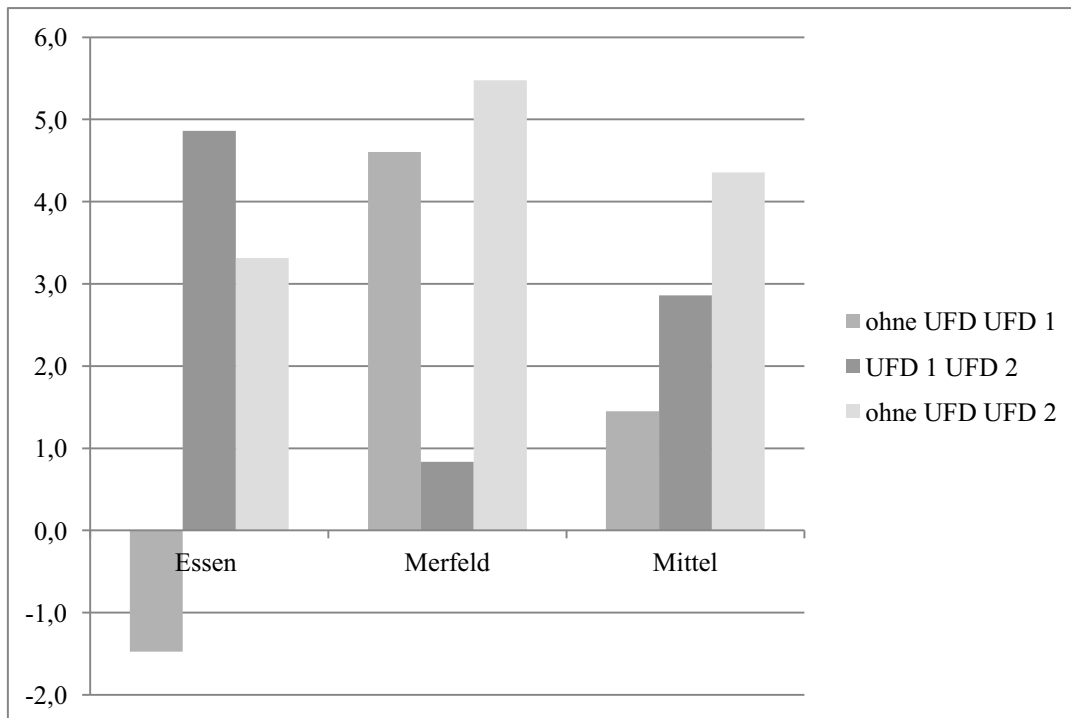


Abbildung 5: TM-Kornertrag Ertragsvorteil in % zwei Standorte 2004 NRW

Der größere Effekt trat in diesem Versuch in Merfeld auf. Dort herrscht eine hohe Versorgung mit Phosphor in Gehaltsklasse D und der Sandboden hat eine Ackerzahl von 28.

Der Standort Essen, mit geringerem Effekt hat eine Phosphorversorgung in Gehaltsklasse C und eine Ackerzahl von 40. Diese Ergebnisse zeigen, dass offenkundig die Standortbedingungen für die Realisierung der Entwicklungsvorteile aus der UFD entscheidender sind, als die Gehaltsklasse des Bodens für Phosphor, siehe auch (Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, 2003).

Am Standort Wehnen wurde in den Jahren von 1997 bis 1999 ein Versuch zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Unterfußdünger auf den Körnermaisenertrag durchgeführt. Untersucht wurden der Kornertrag und der TS-Gehalt im Korn zur Ernte. Die Bodenart in Wehnen ist humoser Sand mit einer Ackerzahl von 20 und die Phosphorversorgung liegt in Gehaltsstufe D. Die Ergebnisse der Varianten ohne Unterfußdüngung und der mit mineralischer Unterfußdüngung mit Ammoniumphosphat sind in (Tabelle 12) dargestellt.

Tabelle 12: Kornerträge im Unterfußdüngerversuch am Standort Wehnen 1997 - 1999

Düngung	TM-Gehalt %	Kornertrag abs. dt/ha	Kornertrag rel. 100% = 91.9
ohne UFD	64.5	81.1	88
UFD	65,0	91.9	100
GD 5%	0.5	5.3	6

Im Mittel über die Jahre 1997 bis 1999 führte die mineralische Unterfußdüngung mit Ammoniumphosphat zu statistisch abgesicherten höheren Kornertrag von 10,8 dt/ha. Im Mittel konnte durch die UFD der TM-Gehalt zur Ernte gesichert angehoben werden. Allerdings ist der Anstieg des TM-Gehaltes mit 0,5 % so gering, dass auf eine Umsetzung in der betriebswirtschaftlichen Vergleichsrechnung verzichtet wird.

Jacobs von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen überprüfte anhand umfangreicher Versuchsserien den Einfluss verschiedener NP-Unterfußdüngungsvarianten auf den Körnermaisenertrag in Abhängigkeit von der Phosphorbodenversorgung (Jacobs, 2010). Geprüft wurden Varianten ohne Unterfußdüngung, welche nur mit Stickstoff und verschiedene Phosphorunterfußdüngungsstufen. Der Kornertrag für 5 Versuche in Gehaltsklasse C und 14 in Gehaltsklasse D sind in (Tabelle 13, Abbildung 6) zusammengefasst.

Tabelle 13: Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag rel. in Abhängigkeit von der Bodenversorgung an insgesamt 19 Standorten nach (Jacobs, 2010)

UFD	Menge	Kornertrag rel.	
		Gehaltsklasse C (5Versuche)	Gehaltsklasse D (14 Versuche)
ohne		100	100
nur N	25 – 54 kg/ha	100	101
P ₂ O ₅	23 kg/ha	106	103
P ₂ O ₅	46 kg/ha	108	104
P ₂ O ₅	69 kg/ha	100	103

Die Varianten, die als Unterfußdüngung nur Stickstoff erhalten haben, zeigen keine nennenswerten Ertragsvorteile. Bei den Varianten, die zusätzlich Phosphor erhalten haben, zeigt sich eine Abhängigkeit Ertragswirkung von der Phosphorgehaltsklasse des Standortes. In den Versuchen mit den C-versorgten Standorten ist der Ertrag bis zur höchsten P-Stufe angestiegen. Bei den Versuchen in Gehaltsklasse D führte nur die erste Stufe von 23 kg/ha P₂O₅ zu einem um drei Prozent höheren Kornertrag, die höheren Stufen führten zu keinen weiteren Ertragssteigerungen.

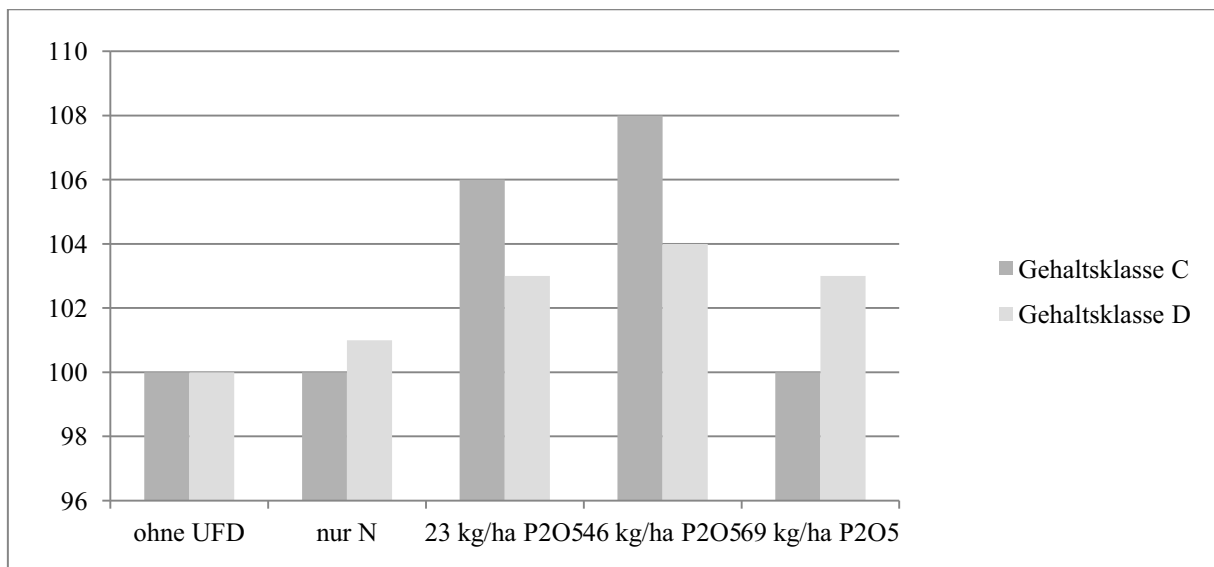


Abbildung 6 : Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag rel. in Abhängigkeit von der Bodenversorgung

Zusammenfassung der Wirkung der UFD bei Körnermais

Alle Versuche zur Wirkung der Unterfußdüngung auf den Kornertrag zeigen eine Abhängigkeit zur Phosphorversorgung des Standortes. Außerdem kann festgestellt werden, dass ebenfalls zur Bodenart eine Abhängigkeit besteht. Nicht in jedem Jahr kann auf jedem Standort mit einer positiven Wirkung gerechnet werden. In einzelnen Jahren kann die Unterfußdüngung zu Mindererträgen führen.

Tabelle 14: Ergebnisse der Versuche und Ableitungen für Variantenrechnung mit Körnermais

	Versuch	Ertragssteigerung Kornertrag %
Ergebnisse der Versuche		
Nordrhein Westfalen, drei Standorte, 2001-2003	4	7.5
Niedersachsen, ein Standort, 1997-1999	5	13.5
Nordrhein Westfalen, fünf Versuche in P-Gehaltsklasse C, 1993-1998	6	10
Nordrhein Westfalen, 14 Versuche in P-Gehaltsklasse D, 1993-1998	6	4
Ableitung für Variantenrechnung		
Mittel		7.5
P-Gehaltsklasse C		10
P-Gehaltsklasse D und E		5

Für die nachfolgenden betriebswirtschaftlichen Kalkulationen wurden aus den Versuchsergebnissen die in der Tabelle 14 dargestellten Ertragssteigerungen durch Unterfußdüngung ausgewählt.

5.1.2 Silomais

Beim Silomais sind, anders als beim Körnermais, nicht nur der reine Trockenmasseertrag und TS-Gehalt sondern vielmehr auch der Energieertrag in MJ oder GJ je ha sowie der Energiegehalt je kg TM zu beachten. Weiterhin ist Mais eine Stärke liefernde Pflanze, womit auch der Stärkegehalt, bzw. –ertrag in den Blickpunkt gerät. An dieser Stelle soll vor allem der Silomais als Futtermittel betrachtet werden. Bei der energetischen Nutzung treten die genannten Qualitätsparameter hinter den Gesamttrockenmasseertrag je Hektar zurück.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Versuche mit Silomais

Ver- such	Standort- bedingungen	UFD Menge	Ertrag			Futterqualität		
			TM dt/ha	Energie GJ NEL je ha	Stärke dt/ha	Energie MJ NEL je kg TM	Stärke % TM	TM %
1	Gülledüngung hS; P in D, E	Ohne	173,9	111,0	55,1	6,4	31,3	31,7
		DAP	182,0	115,3	56,5	6,3	30,7	31,5
		GD 5 %	6,9	3,5	2,6	0,1	1,3	0,7
2	Gülledüngung 2 Standorte hS, P in D, 1 Standort sL, P in D	Ohne	141,2	91,6	46,2	6,5	32,3	30,7
		DAP	143,6	93,2	48,5	6,5	33,3	30,1
		KAS/TSP 46/46	146,3	95,2	49,8	6,5	33,5	32,3
		KAS 46 GD 5 %	140,2	91,2	46,8	6,5	32,8	30,4
3	P in Kl. C	Ohne	144,5	93,8	41,1	6,49	28,4	31,5
		MAP	156,1	101,3	47,0	6,49	30,1	32,8
		NP 20/20	151,7	98,5	44,8	6,49	29,5	32,1
		Urania	143,1	91,9	39,8	6,43	27,8	31,2
		KAS + Urania	141,6	91,9	40,6	6,49	28,7	31,8

Versuch-Nr. vgl. Tabelle 6

Trockenmasseertrag

Augenscheinlichste Bezugsgröße auch beim Silomais ist der Trockenmasseertrag. Bisher wurde davon ausgegangen, dass durch den Einsatz der Unterfußdüngung die Erträge gesteigert bzw. zumindest gesichert werden. Versuche der LWK Westfalen-Lippe zeichnen ein anderes Bild. Alle fünf Standorte in einem überwiegend dreijährigen Versuch sind humose Sande mit Ackerzahlen zwischen 25 und 42. Sie sind sehr hoch mit Phosphor versorgt und werden regelmäßig mit Gülle gedüngt. Es wurde beobachtet, dass die Unterfußdüngung im Mittel über Orte und Jahre keinen signifikant absicherbaren Ertragsvorsprung gegenüber alleiniger Flächendüngung liefert. Tendenziell übertreffen die Varianten mit Unterfußdüngung aber die ohne (98 % gegen 102 % Relativertrag) (Tabelle 16).

Tabelle 16: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Ganzpflanzenertrag an fünf Standorten 2001-2003 (eigene Darstellung nach LWK Westfalen-Lippe)

Standort	2001		2002		2001 - 2002		2003		2001 - 2003	
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.
UFD		100 =		100 =		100 =		100 =		100 =
	dt/ha	166,8	dt/ha	199,3	dt/ha	185,3	dt/ha	165,0	dt/ha	178
<u>Friedeburg</u>										
mit	117.9	71	209.3	105	168.9	91	145.4	88	157.6	89
ohne	139.2	84	198.5	100	163.6	88	156.5	95	164.7	93
<u>Wiefelstede</u>										
mit			196.2	98	196.6	106	136.3	83	170.1	96
ohne			203	102	187	101	140,0	85	177.7	100
<u>Borbeck</u>										
mit	177.8	107								
ohne	190.2	114								
<u>Löningen</u>										
mit	177.9	107	201.1	101	206,0	111	166.5	101	181.8	102
ohne	198.0	119	214,0	107	189.5	102	169.1	102	193.7	109
<u>Lohne</u>										
mit			177.8	89			206.3	125	192.1	108
ohne			194.2	97			200.1	121	197.1	111
<u>Mittel</u>										
mit	157.9	95	196.1	98	190.5	103	163.6	99	173.9	98
ohne	175.8	105	202.4	102	180,0	97	166.4	101	182,0	102
GD5 % Orte			9,4	4,7	18.7	10.2				
GD5 % UFD			6,7	3,4	15.3	8.4	6.4	3.9	6.9	3.9

Tendenziell lagen die Versuche mit Unterfußdüngung auf allen Standorten im Mittel vor der Variante ohne. Betrachtet man jedoch die einzelnen Jahre wird deutlich, dass dies nicht auf alle Jahre zutrifft. In zwei Jahren waren auf zwei Standorten die Varianten ohne Unterfußdüngung sogar denen mit Unterfußdüngung überlegen. Der Ertragsvorteil der Unterfußdüngung auf den vier Standorten ist zusammenfassend in Abbildung 7 dargestellt.

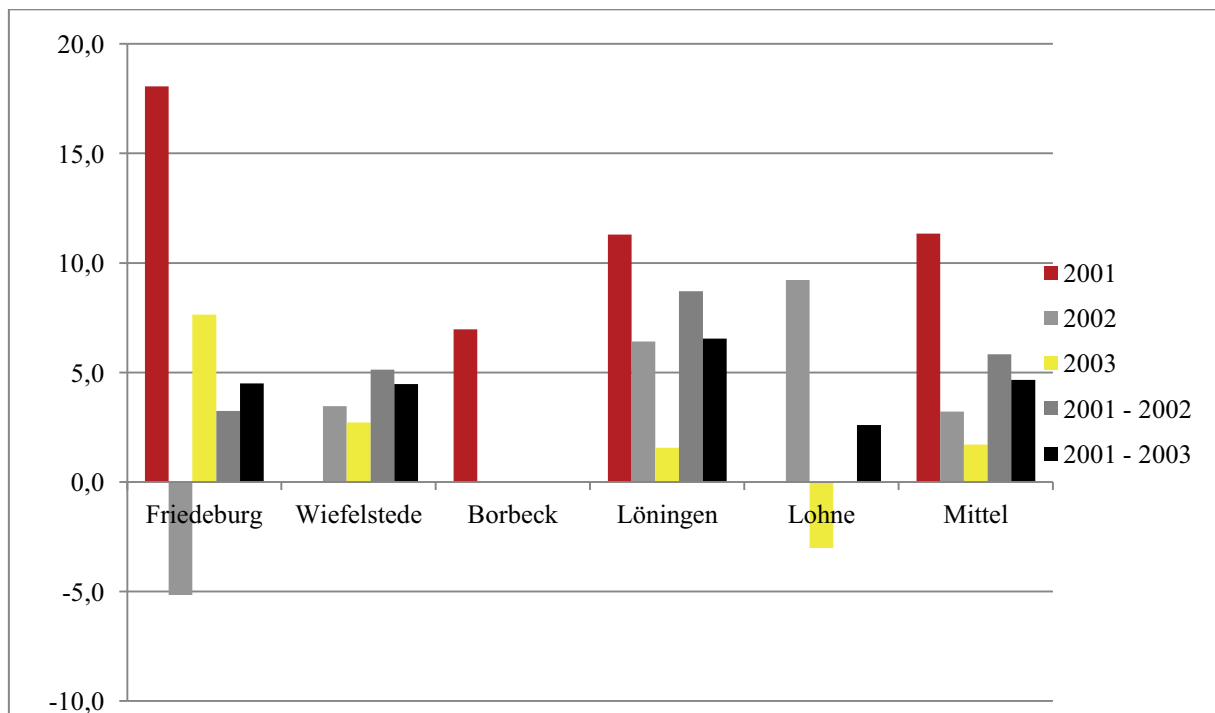


Abbildung 7: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Ganzpflanzenertrag nach LWK Westfalen-Lippe

In den Jahren 1997 bis 1999 führte die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein einen Unterfußdüngungsversuch auf zwei Standorten durch um die Notwendigkeit einer Phosphor-Unterfußdüngung auf gut mit Phosphor versorgten Standorten. Beide Versuchsstandorte haben regelmäßig Rindergülle erhalten und befinden sich in der Grundnährstoffversorgung in Gehaltsklasse C. Der Standort Mildstedt befindet sich in der Geest und weist die Bodenart lehmiger Sand auf. Der zweite Standort Futterkamp mit der Bodenart sandiger Lehm befindet sich im östlichen Hügelland. Untersucht wurde der Einfluss verschiedener Unterfußdüngungsvarianten aus Stickstoff- und Phosphorhaltigen Mineraldüngemitteln auf den TM-Ertrag und die Qualitätsparameter TM-Gehalt, Stärkegehalt und Energieertrag. In (Tabelle 17) und (Tabelle 18) sind die Ergebnisse von TM-Ertrag und Stärkegehalt dargestellt.

Tabelle 17: TM-Ertrag rel. SH 1997 – 1999 (2 Standorte)

UFD	1996	1997	1998	1996-1998
100 %	143,6 dt/ha	169,3 dt/ha	120,7 dt/ha	144,5 dt/ha
ohne	100	100	100	100
NP 20/20	106	97	113	105
MAP	105	100	118	108
KAS+URANIA	98	100	97	98

Im Mittel über Orte und Jahre erreichten die NP-Unterfußdüngungsvarianten NP 20/20 fünf und MAP 12/52 einen acht Prozent höheren TM-Ertrag als die Kontrollvariante ohne UFD. Die Variante KAS + Urania ohne Phosphoranteil führte zu keinen Ertragsvorteilen. Der Stärkegehalt konnte durch die N- und P-Unterfußdüngungsvarianten im Mittel ebenfalls um vier bzw. acht Prozent angehoben werden (Tabelle 18). Auch in den einzelnen Jahren konnte der Ertrag und der Stärkegehalt gesteigert oder zumindest gehalten werden.

Tabelle 18: Stärkegehalt in der TM, rel. SH 1997 – 1999 (2 Standorte)

UFD	1996	1997	1998	1996-1998
100 %	25,6 %	31,4 %	28,3 %	28,4 %
ohne	100	100	100	100
NP 20/20	105	100	106	104
MAP	113	101	103	106
KAS+URANIA	100	99	105	103

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen führte in den Jahren 1995 bis 1997 auf drei Standorten (Dasselsbruch, Bramstedt und Bremervörde) Versuche durch, um den Einfluss verschiedener Unterfußdünger auf die Jugendentwicklung und die Ertragsleistung von Silomais zu untersuchen. Die Versuchsstandorte Dasselsbruch und Bremervörde sind humose Sande mit Bodenzahlen von 20 und 30. In Bramstedt ist die Bodenart des Standorts sandiger Lehm mit einer Bodenzahl von 47. Alle Flächen haben regelmäßig Rindergülle erhalten, die Phosphorversorgung liegt in Gehaltsklasse D. In Tabelle 19 sind der TM-Ganzpflanzenertrag und der Stärkegehalt in der TM im Mittel über die Jahre 1995 bis 1997 über alle drei Standorte abgebildet.

Tabelle 19: Einfluss der Unterfußdüngung auf TM-Ertrag und Stärkegehalt im Mittel über 3 Jahre u. 3 Standorte Niedersachsen(nach. LWK Hannover)

UFD	Trockenmasseertrag		Stärkegehalt
	dt/ha	Rel., %	% TM
ohne	141,2	100	32.3
DAP	143.6	101.7	33.3
KAS+TSP 46/46	146.3	103.6	33.5
KAS 46/0	140.2	99.3	32.8
GD 5%	7.3	5.2	1.9

Der TM-Ganzpflanzenertrag lag tendenziell im Mittel über Jahre und Standorte in den Varianten mit Phosphor über den Kontrollvarianten und denen die nur Stickstoff als Unterfußdüngung erhalten haben. Bei der Betrachtung des Stärkegehaltes zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch dieser wurde in der Tendenz angehoben, jedoch konnten weder TM-Ertrag noch Stärkegehalt statistisch abgesichert werden.

Tabelle 20: Wirkung der Unterfußdüngung auf den TM-Ganzpflanzenertrag an drei bzw. vier Standorten in Niedersachsen (nach LWK Hannover), Angaben in Relativwerten

Standort	1995	1996	1997	1995 - 1997
UFD	%	%	%	%
<u>Bramstedt</u>				
ohne	100	100	100	100
DAP	100.9	96.8	98.4	101.7
KAS 46/0	93.9	105.5	91.6	97
KAS+TSP 46/46	103.4	112.7	96.6	104.2
<u>Dasselbruch/Celle</u>				
ohne	100	100	100	100
DAP	110.6	100.9	103.3	105
KAS 46/0	101.1	103.5	103.9	102.8
KAS+TSP 46/46	104.1	104.2	105.8	104.7
<u>Bremervörde</u>				
ohne			100	
DAP			91.9	
KAS 46/0			95.8	
KAS+TSP 46/46			98.2	
<u>Mittel</u>				
ohne				100
DAP				101.7
KAS 46/0				99.3
KAS+TSP 46/46				103.6
GD 5 % UFD	5.2	5.2	5.2	5.2
GD 5 % Ort/Jahr	15.2	15.2	15.2	15.2
GD 5 % UFD/ Ort Jahr	16.6	16.6	16.6	16.6

Betrachtet man die Einzeljahre wird deutlich, dass Wirkung auf den TM-Ertrag zwischen den Jahren starken Schwankungen unterliegt (Tabelle 20). In den Jahren 1995 und 1996 zeigen die Unterfußdüngungsvarianten die Phosphor enthielten leichte, nicht absicherbare Mehrerträge. Im Jahr 1997, in dem ähnlich dem Jahr 2003 sehr hohe Temperaturen und Trockenheit herrschten, zeigten sich andere Ergebnisse. Bei den Standorten Bramstedt und Bremervörde fielen alle Varianten in der Tendenz unter die Variante ohne Unterfußdüngung. Am Standort Dasselsbruch konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden. Die Versuchsansteller begründen diesen Unterschied mit der zweimaligen Beregnung dieser Fläche. Trockenstress hatte also auf diesen Standorten keinen Einfluss und das Ergebnis, was die Erträge im Mittel für Dasselsbruch etwas relativiert.

Zusammenfassung der Wirkung der UFD bei Silomais

Alle Versuche zur Wirkung der Unterfußdüngung auf den Silomaisertrag zeigen eine Abhängigkeit zur Phosphorversorgung des Standortes. Außerdem kann festgestellt werden, dass ebenfalls zur Bodenart eine Abhängigkeit besteht. Nicht in jedem Jahr kann auf jedem Standort mit einer positiven Wirkung gerechnet werden. In einzelnen Jahren kann die Unterfußdüngung zu keinen Mehrerträgen führen.

Für die nachfolgenden betriebswirtschaftlichen Kalkulationen wurden aus den Versuchsergebnissen die in der Tabelle 21 dargestellten Ertragssteigerungen durch Unterfußdüngung ausgewählt.

Tabelle 21: Ergebnisse der Versuche und Ableitungen für Variantenrechnung mit Silomais

	Versuch	Ertragssteigerung TM-Ertrag %
Ergebnisse der Versuche		
Nordrhein Westfalen, vier Standorte 2001-2003	1	4
Niedersachsen, drei Standorte, 1995-1997	2	4
Schleswig Holstein, zwei Standorte, 1996-1998	3	7.5
Ableitungen für Variantenrechnung		
Mittel		5
P-Gehaltsklasse C		7.5
P-Gehaltsklasse D		5

5.2 Einfluss der Witterung auf die Ertragswirkung der Unterfußdüngung

Wie gezeigt wurde wirkt die Unterfußdüngung vor allem in Abhängigkeit von der Jahreswitterung. Ein Ertragsvorteil tritt besonders deutlich in Jahren mit kühler Frühjahrswitterung zur Zeit der Jugendentwicklung ein, sofern in der Hauptwachstumsperiode weder Trockenereignisse noch extreme Temperaturverläufe auftreten. Beeinträchtigungen durch Trockenheit schädigen hingegen besonders unterfuß gedüngten Mais, wenn dieser gerade in Kälte gestörten Frühjahren dem nicht unterfuß gedüngten Mais in der Entwicklung voraus ist. Die von den Versuchen abgeleiteten Ertragswirkungen für Silo- und Körnermais in Abhängigkeit von der Witterung in der Jugendentwicklung und der Hauptwachstumsphase sind in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Ertragswirkung der UFD für Körner- und Silomais in Abhängigkeit von der Witterung in der Jugendentwicklung und der Hauptwachstumsphase in %

Jugendentwicklung	Hauptwachstumsperiode	Ertragswirkung	
		Körnermais	Silomais
normal	normal	0	0
kältegestört	normal	+10	+5
kältegestört	trockenheitsgestört	-5	0
normal	trockenheitsgestört	0	0

Witterung in den Jahren 1990 bis 2011 am Standort Potsdam

Die Wirkung der Unterfußdüngung hängt von der Kombination von der Witterung in der Jugendentwicklung und derer in der Hauptwachstumsphase ab (vgl. Versuchsauswertung). Zwischen den Jahren schwankt die Witterung, bezogen auf die Jugendentwicklung und die Hauptwachstumsphase, sehr stark. In Tabelle 23 werden für die Jahre 1990-2011 die Witterungsparameter für die Jugendentwicklung als Aprilwerte und für die Hauptwachstumsphase als Juni-Werte dargestellt. Hierzu sind jeweils die Temperaturen des Monats April für Kälte und die Niederschlagssummen des Monats Juni für Vorsommertrockenheit herangezogen.

Die Durchschnittstemperaturen des Monats April wurden dann als kritisch angesehen, wenn sie deutlich unter dem Mittel der betrachteten Jahre ($9,7^{\circ}\text{C}$) blieben.

Von trockenheitsbedingten Störungen wurde ausgegangen, wenn die Niederschlagssumme unter 30 mm lag oder wenn nach Definition des Bayerischen Landesamtes für Umwelt eine Trockenperiode im betreffenden Zeitraum vorlag. Dies war der Fall, wenn an mindestens 11 aufeinander folgenden Tagen die Niederschlagssumme unter 1 mm bleibt. Das Juni-Mittel liegt bei 57,7 mm.

Jahre mit Vorsommertrockenheit wurden rot, Jahre mit Kälte in der Jugendentwicklung mit blau gekennzeichnet.

Tabelle 23: Wirksamkeit der UFD in Abhängigkeit von der Witterung

	Niederschlag	Temperaturen	Besonderheiten des Jahres
	Juni	April	
2011	47.3	12.62	Trockenperiode Ende April-Anfang Mai
2010	6.2	9.51	Trockenperiode Ende Juni-Anfang Juli
2009	69.1	13.22	
2008	36.3	8.65	Trockenperiode Juni, Trockenperiode Juli
2007	111.4	12.02	Trockenperiode Juni
2006	37.1	8.76	Trockenperiode Ende Juni-Anfang Juli
2005	26.4	10.37	
2004	84.6	10.07	
2003	38.9	9.21	
2002	36.5	8.64	
2001	55.6	8.02	Trockenperiode Juli
2000	29.9	11.49	
1999	45.8	9.96	
1998	61.6	10.06	
1997	27.5	6.66	
1996	30.7	9.8	
1995	87.8	8.81	
1994	67.7	9.28	Trockenperiode Juli
1993	88.9	11.09	
1992	11.4	8.68	Trockenperiode von Mitte Juni bis Anfang Juli
1991	88.3	7.78	
1990	180.0	8.67	Trockenperiode im Juli
Mittel	57.7	9.7	

5.3 Betriebswirtschaftliche Variantenrechnung

Auf der Grundlage der vorliegenden Versuchsergebnisse wurden betriebswirtschaftliche Variantenrechnungen vorgenommen, um Empfehlungen für die Anwendung der Unterfußdünger unter verschiedenen Standort- und Betriebsbedingungen zugeben.

Durch die Anwendung des Unterfußdüngungsverfahrens werden viele Kosten des Maisanbaus beeinflusst. Zum einen werden zusätzliche Kosten verursacht. Es kommen zusätzlich Unterfußdüngemittel mit einem höheren Preis zum Einsatz. Außerdem steigen die Kosten für den Maschineneinsatz je Flächeneinheit, da Einzelkornsämaschinen mit UFD-Einrichtung einen höheren Anschaffungswert und einen höheren Zugkraftbedarf haben. Zum Anderen steigt bei Wirkung der UFD der Ertrag, dadurch sinken die Kosten je dt Ertrag. Jedoch wächst aber auch die zu erntende Menge, und somit steigen die Kosten für Ernte und Konservierung je Flächeneinheit.

Um die vielfältigen Einflüsse auf die Kosten des Maisanbaus durch die Durchführung der UFD berücksichtigen zu können, wird die betriebswirtschaftliche Variantenrechnung mit dem Verfahren der teilweisen Vollkostenrechnung im gesamten Verfahren vom Anbau bis zum befüllten Silo durchgeführt.

Die Berechnung der Varianten erfolgt mit der "Datensammlung für die Betriebsplanung und die betriebliche Bewertung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren im Land Brandenburg", die vom Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg herausgegeben wird.

Diese Datensammlung arbeitet zur Darstellung der Rentabilität eines Produktionsverfahrens mit der teilweisen Vollkostenrechnung. Diese Datensammlung in digitaler Form basiert auf dem Computerprogramm Microsoft Excel und bietet dem Nutzer die Variation sehr vieler die Produktion betreffender Parameter. Für diese Arbeit werden hauptsächlich Parameter für Maschinen- und Düngereinsatz sowie –kosten und Ertragsparameter variiert. Die Berechnung für pflanzenbauliche Produktionsverfahren erfolgt für drei (Körnermais) und vier (Silomais) Standortbedingungen, die sich in ihrer Ertragsfähigkeit unterscheiden. Das Programm erstellt detailliert ein Tabellenblatt in dem Kosten für alle Standortbedingungen aufgelistet werden. In Tabelle 24 ist eine Berechnung für ein Landbaugebiet beispielhaft dargestellt.

Tabelle 24: Beispiel Datenblatt Datensammlung

Leistungen			1
Ertrag	brutto	dt TM/ha	175
	netto	MJ NEL/ha	103513
	netto	MJ ME/ha	171990
	netto	dt OS/ha	483
	netto	dt TM/ha	159
Prämien (davon gekoppelt)	Prämie: 2011 regional	Euro/ha	300 (0)
Direktkosten			
Saatgut (einschl. Beizung)		Euro/ha	135
Handelsdünger		Euro/ha	0
	dafür N P K	kg/ha	
	berücksichtigte Reduzierung (Bodenlieferung, org.Düng.)	kg/ha	214 76 361
	Vorgabe N P K	kg/ha	0 0 0
	Vorgabe Kalk (Ca) Stallmist Gülle	(kg,t,m ³)/ha*a	0 0 95
Handelsdüngermenge gesamt		dt/ha	0,0
Pflanzenschutzmittel		Euro/ha	66
	Teilkosten ; behandelte Fläche	Herbizid	Euro/ha ; %
		Fungizid	Euro/ha ; %
		Insektizid	Euro/ha ; %
		Sonstige	Euro/ha ; %
sonst. Material		Art	Silofolie
		Euro/ha	16,81
Zinsansatz	(Umlaufkapital)	Euro/ha	7
Summe Direktkosten		Euro/ha	225
		je dt OS; je dt TM	Euro
		je 10 MJ NEL; je 10 MJ ME	Cent
Arbeitserledigungskosten			
Maschinenkosten	variabel	Euro/ha	404
	Anbau, Pflege	Euro/ha	279
	Ernte, Transport, Einlagerung	Euro/ha	125
	Abschreibungen	Euro/ha	256
Lohn		Euro/ha	195
Zinsansatz		Euro/ha	66
Summe Arbeitserledigungskosten		Euro/ha	921
weitere Kosten			
Pachten, sonst. flächengeb. Kosten		Euro/ha	174
Lager		Euro/ha	200
	davon AfA, Unterhaltung	Euro/ha	133
	davon Zinsansatz	Euro/ha	67
Gesamtkosten	flächenbezogen	Euro/ha	1520
	darunter Zinsansatz	Euro/ha	140
	mengenbezogen je dt OS; je dt TM	Euro	3,15 ; 9,56
	energiebezogen je 10 MJ NEL; 10 MJ ME	Cent	14,7 ; 8,8
Prämien	je dt OS; je dt TM	Euro	0,62 ; 1,89
	energiebezogen je 10 MJ NEL; 10 MJ ME	Cent	2,9 ; 1,7

Zur Berechnung der Kosten der Unterfußdüngung unter unterschiedlichen Betriebs- und Standortbedingungen werden drei Produktionsvarianten; P1 bis P3 unterschieden (Tabelle 25).

Tabelle 25: Produktionsvarianten P1 bis P3

P	Phosphor-Versorgungsniveau
P1	Viehlos, keine organische Düngung, C, ausschließliche Mineraldüngung
P2	Mittlerer Tierbesatz → organische Düngung → mittlere P-Versorgung, C → geringer Mineraldüngerbedarf
P3	Hoher Tierbesatz → organische Düngung nach N-Bedarf → hohe P-Versorgung, D → eigentlich kein Mineraldüngerbedarf

Die Variante P1 stellt einen viehlosen Betrieb dar, der z.B. Körnermais für die Vermarktung und Maissilage für den Export aus dem Betrieb produziert. In dieser Variante wird ausschließlich mineralisch gedüngt, und das Versorgungsniveau für Phosphor liegt in Gehaltsklasse C. In der Variante mit UFD kommen 150 kg/ha DAP zum Einsatz.

In Produktionsvariante P2 steht für einen Gemischtbetrieb. Die Gülle ist in diesem Beispiel nicht im Überfluss vorhanden und muss bilanziert werden, fehlende Nährstoffmengen werden mineralisch ergänzt. In dieser Variante besteht nur für Stickstoff die Dünge-Notwendigkeit, da durch die Gülledüngung Grundnährstoffe ausreichend vorhanden sind. Der P-Gehalt befindet sich in Klasse C. Die Höhe der Gülledüngung ist in Tabelle 26 einzusehen. Es bleibt ein Restbedarf an Stickstoff, der mineralisch zu geben ist. Diese Variante erhält 200 kg/ha DAP, wodurch gleichzeitig der N-Bedarf gedeckt wird eine Überfahrt mit dem Düngerstreuer entfällt. Deshalb ist die UFD für diese Betriebe relativ attraktiver.

Für Futterbaubetriebe, in denen Gülle im Überschuss vorhanden ist und die sehr viehstark sind, steht die Variante P3. Diesen Betrieben wird Futterflächenknappheit unterstellt. Diese Betriebe würden für Mehrertrag Mehrkosten in Kauf nehmen. Die Maisdüngung dieser Betriebe kann aber eigentlich ausschließlich organisch erfolgen. Es besteht eigentlich kein weiterer Mineraldüngerbedarf. Durch regelmäßig hohe Güllegaben befindet sich die Phosphorversorgung in Gehaltsklasse D und E. Die Unterschiedlichen hohen Güllegaben in den Produktions- und Standort-Varianten sind über den N-Bedarf abgeleitet. In P3, in der Gülle im Überschuss vorhanden ist, wird ist der Bedarf an Phosphor damit gedeckt.

Tabelle 26: Übersicht Düngung der Varianten

Produktionsvariante		UFD-Einsatz (in den Varianten mit UFD)	Flächendüngung	
			Silomais	Körnermais
P1 S1 bis S4		150 kg/ha DAP	mineralisch nach Entzug	Mineralisch Entzug nach
P2	S1	200 kg/ha DAP	90m ³ /ha Gülle	80m ³ /ha Gülle
	S2	200 kg/ha DAP	75m ³ /ha Gülle	60m ³ /ha Gülle
	S3	200 kg/ha DAP	60m ³ /ha Gülle	38m ³ /ha Gülle
	S4	200 kg/ha DAP	45m ³ /ha Gülle	
P3	S1	100 kg/ha DAP	95m ³ /ha Gülle	90m ³ /ha Gülle
	S2	100 kg/ha DAP	80m ³ /ha Gülle	70m ³ /ha Gülle
	S3	100 kg/ha DAP	65m ³ /ha Gülle	50m ³ /ha Gülle
	S4	100 kg/ha DAP	50m ³ /ha Gülle	

Zur Berechnungen der Kosten unter verschiedenen Ertragsniveaus, wird innerhalb der Produktionsvarianten zwischen den Standortbedingungen S1 bis S4 unterschieden (Tabelle 27). So können Standorte mit unterschiedlicher Ertragsfähigkeit dargestellt werden. Für Silomais werden vier und für Körnermais drei Stufen unterschieden. Denn S-Varianten sind dann Bodenarten zugeordnet. Die Stufen S1 und S2 stehen für die Bodenarten sandiger Lehm und Lehm. Den Stufen S3 und S4 sind die Bodenarten Sand und lehmiger Sand zugeordnet.

Tabelle 27: Ertragsstufen in den Standortbedingungen S1 bis S4

S	Silomais	Körnermais	Bodenart (nur bei Körnermais)
	dt TM/ha	dt/ha	
S1	175	90	sL, L
S2	150	70	sL, L
S3	125	50	S, IS
S4	100	-	S, IS

Aus den Ergebnissen der Versuche zur Ertragswirkung der Unterfußdüngung bei Körner- und Silomais werden für die unterschiedlichen Bedingungen Ertragswirkungen abgeleitet. Unterschieden wird dabei nach Nutzungsrichtung, P-Versorgungsstufe, Bodenart und Produktions-

variante. Die für die Variantenrechnung abgeleiteten Ertragssteigerungen sind in Tabelle 28 einzusehen.

Tabelle 28: Ertragssteigerung in % in Abhängigkeit von P und S Varianten

Produktionsvariante	Silomais				Körnermais		
	S 1	S2	S3	S4	S1	S2	S3
P1	7.5	7.5	7.5	7.5	10	10	10
P2	5	5	5	5	7.5	7.5	10
P3	5	5	5	5	5	5	7.5

Bei der Berechnung für den Silomais wird nur innerhalb der P-Stufen unterschieden, für den reinen Ackerbaubetrieb P1 wird die höhere Steigerung angenommen. Beim Körnermais wird zusätzlich in den S-Stufen variiert, die ertragsschwachen Stufen erhalten dabei den stärksten Ertragszuwachs.

Für die genannten Varianten wird nun die Vollkostenrechnung mit der Datensammlung Brandenburg durchgeführt. Dabei werden eine Variante ohne UFD, eine Variante mit UFD in der die abgeleitete Wirkung erzielt wird und eine Variante in der die UFD durchgeführt wird, die aber zu keinem Mehrertrag führt durchgerechnet und betrachtet.

Zusätzlich wird eine Variante für Produktionsvarianten gerechnet, in der es aufgrund der Witterung in der Jugendentwicklung und in der Hauptwachstumsphase zu einem Ertragsrückgang durch die UFD kommt.

Variation der Parameter

Die Datensammlung eignet sich für die betriebswirtschaftlichen Variantenrechnungen, jedoch weist es auch Grenzen auf. Um die Kosten der teuren Sämaschine mit UFD-Einrichtung einzufügen, muss eine vorhandene Maschine in Ihrem Preis verändert werden weil eine entsprechende Maschine nicht zur Auswahl steht. Weiterhin können dem Programm die Kosten der Unterfußdüngung nicht direkt eingegeben werden. So werden zusätzlichen Berechnungen nötig.

Zur Berechnung der Varianten werden Parameter zu Ertrag, Dünger, Düngung und Maschinen direkt variiert. Das Programm ist anhand Brandenburger Bedingungen entsprechend vorein-

gestellt. Alle bis auf oben genannten Parameter wie Bodenbearbeitung, Pachten, Pflanzenschutz und Konservierung u.a. bleiben dabei unberührt.

Anhand der Marktsituation im September 2011 werden die relevante Preise für Produkte, Düngemittel, Maschinen u.a. angepasst.

Der Ertrag wird entsprechend der S-Stufen eingestellt. Die Darstellung des Ertragszuwachses wurde dann je nach Variante variiert. Da das Programm mit der teilweisen Vollkostenrechnung arbeitet, werden mengenbezogene Kosten dadurch angepasst.

Bei den Düngeparametern wird die Einsatzhöhe der Flächendüngung und die Höhe organischen bzw. mineralischen Dünger variiert. Das Mineraldüngeräquivalent der Gülle wird für N mit 75, P und K mit 100 festgesetzt, was der relativ hohen Güllemenge in beiden Varianten Rechnung trägt. Die Berechnung des entsprechenden Nährstoffbedarfs in Abhängigkeit vom Ertrag kann vom Programm erledigt werden. Die Unterfußdüngerkosten werden dem Verfahren nachher hinzugerechnet.

Um die höheren Maschinenkosten in die Berechnung zu bringen, wurde in den Varianten eine Maschine mit UFD-Einrichtung erstellt (siehe oben). Weiterhin wird der Einsatz und die Anzahl der Überfahrten des Düngerstreuers und der Einsatz des Gülleffasses je nach P-Variante eingestellt.

6 Ergebnisse und Diskussion

6.1 Düngung ohne UFD P1 bis P3

Im den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Variantenrechnung für die Silo- und Körnermaisproduktion mit und ohne Unterfußdüngung sowie mit unterschiedlichen Wirkungen aufgelistet. Zuerst werden die Produktionsvarianten ohne Unterfußdüngung betrachtet, dann die Kosten für die Unterfußdüngung in den Produktionsvarianten Abschließend werden die Kosten und Kostenveränderungen durch UFD über alle Produktionsvarianten betrachtet.

In den folgenden Tabellen (Tabelle 29 und Tabelle 30) sind die Gesamtkosten des Silo- und Körnermaisbaus ohne Unterfußdüngung dargestellt.

Tabelle 29: Kosten beim Silomaisanbau ohne Unterfußdüngung in verschiedenen Produktionssystemen P1 - 3

	TM-Ertrag		Flächen- dünger €/ha	UFD Dün- ger €/ha	Gesamtkosten	
	Brutto dt/ha	Netto dt/ha			€/ha	€/dt TM
P1 ohne UFD						
I	175	159	497	0	1594	10.03
II	150	137	427	0	1416	10.34
III	125	114	354	0	1240	10.88
IV	100	91	284	0	1068	11.74
P2 ohne UFD						
I (90 m ³ /ha Gülle)	175	159	34	0	1538	9.67
II (75 m ³ /ha Gülle)	150	137	34	0	1362	9.94
III (60 m ³ /ha Gülle)	125	114	34	0	1190	10.44
IV (45 m ³ /ha Gülle)	100	91	34	0	1018	11.19
P3 ohne UFD						
I (95 m ³ /ha Gülle)	175	159	0	0	1520	9.56
II (80 m ³ /ha Gülle)	150	137	0	0	1343	9.80
III (65 m ³ /ha Gülle)	125	114	0	0	1173	10.29
IV (50 m ³ /ha Gülle)	100	91	0	0	1001	11.00

Tabelle 30: Kosten beim Körnermaisbau ohne Unterfußdüngung in verschiedenen Produktionssystemen P1 -3

Variante	Kornertrag dt/ha	Düngerkosten Flächendün- gung			Kosten UFD €/ha	Gesamtkosten	
		Hauptpr. €/ha	Koppelpr. €/ha	Gesamt €/ha		€/ha	€/dt
P1 ohne UFD							
I	90	233	204	437	0	1611	17.90
II	70	181	159	340	0	1358	19.40
III	50	130	113	243	0	1053	21.06
P2 ohne UFD							
I (80 m ³ Gülle/ha)	90	23	14	37	0	1572	17.47
II (60 m ³ Gülle/ha)	70	21	13	34	0	1323	18.90
III (38m ³ Gülle/ha)	50	22	13	35	0	1016	20.32
P3 ohne UFD							
I (90m ³ Gülle/ha)	90	0	0	0	0	1575	17.50
II (70m ³ Gülle/ha)	70	0	0	0	0	1329	18.99
III (50m ³ Gülle/ha)	50	0	0	0	0	1030	20.60

6.2 Produktionsvariante P1 Marktfruchtbetrieb

Die Gesamtkosten für den Silo- und Körnermaisbau für die Produktionsvariante P1 sind in Tabelle 31 und Tabelle 32 dargestellt, die Varianten ohne Unterfußdüngung, mit UFD und erreichter Wirkung von 7,5 % bzw. 10 % und eine Variante in denen die UFD zu keinem Mehrertrag führte sind gegenübergestellt. Bei den weiteren Produktionsvarianten wird ebenso verfahren.

Bei einem TM-Ganzpflanzenertrag von 150 dt/ha und einer Ertragssteigerung von 7,5%, steigen die Gesamtkosten je dt TM um 12 Cent auf 10,46 €/dt TM. Beim Körnermaisbau erhöht der Einsatz der UFD bei einem Ertrag von 70 dt Korn TM/ha und einem Mehrertrag von 10 % die Kosten je dt Korn/ha um 41 Cent auf 19,81 €/ha. Wenn kein Mehrertrag durch die UFD erreicht wird, müssen jeder dt Korn 1,29 € und jeder dt TM 65 Cent höhere Kosten hinzugerechnet werden.

Tabelle 31: Kosten beim Maisanbau für mit und ohne Unterfußdüngung sowie Wirkung für Produktionsvariante 1

	Silomaisertrag		Düngemittelkosten		Gesamtkosten	
	Brutto dt TM/ha	Netto dt TM/ha	Flächen- düngung €/ha	UFD €/ha	€/ha	€/dt TM
P1 ohne UFD						
I	175	159	497	0	1594	10.03
II	150	137	427	0	1416	10.34
III	125	114	354	0	1240	10.88
IV	100	91	284	0	1068	11.74
P1 mit UFD +0%						
I	175	159	497	75	1684	10.59
II	150	137	427	75	1506	10.99
III	125	114	354	75	1331	11.68
IV	100	91	284	75	1157	12.71
P1 mit UFD +7.5%						
I	188	171	497	75	1719	10.05
II	161	147	427	75	1537	10.46
III	144	131	354	75	1385	10.57
IV	108	98	284	75	1179	12.03

Betriebe, die zur Produktionsvariante P1 gehören, produzieren Maisprodukte zum Verkauf. Den Kosten für eine Ertragssteigerung durch UFD stehen so Marktpreise gegenüber. Steigen die Kosten je Einheit durch eine Ertragssteigerung, verringern sich die Erlöse. Das Motiv den

Ertrag zu steigern ist für diese Produktionsvariante also gering. Beim Silomaisanbau entstehen zusätzlich 12 Cent je dt TM bei eintretender erwarteter Ertragssteigerung durch UFD und 65 Cent je dt TM bei nicht Eintreten der Wirkung. Betriebe dieser Produktionsvariante werden also eher auf die UFD verzichten, da die Ertragssteigerung zu höheren Kosten führt und weil beim Nicht-Eintreffen der Wirkung besonders hohe Kosten anfallen.

Tabelle 32: Kosten beim Körnermaisbau für die Unterfußdüngung Produktionsvariante 1

Variante	Kornertrag Dt/ha	Düngerkosten Flächendüngung			Kosten UFD €/ha	Gesamtkosten	
		Hauptpr. €/ha	Koppelpr. €/ha	Gesamt €/ha		€/ha	€/dt
P1 ohne UFD							
I	90	233	204	437	0	1611	17.90
II	70	181	159	340	0	1358	19.40
III	50	130	113	243	0	1053	21.06
P1 mit UFD ohne Wirkung							
I	90	272	118	390	75	1700	18.89
II	70	190	92	282	75	1448	20.69
III	50	123	66	189	75	1142	22.84
P1 mit UFD							
I +10%	99	257	224	481	75	1798	18.16
II +10%	77	200	174	374	75	1525	19.81
III +10%	55	143	125	268	75	1197	21.76

6.3 Produktionsvariante P2 Gemischtbetrieb

Wenn im Gemischtbetrieb die UFD angewendet wird, entstehen beim Silomaisanbau bei einem erreichten Mehrertrag von 5 % in der S2 29 Cent höhere Kosten je dt TM. Die Kornertragssteigerung von 7,5 % in S2 verursacht 44 Cent höhere Kosten je dt Korn. In der Variante S3, 50 dt/ha Kornertrag, wird ein Mehrertrag von 10 % verrechnet. Diese Ertragssteigerung kostet zusätzlich 3 Cent je dt Korn.

Treten die genannten Ertragssteigerungen nicht auf, steigen die Kosten für Silomais in der Variante S2 um 53 Cent/ dt TM, in der Körnermaisvariante S2 um 1,07 und in S3 um 1,46 €/dt Korn. Die Kosten der Variante P2 sind in Tabelle 33 und Tabelle 34 dargestellt.

Tabelle 33: Kosten beim Silomaisanbau P2

Variante	Ertrag		Düngerkosten		Gesamtkosten	
	Brutto dt TM/ha	Netto dt TM/ha	Flächen- düngung €/ha	UFD €/ha	€/ha	€/dt TM
P2 ohne UFD						
I (90 m ³ /ha Gülle)	175	159	34	0	1538	9.67
II (75 m ³ /ha Gülle)	150	137	34	0	1362	9.94
III (60 m ³ /ha Gülle)	125	114	34	0	1190	10.44
IV (45 m ³ /ha Gülle)	100	91	34	0	1018	11.19
P2 mit UFD ohne Wirkung						
I (90 m ³ /ha Gülle)	175	159	0	100	1611	10.13
II (75 m ³ /ha Gülle)	150	137	0	100	1435	10.47
III (60 m ³ /ha Gülle)	125	114	0	100	1264	11.09
IV (45 m ³ /ha Gülle)	100	91	0	100	1093	12.01
P2 mit UFD + 5%						
I (90 m ³ /ha Gülle)	184	167	0	100	1660	9.94
II (75 m ³ /ha Gülle)	156	142	0	100	1474	10.38
III (60 m ³ /ha Gülle)	132	120	0	100	1308	10.90
IV (45 m ³ /ha Gülle)	105	96	0	100	1129	11.76

Produktionsvariante P2 steht für Gemischtbetriebe. In diesen Betrieben ist die Futterfläche wahrscheinlich nicht begrenzt und eine Ausweitung der Futterfläche wäre möglich. Also herrscht keine Futterknappheit. Der Ertragszuwachs durch UFD lässt die Kosten je dt TM steigen. In dieser Variante wird lediglich der Stickstoffbedarf durch eine Mineraldüngung ausgeglichen. Durch die Anwendung der erhöhten Menge von 200 kg/ha DAP zur Unterfußdüngung kann, in dieser Variante der N-Bedarf über die UFD gedeckt werden. Eine Überfahrt mit dem Düngerstreuer kann so eingespart werden und die zusätzlichen Kosten der UFD zum Teil wieder ausgleichen.

Tabelle 34: Kosten beim Körnermaisbau für P2

Variante	Kornertrag dt/ha	Düngerkosten Flächendüngung			Kosten UFD €/ha	Gesamtkosten	
		Hauptpr.	Koppelpr.	Gesamt		€/ha	€/dt
		€/ha	€/ha	€/ha			
P2 ohne UFD							
I (80 m ³ Gülle/ha)	90	23	14	37	0	1572	17.47
II (60 m ³ Gülle/ha)	70	21	13	34	0	1323	18.90
III (38m ³ Gülle/ha)	50	22	13	35	0	1016	20.32
P2 mit UFD ohne Wirkung							
I (80 m ³ Gülle/ha)	90	0	0	0	100	1643	18.26
II (60 m ³ Gülle/ha)	70	0	0	0	100	1398	19.97
III (38m ³ Gülle/ha)	50	0	0	0	100	1089	21.78
P2 mit UFD + 7,5 %							
I (80 m ³ Gülle/ha) +7,5%	97	0	0	0	100	1685	17.37
II (60 m ³ Gülle/ha)+ 7,5%	75	0	0	0	100	1427	19.03
III (38m ³ Gülle/ha)+ 7,5%	55	0	0	0	100	1119	20.35

Tabelle 35: Kosten beim Silomaisbau für P3

Variante	Ertrag		Düngerkosten		Gesamtkosten	
	Brutto	Netto	Flächen-	UFD	€/ha	€/dt TM
	dt TM/ha	dt TM/ha	düngung €/ha	€/ha		
P3 ohne UFD						
I (95 m ³ /ha Gülle)	175	159	0	0	1520	9.56
II (80 m ³ /ha Gülle)	150	137	0	0	1343	9.80
III (65 m ³ /ha Gülle)	125	114	0	0	1173	10.29
IV (50 m ³ /ha Gülle)	100	91	0	0	1001	11.00
P3 mit UFD +0% ohne Wirkung						
I (95 m ³ /ha Gülle)	175	159	0	50	1585	9.97
II (80 m ³ /ha Gülle)	150	137	0	50	1409	10.28
III (65 m ³ /ha Gülle)	125	114	0	50	1238	10.86
IV (50 m ³ /ha Gülle)	100	91	0	50	1066	11.71
P3 mit UFD +5%						
I (95 m ³ /ha Gülle)	184	167	0	50	1610	9.64
II (80 m ³ /ha Gülle)	156	142	0	50	1424	10.03
III (65 m ³ /ha Gülle)	132	120	0	50	1258	10.48
IV (50 m ³ /ha Gülle)	105	96	0	50	1279	13.32

6.4 Produktionsvariante P3 Futterbaubetrieb

Wird in dieser Variante der Silomaisertrag in S2 um 5 % erhöht, werden um 23 Cent höhere Kosten je dt TM verursacht. Die Kornertragssteigerung von 5 % in S2 und 7,5 % in S3 lassen

die Kosten je dt Korn 17 und 12 Cent steigen. Führt die Unterfußdüngung zu keinem Mehrertrag, steigen die Kosten im Silomaisanbau in S3 um 48 Cent je dt TM und im Körnermaisbau um 92 Cent in S2 und um 1,30 € in S3 je dt Korn. Die Kosten für Variante P3 sind in Tabelle 35 und Tabelle 36 dargestellt.

Die der Variante P3 angehörenden Betriebe sind viehstark und knapp an Futterfläche. Außerdem müssen sie keine Marktpreise für ihre Maisprodukte erzielen. Die erzeugten Produkte werden im eigenen Betrieb verfüttert. Eine Ertragssteigerung wirkt bei knapper Fläche ähnlich einer Futterflächenausdehnung, in diesen Betrieben werden also die erhöhten Kosten je Einheit am wahrscheinlichsten in Kauf genommen, da kein Futter zugekauft werden muss.

Die Kostensteigerung durch UFD bei Nicht-Erreichen eines Mehrertrages beim Silomaisanbau sind in dieser Variante relativ gering. Auch dadurch fiel es den Betrieben leichter, sich für eine UFD zu entscheiden und die Kosten in Kauf zu nehmen.

Tabelle 36: Kosten beim Körnermaisbau für P3

Variante	Kornertrag dt/ha	Düngerkosten Flächendüngung			Kosten UFD €/ha	Gesamtkosten	
		Hauptpr. €/ha	Koppelpr. €/ha	Gesamt €/ha		€/ha	€/dt
P3 ohne UFD							
I (90m ³ Gülle/ha)	90	0	0	0	0	1575	17.50
II (70m ³ Gülle/ha)	70	0	0	0	0	1329	18.99
III (50m ³ Gülle/ha)	50	0	0	0	0	1030	20.60
P3 mit UFD ohne Wirkung							
I (90m ³ Gülle/ha)	90	0	0	0	50	1640	18.22
II (70m ³ Gülle/ha)	70	0	0	0	50	1394	19.91
III (50m ³ Gülle/ha)	50	0	0	0	50	1095	21.90
P3 mit UFD							
I (90m ³ Gülle/ha) + 5%	95	0	0	0	50	1670	17.58
II (70m ³ Gülle/ha) + 5%	74	0	0	0	50	1418	19.16
III (50m ³ Gülle/ha) + 7,5%	54	0	0	0	50	1119	20.72

6.5 Anwendung der UFD P1 bis P3

Betrachtet man die Kosten der Maisdüngung ohne UFD über alle Produktionsvarianten wird deutlich das im Mineraldüngersystem P1 sowohl im Silo- als auch im Körnermaisbau die

höchsten Kosten verursacht werden. Zum System P3 liegen die Kosten je dt TM in den Varianten ohne UFD ca. 40 bis 50 Cent höher, da im System P3 der Nährstoffbedarf ausschließlich über die Gülledüngung gedeckt wird, die im Betrieb anfällt. In den Systemen P1 und P2 fallen Kosten für Mineraldüngermittel an. Das System P2 liegt in den Kosten erwartungsgemäß zwischen den Varianten P1 und P3.

Wird die UFD angewendet, steigen die Kosten beim Silomais im System P3 am stärksten, während trotzdem die Kosten je dt TM gegenüber P1 und P2 am geringsten bleiben. Beim Körnermais steigen die Kosten in der Variante P1 am stärksten und in P3 am wenigsten.

Kommt es bei Anwendung der UFD nicht zu einem Ertragszuwachs, steigen die Kosten beim Silomais in der Variante P1 am stärksten und in P3 am geringsten. Bei der Körnermaisproduktion jedoch zeigt die Variante P2 die höchsten Kosten je dt TM, und in Variante P3 steigen die Kosten am geringsten.

6.6 Anwendung der UFD in Abhängigkeit von der Witterung für P1 bis P3

In Tabelle 37 sind die Kosten durch UFD im Fall der Minderwirkung von 5 % beim Körnermais, für die Varianten P1 bis P3 dargestellt.

Tabelle 37: Kosten der UFD bei 5 % Minderertrag für P1 bis P3 im Körnermaisbau

Variante	Kornertrag		Gesamtkosten	
	dt/ha	€/ha	€/dt	
P1 mit UFD -5% Minderertrag				
I	86	1722	20.02	
II	67	1464	21.85	
III	48	1155	24.06	
P2 mit UFD -5% Minderertrag				
I (80 m ³ Gülle/ha)	86	1619	18.83	
II (60 m ³ Gülle/ha)	67	1379	20.58	
III (38m ³ Gülle/ha)	48	1077	22.44	
P3 mit UFD -5% Minderertrag				
I (90m ³ Gülle/ha)	86	1616	18.79	
II (70m ³ Gülle/ha)	67	1376	20.54	
III (50m ³ Gülle/ha)	48	1083	22.56	

Kommt es durch Witterungseinfluss zu einem Minderertrag durch UFD von 5%, steigen die Kosten je dt Korn in der Variante P1 am stärksten. In dieser Variante müssen jeder dt Korn 2,45 € hinzugerechnet werden. In der Variante P3 steigen die Kosten um 1,55 €.

Tabelle 38: Ertrags- und Kostenveränderung durch UFD bei Silo- und Körnermais über einen Zeitraum 1990 bis 2011

Jahr	Körnermais		Silomais	
	Relativertrag 100 %= 70 dt/ha	Relativkosten 100 %= 20,32 €	Relativertrag 100 %=150 dt TM/ha	Relativkosten 100 %= 9,94 €
2011	100	104,72	100	105,33
2010	95	110,43	100	105,33
2009	100	104,72	100	105,33
2008	95	110,43	100	105,33
2007	100	104,72	100	105,33
2006	95	110,43	100	105,33
2005	100	104,72	100	105,33
2004	100	104,72	100	105,33
2003	110	100,15	105	104,43
2002	110	100,15	105	104,43
2001	110	100,15	105	104,43
2000	100	104,72	100	105,33
1999	100	104,72	100	105,33
1998	100	104,72	100	105,33
1997	95	110,43	100	105,33
1996	100	104,72	100	105,33
1995	100	104,72	100	105,33
1994	110	100,15	105	104,43
1993	100	104,72	100	105,33
1992	95	110,43	100	105,33
1991	110	100,15	105	104,43
1990	110	100,15	105	104,43
1990-2011	102	104,77	101	105,09

Unter den Bedingungen des Standortes Potsdam wurden über den betrachteten Zeitraum durch Anwendung der Unterfußdüngung bei Silo- und bei Körnermais nur geringe Ertragssteigerungen realisiert. Die Kostensteigerung belief sich auf 5 %.

Angesichts dieses Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Unterfußdüngung im Maisanbau kritisch zu hinterfragen. Der in einigen Jahren beobachtete positive Ertragseffekt wird durch die hohen Kosten aus der teuren Maislegemaschine und dem teuren Unterfußdünger nicht gerechtfertigt.

7 Fazit

Die aus Ergebnissen von Feldversuchen ermittelten Ertragsvorteile der Unterfußdüngung im Maisanbau resultierten betriebswirtschaftlich aufgrund der höheren Maschinenkosten und des teuren Unterfußdüngers mit dem angewendeten Kalkulationsmodell in teilweiser Vollkostenrechnung von Aussaat bis Silofüllung in höheren Kosten je Produkteinheit. Silo- und Körnermais sowie unterschiedliche betrachtete Standortbedingungen reagierten in der Kalkulation gleich gerichtet. Ob die Ertragsvorteile im Betrieb umgesetzt werden sollen hängt von der Betriebsstruktur ab. Am ehesten scheint die Anwendung der Unterfußdüngung in Betrieben mit Tierhaltung und knapper Flächenausstattung gerechtfertigt.

Unter Bedingungen von Standorten mit Vorsommertrockenheit werden die Vorteile der schnelleren Jugendentwicklung nach Unterfußdüngung häufig durch die Vorsommertrockenheit zunichte gemacht. Eine Betrachtung für die Witterungsbedingungen des Standortes Potsdam über 20 Jahre ergab nur eine geringe Ertragswirkung aber deutlich höhere Kosten.

Die Ergebnisse der Arbeit stellen die Unterfußdüngung zu Mais insbesondere auf zur Trockenheit neigenden Standorten in Frage.

8 Literaturverzeichnis

- Entrup Lütke, N., & Schäfer, B. C. (2011). *Lehrbuch des Pflanzenbaus-Band 2: Kulturpflanzen*. Bonn: AgroConcept.
- Hanus, H., Heyland, K.-U., & Keller, E. R. (2008). *Handbuch des Pflanzenbaus 2- Getreide und Futtergräser*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer KG.
- Jacobs, G. (2010). Wie viel Unterfußdünger braucht der Mais? *Masi* , 22-24.
- Landwirtschaftskammer Hannover. (1997). *Versuchsbericht*.
- Landwirtschaftskammer Hannover. (1999). *Versuchsbericht*. Hannover.
- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. (1998). *Versuchsbericht*.
- Landwirtschaftskammer Weser-Ems. (1997). *Versuchsbericht*.
- Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe. (2003). *Versuchsbericht*.
- Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe. (2004). *Versuchsbericht*.
- Lütke Entrup, N., & Oehmichen, J. (2000). *Lehrbuch des Pflanzenbaues*. Bonn: Thomas Mann.
- Lütke Entrup, N., & Oehmichen, J. (2000). *Lehrbuch des Pflanzenbaus- Band2: Kulturpflanzen*. Gelsenkirchen: Th. Mann-Verlag.
- Schilling, G. (2000). *Pflanzenernährung und Düngung*. Stuttgart: Eugen Ulmer.