

# Injektionsdüngung

Schriftenreihe, Heft 12/2011



# Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter Berücksichtigung des Klimawandels

Katharina Farack, Dr. habil. Erhard Albert

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
1.1	Motivation	8
1.2	Grundlagen der N-Injektionsdüngung	9
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>12</b>
2.1	Feldversuche	12
2.1.1	Versuchsstandorte	12
2.1.2	Wintergetreide	13
2.1.3	Winterraps	14
2.1.4	Analytik	15
2.1.5	Versuchsanlage und statistische Auswertung	15
2.1.6	Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum	15
2.2	Vergleich von ASL und Domamon® L 26	17
2.2.1	Versuch auf der Kleinparzellenanlage	17
2.2.2	Gefäßversuch	17
2.3	Umfrage	19
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>20</b>
3.1	Feldversuche	20
3.1.1	Wintergetreide	20
3.1.2	Winterraps	31
3.2	Vergleich von ASL und Domamon® L 26	38
3.2.1	Versuch auf der Kleinparzellenanlage	38
3.2.2	Gefäßversuch	40
3.3	Auswertung der Umfrage	42
3.4	Wirtschaftlichkeit der N-Injektion	46
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>50</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prozentualer Niederschlagstrend im Sommer seit 1901 (Quelle: Deutscher Wetterdienst) .....	8
Abbildung 2:	Abschätzung der Änderung der klimatischen Wasserbilanz in Sachsen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (Quelle: LfULG, 2009) .....	8
Abbildung 3:	Wurzelwachstum von Mais in Abhängigkeit von der N-Applikation (Quelle: SOMMER, 2005) .....	10
Abbildung 4:	Wurzelwachstum an der Injektionsstelle .....	10
Abbildung 5:	Messersech, Sternrad und Schlepprohr zum Einbringen von Düngerlösung in den Boden (Quelle: SOMMER, 2005) .....	11
Abbildung 6:	Injektionsmaschine mit Sternrädern (Foto: SCHILLER) .....	11
Abbildung 7:	Lage der Versuchsstandorte in Sachsen und klimatische Wasserbilanz Sachsens (LfUG, 2007) .....	12
Abbildung 8:	Parzelleninjektionsmaschine mit Sternrädern .....	13
Abbildung 9:	Injektionslöcher .....	13
Abbildung 10:	Temperaturverlauf und Niederschlagsverteilung in den Versuchsjahren 2008/2009 und 2009/2010 im Vergleich zum langjährigen Mittel (langjährige Mittel: Pommritz seit 1994, Forchheim seit 1999 und für Baruth die Messstation Preititz seit 1993) .....	16
Abbildung 11:	Mitscherlichgefäß .....	18
Abbildung 12:	Zylinder zur Bodenprobennahme .....	18
Abbildung 13:	Winterweizenerträge und Rohproteingehalte von 5 Versuchsjahren am Standort Forchheim. (Die jährlichen gedüngten N-Mengen unterschieden sich nicht zwischen den Varianten.) .....	20
Abbildung 14:	Zusammenhang zwischen Ähren je m <sup>2</sup> und Körnern je Ähre bei Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Applikation; 2008/09 und 2009/10, Baruth, Pommritz und Forchheim; Einzelwerte aus den Parzellen .....	23
Abbildung 15:	Winterweizen: Entwicklung der N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2008/09); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3. N-Gabe) .....	26
Abbildung 16:	Winterweizen: Entwicklung der N <sub>min</sub> -Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2009/10); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3. N-Gabe) .....	27
Abbildung 17:	Wintergerste 2009 am Standort Baruth .....	28
Abbildung 18:	Entwicklung der Bodenfeuchte unter Wintergerste und Niederschläge im Zeitraum vom 1. April bis 12. Juli 2009 in Baruth sowie die Düngungstermine der Wintergerste .....	29
Abbildung 19:	Wintergerste: Entwicklung der N <sub>min</sub> -Gehalte im Versuchszeitraum (2008/09 und 2009/10); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3. N-Gabe) .....	30
Abbildung 20:	Winterraps: Entwicklung der N <sub>min</sub> -Gehalte im Versuchszeitraum (2008/09); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe) .....	36
Abbildung 21:	Winterraps: Entwicklung der N <sub>min</sub> -Gehalte im Versuchszeitraum (2009/10); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe) .....	37
Abbildung 22:	Winterweizen in der Kastenparzellenanlage nach unterschiedlicher N-Düngung am 28.05.2010 .....	38
Abbildung 23:	Kornertag in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test) .....	38
Abbildung 24:	Strohertrag in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test) .....	38
Abbildung 25:	Rohproteingehalt und TKM in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test) .....	39
Abbildung 26:	N-Entzug in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test) .....	39
Abbildung 27:	Nitratgehalt im Boden und im Bodensickerwasser in Abhängigkeit von der N-Applikation und der Zeit .....	40
Abbildung 28:	Ammoniumgehalt im Boden und im Bodensickerwasser in Abhängigkeit von der N-Applikation und der Zeit .....	40
Abbildung 29:	pH-Wert im Boden und im Bodensickerwasser in Abhängigkeit von der N-Applikation und der Zeit .....	40
Abbildung 30:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Bei der Injektionsdüngung reicht eine einmalige Düngung aus.“ (n = 22) .....	42

Abbildung 31:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Mit einer Herbstinjektion haben wir gute Erfahrungen gemacht.“ (n = 22) ....	43
Abbildung 32:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Injektionsgedüngte Bestände erzielen im Vergleich zur praxis-üblichen Düngung gleich hohe oder höhere Erträge.“ (n = 22).....	43
Abbildung 33:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Injektionsgedüngte Bestände sind gesünder und es müssen weniger PSM eingesetzt werden.“ (n = 22).....	44
Abbildung 34:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Der Einsatz von Wachstumsreglern in injektionsgedüngten Beständen kann reduziert werden.“ (n = 22) .....	44
Abbildung 35:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Für meinen Betrieb ist das Injektionsverfahren ökonomisch von Vorteil.“ (n = 22).....	44
Abbildung 36:	Umfrage: Meinungen zum Satz „Mich überzeugt das Verfahren der Injektionsdüngung.“ (n = 22) .....	45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standortbeschreibung der Versuchsstandorte .....	12
Tabelle 2:	Wintergetreide – geprüfte Varianten .....	13
Tabelle 3:	Aussaat-, Ernte- und Düngungstermine bei Wintergetreide in den Versuchsjahren 2008/2009 und 2009/2010 .....	14
Tabelle 4:	Winterraps – geprüfte Varianten .....	14
Tabelle 5:	Aussaat-, Ernte- und Düngungstermine bei Winterraps in den Versuchsjahren 2008/2009 und 2009/2010 .....	15
Tabelle 6:	Prüfglieder Kleinparzellenversuch; Versuchsjahr 2009/10 .....	17
Tabelle 7:	Prüfglieder im Gefäßversuch zum Vergleich der Depotstabilität .....	17
Tabelle 8:	Winterweizen: Erträge 2009 in Baruth, Pommritz und Forchheim .....	21
Tabelle 9:	Winterweizen: Erträge 2010 in Baruth, Pommritz und Forchheim .....	21
Tabelle 10:	Winterweizen: Rohproteingehalt und TKM 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	22
Tabelle 11:	Winterweizen: Rohproteingehalt und TKM 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	22
Tabelle 12:	Winterweizen: Pflanzenlänge 2009 in Baruth, Pommritz und Forchheim .....	23
Tabelle 13:	Winterweizen: Pflanzenlänge 2010 in Baruth, Pommritz und Forchheim .....	24
Tabelle 14:	Winterweizen: N-Entzüge (Korn und Stroh) 2009 in Baruth, Pommritz und Forchheim .....	24
Tabelle 15:	Winterweizen: N-Entzüge (Korn und Stroh) 2010 in Baruth, Pommritz und Forchheim .....	25
Tabelle 16:	Wintergerste: Ertrag, Rohproteingehalt und N-Entzug 2009, Baruth .....	29
Tabelle 17:	Wintergerste: Ertrag, Rohproteingehalt und N-Entzug 2010, Baruth .....	29
Tabelle 18:	Winterraps: Ertrag 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	31
Tabelle 19:	Winterraps: Ertrag 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	31
Tabelle 20:	Winterraps: Ölgehalt und Ölertrag 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	32
Tabelle 21:	Winterraps: Ölgehalt und Ölertrag 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	33
Tabelle 22:	Winterraps: N-Entzug (Samen und Stroh) 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	33
Tabelle 23:	Winterraps: N-Entzug (Samen und Stroh) 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	34
Tabelle 24:	Winterraps: N-Saldo 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	34
Tabelle 25:	Winterraps: N-Saldo 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	35
Tabelle 26:	Winterraps: Pflanzenlänge 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	35
Tabelle 27:	Winterraps: Pflanzenlänge 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim .....	35
Tabelle 28:	Anzahl der Betriebe, die die Injektion zu den aufgeführten Kulturen durchführen lassen (Mehrfachnennungen) .....	42
Tabelle 29:	Berechnung der N-Düngerkostenfreien-Mehrleistung bei Winterweizen im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle in Abhängigkeit von der N-Applikation (Erntejahr 2009; Pommritzer Erträge) .....	46

## Abkürzungsverzeichnis

AHL	Ammonium-Harnstoff-Lösung
ASL	Ammonium-Sulfat-Lösung
ATS	Ammoniumthiosulfat
BEFU	Programmsystem zur Düngungsberatung und Nährstoffbilanzierung in Sachsen
BfUL	Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
GD	Grenzdifferenz
ha	Hektar
HAS	Harnstoffammoniumsulfat
Inj.	Injektionsdüngung
KAS	Kalkammonsalpeter
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
N	Stickstoff
NH <sub>4</sub>	Ammonium
NO <sub>3</sub>	Nitrat
n.s.	nicht signifikant
NTS	Gemisch aus AHL und ATS
PG	Prüfglied
PSM	Pflanzenschutzmittel
sig.	signifikant
TKM	Tausendkornmasse
VB	Vegetationsbeginn

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

In den vergangenen 100 Jahren sind die Sommerniederschläge in Sachsen deutlich zurückgegangen (Abb. 1). Es kommt immer häufiger zu längeren Trockenperioden im Frühsommer. Der prognostizierte Klimawandel bedeutet im Zusammenhang mit steigenden Temperaturen und abnehmenden Niederschlägen eine Abnahme der klimatischen Wasserbilanz in Sachsen, wobei Ost-sachsen am stärksten betroffen sein wird (Abb. 2). Außerdem wird angenommen, dass Extremereignisse wie Starkniederschläge zunehmen werden (LfULG, 2009).

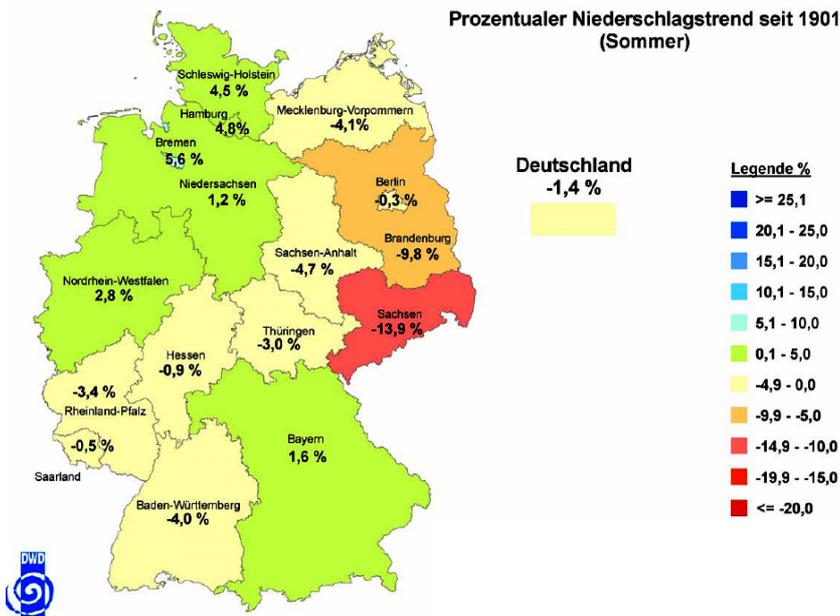


Abbildung 1: Prozentualer Niederschlagstrend im Sommer seit 1901 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

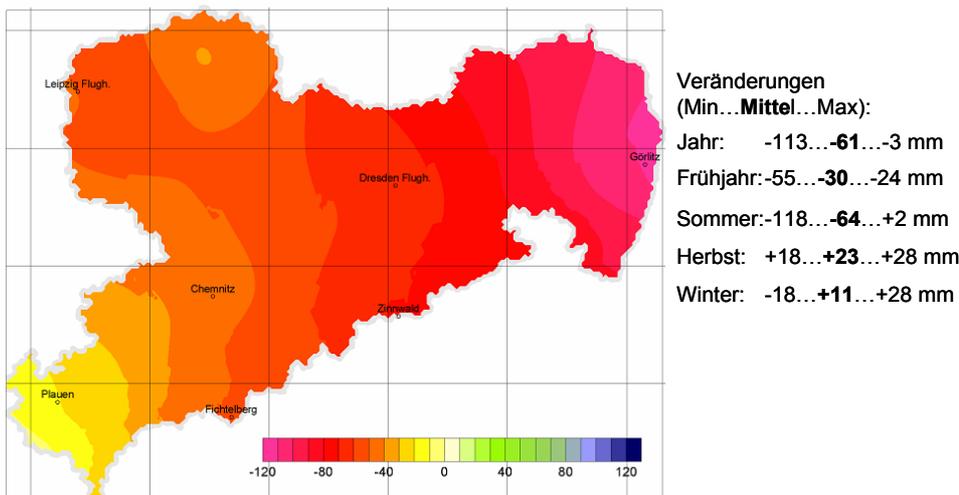


Abbildung 2: Abschätzung der Änderung der klimatischen Wasserbilanz in Sachsen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (Quelle: LfULG, 2009)

Längere Trockenperioden führen zur Abnahme des Bodenwassergehaltes und zum Austrocknen der Bodenkrume, wodurch die Nährstoffverfügbarkeit stark eingeschränkt wird. Auch wenn den Pflanzen in tieferen Bodenschichten noch genügend Wasser zur Verfügung steht, kann so bereits Nährstoffmangel auftreten. Effiziente Düngeapplikationsverfahren – z. B. Injektionsdüngung – können hier entgegenwirken.

So kommt es durch die Injektion von ammoniumhaltigen Düngerlösungen nicht nur zu einer Stabilisierung der Ertragsbildung bei Trockenheit, sondern auch zur Reduktion von umweltgefährdenden Nitratauswaschungen (KÖHLER ET AL., 2003; WALTER, 2003; MENSCHING-BUHR, 2003). Die N-Injektion ist ein praxisreifes Verfahren und wurde 2010 in Sachsen auf ca. 7800 ha durchgeführt (SCHILLER, 2010). Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) wurden im Rahmen des zweijährigen Projektes „Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter dem Einfluss des Klimawandels“ Möglichkeiten untersucht und erprobt, die Verfügbarkeit von Stickstoff durch variierte Injektionsdüngung zu verbessern.

## 1.2 Grundlagen der N-Injektionsdüngung

### Grundprinzip der Injektionsdüngung

Der Begriff Injektionsdüngung umfasst alle Verfahren, bei denen flüssiger Dünger platziert in den Boden eingebracht wird. Demnach bezieht sich die N-Injektionsdüngung auf die Injektion von stickstoffhaltigen Flüssigdüngern in den Boden. Dieses Verfahren – häufig auch als CULTAN bezeichnet – wurde in Deutschland wesentlich von Professor Sommer aus Bonn vorangebracht. Der von ihm geprägte Begriff CULTAN steht für „Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition“, für eine „kontrollierte, langfristige Ammonium-Ernährung“. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung genannt: für eine erfolgreiche N-Injektionsdüngung ist es obligat, dass Ammonium die dominierende Stickstoffform im Düngemittel ist.

### Ammonium und Nitrat im Boden

Stickstoff kommt im Oberboden hauptsächlich in organischer Form vor. Dabei handelt es sich um Aminosäuren, Aminosäuren und Nucleine – Stoffwechselprodukte der Bodenorganismen sowie aus der Umsetzung der abgestorbenen Vegetation und der Organismen. Durch die mikrobielle Zersetzung organischer Stoffe entsteht Ammonium (Ammonifikation), welches sich aber in der Regel im Boden nicht anreichert, da die Umwandlung in Nitrat (Nitrifikation) schneller vonstatten geht als die Ammonifikation (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2005). Nitrat ist gut löslich und unterliegt somit auch leicht der Auswaschung, im Gegensatz zu Ammonium, das im Boden eher immobil ist, da es sich an Tonkolloide und Huminstoffe anlagert (HAIDER, 1996). Es bildet sich somit ein relativ stabiles Depot, wenn ammoniumhaltiger Flüssigdünger in den Boden ohne Einmischung eingebracht wird (SPIESS & MEIER, 2008). Die Ammoniumkonzentration in diesem Depot ist toxisch, so dass die für die Nitrifikation verantwortlichen Bakterien (Nitrosomonas und Nitrobacter) nicht überleben können. Es findet folglich keine Umwandlung von Ammonium in mobiles Nitrat statt (SOMMER, 2003; KÜCKE, 2003). Bedingt durch die geringe Mobilität von Ammonium im Boden und die geringe Auswaschung Gefahr im Vergleich zu Nitrat ist die Ammonium-Injektion besonders für Grundwasserschutzgebiete interessant. So berichten KÖHLER ET AL. (2003) von um ein Drittel verringerten Nitratausträgen bei CULTAN-Düngung im Vergleich zur KAS-Düngung. WALTER (2003) konnte an Hand dreijähriger Nitratuntersuchungen ein geringeres Auswaschungspotenzial im Frühjahr bei CULTAN-Düngung belegen. Im Kreis Uelzen wurden Praxisschläge mit Sickerwassersammlern ausgestattet und die Nitratgehalte im Sickerwasser nach N-Injektion bzw. nach konventioneller Düngung bestimmt. Bei gleichem Ertragsniveau konnte nach N-Injektion weniger Nitrat im Sickerwasser festgestellt werden als nach konventioneller Düngung (MENSCHING-BUHR, 2003).

### Ammoniumernährung der Pflanze

Pflanzen nehmen Stickstoff vor allem in Form von  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^+$ -Ionen sowie als Harnstoff auf. Nitrat wird entweder direkt in der Wurzel oder nach dem Transport in den Spross zu Ammonium reduziert. Ammonium wird nicht bzw. nur in sehr geringem Maße in der Pflanze transportiert (toxisch), sondern es werden bereits in der Wurzel Aminosäuren und Amide gebildet (SCHILLING, 2000). Die Ammoniumkonzentration im Depot ist für die Pflanzenwurzeln toxisch – sie erschließen das Depot vom Rand aus (Abb. 3, Abb. 4). Von den Grenzflächen des Depots nehmen die Pflanzen Ammonium nur dann auf, wenn sie ausreichend mit Kohlenhydraten versorgt sind. Die Photosyntheseleistung beeinflusst folglich die Aufnahme von Ammonium, die bedarfsabhängig erfolgt, vegetative Fehlentwicklungen werden somit vermieden (SOMMER, 2005). Die Form des Stickstoffs – Ammonium oder Nitrat – beeinflusst die Entwicklung und Ertragsbildung der Pflanzen (MARSCHNER, 1986; WIESLER, 1997). So führt z. B. ein erhöhter Ammonium-Anteil an der Pflanzenernährung zu mehr Ähren pro Pflanze bei Getreide (WIESLER, 1997). Injektionsgedüngte

Pflanzen gelten als trockenresistenter; begründet wird dies mit einem größeren Wurzelvolumen der Pflanzen. Außerdem werden Getreidebestände häufig als „länger grün“ und gesünder beschrieben (SOMMER, 2005).

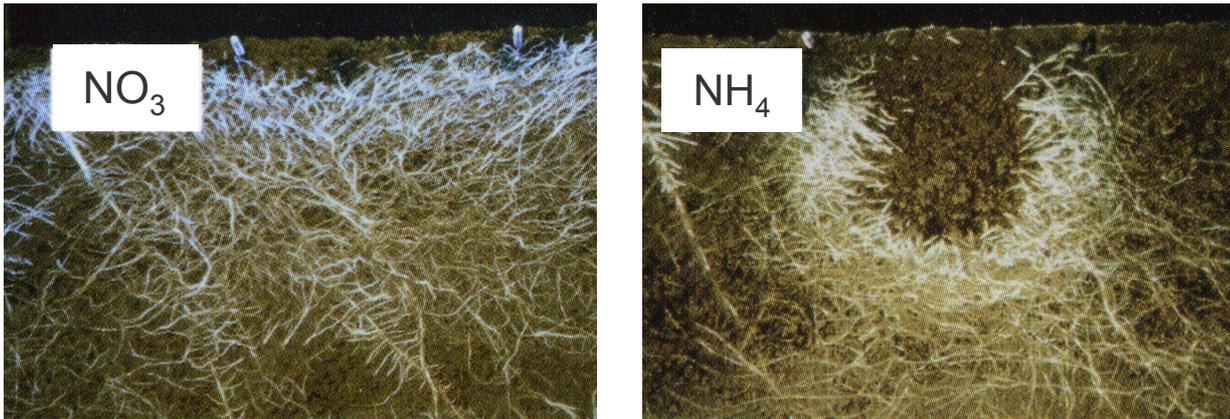


Abbildung 3: Wurzelwachstum von Mais in Abhängigkeit von der N-Applikation (Quelle: SOMMER, 2005)



Abbildung 4: Wurzelwachstum an der Injektionsstelle

Erfahrungen mit der Injektionsdüngung liegen zu allen wichtigen Hauptfurchtarten vor. Für Winterweizen, Winterroggen und Winterraps wird von gleich hohen oder höheren Erträgen nach N-Injektion im Vergleich zur konventionellen Düngung berichtet (BOELCKE, 2003; FELGENTREU, 2003; KÜCKE, 2003). SCHUMACHER (2009) konnte höhere Erträge und bessere Qualität von Braugerste nach Ammonium-Depotdüngung beobachten. Ein Einfluss der N-Applikationsart (Injektionsdüngung vs. gesplittete Oberflächendüngung) auf das Ertragsniveau von Silomais konnte nicht festgestellt werden (RICHTER, 2010). Auch an Kartoffeln und Zuckerrüben wurde das N-Injektionsverfahren bereits erprobt (BECK, 2010; SPIESS, 2006; WEIMAR, 2003). Bei Grünland ist eine einmalige N-Injektion für mehrere Schnitte nicht ausreichend (REINHARD, 2010).

### Geeignete Dünger für N-Injektion

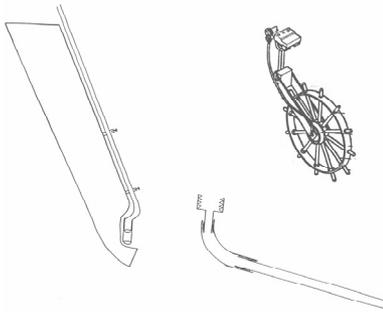
Voraussetzung für ein stabiles Depot im Boden ist ein hoher Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff und möglichst kein bzw. wenig Nitrat. Besonders geeignet sind daher Düngerlösungen, die als alleinige Stickstoffform Ammonium enthalten, wie z. B. Ammoniumsulfatlösung (ASL mit 8 % N, 9 % S). SOMMER (2008) nennt auch  $\text{NH}_3$ -Gas und  $\text{NH}_3$ -Starkwasser als geeignete Dünger, schließt aber eine breite Anwendung aus Sicherheitsgründen aus. Häufig kommen für die N-Injektion Harnstoff-Ammoniumsulfatlösungen (HAS) oder Ammonium-Harnstoff-Lösungen (AHL) zum Einsatz. Harnstoff wird im Boden zu Ammonium umgewandelt. Ebenso werden in der Praxis Gemische, z. B. NTS aus AHL und Ammoniumthiosulfat (ATS), ausgebracht.

Flüssigdünger muss – im Gegensatz zu Stickstoffdünger in fester Form, z. B. KAS – nicht gelöst werden und wirkt somit besser bei Trockenheit. Auf Grund der Depot-Stabilität können mit der Injektionsdüngung N-Gaben zusammengefasst werden. Hier liegt allerdings auch ein Nachteil der N-Injektion. Ohne Kenntnis der Witterung wird die gesamte N-Menge zu Vegetationsbeginn

ausgebracht. Bei dem Anbau von Qualitätsweizen wird in der Praxis jedoch nicht auf eine Qualitätsgabe zum Ährenschieben verzichtet (s. Kap. 3.3).

### Technologische Umsetzung und Anwendung in der Praxis

Zur Vermeidung von Ammoniakverlusten ist es notwendig, dass ammoniumhaltiger Dünger direkt in den Boden eingebracht wird. Dies ist auf verschiedene Weise möglich (Abb. 5). Nur bedingt geeignet ist das Schlepprohr, da es nicht bzw. nicht tief in den Boden eindringt. Mit dem Messersech erfolgt eine linienförmige Injektion. Sehr günstig ist das Sternrad, mit dem die Düngertlösung punktförmig – und damit lokal konzentriert – in etwa 5 bis 10 cm Tiefe injiziert wird. Damit ist auch in Randbereichen eine genaue Ausbringung möglich, Streufehler werden vermieden sowie Ammoniakverluste reduziert (KÜCKE, 2004). Maschinen mit Sternrädern sind in Deutschland verbreitet mit einer Arbeitsbreite von 12 oder 18 Metern im Einsatz (Abb. 6). In den Niederlanden werden Maschinen erprobt, die die Düngertlösung mit Hochdruck in den Boden einbringen (SMIT, 2010). Das Einbringen des Düngers in ca. 8 cm Tiefe verringert die Gefahr von Nährstoffverlusten durch Erosion.



**Abbildung 5: Messersech, Sternrad und Schlepprohr zum Einbringen von Düngertlösung in den Boden (Quelle: SOMMER, 2005)**



**Abbildung 6: Injektionsmaschine mit Sternrädern (Foto: SCHILLER)**

Geeignet ist das Injektionsdüngungsverfahren sowohl für wendende als auch für pfluglose Bodenbearbeitung. Letztere profitiert besonders von der N-Injektion; die Ammonium-Depots werden unter der Humusaufgabe angelegt und eine schnelle Zersetzung dieser damit verhindert (SOMMER, 2005).

Durch die einmalige Anlage des N-Depots werden Arbeitsgänge und damit Arbeitszeit sowie Diesel eingespart.

Nicht unproblematisch ist das Vorhalten und der Transport der großen Mengen Flüssigdünger, hier sind die gesetzlichen Vorgaben zu beachten (u. a. Wasserhaushaltsgesetz). Dies ist ein wesentlicher Grund dafür, dass die Injektionsdüngung bis auf wenige Ausnahmen von Lohnunternehmern durchgeführt wird, die sowohl die Logistik als auch die Ausbringung des Flüssigdüngers übernehmen. Eine teilschlagspezifische N-Injektion wird in Deutschland noch nicht angeboten.

# 2 Material und Methoden

## 2.1 Feldversuche

### 2.1.1 Versuchsstandorte

Seit 2006 führt das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie am Standort Forchheim Versuche zur Injektionsdüngung durch und seit dem Versuchsjahr 2008/09 auch auf den Versuchsstationen Pommritz und Baruth. Die drei Stationen repräsentieren unterschiedliche sächsische Standortbedingungen (Abb. 7, Tab. 1). Forchheim im Erzgebirge ist geprägt vom feuchten, kühlen Klima der mittleren Berglagen. Die Versuchsstandorte Baruth und Pommritz im Landkreis Bautzen sind durch mäßig trockenes, mäßig warmes Binnenlandklima beeinflusst.

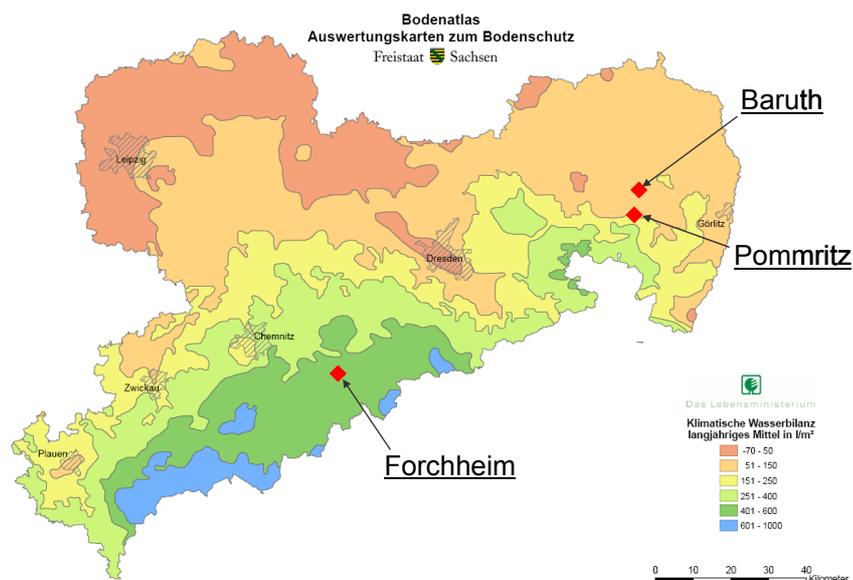


Abbildung 7: Lage der Versuchsstandorte in Sachsen und klimatische Wasserbilanz Sachsens (LfUG, 2007)

Tabelle 1: Standortbeschreibung der Versuchsstandorte

Parameter	Versuchsstation		
	Baruth	Pommritz	Forchheim
Landkreis	Bautzen	Bautzen	Erzgebirgskreis
Höhen über NN	151 m	230 m	565 m
Niederschläge – langjähriges Mittel			
1961 – 1990	626 mm	698 mm	879 mm
Temperaturen – langjähriges Mittel			
1961 – 1990	8,6 °C	8,6 °C	6,5 °C
Standorttyp	D 3/4	Lö 4	V 8
Bodenart	anlehmgiger Sand	Lehm - sandiger Lehm	sandiger Lehm
mittlere Ackerzahl	30	61	33

### 2.1.2 Wintergetreide

An allen drei Standorten wird die Injektionsdüngung zu Winterweizen (Sorte: Türkis) sowie in Baruth zusätzlich zu Wintergerste (Sorte: Lomerit) geprüft. Während in den ersten drei Jahren (2006, 2007, 2008) nur in Forchheim sechs Prüfglieder (PG) mit unterschiedlichen N-Applikationen untersucht wurden, erfolgte im Versuchsjahr 2008/09 eine Ausweitung der Versuche auf die Standorte Baruth und Pommritz sowie eine Ergänzung um zwei weitere Prüfglieder. Mit dem Versuchsjahr 2009/10 wurde der Versuch nochmals um zwei Prüfglieder erweitert, so dass jetzt insgesamt zehn Varianten zur Verfügung stehen (Tab. 2). Es ist geplant, die Versuche bis 2013 fortzuführen. Die Höhe der jeweils erste Stickstoffgabe zu Vegetationsbeginn im Frühjahr wird bedarfsabhängig auf Grundlage der  $N_{min}$ -Gehalte im Boden nach Berechnung mit BEFU (Programmsystem zur Düngungsberatung und Nährstoffbilanzierung in Sachsen) gedüngt.

**Tabelle 2: Wintergetreide – geprüfte Varianten**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				geprüft seit Versuchsjahr
	Herbst Ende Oktober	1. N-Gabe Vegetationsbeginn	2. N-Gabe EC 31	3. N-Gabe EC 55	
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	2005/06
2 Streuen	0	nach BEFU (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	2005/06
3 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	0	nach BEFU + 50 (KAS)	50 (KAS)	2008/09
4 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	nach BEFU (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	2008/09
5 Injektion	50 (Inj.)	0	nach BEFU + 100 (Inj.)	0	2009/10
6 Streuen/Injektion	0	nach BEFU (KAS)	100 (Inj.)	0	2005/06
7 Injektion	0	nach BEFU + 100 (Inj.)	0	0	2005/06
8 Injektion/Streuen	0	nach BEFU + 50 (Inj.)	0	50 (KAS)	2009/10
9 Injektion/Streuen	0	0	nach BEFU + 50 (Inj.)	50 (KAS)	2005/06
10 Injektion	0	0	nach BEFU + 100 (Inj.)	0	2005/06



**Abbildung 8: Parzelleninjektionsmaschine mit Sternrädern**



**Abbildung 9: Injektionslöcher**

Für die Injektionsdüngung kam bis zum Herbst 2009 Domamon® L 26 zum Einsatz, eine Ammoniumsulfat-Harnstoff-Lösung mit 20 % Gesamtstickstoff, wobei 14 % als Harnstoff und 6 % als Ammonium vorliegen. Außerdem enthält die Lösung 6 % Schwefel in sofort verfügbarer Sulfatform. Seit Frühjahr 2010 wird für die Injektion eine Ammoniumsulfatlösung (ASL) verwendet. Diese

Lösung enthält 8 % Ammonium als Gesamtstickstoff und 9 % Schwefel. Das LfULG verfügt über eine 3-Meter-Injektionsdüngungsmaschine (Abb. 8); welche eine Punkt-Injektion in ca. 8 cm Tiefe ermöglicht (Abb. 9). Verglichen wurde die Injektionsdüngung mit der herkömmlichen Streu-Düngung mit drei N-Gaben. Die N-Applikation „Streuen“ erfolgte mit Kalkammonsalpeter (KAS) und einem Parzellendüngerstreuer.

Bodenbearbeitung (wendend) und Aussaat führten die Mitarbeiter auf den Versuchsstationen standortüblich durch (Tab. 3). Die Düngung von Phosphor und Kalium sowie Kalkung wurde im Bedarfsfall vor der Aussaat im Herbst realisiert. Der Einsatz von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden erfolgte einheitlich nach Befallsrichtwerten des integrierten Pflanzenbaus. Zur Vermeidung von Lager wurden im Bedarfsfall Halmstabilisatoren eingesetzt.

**Tabelle 3: Aussaat-, Ernte- und Düngungstermine bei Wintergetreide in den Versuchsjahren 2008/2009 und 2009/2010**

	Versuchsjahr							
	2008/2009				2009/2010			
	Wintergerste Baruth	Winterweizen Baruth Pommritz Forchheim			Wintergerste Baruth	Winterweizen Baruth Pommritz Forchheim		
Aussaat	17.09.08	17.09.08	09.10.08	29.09.09	16.09.09	23.09.09	05.10.09	24.09.09
Herbstdüngung	24.10.08	24.10.08	27.10.08	21.10.08	22.10.09	22.10.09	01.11.09	09.10.09
1. N-Gabe	02.04.09	02.04.09	02.04.09	01.04.09	25.03.10	25.03.10	25.03.10	24.03.10
2. N-Gabe	22./23.04.09	22./23.04.09	23./24.04.09	07.05.09	29.04.10	29.04.10	28.04.10	12.05.10
3. N-Gabe	08.05.09	20.05.09	25.05.09	03.06.09	17.05.10	31.05.10	08.06.10	15.06.10
Ernte	06.07.09	06.08.09	07.08.09	20.08.09	13.07.10	17.08.10	12.08.10	21.08.10

### 2.1.3 Winterraps

Seit dem Versuchsjahr 2008/09 wird die Wirkung der Injektionsdüngung bei Winterraps (Sorte: Adriana) an den drei Standorten Baruth, Pommritz und Forchheim geprüft. Im ersten Jahr wurde der Versuch mit acht Prüfgliedern angelegt, die mit dem Versuchsjahr 2009/10 um zwei auf insgesamt zehn Prüfglieder erweitert wurden (Tab. 4). Geplant ist eine Versuchslaufzeit bis 2013.

**Tabelle 4: Winterraps – geprüfte Varianten**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			geprüft seit Versuchsjahr
	Herbst Ende Oktober	1. N-Gabe Vegetationsbeginn	2. N-Gabe Streckungswachstum	
1 ohne N-Düngung	0	0	0	2008/09
2 Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	2008/09
3 Injektion	100 (Inj.)	0	0	2008/09
4 Injektion	200 (Inj.)	0	0	2008/09
5 Injektion	0	100 (Inj.)	0	2009/10
6 Injektion	0	200 (Inj.)	0	2008/09
7 Streuen	0	100 (KAS)	0	2009/10
8 Streuen	0	200 (KAS)	0	2008/09
9 Injektion/Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	2008/09
10 Injektion/Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	2008/09

Für die Streu-Varianten wurde KAS verwendet und die Injektion erfolgte mit Domamon® L 26 (vgl. Kap. 2.1.1). Alle Prüfglieder erhielten zu Vegetationsbeginn eine Schwefeldüngung (30 kg S/ha) mit Kieserit. Bodenbearbeitung (wendend) und Aussaat verliefen standorttypisch optimal (Tab. 5). Phosphor- und Kaliumdüngung sowie Kalkung wurden vor der Aussaat nach Bedarf durch-

geführt. Der Einsatz von Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden erfolgte einheitlich nach Befallsrichtwerten des integrierten Pflanzenbaus.

**Tabelle 5: Aussaat-, Ernte- und Düngungstermine bei Winterraps in den Versuchsjahren 2008/2009 und 2009/2010**

	Versuchsjahr					
	2008/09			2009/10		
	Baruth	Pommritz	Forchheim	Baruth	Pommritz	Forchheim
Aussaat	26.08.08	21.08.08	20.08.08	20.08.09	25.08.09	25.08.09
Herbstdüngung	24.10.08	27.10.08	21.10.08	22.10.09	22.10.09	09.10.09
1. N-Gabe	02.04.09	02.04.09	01.04.09	25.03.10	24./25.03.10	24.03.10
2. N-Gabe	15.04.09	14.04.09	15.04.09	09.04.10	09.04.10	19.04.10
Ernte	16.07.09	20.07.09	10.08.09	27.07.10	31.07.10	10.08.10

#### 2.1.4 Analytik

Die Untersuchungen der Bodenproben und die Analysen der Pflanzenproben wurden durch die Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Leipzig durchgeführt.

#### 2.1.5 Versuchsanlage und statistische Auswertung

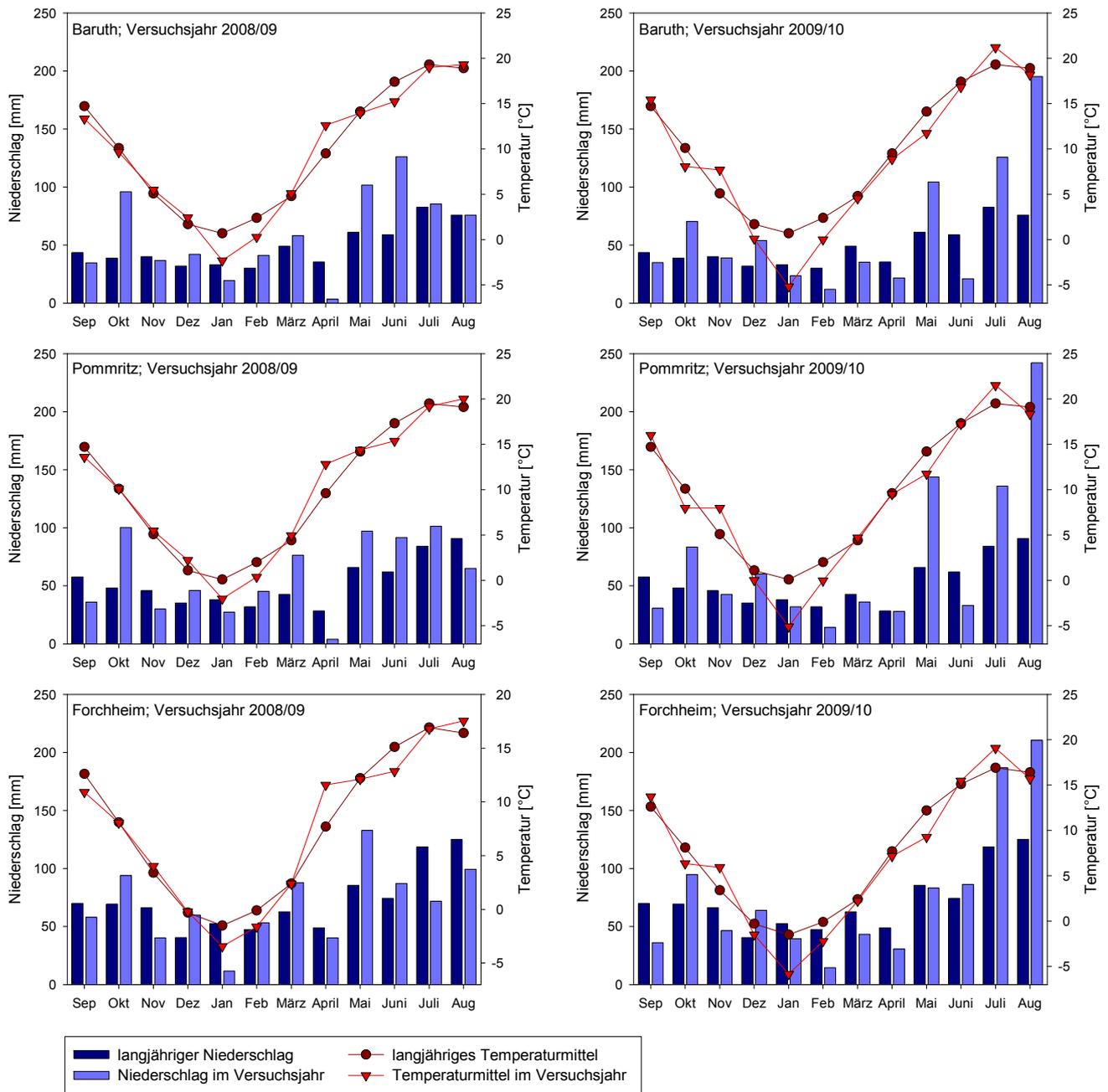
Alle Feldversuche wurden als Blockanlage mit vier Blöcken angelegt. Bei acht Prüfgliedern (2008/09) erfolgte die Anlage als lateinisches Rechteck (außer Baruth Winterweizen = Blockanlage) ebenfalls mit vier Wiederholungen. Im Versuchsjahr 2009/2010 wurde der Winterweizen in Pommritz als Blockanlage mit fünf Wiederholungen angelegt.

Die Versuchsergebnisse wurden mit dem Programm SPSS statistisch ausgewertet. Bei signifikantem Einfluss des Prüffaktors erfolgte der Vergleich der Mittelwerte mit dem Tukey-Test ( $p = 0,05$ ). Signifikante Unterschiede sind in den Tabellen durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet, Grundlage für diese Kennzeichnung sind die ungerundeten und nicht die in den Tabellen dargestellten gerundeten Werte. Die Grenzdifferenzen (GD) sind ebenfalls gerundet in den Tabellen angegeben.

#### 2.1.6 Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum

Die Witterungsbedingungen in den beiden hier vorgestellten Versuchsjahren waren sehr unterschiedlich (Abb. 10). Prägend für das Versuchsjahr 2008/09 war der ungewöhnlich trockene und warme April 2009. An allen drei Versuchsstandorten regnete es deutlich weniger als im langjährigen Mittel. Besonders betroffen war der leichte Standort Baruth, hier traten vor allem beim Winterweizen teilweise sichtbare Trockenschäden auf. Die höheren Apriltemperaturen bewirkten eine rasche Entwicklung des Winterrapses, infolgedessen war ein relativ kurzer Abstand (14 Tage) zwischen den beiden Frühjahrs-N-Gaben erforderlich. Der Juni 2008 war jedoch kühl und nass. Die Bestände konnten sich gut erholen, so dass trockenheitsbedingte Schäden visuell nicht mehr festzustellen waren.

Für das Versuchsjahr 2009/2010 fällt besonders der kalte Winter mit Temperaturen unter dem langjährigen Mittel auf. Dank einer geschlossenen Schneedecke kam es aber kaum zu Frostschäden an den Beständen. Weiterhin war der Mai in diesem Jahr sehr kühl und an den Standorten Baruth und Pommritz überdurchschnittlich feucht. Auf einen heißen Juli folgte 2010 ein kühler und vor allem nasser August. Durch die häufigen Niederschläge im August wurde die Ernte der Kulturen stark beeinträchtigt.



**Abbildung 10: Temperaturverlauf und Niederschlagsverteilung in den Versuchsjahren 2008/2009 und 2009/2010 im Vergleich zum langjährigen Mittel (langjährige Mittel: Pommritz seit 1994, Forchheim seit 1999 und für Baruth die Messstation Preititz seit 1993)**

## 2.2 Vergleich von ASL und Domamon® L 26

### 2.2.1 Versuch auf der Kleinparzellenanlage

Mit diesem Versuch wurden im Versuchsjahr 2009/10 die beiden Düngerlösungen ASL und Domamon® L 26 in ihrer Wirkung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen (Sorte: Potenzial) verglichen. Die 8 % Gesamtstickstoff in der Ammoniumsulfatlösung liegen als Ammonium vor. Bei Domamon® L 26 setzen sich die 20 % Gesamtstickstoff aus 6 % Ammoniumstickstoff und 14 % Harnstoff zusammen. SOMMER (2008) empfiehlt jedoch für das CULTAN-Verfahren besonders bei Getreide Düngerlösungen, in denen der gesamte Stickstoff als Ammonium vorliegt. Die Injektionen wurden zu zwei Terminen, Vegetationsbeginn und Schossen (EC 31), durchgeführt. Außerdem wurden eine ungedüngte und eine Streu-Variante mit drei Gaben KAS geprüft. Alle gedüngten Varianten erhielten insgesamt 150 kg N/ha (Tab. 6).

**Tabelle 6: Prüfglieder Kleinparzellenversuch; Versuchsjahr 2009/10**

Prüfglieder	
1	ohne N-Düngung
2	KAS-Streuen: 50 kg N/ha zu Vegetationsbeginn; 50 kg N/ha zu EC 31; 50 kg N/ha zu EC 55
3	Injektion: 150 kg N/ha mit ASL zu Vegetationsbeginn
4	Injektion: 150 kg N/ha mit Domamon® L 26 zu Vegetationsbeginn
5	Injektion: 150 kg N/ha mit ASL zu EC 31
6	Injektion: 150 kg N/ha mit Domamon® L 26 zu EC 31

Die für den Versuch verwendeten Kastenparzellen waren mit Löß-Lehm gefüllt. Jede Variante wurde in drei Wiederholungen geprüft, so dass insgesamt 18 Kästen genutzt wurden (Blockanlage). Die Aussaat des Winterweizens erfolgte am 16.11.2009.

Für die N-Injektion zu Vegetationsbeginn bzw. zum Schossen wurden je m<sup>2</sup> 28 Injektionslöcher gestochen und anschließend mit Hilfe einer Dispenserflasche und eines Schlauches die exakte Menge Düngerlösung in die Löcher gegeben. KAS wurde zu den drei Terminen per Hand gestreut. Der Pflanzenschutz erfolgte einheitlich nach den Richtlinien des integrierten Pflanzenbaus.

Nach der Ernte am 10.08.2010 und der Probenaufbereitung wurden die Inhaltsstoffe von Korn und Stroh durch das BfUL untersucht.

### 2.2.2 Gefäßversuch

Die Stabilität der N-Depots wird wesentlich von der Ammoniumkonzentration beeinflusst. Geprüft wurde, ob es einen Unterschied in der Depotstabilität in Abhängigkeit von der Düngerlösung gibt. Verglichen wurden ASL und Domamon® L 26 in zwei Aufwandmengen: 100 kg N/ha und 200 kg N/ha. Außerdem gab es eine ungedüngte Kontrollvariante. Zu vier verschiedenen Terminen erfolgte die Bodenprobenahme (Tab. 7). Da die Gefäße für die Bodenprobenahmen vollständig entleert werden mussten, wurden für jeden Probenahmetermin eigene Gefäße angesetzt.

**Tabelle 7: Prüfglieder im Gefäßversuch zum Vergleich der Depotstabilität**

Pfüffaktor A: Düngung		Prüffaktor B: Probenahmetermin nach Anlage	
1	ohne N-Düngung	1	nach 0 Tagen
2	100 kg N/ha mit Ammoniumsulfat	2	nach 35 Tagen
3	200 kg N/ha mit Ammoniumsulfat	3	nach 118 Tagen
4	100 kg N/ha mit Domamon® L 26	4	nach 187 Tagen
5	200 kg N/ha mit Domamon® L 26		

Jede Variante wurde viermal wiederholt, außer die Varianten mit dem Probenahmetermin gleich nach Anlage (0 Tage), hier waren es zwei Wiederholungen. Insgesamt umfasste der Versuch 70 Mitscherlichgefäße (Abb. 11), die in einem Rollgewächshaus standen. Beginn des Versuches war am 01.12.2009. Ursprünglich war eine Versuchsdauer von maximal 12 Wochen

geplant, aber auf Grund der langen Frostperiode im Winter 2009/10 waren keine Veränderungen im Boden zu erwarten und die Versuchslaufzeit wurde auf 187 Tage (vierter Probenahmeterim) verlängert.



**Abbildung 11: Mitscherlichgefäß**



**Abbildung 12: Zylinder zur Bodenprobennahme**

Nach dem Einfüllen des Bodens wurde bei den gedüngten Varianten je Gefäß ein Depot mit Hilfe einer Pipette mittig in etwa 8 cm Tiefe angelegt. Der Boden wurde während des ganzen Versuchszeitraumes feucht gehalten; Wasser, welches sich in der unteren Schale ansammelte, wurde zu den Probenahmeterminen abgefüllt (Bodensickerwasser). Für die Bodenprobenahmen wurde ein Zylinder mit einem Durchmesser von 7 cm verwendet (Abb. 12). Dieser wurde – das Depot mittig – in den Boden bis zum Gefäßboden (30 cm Tiefe) gedrückt. Der Boden aus dem Zylinder wurde gemischt.

Zu den Probenahmeterminen wurden die Nitrat- und Ammoniumgehalte sowie die pH-Werte sowohl im Boden als auch im Bodensickerwasser vom BfUL untersucht.

## 2.3 Umfrage

Zur N-Injektionsdüngung existieren viele Aussagen, die in Feldversuchen nur mit hohem Aufwand beantwortet werden können. So wird zum Beispiel häufig berichtet, dass Bestände, die im N-Injektionsverfahren gedüngt wurden, gesünder sind und weniger Wachstumsregler brauchen (KRAATZ, 2003; SOMMER, 2005; SCHUMACHER, 2009). Diese Aussage ließe sich nur mit sehr komplexen, mehrfaktoriellen Versuchen belegen. Aus diesem Grund wurde eine Umfrage unter Landwirten durchgeführt, die die N-Injektion in ihrem Betrieb durchführen.

Um eine hohe Rücklaufquote zu erzielen, wurde der Fragebogen relativ kurz und einfach verfasst. Wichtig war es, alle Fragen auf einer A4-Seite unterzubringen und die Fragen möglichst klar und eindeutig zu formulieren, so dass die Antworten ohne großen zeitlichen Aufwand gegeben werden konnten. Ein Verzicht auf Information wurde dabei bei vielen Fragen in Kauf genommen. Insgesamt wurden 40 Landwirtschaftsbetriebe angeschrieben. Von allen Betrieben war bekannt, dass sie bereits die Injektionsdüngung angewendet haben. Der einseitige Fragebogen begann mit Fragen zur Betriebsstruktur, z. B. wie viel Hektar Acker- bzw. Grünlandfläche bewirtschaftet werden. Außerdem wurde erfragt, seit wie vielen Jahren, auf welcher Fläche und bei welchen Kulturen der Betrieb die Injektionsdüngung durchführen lässt. Bei allen weiteren Fragen konnte

- trifft zu
- trifft nicht zu
- keine Angaben

angekreuzt werden. So wurden die Landwirte gebeten, zu folgenden Aussagen ihre Meinung abzugeben:

- Bei der Injektionsdüngung reicht eine einmalige Düngung aus.
- Mit einer Herbstinjektion haben wir gute Erfahrungen gemacht.
- Injektionsgedüngte Bestände erzielen im Vergleich zur praxisüblichen Düngung gleich hohe oder höhere Erträge.
- Injektionsgedüngte Bestände sind gesünder und es müssen weniger PSM eingesetzt werden.
- Der Einsatz von Wachstumsreglern in injektionsgedüngten Beständen kann reduziert werden.
- Für meinen Betrieb ist die Injektionsdüngung ökonomisch von Vorteil.
- Mich überzeugt das Verfahren der Injektionsdüngung.

Zusätzlich konnten Anmerkungen und Meinungen zur Injektionsdüngung notiert werden.

# 3 Ergebnisse und Diskussion

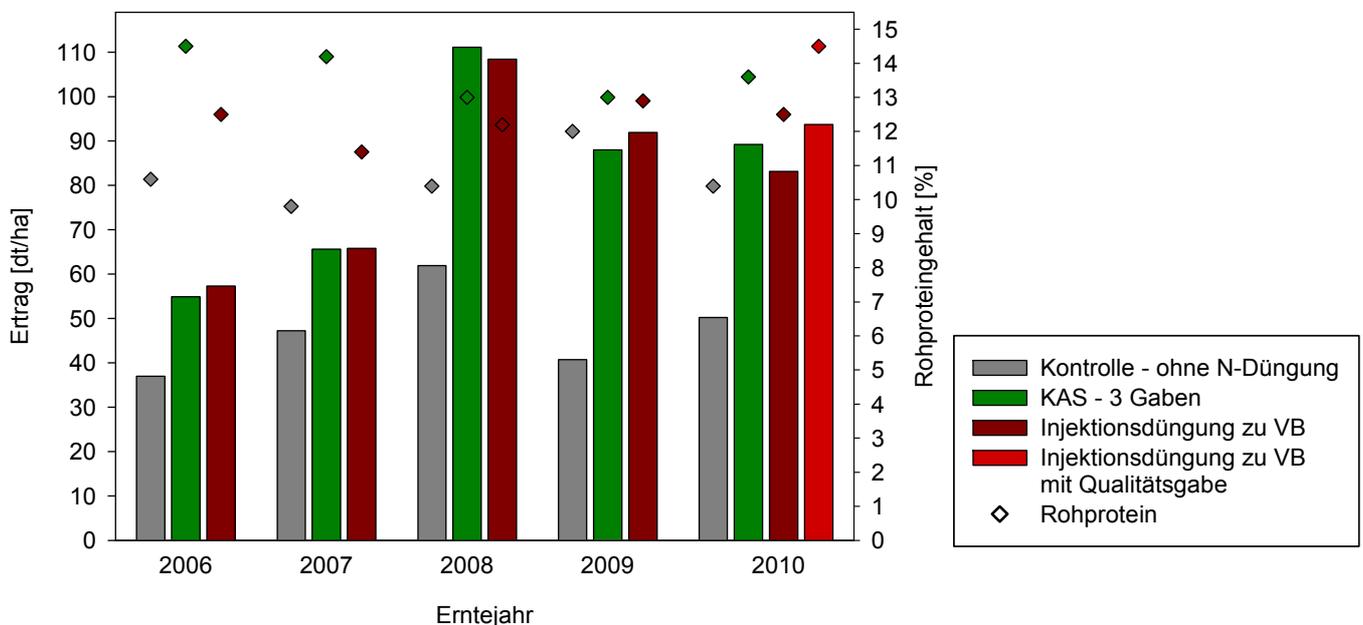
## 3.1 Feldversuche

### 3.1.1 Wintergetreide

#### Winterweizen

Die Injektionsdüngung zu Winterweizen wird am Standort Forchheim seit dem Versuchsjahr 2005/06 geprüft, so dass fünf Ernten ausgewertet werden können; dabei liegt der Schwerpunkt vor allem auf dem Vergleich der praxisüblichen Düngung mit drei Gaben KAS und der einmaligen Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn (Abb. 13). Witterungsbedingt waren die Erträge 2006 und 2007 verhältnismäßig niedrig. Dagegen wurden 2008 sehr gute und 2009 sowie 2010 gute Erträge erzielt. In den ersten drei Versuchsjahren waren die Unterschiede im Kornertag zwischen der breitwürfigen KAS-Düngung in drei Gaben und der einmaligen N-Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn nicht signifikant. Jedoch blieb die Injektionsvariante deutlich im Rohproteingehalt zurück. 2009 erzielte die Injektionsvariante einen signifikanten Mehrertrag (92 dt/ha) gegenüber der KAS-Variante (88 dt/ha,  $GD_{Tukey}$ : 3 dt/ha), der Rohproteingehalt lag auf gleichem Niveau.

Das im letzten Versuchsjahr neu eingeführte Prüfglied – Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn plus Qualitätsgabe zu EC 55 – erzielte den höchsten Ertrag bei höchstem Rohproteingehalt (Abb. 13; vgl. a. Tab. 9).



**Abbildung 13: Winterweizenerträge und Rohproteingehalte von 5 Versuchsjahren am Standort Forchheim. (Die jährlichen gedüngten N-Mengen unterschieden sich nicht zwischen den Varianten.)**

In den Versuchsjahren 2008/09 und 2009/10 wurde die Injektionsdüngung zu Winterweizen an drei Standorten (Baruth, Pommritz, Forchheim) geprüft. Die Erträge der ungedüngten Varianten spiegeln deutlich das unterschiedliche Ertragsniveau dieser drei Standorte sowie die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den beiden Versuchsjahren wider (Tab. 8, Tab. 9). So wurden ohne N-Düngung in Baruth – bedingt durch die lange Trockenheit im April 2009 – nur 21 dt/ha erreicht; auch im Versuchsjahr 2010 mit deutlich günstigeren Witterungsbedingungen lag der Ertrag mit 44 dt/ha noch deutlich unter dem der anderen beiden Standorte. Während 2010 die ungedüngten Varianten mit einem Ertrag über 50 dt/ha in Forchheim und Pommritz ein gleiches Niveau erzielten, wirkte sich 2009 die gute Wasserhaltefähigkeit des lehmigen Bodens in Pommritz positiv auf den Ertrag aus. Hier konnten – trotz Frühjahrstrockenheit – auch ohne N-Düngung 63 dt/ha erzielt werden; das Ertragsniveau war nur in Pommritz 2009 höher als 2010.

Während 2009 an allen drei Standorten zwischen den Erträgen der gedüngten Varianten signifikante Unterschiede festgestellt werden konnten, trifft dies 2010 nur für Forchheim zu.

Die praxisübliche Variante mit drei gestreuten N-Gaben (Prüfglied (PG) 2) führte in beiden Versuchsjahren und an allen drei Standorten zu guten bzw. sehr guten Erträgen. Jedoch wurden 2009 mit der einmaligen N-Injektion (PG 6) zu Vegetationsbeginn in Baruth und Forchheim signifikant höhere Erträge erreicht; 2010 war allerdings die Streuvariante (PG 2) in Forchheim der einmaligen N-Injektion (PG 7) im Ertrag signifikant überlegen. Warum hier die einmalige Injektion zu Vegetationsbeginn zu einem so negativen Ergebnis geführt hat, ist nicht erklärbar. Im Vorjahr wurden mit dieser Variante in Forchheim sehr gute Erträge erzielt, und auch beim Winterraps führte 2010 die einmalige Injektion am Standort Forchheim zu hohen Erträgen (vgl. Tab. 19).

**Tabelle 8: Winterweizen: Erträge 2009 in Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Ertrag bei 86 % [dt/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	20,9 <sup>a</sup>	63,4 <sup>a</sup>	40,7 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	44,3 <sup>bc</sup>	101,4 <sup>bcd</sup>	88,0 <sup>b</sup>
3 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	100* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	43,8 <sup>bc</sup>	106,3 <sup>d</sup>	85,9 <sup>b</sup>
4 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	45,7 <sup>cd</sup>	103,7 <sup>cd</sup>	91,2 <sup>c</sup>
5 Streuen/Injektion	0	50* <sub>(KAS)</sub>	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	42,7 <sup>bc</sup>	101,3 <sup>bcd</sup>	93,5 <sup>c</sup>
6 Injektion	0	150* <sub>(Inj.)</sub>	0	0	52,2 <sup>d</sup>	102,4 <sup>bcd</sup>	91,9 <sup>c</sup>
7 Injektion/Streuen	0	0	100* <sub>(Inj.)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	37,5 <sup>b</sup>	97,3 <sup>b</sup>	86,0 <sup>b</sup>
8 Injektion	0	0	150* <sub>(Inj.)</sub>	0	40,0 <sup>bc</sup>	99,5 <sup>bc</sup>	85,6 <sup>b</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	7,6	5,8	3,0

\*Baruth: + 15 kg N/ha; Forchheim: + 20 kg N/ha

**Tabelle 9: Winterweizen: Erträge 2010 in Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Ertrag bei 86 % [dt/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	43,6 <sup>a</sup>	51,4 <sup>a</sup>	50,2 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	60* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	78,8 <sup>b</sup>	89,5 <sup>b</sup>	89,2 <sup>c</sup>
3 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	110* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	69,7 <sup>ab</sup>	89,5 <sup>b</sup>	90,7 <sup>c</sup>
4 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	60* <sub>(KAS)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	71,6 <sup>ab</sup>	91,0 <sup>b</sup>	89,8 <sup>c</sup>
5 Injektion	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	79,2 <sup>b</sup>	88,1 <sup>b</sup>	92,7 <sup>c</sup>
6 Streuen/Injektion	0	60* <sub>(KAS)</sub>	100* <sub>(Inj.)</sub>	0	77,2 <sup>b</sup>	91,0 <sup>b</sup>	91,9 <sup>c</sup>
7 Injektion	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	0	81,6 <sup>b</sup>	91,7 <sup>b</sup>	83,1 <sup>b</sup>
8 Injektion/Streuen	0	110* <sub>(Inj.)</sub>	0	50 <sub>(KAS)</sub>	73,5 <sup>ab</sup>	92,4 <sup>b</sup>	93,7 <sup>c</sup>
9 Injektion/Streuen	0	0	110* <sub>(Inj.)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	65,2 <sup>ab</sup>	88,0 <sup>b</sup>	91,1 <sup>c</sup>
10 Injektion	0	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	65,8 <sup>ab</sup>	87,7 <sup>b</sup>	90,5 <sup>c</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	31,2	5,3	5,3

\*Forchheim: + 5 kg N/ha

Die Prüfglieder mit einer Herbstinjektion erhielten 50 kg N/ha mehr als die anderen Varianten. Dieser zusätzliche Stickstoff wirkte sich jedoch nicht positiv auf den Ertrag aus. Zwar erreichte das Prüfglied 3 in Pommritz 2009 den absolut höchsten Ertrag (nicht signifikant), aber diese geringe Ertragssteigerung rechtfertigt schwerlich einen Mehraufwand von 50 kg N/ha. Für diese schlechte Wirkung der Herbsdüngung lassen sich verschiedene Ursachen diskutieren. Ein Hauptgrund dürfte die geringe N-Menge von 50 kg N/ha sein, die vermutlich für ein stabiles Depot nicht ausreicht. Außerdem kann der vorhandene N<sub>min</sub>-Vorrat im Boden dazu führen, dass die Attraktion des Depots nicht zur Wirkung kommt, da die Pflanzen über ausreichend Nitrat-Stickstoff verfügen. Es gibt bisher im deutschsprachigen Raum keine Veröffentlichungen mit gesicherten Versuchsergebnissen zur Herbstinjektion bei Wintergetreide. In Niedersachsen wurde die Herbstinjektion in einem Jahr zu Wintergetreide erprobt und als nicht empfehlenswert eingeschätzt (MENSCHING-BUHR, 2010). Die N-Injektion zu Wintergetreide im Herbst wird jedoch in Sachsen sowie in anderen Bundesländern bereits vereinzelt durchgeführt. In der Praxis wird davon ausgegangen, dass Aufwandmengen von 120 kg N/ha (ASL) notwendig für stabile Depots sind (SCHILLER, 2010). Herbstinjektionen werden häufiger zu Winterraps als zu Winterweizen

durchgeführt und auch das LfULG hat die Wirkung einer ausschließlichen Injektion vor Winter im Winterraps geprüft. So wird bei der Vorstellung der Winterrapsresultate noch einmal ausführlicher auf die Thematik Herbstinjektion eingegangen (s. Kap. 3.1.2). Die späte Injektionsdüngung zu EC 31 führte (2009: PG 7 und PG 8; 2010: PG 9 und PG 10) in beiden Jahren und an allen Standorten zu tendenziell niedrigeren Erträgen. SOMMER (2008) empfiehlt, die Getreidepflanzen in einen latenten N-Mangel hineinwachsen zu lassen, um sie von der sprossdominanten Wachstumsphase in die wurzeldominante zu überführen. Allerdings beruhen seine Erfahrungen auf Versuchen in der Region der Köln-Aachener-Bucht und lassen sich nicht ohne weiteres auf Sachsen übertragen. Einen Einfluss des Applikationstermins auf den Ertrag von Winterweizen konnte BOELCKE (2005) nicht feststellen, jedoch für Winterroggen und Wintergerste rät sie zur Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn, da die Injektion zu EC 30/31 zu Ertragseinbußen führte. Bei den hier vorgestellten Versuchen wurden mit der Injektion zu Vegetationsbeginn bisher immer höhere Erträge erzielt als mit der Injektion zu EC 31. Im Hinblick auf den Rohproteingehalt waren allerdings die Varianten mit dem späten Injektionstermin günstiger (Tab. 10, Tab. 11). Mit der alleinigen N-Injektion zu Vegetationsbeginn konnten nur in Baruth – bedingt durch die niedrigen Erträge – Rohproteingehalte von über 13 % erreicht werden. Unzureichende Winterweizenqualitäten nach alleiniger Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn beschreiben auch HERMANN ET AL. (2006) und BOELCKE (2003). Sie empfehlen daher bei Winterweizen eine Qualitätsgabe. Um eine solche Variante wurden die Versuche 2009/10 erweitert. Nach einer N-Injektion zu Vegetationsbeginn erhielten die Pflanzen noch eine Qualitätsgabe mit KAS zu EC 55 (PG 8). Wie bereits oben erwähnt, konnte in Forchheim 2009/10 mit dieser Düngungsvariante ein sehr hoher Ertrag (93,7 dt/ha) mit sehr gutem Rohproteingehalt (14,5 %) erzielt werden (Tab. 9, Tab. 11). So deutlich war der positive Einfluss einer Qualitätsgabe in Baruth und Pommritz im Versuchsjahr 2010 nicht. In der Praxis ist es aber bereits üblich, bei Qualitätsweizen nach der Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn noch eine Qualitätsgabe zu verabreichen (s. Kap. 3.3).

**Tabelle 10: Winterweizen: Rohproteingehalt und TKM 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Rohproteingehalt [%]			TKM		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	11,4 <sup>a</sup>	10,3 <sup>a</sup>	12,0 <sup>a</sup>	30,6 <sup>a</sup>	40,4 <sup>ab</sup>	49,2 <sup>cde</sup>
2 Streuen	0	50*(KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	17,6 <sup>b</sup>	12,9 <sup>bc</sup>	13,0 <sup>b</sup>	31,4 <sup>ab</sup>	43,6 <sup>bc</sup>	51,3 <sup>e</sup>
3 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	0	100*(KAS)	50 (KAS)	17,4 <sup>b</sup>	13,2 <sup>cd</sup>	13,2 <sup>bcd</sup>	32,5 <sup>abc</sup>	43,9 <sup>bc</sup>	47,1 <sup>bc</sup>
4 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	50*(KAS)	50*(KAS)	50 (KAS)	17,3 <sup>b</sup>	13,1 <sup>cd</sup>	13,5 <sup>d</sup>	33,5 <sup>cd</sup>	41,4 <sup>ab</sup>	51,1 <sup>e</sup>
5 Streuen/Injektion	0	50*(KAS)	100 (Inj.)	0	17,4 <sup>b</sup>	12,4 <sup>b</sup>	13,0 <sup>bc</sup>	33,1 <sup>bcd</sup>	41,3 <sup>ab</sup>	49,6 <sup>de</sup>
6 Injektion	0	150*(Inj.)	0	0	16,8 <sup>b</sup>	12,9 <sup>bc</sup>	12,9 <sup>b</sup>	34,6 <sup>d</sup>	38,7 <sup>a</sup>	48,2 <sup>bcd</sup>
7 Injektion/Streuen	0	0	100*(Inj.)	50 (KAS)	17,7 <sup>b</sup>	13,4 <sup>d</sup>	13,5 <sup>cd</sup>	32,4 <sup>abc</sup>	45,9 <sup>c</sup>	46,1 <sup>ab</sup>
8 Injektion	0	0	150*(Inj.)	0	17,0 <sup>b</sup>	13,0 <sup>cd</sup>	13,5 <sup>d</sup>	31,7 <sup>abc</sup>	42,9 <sup>bc</sup>	44,1 <sup>a</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	1,2	0,5	0,5	2,0	3,8	2,3

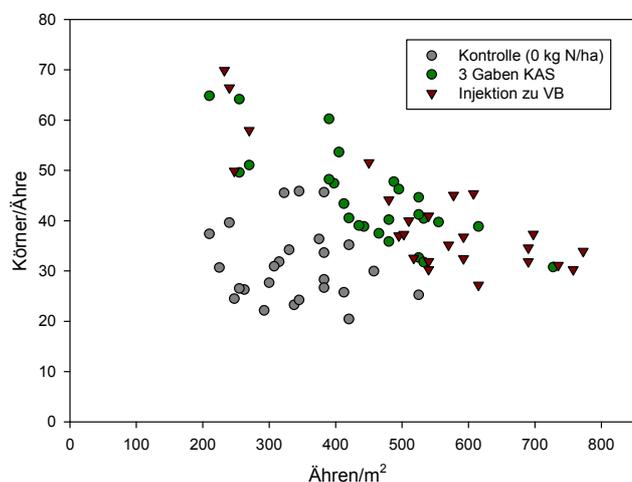
\*Baruth: + 15 kg N/ha; Forchheim: + 20 kg N/ha

**Tabelle 11: Winterweizen: Rohproteingehalt und TKM 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Rohproteingehalt [%]			TKM		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	9,7 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	47,3 <sup>b</sup>	42,0 <sup>de</sup>	48,9 <sup>abc</sup>
2 Streuen	0	60*(KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	14,1 <sup>b</sup>	12,7 <sup>bc</sup>	13,6 <sup>ab</sup>	39,9 <sup>ab</sup>	40,2 <sup>cd</sup>	51,6 <sup>cd</sup>
3 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	0	110*(KAS)	50 (KAS)	14,8 <sup>bc</sup>	13,6 <sup>d</sup>	14,2 <sup>b</sup>	37,0 <sup>a</sup>	39,2 <sup>bc</sup>	51,3 <sup>cd</sup>
4 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	60*(KAS)	50*(KAS)	50 (KAS)	14,7 <sup>bc</sup>	13,3 <sup>cd</sup>	13,9 <sup>b</sup>	37,3 <sup>a</sup>	39,0 <sup>bc</sup>	51,8 <sup>d</sup>
5 Injektion	50 (Inj.)	0	160*(Inj.)	0	15,5 <sup>bc</sup>	13,7 <sup>d</sup>	13,6 <sup>ab</sup>	35,8 <sup>a</sup>	38,6 <sup>abc</sup>	47,1 <sup>a</sup>
6 Streuen/Injektion	0	60*(KAS)	100*(Inj.)	0	14,4 <sup>bc</sup>	13,6 <sup>d</sup>	14,8 <sup>b</sup>	35,1 <sup>a</sup>	38,7 <sup>abc</sup>	49,8 <sup>abcd</sup>
7 Injektion	0	160*(Inj.)	0	0	13,8 <sup>b</sup>	12,1 <sup>b</sup>	12,5 <sup>ab</sup>	37,4 <sup>a</sup>	40,4 <sup>cd</sup>	49,5 <sup>abcd</sup>
8 Injektion/Streuen	0	110*(Inj.)	0	50 (KAS)	14,2 <sup>bc</sup>	12,5 <sup>b</sup>	14,5 <sup>b</sup>	38,3 <sup>a</sup>	43,4 <sup>e</sup>	49,0 <sup>abcd</sup>
9 Injektion/Streuen	0	0	110*(Inj.)	50 (KAS)	15,5 <sup>bc</sup>	13,5 <sup>d</sup>	13,6 <sup>ab</sup>	33,6 <sup>a</sup>	37,4 <sup>ab</sup>	50,2 <sup>bcd</sup>
10 Injektion	0	0	160*(Inj.)	0	16,0 <sup>c</sup>	13,7 <sup>d</sup>	13,4 <sup>ab</sup>	32,4 <sup>a</sup>	36,5 <sup>a</sup>	47,8 <sup>ab</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	1,9	0,8	3,4	8,7	2,1	2,8

\* Forchheim: + 5 kg N/ha

Die Form des applizierten Stickstoffs beeinflusst die Ertragsbildung der Pflanzen (MARSCHNER, 1986; WIESLER, 1997; SOMMER, 2005). So kann eine ammoniumbetonte Ernährung zu mehr Ähren je Pflanze führen; dafür werden häufig weniger Körnern je Ähre ausgebildet (WIESLER, 1997). Auch bei den hier durchgeführten Versuchen deuten sich Unterschiede in der Ertragsstruktur an. So bildeten die Prüfglieder mit drei Gaben KAS tendenziell weniger Ähren je m<sup>2</sup> und mehr Körner je Ähre aus als die Varianten mit einer einmaligen Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn (Abb. 14); im Ertrag unterschieden sich die Varianten jedoch nicht (Tab. 8; Tab. 9). Die besonders hohen Kornzahlen (ca. 60 Körner) je Ähre bei wenigen Ähren je m<sup>2</sup> sind dem Standort Baruth im Erntejahr 2009 zuzuordnen. Durch die ausgeprägte Frühsommertrockenheit bildeten die Pflanzen nur sehr wenig ährentragende Halme aus und viele Körner je Ähre mit sehr niedriger Tausendkornmasse (TKM) (Tab. 10).



**Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Ähren je m<sup>2</sup> und Körnern je Ähre bei Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Applikation; 2008/09 und 2009/10, Baruth, Pommritz und Forchheim; Einzelwerte aus den Parzellen**

**Tabelle 12: Winterweizen: Pflanzenlänge 2009 in Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Pflanzenlänge [cm]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	63 <sup>a</sup>	76 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	70 <sup>b</sup>	83 <sup>ab</sup>	94 <sup>c</sup>
3 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	100* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	71 <sup>b</sup>	85 <sup>b</sup>	93 <sup>c</sup>
4 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	75 <sup>b</sup>	87 <sup>b</sup>	94 <sup>c</sup>
5 Streuen/Injektion	0	50* <sub>(KAS)</sub>	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	73 <sup>b</sup>	84 <sup>b</sup>	95 <sup>cd</sup>
6 Injektion	0	150* <sub>(Inj.)</sub>	0	0	74 <sup>b</sup>	89 <sup>b</sup>	100 <sup>d</sup>
7 Injektion/Streuen	0	0	100* <sub>(Inj.)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	70 <sup>b</sup>	81 <sup>ab</sup>	86 <sup>b</sup>
8 Injektion	0	0	150* <sub>(Inj.)</sub>	0	71 <sup>b</sup>	86 <sup>b</sup>	85 <sup>b</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	5	8	5

\*Baruth: + 15 kg N/ha; Forchheim: + 20 kg N/ha

SCHITTENHELM & MENGE-HARTMANN (2006) und SOMMER (2005) berichten, dass Ammonium gedüngte Getreidepflanzen kürzere Halme im Vergleich zu Nitrat gedüngten Pflanzen haben. Dies kann mit den vorliegenden Ergebnissen nicht bestätigt werden (Tab. 12, Tab. 13). Die Varianten mit einer einmaligen Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn wiesen in beiden Versuchsjahren die längsten Weizenpflanzen auf. Beeinträchtigungen in der Standfestigkeit konnten aber nicht festgestellt werden.

**Tabelle 13: Winterweizen: Pflanzenlänge 2010 in Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Pflanzenlänge [cm]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	80 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	60* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	92 <sup>bc</sup>	86 <sup>bc</sup>	89 <sup>bcd</sup>
3 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	110* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	87 <sup>abc</sup>	83 <sup>b</sup>	89 <sup>bcd</sup>
4 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	60* <sub>(KAS)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	95 <sup>bc</sup>	87 <sup>bc</sup>	92 <sup>cd</sup>
5 Injektion	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	93 <sup>bc</sup>	82 <sup>b</sup>	89 <sup>bcd</sup>
6 Streuen/Injektion	0	60* <sub>(KAS)</sub>	100* <sub>(Inj.)</sub>	0	94 <sup>bc</sup>	86 <sup>bc</sup>	90 <sup>cd</sup>
7 Injektion	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	0	98 <sup>c</sup>	93 <sup>d</sup>	92 <sup>d</sup>
8 Injektion/Streuen	0	110* <sub>(Inj.)</sub>	0	50 <sub>(KAS)</sub>	91 <sup>bc</sup>	89 <sup>cd</sup>	93 <sup>d</sup>
9 Injektion/Streuen	0	0	110* <sub>(Inj.)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	86 <sup>ab</sup>	82 <sup>b</sup>	85 <sup>b</sup>
10 Injektion	0	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	85 <sup>ab</sup>	82 <sup>b</sup>	88 <sup>bc</sup>
GD <sub>Tukey, 5 %</sub>					11	6	5

\*Forchheim: + 5 kg N/ha

Die Bestimmung des Stickstoffentzuges ermöglicht es, die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs zu bewerten. Dabei wurden nicht nur die N-Entzüge über das Korn, sondern auch die über das Stroh berücksichtigt. Die Bestimmung des Strohertrages erfolgte pro Versuch in einer repräsentativen Wiederholung je Prüfglied; gleiches gilt für die Untersuchung der Inhaltsstoffe. 2009 war geprägt durch die extreme Frühsommertrockenheit, die besonders auf dem leichten Standort in Baruth die Entwicklung der Pflanzen gehemmt hat. Dies spiegelt sich auch in den geringen N-Entzügen wider (Tab. 14); der höchste N-Entzug und somit die beste Verwertung des ausgebrachten N-Düngers wurde mit der Variante 6 „Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn“ erzielt. Allerdings ist dieser Unterschied im Vergleich zu den Prüfgliedern 2 bis 5 nicht signifikant. In Pommritz sind ebenso wie in Forchheim die N-Entzüge deutlich höher. Die höchsten Entzüge erreichten in Pommritz 2009 die Varianten mit der zusätzlichen N-Injektion im Herbst von 50 kg N/ha, die Unterschiede zur Variante 6 sind jedoch nicht statistisch gesichert. Der signifikant höchste Entzug wurde in Forchheim 2009 mit der Variante 6 „Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn“ erzielt. Die Stroherträge waren in den Injektionsvarianten tendenziell höher und auch die N-Gehalte im Stroh lagen über denen der anderen Varianten.

**Tabelle 14: Winterweizen: N-Entzüge (Korn und Stroh) 2009 in Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				N-Entzug [kg/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	42 <sup>a</sup>	116 <sup>a</sup>	87 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	139 <sup>cd</sup>	239 <sup>bc</sup>	212 <sup>cd</sup>
3 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	100* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	136 <sup>cd</sup>	257 <sup>d</sup>	204 <sup>b</sup>
4 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	141 <sup>d</sup>	256 <sup>d</sup>	220 <sup>d</sup>
5 Streuen/Injektion	0	50* <sub>(KAS)</sub>	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	130 <sup>bcd</sup>	224 <sup>b</sup>	219 <sup>d</sup>
6 Injektion	0	150* <sub>(Inj.)</sub>	0	0	151 <sup>d</sup>	248 <sup>cd</sup>	232 <sup>e</sup>
7 Injektion/Streuen	0	0	100* <sub>(Inj.)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	114 <sup>b</sup>	231 <sup>b</sup>	209 <sup>bc</sup>
8 Injektion	0	0	150* <sub>(Inj.)</sub>	0	119 <sup>bc</sup>	227 <sup>b</sup>	206 <sup>bc</sup>
GD <sub>Tukey, 5 %</sub>					22	17	9

\*Baruth: + 15 kg N/ha; Forchheim: + 20 kg N/ha

**Tabelle 15: Winterweizen: N-Entzüge (Korn und Stroh) 2010 in Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				N-Entzug [kg/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	68 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	97 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	60* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	186 <sup>b</sup>	201 <sup>b</sup>	213 <sup>bc</sup>
3 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	110* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	177 <sup>b</sup>	215 <sup>c</sup>	240 <sup>c</sup>
4 Injektion/Streuen	50 <sub>(Inj.)</sub>	60* <sub>(KAS)</sub>	50* <sub>(KAS)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	182 <sup>b</sup>	212 <sup>c</sup>	218 <sup>bc</sup>
5 Injektion	50 <sub>(Inj.)</sub>	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	210 <sup>b</sup>	206 <sup>bc</sup>	233 <sup>c</sup>
6 Streuen/Injektion	0	60* <sub>(KAS)</sub>	100* <sub>(Inj.)</sub>	0	195 <sup>b</sup>	215 <sup>c</sup>	231 <sup>c</sup>
7 Injektion	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	0	201 <sup>b</sup>	207 <sup>bc</sup>	183 <sup>b</sup>
8 Injektion/Streuen	0	110* <sub>(Inj.)</sub>	0	50 <sub>(KAS)</sub>	182 <sup>b</sup>	197 <sup>b</sup>	250 <sup>c</sup>
9 Injektion/Streuen	0	0	110* <sub>(Inj.)</sub>	50 <sub>(KAS)</sub>	176 <sup>b</sup>	206 <sup>bc</sup>	221 <sup>bc</sup>
10 Injektion	0	0	160* <sub>(Inj.)</sub>	0	186 <sup>b</sup>	205 <sup>bc</sup>	220 <sup>bc</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	51	11	46

\*Forchheim: + 5 kg N/ha

Im Versuchsjahr 2009/10 waren die N-Entzüge in Baruth höher als im Vorjahr. Zwischen den gedüngten Varianten gab es keine statistisch nachweisbaren Unterschiede (Tab. 15). Auffällig ist in Forchheim die relative geringe N-Bindung von 183 kg N/ha der Variante 7 „Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn“, sie lässt sich nur teilweise durch den geringen Ertrag und den niedrigen Rohproteingehalt erklären. Im Unterschied zu den Erfahrungen von DONATH ET AL. (2010), die von gleichen N-Entzugshöhen zwischen „einmalig breitwürfig“ und „einmalig platziert“ berichten, konnte in beiden Versuchsjahren ein Einfluss der N-Applikationsart auf den N-Entzug festgestellt werden.

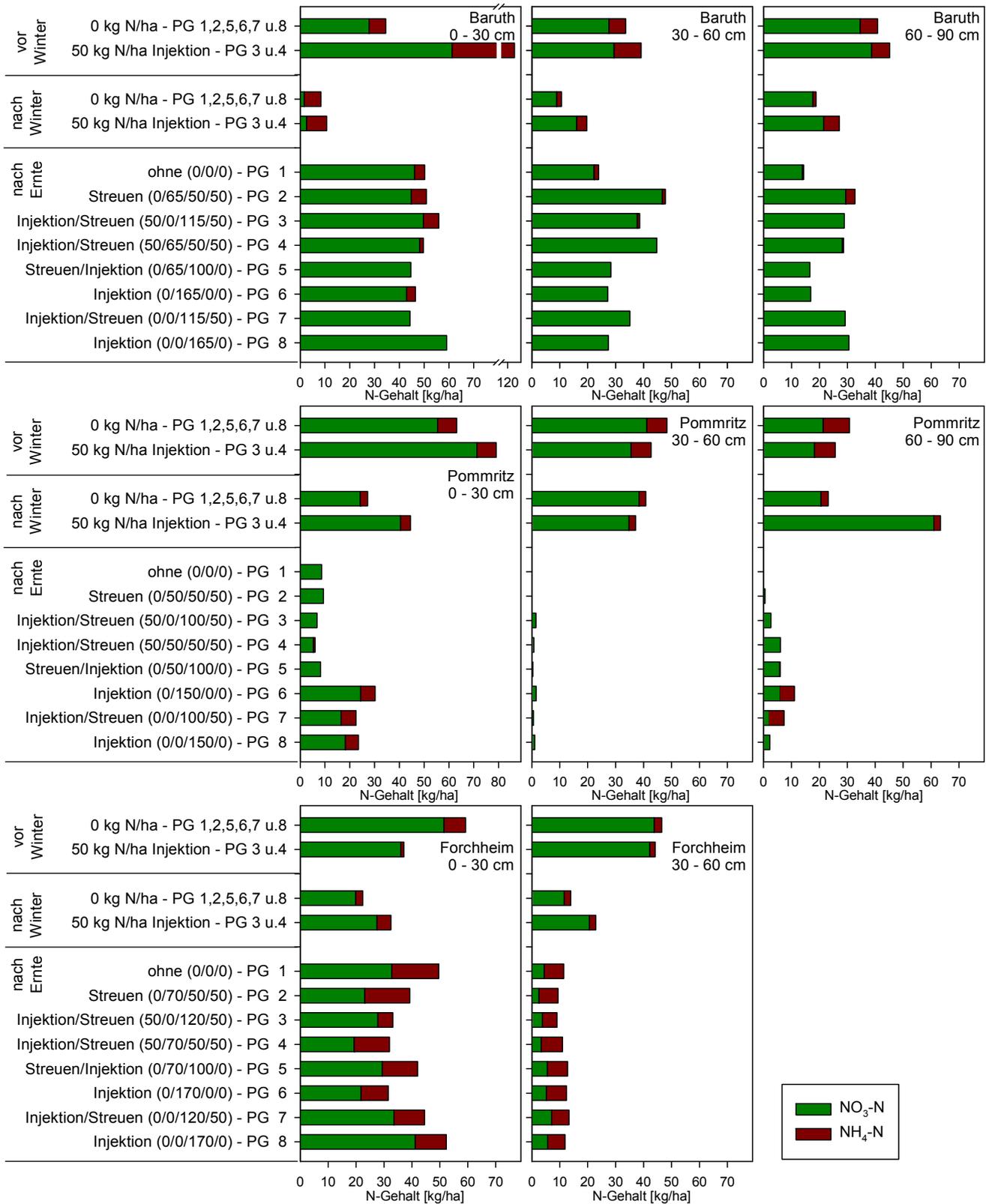
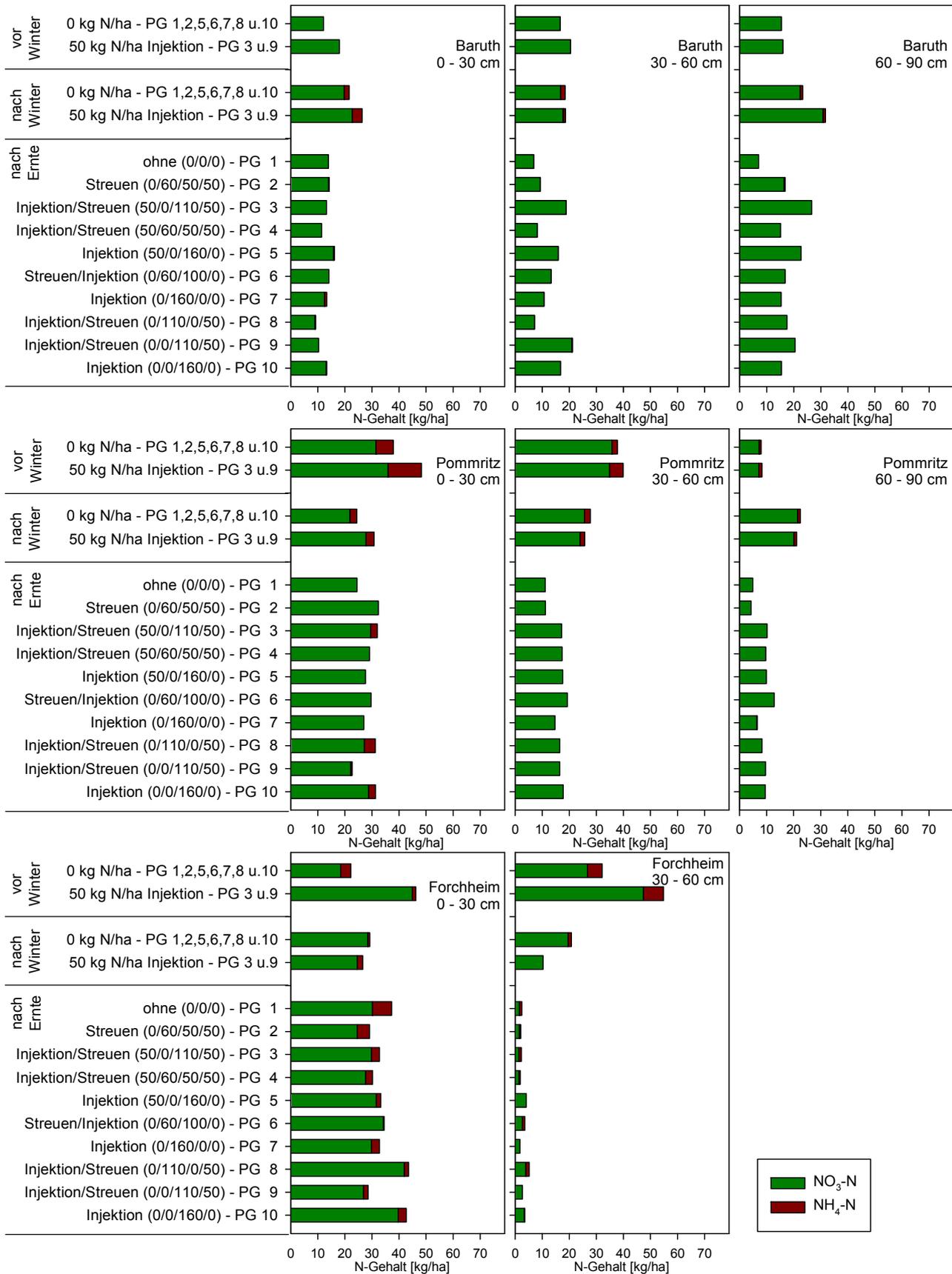


Abbildung 15: Winterweizen: Entwicklung der N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2008/09); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3. N-Gabe)



**Abbildung 16: Winterweizen: Entwicklung der N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden im Versuchszeitraum (2009/10); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3. N-Gabe)**

Zum Ende der Vegetation, zu Vegetationsbeginn und nach der Ernte wurden die  $N_{\min}$ -Gehalte im Boden bestimmt. Nach einer N-Injektion können die Ergebnisse der Bodenproben von 0 – 30 cm Tiefe nicht bewertet werden. Denn weder eine Probenahme neben dem Depot noch eine im Depot ist repräsentativ für die Fläche. Dies gilt aber nur für die  $N_{\min}$ -Gehalte in 0 – 30 cm Tiefe. Kommt es zu einer N-Verlagerung aus dem Depot, kann mit zunehmender Tiefe auch von einer horizontalen Verteilung ausgegangen werden, so dass die  $N_{\min}$ -Werte in 30 – 60 cm und 60 – 90 cm Tiefe eine bessere Aussage ermöglichen. Eine Herbstinjektion von 50 kg N/ha führte in den meisten Fällen zu höheren  $N_{\min}$ -Gehalten sowohl zu Vegetationsende als auch zu Vegetationsbeginn (Abb. 15, Abb. 16). Hinzuweisen ist auf den hohen Gehalt von ca. 130 kg N/ha 2008 in Baruth zu Vegetationsende. Die 130 kg N/ha setzten sich je zur Hälfte aus Ammoniumstickstoff und Nitratstickstoff zusammen. Hier kann davon ausgegangen werden, dass bei der Bodenprobenahme ein Depot bzw. mehrere Depots getroffen wurden. Auffällig sind am Standort Pommritz im Versuchsjahr 2008/09 auch die hohen  $N_{\min}$ -Werte in 60 – 90 cm Tiefe zu Vegetationsbeginn – nach einer Injektionsdüngung im Herbst im Vergleich zu den ungedüngten Prüfgliedern (Abb. 15). Es muss also davon ausgegangen werden, dass die Depots in diesem Winter nicht stabil waren und sich der Stickstoff in die Tiefe verlagert hat. Für das Jahr 2010 nach dem ungewöhnlich strengen Winter kann dies mit den vorliegenden Werten – auch für die anderen Standorte – nicht festgestellt werden. Bei den  $N_{\min}$ -Gehalten nach der Ernte gab es zwischen den einzelnen Prüfgliedern in beiden Versuchsjahren keine nennenswerten Unterschiede. Die Differenzen im N-Entzug am Standort Baruth zwischen den zwei Versuchsjahren finden sich auch in den  $N_{\min}$ -Gehalten nach der Ernte wieder; diese sind 2010 viel niedriger als 2009.

### Wintergerste

Die Injektionsdüngungsversuche zur Wintergerste wurden auf dem leichten Standort in Baruth durchgeführt (Abb. 17). Die beiden Jahre unterscheiden sich im Ertragsniveau deutlich. So war das Ertragsniveau der Kontrollvariante 2009/10 fast doppelt so hoch wie 2008/09. Die Injektionsdüngung führte 2008/09 zum späten Termin (EC 31) zu signifikant niedrigeren Erträgen. Der absolut höchste Ertrag mit 71 dt/ha wurde mit dem Prüfglied 6 „Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn“ erzielt. Auf dem Versuchsfeld in Baruth standen auf einem Wintergerstenschlag eines anderen Versuches Bodenfeuchtesensoren (Firma Sentec) zur Verfügung. Die Messungen der Bodenfeuchte ergaben, dass auf Grund der fehlenden Niederschläge die Bodenfeuchte von Anfang April bis Mitte Mai kontinuierlich abgenommen hat. Während die erste Gabe KAS noch gut gelöst werden konnte, blieben die Granulate der zweiten KAS-Gabe lange auf der Bodenoberfläche liegen und kamen nicht zur Wirkung. Die geringen Niederschläge zum Zeitpunkt der dritten N-Gabe reichten für einen Anstieg der Bodenfeuchte nicht aus, so dass auch die dritte N-Gabe in ihrer Wirkung beeinträchtigt war. Im Vergleich zur Variante „Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn“ (PG 6) standen die anderen Prüfglieder deutlich mehr unter Trockenstress. Die Injektionsvariante war grüner, sah „gesünder“ aus und brachte zur Ernte den höchsten Ertrag. Eine zusätzliche Herbstinjektion von 50 kg N/ha (PG 3 und PG 4) führte 2009 nicht zu einer Ertragssteigerung. Bei einer Injektion zum späten Termin (PG 7 und PG 8) blieben die Erträge signifikant unter denen der anderen gedüngten Varianten (Tab. 16).



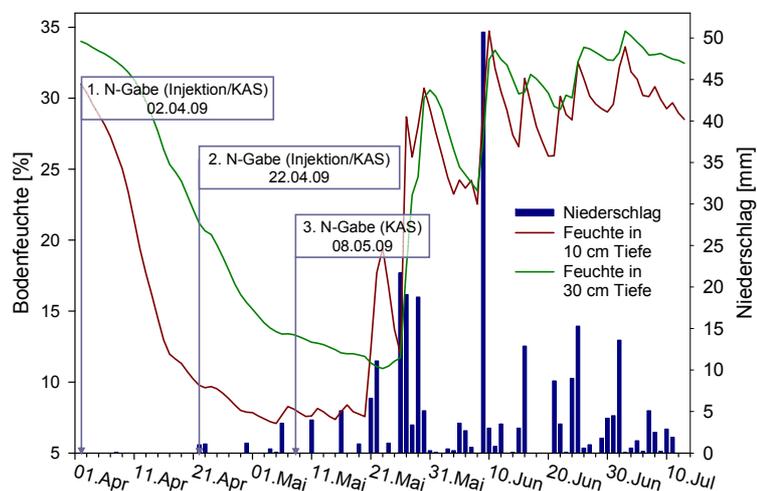
Abbildung 17: Wintergerste 2009 am Standort Baruth

**Tabelle 16: Wintergerste: Ertrag, Rohproteingehalt und N-Entzug 2009, Baruth**

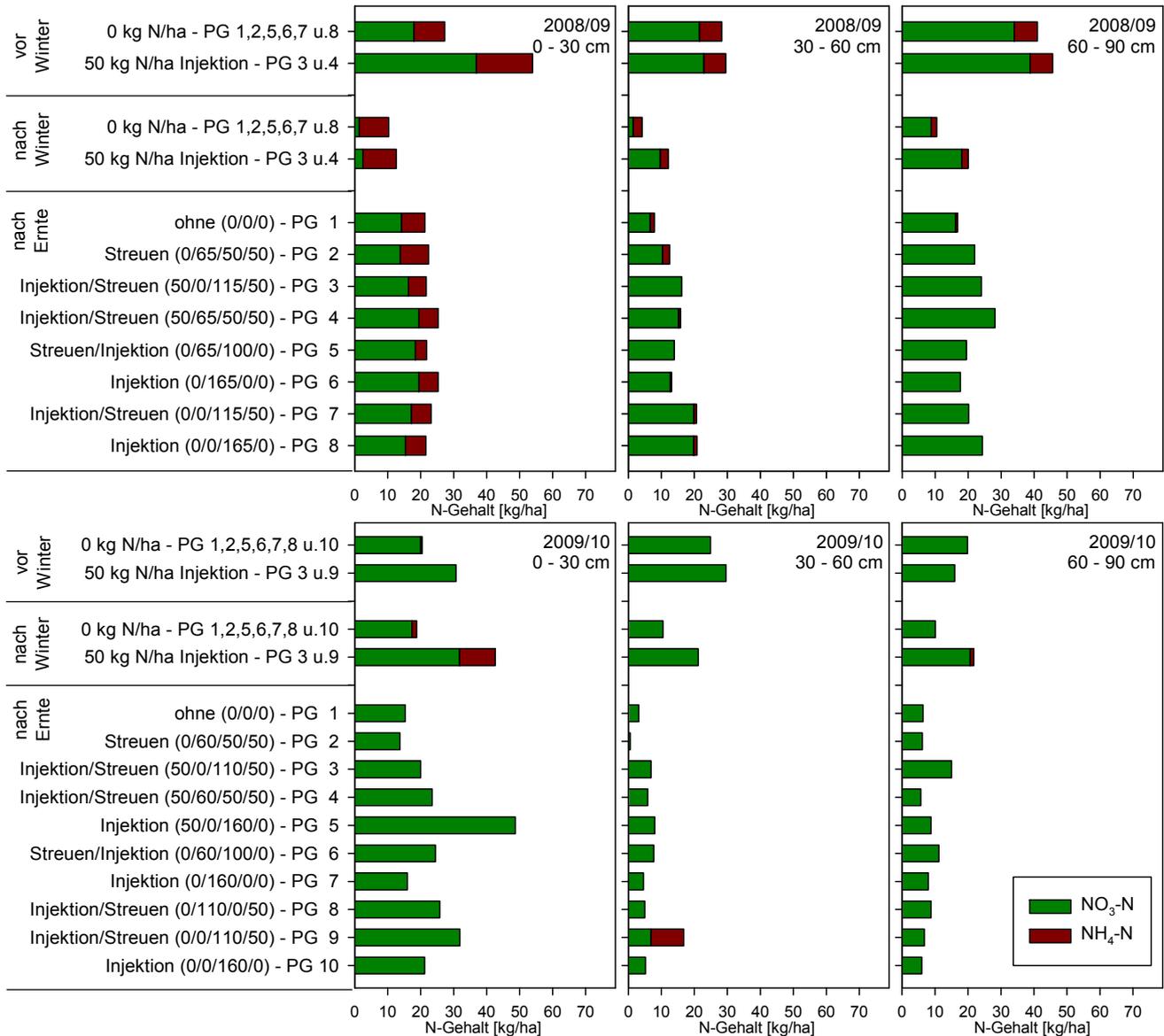
Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Ertrag [dt/ha]	Rohproteingehalt [%]	N-Entzug [kg/ha]
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe			
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	33,8 <sup>a</sup>	8,2 <sup>a</sup>	48 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	65 (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	67,6 <sup>c</sup>	15,0 <sup>c</sup>	151 <sup>c</sup>
3 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	0	115 (KAS)	50 (KAS)	66,6 <sup>c</sup>	15,4 <sup>cd</sup>	154 <sup>c</sup>
4 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	65 (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	66,5 <sup>c</sup>	14,9 <sup>c</sup>	149 <sup>c</sup>
5 Streuen/Injektion	0	65 (KAS)	100 (Inj.)	0	65,4 <sup>c</sup>	14,7 <sup>c</sup>	150 <sup>c</sup>
6 Injektion	0	165 (Inj.)	0	0	71,2 <sup>c</sup>	14,0 <sup>b</sup>	154 <sup>c</sup>
7 Injektion/Streuen	0	0	115 (Inj.)	50 (KAS)	52,3 <sup>b</sup>	15,8 <sup>d</sup>	126 <sup>b</sup>
8 Injektion	0	0	165* (Inj.)	0	54,4 <sup>b</sup>	16 <sup>d</sup>	133 <sup>b</sup>
GD <sub>Tukey, 5 %</sub>					8,7	0,7	15

**Tabelle 17: Wintergerste: Ertrag, Rohproteingehalt und N-Entzug 2010, Baruth**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]				Ertrag [dt/ha]	Rohproteingehalt [%]	N-Entzug [kg/ha]
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	3. N-Gabe			
1 ohne N-Düngung	0	0	0	0	65,9 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	98 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	60 (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	95,5 <sup>b</sup>	13,6 <sup>b</sup>	224 <sup>bc</sup>
3 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	0	110 (KAS)	50 (KAS)	96,3 <sup>b</sup>	13,8 <sup>bc</sup>	223 <sup>bc</sup>
4 Injektion/Streuen	50 (Inj.)	60 (KAS)	50 (KAS)	50 (KAS)	95,9 <sup>b</sup>	14,5 <sup>bc</sup>	221 <sup>bc</sup>
5 Injektion	50 (Inj.)	0	160 (Inj.)	0	98,3 <sup>b</sup>	14,8 <sup>bc</sup>	242 <sup>c</sup>
6 Streuen/Injektion	0	60 (KAS)	100 (Inj.)	0	91,6 <sup>b</sup>	14,9 <sup>c</sup>	222 <sup>bc</sup>
7 Injektion	0	160 (Inj.)	0	0	97,2 <sup>b</sup>	13,6 <sup>b</sup>	218 <sup>bc</sup>
8 Injektion/Streuen	0	110 (Inj.)	0	50 (KAS)	96,3 <sup>b</sup>	13,8 <sup>bc</sup>	209 <sup>b</sup>
9 Injektion/Streuen	0	0	110 (Inj.)	50 (KAS)	95,0 <sup>b</sup>	14,6 <sup>bc</sup>	216 <sup>b</sup>
10 Injektion	0	0	160 (Inj.)	0	91,9 <sup>b</sup>	14,7 <sup>bc</sup>	208 <sup>b</sup>
GD <sub>Tukey, 5 %</sub>					13,9	1,3	25



**Abbildung 18: Entwicklung der Bodenfeuchte unter Wintergerste und Niederschläge im Zeitraum vom 1. April bis 12. Juli 2009 in Baruth sowie die Düngungstermine der Wintergerste**



**Abbildung 19: Wintergerste: Entwicklung der N<sub>min</sub>-Gehalte im Versuchszeitraum (2008/09 und 2009/10); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe/3. N-Gabe)**

2010 wurde auf Grund der günstigen Witterungsbedingungen ein sehr gutes Ertragsniveau erzielt. Zwischen den gedüngten Varianten gab es keine gesicherten Ertragsunterschiede. Der im Herbst eingesetzte Stickstoff erbrachte keine Vorteile.

Wie beim Winterweizen am Standort Baruth sind auch bei der Wintergerste die N-Entzüge in den beiden Versuchsjahren ertragsbedingt sehr unterschiedlich. So blieben die N-Entzüge im Versuchsjahr 2009/10 in allen Varianten unter der gedüngten N-Menge von 165 bzw. 215 kg N/ha. Tendenziell wurden diese Unterschiede zwischen den Entzügen auch bei den N<sub>min</sub>-Gehalten nach der Ernte sichtbar (Abb. 19). In beiden Versuchsjahren gab es zwischen den Prüfgliedern keine Unterschiede im N<sub>min</sub>-Gehalt.

Insgesamt zeigte sich, dass die Vorteile der N-Injektion zu Wintergetreide besonders auf leichten Standorten bei Fröhsommer-trockenheit deutlich werden. Dies deckt sich auch mit den Erfahrungen aus anderen Bundesländern. So berichtet BOELCKE (2003) aus Mecklenburg-Vorpommern, dass die Erträge bei N-Injektion auf gleichen Niveau liegen wie bei geteilter N-Düngung, jedoch in Trockengebieten höher sind. In Niedersachsen wurde durch Injektionsdüngung im Getreideanbau auf leichten Böden eine Ertragsstabilisierung und in trockenen Jahren eine Ertragssteigerung festgestellt (MENSCHING-BUHR, 2010). Auch KRAATZ (2003) in Brandenburg beobachtete, dass injektionsgedüngte Pflanzen Trockenstresssituationen besser aushalten.

### 3.1.2 Winterraps

Die beiden geprüften Versuchsjahre 2008/09 und 2009/10 unterscheiden sich im Ertragsniveau am Standort Baruth deutlich. Hier profitierte der Winterraps 2009/10 sehr vom guten Wasserangebot, so dass auch ohne N-Düngung 38 dt/ha geerntet wurden. Mit bis zu 60 dt/ha war das Ertragsniveau im Erntejahr 2009 in Forchheim für den Standort recht hoch. In Pommritz konnten in beiden Jahren sehr gute Erträge erzielt werden (Tab. 18, Tab. 19). 2008 unterschieden sich auf allen drei Versuchsstationen die Varianten mit einer N-Düngung von insgesamt 200 kg N/ha im Ertrag nicht signifikant voneinander. Auch eine Aufteilung der KAS-Gaben (PG 8) im Vergleich zu einer einmaligen KAS-Gabe (PG 5) wirkte sich im Versuchsjahr 2008/09 nicht positiv auf den Ertrag aus. Ein wesentlicher Grund hierfür ist sicher der witterungsbedingte kurze zeitliche Abstand von 14 Tagen zwischen der ersten (Vegetationsbeginn) und zweiten (Streckungswachstum) N-Gabe. Unter diesen Bedingungen führte die einmalige N-Injektion zu Vegetationsbeginn (PG 4) 2009 an allen drei Standorten zu guten Erträgen (Tab. 18).

**Tabelle 18: Winterraps: Ertrag 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			Ertrag bei 91 % [dt/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	26,7 <sup>a</sup>	36,7 <sup>a</sup>	39,4 <sup>a</sup>
2 Injektion	100 (Inj.)	0	0	34,1 <sup>ab</sup>	44,1 <sup>ab</sup>	52,9 <sup>b</sup>
3 Injektion	200 (Inj.)	0	0	33,0 <sup>ab</sup>	46,2 <sup>bc</sup>	58,9 <sup>c</sup>
4 Injektion	0	200 (Inj.)	0	39,0 <sup>b</sup>	52,1 <sup>bc</sup>	60,2 <sup>c</sup>
5 Streuen	0	200 (KAS)	0	39,4 <sup>b</sup>	53,5 <sup>c</sup>	59,3 <sup>c</sup>
6 Injektion/Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	40,1 <sup>b</sup>	52,3 <sup>bc</sup>	59,1 <sup>c</sup>
7 Injektion/Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	40,6 <sup>b</sup>	50,4 <sup>bc</sup>	58,3 <sup>c</sup>
8 Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	39,5 <sup>b</sup>	50,7 <sup>bc</sup>	59,6 <sup>c</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	8,4	8,4
					8,4	4,8

**Tabelle 19: Winterraps: Ertrag 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			Ertrag bei 91 % [dt/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	38,0 <sup>a</sup>	38,1 <sup>a</sup>	39,4 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	52,7 <sup>d</sup>	48,1 <sup>bc</sup>	53,3 <sup>b</sup>
3 Injektion	100 (Inj.)	0	0	42,7 <sup>ab</sup>	44,2 <sup>b</sup>	52,6 <sup>b</sup>
4 Injektion	200 (Inj.)	0	0	44,3 <sup>abc</sup>	47,1 <sup>bc</sup>	50,0 <sup>b</sup>
5 Injektion	0	100 (Inj.)	0	45,8 <sup>bcd</sup>	47,0 <sup>bc</sup>	50,2 <sup>b</sup>
6 Injektion	0	200 (Inj.)	0	50,1 <sup>cd</sup>	50,0 <sup>c</sup>	56,1 <sup>b</sup>
7 Streuen	0	100 (KAS)	0	49,9 <sup>cd</sup>	47,5 <sup>bc</sup>	52,6 <sup>b</sup>
8 Streuen	0	200 (KAS)	0	49,0 <sup>bcd</sup>	47,6 <sup>bc</sup>	54,1 <sup>b</sup>
9 Injektion/Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	48,5 <sup>bcd</sup>	48,7 <sup>bc</sup>	56,6 <sup>b</sup>
10 Injektion/Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	49,8 <sup>bcd</sup>	48,0 <sup>bc</sup>	53,0 <sup>b</sup>
				GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	7,2	5,3
					5,3	8,4

Die Ertragsunterschiede in Forchheim zwischen allen gedüngten Varianten im Versuchsjahr 2009/10 sind statistisch nicht abgesichert, d. h. auch ein Mehraufwand von 100 kg N/ha führte zu keiner Ertragssteigerung. Gleiches gilt für den Standort Pommritz, hier unterscheiden sich von den gedüngten Varianten nur das PG 3 (Injektion von 100 kg N/ha im Herbst) und PG 6 (Injektion von 200 kg N/ha zu VB) signifikant. Auch in Baruth konnte – bei gleicher Applikationsart und -zeit – keine gesicherte Ertragswirkung mit einem Mehraufwand von 100 kg N/ha festgestellt werden. Die geringe Ertragsreaktion des Winterrapses auf eine Steigerung der N-Düngung wurde auch bei anderen N-Düngungsversuchen im Raps in diesem Versuchsjahr beobachtet; eine Ursache ist sicherlich das gute Mineralisationsvermögen der Böden in diesem Jahr (Tab. 19). Mit einer einmaligen Injektion von 200 kg N/ha zu Vegetationsbeginn konnten immer gute bzw. sehr gute Erträge erreicht werden, jedoch wurde ein eindeutiger Einfluss der N-Applikationsart auf den Winterraps-ertrag in diesen beiden Versuchsjahren nicht festgestellt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von FELGENTREU (2003) und BOELCKE (2010).

Eine Herbstdüngung zu Winterraps wird nur in begründeten Ausnahmefällen (z. B. nach Einarbeitung großer Strohmenen oder bei Nitrat-Verlagerungen in tiefere Bodenschichten nach hohen Niederschlägen im Sommer) empfohlen (ALBERT, 2007). In Sachsen wird die alleinige Herbstinjektion zu Winterraps in einzelnen Betrieben durchgeführt (s. a. Kap. 3.3). Deswegen wurden auch in den hier vorgestellten Versuchen Varianten mit alleiniger Herbstinjektion geprüft. Eine Verdopplung der N-Gabe (von 100 kg N/ha auf 200 kg N/ha) bei der Herbstinjektion führte 2009 in Baruth und Pommritz nicht zu einer signifikanten Ertragssteigerung. Nur am Standort Forchheim wurde 2009 mit 200 kg N/ha (PG 3) statistisch gesichert ein höherer Ertrag erreicht als mit 100 kg N/ha (PG 2). Während in Baruth und Pommritz Ertragsunterschiede zwischen einmaliger Herbstinjektion (200 kg N/ha) und der N-Düngung im Frühjahr deutlich werden (nicht signifikant), so kann dies für den Standort Forchheim nicht festgestellt werden. Auch im zweiten Versuchsjahr 2009/10 gab es an keinem Standort Ertragsunterschiede zwischen den beiden Varianten mit einer einmaligen Herbstinjektion (PG 3 und PG 4). Tendenziell blieben die Erträge der 100 kg N/ha-Variante in Baruth und Pommritz hinter denen der Frühjahrsvarianten zurück.

Auf Grundlage der zwei Versuchsjahre auf drei Standorten kann die alleinige Herbstinjektion nicht endgültig beurteilt werden. Hinzu kommt, dass es bei einer alleinigen N-Düngung im Herbst keine Möglichkeit gibt, auf Witterungsbedingungen zu reagieren. Eine biomasseabhängige Düngebedarfsermittlung ist somit nicht möglich (SCHLIEPHAKE, 2010). Die Menge des im Herbst vom Rapsbestand aufgenommenen Stickstoffs wird u. a. vom Zeitpunkt der N-Injektion und der Witterung beeinflusst. Bei einer zeitigen N-Injektion (August/September) und guten Witterungsbedingungen kommt es zu hohen N-Aufnahmen und zu sehr kräftig entwickelten Beständen. Hier besteht die Gefahr deutlicher Auswinterungsschäden, besonders bei starken Kahlfrösten oder wenn es unter geschlossener, verharrschter Schneedecke zu Sauerstoffmangel kommt. Der Rapsbestand nimmt bei hohen N-Gaben nur einen Teil des im Herbst gedüngten Stickstoffs auf, ein wesentlicher Teil bleibt über Winter in den Depots. In diesem Zusammenhang muss die Frage nach der Depot-Stabilität gestellt werden.  $N_{min}$ -Untersuchungen zu Vegetationsbeginn an den Versuchstandorten zeigen, dass die Gehalte nach einer N-Injektion im Herbst in 30 – 60 cm sowie 60 – 90 cm Tiefe erhöht sind. Auch wird der Unterschied zwischen der Injektion von 100 kg N/ha und 200 kg N/ha in den  $N_{min}$ -Gehalten sichtbar (Abb. 20, Abb. 21). In den hier vorgestellten zwei Versuchsjahren erfolgte die Injektionsdüngung mit Domamon® L 26, einer Lösung mit 20 % Gesamtstickstoff, wovon allerdings nur 6 % als Ammoniumstickstoff vorliegen. Die überwiegende Stickstoffform in der Lösung ist Harnstoff (14 %). Dieser ist im Boden mobiler als Ammonium, wodurch die Stabilität der Depots beeinflusst sein kann. So vermutet MENSCHING-BUHR (2010), dass die Depots durch die Winterniederschläge aufquellen und es durch die vergrößerte Oberfläche zu einer schnelleren Nitrifizierung und dadurch zur Nitratauswaschung kommt. Zur alleinigen Herbstdüngung beim Winterraps besteht noch weiterer Forschungsbedarf, besonders im Bezug auf die Depot-Stabilität während des Winters.

Eine Aufteilung der Gaben in eine Herbstinjektion und ein Streu-Gabe zum Streckungswachstum kann den bisherigen Ergebnissen zufolge als günstig beurteilt werden. So wurde an allen Standorten in beiden Versuchsjahren mit dieser Variante (2008/09: PG 6; 2009/10: PG 9) ein hoher bzw. sehr hoher Ertrag erzielt. Nach einer Herbstinjektion muss die N-Düngung im Frühjahr nicht zu Vegetationsbeginn erfolgen, sondern erst um den Zeitpunkt des Streckungswachstums; dies kann besonders bei schlechter Befahrbarkeit der Böden zu Vegetationsbeginn vorteilhaft sein und trägt so zum Bodenschutz bei.

**Tabelle 20: Winterraps: Ölgehalt und Ölertrag 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			Ölgehalt [% TS]			Ölertrag [dt/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	52,8 <sup>d</sup>	53,3 <sup>d</sup>	51,5 <sup>d</sup>	12,8 <sup>a</sup>	17,8 <sup>a</sup>	18,5 <sup>a</sup>
2 Injektion	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	0	53,0 <sup>d</sup>	53,0 <sup>cd</sup>	50,2 <sup>c</sup>	16,4 <sup>ab</sup>	21,2 <sup>ab</sup>	24,2 <sup>b</sup>
3 Injektion	200 <sub>(Inj.)</sub>	0	0	52,7 <sup>d</sup>	52,2 <sup>c</sup>	48,3 <sup>ab</sup>	15,8 <sup>ab</sup>	21,9 <sup>b</sup>	25,9 <sup>b</sup>
4 Injektion	0	200 <sub>(Inj.)</sub>	0	46,7 <sup>a</sup>	48,4 <sup>a</sup>	47,7 <sup>a</sup>	16,6 <sup>ab</sup>	22,9 <sup>b</sup>	26,1 <sup>b</sup>
5 Streuen	0	200 <sub>(KAS)</sub>	0	48,1 <sup>bc</sup>	48,9 <sup>a</sup>	48,1 <sup>ab</sup>	17,3 <sup>b</sup>	23,8 <sup>b</sup>	26,0 <sup>b</sup>
6 Injektion/Streuen	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	100 <sub>(KAS)</sub>	48,8 <sup>c</sup>	50,5 <sup>b</sup>	48,6 <sup>b</sup>	17,8 <sup>b</sup>	24,0 <sup>b</sup>	26,1 <sup>b</sup>
7 Injektion/Streuen	0	100 <sub>(Inj.)</sub>	100 <sub>(KAS)</sub>	47,1 <sup>ab</sup>	48,6 <sup>a</sup>	48,1 <sup>ab</sup>	17,4 <sup>b</sup>	22,3 <sup>b</sup>	25,1 <sup>b</sup>
8 Streuen	0	100 <sub>(KAS)</sub>	100 <sub>(KAS)</sub>	47,6 <sup>abc</sup>	49,2 <sup>a</sup>	48,2 <sup>ab</sup>	17,1 <sup>b</sup>	22,7 <sup>b</sup>	26,2 <sup>b</sup>
			GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	1,2	0,9	0,8	4,0	3,8	2,1

**Tabelle 21: Winterraps: Ölgehalt und Ölertrag 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			Ölgehalt [% TS]			Ölertrag [dt/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	54,5 <sup>d</sup>	54,3 <sup>e</sup>	52,6 <sup>f</sup>	19,0 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	18,9 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	100 <sup>(KAS)</sup>	100 <sup>(KAS)</sup>	50,3 <sup>ab</sup>	49,4 <sup>a</sup>	49,4 <sup>ab</sup>	24,1 <sup>c</sup>	21,6 <sup>b</sup>	24,0 <sup>b</sup>
3 Injektion	100 <sup>(Inj.)</sup>	0	0	53,6 <sup>cd</sup>	53,4 <sup>e</sup>	51,5 <sup>e</sup>	20,8 <sup>ab</sup>	21,5 <sup>b</sup>	24,7 <sup>b</sup>
4 Injektion	200 <sup>(Inj.)</sup>	0	0	52,1 <sup>bc</sup>	51,3 <sup>cd</sup>	50,3 <sup>cd</sup>	21,0 <sup>abc</sup>	22,0 <sup>b</sup>	22,7 <sup>b</sup>
5 Injektion	0	100 <sup>(Inj.)</sup>	0	52,6 <sup>c</sup>	51,2 <sup>bcd</sup>	51,7 <sup>e</sup>	21,8 <sup>abc</sup>	21,9 <sup>b</sup>	23,6 <sup>b</sup>
6 Injektion	0	200 <sup>(Inj.)</sup>	0	49,0 <sup>a</sup>	49,8 <sup>ab</sup>	49,9 <sup>bc</sup>	22,3 <sup>bc</sup>	22,6 <sup>b</sup>	25,5 <sup>b</sup>
7 Streuen	0	100 <sup>(KAS)</sup>	0	52,5 <sup>c</sup>	51,4 <sup>d</sup>	51,0 <sup>de</sup>	23,8 <sup>bc</sup>	22,2 <sup>b</sup>	24,4 <sup>b</sup>
8 Streuen	0	200 <sup>(KAS)</sup>	0	50,2 <sup>a</sup>	49,4 <sup>a</sup>	48,9 <sup>a</sup>	22,3 <sup>bc</sup>	21,4 <sup>b</sup>	24,1 <sup>b</sup>
9 Injektion/Streuen	100 <sup>(Inj.)</sup>	0	100 <sup>(KAS)</sup>	50,3 <sup>ab</sup>	50,0 <sup>abc</sup>	49,4 <sup>ab</sup>	22,2 <sup>bc</sup>	22,1 <sup>b</sup>	25,4 <sup>b</sup>
10 Injektion/Streuen	0	100 <sup>(Inj.)</sup>	100 <sup>(KAS)</sup>	49,2 <sup>a</sup>	49,1 <sup>a</sup>	48,7 <sup>a</sup>	22,3 <sup>bc</sup>	21,5 <sup>b</sup>	23,7 <sup>b</sup>
	GD <sub>Tukey, 5 %</sub>			1,9	1,5	0,9	3,2	3,8	3,8

Bei den Ölerträgen sind die Unterschiede zwischen den gedüngten Varianten noch geringer als bei den Samenerträgen, denn ein geringerer Stickstoffaufwand von 100 kg N/ha statt 200 kg N/ha führte zu höheren Ölgehalten (Tab. 20, Tab. 21). Auffällig sind die hohen Ölerträge von ca. 26 dt/ha im Erntejahr 2009 in Forchheim; der signifikante Unterschied im Samenertrag zwischen den beiden Herbstvarianten (PG 2 und PG 3) ist beim Ölertrag nicht vorhanden. FELGENTREU (2003) vermutet einen negativen Zusammenhang zwischen der ammoniumbetonten Injektionsdüngung und dem Ölgehalt. Dies kann mit den hier vorgestellten Versuchen nicht bestätigt werden. Auch RATHKE ET AL. (2006) schreiben, dass es keinen Einfluss der N-Form auf den Ölgehalt von Winterraps gibt. Wie die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, führen späte N-Gaben tendenziell zu geringeren Ölgehalten.

**Tabelle 22: Winterraps: N-Entzug (Samen und Stroh) 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			N-Entzug [kg/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	102 <sup>a</sup>	130 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>
2 Injektion	100 <sup>(Inj.)</sup>	0	0	119 <sup>a</sup>	210 <sup>b</sup>	140 <sup>ab</sup>
3 Injektion	200 <sup>(Inj.)</sup>	0	0	111 <sup>a</sup>	244 <sup>c</sup>	152 <sup>b</sup>
4 Injektion	0	200 <sup>(Inj.)</sup>	0	209 <sup>b</sup>	250 <sup>cd</sup>	237 <sup>d</sup>
5 Streuen	0	200 <sup>(KAS)</sup>	0	174 <sup>b</sup>	248 <sup>cd</sup>	239 <sup>d</sup>
6 Injektion/Streuen	100 <sup>(Inj.)</sup>	0	100 <sup>(KAS)</sup>	179 <sup>b</sup>	237 <sup>c</sup>	196 <sup>c</sup>
7 Injektion/Streuen	0	100 <sup>(Inj.)</sup>	100 <sup>(KAS)</sup>	190 <sup>b</sup>	240 <sup>c</sup>	232 <sup>d</sup>
8 Streuen	0	100 <sup>(KAS)</sup>	100 <sup>(KAS)</sup>	180 <sup>b</sup>	265 <sup>d</sup>	202 <sup>c</sup>
	GD <sub>Tukey, 5 %</sub>			37	18	30

**Tabelle 23: Winterraps: N-Entzug (Samen und Stroh) 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			N-Entzug [kg/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	99 <sup>a</sup>	105 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	100 <sub>(KAS)</sub>	100 <sub>(KAS)</sub>	178 <sup>d</sup>	192 <sup>e</sup>	218 <sup>cd</sup>
3 Injektion	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	0	123 <sup>ab</sup>	132 <sup>b</sup>	199 <sup>bc</sup>
4 Injektion	200 <sub>(Inj.)</sub>	0	0	133 <sup>b</sup>	153 <sup>c</sup>	183 <sup>b</sup>
5 Injektion	0	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	134 <sup>b</sup>	157 <sup>c</sup>	180 <sup>b</sup>
6 Injektion	0	200 <sub>(Inj.)</sub>	0	174 <sup>cd</sup>	180 <sup>de</sup>	214 <sup>cd</sup>
7 Streuen	0	100 <sub>(KAS)</sub>	0	146 <sup>bc</sup>	148 <sup>bc</sup>	194 <sup>bc</sup>
8 Streuen	0	200 <sub>(KAS)</sub>	0	167 <sup>cd</sup>	174 <sup>d</sup>	227 <sup>d</sup>
9 Injektion/Streuen	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	100 <sub>(KAS)</sub>	166 <sup>cd</sup>	175 <sup>d</sup>	238 <sup>d</sup>
10 Injektion/Streuen	0	100 <sub>(Inj.)</sub>	100 <sub>(KAS)</sub>	191 <sup>d</sup>	180 <sup>de</sup>	239 <sup>d</sup>
			GD <sub>Tukey, 5 %</sub>	29	17	26

Die N-Entzüge beinhalten den durch die Pflanzen oberirdisch (Samen und Stroh) gebundenen Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte (Tab. 22, Tab. 23). Auffällig sind die geringen N-Entzüge bei den Varianten mit einer alleinigen Herbstinjektion. Dies zeigt sich auch in den hohen N-Salden (gedüngter Stickstoff minus mit den Samen entzogener Stickstoff). Die höchsten N-Salden treten in beiden Versuchsjahren bei den Varianten mit einer Herbstinjektion von 200 kg N/ha auf (Tab. 24, Tab. 25).

Die  $N_{\min}$ -Gehalte wurden vor Anlage des Versuches, vor und nach dem Winter sowie zur Ernte bestimmt. Bis auf den oben bereits erwähnten Einfluss der Herbstinjektion auf den  $N_{\min}$ -Gehalt nach dem Winter konnte kein Einfluss der N-Applikation auf den  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden registriert werden. Nach der Ernte konnten keine Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden, die sich mit dem N-Applikationsverfahren begründen lassen (Abb. 20, Abb. 21).

**Tabelle 24: Winterraps: N-Saldo 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			N-Saldo [kg/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	-67	-87	-8
2 Injektion	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	0	15	-6	-56
3 Injektion	200 <sub>(Inj.)</sub>	0	0	116	82	11
4 Injektion	0	200 <sub>(Inj.)</sub>	0	63	34	2
5 Streuen	0	200 <sub>(KAS)</sub>	0	70	35	10
6 Injektion/Streuen	100 <sub>(Inj.)</sub>	0	100 <sub>(KAS)</sub>	74	51	12
7 Injektion/Streuen	0	100 <sub>(Inj.)</sub>	100 <sub>(KAS)</sub>	61	41	10
8 Streuen	0	100 <sub>(KAS)</sub>	100 <sub>(KAS)</sub>	66	47	7

**Tabelle 25: Winterraps: N-Saldo 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			N-Saldo [kg/ha]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	-85	-87	-103
2 Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	44	55	35
3 Injektion	100 (Inj.)	0	0	-6	-7	-46
4 Injektion	200 (Inj.)	0	0	80	71	55
5 Injektion	0	100 (Inj.)	0	-20	-26	-36
6 Injektion	0	200 (Inj.)	0	40	53	31
7 Streuen	0	100 (KAS)	0	-32	-27	-49
8 Streuen	0	200 (KAS)	0	55	55	30
9 Injektion/Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	57	56	26
10 Injektion/Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	42	53	33

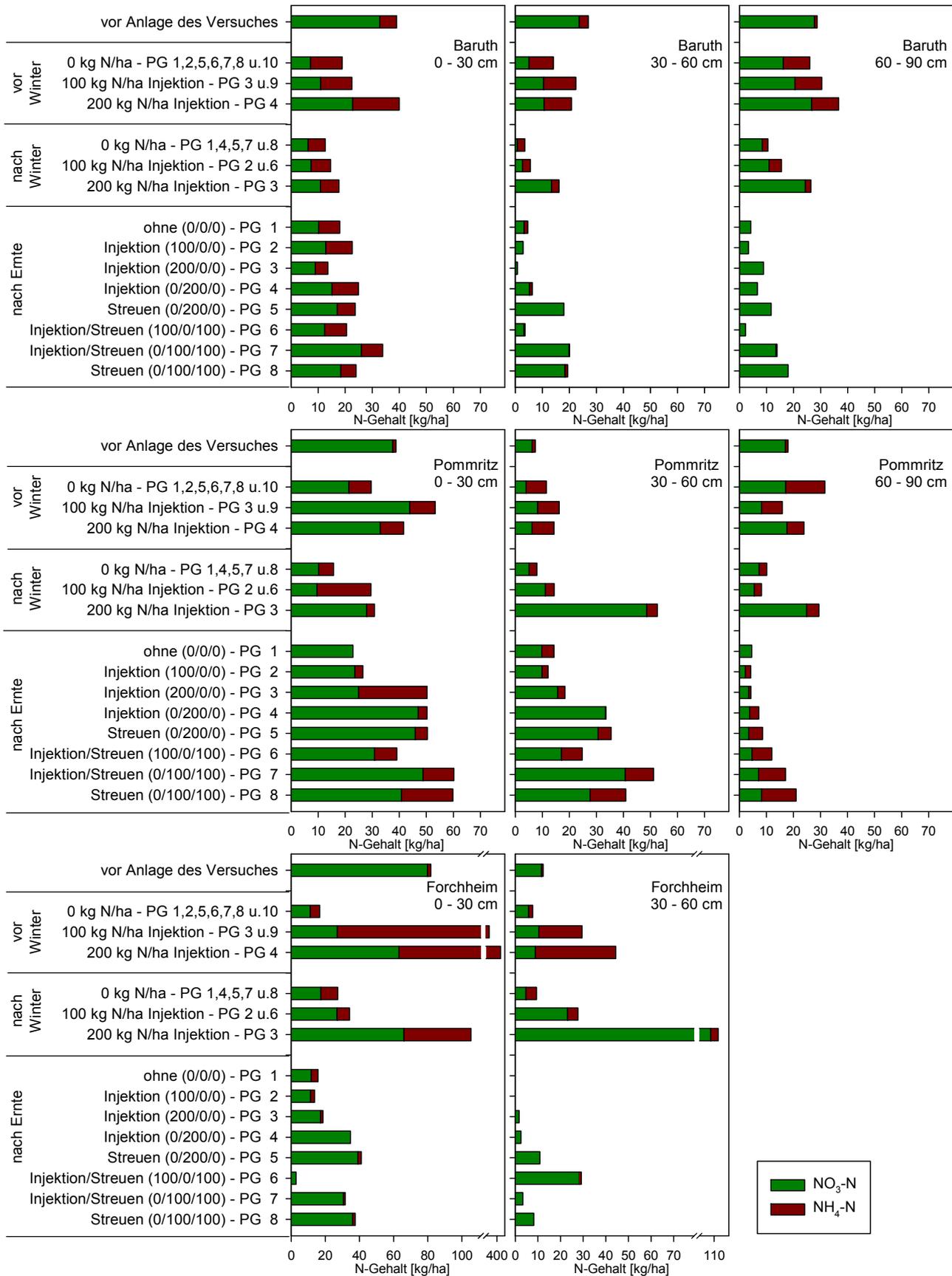
Eine überwiegende Ammoniumernährung wirkt sich nach SOMMER (2005) auf das Wachstum der Pflanzen aus. So sollen die Pflanzen kompakter und stabiler sein. FELGENTREU (2003) beobachtete beim Winterraps in einem Versuchsjahr kürzere Pflanzen nach einer Injektionsdüngung. In einem weiteren Jahr konnten keine Unterschiede in der Pflanzenlänge in Abhängigkeit von der N-Applikation festgestellt werden. Bei den hier vorgestellten Versuchen waren die Rapspflanzen nach einer Injektion von 200 kg N/ha zu Vegetationsbeginn immer kürzer als nach 200 kg N/ha als KAS zu Vegetationsbeginn, auch wenn diese Unterschiede nicht signifikant sind.

**Tabelle 26: Winterraps: Pflanzenlänge 2009; Baruth, Pommritz und Forchheim**

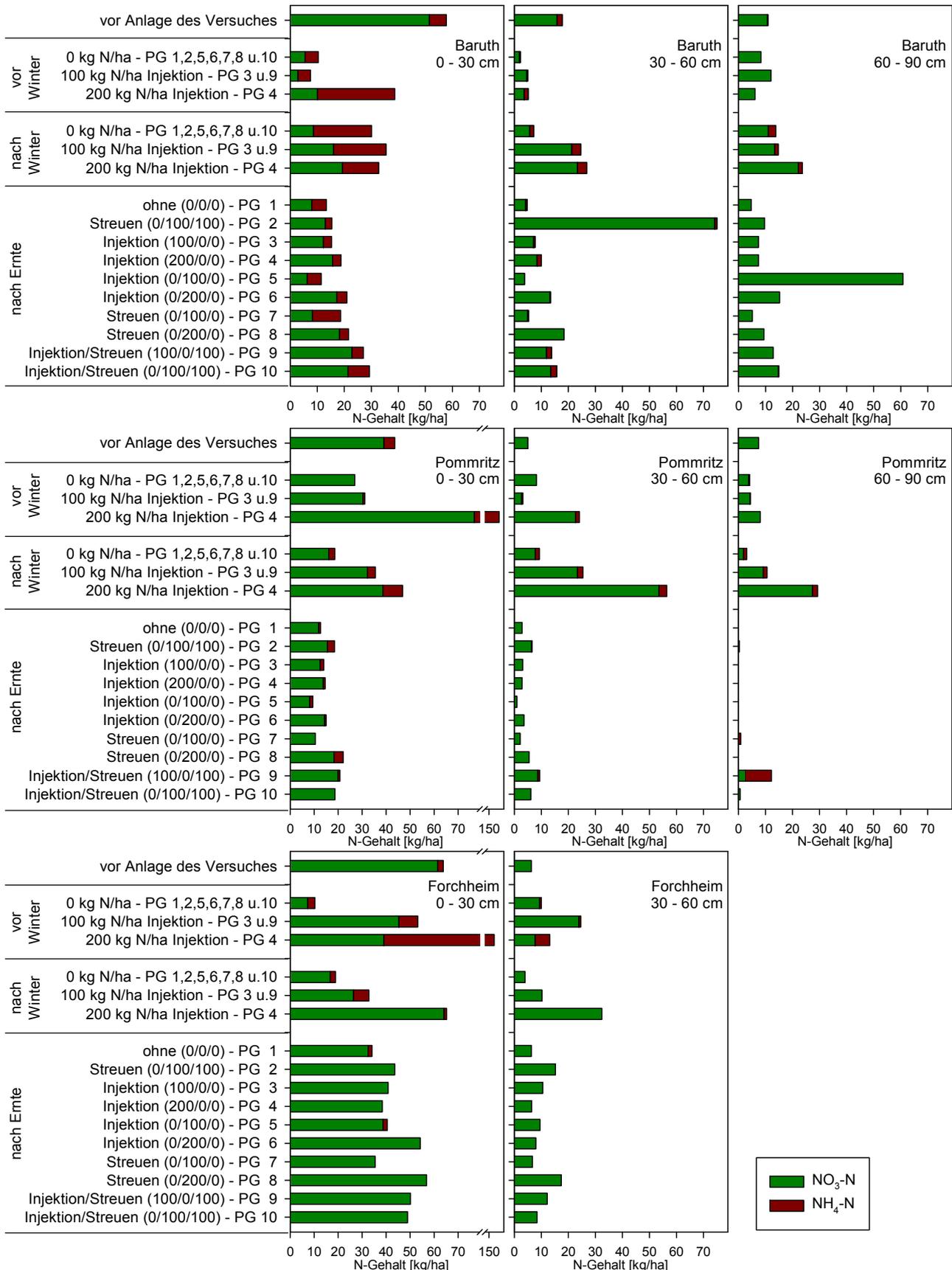
Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			Pflanzenlänge [cm]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	139 <sup>cd</sup>	160	138 <sup>a</sup>
2 Injektion	100 (Inj.)	0	0	143 <sup>d</sup>	166	144 <sup>ab</sup>
3 Injektion	200 (Inj.)	0	0	141 <sup>cd</sup>	166	146 <sup>b</sup>
4 Injektion	0	200 (Inj.)	0	129 <sup>a</sup>	160	142 <sup>ab</sup>
5 Streuen	0	200 (KAS)	0	135 <sup>abc</sup>	164	144 <sup>ab</sup>
6 Injektion/Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	142 <sup>d</sup>	167	142 <sup>ab</sup>
7 Injektion/Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	132 <sup>ab</sup>	163	143 <sup>ab</sup>
8 Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	137 <sup>bcd</sup>	162	146 <sup>b</sup>
GDTukey, 5 %				7	n.s.	6

**Tabelle 27: Winterraps: Pflanzenlänge 2010; Baruth, Pommritz und Forchheim**

Prüfglied	N-Applikation [kg/ha]			Pflanzenlänge [cm]		
	Herbst	1. N-Gabe	2. N-Gabe	Baruth	Pommritz	Forchheim
1 ohne N-Düngung	0	0	0	139 <sup>bc</sup>	156 <sup>a</sup>	152 <sup>a</sup>
2 Streuen	0	100 (KAS)	100 (KAS)	143 <sup>c</sup>	165 <sup>bc</sup>	167 <sup>bc</sup>
3 Injektion	100 (Inj.)	0	0	141 <sup>bc</sup>	164 <sup>bc</sup>	160 <sup>b</sup>
4 Injektion	200 (Inj.)	0	0	141 <sup>bc</sup>	166 <sup>c</sup>	171 <sup>c</sup>
5 Injektion	0	100 (Inj.)	0	135 <sup>ab</sup>	160 <sup>ab</sup>	164 <sup>bc</sup>
6 Injektion	0	200 (Inj.)	0	131 <sup>a</sup>	162 <sup>bc</sup>	168 <sup>bc</sup>
7 Streuen	0	100 (KAS)	0	141 <sup>bc</sup>	163 <sup>bc</sup>	165 <sup>bc</sup>
8 Streuen	0	200 (KAS)	0	136 <sup>ab</sup>	168 <sup>c</sup>	171 <sup>c</sup>
9 Injektion/Streuen	100 (Inj.)	0	100 (KAS)	136 <sup>abc</sup>	166 <sup>c</sup>	167 <sup>bc</sup>
10 Injektion/Streuen	0	100 (Inj.)	100 (KAS)	134 <sup>ab</sup>	162 <sup>bc</sup>	167 <sup>bc</sup>
GDTukey, 5 %				7	6	8



**Abbildung 20: Winterraps: Entwicklung der N<sub>min</sub>-Gehalte im Versuchszeitraum (2008/09); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe)**



**Abbildung 21: Winterraps: Entwicklung der  $N_{min}$ -Gehalte im Versuchszeitraum (2009/10); in den Klammern die gedüngten N-Mengen in kg/ha (Herbstgabe/1. N-Gabe/2. N-Gabe)**

## 3.2 Vergleich von ASL und Domamon® L 26

### 3.2.1 Versuch auf der Kleinparzellenanlage

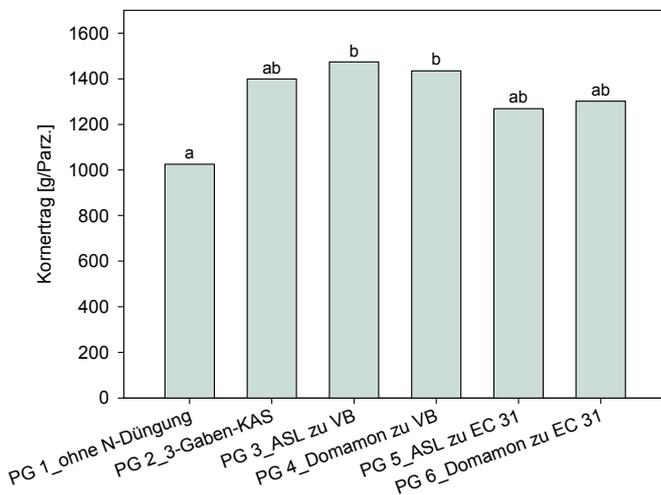
Auf Grund der günstigen Witterungsbedingungen 2010 konnte sich der Winterweizenbestand in der Kastenparzellenanlage am Standort Leipzig-Möckern gut entwickeln. Es waren kaum Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten sichtbar. Die Varianten mit der Injektion zu Vegetationsbeginn wirkten etwas dichter als die KAS-Variante und die Varianten mit der Injektion zu EC 31. Keine Unterschiede waren zwischen den mit ASL und den mit Domamon® L 26 gedüngten Varianten festzustellen (Abb. 22).



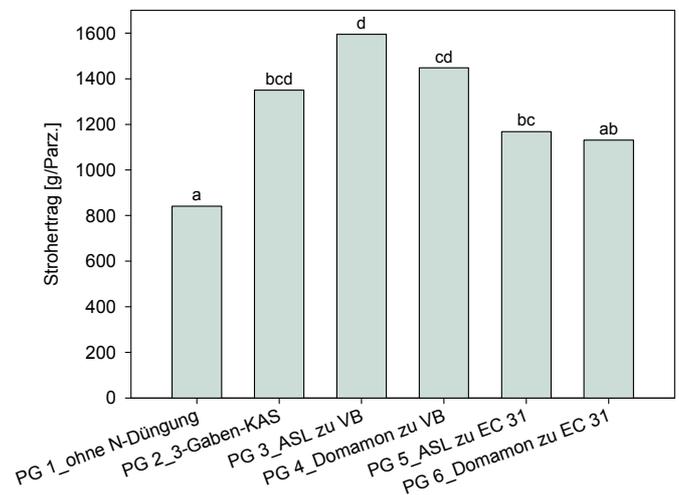
ohne N-Düngung      3 Gaben KAS      Injektion (Domamon® L 26) zu VB      Injektion (ASL) zu EC 31

**Abbildung 22: Winterweizen in der Kastenparzellenanlage nach unterschiedlicher N-Düngung am 28.05.2010**

Dieser visuelle Eindruck wurde auch durch die Korn- und Stroherträge bestätigt (Abb. 23, Abb. 24). Gesicherte Unterschiede beim Ertrag gab es nur zwischen dem Prüfglied ohne N-Düngung im Vergleich zu den beiden Varianten mit der Injektion zu Vegetationsbeginn (PG 3 und PG 3). Alle gedüngten Varianten unterschieden sich im Ertrag nicht signifikant voneinander. Tendenziell erzielten die Prüfglieder 4 und 5 mit der späten Injektion zu EC 31 geringere Erträge. Die Injektion zu Vegetationsbeginn führte auch beim Stroh zu den höchsten Erträgen.

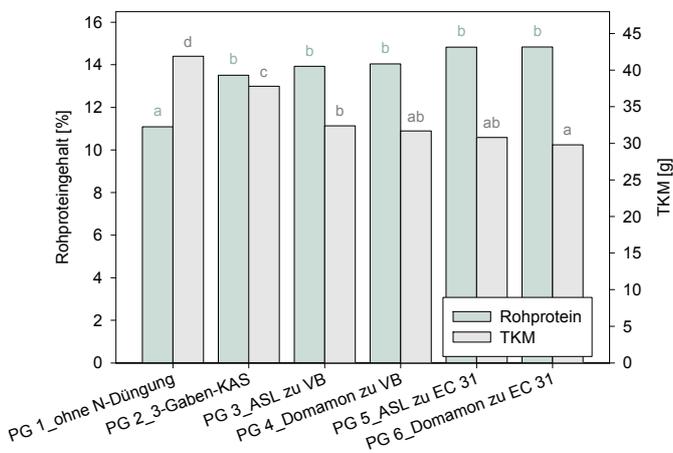


**Abbildung 23: Korntrag in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test)**

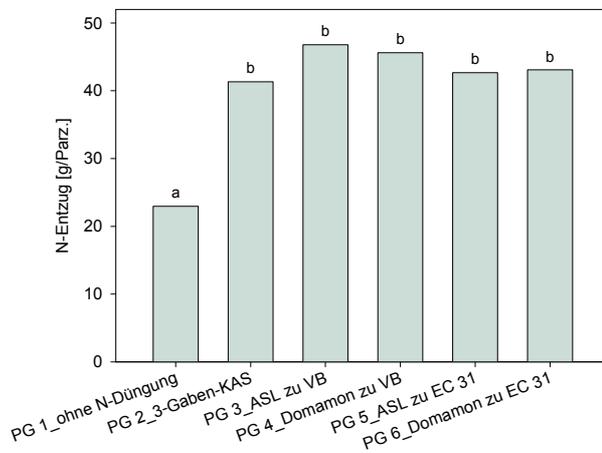


**Abbildung 24: Strohertrag in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test)**

Beim Rohproteingehalt gab es keine Unterschiede zwischen den gedüngten Varianten (Abb. 25), die sich statistisch absichern ließen. Nur „ohne N-Düngung“ (PG 1) führte zu signifikant geringeren Rohproteingehalten. Tendenziell führte der späte Injektions-termin (PG 5 und PG 6) zu höheren Rohproteingehalten. Auf Grund der hohen Korn- und Stroherträge realisierten die Varianten mit der Injektion zu Vegetationsbeginn tendenziell die höchsten N-Entzüge, jedoch gab es zwischen allen gedüngten Prüfgliedern keine statistisch gesicherten Unterschiede (Abb. 26).



**Abbildung 25: Rohproteingehalt und TKM in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test)**



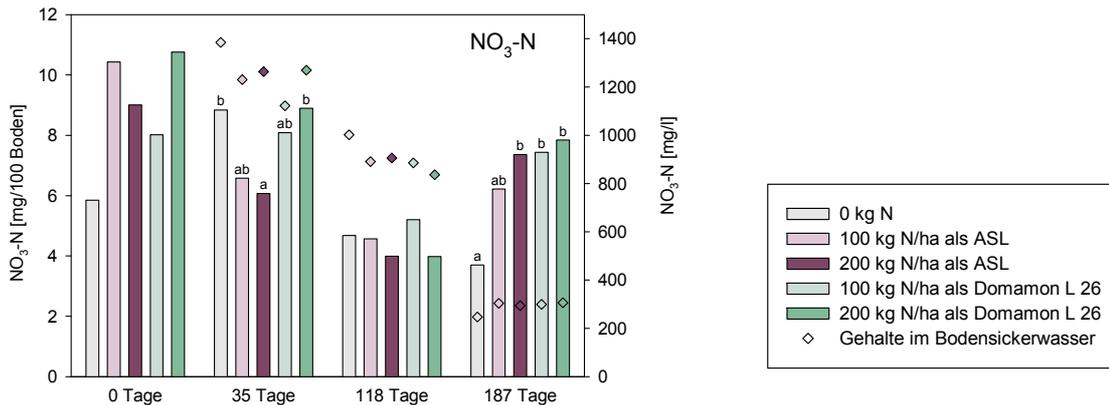
**Abbildung 26: N-Entzug in Abhängigkeit von der N-Applikation (unterschiedliche Buchstaben = sig. Unterschiede nach Tukey-Test)**

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einfluss des Injektionstermins größer ist als der Einfluss unterschiedlicher Düngelösungen. Nach den Empfehlungen für das CULTAN-Verfahren von SOMMER (2008) sollen beim Getreide nur reine Ammoniumdünger zur Anwendung kommen, um eine wurzeldominante Entwicklung des Getreides zu gewährleisten. Diese wurzeldominante Entwicklung (im Vergleich zur sprossdominanten bei Nitraternährung) wird laut SOMMER (2008) nur bei reiner Ammoniumernährung erreicht. Harnstoff wird im Boden durch Urease in Ammonium und anschließend zu Nitrat umgewandelt. Der geringe Einfluss der Düngelösung ist eventuell auch auf die Nitratgehalte im Boden zurückzuführen. Auf Grund der Prozesse im Boden ist eine ausschließliche Ernährung der Pflanzen mit Ammonium auch bei längerjähriger Anwendung des CULTAN-Verfahrens nicht möglich. Jedoch beeinflusst der Ammoniumanteil in der Düngelösung die Stabilität der Depots und somit die Langzeitwirkung der N-Injektion. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, Düngelösungen zu verwenden, die ausschließlich Ammoniumstickstoff enthalten. Auch bei den hier vorgestellten Feldversuchen wurde beim Getreide in den Versuchsjahren 2005/06 bis 2008/09 Domamon® L 26 eingesetzt. Besonders in dem Jahr 2008/09 mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit konnten durch die Injektion von Domamon® L 26 gute Erträge erzielt werden. BOELCKE (2003) stellte keine Ertragsunterschiede bei Winterweizen zwischen Injektionsvarianten mit Domamon® L 26 und einer NPK-Lösung (17 % Harnstoff-N; 2 % Ammonium-N) fest.

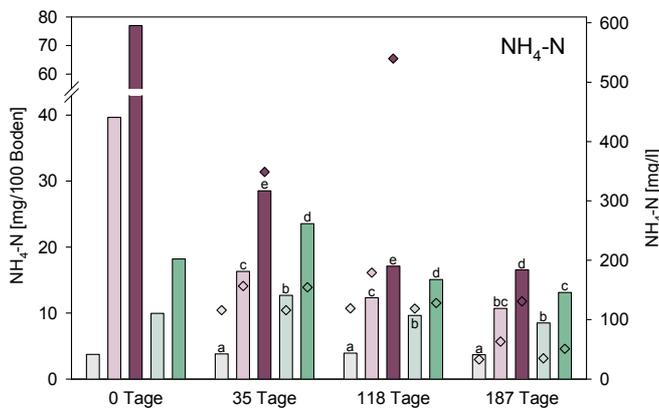
### 3.2.2 Gefäßversuch

In diesem Gefäßversuch wurde der Einfluss der Düngertlösung auf die Depotstabilität geprüft. Dafür wurden sowohl Bodenproben als auch Proben vom Bodensickerwasser untersucht. Die Menge des anfallenden Bodensickerwassers war bei allen Varianten (einheitliche Gießmengen) in etwa gleich, so dass die Konzentrationen im Bodensickerwasser miteinander vergleichbar sind.

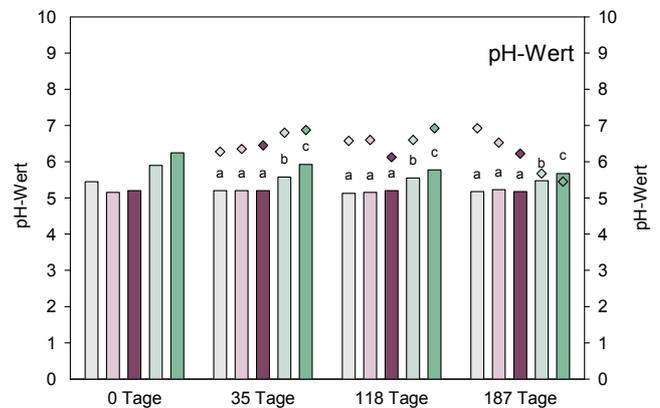
Die erste Bodenprobenahme erfolgte zu Versuchsbeginn. Während es beim Nitratgehalt im Boden zu Versuchsbeginn nur geringe Unterschiede zwischen den geprüften Varianten gab (Abb. 27), zeigten sich beim Ammoniumgehalt deutliche Differenzen. Bei den zwei ASL-Varianten konnte der höchste Ammoniumgehalt nachgewiesen werden, bei einer Aufwandmenge von 100 kg N/ha knapp 40 mg/100 g Boden und bei 200 kg N/ha knapp 80 mg/100 g Boden, also etwa doppelt soviel. Der Gesamtstickstoff bei Domamon® L 26 setzt sich zu 30 % aus Ammonium und zu 70 % aus Harnstoff zusammen. Die Ammoniumgehalte der Domamon-Varianten zu Beginn des Versuches im Vergleich zu den ASL-Varianten spiegelten dies wider. Zwischen den Düngungsvarianten gab es zu keinem Termin wesentliche Unterschiede beim Nitratgehalt im Bodensickerwasser.



**Abbildung 27: Nitratgehalt im Boden und im Bodensickerwasser in Abhängigkeit von der N-Applikation und der Zeit**



**Abbildung 28: Ammoniumgehalt im Boden und im Bodensickerwasser in Abhängigkeit von der N-Applikation und der Zeit**



**Abbildung 29: pH-Wert im Boden und im Bodensickerwasser in Abhängigkeit von der N-Applikation und der Zeit**

Nach 35 Tagen zum zweiten Probenahmetermin war die Differenz (nicht signifikant) beim Nitratgehalt im Boden zwischen den beiden Düngertlösungen größer als zwischen den Aufwandmengen. Der Einfluss der N-Düngung auf den Nitratgehalt war nach 118 Tagen nicht signifikant. Auch am letzten Termin nach 187 Tagen konnten keine statistisch gesicherten Unterschiede im Nitratgehalt des Bodens zwischen den gedüngten Varianten festgestellt werden. Signifikante Abweichungen gab es beim Ammoniumgehalt im Boden in Abhängigkeit der Düngertlösung. Das meiste Ammonium im Boden konnte nach 35 Tagen bei der Variante mit 200 kg N/ha als ASL nachgewiesen werden. Gefolgt von der Domamon® L 26-Variante ebenfalls mit einer Aufwandmenge von 200 kg N/ha. Ein geringerer Ammoniumgehalt war in den Varianten mit 100 kg N/ha; wobei auch hier der  $\text{NH}_4$ -Gehalt

in der ASL-Variante höher war als der in der Domamon® L 26-Variante. Gleiches gilt für die Ammoniumgehalte im Boden nach 118 und 187 Tagen, wenn auch mit geringern Gehalten.

Der Ammoniumgehalt im Boden nahm in den ersten 118 Tagen deutlich ab und blieb dann bis zum letzten Probenahmetermin nach 187 Tagen auf etwa gleichem Niveau. Die Ammoniumgehalte im Bodenwasser gehen während der gesamten Versuchslaufzeit kontinuierlich zurück. Auffällig ist der hohe Wert von etwa 550 mg/l Bodenwasser nach 118 Tagen bei der Variante mit 200 kg N/ha ASL. Die Boden-pH-Werte änderten sich im Versuchszeitraum kaum. Nach einer Injektion von Domamon® L 26 war der pH-Wert im Boden signifikant erhöht. Dagegen führte eine Injektion von ASL zu keiner Veränderung im pH-Wert im Vergleich zur Kontrollvariante. Auf die Bestimmung der Gehalte an Harnstoff im Boden und im Bodensickerwasser mußte bei diesem Versuch verzichtet werden.

Diskutiert werden muss die Nachweismethode von Ammonium-N im Boden. Hier wurde das gängige Verfahren mit 0,0125 M CaCl<sub>2</sub>-Lösung angewandt. Bei dieser Extraktionsmethode wird vorrangig NO<sub>3</sub><sup>-</sup> erfasst (SCHILLING, 2000). Ammonium, welches an Tonminerale gebunden ist, wird mit der schwach konzentrierten CaCl<sub>2</sub>-Lösung nicht gelöst. Bei einer Extraktion mit 2 N KCl-Lösung würde eventuell mehr Ammonium erfasst werden. Nach 187 Tagen konnte bei einer Aufwandmenge von 200 kg N/ha bei ASL ein signifikant höherer Ammoniumgehalt im Boden als bei Domamon® L 26 nachgewiesen werden. Dies unterstützt die These, dass ein hoher bzw. ausschließlicher Ammoniumanteil in der Düngelösung die Stabilität der Depots verbessert.

### 3.3 Auswertung der Umfrage

Von den 40 verschickten Fragebögen wurden 22 beantwortet und konnten ausgewertet werden. Natürlich handelt es sich bei den Angaben um subjektive Eindrücke und Erfahrungen. Wissenschaftliche Untersuchungen kann eine solche Umfrage nicht ersetzen, allerdings können mit ihr Tendenzen aufgezeigt werden.

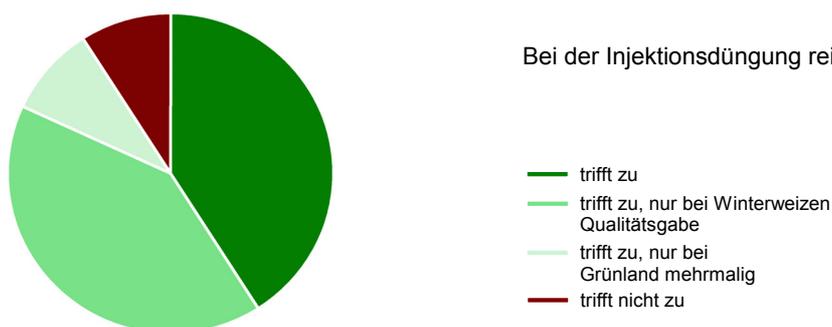
Im Durchschnitt verfügten die Betriebe über eine landwirtschaftliche Nutzfläche von 681 ha (590 ha Ackerland und 91 ha Grünland). Dabei lag der Flächenumfang zwischen 70 ha und 2.250 ha. Im Mittel ließen die befragten Landwirtschaftsbetriebe seit vier Jahren die N-Injektion durchführen, darunter sind sowohl Betriebe, die bereits sieben Jahre Erfahrung mit dem Verfahren haben als auch Betriebe, die die N-Injektion 2009 erstmalig ausprobierten.

Grundsätzlich wurde die N-Injektion vom Lohnunternehmer durchgeführt. Einige Betriebe ließen 100 % ihrer Flächen im N-Injektionsverfahren düngen, andere nur 2 % der Flächen. Insgesamt hatten die befragten Betriebe 2008/09 2.270 ha und 2009/10 3.790 ha injizieren lassen. Die meisten Injektionen wurden im Winterweizen durchgeführt. Im Winterraps wendeten 14 der 22 antwortenden Landwirte die N-Injektion an. Hinter „Sonstige“ verbergen sich unter anderem Triticale und Hafer (s. Tab. 28).

**Tabelle 28: Anzahl der Betriebe, die die Injektion zu den aufgeführten Kulturen durchführen lassen (Mehrfachnennungen)**

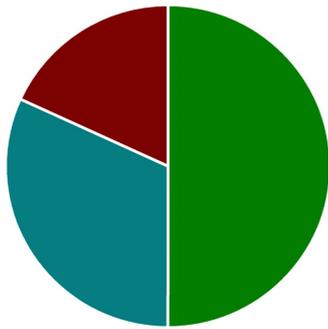
Kultur	Anzahl Betriebe
Winterweizen	16
Wintergerste	12
Winterroggen	2
Winterraps	14
Silomais	11
Körnermais	2
Grünland	10
Sonstige	6

Im Folgenden sollten die Landwirte verschiedene Aussagen zur Injektionsdüngung bestätigen oder dementieren. Außerdem hatten sie die Möglichkeit „keine Angabe“ anzukreuzen.

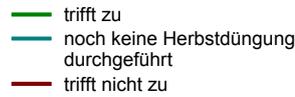


**Abbildung 30: Umfrage: Meinungen zum Satz „Bei der Injektionsdüngung reicht eine einmalige Düngung aus.“ (n = 22)**

Auf die Frage, ob bei der Injektionsdüngung eine einmalige Düngung ausreicht, wurde differenziert geantwortet (Abb. 30). Die Antwort „trifft zu, nur im Grünland ist eine mehrmalige Düngung notwendig“ war nicht vorgesehen, wurde aber von zwei Landwirten angemerkt. Neun Landwirte stimmten der Aussage ohne Einschränkung zu und ebenfalls neun stimmten für „trifft zu, nur bei Winterweizen ist eine Qualitätsgabe erforderlich“. Letzteres deckt sich auch mit den Erfahrungen aus den hier vorgestellten Versuchen und mit den Empfehlungen aus der landwirtschaftlichen Presse zum Injektionsverfahren (DLZ, 2003; HERMANN, 2006).

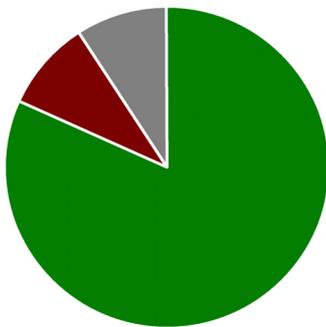


Mit einer Herbstinjektion haben wir gute Erfahrungen gemacht.

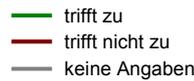


**Abbildung 31: Umfrage: Meinungen zum Satz „Mit einer Herbstinjektion haben wir gute Erfahrungen gemacht.“ (n = 22)**

Gute Erfahrungen mit einer Herbstinjektion haben elf Landwirte gemacht. Vier dagegen verneinten diese Aussage; wobei an Hand der Daten keine Aussage darüber getroffen werden kann, zu welcher Fruchtart die Herbstdüngung durchgeführt wurde und ob die gesamte N-Düngung im Herbst durchgeführt oder lediglich Teilgaben gedüngt wurden (Abb. 31). In der Literatur finden sich bisher kaum Angaben zur Herbstinjektion und die Versuchsergebnisse des LfULG lassen noch keine eindeutigen Aussagen zur alleinigen Herbstinjektion zu. Sieben Betriebe hatten noch keine Herbstinjektion durchgeführt.



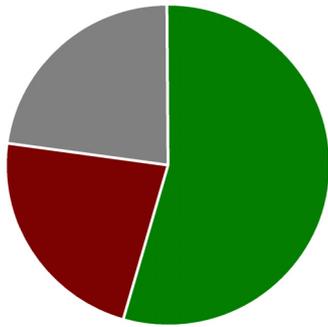
Injektionsgedüngte Bestände erzielen im Vergleich zur praxis-üblichen Düngung gleich hohe oder höhere Erträge.



**Abbildung 32: Umfrage: Meinungen zum Satz „Injektionsgedüngte Bestände erzielen im Vergleich zur praxis-üblichen Düngung gleich hohe oder höhere Erträge.“ (n = 22)**

Bei der Aussage zu den Erträgen wurde bewusst nicht nur nach höheren, sondern auch nach gleich hohen Erträgen nach N-Injektion im Vergleich zur praxisüblichen Düngung gefragt. Denn die bisherigen Versuchsergebnisse – nicht nur aus Sachsen – haben gezeigt, dass mit der Injektionsdüngung bei günstigen Witterungsbedingungen etwa gleich hohe Erträge erzielt werden und höhere Erträge häufig bei Frühsommertrockenheit auf leichten Standorten. Diese Aussage bestätigten auch 18 Landwirte (Abb. 32).

Die meisten Verneinungen (5mal) gab es bei der Aussage „Injektionsgedüngte Bestände sind gesünder und es müssen weniger PSM eingesetzt werden“. Aber mit zwölf Zustimmungen bejahten noch über 50 % der Landwirte diesen Satz (Abb. 33).

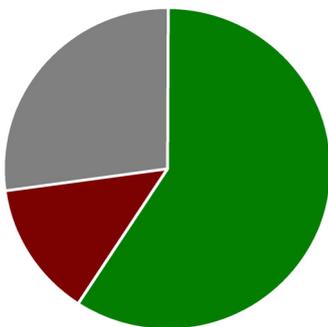


Injektionsgedüngte Bestände sind gesünder und es müssen weniger PSM eingesetzt werden.

— trifft zu  
— trifft nicht zu  
— keine Angaben

**Abbildung 33: Umfrage: Meinungen zum Satz „Injektionsgedüngte Bestände sind gesünder und es müssen weniger PSM eingesetzt werden.“ (n = 22)**

Bei der Aussage zum reduzierten Einsatz von Wachstumsreglern in injektionsgedüngten Beständen entschieden sich sechs Landwirte dazu, keine Angaben zu machen. 13 konnten eine Reduzierung von Wachstumsreglern bestätigen – drei dementierten diese Aussage (Abb. 34).

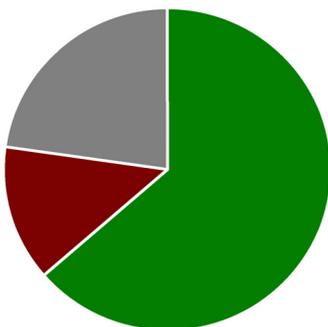


Der Einsatz von Wachstumsreglern in injektionsgedüngten Beständen kann reduziert werden.

— trifft zu  
— trifft nicht zu  
— keine Angaben

**Abbildung 34: Umfrage: Meinungen zum Satz „Der Einsatz von Wachstumsreglern in injektionsgedüngten Beständen kann reduziert werden.“ (n = 22)**

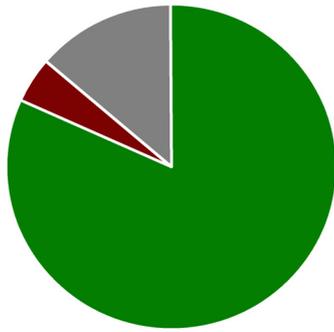
Von den 22 Landwirten haben 14 geäußert, dass die Injektionsdüngung für ihren Betrieb ökonomisch von Vorteil ist (Abb. 35). Hier wäre es sicher aufschlussreich zu wissen, wodurch sich im Wesentlichen der ökonomische Vorteil für diese Betriebe ergibt, d. h. inwieweit höhere Erträge, Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln und Wachstumsregulatoren oder eine Reduzierung von Arbeitsgängen dabei eine Rolle spielen. Ob diese Betriebe auch andere Düngungsverfahren im Lohn durchführen lassen müssten, ist bei der ökonomischen Bewertung ebenfalls relevant.



Für meinen Betrieb ist das Injektionsverfahren ökonomisch von Vorteil.

— trifft zu  
— trifft nicht zu  
— keine Angaben

**Abbildung 35: Umfrage: Meinungen zum Satz „Für meinen Betrieb ist das Injektionsverfahren ökonomisch von Vorteil.“ (n = 22)**



Mich überzeugt das Verfahren der Injektionsdüngung.

- trifft zu
- trifft nicht zu
- keine Angaben

**Abbildung 36: Umfrage: Meinungen zum Satz „Ich bin überzeugt vom Verfahren der Injektionsdüngung.“ (n = 22)**

Überzeugt vom Verfahren der Injektionsdüngung sind 80 % der Landwirte, nur ein Landwirt stimmte dieser Aussage nicht zu (Abb. 36). Es muss allerdings bedacht werden, dass diese Umfrage unter Landwirten durchgeführt wurde, die das Injektionsverfahren anwenden. Es liegen keine Angaben darüber vor, ob und wenn ja, wie viele Landwirte in Sachsen das Injektionsverfahren in ihrem Betrieb getestet haben und es – aus welchen Gründen auch immer – nicht weiter durchführen.

### 3.4 Wirtschaftlichkeit der N-Injektion

Für die Etablierung eines neuen Verfahrens in der Landwirtschaft ist die Frage nach dessen Wirtschaftlichkeit relevant. Die N-Injektion – insbesondere mit Sternrädern – ist ein relativ neues, noch nicht weit verbreitetes Verfahren, für das kaum Daten zur Wirtschaftlichkeit vorliegen. Da besonders die Logistik des Düngers für diese Art der Düngerapplikation für den Landwirt aufwendig ist, wird das Verfahren meistens vom Lohnunternehmer durchgeführt.

Beispielhaft wurden für Winterweizen (Erntejahr 2009; Standort Pommritz) die Mehrleistungen (im Vergleich zur Kontrolle) nach einer Düngung mit drei Gaben KAS und nach einer einmaligen Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn gegenübergestellt (Tab. 29). Dabei wurde angenommen, dass beide Düngeverfahren im Lohn durchgeführt werden. Für die Düngerkosten wurden die Preise vom Frühjahr 2009 angesetzt und die Produktpreise sind aus dem Wirtschaftsjahr 2009/10. In den 1,15 €/kg N für die Injektion sind sowohl die Kosten für die Düngertlösung (ASL) als auch die Injektion in den Boden sowie das Anfahren der Düngertlösung inbegriffen (SCHILLER, 2010). Nur die Kosten für Diesel kommen noch hinzu. Hier wurde mit einem Verbrauch von 3,5 l/ha und einem Dieselpreis von 1 €/l gerechnet. Nicht einkalkuliert wurden alle vom Düngeverfahren unabhängigen Kosten, wie z. B. Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmittel etc. Kosten, die durch Mehrertrag entstehen (z. B. höherer Ernteaufwand, höhere Nährstoffentzüge etc.), blieben ebenfalls unberücksichtigt. Auch der Schwefelanteil in der Ammoniumsulfat-Lösung wurde nicht ökonomisch bewertet. Mit beiden N-Applikationsvarianten wurde 2009 nicht der für Qualitätsweizen erforderliche Rohproteingehalt von 13 % erzielt. Somit wirkt sich nur der geringe Ertragsunterschied auf den Erlös aus. Auch die Düngungskosten unterscheiden sich kaum, so dass sich bei der Mehrleistung nur die geringe Differenz von 15 € ergibt.

**Tabelle 29: Berechnung der N-Düngerkostenfreien-Mehrleistung bei Winterweizen im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle in Abhängigkeit von der N-Applikation (Erntejahr 2009; Pommritzer Erträge)**

	N-Applikation		Rahmenbedingungen		
	3-Gaben KAS	Injektion zu VB			
Ertrag [dt/ha]	101,4	102,4	Erlös der ungedüngten Kontrolle [€]	637	
Rohproteingehalt [%]	12,9	12,9	Weizenpreise [€/dt]	Qualitätsweizen	11,53
Erlös [€]	1097	1108		Brotweizen	10,82
N-Menge [kg/ha]	150	150		Futterweizen	10,04
Düngungskosten [€]	180	176	Düngungskosten	Injektion	1,15 €/kg N + 3,5 €/ha für Diesel
Mehrleistung im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle [€]	<b>281</b>	<b>296</b>		KAS	1,00 €/kg N + 10 €/ha für Ausbringung

Die Kosten für die Düngung sind bei einem Verfahrensvergleich (Streuen vs. Injektion) nicht ausschlaggebend für das ökonomische Ergebnis, wenn beide Verfahren im Lohn durchgeführt werden. Wie auch der Preis für das Kilogramm Stickstoff beim KAS ändern sich auch die Kosten für die Injektionsdüngung. So lag z. B. im Frühjahr 2010 beim KAS das Kilogramm Stickstoff bei 0,76 € und beim Injektionsverfahren wurden 0,85 €/kg N (inklusive Injektion und Anfahrt; plus Diesel) berechnet. Ökonomisch von Vorteil kann das Injektionsverfahren sein, wenn z. B. bei Frühsommertrockenheit Mehrerträge im Vergleich zur konventionellen Düngung erreicht werden. Eine Qualitätsgabe zum Ährenschieben bei Winterweizen nach einer N-Injektion zu Vegetationsbeginn würde die N-Düngungskosten kaum erhöhen, aber, wenn bessere Qualitäten erreicht werden, mehr Erlös ermöglichen.

Eventuelle Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln und Wachstumsregulatoren beim Injektionsverfahren durch gesündere und stabilere Pflanzen müssten ebenfalls ökonomisch bewertet werden.

Wenn der Landwirtschaftsbetrieb die Düngung im Lohn durchführen lässt, ist der Einfluss des Verfahrens auf die Düngungskosten gering. Ist die Technik zum Düngestreuen in dem Betrieb vorhanden, ist eine Ausnutzung dieser sicher ökonomisch sinnvoll. Bei der vorgestellten Umfrage gaben über 60 % der Landwirte an, dass das Injektionsverfahren für sie ökonomisch von Vorteil ist (s. Kap. 3.3). Allerdings gibt es keine Information, ob und in welchem Umfang diese Betriebe auch konventionelle Düngeverfahren von Lohnunternehmern durchführen lassen. BECK (2010) errechnet für den Speisekartoffelanbau ein Einsparpotenzial von

32,50 €/ha bei Injektionsdüngung im Vergleich zum konventionellen Düngen mit Schleuderstreuer. Ebenfalls ökonomische Vorteile durch die Injektionsdüngung sieht KRAATZ (2003) nach vierjährigen praktischen Erfahrungen mit der Injektionstechnik. Für eine fundierte betriebswirtschaftliche Bewertung sind noch weitere umfassende Datenerhebungen und -auswertungen erforderlich.

# 4 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes „Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Injektionsdüngung unter dem Einfluss des Klimawandels“ wurden sowohl Feld- als auch Gefäß- und Kleinparzellenversuche durchgeführt. Außerdem erfolgte eine Umfrage unter Landwirtschaftsbetrieben zu Fragen der N-Injektion.

Die Feldversuche wurden an den drei Standorten Baruth (D), Pommritz (Lö) und Forchheim (V) durchgeführt. Geprüft wurde die N-Injektion an allen Standorten zu Winterweizen und Winterraps sowie zusätzlich in Baruth zu Wintergerste.

Beim Winterweizen zeigen die Versuchsergebnisse, dass es beim Ertrag keine Unterschiede zwischen der N-Injektionsdüngung und der Standard-N-Verteilung gab. Teilweise lagen die Rohproteingehalte nach einer N-Injektion auf niedrigerem Niveau als nach drei Gaben KAS. Deswegen wird bei Winterweizen zum Erreichen hoher Rohproteinwerte eine Qualitätsgabe empfohlen. Vorteilhaft war die N-Injektionsdüngung im Versuchsjahr 2008/09 auf dem leichten Standort in Baruth. Nach der extremen Frühlings-trockenheit 2009 erzielte bei Wintergerste die Variante „Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn“ mit 71 dt/ha den höchsten Ertrag. Der späte Injektionsdüngungstermin zu EC 31 führte unter sächsischen Bedingungen zu niedrigeren Erträgen als nach einer N-Injektion zu Vegetationsbeginn. Nicht bewährt hat sich in beiden Versuchsjahren eine Injektion im Herbst von 50 kg N/ha zu Wintergetreide.

Bei Winterraps ist eine einmalige N-Injektion zu Vegetationsbeginn mit vollem N-Aufwand ohne Ertragseinbußen im Vergleich zur praxisüblichen Düngung mit zwei Gaben KAS möglich. Die Injektion der vollen N-Gabe zu Raps im Herbst kann auf Grundlage der vorliegenden zweijährigen Versuchsergebnisse nicht empfohlen werden. In den Versuchen war es vorteilhaft, einen Teil der N-Menge im Herbst zu injizieren und die Restmenge im Frühjahr erst zum Streckungswachstum zu applizieren. Durch die N-Injektion im Herbst kann die N-Düngung im Frühjahr zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Dies dient besonders bei schwer befahrbaren Böden dem Bodenschutz.

Im Kleinparzellenversuch auf dem Gelände des LfULG in Leipzig-Möckern wurden die Flüssigdünger Ammoniumsulfatlösung und Domamon® L 26 miteinander verglichen. Außerdem wurden verschiedene Injektionstermine (zu Vegetationsbeginn und zu EC 31) geprüft. Ein Unterschied im Ertrag von Winterweizen zwischen den Varianten mit unterschiedlichen Düngerlösungen konnte nicht festgestellt werden. Jedoch erzielten auch im Kleinparzellenversuch die Prüfglieder mit dem späten Injektionstermin tendenziell geringere Erträge. Im Gefäßversuch deutete sich an, dass die Depots nach einer Injektion von ASL stabiler sind als nach der Injektion von Domamon® L 26.

Von den versandten Fragebögen zur N-Injektion konnten 22 ausgewertet werden. Landwirte, die die N-Injektion auf ihren Flächen anwenden, sind von diesem Verfahren überzeugt und bestätigen die positiven Auswirkungen der N-Injektion auf die Ertragsbildung der angebauten Kulturen. Über die Hälfte der Landwirte gibt an, dass die Bestände nach einer Injektionsdüngung gesünder sind und weniger Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden müssen.

# 5 Fazit

Bei der N-Injektionsdüngung werden mit ammoniumhaltigen Flüssigdüngern hochkonzentrierte Depots in einer Tiefe von ca. 8 cm im Boden angelegt. Dieses Verfahren bietet – besonders bei Austrocknung der Bodenoberfläche – Vorteile gegenüber anderen Applikationsverfahren. Im Vergleich zu Stickstoffdüngern in fester Form ist bei den Düngerlösungen kein „Auflösen“ notwendig und somit ist der Stickstoff für die Pflanzen bei Trockenheit schneller verfügbar. Außerdem wird das Risiko von Nitratauswaschungen vermindert und die Nährstoffe sind durch die Injektion in den Boden kaum erosionsgefährdet. Vorteilhaft ist auch, dass durch die Depotdüngung häufig eine einmalige Düngung ausreicht und so Arbeitszeit und Diesel eingespart werden können. Nachteilig ist jedoch, dass häufig die gesamte N-Menge (außer bei Qualitätsweizen) zu Vegetationsbeginn ausgebracht wird. Ein Reagieren auf unterschiedliche Witterungsbedingungen nach der Applikation ist nicht möglich.

Die N-Injektion kann mit verschiedenen Düngerlösungen erfolgreich durchgeführt werden, vorausgesetzt die Lösung enthält kaum bzw. besser kein Nitrat-Stickstoff. Mit zunehmendem Ammoniumanteil in der Lösung nimmt die Stabilität der Depots zu und damit die Gefahr von Nährstoffverlusten ab. Zur Stabilität der Depots besteht weiterer Forschungsbedarf. Der Einfluss einer überwiegender Ammoniumernährung auf die Pflanzenentwicklung und -gesundheit bedarf ebenfalls weiterer Untersuchungen.

Die Versuche des LfULG zeigen, dass mit einer N-Injektionsdüngung vergleichbare Erträge wie mit der Standard-N-Verteilung erreicht werden. Besonders auf leichten, trockenen Standorten bzw. in Jahren mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit ist die Injektionsdüngung der konventionellen N-Düngung überlegen. Für die landwirtschaftlichen Betriebe in Sachsen stellt die Injektionsdüngung eine Möglichkeit dar, die Auswirkungen von Frühsommertrockenheit zu minimieren und die Ertragsstabilität zu verbessern.

# 6 Literaturverzeichnis

- ALBERT, E. (2007): Düngung. In: O. Christen und W. Fried (Hrsg.): Winterraps – Das Handbuch für Profis; DLG-Verlag; 115 – 128.
- BECK, W. (2010): Punktgenau an die Knolle. *dlz agrarmagazin*, 60 – 65.
- BOELCKE, B. (2003): Effekte der N-Injektionsdüngung auf Ertrag und Qualität von Getreide und Raps in Mecklenburg-Vorpommern. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. *Landbauforschung Völkenrode*, 45 – 54.
- BOELCKE, B. (2005): Effekte ammoniumbetonter N-Flüssigdüngung im Raps- und Getreidebau. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- BOELCKE, B. (2010): N-Flüssigdüngungsverfahren – Versuchsergebnisse und Anwendung in Mecklenburg-Vorpommern. In: Internationales Symposium: Injektionsdüngung Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklung und Erfahrungen – Zusammenfassungen. 9. – 10. Februar 2010, Braunschweig, 3.
- DONATH, S.; DÖHLER, J.; GROßMANN, I.; SCHULZ, R.; GRUBER, S.; CLAUPEIN, W. und T. MÜLLER (2010): Ammonium-Depot-Düngung zu Winterweizen im Feldexperiment. In: *VDLUFA Schriftenreihe*, 64, 407 – 413.
- FELGENTREU, C. (2003): Erste Ergebnisse beim Einsatz des Injektionsdüngerverfahren bei Winterraps in Brandenburg. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. *Landbauforschung Völkenrode*, 55 – 60.
- HAIDER, K. (1996): *Biochemie des Bodens*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- HERMANN, W. und W. CLAUPEIN (2005): Einfluß unterschiedlicher N-Düngerformen und N-Düngungsverfahren auf den Kornertag und die Kornqualität von Winterweizen unter besonderer Berücksichtigung der Ammonium-Injektionsdüngung (Cultanverfahren). In: *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften*, 17, 82 – 83.
- HERMANN, W.; WEBER, A.; GRAEFF, S. und W. CLAUPEIN (2006): Neue Wege in der Stickstoffdüngung bei Weizen? Ammonium-Depotdüngung im Vergleich. In: *GetreideMagazin*, 11, 56 – 59.
- KÖHLER, S.; BISCHOFF, W.-A. und H.-P. LIEBIG (2003): Cultandüngung – ein Beitrag zum Grundwasserschutz durch Verringerung des Nitrataustrags. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. *Landbauforschung Völkenrode*, 117 – 127.
- KRAATZ, S. (2003): Vierjährige Praxiserfahrungen mit der Injektionsdüngung in Ostbrandenburg. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. *Landbauforschung Völkenrode*, 93 – 102.
- KÜCKE, M. (2003): Biomasseproduktion und N-Effizienz von Winterweizen und Winterroggen nach N-Injektionsdüngung – Feldversuchsergebnisse 2001. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. *Landbauforschung Völkenrode*, 81 – 92.
- KÜCKE, M. (2004): Ammoniakverluste bei N-Flüssigdüngerapplikation unter unterschiedlichen Bodenbedingungen. In: *Jahresbericht der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft 2003*. Braunschweig, 26.
- LfUG (2007): *Bodenatlas des Freistaates Sachsen. Teil 4: Auswertungskarten zum Bodenschutz*. Dresden.
- LfULG (2009): *Klimawandel und Landwirtschaft. Fachliche Grundlage für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel*. Dresden.
- MARSCHNER, H. (1986): *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London.
- MENSCHING-BUHR, A. (2010): Erfahrungen mit der CULTAN-Düngung im Kreis Uelzen (Vortrag). Injektionsdüngung (CULTAN). Internationales Symposium: Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklungen und Erfahrungen. 9. – 10. Februar 2010 in Braunschweig. [www.jki.bund.de](http://www.jki.bund.de) (12.01.2011).
- MENSCHING-BUHR, A. (2010): Erfahrungen mit der CULTAN-Düngung im Kreis Uelzen (2002-2009 in fünf Wasserschutzgebieten). In: Internationales Symposium: Injektionsdüngung Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklung und Erfahrungen – Zusammenfassungen. 9. – 10. Februar 2010, Braunschweig, 4.

- RATHKE, G.-W., BEHRENS, T. und W. DIEPENBROCK (2006): Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. In: Agriculture, Ecosystems and Environment, 117, 80 – 108.
- REINHARD, R.; SCHERER, H.; KÜCKE, M. und J. M. GREEF (2010): Grünlanddüngung mit N-Flüssigdüngerinjektion: Einfluss von Injektionshäufigkeit und N-Menge auf Ertrag, Qualität und N-Entzug. In: Internationales Symposium: Injektionsdüngung Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklung und Erfahrungen – Zusammenfassungen. 9. – 10. Februar 2010, Braunschweig, 8.
- RICHTER, V.; KÜCKE, M. und J. M. GREEF (2010): Ertrag, Qualität und N-Bilanz von Wintergetreide und Mais nach N-Injektionsdüngung in dem norddeutschen Trinkwasserschutzgebiet Meyenburg – Ergebnisse eines 3jährigen F&E-Projektes. In: Internationales Symposium: Injektionsdüngung Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklung und Erfahrungen – Zusammenfassungen. 9. – 10. Februar 2010, Braunschweig, 5.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin.
- SCHILLER, U. (2010): persönliche Mitteilung. LENATEC GmbH Cunnersdorf.
- SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SCHITTENHELM, S. und U. MENGE-HARTMANN (2006): Yield Formation and Plant Metabolism of Spring Barley in Response to Locally Injected Ammonium. In: Journal of Agronomy and Crop Science, 192, 434 – 444.
- SCHLIEPHAKE, W.; FÖRSTER, F. und E. ALBERT (2010): Das muss und das kann warten – Zur Ermittlung des N-Düngebedarfes zu Winterraps mit dem sächsischen Beratungsprogramm BEFU gibt es ein neues Berechnungsverfahren. In: Bauernzeitung, 6, 26 – 27.
- SCHUMACHER, H.-J. (2009): Sommergetreide mit CULTAN-Düngung erfolgreich anbauen. Ertrags- und Qualitätsvorteile für Braugerste. In: Landwirtschaft ohne Pflug, 1, 26 – 28.
- SMIT, G. R. J. (2010): Pulstec technology. A new way of applying liquid fertilizers to crops. In: Internationales Symposium: Injektionsdüngung Aktueller Kenntnisstand, neue Entwicklung und Erfahrungen – Zusammenfassungen. 9. – 10. Februar 2010, Braunschweig, 21.
- SOMMER, K. (2003): Grundlagen des "CULTAN"-Verfahrens. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 1 – 22.
- SOMMER, K. (2005): CULTAN-Düngung. Physiologisch, ökologisch, ökonomisch optimiertes Düngungsverfahren für Ackerkulturen, Grünland, Gemüse, Zierpflanzen und Obstgehölze. Verlag Thomas Mann, Gelsenkirchen.
- SOMMER, K. (2008): Bestandesführung beim Getreide nach dem "CULTAN"-Verfahren. In: Getreide Magazin, 2, 2 – 4.
- SPIESS, E.; IRLA, E.; HEUSSER, J.; MEIER, U.; BALLMER, T.; GUT, F.; RICHNER, W.; SCHERRER, C.; WÜTHRICH, R. und T. HEBEISEN (2006): Depot-Injektion von ammoniumhaltigen Düngern nach dem CULTAN-System. Feldversuche bei Kartoffeln und Zuckerrüben bringen vor allem mit konzentrierter Gülle vielversprechende Ergebnisse. In: ART-Berichte, 657, 1 – 14.
- WALTER, E. E. (2003): Die Cultandüngung – Eine weitere Maßnahme zur Grundwassersanierung der Wasserversorgung Grünbachgruppe – Mehrjährige Erfahrungen. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 103 – 115.
- WEIMAR, S. (2003): Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. In: M. Kücke (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. Landbauforschung Völkenrode, 23 – 44.
- WIESLER, F. (1997): Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 160, 227 – 238.

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: + 49 351 2612-0  
Telefax: + 49 351 2612-1099  
E-Mail: [lfulg@smul.sachsen.de](mailto:lfulg@smul.sachsen.de)  
[www.smul.sachsen.de/lfulg](http://www.smul.sachsen.de/lfulg)

**Autoren:**

Katharina Farack, Dr. habil. Erhard Albert  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie  
Abteilung Pflanzliche Erzeugung  
Referat Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe  
Katharina Farack  
Telefon: + 49 341 9174-184  
Telefax: + 49 341 9174-111  
E-Mail: [katharina.farack@smul.sachsen.de](mailto:katharina.farack@smul.sachsen.de)

**Redaktion:**

s. Autoren

**Redaktionsschluss:**

31.03.2011

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Die gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.