



# Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz

Schriftenreihe, Heft 24/2014



# Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz im Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie, den Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel

Dr. Wilfried Schliephake, Peter Müller

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung und Zielstellung.....</b>	<b>9</b>
1.1	Einleitung.....	9
1.2	Zielstellung .....	12
<b>2</b>	<b>Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz.....</b>	<b>13</b>
2.1	Allgemeine Grundsätze .....	13
2.1.1	Gewährleistung einer ausgewogenen Pflanzenernährung .....	13
2.1.2	Anpassung des Düngedarfs an die spezifische Ertragssituation .....	14
2.1.3	Optimaler Einsatz der Wirtschaftsdünger .....	15
2.1.4	Einsatz von moderner Ausbringtechnik .....	17
2.1.5	Teilschlagspezifische Stickstoffdüngung .....	17
2.1.6	Bodenbearbeitung .....	17
2.1.7	Standraumbemessung .....	18
2.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz .....	19
2.2.1	Verbesserung der N-Effizienz im Rapsanbau.....	19
2.2.2	Operative Düngedarfsermittlung beim Wintergetreide .....	33
2.2.3	Injektionsdüngung und Stabilität der Injektionsdepots.....	41
2.2.4	Streifenbearbeitung in Verbindung mit platzierter Nährstoffablage .....	49
2.3	Demo-Vorhaben zur Unterstützung der Arbeit der Arbeitskreise 2011 und 2012.....	53
2.3.1	Winterraps .....	53
2.3.2	Demonstrationsanlage Lüttewitz .....	71
2.3.3	Streifenbearbeitung zu Mais.....	75
2.3.4	Teilschlagspezifische Düngung .....	79
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>87</b>
<b>4</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>91</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einhaltung der Umweltqualitätsnorm für Nitrat in Oberflächengewässern (LfULG 2009 b).....	10
Abbildung 2:	Chemischer Zustand der Grundwasserkörper hinsichtlich des Nitrats in Sachsen (LfULG 2009 b).....	10
Abbildung 3:	Quellenbezogene Anteile der Nährstoffeinträge (Emissionen) in sächsische Gewässer (LfULG 2009 c)...	11
Abbildung 4:	Mittlere jährliche Sickerwasserrate für die Ackerflächen in Sachsen (LfULG 2007).....	11
Abbildung 5:	Lage und Schwerpunkte der zehn Arbeitskreise in Sachsen .....	12
Abbildung 6:	Jährliche P-Bilanz für Sachsen in den Jahren 1961 bis 2011 (ZORN & SCHRÖTER 2009) .....	14
Abbildung 7:	Entwicklung der Phosphorversorgung in Sachsen.....	14
Abbildung 8:	P-Düngewirkung bei Trockenheit, Ergebnisse des statischen P-Versuchs Haufeld (ZORN & SCHRÖTER 2009).....	14
Abbildung 9:	$P_{(CAL)}$ -Gehalte in der Ackerkrume eines heterogenen Ackerschläges.....	14
Abbildung 10:	Beinigkeitswert beim Raps durch Bodenverdichtung.....	18
Abbildung 11:	Roggenertrag bei Gleichstands- und Drillsaat (BAUMECKER 2012) .....	19
Abbildung 12:	Gebildete Frischmasse und die N-Entzüge durch den Raps in Abhängigkeit vom Aussaattermin und der Herbst-N-Düngung in den vier Versuchsjahren am Standort Baruth.....	21
Abbildung 13:	Gebildete Frischmasse und die N-Entzüge durch den Raps in Abhängigkeit vom Aussaattermin und Herbst-N-Düngung in den vier Versuchsjahren am Standort Forchheim .....	21
Abbildung 14:	Einfluss der Vorwinterentwicklung auf den Rapsenertrag der Prüfglieder ohne N-Düngung .....	22
Abbildung 15:	Einfluss der Vorwinterentwicklung auf den Rapsenertrag der Prüfglieder mit N-Düngung.....	22
Abbildung 16:	N-Menge im Rapspross vor Winter und der optimale N-Aufwand im Frühjahr auf dem anlehmigen Sand in Baruth (drei Jahre) .....	23
Abbildung 17:	N-Menge im Rapspross vor Winter und der optimale N-Aufwand im Frühjahr auf den Löss-Standorten in Nossen und Pommritz (vier Jahre).....	23
Abbildung 18:	Rapsenertrag bei gesteigerter Stickstoffdüngung und differenzierter Vorwinterentwicklung am Standort Baruth .....	24
Abbildung 19:	Mehr- oder Minderertrag bei optimaler Aussaat in Abhängigkeit von der Herbst-N-Gabe und gestaffelter Frühjahrsgabe auf den vier Versuchsstandorten.....	24
Abbildung 20:	Mehr- oder Minderertrag bei verspäteter Aussaat in Abhängigkeit von der Herbst-N-Gabe und gestaffelter Frühjahrsgabe auf den vier Versuchsstandorten.....	24
Abbildung 21:	Einfluss einer gesteigerten N-Düngermenge auf den Ertrag und den Rest- $N_{min}$ in unterschiedlichen Jahren (Nossen).....	29
Abbildung 22:	Einfluss gesteigerter N-Düngermengen auf den Ertrag und die $N_{min}$ -Reste zur Ernte (Baruth).....	29
Abbildung 23:	Rest- $N_{min}$ und C:N-Verhältnis im Rapsstroh bei steigendem N-Einsatz in Baruth.....	29
Abbildung 24:	Mittlere $N_{min}$ -Restmengen nach der Rapsenernte auf dem anlehmigen Sand in Baruth .....	30
Abbildung 25:	C:N-Verhältnis im Rapsstroh in Abhängigkeit von der eingesetzten N-Düngermenge auf dem Löss-Standort in Pommritz (drei Versuchsjahre) .....	30
Abbildung 26:	Grundertrag ohne N-Düngung und Mehrertrag beim optimalen N-Aufwand aus einer langjährigen Versuchsreihe mit Winterweizen auf Löss-Standorten in Sachsen .....	37
Abbildung 27:	Vergleich unterschiedlicher Verfahren der N-Bedarfsermittlung zu Winterweizen (Mittel der Jahre 2001–2011 in Pommritz).....	39
Abbildung 28:	Vergleich unterschiedlicher Verfahren der N-Bedarfsermittlung (Mittel der Jahre 2001–2011, Nossen).....	39
Abbildung 29:	Vergleich unterschiedlicher Verfahren der N-Bedarfsermittlung (Mittel der Jahre 2001–2011 Forchheim).....	39
Abbildung 30:	Einfluss der N-Düngermenge auf das C:N-Verhältnis im Stroh (Forchheim; 10 Versuchsjahre).....	40
Abbildung 31:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Rapsenertrag in Pommritz (Ø 2010–2012).....	42
Abbildung 32:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Rapsenertrag in Forchheim .....	42
Abbildung 33:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Rapsenertrag in Baruth (Ø 2010–2012) .....	42
Abbildung 34:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Wintergerstenertrag in Baruth (Ø 2010–2012).....	42
Abbildung 35:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Winterweizenertrag in Pommritz (Ø 2010–2012).....	43
Abbildung 36:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Winterweizenertrag in Forchheim (Ø 2010–2012).....	43
Abbildung 37:	Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Winterweizenertrag in Baruth (Ø 2010–2012) .....	44

Abbildung 38:	Temperaturverlauf und monatliche Niederschlagssummen im Versuchszeitraum 2011/12 .....	45
Abbildung 39:	Verlauf des N-Austrags mit dem Sickerwasser (anlehmiger Sand) .....	46
Abbildung 40:	Summe des N-Austrags mit dem Sickerwasser (anlehmiger Sand) .....	46
Abbildung 41:	Verlauf des N-Austrags mit dem Sickerwasser in Abhängigkeit von der eingesetzten Ammoniumlösung (Schwarzerde) .....	46
Abbildung 42:	Summe des N-Austrags mit dem Sickerwasser in Abhängigkeit von der eingesetzten Ammoniumlösung (Schwarzerde) .....	46
Abbildung 43:	Veränderung der Ammoniumkonzentration in und unterhalb der Injektionsdepots auf anlehmigen Sand in der Kastenanlage .....	47
Abbildung 44:	Wiederfindung des im Herbst 2011 injizierten Ammonium-N am 23.03.2012 durch unterschiedliche Extraktionsmittel .....	49
Abbildung 45:	Beispielhafte Darstellung der Unterflurausbringung von Gülle bzw. Mineraldünger .....	50
Abbildung 46:	Maispflanzen mit und ohne Streifenbearbeitung im 7-Blattstadium .....	51
Abbildung 47:	Maisbestand sechs Wochen nach Pflanzenaufgang .....	51
Abbildung 48:	Gebildete Mais-TM in Abhängigkeit von den eingesetzten Nährstoffen und ihrer Platzierung .....	52
Abbildung 49:	N-Entzug durch den Mais in Abhängigkeit von den eingesetzten Nährstoffen und ihrer Platzierung .....	52
Abbildung 50:	Verstärkte Verzweigung der Wurzeln im Bereich des Nährstoffdepots .....	52
Abbildung 51:	Unterschiede im P(CAL)-Gehalt auf dem Ackerschlag „Oberweg“ .....	54
Abbildung 52:	Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM38) vom Schlag „Oberweg“ .....	54
Abbildung 53:	Beziehung zwischen scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit und Ertrag, Schlag „Oberweg“ .....	54
Abbildung 54:	Ertrag und N-Saldo von Winterraps der verschiedenen Düngungsvarianten auf dem Schlag „Oberweg“ in Staritz .....	55
Abbildung 55:	Scheinbare elektrische Leitfähigkeit vom Demo-Schlag in Ragewitz .....	56
Abbildung 56:	N-Entzug im Herbst 2011 und $N_{min}$ im Frühjahr 2012 auf dem Demo-Schlag in Ragewitz .....	57
Abbildung 57:	Erträge und N-Saldo der einzelnen Prüfglieder in Abhängigkeit von der Düngungsvariante – Ertragsermittlung per Mähdrescher .....	57
Abbildung 58:	Rapsbestand nach Einzelkornsaat mit 45 cm Reihenabstand in Weißig am 21.09.2011 .....	58
Abbildung 59:	Leitfähigkeit für den Demonstrationsschlag in Weißig .....	58
Abbildung 60:	Ertrag und N Saldo für die Demonstration in Weißig (mit Knochenmehl Ausbringung von je 50 kg N und P/ha) .....	59
Abbildung 61:	Reichsbodenschätzung für die Demonstrationsanlage Lüttewitz .....	60
Abbildung 62:	Ertrag und N-Saldo für die Demonstrationsanlage Lüttewitz in Abhängigkeit von der Düngungsvariante ..	61
Abbildung 63:	N-Aufnahme [kg N/ha] im Herbst 2011 – Yara-N-Sensor/Pflanzenanalyse .....	62
Abbildung 64:	Bodenwertzahl nach Reichsbodenkarte für die Demonstrationsanlage Zwenkau .....	63
Abbildung 65:	Ertrag und eingesetzte N-Düngermenge in der Demonstrationsanlage Zwenkau .....	64
Abbildung 66:	Leifähigkeit für die Demonstrationsanlage Markranstädt 2011 .....	65
Abbildung 67:	$N_{min}$ Werte in Abhängigkeit von der Höhe der Herbst-N-Injektion im Februar 2011 (Markranstädt) .....	66
Abbildung 68:	Aufgenommene N-Menge am 09.05.2011 .....	67
Abbildung 69:	Nitratgehalt in den Weizenpflanzen am 09.05.2011 .....	67
Abbildung 70:	Triebzahl des Weizenbestandes am 09.05.2011 .....	67
Abbildung 71:	Ertrag für die Demonstrationsanlage in Markranstädt .....	68
Abbildung 72:	Schläge der Demonstrationsanlage Delitzsch (Quelle: Archiv LfULG) .....	68
Abbildung 73:	Triebzahl je $m^2$ für den Schlag „Brodau Frucht“ .....	71
Abbildung 74:	Triebzahl je $m^2$ für den Schlag „Bushalte rechts“ .....	71
Abbildung 75:	Parzellenplan für die Demonstrationsanlage zu Zuckerrüben 2011 in Lüttewitz (Quelle: Archiv LfULG) ....	72
Abbildung 76:	Vorstellung der beim Feldtag eingesetzten Maschinen .....	75
Abbildung 77:	Streifenbearbeitung mit dem Kuhn-Striger mit gleichzeitiger Unterflur-Düngung (225 kg DAP/ha) .....	76
Abbildung 78:	Streifenbearbeitung mit Gülleapplikation (20 bzw. 40 $m^3$ Biogäsgülle/ha) mit dem TerraGator 8333 in Kombination mit dem Duport Terminator .....	76
Abbildung 79:	Konzentration des $N_{min}$ fünf Wochen nach Ausbringung der jeweiligen Dünger unterhalb der Pflanzenreihe (bearbeiteter Streifen) .....	77
Abbildung 80:	$N_{min}$ in den verschiedenen Prüfgliedern in Liebenau (Probenahme v. 13.06.2012) .....	77

Abbildung 81: Trockenmassebildung und aufgenommene N-Menge in verschiedenen Prüfgliedern (Probenahme v. 16.07.2012).....	77
Abbildung 82: Maiswurzeln im Bereich des gelockerten Bodens zum 16.07.2012 .....	78
Abbildung 83: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (EM 38) des Demo-Schlages in Köllitsch.....	79
Abbildung 84: N-Bilanz für den 2007 auf dem Demo-Schlag angebauten Winterweizen.....	79
Abbildung 85: Applikationskarte für die eingesetzte Gülle zur ersten N-Gabe 2011 .....	79
Abbildung 86: Faktorkarte für die zweite N-Gabe .....	79
Abbildung 87: Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Weizenertrag 2012 .....	80
Abbildung 88: Ertragskarte vom Winterweizen auf dem Demo-Schlag.....	80
Abbildung 89: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05 – Yara-N-Sensor .....	82
Abbildung 90: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05 – Flugdrohne .....	82
Abbildung 91: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05. – GreenSeeker .....	83
Abbildung 92: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05. –CropSensor .....	83
Abbildung 93: Biomasse am 22.05 – Yara N Sensor.....	83
Abbildung 94: Biomasse am 22.05 – Satellitenbild .....	83
Abbildung 95: N-Aufnahme von Raps in Abhängigkeit vom Bestandesindex – bestimmt mit Yara-N-Sensor bzw. georeferenziertem Wiegeverfahren.....	84
Abbildung 96: Reichsbodenschätzung – Schlag „Mittelweg“ .....	85

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2009 .....	25
Tabelle 2:	Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2010 .....	26
Tabelle 3:	Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2011 .....	27
Tabelle 4:	Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2012 .....	28
Tabelle 5:	Auswirkung der starken Auswinterungsverluste 2012 auf die Düngungsempfehlung mit BEFU unter Nutzung der vor und nach dem Winter ermittelten grünen Biomasse (Standort Baruth) .....	32
Tabelle 6:	Auswirkung der starken Auswinterungsverluste 2012 auf die Düngungsempfehlung mit BEFU unter Nutzung der vor und nach dem Winter ermittelten grünen Biomasse (Standort Pommritz) .....	32
Tabelle 7:	Einfluss der Qualitätsgabe auf Ertrag und Rohproteingehalt im Mittel der Jahre 2000 bis 2008 auf einem Löss-Standort .....	33
Tabelle 8:	Einfluss der Qualitätsgabe auf Ertrag und Rohproteingehalt im Mittel der Jahre 2000 bis 2008 auf einem Verwitterungsstandort.....	34
Tabelle 9:	Stickstoffeinsatz im Winterweizen im Mittel der Jahre 2008 bis 2010 auf den sächsischen Dauertestflächen .	34
Tabelle 10:	Preisunterschiede zwischen den einzelnen Vermarktungsstufen zwischen 2006 und 2012.....	35
Tabelle 11:	Einfluss der dritten N-Gabe auf den Erlös auf dem Verwitterungsstandort Christgrün .....	35
Tabelle 12:	Einfluss der N-Düngermenge auf den Ertrag, den Rohproteingehalt und das C:N-Verhältnis im Stroh in Forchheim (10 Versuchsjahre) .....	40
Tabelle 13:	Konzentration von pflanzenverfügbarem Stickstoff in und unter den Ammoniumdepots auf anlehmigem Sand .....	47
Tabelle 14:	Konzentration von pflanzenverfügbarem Stickstoff in und unter den Ammoniumdepots auf sandigem Lehm zur Probenahme am 23.03.2012 .....	48
Tabelle 15:	Prüfglieder und eingesetzte Nährstoffe.....	50
Tabelle 16:	Ergebnisse der Bodenuntersuchung des Demo-Schlages in Ragewitz (mg/100 g Boden) .....	56
Tabelle 17:	Prüfglieder der Demonstrationsanlage Lüttewitz .....	60
Tabelle 18:	Prüfglieder der Demonstrationsanlage Zwenkau .....	62
Tabelle 19:	Prüfglieder der Demonstrationsanlage Injektionsdüngung zu Raps in Markranstädt.....	65
Tabelle 20:	Winterweizen-Erträge für den Schlag „Bushalte rechts“ .....	70
Tabelle 21:	Winterweizen-Erträge für den Schlag „Eigenheime Zschepen“ .....	70
Tabelle 22:	Winterweizen-Erträge für den Schlag „Brodau Frucht“ (mit Beregnung).....	70
Tabelle 23:	Nährstoffzusammensetzung von Hühnertrockenkot .....	73
Tabelle 24:	Düngermengen der Demonstrationsanlage Lüttewitz .....	73
Tabelle 25:	Inhaltstoffe der Zuckerrüben in Abhängigkeit vom eingesetzten Dünger.....	73
Tabelle 26:	Zuckerrüben-Ertrag und N-Effizienz der Demonstrationsanlage Lüttewitz .....	74
Tabelle 27:	Zur zweiten N-Gabe in den Leitfähigkeitsklassen eingesetzte N-Mengen [kg N/ha].....	80
Tabelle 28:	Winterweizenertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von den Prüfgliedern und Leitfähigkeitsklassen .....	81

## Abkürzungsverzeichnis

AHL	Ammoniumnitrat-Harnstofflösung
ASL	Ammoniumsulfatlösung
BEFU	von dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie entwickeltes Programm zur Düngeberatung und Nährstoff- sowie Humusbilanzierung (abgeleitet von <b>Bestandesführung</b> )
Bü	betriebsüblich
C:N-Verhältnis	Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff
DAP	Diammoniumphosphat
EC	electrical conductivity (elektrische Leitfähigkeit)
FM	Frischmasse
GD	Grenzdifferenz
GWK	Grundwasserkörper
HAS	Harnstoff-Ammoniumsulfatlösung
HTK	Hühnertrockenkot
KAS	Kalkammonsalpeter
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
OWK	Oberflächenwasserkörper
TM	Trockenmasse
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union
UF	Unter Fuß (Ablage der Nährstoffe in 3 bis 8 cm Tiefe neben der Saatreihe)
UFI	Unter Flur (Ablage von Nährstoffen unterhalb von 15 cm Bodentiefe)
VB	Vegetationsbeginn



# 1 Einleitung und Zielstellung

## 1.1 Einleitung

Mit der im Jahr 2000 in Kraft getretenen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) gibt die EU einen einheitlichen Rahmen für eine nachhaltige Nutzung und für den Schutz von Oberflächen- und Grundwasser vor. Darin festgelegt sind auch die Arbeitsschritte, die in den jeweiligen Zeiträumen zu erledigen sind. Bis Ende 2015 ist bei oberirdischen Gewässern ein guter ökologischer und chemischer Zustand und hinsichtlich des Grundwassers ein guter quantitativer sowie chemischer Zustand herzustellen. Dort, wo die Rahmenbedingungen das Erreichen der Umweltziele nur längerfristig erlauben, kann die Frist bis zu zweimal verlängert werden. Spätestens bis zum Jahr 2027 sind sie jedoch umzusetzen.

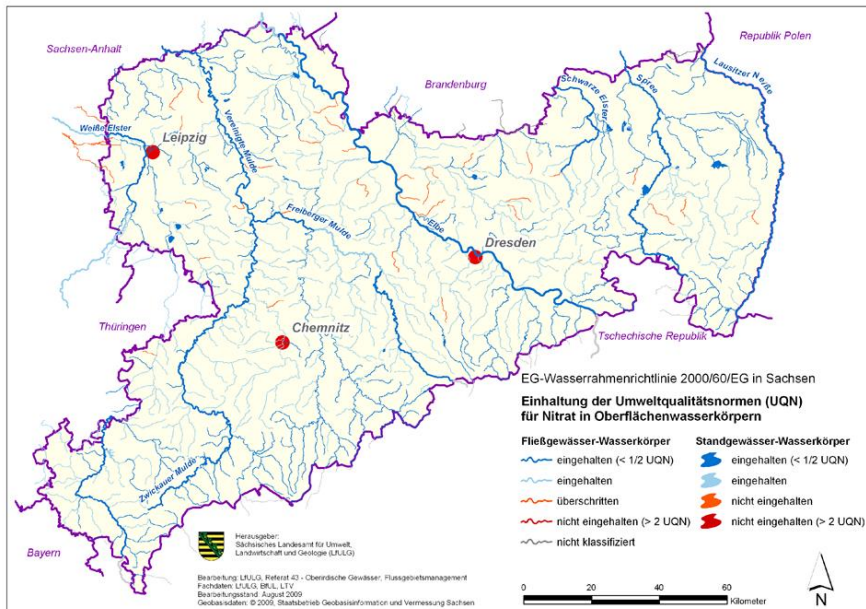
Die Bewertung der Gewässer erfolgt anhand von ökologischen, chemischen und gewässerstrukturellen Parametern. Der Bereich Landwirtschaft nimmt besonders auf den chemischen Zustand der Gewässer Einfluss. Im Wesentlichen betrifft das den Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleintrag. Beides kann entweder direkt über den Oberflächenabfluss oder mit dem anfallenden Sickerwasser in die Gewässer gelangen.

Von den Nährstoffen steht neben dem Phosphor besonders der Stickstoff im Brennpunkt. Weil beide als Makronährstoffe das Pflanzenwachstum entscheidend beeinflussen, sind sie für die Ertragsbildung unverzichtbar. Für die Absicherung hoher und stabiler Erträge müssen sie im Verlauf der Vegetationszeit ausreichend in pflanzenverfügbarer Form im Boden vorliegen. Im Hinblick auf die Umweltbelastung stellt beim Stickstoff das Nitrat den Schwerpunkt dar. Weil es zumeist vollständig gelöst vorliegt, folgt das Nitrat der Bewegung des Bodenwassers. Anders stellt sich die Situation beim Phosphat dar. Weil nur ein geringer Anteil des insgesamt im Boden vorhandenen P wasserlöslich ist, sind Austräge mit dem Sickerwasser minimal. Eine Ausnahme ergibt sich allerdings dort, wo der Boden regelmäßig mit hohen Gaben an organischen Düngern versorgt wird.

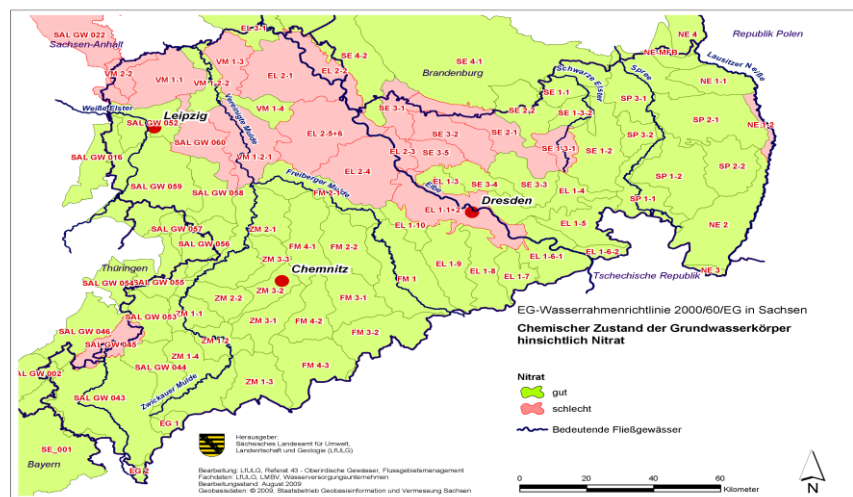
Bei dem in Sachsen im Vergleich zu anderen Bundesländern geringen Viehbesatz dürfte das allerdings nur von untergeordneter Bedeutung sein. Im Bereich der Landwirtschaft trägt deshalb hier im Wesentlichen die Bodenerosion zur Belastung der Gewässer bei. Begünstigt wird dies dadurch, dass große Anteile der Ackerflächen in Sachsen durch kupiertes Gelände geprägt werden, wo es im Zusammenhang mit Starkniederschlägen zu beachtlicher Bodenerosion kommen kann. Im Zusammenhang mit dem sich vollziehenden Klimawandel ist davon auszugehen, dass die Häufigkeit derartiger Ereignisse sogar noch zunimmt.

Die einzelnen Quellen der Stickstoff- und Phosphoreinträge in sächsische Gewässer sind in Abbildung 3 dargestellt. Beim Stickstoff kommen die Einträge zu großen Teilen aus dem Bereich Landwirtschaft. Davon stammen rund 48 % von den Ackerflächen, die etwa 40 % der Landesfläche in Sachsen einnehmen. Die Situation beim Phosphor stellt sich deutlich anders dar. Der überwiegende Anteil ist hier den kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen und der industriellen Direkteinleitung zuzuschreiben.

Auf der Grundlage von Untersuchungen aus den Jahren 2006 bis 2008 erfolgte eine Bewertung der sächsischen Gewässer. Danach befinden sich 79 % der Oberflächenwasserkörper (OWK) und 53 % der Grundwasserkörper (GWK) in einem guten Zustand (LfULG 2009 a). In der Abbildung 1 findet sich die Einstufung der OWK und in Abbildung 2 die der GWK auf Grund der Nitratgehalte laut Vorgaben der WRRL. Für das Grundwasser stellen vor allem diffuse Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Hauptbelastungsursache dar.

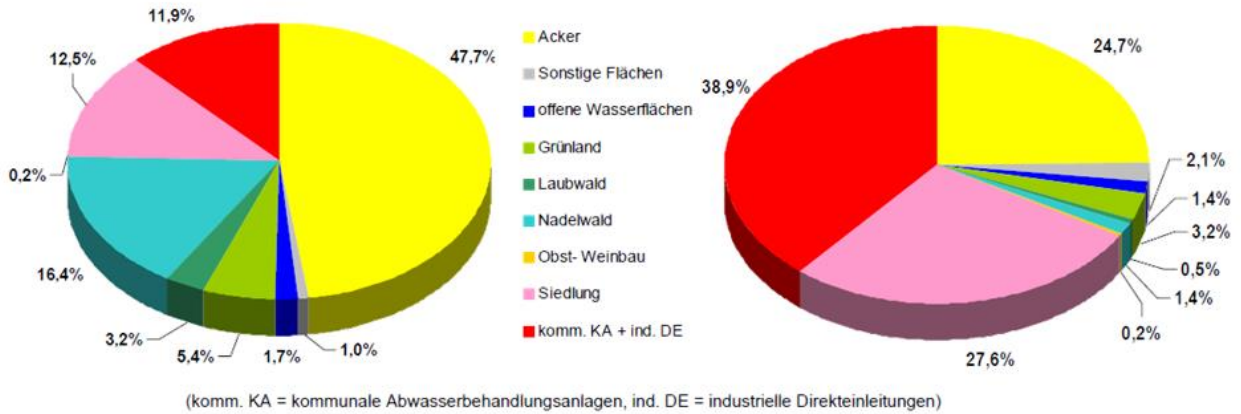


**Abbildung 1: Einhaltung der Umweltqualitätsnorm für Nitrat in Oberflächengewässern (LfULG 2009 b)**



**Abbildung 2: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper hinsichtlich des Nitrats in Sachsen (LfULG 2009 b)**

Die deutliche Verminderung der Nitratbelastung in den prioritären Gebieten Sachsens stellt eine langfristige Aufgabe dar. In erster Linie sind dafür die Niederschlagsverhältnisse und die dadurch bedingten Sickerwasserraten verantwortlich (Abbildung 4). So ergaben Berechnungen des Umwelt- und Betriebsmanagementsystems REPRO in 16 Praxisbetrieben im Bereich des mit Nitrat im Grundwasser belasteten Gebietes in Nord- und Mittelsachsen (D- und Lö-Standorte), dass die Nitratverluste mit dem Sickerwasser im Mittel zwischen 30 und 65 kg N/ha schwankten (HEINITZ et al. 2010). Von den Beträgen her sind das eher geringe Verluste. Weil nur geringe Sickerwassermengen auftreten, kommt es allerdings nur zu geringen Verdünnungen. Für die untersuchten Standortbedingungen kann deshalb der Grenzwert von 50 mg NO<sub>3</sub>/l nur eingehalten werden, wenn nicht mehr als 23 kg N/ha aus dem Wurzelraum ausgetragen werden.



Relative Anteile von **Stickstoff**einträgen (Emission) aus diffusen Quellen und Punktquellen im Freistaat Sachsen

Relative Anteile von **Phosphor**einträgen (Emission) aus diffusen Quellen und Punktquellen im Freistaat Sachsen

Abbildung 3: Quellenbezogene Anteile der Nährstoffeinträge (Emissionen) in sächsische Gewässer (LfULG 2009 c)

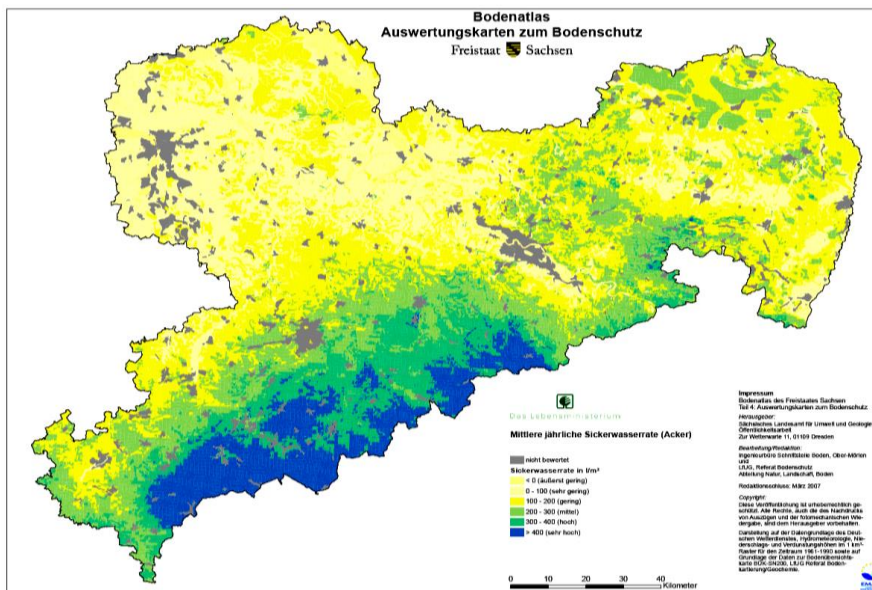
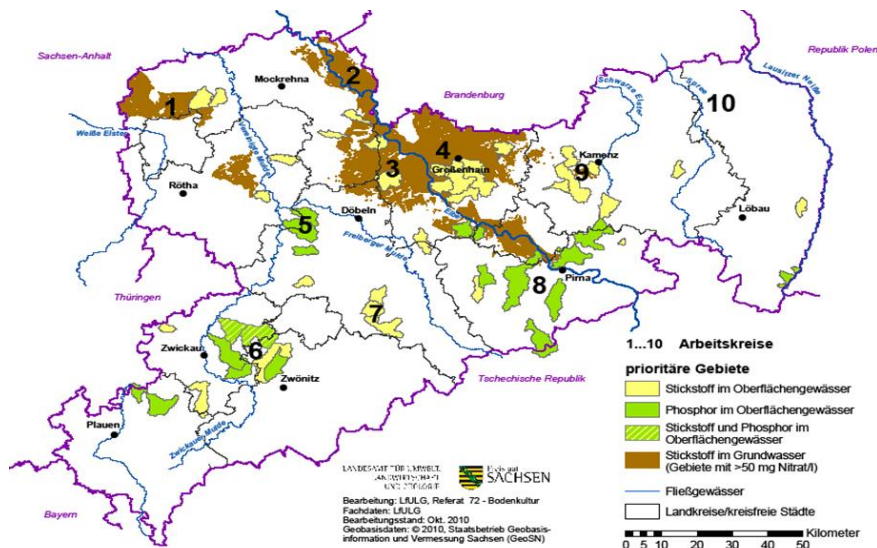


Abbildung 4: Mittlere jährliche Sickerwasserrate für die Ackerflächen in Sachsen (LfULG 2007)



**Abbildung 5: Lage und Schwerpunkte der zehn Arbeitskreise in Sachsen**

Die Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“ nach Düngerverordnung und weiterer rechtlicher Vorgaben bilden die Grundlage bei der Verringerung der Nährstoffeinträge in die Gewässer. Dort, wo diese Vorgaben nicht ausreichen, sind ergänzende Maßnahmen notwendig. Sie werden auf freiwilliger Basis den Landwirten angeboten. Gefördert werden beispielsweise Agrarumweltmaßnahmen zur stoffeintragsminimierenden Bewirtschaftung (u. a. Anbau von Zwischenfrüchten, Ansaat von Untersaaten, dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung). Daneben wurden zehn Arbeitskreise in den besonders nährstoffbelasteten Gebieten eingerichtet (Abbildung 5). Sie dienen insbesondere dem Wissens- und Erfahrungstransfer. In Einzel- und Gruppenkonsultationen sollen Probleme diskutiert und durch Anlage von Demoversuchen entsprechende eintragsmindernde Maßnahmen vorgestellt werden. Die Ergebnisse und Erfahrungen im Bereich Gewässer-, Boden- und Klimaschutz werden landesweit durch Fachveranstaltungen, Feldtage und Schulungen vermittelt.

## 1.2 Zielstellung

Das Ziel des Projektes bestand darin, durch Verbesserung der Stickstoffeffizienz die gewässer- und klimabelastenden N-Bilanzüberschüsse abzubauen. Erprobt werden sollten geeignete Maßnahmen im Pflanzenbau, die zur Verminderung von N-Austrägen und zur Ertragsstabilisierung beitragen. Das Vorhaben konzentrierte sich auf die Arbeitskreise, die zur Umsetzung der WRRL in N-prioritären Gebieten sowie zur Anpassung an den Klimawandel und zum Boden- und Klimaschutz mit Landwirten in Sachsen eingerichtet wurden. Im Vordergrund stand dabei ein intensiver Wissenstransfer. Grundlage dafür bildeten die vielfältigen Versuchsergebnisse aus abgeschlossenen und noch laufenden Untersuchungen zur Nährstoffeffizienz am LfULG. Zur Überprüfung der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen wurden Demonstrationsvorhaben in verschiedenen Praxisbetrieben mit den Landwirten angelegt und im Verlauf der Vegetation entsprechend begleitet. Die Auswertung erfolgte an Feldtagen bzw. in den Gruppenberatungen der Arbeitskreise. Durch angefertigte Poster und zahlreiche Vorträge erfolgte ein intensiver Austausch auch zwischen den verschiedenen Arbeitskreisen.

Im diesem Bericht sollen die für den Wissenstransfer genutzten Versuche des LfULG mit den wichtigsten Ergebnissen vorgestellt werden. Daneben werden die in den Arbeitskreisen durchgeführten Demonstrationen dokumentiert und die gewonnenen Erfahrungen mitgeteilt.

Die Pflanzen- und Bodenanalytik für die genannten Versuche wurde von der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) durchgeführt.

# 2 Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz

## 2.1 Allgemeine Grundsätze

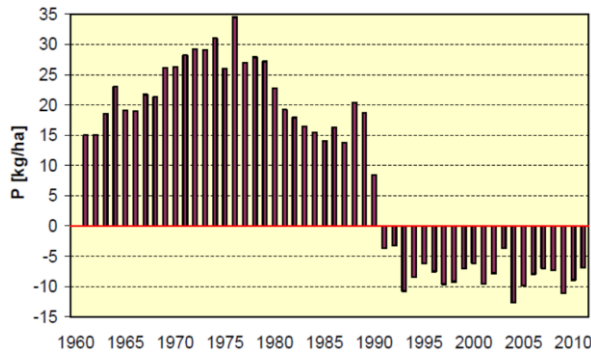
Alle acker- und pflanzenbaulichen sowie technischen Maßnahmen, die der Ertragsstabilität sowie der Ausschöpfung des standortbedingten Ertragspotenzials dienen, wirken sich positiv auf die Effizienz des eingesetzten Stickstoffdüngers aus. Ziel ist die Vermeidung von Stickstoffüberhängen und die Reduktion von Nährstoffausträgen. Zu diesen Maßnahmen gehören

- i. der effiziente Einsatz von mineralischen Düngern und die Gewährleistung einer ausgewogenen Pflanzenernährung,
- ii. ein optimales Management vorhandener Wirtschaftsdünger und deren verlustarme Anwendung,
- iii. die Nutzung erprobter Möglichkeiten zur fruchtartenspezifischen Optimierung, Anbau von standortangepassten Sorten und Gestaltung der Fruchtfolge,
- iv. die Anpassung der Bewirtschaftung und Bodenbearbeitung an die betriebsspezifischen Bodenbedingungen,
- v. die Vermeidung von längeren Schwarzbrachezeiten durch Flächenbegrünung bzw. den Anbau von Zwischenfrüchten,
- vi. die Verbesserung des Managements im Bereich der Düngung und Umsetzung neuer Erkenntnisse und Erfahrungen.

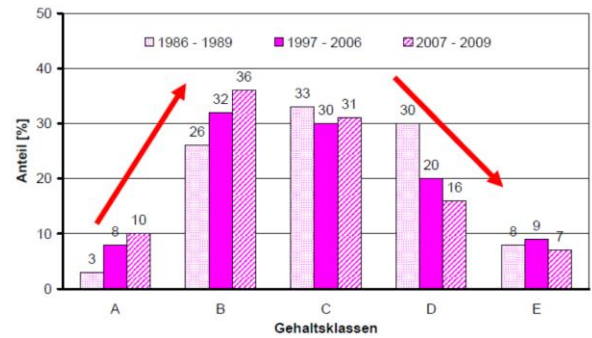
### 2.1.1 Gewährleistung einer ausgewogenen Pflanzenernährung

Für eine langfristige und nachhaltige Steigerung der Stickstoffeffizienz bedarf es einer auf die speziellen Standortbedingungen angepassten Düngung. Die Gewährleistung einer ausgewogenen Pflanzenernährung bildet dabei eine wesentliche Grundlage. Neben den verschiedenen Makro- und Mikronährstoffen sind für die Absicherung einer hohen Bodenfruchtbarkeit die Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Wertes, eines standorttypischen Humusgehaltes sowie einer das Pflanzenwachstum begünstigenden Bodenstruktur notwendig. In der Summe trägt dies alles zur Ertragsstabilisierung bei und puffert ungünstige Jahreswitterungsbedingungen ab.

Mit dem starken Abbau der Tierbestände in den neuen Bundesländern seit Anfang der 1990er-Jahre ist auch der Einsatz organischer Dünger und der darin enthaltenen Nährstoffe deutlich zurückgegangen. Dieser Rückgang wurde in den folgenden Jahren auch nicht mit verstärktem Einsatz mineralischer Grundnährstoffe ausgeglichen. Am Beispiel der langjährigen P-Bilanz und der im Verlauf verschiedener Untersuchungszyklen aufgetretenen Entwicklung der Phosphorversorgung in Sachsen wird dies deutlich (ALBERT 2012). Die seit 20 Jahren anzutreffenden negativen P-Bilanzen (Abbildung 6) gehen mit einer kontinuierlichen Zunahme der Gehaltsklassen A und B einher. Von den in Abbildung 7 erfassten Flächen weist fast die Hälfte keinen optimalen P-Versorgungszustand auf. Eine Unterversorgung einzelner Nährstoffe führt zum Teil zu erheblichen Ertragsverlusten insbesondere unter extremen Jahresbedingungen. Ergebnisse von ZORN & SCHRÖTER (2009) belegen am Beispiel des P-Dauerversuches in Haufeld, dass selbst bei Gehaltsklasse C die weitere Zufuhr von Phosphat unter trockenen Bedingungen das Ertragsvermögen stabilisierte (Abbildung 8). Vermutlich sind die Ertragseffekte auf einem wesentlich schlechter versorgten Standort noch deutlicher.



**Abbildung 6: Jährliche P-Bilanz für Sachsen in den Jahren 1961 bis 2011 (ZORN & SCHRÖTER 2009)**

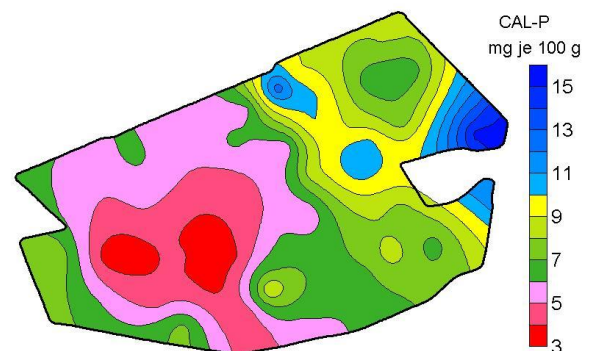


**Abbildung 7: Entwicklung der Phosphorversorgung in Sachsen**

P-Düngung	Kornrertrag dt/ha		
	2002 Winterweizen	2003 Wintergerste	2004 Winterweizen
0	79,7	77,0	85,7
Entzug - 30 %	79,1	81,3	85,7
Entzug	81,4	93,4	85,9
Entzug + 30 %	80,1	96,5	84,9

Jahresniederschlag: 2002: 660 mm  
2003: 377 mm  
2004: 601 mm

**Abbildung 8: P-Düngewirkung bei Trockenheit, Ergebnisse des statischen P-Versuchs Haufeld (ZORN & SCHRÖTER 2009)**



**Abbildung 9: P<sub>(CAL)</sub>-Gehalte in der Ackerkrume eines heterogenen Ackerschlags**

Ein weiterer bedeutsamer Aspekt ist die Heterogenität der Böden. Selbst auf regelmäßig gedüngten Ackerflächen existieren Zonen sowohl mit niedriger als auch hoher Versorgung nebeneinander (Abbildung 9). In diesem Beispiel reichen die Gehalte von 3 bis 14 mg P/100 g Boden. Damit sind alle Gehaltsklassen auf diesem Ackerschlag bei regelmäßiger einheitlicher Grunddüngung vorhanden. Diese Differenzierungen wirken sich natürlich auch auf das Ertragsgeschehen und damit auf die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs aus. Mittels georeferenzierter Bodenprobenahme lässt sich die räumliche Verteilung der Nährstoffe aufdecken und über eine differenzierte teilschlagspezifische Düngung ausgleichen.

### 2.1.2 Anpassung des Düngebedarfs an die spezifische Ertragssituation

Die Nutzung von standortangepassten Planungsmodellen, in denen die wesentlichen den N-Bedarf beeinflussenden Faktoren berücksichtigt werden, ermöglicht eine fruchtarten- und schlagspezifische Stickstoffdüngemittlerermittlung. Auf dieser Basis lässt sich auch am besten das jeweilige N-Nachlieferungspotenzial einschätzen. Für die kurzfristige N-Nachlieferung sind Größen wie Vorfrucht, deren mineralische und organische Düngung, der realisierte Ertrag sowie der Witterungsverlauf entscheidend. Das Stickstoffnachlieferungspotenzial insgesamt wird vom Humusgehalt, der Qualität der organischen Verbindungen und ihrem C:N-Verhältnis bestimmt.

Ausgangspunkt jeder N-Bedarfsermittlung muss eine realistische Ertragseinschätzung sein. Bewährt hat es sich, dass dafür der für die jeweilige Flächeneinheit im langjährigen Mittel erzielbare Ertrag angesetzt wird.

Dabei sind die spezifischen Ertragserwartungen an die Bewirtschaftungsfaktoren im jeweiligen Anbaujahr anzupassen. So beeinflussen beispielweise der Saattermin, die Vorfrucht oder der aktuelle Bodenwasservorrat das Ertragsgeschehen erheblich. Zu bedenken ist immer, dass sich pflanzenbauliche Mängel nicht durch höhere Stickstoffmengen ausgleichen lassen. Sie erhöhen lediglich die  $N_{\min}$ -Reste nach der Ernte und das N-Verlustrisiko.

Typisch für weite Teile Mitteldeutschlands ist, dass regelmäßig längere Trockenphasen auftreten. Das hat nicht nur Einfluss auf die Ertragsbildung, sondern auch auf das mikrobielle Bodenleben. Der Abbau von organischen N-Verbindungen erfolgt deshalb nicht kontinuierlich. Im Boden kann sich insbesondere nach organischer Düngung und nach dem Anbau von Fruchtarten mit stickstoffreichen Ernte- und Wurzelrückständen ein erhöhtes N-Nachlieferungsvermögen aufbauen. Erst mit optimaler Wasserversorgung lassen sich hohe, überdurchschnittliche Erträge erzielen. Damit einher geht eine verstärkte N-Nachlieferung, die oft den Stickstoffmehrbedarf abdeckt.

Die N-Mineralisation und die Niederschlagsverhältnisse beeinflussen, wie viel pflanzenverfügbarer Stickstoff zu Beginn der Vegetation im Boden vorhanden ist. Zu einer schlagbezogenen N-Düngebedarfsermittlung gehört deshalb die Berücksichtigung der  $N_{\min}$ -Gehalte. Empfohlen werden schlagspezifische  $N_{\min}$ -Untersuchungen. In jedem Fall sollten zumindest die typischen Boden-, Vorfrucht- und Bewirtschaftungsbedingungen mit entsprechenden Bodenproben erfasst werden. Insbesondere Schläge mit organischer Düngung sind einzubeziehen. Die Übernahme von Vergleichswerten ist dafür nicht ausreichend.

### 2.1.3 Optimaler Einsatz der Wirtschaftsdünger

Die Zufuhr von organischer Substanz stellt nicht nur einen einfachen Nährstoffersatz dar, sondern ist mit einer Vielzahl positiver Wirkungen auf die biologischen, chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften verbunden. Unsachgemäße Anwendung und schlechte Nährstoffeffizienz führen jedoch zu beachtlicher Belastung der Umwelt.

Zum Einsatz im Pflanzenbau kommt eine Vielzahl organischer Dünger. Gemeinsam ist ihnen, dass ihre Zusammensetzung und damit ihre Wirkung von großen Unterschieden gekennzeichnet sind. Die aus der Tierhaltung stammenden wirtschaftseigenen Dünger weisen in Abhängigkeit von der Tierart und dem -alter, der Aufstallung, der Fütterung, der Lagerung usw. beachtliche Schwankungen auf. Für die betriebliche Düngerplanung ist deshalb eine regelmäßige Analyse der Nährstoffgehalte unerlässlich. Die Nutzung von Faustzahlen sollte die Ausnahme sein.

Stickstoff, der nicht im Anwendungsjahr verfügbar wird, geht zu erheblichen Anteilen in den Bodenvorrat des Standortes ein, weshalb eine regelmäßige organische Düngung zu einer Erhöhung des Mineralisationspotenzials führt. Diese Tatsache muss stärker in den Blickpunkt rücken, wenn es um den N-Bedarf der Zwischenfrüchte und Winterungen im Spätsommer und Herbst geht. Gerade bei der Ausbringung im Spätsommer und Herbst, wenn die Temperaturen noch hoch sind und auf vielen sächsischen Standorten der Boden noch nicht ausreichend durchfeuchtet ist, muss bei alter Applikationstechnik mit ungenügender Einarbeitung des organischen Düngers in den Boden mit beachtlichen Ammoniakverlusten gerechnet werden.

### Effiziente Stickstoffausnutzung aus flüssigen Wirtschaftsdüngern

Bei ihren Untersuchungen zum N-Management in sächsischen Praxisbetrieben stellten HEINITZ et al. 2010 fest, dass das Überschreiten des geltenden Grenzwertes der Düngeverordnung für den dreijährigen N-Saldo von 60 kg N/ha besonders durch den hohen Einsatz von Wirtschaftsdüngern verursacht wurde. Beim Einsatz

organischer Dünger ist eine ausreichende Berücksichtigung des düngewirksamen N ein entscheidendes Kriterium. Die Stickstoffwirkung organischer Dünger wird vor allem von folgenden Einflussgrößen bestimmt:

- Gehalt an Gesamt-N und Anteil an löslichem  $\text{NH}_4\text{-N}$
- C:N-Verhältnis und Stabilität der organischen Substanz
- Termin der Ausbringung (Herbst oder Frühjahr)
- Art der Ausbringung und Einarbeitung in den Boden
- Witterungsverhältnisse zur Ausbringung und danach
- Standortbedingungen wie Bodenart, Niederschläge, Gründigkeit
- angebaute Fruchtart
- Menge und Häufigkeit des Einsatzes

Die Ermittlung und entsprechende Berücksichtigung des N-Gehaltes von Wirtschaftsdüngern ist eine Grundvoraussetzung für einen effizienten Einsatz. Im besonderen Maße betrifft das die flüssigen organischen Dünger. Die Verteilung auf die Betriebsflächen ist unter Beachtung von mehrjährigen, schlagspezifischen Humusbilanzen vorzunehmen. Dabei ist zu beachten, dass bei regelmäßigem Einsatz organischer Dünger sich nicht nur deren Wirkung, sondern auch die N-Nachlieferung aus dem Boden erhöht. Der hohe Anteil an löslichem N ist beim Einsatz von Gülle und besonders bei Gärresten zu beachten. Eine gute Nährstoffeffizienz lässt sich nur durch Senkung der Ausbringungsverluste und durch einen optimalen zeitlichen und mengenmäßigen Einsatz erreichen.

Die Wirtschaftsdüngerausbringung nach der Ernte im Spätsommer ist am ineffizientesten. Neben den erhöhten Ammoniakverlusten auf Grund der noch hohen Temperaturen sind insbesondere die Wintergetreide nicht in der Lage, den zugeführten N ausreichend zu verwerten. Der Frühjahrseinsatz mit entsprechender Schlitztechnik ist hier die bessere Alternative. Zu Früchten mit spätem Vegetationsbeginn und ohne Möglichkeit der Gülleausbringung in wachsenden Beständen (z. B. Mais, Kartoffel, Rüben) ist die Anwendung von Nitrifikationshemmern in Gülle und Gärresten angezeigt.

Um die Ausbringung zu Zeiten des höchsten Nährstoffbedarfs der Kulturen und unter günstigen Witterungsbedingungen vorzunehmen, ist eine ausreichende Lagerkapazität für Wirtschaftsdünger notwendig. Für die Ausbringung ist der Einsatz von bodenschonender und emissionsarmer Applikationstechnik (Schlitz-, Injektions- und Streifenbearbeitungstechnik) mit guter Verteilgenauigkeit anzuraten.

### **Einsatz von Stalldung**

Für eine gute Wirkung des Stallmistes ist entscheidend, dass das Ausgangsmaterial homogen ist und eine optimale Rotte oder Mistkompostierung durchgeführt wurde. Weiterhin ist eine gleichmäßige Verteilung und eine der jeweiligen Fruchtart sowie dem Standort angepasste Applikationsmenge essentiell.

Die Wirksamkeit und Verfügbarkeit der im Stallmist enthaltenen Nährstoffe resultiert aus der Bindungsform der Nährstoffe (sofort pflanzenverfügbar bzw. erst nach Mineralisation), dem Ausbringungstermin (Abstand zwischen Nährstoffbereitstellung und Pflanzenbedarf), den Standortbedingungen (Bodenart, Witterungsverlauf usw.) und der Länge der Vegetationszeit der mit Stalldung bedachten Kultur.

Die Stickstoffwirkung von Stalldung schwankt stark. Sie ist abhängig vom Standort, der Ausbringungszeit und der Witterung. Unter günstigen Bedingungen können im ersten Vegetationsjahr mehr als 40 % des Gesamt-



stickstoffs pflanzenverfügbar werden. Sind die Bedingungen schlecht, sinkt dieser Wert deutlich unter 20 %. Bei der Anwendung von Stalldung zu Sommerungen ist es angezeigt, die Ausbringung und Einarbeitung frühestens zum Ende der Vegetation des Vorjahres vorzunehmen. Auf den leichten Böden ist in jedem Fall die Applikation im Frühjahr anzuraten.

#### **2.1.4 Einsatz von moderner Ausbringtechnik**

Neben der Höhe der zu verabreichenden Stickstoffmenge lassen sich N-Austräge auch durch eine Verbesserung der N-Verteilung vermeiden. So ergeben sich bei schlecht eingestellten Schleuderdüngerstreuern erhebliche Unterschiede in der N-Verteilung. Das führt auf Teilflächen sowohl zu einer Unter- als auch Überversorgung. Dabei ergibt sich das typische Bild der „technologischen Streifenkrankheit“. Bei überhöhtem N-Angebot werden allerdings Mängel in der Querverteilung und fehlerhafte Einstellungen bei der Ausbringtechnik nicht sichtbar. Der Einsatz von präziser Ausbringungstechnik mit Teilbreitenregelung kann zu deutlichen Verbesserungen führen. Im Hinblick auf die Verteilgenauigkeit lassen sich durch den Einsatz von pneumatischen Düngerstreuern bzw. durch verstärkte Anwendung von platzierter Düngung bzw. der Injektionsdüngung deutliche Effizienzsteigerungen erwarten.

#### **2.1.5 Teilschlagspezifische Stickstoffdüngung**

Durch konsequente teilschlagbezogene Stickstoffdüngung ergibt sich auf heterogenen Ackerschlägen ein beachtliches Potenzial, um die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs wirkungsvoll zu verbessern. Aber auch dort, wo zeitweilig auftretende Heterogenität des Bestandes vorkommt, die durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, dem aktuellen Witterungsverlauf, durch Krankheitsherde usw. bestimmt werden, können durch den Einsatz von Sensoren im Online-Verfahren eine ausgeglichene N-Ernährung abgesichert und N-Verluste eingeschränkt werden. Die jährlich anzutreffenden Ertragsbilder eines Ackerschlages sind dann eher zufällig. Sie überlagern die vorhandenen Bodenunterschiede. Anders ist oft die Situation auf den trockenen, heterogenen Standorten in Mitteldeutschland. Die vorhandenen Bodenunterschiede wirken sowohl durch unterschiedliche Wasserreserven als auch durch die Tiefe des Wurzelraumes. Die Bodenheterogenität prägt das Ertragsbild wesentlich stärker als die verschiedenen zufälligen Ereignisse. Das erklärt, warum unter diesen Bedingungen relativ stabile Ertragszonen angetroffen werden. Darauf muss sich eine effiziente Stickstoffdüngung einstellen. Ergebnisse von SCHLIEPHAKE (2011) bzw. PONITKA & PÖSSNECK (2006) weisen darauf hin, dass unter diesen Bedingungen beim Einsatz von N-Sensoren im Online-Verfahren die Berücksichtigung von Ertragszonen mittels Faktorkarten die N-Bilanz der heterogenen Teilflächen deutlich verbessern kann. Dabei zeigte sich, dass auf den ertragsschwachen Teilflächen die geringeren Bodenwasserreserven für die oft zeitig einsetzende Triebreduktion beim Getreide und die regelmäßig auftretenden Mindererträge verantwortlich sind.

#### **2.1.6 Bodenbearbeitung**

Pflanzenbestände mit einem gut entwickelten Wurzelsystem sind in der Lage, Stresssituationen zu überstehen, Wasser- und Nährstoffreserven auch aus tieferen Bodenschichten zu erschließen und ihr genetisches Potenzial besser auszunutzen. Grundvoraussetzung dafür ist eine optimale Bodenstruktur ohne Schadverdichtungen. Um dies zu gewährleisten, ist eine an den jeweiligen Standortbedingungen angepasste Bodenbearbeitung notwendig. Zu bedenken ist dabei, dass intensives und häufiges Bearbeiten im Spätsommer und Herbst die Mineralisation organischer N-Verbindungen besonders intensiviert. Ein etwas höherer N-Bedarf besteht jedoch nur beim Anbau von Zwischenfrüchten und Winterraps. Wo dies nicht der Fall ist, sollte die Bodenbearbeitung auf das Notwendige beschränkt bleiben.

Das bedeutet natürlich auch, dass bereits bei der Ernte gemachte Fehler sich gar nicht oder nur mit großem Aufwand beseitigen lassen. Bedingt durch Witterung und eingesetzte Technik kann es zu Verdichtungen kommen. Schlechte Strohverteilung des Mähdeschers führt zu Strohmatte, die, wenn sie nicht beseitigt wer-

den, den Feldaufgang und die Entwicklung der jungen Pflanzen behindern. Technische Ausstattungen an den Maschinen und Geräten sowie die Einhaltung der optimalen Termine können derartigen Gefahren eindeutig entgegenwirken. Wo zudem aus phytopathologischer Sicht keine Bedenken bestehen, sind die konservierende Bodenbearbeitung bzw. die Direktsaat Verfahren, die den Boden mit entsprechender Auflage an Pflanzenmaterial vor Erosion und unnötiger N-Mineralisation schützen.



**Abbildung 10: Beinigkeit beim Raps durch Bodenverdichtung**

Sind bereits Schadverdichtungen vorhanden, sind geeignete Bodenbearbeitungsstrategien zu nutzen, um für die Folgekultur ein optimales Saatbett herzurichten. Besonders Raps benötigt für eine zügige Jugendentwicklung ein feinkrümeliges Saatbett und eine lockere Bodenstruktur unterhalb der Samenablage. In der Praxis zeigen sich jedoch oft Streifen auf den Rapsflächen, die aus den Fahrspuren früherer Überfahrten hervorgegangen sind. Derartige Verdichtungen bewirken, dass der Raps nicht die für ihn typische Pfahlwurzel ausbilden kann (Abbildung 10). Das Wurzelwachstum einschließlich des Tiefenwachstums wird über das Tageslicht gesteuert und durch die Lichtbedingungen im Langtag bis Mitte September deutlich gefördert (ALPMANN 2012). So führt mehr Licht zu einer höheren Produktion von Zucker, der in die Wurzel eingelagert wird. Durch Anreicherung von Zucker in der Wurzelspitze wird dann das Wachstum der Wurzeln stimuliert (NAGEL 2012)

Außerdem sind die standorttypischen Gegebenheiten bei der Bodenbearbeitung zu berücksichtigen. Generell sollte die Lockerung nur in dem Umfang erfolgen, wie sie auch Vorteile für das Pflanzenwachstum bzw. der Pflanzengesundheit und damit für die Nährstoffverwertung mit sich bringt. Ein zu intensiver Eingriff führt zu einer erhöhten N-Mobilisation und zu einer erhöhten Erosionsgefahr im kuppigten Gelände.

### **2.1.7 Standraumbemessung**

Verschiedene Untersuchungen belegen einen Ertragsvorteil durch optimale Standraumbemessung. Erprobt wurde dabei Einzelkornaussaat in Kombination mit unterschiedlichen Reihenabständen. In verschiedenen Versuchen wurde die Gleichstandsaat getestet und beschrieben. Durch eine angepasste Saatstärke wird hier der Einzelpflanze ein optimaler Standraum zugewiesen und die Konkurrenz zu den Nachbarpflanzen um Licht, Wasser und Nährstoffe wird weitestgehend minimiert. So konnte BAUMECKER (2012) in einem Modellversuch mit Roggenertrag auf einem leichten Boden bei einer Gleichstandsaat im Vergleich zur normalen Aussaat in zwei Jahren statistisch gesicherte Mehrerträge erzielen (Abbildung 11: Roggenertrag bei Gleichstands- und Drillsaat). Vor allem durch eine höhere Triebanzahl bildete sich der Mehrertrag heraus. Das Tausendkorngewicht und die Kornzahl je Ähre unterschieden sich nur unwesentlich voneinander.

Durch Einzelkornaussaat bei Raps konnten BISCHOFF & HOFMANN (2007) mehrjährig Ertragsvorteile gegenüber der herkömmlichen Aussaat erzielen. Bei optimaler Standraumbemessung waren das Wurzelwachstum je Einzelpflanze und besonders das Vordringen der Wurzeln in die Tiefe begünstigt.

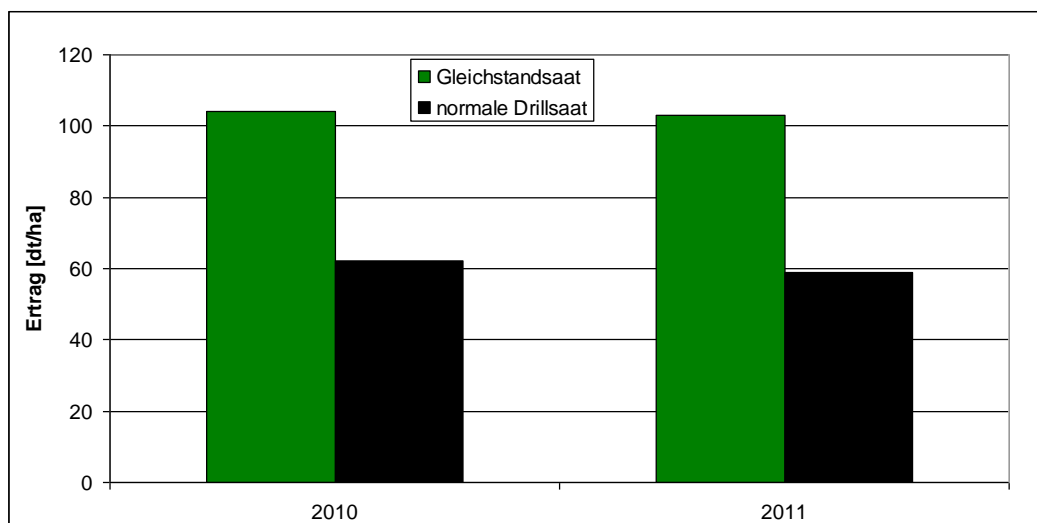


Abbildung 11: Roggenertrag bei Gleichstands- und Drillsaat (BAUMECKER 2012)

### Zwischenfruchtanbau

Eine wichtige Maßnahme zur Verminderung von Nitratausträgen und zur Erosionsminderung ist der Zwischenfruchtanbau. Darüber hinaus hat er vielfältige positive Wirkungen auf den Boden und die Bodenfruchtbarkeit, wie Auflockern einseitiger Fruchtfolgen, Verbesserung der biologischen Aktivität, Gareerhaltung und -förderung durch Beschattung, Erschließung von Nährstoffen aus tieferen Bodenschichten und Unterdrückung von Unkräutern. In Abhängigkeit von den Jahresbedingungen (Aussaatzeit, Witterung, N-Angebot) und den gewählten Zwischenfrüchten liegt die N-Bindungsleistung zwischen 25 und 200 kg N/ha (SCHMIDT & GLÄSER 2012; SCHLIEPHAKE 2003). Der von den Zwischenfrüchten aufgenommene Stickstoff steht den nachfolgenden Früchten zu großen Teilen zur Verfügung. Bei der Düngebedarfsermittlung ist er ausreichend zu berücksichtigen. Beim Zwischenfruchtanbau ist keine oder nur eine kleine Startstickstoffgabe angebracht, weil sich bei reichlicher Stickstoffernährung Nitratstickstoff und andere lösliche N-Verbindungen anreichern. Bei nicht winterharten Zwischenfrüchten werden diese aus der abgefrorenen Biomasse durch die Winterniederschläge ausgewaschen. Zudem kann es zu verstärkten Ammoniakausgasungen kommen, die an anderer Stelle zu entsprechender Belastung führen.

## 2.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Nährstoffeffizienz

### 2.2.1 Verbesserung der N-Effizienz im Rapsanbau

Im Hinblick auf einen verbesserten und effektiven N-Einsatz steht seit Jahren der Rapsanbau im Brennpunkt. Bedingt wird dies durch den hohen Anbauumfang bei einem hohen N-Düngungsniveau. Kennzeichnend für den Rapsanbau ist, dass mit dem Samenertrag nur etwa 35 bis 50 % des zum Höhepunkt der Bestandesentwicklung in der gewachsenen Biomasse eingebauten Stickstoffs vom Feld abgefahren wird. Neben dem nicht von den Pflanzen aufgenommenen Stickstoff bleibt somit der überwiegende Anteil in Form der Erntereste zurück und wird unter günstigen Boden- und Witterungsbedingungen zügig wieder freigesetzt. Damit besteht nach dem Anbau von Raps eine erhöhte Gefahr von Nitratausträgen.

Ziel ist es deshalb, durch ein effizientes Stickstoffmanagement beim Rapsanbau sowohl die hohen N-Bilanzüberschüsse als auch die  $N_{\min}$ -Reste nach der Ernte und die erhöhte Netto-N-Freisetzung aus den auf dem Feld verbleibenden Ernteresten im Verlauf des Herbstes abzubauen (ALBERT 2011; SCHLIEPHAKE 2011; SIELING & KAGE 2011). Aus diesem Grund bildete die Stickstoffdüngung zum Winterraps einen Schwerpunkt in der Arbeit mit den verschiedenen Arbeitskreisen zur Umsetzung der WRRL. Mindestens eine Gruppenveranstaltung wurde dafür genutzt, die neuesten Forschungsergebnisse zur Stickstoffdüngung und zur biomasseabhängigen N-Düngebedarfsermittlung vorzustellen. Von Vorteil war dabei, dass die aktuellen N-Düngungsversuche auf den verschiedenen Versuchsstandorten des LfULG von den Projektarbeitern wissenschaftlich betreut wurden und somit die neuesten, unter den Standortbedingungen von Sachsen gewonnenen Ergebnisse genutzt werden konnten. In den Arbeitskreisen mit dem Schwerpunkt „Stickstoff im Grundwasser“ wurden zusätzliche Demonstrationen mit Winterraps angelegt, um an praktischen Beispielen Fragen zur Bestandesetablierung, der Einzelkornsaat, der Herbststickstoffdüngung einschließlich der Möglichkeiten der Unterfußdüngung und der biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung zu diskutieren. An dieser Stelle sollen die Ergebnisse einer Versuchsreihe des LfULG mit Winterraps vorgestellt werden.

### Material und Methoden

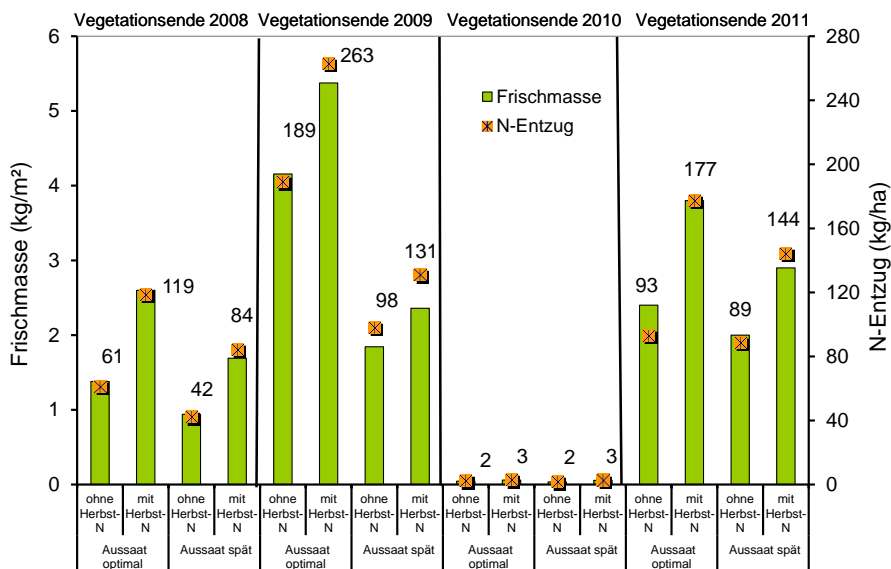
In dieser Versuchsreihe wird der Einfluss von Aussaatzeit und differenziertem N-Angebot im Herbst auf die Entwicklung der Pflanzen vor dem Winter, die Überwinterung der Bestände und dem N-Düngebedarf im Frühjahr geprüft. Der Versuch dient dazu, den Einfluss unterschiedlicher Vorwinterentwicklungen auf den N-Düngebedarf im Frühjahr abzuklären. Die gestaffelte N-Düngung im Frühjahr erfolgt in fünf Stufen zwischen 0 und 250 kg N/ha. Die N-Düngung erfolgt wie in der Praxis üblich in zwei Gaben. Während die erste Gabe gestaffelt ist, kommen zur zweiten N-Gabe mit Ausnahme des ungedüngten Prüfglieds einheitlich 100 kg N/ha zur Anwendung. Angebaut wurde einheitlich die Sorte Visby. Erstmals wurde diese Versuchsreihe im Herbst 2008 angelegt. Durchgeführt wird sie auf dem leichten, diluvialen Standort in Baruth, den Löss-Standorten in Nossen und Pommritz sowie dem Verwitterungsstandort in Forchheim. Damit werden unterschiedliche Standortbedingungen einbezogen – eine Grundvoraussetzung, um entsprechende Verallgemeinerungen treffen zu können. Die hier erzielten Ergebnisse sind wesentliche Grundlage für die Einführung der biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung im Beratungsprogramm BEFU.

### Ergebnisse

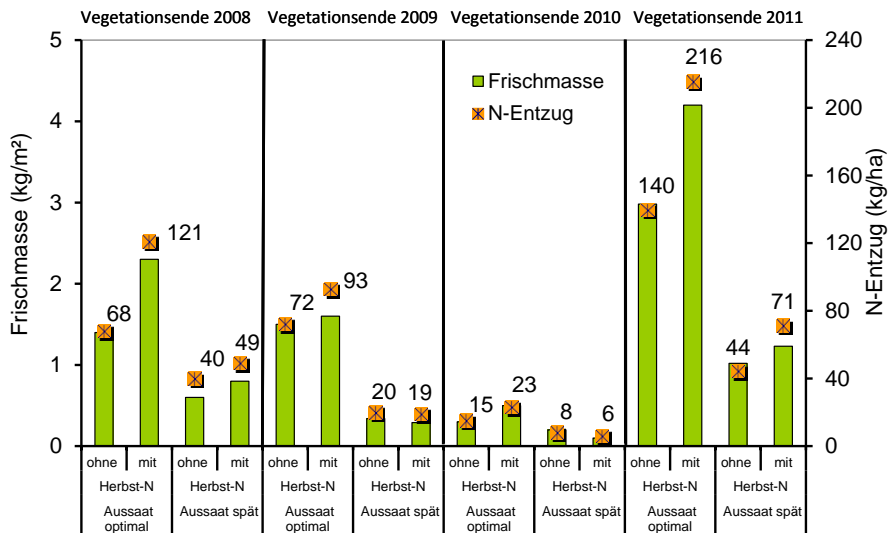
Die Auswertung der ersten Versuchsjahre findet sich bei SCHLIEPHAKE (2011). Zwischenzeitlich liegen insgesamt die Ergebnisse von vier Versuchsjahren vor, sodass die spezifischen Jahresbedingungen noch deutlicher sichtbar werden, aber auch erste allgemeingültige Schlussfolgerungen gezogen werden können. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die Umsetzung einer neuen Strategie zur effizienteren Stickstoffdüngung im Rapsanbau. Sie wurden den Mitgliedern der Arbeitskreise vorgestellt, mit ihnen diskutiert und in entsprechenden Demo-Versuchen praktisch dargestellt.

Am Beispiel der Versuchsstandorte Baruth (Abbildung 12) und Forchheim (Abbildung 13) lässt sich anschaulich darstellen, wie stark die Vorwinterentwicklung des Winterrapses in Abhängigkeit von Standort, Jahresbedingungen, Aussaattermin und bereitgestelltem Stickstoff variieren kann. In der oberirdischen Biomasse wurden bis zum Winter zwischen 2 und 300 kg N/ha eingebunden. Von praktischem Interesse sind die Auswirkungen auf den Düngebedarf im Frühjahr. Einen Überblick über das Ertragsgeschehen auf den einzelnen Standorten und in den Jahren geben die Tabellen 1 bis 4. Dabei fällt auf, dass insgesamt ein sehr hohes Ertragsniveau erzielt wurde. Eine Ausnahme bildet das Jahr 2011 in Baruth nach sehr schwacher Herbstentwicklung.

Der starke Einfluss der Vorwinterentwicklung auf die Ertragsbildung im folgenden Frühjahr lässt sich anschaulich am Beispiel der ungedüngten Prüfglieder demonstrieren (Abbildung 14). Je üppiger sich die Rapsbestände im Herbst entwickeln konnten, umso höher war in der Regel auch der erzielte Ertrag. Deutlich wird aber auch, dass es Unterschiede zwischen den Standorten gibt. Auf dem anlehmigen Sand in Baruth und dem flachgründigen Verwitterungsstandort in Forchheim (Ergebnisse nicht dargestellt) besteht ein enger Zusammenhang zwischen Herbstentwicklung und dem Ertrag im Folgejahr. Auf den Löss-Standorten ist diese Beziehung nicht mehr so eng. Als Beispiel sind die Versuchsergebnisse von Pommritz dargestellt. Neben der Vorwinterentwicklung und dem damit aufgenommenen Stickstoff beeinflussen hier das N-Nachlieferungsvermögen und der oft in tieferen Bodenschichten vorhandene Stickstoff das Ertragsgeschehen zusätzlich.



**Abbildung 12: Gebildete Frischmasse und die N-Entzüge durch den Raps in Abhängigkeit vom Aussattermin und der Herbst-N-Düngung in den vier Versuchsjahren am Standort Baruth**

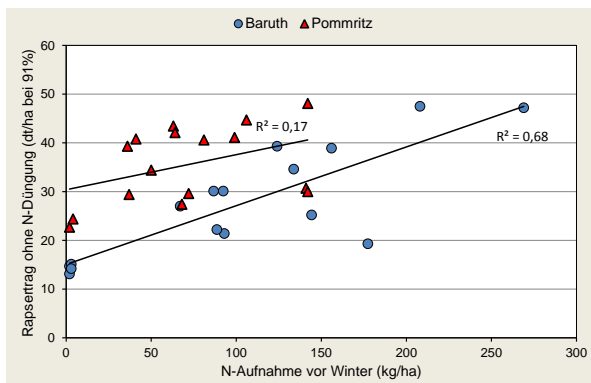


**Abbildung 13: Gebildete Frischmasse und die N-Entzüge durch den Raps in Abhängigkeit vom Aussattermin und Herbst-N-Düngung in den vier Versuchsjahren am Standort Forchheim**

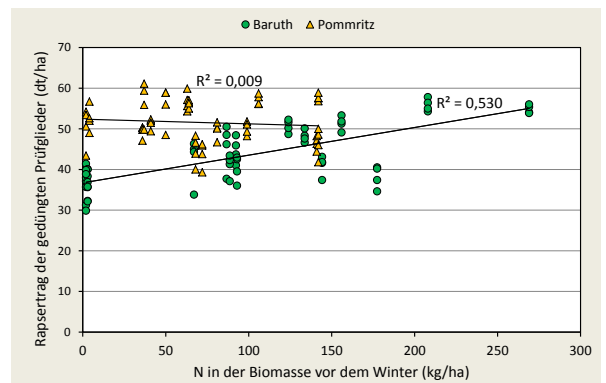
Die bisher vorliegenden Versuchsergebnissen weisen darauf hin, dass auf den leichten Böden das mögliche Ertragsniveau wesentlich stärker von der Vorwinterentwicklung bestimmt wird (Abbildung 15). Die trifft auch

für den flachgründigen Verwitterungsboden in Forchheim zu. Ein höheres Düngungsniveau kann daran nichts ändern. Auf den tiefgründigen Lössböden übte in den gedüngten Prüfgliedern die Herbstentwicklung keinen Einfluss auf das spätere Ertragsniveau aus. Allerdings wurden auf den Lössböden auch keine extrem üppigen Bestände erzielt. Die N-Aufnahmen bis zum Winter lagen nie über 150 kg N/ha. Eine zu kräftige Herbstentwicklung der Rapsbestände kann sich auf den tiefgründigen Böden durchaus negativ auf den Ertrag auswirken. Weil eine hohe Biomassebildung auch mit höherem Wasserverbrauch verbunden ist, kommt es auf den tiefgründigen Böden bei den in Mitteleuropa anzutreffenden Niederschlagsverhältnissen über Winter oft nicht zur vollständigen Auffüllung der Feldkapazität in den unteren durchwurzelbaren Bodentiefen. Damit stehen den Beständen geringere Wasserreserven zur Verfügung, auf die der Raps während der Samenausbildung häufig angewiesen ist. Durch die Stickstoffdüngung im Frühjahr wird der Einfluss der Herbstentwicklung auf die spätere Ertragsausbildung schwächer bzw. auf dem Löss-Standort in Pommritz ist er nicht erkennbar (Abbildung 16).

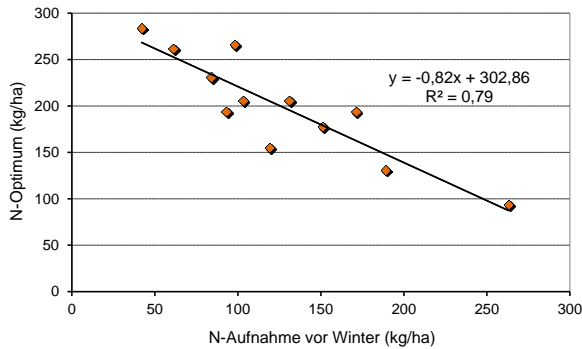
Auf den leichten und flachgründigen Böden, wo zumeist die Stickstoffnachlieferung gering ist und der Unterboden keinen bedeutsamen Einfluss auf die Ertragsbildung ausübt, besteht eine recht enge Beziehung zwischen dem im Herbst durch den Rapsbestand eingebundenen Stickstoff und dem optimalen N-Aufwand im Frühjahr. In Abbildung 16 sind die Ergebnisse von Baruth dargestellt. Den hier dargestellten Verhältnissen liegt ein mittlerer, optimaler Ertrag von 47 dt Rapssaaten/ha zugrunde. Auf den Löss-Standorten kann kein Zusammenhang zwischen Vorwinterentwicklung und dem späteren optimalen N-Aufwand festgestellt werden (Abbildung 17). Die Tiefgründigkeit des Bodens erlaubt selbst unter ungünstigeren Witterungsbedingungen noch eine gute Frühjahrsentwicklung schwach in den Winter gekommener Bestände. Dazu tragen sicher auch das höhere N-Nachlieferungsvermögen und der oft in tieferen Bodenschichten befindliche pflanzenverfügbare Stickstoff bei.



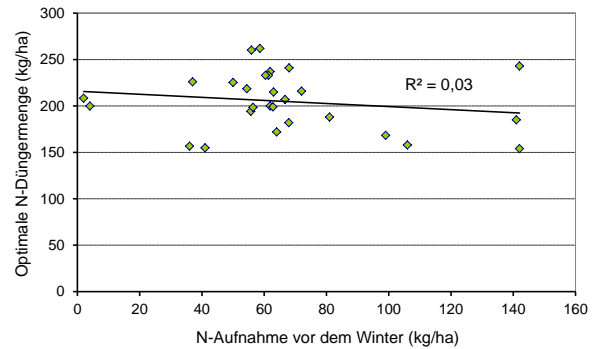
**Abbildung 14: Einfluss der Vorwinterentwicklung auf den Rapsertag der Prüfglieder ohne N-Düngung**



**Abbildung 15: Einfluss der Vorwinterentwicklung auf den Rapsertag der Prüfglieder mit N-Düngung**



**Abbildung 16: N-Menge im Rapsspross vor Winter und der optimale N-Aufwand im Frühjahr auf dem anlehmigen Sand in Baruth (drei Jahre)**

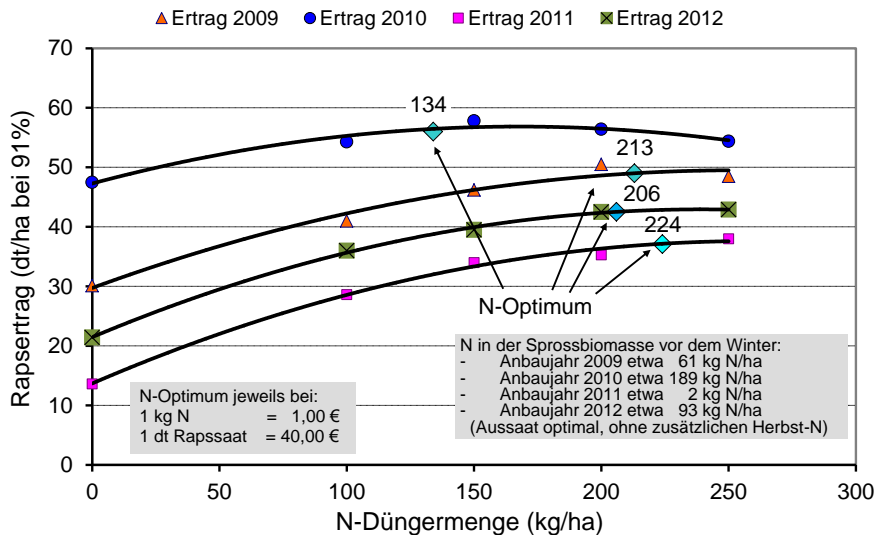


**Abbildung 17: N-Menge im Rapsspross vor Winter und der optimale N-Aufwand im Frühjahr auf den Löss-Standorten in Nossen und Pommritz (vier Jahre)**

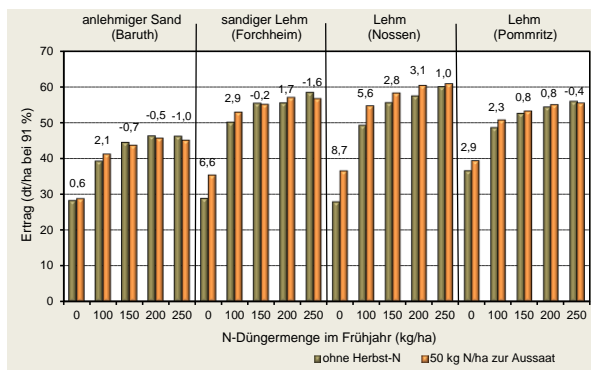
Eine Übersicht zu den in den bisherigen Versuchsjahren erzielten Erträgen findet sich in den Tabellen 1 bis 4. Bemerkenswert ist dabei das insgesamt hohe Ertragsniveau. Neben den Löss-Standorten erweist sich auch der Verwitterungsstandort in Forchheim als sehr ertragsstabil. Erwartungsgemäß war das auf dem anlehmigen Sand in Baruth nicht der Fall. Hier wirkte sich der feuchte Sommer 2011 mit einer suboptimalen Vorwinterentwicklung besonders nachteilig aus.

Am Beispiel der Abbildung 18 wird sehr gut sichtbar, wie sich die unterschiedliche Herbstentwicklung sowie der jeweilige Jahreseinfluss auf den Ertrag und das N-Optimum auswirkten. Es handelt sich hier um das Prüfglied „optimale Aussaat, ohne zusätzlichen Herbststickstoff“ am Standort Baruth. Bei der Berechnung der optimalen Stickstoffgabe wurden wegen der besseren Vergleichbarkeit die gleichen Kosten-Preisrelationen angesetzt.

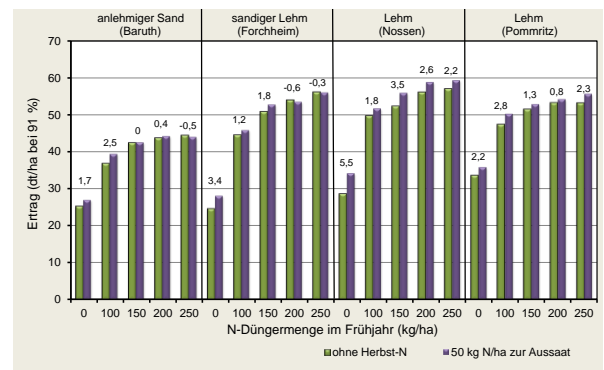
Die sehr üppige Entwicklung des Rapsbestandes im Herbst 2009 war verbunden mit einem hohen Ertrag. Für die Erzeugung von 56 dt Rapssaar/ha (Optimalertrag) waren dann gerade 134 kg N/ha notwendig. Das bedeutet, dass für die Produktion von einer dt gerade einmal 2,4 kg N benötigt wurden. Auf Grund der ungünstigen Witterungsbedingungen im Spätsommer 2010 (sehr feucht und kühl) war die Entwicklung der jungen Rapspflanzen stark beeinträchtigt. Der geringen Substanzbildung und N-Aufnahme im Herbst 2010 (vgl. Abbildung 12) folgte 2011 das niedrigste Ertragsniveau der bisher vorliegenden Versuchsjahre. Das N-Optimum lag bei 224 kg/ha und für die Erzeugung von einer dt Rapssaar wurden hier 6,2 kg N benötigt. In den beiden übrigen Erntejahren (2009 und 2012) sind die optimalen N-Aufwendungen etwa gleich, obwohl die Vorwinterentwicklung recht unterschiedlich war. Daraus ergibt sich jedoch kein Widerspruch zu dem bisher dargestellten Einfluss der Vorwinterentwicklung auf den N-Bedarf im Frühjahr. Die starken Kahlfröste (unter -20 °C) im Februar 2012 hatten erhebliche Blattverluste zur Folge. Die Pflanzenprobenahme zu Beginn der Vegetation ergab, dass im Mittel dieses Prüfgliedes rund 49 % der oberirdischen Biomasse abgestorben war.



**Abbildung 18: Rapsertrag bei gesteigerter Stickstoffdüngung und differenzierter Vorwinterentwicklung am Standort Baruth**



**Abbildung 19: Mehr- oder Minderertrag bei optimaler Aussaat in Abhängigkeit von der Herbst-N-Gabe und gestaffelter Frühjahrsgabe auf den vier Versuchsstandorten**



**Abbildung 20: Mehr- oder Minderertrag bei verspäteter Aussaat in Abhängigkeit von der Herbst-N-Gabe und gestaffelter Frühjahrsgabe auf den vier Versuchsstandorten**

Die Ergebnisse der Versuchsreihe belegen deutlich, dass sich sowohl eine verspätete Aussaat als auch eine verhaltene Vorwinterentwicklung negativ auf das spätere Ertragsniveau auswirken können. Dies ließ sich auch nicht durch eine höhere Stickstoffdüngung ausgleichen. Im Mittel betrug der Minderertrag etwa 4 dt/ha. Zwischen den Jahren gab es allerdings deutliche Unterschiede. Entscheidend war in erster Linie das Ausmaß der Entwicklungsunterschiede zwischen den jeweiligen Aussatterminen.

Gezeigt haben die Versuchsergebnisse auch, dass unter den geprüften Standortbedingungen zusätzlicher Herbststickstoff vor allem im Bereich suboptimaler Frühjahrsgaben zu leichten Mehrerträgen geführt hat (Abbildung 19 und Abbildung 20). Besonders ist das auf den tiefgründigen Löss-Standorten der Fall. Auf den leichten und flachgründigen Böden hält sich im Mittel der Jahre der Mehrertrag in Grenzen. Wurde der zusätzliche Stickstoff nicht bis zum Winter verwertet, wurde er ausgetragen und stand im Frühjahr nicht mehr zur Verfügung.



**Tabelle 1: Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2009**

Prüfglied	Aussaat	Herbst Aussaat	N-Düngung		Ertrag dt/ha bei 91 % TM			
			Frühjahr VB	Streckung	Baruth	Forchheim	Nossen	Pommritz
1	normal	ohne	0	0	30,1	35,9	21,7	43,4
2	normal	ohne	0	100	37,7	51,5	43,7	54,3
3	normal	ohne	50	100	46,2	56,5	49,6	55,6
4	normal	ohne	100	100	50,5	55,5	54,0	57,1
5	normal	ohne	150	100	48,5	60,2	54,6	59,9
6	normal	50	0	0	34,6	43,9	27,3	48,1
7	normal	50	0	100	46,6	54,9	47,4	57,5
8	normal	50	50	100	48,3	56,1	54,8	56,8
9	normal	50	100	100	50,1	57,5	54,3	57,6
10	normal	50	150	100	47,6	53,9	55,7	58,9
11	spät	ohne	0	0	27,0	29,8	28,8	42,1
12	spät	ohne	0	100	33,8	48,0	43,9	55,0
13	spät	ohne	50	100	45,0	52,2	47,7	56,6
14	spät	ohne	100	100	44,3	55,8	54,5	57,0
15	spät	ohne	150	100	46,3	59,2	55,7	56,3
16	spät	50	0	0	30,1	32,9	30,8	44,7
17	spät	50	0	100	41,0	47,0	48,7	56,1
18	spät	50	50	100	43,7	54,3	53,5	56,2
19	spät	50	100	100	45,9	53,6	57,3	57,8
20	spät	50	150	100	48,4	58,1	55,9	58,7
GD 5 % (A)					1,9	2,9	4,1	2,9
GD 5 % (B)					0,9	1,5	2,7	1,6
GD 5 % (C)					2,2	2,0	2,5	2,9
GD 5 % (ABC->B,C,BC,ABC)					4,4	4,7	6,5	6,1

**Tabelle 2: Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2010**

Prüfglied	Aussaat	Herbst Aussaat	N-Düngung		Ertrag dt/ha bei 91 % TM				
			Frühjahr VB	Streckung	Baruth	Forchheim	Nossen	Pommritz	
1	normal	ohne	0	0	47,4	37,0	32,9	40,6	
2	normal	ohne	0	100	54,3	48,1	47,5	46,7	
3	normal	ohne	50	100	57,8	52,0	54,7	50,5	
4	normal	ohne	100	100	56,4	54,9	55,6	50,1	
5	normal	ohne	150	100	55,0	55,1	61,3	51,6	
6	normal	50	0	0	47,2	41,0	41,6	41,1	
7	normal	50	0	100	54,0	50,1	51,8	48,2	
8	normal	50	50	100	53,3	52,6	58,7	49,3	
9	normal	50	100	100	55,4	52,8	62,0	51,8	
10	normal	50	150	100	56,0	45,8	61,3	51,1	
11	spät	ohne	0	0	39,3	34,4	36,7	39,3	
12	spät	ohne	0	100	48,7	47,5	48,0	47,1	
13	spät	ohne	50	100	50,2	54,0	53,6	50,3	
14	spät	ohne	100	100	51,6	49,0	57,5	50,3	
15	spät	ohne	150	100	52,2	54,7	58,1	49,8	
16	spät	50	0	0	38,9	41,2	43,1	40,8	
17	spät	50	0	100	49,1	49,8	52,3	49,4	
18	spät	50	50	100	51,2	53,6	57,6	52,0	
19	spät	50	100	100	53,3	55,2	60,7	52,3	
20	spät	50	150	100	51,8	49,5	62,5	51,3	
					GD 5 % (A)	2,0	1,8	2,0	2,4
					GD 5 % (B)	1,6	2,5	0,7	1,3
					GD 5 % (C)	1,7	3,1	1,9	2,0
					GD 5 % (ABC->B,C,BC,ABC)	3,9	6,3	3,9	4,4

**Tabelle 3: Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2011**

Prüfglied	Aussaat	Herbst Aussaat	N-Düngung		Ertrag dt/ha bei 91 % TM			
			Frühjahr VB	Streckung	Baruth	Forchheim	Nossen	Pommritz
1	normal	ohne	0	0	13,6	20,4	35,9	29,4
2	normal	ohne	0	100	28,6	46,1	58,7	49,8
3	normal	ohne	50	100	34,0	50,6	63,9	55,9
4	normal	ohne	100	100	35,3	53,7	67,0	59,4
5	normal	ohne	150	100	38,0	55,1	68,1	61,1
6	normal	50	0	0	13,9	21,0	47,6	34,4
7	normal	50	0	100	29,7	43,3	64,6	48,5
8	normal	50	50	100	35,2	50,2	66,7	56,0
9	normal	50	100	100	36,7	52,5	69,1	58,9
10	normal	50	150	100	36,6	56,3	68,8	58,9
11	spät	ohne	0	0	12,3	16,9	29,0	22,7
12	spät	ohne	0	100	27,3	37,7	58,5	43,4
13	spät	ohne	50	100	33,0	47,0	61,0	50,6
14	spät	ohne	100	100	36,5	49,9	61,4	54,2
15	spät	ohne	150	100	35,6	51,6	62,9	53,4
16	spät	50	0	0	13,3	17,1	42,0	24,4
17	spät	50	0	100	29,6	37,7	57,9	49,0
18	spät	50	50	100	33,0	46,8	60,0	52,0
19	spät	50	100	100	34,0	49,8	64,9	52,6
20	spät	50	150	100	33,5	50,1	63,8	56,7
GD 5 % (A)					3,1	2,6	3,8	2,6
GD 5 % (B)					1,9	1,7	1,9	2,4
GD 5 % (C)					2,6	1,8	2,4	2,9
GD 5 % (ABC->B,C,BC,ABC)					5,8	4,4	5,9	6,2

**Tabelle 4: Ertragsübersicht Raps für das Versuchsjahr 2012**

Prüfglied	Aussaat	Herbst Aussaat	N-Düngung		Ertrag dt/ha bei 91 % TM			
			Frühjahr VB	Streckung	Baruth	Forchheim	Nossen	Pommritz
1	normal	ohne	0	0	21,4	46,0	20,7	35,2
2	normal	ohne	0	100	36,0	51,4	46,6	47,0
3	normal	ohne	50	100	39,5	58,1	53,6	52,5
4	normal	ohne	100	100	42,5	57,0	53,5	54,7
5	normal	ohne	150	100	42,9	57,1	55,6	55,1
6	normal	50	0	0	19,3	43,7	29,6	36,6
7	normal	50	0	100	34,6	55,5	55,0	52,9
8	normal	50	50	100	37,4	63,0	53,0	55,5
9	normal	50	100	100	40,5	67,7	56,3	56,7
10	normal	50	150	100	40,2	54,8	57,8	57,6
11	spät	ohne	0	0	22,2	42,3	19,7	33,1
12	spät	ohne	0	100	37,1	51,5	42,4	49,0
13	spät	ohne	50	100	41,3	53,4	46,7	52,5
14	spät	ohne	100	100	42,3	55,9	50,8	55,8
15	spät	ohne	150	100	43,4	59,0	51,1	57,9
16	spät	50	0	0	25,2	48,9	25,6	35,8
17	spät	50	0	100	37,4	51,5	47,1	50,0
18	spät	50	50	100	41,6	57,3	51,8	55,0
19	spät	50	100	100	43,1	58,4	51,7	58,2
20	spät	50	150	100	41,8	57,5	54,2	60,0
GD 5 % (A)					0,5	4,7	2,5	3,0
GD 5 % (B)					2,9	4,0	1,5	1,8
GD 5 % (C)					1,5	4,6	2,3	1,9
GD 5 % (ABC->B,C,BC,ABC)					4,0	10,1	4,9	4,7

Mit dieser Versuchsreihe lässt sich aber auch sehr anschaulich belegen, wie notwendig eine angepasste N-Düngung zu Winterraps im Hinblick auf die Vermeidung von Stickstoffverlusten ist. Im Bereich hoher N-Düngermengen finden sich zumeist auch höhere Rest-N<sub>min</sub>-Beträge. Auf dem Löss-Standort in Nossen war das bis auf das Erntejahr 2012 nicht der Fall (Abbildung 21). Ein Vergleich der Niederschläge in den Sommermonaten ergibt allerdings, dass der nicht verbrauchte Stickstoff zur Ernte bereits aus den oberen 90 cm ausgetragen war und mögliche Unterschiede nivelliert wurden. Während in den Monaten Juni bis August in den Jahren 2009 bis 2011 die Niederschlagssumme zwischen 330 und 338 mm lag, waren es im gleichen Zeitraum 2012 gerade einmal 230 mm.

Dass selbst bei hohem Ertragsniveau bei unangemessener N-Düngung erhöhte Rest-N<sub>min</sub>-Beträge verbleiben, belegen die in Abbildung 22 dargestellten Ergebnisse aus Baruth. Der optimale N-Aufwand lag auf Grund der beachtlichen Biomassebildung und N-Aufnahme im Vorwinter in dem Versuchsjahr bei etwa 135 kg N/ha. Das

überhöhte N-Angebot verursachte nicht nur höhere  $N_{\min}$ -Reste, sondern bewirkte auch eine beachtliche Verengung im C:N-Verhältnis des Rapsstrohs (Abbildung 23). Unter günstigen Bedingungen für die Mineralisation muss bereits im jeweiligen Herbst mit entsprechend hoher Netto-N-Freisetzung gerechnet werden.

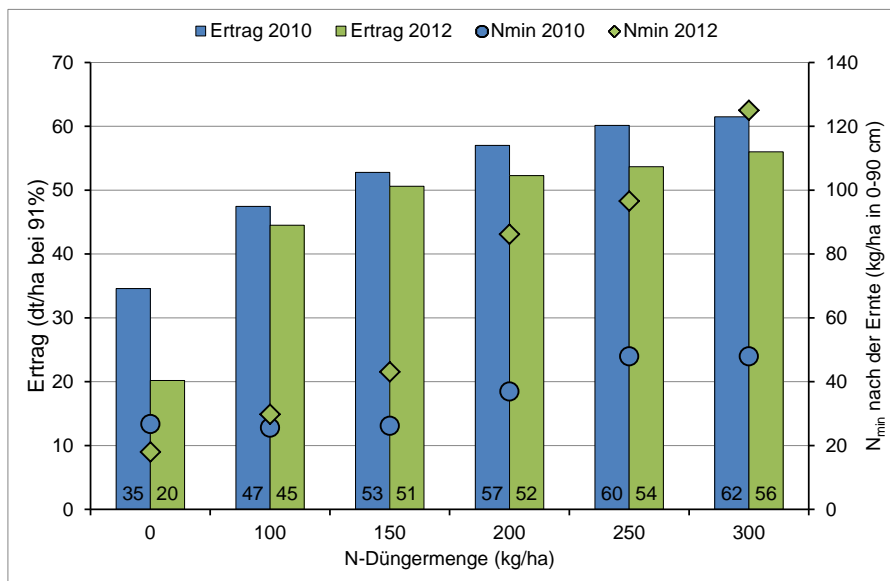


Abbildung 21: Einfluss einer gesteigerten N-Düngermenge auf den Ertrag und den Rest- $N_{\min}$  in unterschiedlichen Jahren (Nossen)

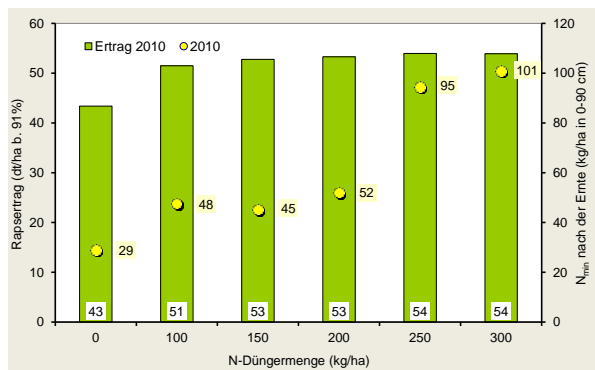


Abbildung 22: Einfluss gesteigerter N-Düngermengen auf den Ertrag und die  $N_{\min}$ -Reste zur Ernte (Baruth)

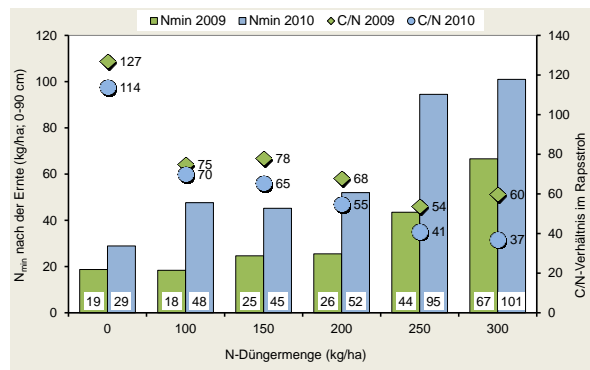
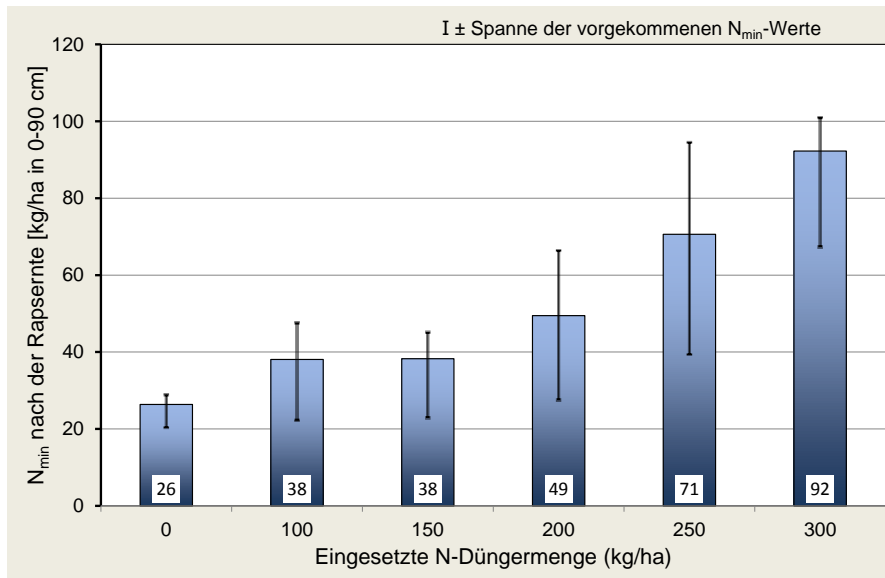


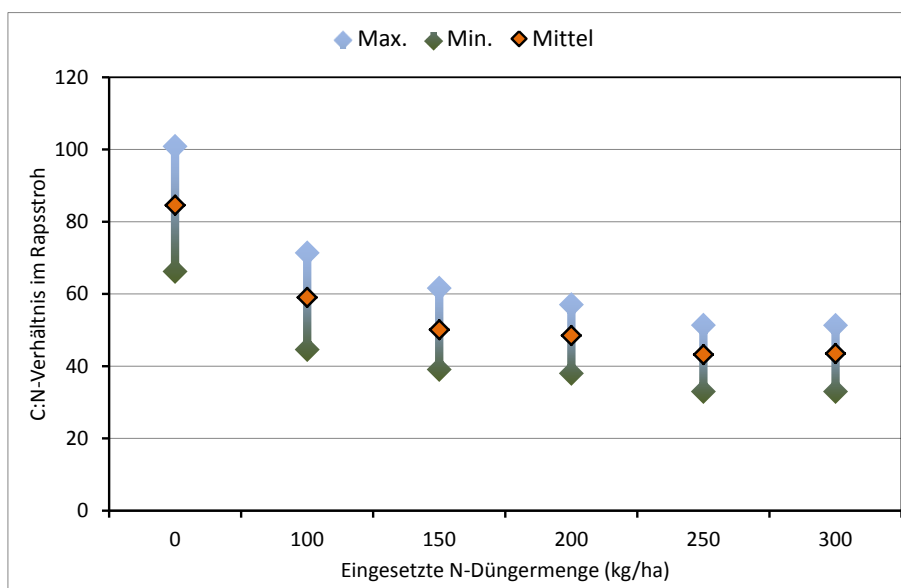
Abbildung 23: Rest- $N_{\min}$  und C:N-Verhältnis im Rapsstroh bei steigendem N-Einsatz in Baruth



**Abbildung 24: Mittlere  $N_{\min}$ -Restmengen nach der Rapsernte auf dem anlehmigen Sand in Baruth**

Die Versuchsergebnisse belegen, dass sich im Bereich der optimalen N-Aufwendungen der Rest- $N_{\min}$  nach der Ernte auf einem relativ geringen Niveau bewegt. Bei höheren N-Gaben bleiben beachtliche Stickstoffüberhänge zurück. Um die Austragspotenziale besser abschätzen zu können, muss zusätzlich in Betracht gezogen werden, dass unter günstigen Mineralisationsbedingungen aus den N-reichen Ernteresten bis zum Winter 50 bis 100 kg Stickstoff/ha freigesetzt werden können. In Abbildung 24 sind zur Veranschaulichung die Mittleren  $N_{\min}$ -Reste von drei Versuchsjahren und die Spannweite in den einzelnen Prüfgliedern dargestellt. Nicht berücksichtigt wurden hier die Ergebnisse nach der Ernte 2011, weil die starken Niederschläge im Juli mit 217 mm vor der Probenahme düngungsbedingte Unterschiede bereits nivelliert haben.

Das C:N-Verhältnis im Rapsstroh wird sehr stark durch die eingesetzte N-Düngermenge bestimmt (Abbildung 25). Nicht erfasst wurde hier der überwiegende Anteil der bereits vor der Ernte abgefallenen Blätter. Werden sie mit in diesen Pool einbezogen, verengt sich das Verhältnis noch weiter.



**Abbildung 25: C:N-Verhältnis im Rapsstroh in Abhängigkeit von der eingesetzten N-Düngermenge auf dem Löss-Standort in Pommritz (drei Versuchsjahre)**

## Biomasseabhängige Düngedbedarfsermittlung mit dem Beratungsprogramm BEFU

Zur Kalkulation des N-Bedarfes für den Raps wurde im Beratungsprogramm BEFU ab 2010 ein neuer Berechnungsalgorithmus eingeführt. Die Ergebnisse der zuvor vorgestellten Versuche mit Winterraps bildeten dafür eine wichtige Grundlage.

Ausgangspunkt für die Düngedbedarfsermittlung im BEFU sind standortabhängige N-Sollwerte. Von ihnen sind die  $N_{\min}$ -Frühjahrsgehalte abzuziehen. Berücksichtigung finden durch entsprechende Korrekturwerte die Bestandesentwicklung und der zu erwartende Ertrag. Eingesetzter organischer Dünger wird entsprechend der Art und des Ausbringungszeitpunktes in die Berechnung einbezogen.

Als wichtige Einflussgröße auf den N- Düngedbedarf im Frühjahr erweist sich die in der Biomasse der Rapsbestände gespeicherte N-Menge. Sie wird stark von den Wachstumsbedingungen im Herbst, dem Stickstoffangebot und der Überwinterung bestimmt. Während bereits in früheren BEFU-Versionen eine verbale Einschätzung der Bestandesentwicklung und der Entwicklungsstand bis zum Winter durch leichte Zu- oder Abschläge Berücksichtigung fand, lässt sich jetzt durch Angabe von konkreten Messwerten eine wesentlich bessere Anpassung der N-Empfehlung vornehmen.

Relativ einfach lässt sich bei gleichmäßigen Beständen die aktuelle N-Aufnahme mittels Wiegen der gebildeten Frischmasse je  $m^2$  im Herbst und/oder im Frühjahr ermitteln. Zwischen der Frischmasse und dem N-Entzug des Rapsbestandes besteht ein enger Zusammenhang (1 kg Frischmasse/ $m^2$  enthält ca. 50 kg N/ha). Für die Düngedbedarfsermittlung im Frühjahr hat es sich als günstig erwiesen, eine Beprobung sowohl im Spätherbst als auch vor Vegetationsbeginn vorzunehmen und die jeweiligen Werte zu mitteln. Dazu sind mit 2- bis 4-facher Wiederholung jeweils 1  $m^2$  Rapspflanzen je Schlag dicht über dem Wurzelhals abzuschneiden. Jede Probe wird einzeln gewogen und ein Durchschnittswert errechnet. Wird nur eine Beprobung vorgenommen, ist aus arbeitswirtschaftlicher Sicht der Termin zum Ende der Vegetation von Vorteil. Eine große Unbekannte sind dabei die Blattverluste über Winter. Sie sind zwar häufig anzutreffen, weil der in diesen Pflanzenteilen enthaltene Stickstoff im Verlauf des Frühjahrs erneut pflanzenverfügbar wird, für die Bedarfsbestimmung aber ohne große Bedeutung. Treten jedoch erhebliche Blattverluste über Winter auf (> 50 % der gebildeten Blattmasse sind abgestorben), wird im Berechnungsalgorithmus die im Bestand eingebundene N-Menge nicht im vollen Maße angerechnet, um die notwendige Regeneration der Rapspflanzen ausreichend zu fördern.

Die für die N-Empfehlung zugrunde gelegten Sollwerte haben sich über zahlreiche Jahre und bei einem mittleren Ertragsniveau von etwa 35 dt/ha herauskristallisiert. Bei niedrigeren bzw. höheren Erträgen wird dies durch entsprechende Zu- und Abschläge berücksichtigt. Der Anwender sollte in jedem Fall von realistischen Einschätzungen ausgehen. Letztendlich entscheidet der Temperatur- und Niederschlagsverlauf in starkem Maße über das mögliche Ertragsniveau. Unter günstigen Witterungsbedingungen steigt dann auch der N-Anteil aus der Mineralisation.

Die im Februar 2012 aufgetretenen Temperaturen unter  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ohne schützende Schneebedeckung verursachten in weiten Teilen Sachsens erhebliche Auswinterungsschäden beim Winterraps. Insbesondere dort, wo sich im Herbst 2011 die Rapsbestände kräftig entwickeln konnten, kam es zu beachtlichen Blattverlusten. Von den Versuchsstandorten des LfULG betraf dies im besonderen Maße die Standorte Baruth und Pommritz. Wie in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt, waren hier beachtliche Sprossbiomassen herangewachsen. Besonders die kräftig entwickelten Bestände mit zusätzlicher Herbst-N-Gabe waren von Blattverlusten betroffen. Diese Situation bot eine gute Gelegenheit, die Empfehlungen des biomasseabhängigen Rapsmoduls im Beratungsprogramm BEFU unter extremen Bedingungen zu überprüfen. Von besonderem Interesse war, wie aus-

sagefähig die vor dem Winter ermittelten Frischmassen unter solchen Bedingungen sind und ob die im Programm hinterlegten pauschalen Zuschläge zur Berücksichtigung erheblicher Blattverluste ausreichen. Zu diesem Zweck wurden die Ergebnisse der N-Steigerungsreihen (optimale Aussaat, mit und ohne Herbst-N-Gabe) der beiden Rapsversuche in Baruth und Pommritz genutzt, um die jahresspezifischen N-Optima abzuleiten. Den Berechnungen liegt ein Stickstoffpreis von einem € je kg N und ein Erlös von 40 €/dt Rapssaat zu Grunde. Für die Ermittlung der Düngeempfehlung wurden die standorttypischen Sollwerte und die in den jeweiligen Prüfgliedern ermittelten  $N_{min}$ -Werte berücksichtigt. Als Ertragsziel für die Berechnung des Düngebedarfs wurde der mittlere Rapsertag dieser Versuchsreihe in den letzten drei Jahren herangezogen. Für den Standort Baruth sind das 45 dt/ha und für Pommritz 55 dt/ha.

Zunächst ist festzustellen, dass der zusätzliche Herbststickstoff auf beiden Standorten die Frischmassebildung und N-Aufnahme begünstigt hatte. Gleichzeitig sind in diesen Prüfgliedern auch die größten Blattverluste durch die Kahlfröste im Februar entstanden. Bei Nutzung der im Herbst ermittelten Frischmassen und unter Einbeziehung pauschaler Auswinterungsverluste liegen die berechneten Empfehlungen deutlich unter den nach Ernte errechneten optimalen N-Aufwendungen. Die Prüfglieder ohne zusätzlichen Herbststickstoff kommen besonders in Pommritz den ermittelten Optima recht nahe. Die Nutzung der im Frühjahr angetroffenen vitalen Rapsfrischmasse wäre in diesem Jahr die günstigste Variante gewesen.

**Tabelle 5: Auswirkung der starken Auswinterungsverluste 2012 auf die Düngungsempfehlung mit BEFU unter Nutzung der vor und nach dem Winter ermittelten grünen Biomasse (Standort Baruth)**

Prüfglied	FM vor Winter kg/m <sup>2</sup>	Blattverluste über Winter %	Verbliebene vitale FM kg/m <sup>2</sup>	optimaler N- Aufwand kg/ha	N-Empfehlung Blattverlust pauschal kg/ha	BEFU FM Frühjahr kg/ha
Aussaat optimal; ohne Herbst-N	2,20	48,7	1,14	206	161	191
Aussaat optimal; mit Herbst-N	4,0	56,0	2,56	194	121	123
Aussaat spät; ohne Herbst-N	2,0	38,0	1,24	194	177	195
Aussaat spät; mit Herbst-N	3,05	41,0	1,8	178	121	161

**Tabelle 6: Auswirkung der starken Auswinterungsverluste 2012 auf die Düngungsempfehlung mit BEFU unter Nutzung der vor und nach dem Winter ermittelten grünen Biomasse (Standort Pommritz)**

Prüfglied	FM vor Winter kg/m <sup>2</sup>	Blattverluste über Winter %	Verbliebene vitale FM kg/m <sup>2</sup>	optimaler N- Aufwand kg/ha	N-Empfehlung Blattverlust pauschal kg/ha	BEFU FM Frühjahr kg/ha
Aussaat optimal ohne Herbst-N	1,6	27,3	1,16	212	190	190
Aussaat optimal; mit Herbst-N	3,2	36,1	2,03	179	129	158
Aussaat spät; ohne Herbst-N	1,4	24,8	1,05	231	200	192
Aussaat spät; mit Herbst-N	2,8	31,5	1,92	231	133	157



## 2.2.2 Operative Düngebedarfsermittlung beim Wintergetreide

### Zur Produktion von Qualitätsweizen

Die Qualitätsweizenerzeugung ist ein festes Standbein in der betriebswirtschaftlichen Planung vieler landwirtschaftlicher Betriebe. Etwa 30 Prozent der Ackerflächen in Sachsen werden mit Weizen bestellt, wovon über 90 Prozent der ausgewählten Sorten dem Qualitätssegment der Stufe A bzw. E zuzuordnen sind. Offensichtlich wird hierbei der Fokus der Landwirte auf die Erzeugung hochwertiger Partien gelegt, die vor allem an Hand des Eiweißgehaltes im Korn bei Einhaltung von anderen Qualitätsparametern in unterschiedliche Kategorien eingeteilt werden. So erfordert das E-Weizen-Segment ein Rohproteingehalt im Korn von 14 Prozent und das A-Weizen Segment ein Rohproteingehalt von 13 Prozent. Diese Auswahl seitens der Betriebe beruht auf den naturräumlichen Gegebenheiten und betriebswirtschaftlichen Überlegungen, die auf dem Abrechnungssystem der abnehmenden Hand basieren. Problematisch können bei dieser Ausrichtung die möglichen hohen Stickstoffüberhänge sein, welche vor allem in den diluvialen und trockenen Gebieten die Ziele der WRRL konterkarieren können. Daher soll im Nachfolgenden zum einen näher auf die potenziellen naturräumlichen Belastungen hinsichtlich des hohen Stickstoffeinsatzes und zum anderen auf die ökonomischen Rahmenbedingungen eingegangen werden.

Um eine entsprechende Qualitätsstufe zu erreichen, sind entsprechende Anpassungen in der Intensität des Betriebsmitteleinsatzes notwendig. Wichtige Kriterien dabei sind die Auswahl geeigneter Sorten, die Einstellung des Düngungsniveaus und eine geeignete Fungizidstrategie. Wie bereits erwähnt, dient vor allem der Rohproteingehalt in der TM zur Einstufung des Weizens in die verschiedenen Segmente. Dieser ist vor allem für die Backeigenschaften des Weizens entscheidend und beeinflusst maßgeblich sowohl den Feuchtkleberanteil als auch den Sedimentationswert des Weizenmehls.

Essentiell ist neben der Sortenwahl zur Herstellung qualitativ hochwertigen Weizens die Düngungsstrategie. Versuchsergebnisse aus den letzten Jahren belegen, dass sich der Rohproteingehalt im Korn mit Steigerung der späten N-Gaben eindeutig steigern lässt. Untersuchungen aus den Jahren 2000 bis 2008 ergaben, dass für den Standort Nossen bei der A-Weizensorte Elvis zur Anhebung des Rohproteingehaltes um 2,2 Prozent im Vergleich zur mit zwei N-Gaben gedüngten Variante die Applikation von 80 kg N/ha zur 3. N-Gabe notwendig war (Tabelle 7).

**Tabelle 7: Einfluss der Qualitätsgabe auf Ertrag und Rohproteingehalt im Mittel der Jahre 2000 bis 2008 auf einem Löss-Standort**

1. Gabe [kg N/ha]	2. Gabe [kgN/ha]	3. Gabe [kgN/ha]	Ertrag [dt/ha]	RP [%]	Düngung [kgN/ha]	Entzug [kg N/ha]	Saldo [kg N/ha]
0	0	0	56	9,6	0	87	-81
56	49	0	86	11,4	105	147	-42
56	49	20	88	12,2	125	161	-36
56	49	40	90	13,0	145	176	-31
56	49	60	90	13,3	165	180	-15
56	49	80	90	13,6	185	185	0

Ähnliche Ergebnisse wurden auch für den Verwitterungsstandort in Christgrün festgestellt (Tabelle 8). Allerdings konnte hier mit der gleichen Stickstoffmenge der Rohproteingehalt im Korn lediglich um 1,7 %, bezogen auf das Prüfglied ohne Qualitätsgabe, angehoben werden.

**Tabelle 8: Einfluss der Qualitätsgabe auf Ertrag und Rohproteingehalt im Mittel der Jahre 2000 bis 2008 auf einem Verwitterungsstandort**

1. Gabe [kg N/ha]	2. Gabe [kg N/ha]	3. Gabe [kg N/ha]	Ertrag [dt/ha]	RP [%]	Düngung [kg N/ha]	Entzug [kg N/ha]	Saldo [t/ha]
0	0	0	53	9,9	0	78	-78
60	43	0	73	11,7	103	126	-23
60	43	20	74	12,8	123	140	-17
60	43	40	73	12,8	143	138	6
60	43	60	75	13,2	163	146	17
60	43	80	75	13,4	183	150	34

Allerdings geht mit der Erhöhung der dritten Stickstoffgabe ein Anstieg des N-Saldos einher. Letzteres ist abhängig von der Ertragshöhe in jedem einzelnen Jahr. In Anbetracht des hohen realisierten Ertragsniveaus verwundert es nicht, dass sich die ermittelten N-Salden auf einem niedrigen Niveau bewegen. Zu bedenken ist jedoch, dass es sich um gemittelte Salden handelt und auf Grund des sehr hohen Ertragsniveaus auch hohe N-Abfuhr realisiert wurden. Anders sieht es allerdings oft unter Praxisbedingungen aus, wo sich die mittleren Werte auf einem höheren Level bewegen dürften. Auch auf den Versuchsstationen führten witterungsbedingte Ertragsausfälle in einzelnen Jahren zu N-Überhängen von bis zu 80 kg N/ha in der höchsten Düngungsstufe.

Gerade auf flachgründigen Standorten ist diese Tatsache häufiger zu beobachten. Die Ertragsvariabilität ist hier viel höher und die Handhabung des N-Managements für den optimalen Ertrag kann schlechter geplant werden. Problematisch ist dies vor allem in den nordsächsischen, diluvial geprägten Landschaften, welche einen geringen Jahresniederschlag aufweisen. In diesem Gebiet ist die Gefahr einer hohen Nitratkonzentration im anfallenden Sickerwasser und die Belastung von Grund- und Oberflächenwasserkörpern groß.

Wie sich die Verhältnisse unter Praxisbedingungen gestalten, soll an einem Beispiel dargestellt werden. Dazu wurde aus dem Pool der Dauertestflächen der Datenbestand zum Winterweizen kritisch überprüft und die im Mittel je Bodenart eingesetzten Stickstoffmengen zusammengetragen (Tabelle 9). Unter Annahme eines realistischen Ertragsniveaus für die D-Standorte von 55 dt/ha bzw. für Lö-Standorte von 90 dt/ha ergibt sich ein mittlerer N-Saldo von etwa 60 kg N/ha bzw. -5 kg N/ha. Diese Werte dürften zwar zwischen den Betrieben in den jeweiligen Regionen stärker differenziert sein, sie belegen allerdings die Gefahr, die von zu hohen N-Qualitätsgaben auf leichteren Standorten ausgeht.

**Tabelle 9: Stickstoffeinsatz im Winterweizen im Mittel der Jahre 2008 bis 2010 auf den sächsischen Dauertestflächen**

Merkmal	AI-Standorte	D-Standorte	Lö-Standorte	V-Standorte
N-Menge [kg N/ha]	171	166	177	164

An dieser Situation lässt sich nur etwas ändern, wenn sich für den Landwirt, der vor allem nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten handelt, die entsprechenden Rahmenbedingungen ändern. So sind in Tabelle 10 die Preisaufschläge zwischen den Qualitätsstufen zusammengestellt. Im Durchschnitt wurde für eine dt E-Weizen über die vergangenen sechs Vermarktungsperioden (vom Einsetzen einer Ernte bis zum Beginn der nächsten) 3,05 €/dt mehr bezahlt als im Vergleich zu einem Futterweizen.

**Tabelle 10: Preisunterschiede zwischen den einzelnen Vermarktungsstufen zwischen 2006 und 2012**

Periode	E – A [€]	E – B [€]	A – B [€]	E – F [€]	A – F [€]	B – F [€]
2006 – 2007	0,45	0,86	0,41	1,10	0,64	0,23
2007 – 2008	0,92	1,85	0,93	2,93	2,01	1,08
2008 – 2009	2,62	3,61	0,98	4,24	1,62	0,64
2009 – 2010	1,39	1,98	0,60	2,26	0,88	0,28
2010 – 2011	1,37	2,69	1,31	4,96	3,58	2,27
2011 – 2012	1,41	2,19	0,77	2,83	1,41	0,64
Ø	1,36	2,20	0,83	3,05	1,69	0,86

Betrachtet man nun diese Ausgangslage mit den Versuchsergebnissen in Christgrün, so ergibt sich für diesen Standort ein ökonomisches Düngungsniveau zur 3. N-Gabe in Höhe von 60 kg N/ha (Tabelle 11). Unterstellt wurden bei dieser beispielhaften Berechnung folgende Preise:

- N = 1,10 €/kg
- P = 2,40 €/kg
- K = 0,90 €/kg
- Futterweizen = 18,31 €/dt (+ die durchschnittlichen Qualitätsabstufungen)

Die Kosten für Phosphor als auch für Kalium sind insofern interessant, weil mit einer erhöhten N-Gabe auch mehr von diesen Nährstoffen abgefahren werden. Bei diesen Berechnungen wurden die durchschnittlichen errechneten Preisspannen als Relation zwischen den Qualitätsstufen mit einbezogen.

Zum gleichen Ergebnis führen die Berechnungen zum Versuchsstandort Nossen. Unter diesen Bedingungen ist es verständlich, wenn Landwirte auf die Produktion möglichst hoher Rohproteingehalte nicht verzichten werden, zumal die dritte N-Gabe unter günstigen Witterungsbedingungen entsprechend ertragserhöhend wirkt.

**Tabelle 11: Einfluss der dritten N-Gabe auf den Erlös auf dem Verwitterungsstandort Christgrün**

3. Gabe	Ertrag	Protein	Preis	Leistung	N-Kosten	N -kostenfreie Leistung	Mehrleistung
[kg N/ha]	[dt/ha]	[%]	[€/dt]	[€/ha]	[€/ha]	[€/ha]	[€/ha]
0	72,8	11,7	18,31	1333	326	1007	0
20	74	12,8	19,17	1419	361	1058	51
40	72,7	12,8	19,17	1395	379	1015	8
60	74,6	13,2	20,00	1493	407	1086	79
80	74,8	13,4	20,00	1497	429	1068	61

Unter dem Gesichtspunkt, dass hohe N-Überhänge die Effizienz des Weizenanbaus belasten und es darüber hinaus zu erhöhter Belastung des Sickerwassers mit Nitrat kommt, muss sich der Landwirt entscheiden, ob und in welchem Umfang eine späte Stickstoffgabe Sinn macht. Nicht notwendig ist sie, wenn

- die Bestände ein niedriges Ertragspotenzial erwarten lassen,
- ertragsschwache Standorte und die Bestände bereits an Trockenstress gelitten haben,
- die N-Versorgung bereits bis zum Ährenschieben reichlich war,
- die N-Nachlieferung hoch war und kein N-Bedarf zum Ährenschieben bis zur Reife angezeigt wurde (z. B. Standorte mit regelmäßiger organischer Düngung),
- die Bestände krank bzw. nicht standfest sind.

Notwendig ist eine späte Stickstoffgabe

- für die Erzeugung von Qualitätsweizen,
- wenn die Bestände einen hohen Ertrag erwarten lassen,
- auf ertragsstarken Standorten mit guter Wasserversorgung,
- wenn die N-Versorgung bis zum Ährenschieben verhalten war,
- bei nicht abgedecktem N-Bedarf zum Ährenschieben bis zur Reife,
- wenn die Bestände gesund und standfest sind.

### Zwischenfazit

Mit einer Steigerung der Qualitätsgabe sinkt die N-Effizienz des eingesetzten Stickstoffs. Die Versuchsauswertungen bezüglich des Stickstoffsaldos zeigen eine steigende Tendenz mit Zunahme der Düngung. In der Praxis sind die geringen Salden, wie sie auf den Versuchstationen erzielt wurden, auf Grund der zumeist geringeren Erträge kaum zu erreichen. Die gegenwärtig bestehenden unflexiblen Qualitätseinstufungen führen dazu, dass die Landwirte die nötigen Rohproteingehalte mit hohen Stickstoffgaben einhalten wollen. Generell steht einer angepassten späten N-Gabe nichts entgegen. Jedoch sollte sie an die jeweiligen Jahres- und Ertragsverhältnisse angepasst sein, um eine hohe N-Effizienz zu erreichen. Ein flexibles Preissystem, welches die Proteingehalte fließend bewertet, würde Rahmenbedingungen schaffen, die das starre, aber bis jetzt noch ökonomisch sinnvolle Handeln der Landwirte durchaus ändern könnte. Zu hinterfragen ist grundsätzlich der Bedarf an eiweißreichem Weizen in der verarbeitenden Industrie bzw. eine stärkere Berücksichtigung des Backvolumens.

### Operative Düngebedarfsermittlung

Typisch für weite Teile in Mitteldeutschland ist, dass nicht nur die niedrigen Bodentemperaturen im Winter die kontinuierliche N-Mineralisation behindern, sondern auch die häufig auftretenden längeren Trockenperioden in der Vegetationszeit. Unter den oft nur kurzzeitigen optimalen Bodenfeuchte- und Temperaturbedingungen kommt es dann zu verstärkter Stickstofffreisetzung. Besondere Beachtung verdienen dabei die tiefgründigen Lössböden, wo neben der jahresspezifischen N-Nachlieferung auch auf Grund der verhaltenen Niederschlagsmengen in tieferen Bodenschichten eingetragener Nitratstickstoff von den Pflanzenbeständen im Verlauf der Vegetation verfügbar wird. Welchen Einfluss dies auf die Ertragsbildung in den einzelnen Jahren haben kann, machen die in Abbildung 26 dargestellten Ergebnisse sichtbar. Dargestellt sind die Erträge ohne Stickstoffdüngung aus 18 Versuchsjahren. Der Grundertrag variierte in dieser Zeit zwischen 46 und 89 dt/ha. Damit war er zum Teil deutlich höher als der düngungsbedingte Mehrertrag. Im Mittel der Jahre betrug er gerade einmal 42 % vom Gesamtertrag und weist mit 4 bis 51 dt/ha sogar eine größere Spannweite als der Er-

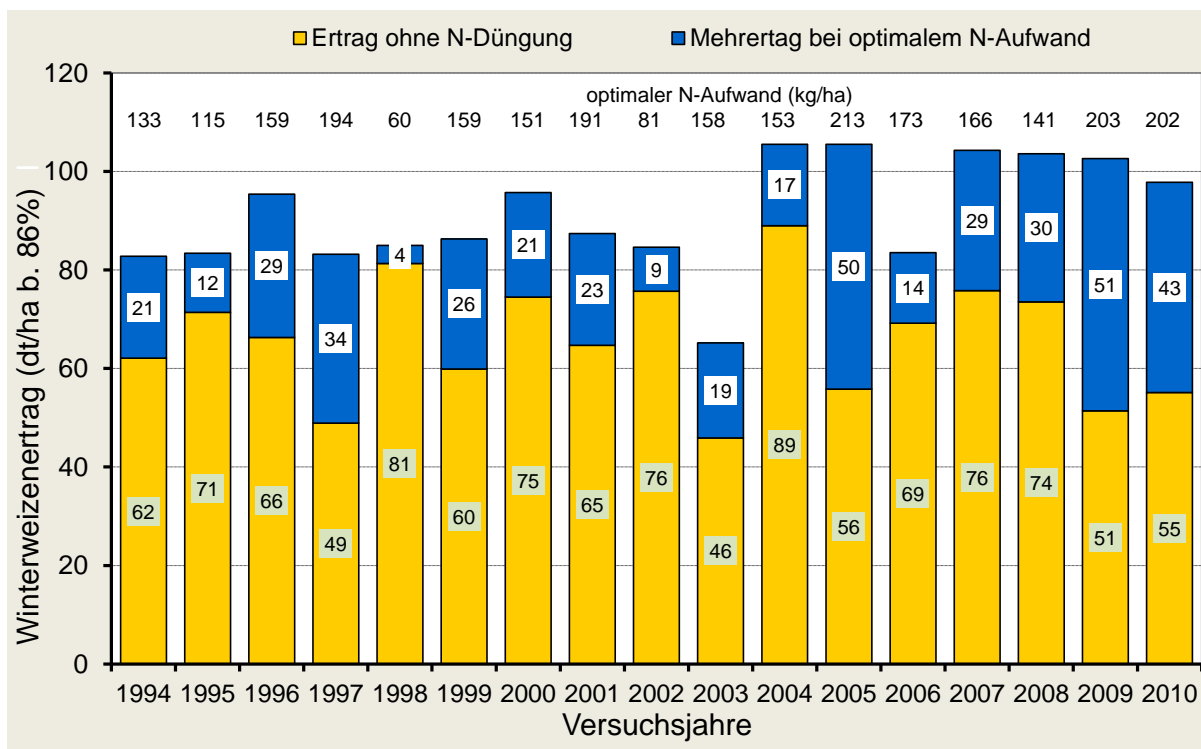
trag ohne Düngung auf. Diese beachtlichen Unterschiede beeinflussten den optimalen Stickstoffaufwand erheblich. Er variierte in den Jahren zwischen 60 und 213 kg N/ha. Diese Ergebnisse weisen deutlich daraufhin, wie notwendig eine den spezifischen Bedingungen angepasste Düngebedarfsermittlung ist.

Während beim Winterraps im Verlauf des Streckungswachstums im April in der Regel die Stickstoffdüngung für das laufende Vegetationsjahr abgeschlossen ist, stellt sich die Situation beim Getreide anders dar. Zum Zeitpunkt der letzten Rapsstickstoffgabe sind die Bodentemperaturen in der Ackerkrume oft noch deutlich unter 10 °C. Die Mineralisation organischer N-Verbindungen im Boden bleibt bis dahin gering und der wahre Umfang der N-Freisetzung in der restlichen Wachstumsphase lässt sich nur schwer kalkulieren.

Beim Getreide kommt die zweite bzw. weitere Teilgabe in eine Zeit verstärkter N-Mineralisation. Darauf muss sich eine effiziente Düngung einstellen. Es ist deshalb ein Ausgleich zwischen dem jeweiligen Bedarf des Bestandes und dem noch vorhandenen Vorrat und dem im Verlauf der weiteren Entwicklung aus dem Boden freigesetzten Stickstoff zu schaffen. Zu vermeiden sind dabei Unter- bzw. Überversorgung, die sowohl mit negativen Ertragseffekten als auch mit einer schlechten N-Ausnutzung mit der Folge von erhöhten Umweltbelastungen verbunden sind.

Beim Getreide ist es deshalb sinnvoll, mit Beginn des Schossens die weitere Düngung unter Beachtung des N-Ernährungszustandes der Pflanzen vorzunehmen. Damit kann noch nicht verbrauchter Düngerstickstoff und der in tieferen Bodenschichten befindliche  $N_{min}$  ausreichend berücksichtigt werden.

Bereits vor mehr als 30 Jahren wurde zur besseren Einschätzung des N-Düngebedarfs ein Pflanzenanalyseverfahren empfohlen. Für die praktische Anwendung erwiesen sich die repräsentative Pflanzenprobenahme und die dann notwendigen Laboranalysen als zu aufwändig. Eine flexible und kurzfristige Bedarfsermittlung lässt sich nur durch entsprechende Schnelltests realisieren.



**Abbildung 26: Grundertrag ohne N-Düngung und Mehrertrag beim optimalen N-Aufwand aus einer langjährigen Versuchsreihe mit Winterweizen auf Löss-Standorten in Sachsen**

Im Rahmen einer Versuchsreihe mit gestaffelter Stickstoffdüngung wurden seit 2001 verschiedene Verfahren der operativen N-Bedarfsermittlung geprüft. Diese Versuchsergebnisse dienten auch dazu, in den Arbeitskreisen diese speziellen Fragen der Bedarfsermittlung zu diskutieren, um langfristig einen effizienten Einsatz von späten N-Gaben im Getreideanbau zu erzielen. Im Fokus steht dabei der Qualitätsweizenbau, der in Sachsen erhebliche Bedeutung hat.

### Material und Methoden

Durchgeführt wird die Versuchsreihe seit 2001 auf zwei Löss-Standorten (Nossen und Pommritz) sowie auf dem Verwitterungsstandort in Forchheim. Die Prüfung der Verfahren der N-Bedarfsermittlung bei Winterweizen ist eingebettet in eine N-Steigerungsreihe. Damit lässt sich abschätzen, inwieweit mit den verschiedenen Verfahren die jahres- und standortspezifischen Optima getroffen werden. Als praktikable Verfahren für die kurzfristige N-Bedarfsermittlung haben sich der Nitrat-Schnelltest und der Einsatz des N-Testers ab Schossbeginn erwiesen.

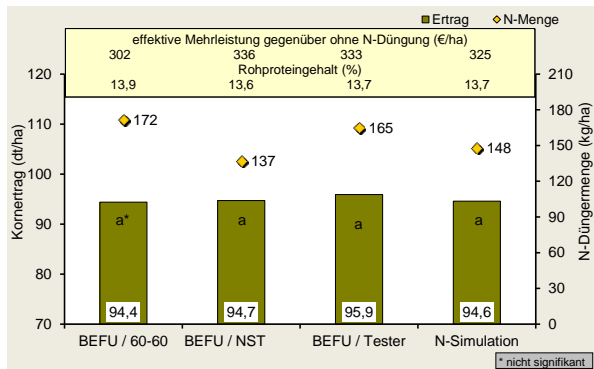
Beide Tests lassen sich direkt auf dem Feld durchführen. Beim Nitratschnelltest wird aus einer repräsentativen Probe über den Schlag oder Schlagteil Pflanzensaft aus dem Halmgrund ausgepresst und mit Nitrat-Indikatorpapier wird auf vorhandenes Nitrat getestet. Die Pflanzen nutzen Nitrat als Reservestickstoff. Der Nitratgehalt korreliert mit dem N-Ernährungszustand des Bestandes.

Der N-Tester ist ein optisches Verfahren. Das Gerät misst die Schwächung eines Lichtimpulses bei der Durchstrahlung von Blättern. Für eine Düngungsempfehlung ist repräsentativ über den Schlag oder Schlagteile verteilt an 30 Pflanzen das jeweils jüngste vollentwickelte Blatt zu messen. Der gemittelte Messwert korreliert mit der Grünfärbung bzw. dem Chlorophyllgehalt der Blätter und diese mit dem N-Ernährungszustand. Die unterschiedliche natürliche Färbung der Sorten wird durch einen Korrekturwert berücksichtigt. Voraussetzung für die Anwendung ist, dass die natürliche Färbung der Blätter nicht durch andere Mangelsymptome (z. B. Schwefel- oder Magnesiummangel) oder Krankheiten beeinflusst ist.

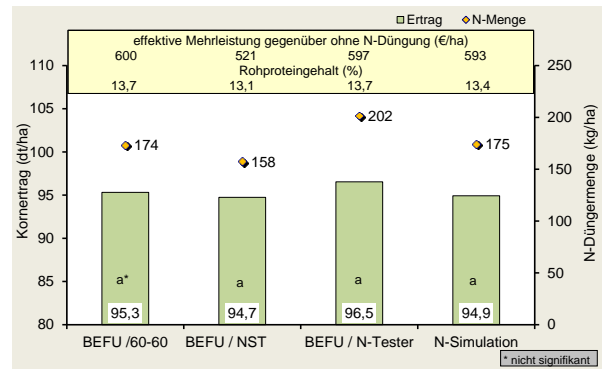
In Ergänzung zu den Schnelltests wurde parallel das Simulationsmodell EXPERT-N geprüft. Mit mathematischen Algorithmen wird die Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze-Witterung abgebildet. Das Modell simuliert die N-Dynamik im Boden und die Entwicklung des Pflanzenbestandes und leitet daraus die Düngermenge und den Düngungszeitpunkt ab. Notwendig sind dafür umfangreiche Parameter für den Boden, Informationen über die Bewirtschaftung und Messwerte für den Wasser- und  $N_{\min}$ -Gehalt zu Beginn der Simulation sowie aktuelle Wetterdaten.

### Ergebnisse

Festzustellen ist, dass auf allen drei Versuchsstandorten im Mittel der Jahre 2001 bis 2011 hohe Weizenerträge realisiert werden konnten. Der Standort Pommritz ist durch eine starke N-Nachlieferung gekennzeichnet. Das reduziert den N-Düngebedarf. Die Rohproteingehalte erreichen im Mittel der Jahre einen für den angebauten A-Weizen hohen Wert relativ unabhängig vom eingesetzten Düngerstickstoff (Abbildung 27). Der hohe Grundertrag ohne Düngung erklärt, warum die effektive Mehrleistung im Vergleich mit dem zweiten Löss-Standort in Nossen wesentlich geringer ist. Mit Hilfe des Nitratschnelltestes wurden im Mittel der Jahre 137 kg N/ha empfohlen. Die beiden übrigen Methoden lagen mit 11 bzw. 28 kg N/ha darüber (Abbildung 27).



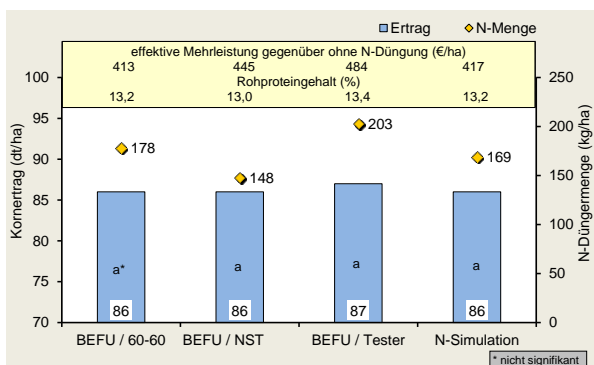
**Abbildung 27: Vergleich unterschiedlicher Verfahren der N-Bedarfsermittlung zu Winterweizen (Mittel der Jahre 2001–2011 in Pommritz)**



**Abbildung 28: Vergleich unterschiedlicher Verfahren der N-Bedarfsermittlung (Mittel der Jahre 2001–2011, Nossen)**

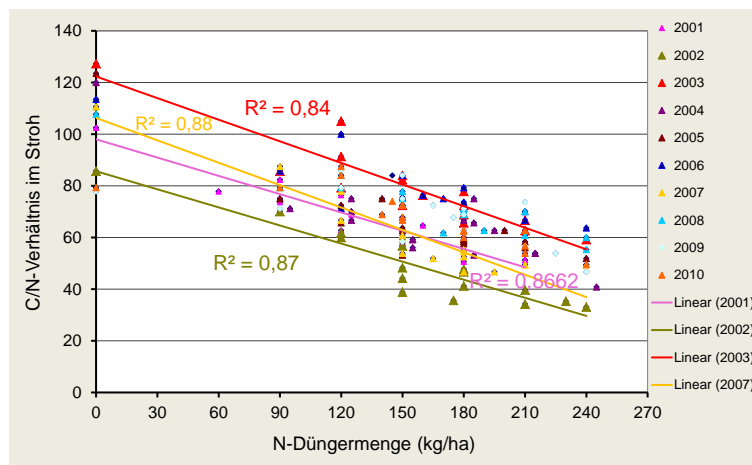
Bei gleichem Ertragsniveau stellen sich die Verhältnisse in Nossen etwas anders dar (Abbildung 28). Der Ertrag ohne N-Düngung war hier deutlich niedriger. Zwischen den verschiedenen Verfahren der operativen Düngebedarfsermittlung gab es auch hier keine signifikanten Unterschiede im Kornenertrag. Die höchsten N-Düngungsempfehlungen lieferten im Mittel der Jahre der N-Tester und die niedrigsten Empfehlungen der Nitratschnelltest. Dabei lagen die Unterschiede in der empfohlenen Stickstoffmenge in einzelnen Jahren zwischen +100 und -10 kg/ha. Der mittlere Rohproteingehalt ist zwar beim N-Tester höher, dies beruht vor allem auf einzelnen Jahren mit sehr hohen N-Gaben. In drei Versuchsjahren konnte mit beiden Tests keine A-Weizenqualität erzielt werden. Ursache war die schlechte Wirkung der späten N-Gabe. Betroffen waren sowohl die trockenen als auch die sehr feuchten Jahre. Die N-Simulation lag in der Regel zwischen den Empfehlungen der Schnelltests.

Auf dem Verwitterungsstandort in Forchheim lag das Ertragsniveau knapp 10 dt/ha unter dem der beiden Lössstandorte (Abbildung 29). Die mit den verschiedenen Verfahren empfohlenen N-Mengen entsprachen in etwa dem, was in Nossen im Mittel der Jahre empfohlen wurde. Bei gleichem Stickstoffeinsatz war der Rohproteingehalt deutlich niedriger. Die für eine A-Weizenqualität geforderten Gehalte konnten nicht in jedem Jahr erzielt werden. Anzumerken ist allerdings, dass zwischen dem realisierten Ertragsniveau und dem im Korn ermittelten Rohproteingehalten nur ein schwacher Zusammenhang ( $r = 0,2$ ) besteht. Die Rohproteingehalte sind immer in den Jahren niedriger, wenn zum Ende des Ährenschiebens bis zur Kornreife besonders hohe Niederschlagsmengen registriert wurden (>250 mm).



**Abbildung 29: Vergleich unterschiedlicher Verfahren der N-Bedarfsermittlung (Mittel der Jahre 2001–2011 Forchheim)**

Der höhere N-Einsatz nach Bestimmung mit dem N-Tester führte nicht nur zu höheren Rohproteingehalten. Er beeinflusste auch den nach der Ernte ermittelten  $N_{\min}$ . Im Mittel der Jahre 2001 bis 2010 waren in diesem Prüfglied 16 kg N/ha mehr ermittelt worden als bei der Bedarfsermittlung mit dem Nitratschnelltest. Dabei deutet sich an, dass die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs in den feuchten Fröhsommern unvollständiger ist. Im Prüfglied mit dem N-Tester finden sich in den Jahren mit niedrigeren Rohproteingehalten auch die höheren Rest- $N_{\min}$ -Mengen ( $r = 0,4$ ).



**Abbildung 30: Einfluss der N-Düngermenge auf das C:N-Verhältnis im Stroh (Forchheim; 10 Versuchsjahre)**

Am Beispiel des Verwitterungsstandortes in Forchheim wird in Abbildung 30 der Einfluss der eingesetzten N-Düngermengen auf das C:N-Verhältnis im Weizenstroh dargestellt. Es wird deutlich, dass ein weites Verhältnis ( $\geq 80:1$ ) vor allem bei suboptimaler N-Düngung vorkommt. Selbst bei dem ungedüngten Prüfglied streut es zwischen den Jahren von 80 bis 120:1. Einfluss nehmen hier sowohl die realisierten Erträge mit den erzielten Rohproteingehalten als auch die jahresspezifische N-Nachlieferung aus dem organischen Bodenstickstoffvorrat. Im Bereich des optimalen N-Aufwandes liegt das C:N-Verhältnis unterhalb von 70:1. Zwischen den Jahren können jedoch Unterschiede im Niveau vorkommen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tabelle 12. Sichtbar wird die enge Beziehung zwischen der eingesetzten N-Düngermenge, dem Ertragsverhalten, den Einfluss auf den Rohproteingehalt und letztendlich auch auf das C:N-Verhältnis im Stroh. Diese Ergebnisse sind ein Beleg dafür, dass bei intensiven Stickstoffeinsatz und langjähriger Strohdüngung im Normalfall kein zusätzlicher N-Ausgleich zur Strohhrotte notwendig ist.

**Tabelle 12: Einfluss der N-Düngermenge auf den Ertrag, den Rohproteingehalt und das C:N-Verhältnis im Stroh in Forchheim (10 Versuchsjahre)**

N-Düngermenge (kg N/ha)	Ertrag (dt/ha bei 86 % TM)	Rohproteingehalt (%)	C:N-Verhältnis im Stroh
0	54,6	10,9	105
88	72,0	13,1	78
118	80,2	12,9	77
148	83,8	13,2	69
178	85,0	13,3	62
238	85,1	13,6	50



### 2.2.3 Injektionsdüngung und Stabilität der Injektionsdepots

In den letzten Jahrzehnten haben in Mitteldeutschland Trockenperioden in dem für die Ertragsbildung der Winterungen wichtigen Zeitabschnitt von April bis Juni deutlich zugenommen. Damit verbunden sind starke Ertragsschwankungen und eine oft schlechte Effizienz des eingesetzten Stickstoffs. Durch Austrocknung des obersten Bereichs der Ackerkrume über längere Zeit kommen feste, oberflächlich ausgebrachte Nährstoffe schlecht zur Wirkung. Als eine Alternative bietet sich die Ausbringung von Düngerlösungen mittels Injektionsgeräten an. Bei Ausbringungstiefen von 8 bis 10 cm ist die Verfügbarkeit derart ausgebrachter Nährstoffe erst nach langanhaltenden Trockenphasen eingeschränkt. Ein weiterer Vorteil der direkten Einbringung von Nährstoffen in den Boden ist, dass die Gefahr des Abschwemmens von Dünger beim Auftreten von Starkniederschlägen deutlich vermindert wird. Ein Vorteil derartiger Verfahren liegt aber auch in der exakten Ausbringung und der Einsparung von Arbeitsgängen.

Nachteil der Injektionsdüngung ist, dass oft die gesamte N-Menge zu Vegetationsbeginn ausgebracht wird, ohne dass während der Vegetation eine Anpassung an die jeweilige Ertragssituation erfolgt. Besonders auf Standorten mit stark wechselnder N-Nachlieferung (z. B. nach organischer Düngung) ist dann die optimale Bemessung des N-Aufwandes schwierig.

Eine erste Auswertung der am LfULG durchgeführten Untersuchungen der Versuchsjahre bis 2010 erfolgte von FARACK & ALBERT (2011). Weil diese Versuchsserie im Rahmen dieses Projektes mit betreut wurde und die insgesamt erzielten Ergebnisse in die Arbeitskreise getragen wurden, soll an dieser Stelle ein zusammenfassender Überblick zu den Versuchsergebnissen der letzten drei Versuchsjahre gegeben werden.

#### Versuche zur Injektionsdüngung auf den Stationen des LfULG

##### Material und Methoden

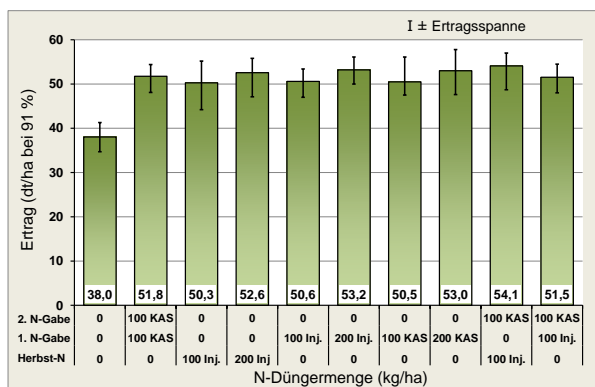
Die sächsischen Untersuchungen zur Injektionsdüngung werden auf drei verschiedenen Standorten durchgeführt. Forchheim im Erzgebirge ist geprägt vom feuchten, kühlen Klima der mittleren Berglagen. Der Gneis-Verwitterungsstandort in 565 m Höhe mit der Bodenart sandiger Lehm erhält im langjährigen Mittel 879 mm Niederschlag. Die Versuchsstandorte in Baruth und Pommritz im Landkreis Bautzen sind durch mäßig trockenes, mäßig warmes Binnenlandklima beeinflusst. Die Niederschlagshöhe auf dem anlehmigen Sandstandort in Baruth beträgt 626 mm. Der Standort Pommritz verfügt über einen tiefgründigen Löss-Lehm. Die Niederschlagssumme liegt bei 698 mm.

An allen drei Standorten werden Injektionsdüngungsversuche mit Winterweizen (Sorte: Türkis) und Winterraps (Sorte: Adriana) durchgeführt; in Baruth außerdem noch ein Versuch mit Wintergerste (Sorte: Lomerit). Für die Injektionsdüngung kam bis Herbst 2009 (Wintergetreide) bzw. Herbst 2010 (Winterraps) der Flüssigdünger Domamon L 26<sup>®</sup> (N-Gehalt 6 % als Ammonium, 14 % als Amid) zum Einsatz. Seit 2011 wird bei allen Injektionsversuchen Ammoniumsulfatlösung (ASL) mit einem N-Gehalt von 8 % als Ammonium verwendet.

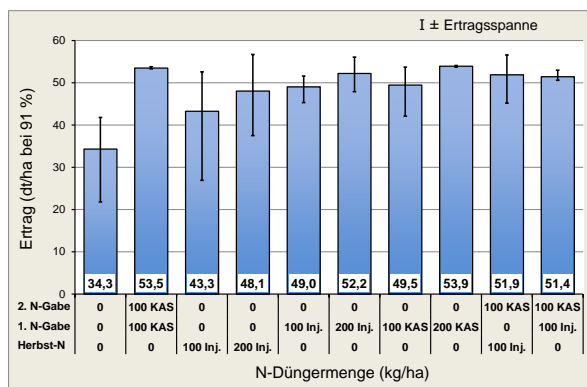
##### Ergebnisse

Beim Winterraps wurden verschiedene Injektionsdüngungstermine sowie Kombinationen aus N-Injektion und Streudüngung geprüft. Als Vergleichsvariante dient die praxisübliche Zweiteilung der Gaben mit Kalkammonsalpeter als Standarddünger. Während in der Praxis oft bereits kurz nach dem Aufgang die Herbstinjektion zu Winterraps vorgenommen wird, erfolgte in den Versuchen die Injektion erst zum Ende der Vegetationsperiode in den letzten Oktoberwochen. Damit sollte ein zu starkes Überwachsen der Bestände vermieden werden.

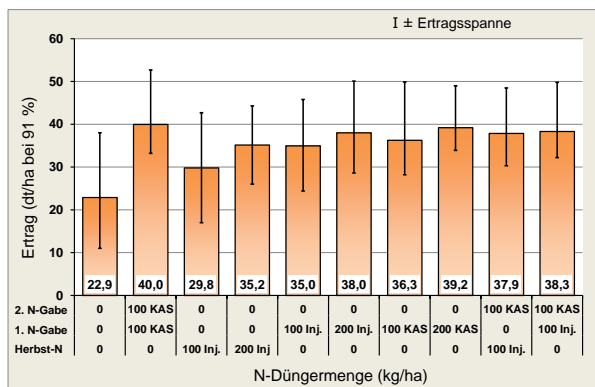
Sowohl im Ertragsniveau als auch in ihrer Reaktion auf die differenzierte N-Applikation unterschieden sich die drei Versuchsstandorte (Abbildung 31 bis Abbildung 33). Dargestellt sind die mittleren Erträge der Jahre 2010 bis 2012. Auf dem fruchtbaren Lö-Standort Pommritz ist bereits der Grundertrag ohne N-Düngung sehr hoch und der Einfluss der variierten N-Düngung gering, sodass es kaum Ertragsunterschiede zwischen den gedüngten Varianten gibt. Auch zwischen den Jahren sind die Ertragsunterschiede marginal. Dass bereits 100 kg N/ha als Herbst- oder Frühjahrsgabe in einzelnen Jahren zum gleichen Ertrag wie beim Einsatz von 200 kg N/ha führten, belegt das beachtliche Nachlieferungs- und Speichervermögen dieses Versuchsbodens. Anders sieht es auf den beiden anderen Standorten aus. Die größte Ertragsdifferenzierung zwischen den Jahren wurde auf dem leichten Standort in Baruth angetroffen. Die Injektion einer Teilgabe bzw. der gesamten N-Menge im Herbst erbrachte niedrigere Erträge als die ausschließliche Frühjahrsdüngung. In Baruth sowie in Forchheim erweisen sich die geteilten bzw. die als erste N-Gabe zusammengefasste Anwendung von KAS als besonders ertragsstabil.



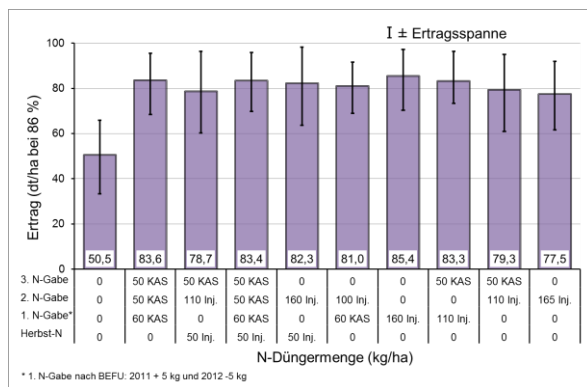
**Abbildung 31: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Rapsenertrag in Pommritz (Ø 2010–2012)**



**Abbildung 32: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Rapsenertrag in Forchheim (Ø 2010–2012)**



**Abbildung 33: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Rapsenertrag in Baruth (Ø 2010–2012)**



**Abbildung 34: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Wintergerstenertrag in Baruth (Ø 2010–2012)**

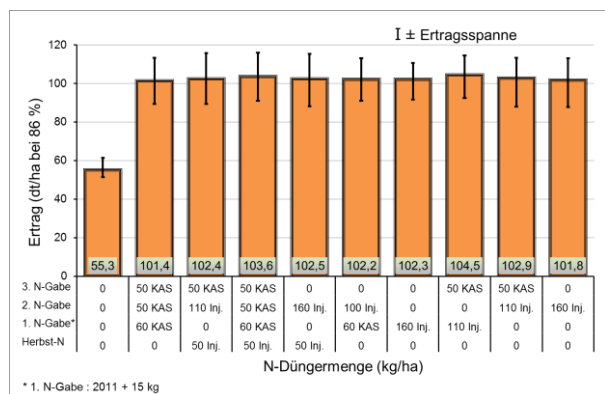
Im Versuch mit Wintergerste wird deutlich, dass die unterschiedliche N-Ausbringung im Mittel der drei Versuchsjahre zu keinen signifikanten Ertragsunterschieden führte (Abbildung 34). In der Tendenz war die Injektionsdüngung bei Zusammenfassung der gesamten N-Menge in einer Gabe zu Vegetationsbeginn im Vergleich

zur dreigeteilten Gabe mit dem Standarddünger leicht im Vorteil. Die ammoniumbetonte Injektionsdüngung zum Beginn des Schossens, wie sie zum Teil empfohlen wird, war auf diesem Standort mit leichtem Ertragsabfall verbunden. Sie erhöhte allerdings den Rohproteingehalt deutlich. Es besteht eine enge Wechselwirkung zwischen dem erzielten Ertrag in den gedüngten Prüfgliedern und den jeweiligen Rohproteingehalten. Der zusätzlich im Herbst eingesetzte Stickstoff brachte keine Ertragsvorteile. Er verschlechterte lediglich die N-Bilanz.

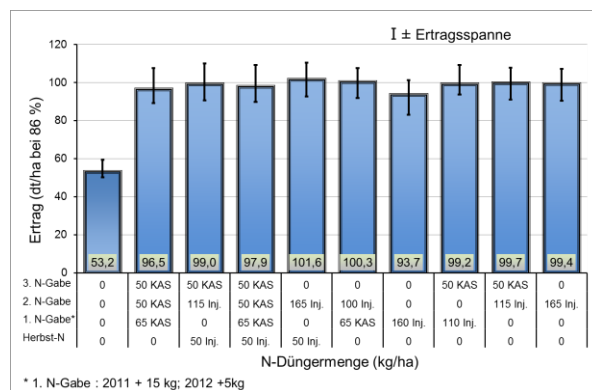
Das Ertragsniveau beim Winterweizen auf den drei Versuchsstandorten wurde stark von der Bodengüte beeinflusst (Abbildung 35 bis Abbildung 37). Auf dem Lö-Standort in Pommritz wurden die höchsten Erträge erzielt. Die variierte N-Applikation bewirkte im Mittel der drei Versuchsjahre keine Ertragsunterschiede. Diesen Ergebnissen zufolge können mit einer N-Injektion zu Vegetationsbeginn vergleichbare Erträge wie mit der Standard-N-Verteilung erreicht werden. Auf den drei Standorten brachte die Injektion zum Schossen gegenüber der zu Vegetationsbeginn keine Ertragsvorteile. Auf dem leichten Boden in Baruth war die zeitweilige N-Unterversorgung zu Beginn der Vegetation sogar mit negativen Auswirkungen auf die Ertragsbildung verbunden.

Von besonderer Bedeutung ist beim Winterweizen die Wirkung der differenzierten N-Düngung auf den Rohproteingehalt. Während 2010 auf allen drei Standorten hohe Werte erzielt wurden, war das im folgenden Jahr bei Weizenenerträgen im Bereich von 105 bis 115 dt/ha in Pommritz und Forchheim nicht der Fall. In Baruth lagen Rohproteingehalte in den gedüngten Prüfgliedern sowohl 2010 als auch 2011 im Bereich von 14 % und damit deutlich über dem für A-Weizen geforderten Betrag.

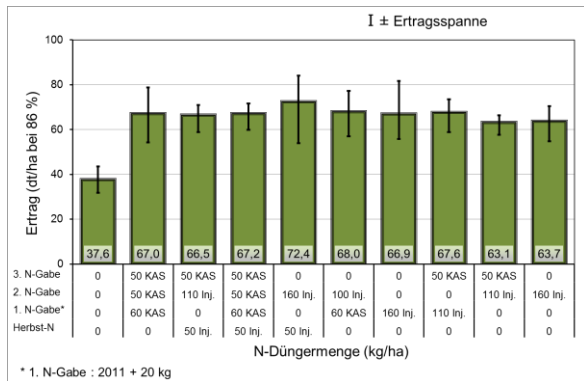
Tendenziell liegen die Rohproteingehalte bei einer einmaligen Injektion zu Vegetationsbeginn auf niedrigerem Niveau als bei der Standarddüngung mit drei N-Gaben als KAS. Bei dem späten Injektionstermin zu EC 31 erreichten die Rohproteingehalte im Vergleich zu der Bezugsvariante sogar etwas höhere Werte. Wie bei der Wintergerste bleiben die Effekte durch den Herbststickstoff sowohl auf dem leichten D-Standort in Baruth als auch auf dem flachgründigen Verwitterungsstandort in Forchheim aus.



**Abbildung 35: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Winterweizenenertrag in Pommritz (Ø 2010–2012)**



**Abbildung 36: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Winterweizenenertrag in Forchheim (Ø 2010–2012)**



**Abbildung 37: Einfluss unterschiedlicher N-Applikation auf den Winterweizenertrag in Baruth (Ø 2010–2012)**

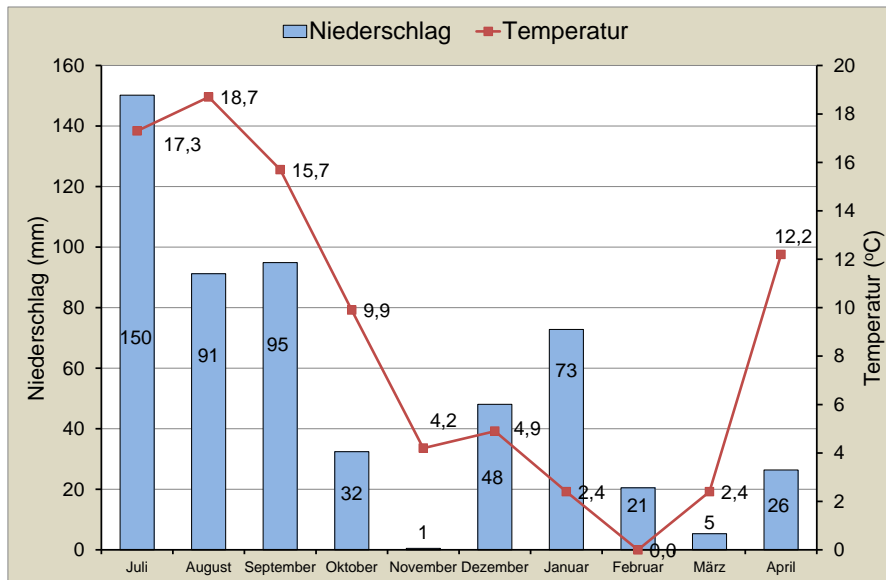
### Untersuchungen zur Depotstabilität nach Injektionsdüngung

Weil häufig in der Praxis die Injektionsdüngung bereits im Herbst eingesetzt wird und zu diesem Zeitpunkt die N-Aufnahme der jungen Winterungen begrenzt ist, stellt sich die Frage nach der Depotstabilität und etwaigen N-Verlusten im Verlauf der vegetationslosen Zeit. Die eher unbefriedigende Wirkung der Herbstinjektion am Standort Baruth lässt Vermutungen in diese Richtung zu. Inwiefern es sich dabei um N-Austräge mit dem anfallenden Sickerwasser handelte, konnte in den bisherigen Versuchsreihen nicht geklärt werden.

### Material und Methoden

Zu diesen Fragen erfolgten deshalb erste Untersuchungen auf der Mikroparzellenanlage in Leipzig. Zur Verfügung standen dafür je zehn Lysimeter mit einem anlehmigem Sand und zehn Lysimeter mit einer Schwarzerde. Hierbei handelt es sich um bereits 1980 mit 1 m schichtgetreu aufgefüllten Böden über einem Kiesbett. Jedes Lysimeter umfasst 1 m<sup>2</sup> Bodenoberfläche. Auf dem anlehmigen Sand wurde zu drei Terminen (31.08.2011, 22.09.2011 und 14.10.2011) der flüssige Dünger ausgebracht. Zum Einsatz kam Ammoniumsulfatlösung (ASL) mit 180 kg N/ha. Auf der Schwarzerde kam am 31.08.2011 die gleiche N-Menge zum Einsatz. Geprüft wurde hier der Einfluss unterschiedlicher Ammoniumlösungen auf die Depotstabilität und mögliche N-Verluste über das Sickerwasser. Neben der ASL mit 8 % N kam eine Harnstoff-Ammoniumsulfatlösung (HAS) mit 25 % N und Ammoniakwasser (NH<sub>4</sub>OH) mit 18,5 % N zum Einsatz. Jedes gedüngte Prüfglied war mit dreifacher Wiederholung angelegt worden. Ohne Düngung blieb dann jeweils nur ein Lysimeter. Als Fruchtart wurde Wintergerste angebaut.

Die Düngerlösungen wurden per Hand ausgebracht. Je Lysimeter bzw. je m<sup>2</sup> kamen in vier Reihen jeweils sieben Depots. Vor der Ausbringung wurden mit einem Metallstab (ein cm Durchmesser) 8 cm tiefe Löcher vorgefertigt. Anschließend wurde die jeweilige N-Lösung mittels Pipette darin ausgebracht. Auf Grund der hohen Sommerniederschläge war zum Zeitpunkt der Injektionsdüngung der Boden der Lysimeter bereits auf Feldkapazität aufgefüllt (Abbildung 38). Zuvor wurde das angefallene Sickerwasser vollständig abgelassen. In ungleichmäßigen Abständen, entsprechend der Niederschlagssituation, wurde das im Unterbau des Lysimeters gesammelte Sickerwasser entnommen und die angefallene Menge ermittelt. Das Wasser wurde auf Ammonium- und Nitratstickstoff untersucht.



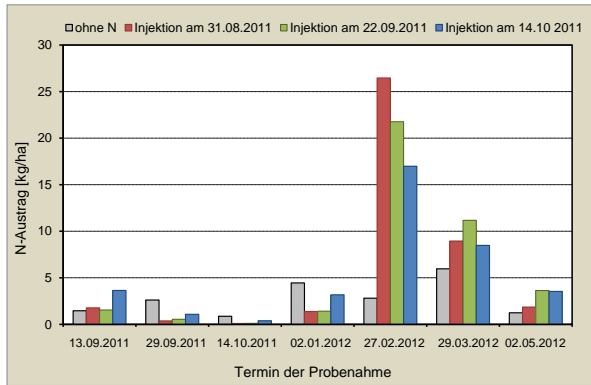
**Abbildung 38: Temperaturverlauf und monatliche Niederschlagssummen im Versuchszeitraum 2011/12**

In Ergänzung zu der Versuchsanlage auf den Lysimetern wurden auf zwei unterschiedlichen Böden (anlehmiger Sand und sandiger Lehm) ebenfalls zu den bereits genannten Terminen und in gleicher Weise Ammoniumsulfatlösung ausgebracht. Die Stabilität der Ammoniumdepots wurde mit entsprechenden Bodenprobenahmen untersucht. Die Probenahme erfolgte mit einem großvolumigen Bodenbohrer ( $\varnothing = 8$  cm) in 15 cm Schichten. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die Injektionslöcher immer im Zentrum des Bohrkerns befanden. Für jede Einzelprobe wurden zwei Bodenkerne vereinigt und intensiv gemischt. Die Proben wurden auf ihren Ammonium- und Nitratgehalt untersucht.

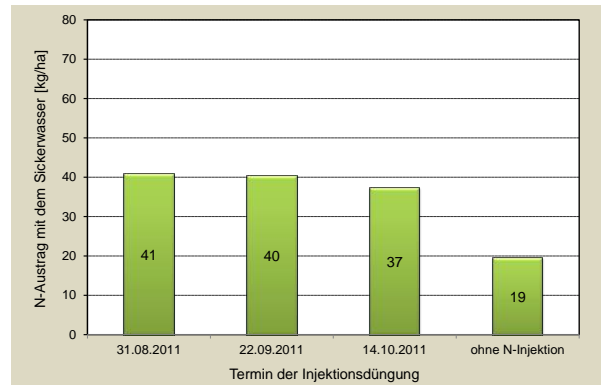
### Ergebnisse

In der Zeit vom 31.08.2011, dem Beginn der Untersuchungen, bis zum Abschluss am 02.05.2012 wurden an der 30 m von der Lysimeteranlage entfernten Wetterstation 299 mm Niederschlag gemessen. Im Mittel aller Lysimeter sind in diesem Zeitabschnitt 208,7 mm Sickerwasser angefallen. Zwischen dem anlehmigen Sand und der Schwarzerde gab es keinen Unterschied. Weil die Böden über den Zeitraum ohne Bewuchs waren, kann die Differenz zwischen Niederschlag und angefallenem Sickerwasser als Evaporation verbucht werden. Im Mittel waren das immerhin 90,3 mm.

Im Sickerwasser fand sich über den gesamten Untersuchungszeitraum im Wesentlichen Nitrat-Stickstoff. Bis Ende des Jahres war der Austrag minimal und die Unterschiede zwischen den Prüfgliedern sind zufälliger Natur (Abbildung 39). Deutlich wird dies an den Werten des Lysimeters ohne Stickstoff. Die Niederschläge im Januar und Februar brachten den ersten deutlichen Stickstoffschub. Ab diesem Zeitpunkt fanden sich auf dem anlehmigen Sand die ersten Spuren von Ammonium im Sickerwasser. Zwischen den einzelnen Prüfgliedern waren die Unterschiede jedoch nicht zu sichern. Insgesamt waren es bis zum letzten Termin der Probenahme gerade einmal 0,5 kg  $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ . In Abbildung 40 sind die im Untersuchungszeitraum mit dem Sickerwasser ausgetragenen N-Mengen dargestellt. Auffällig ist, dass zwischen den einzelnen Injektionsterminen keine wesentlichen Differenzierungen vorhanden sind. Der aus der Injektionsdüngung stammende N-Austrag unterhalb eines Meters betrug dann 18 bis 22 kg N/ha, das entspricht 10 bis 12 % von den ausgebrachten 180 kg  $\text{NH}_4\text{-N/ha}$ .

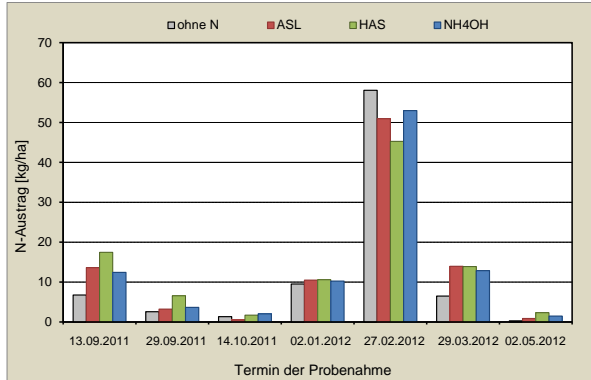


**Abbildung 39: Verlauf des N-Austrags mit dem Sickerwasser (anlehmiger Sand)**

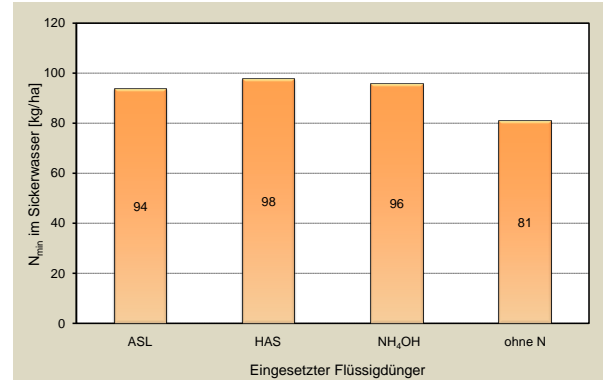


**Abbildung 40: Summe des N-Austrags mit dem Sickerwasser (anlehmiger Sand)**

In Abbildung 41 ist der zeitliche Verlauf des N-Austrags unter den Lysimetern mit der humusreicheren Schwarzerde dargestellt. Er verlief ähnlich wie unter dem sandigen Lehm, der Stickstoffschub zur Probenahme Ende Februar war aber doppelt so groß wie unter dem leichten Boden. Im Mittel aller Lysimeter ergab sich ein Austrag von 95 kg N/ha. Weil das Lysimeter ohne Stickstoffinjektion in der gesamten Untersuchungsperiode niemals außerhalb des Wertebereichs der gedüngten lag, sind die leichten Abweichungen in Abbildung 42 auf die natürlichen Unterschiede der Bodenkerne der zehn Lysimeter zurückzuführen. Letztendlich haben also die unterschiedlichen Ammoniumlösungen in den Injektionsdepots auf der sorptionsstarken Schwarzerde zu keinem erhöhten N-Austrag geführt. Die ermittelten Beträge stammen folglich aus der natürlichen Mineralisation. Der Ammoniumanteil im aufgefangenen Sickerwasser lag im Bereich des Laborfehlers und ist damit vernachlässigbar.



**Abbildung 41: Verlauf des N-Austrags mit dem Sickerwasser in Abhängigkeit von der eingesetzten Ammoniumlösung (Schwarzerde)**



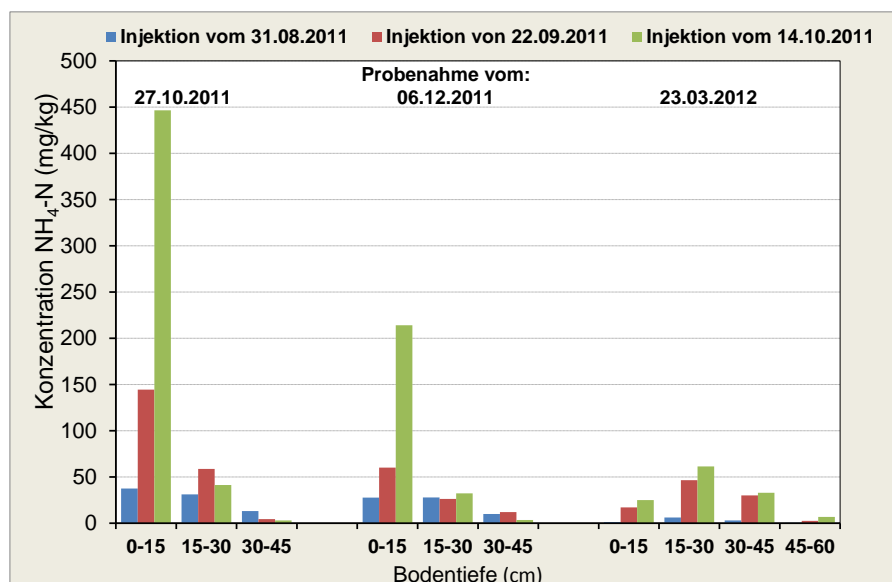
**Abbildung 42: Summe des N-Austrags mit dem Sickerwasser in Abhängigkeit von der eingesetzten Ammoniumlösung (Schwarzerde)**

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf dem anlehmigen Sand der Kastenanlage sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Die erste Beprobung erfolgte jeweils kurz nach der Ammoniuminjektion und umfasste lediglich die oberste Schicht von 0–15 cm Tiefe, also das eigentliche Depot. Die einzelnen Werte sind in der Tabelle nicht wiedergegeben. Sie streuten zwischen 475 und 511 mg/kg Boden.

**Tabelle 13: Konzentration von pflanzenverfügbarem Stickstoff in und unter den Ammoniumdepots auf anlehmigem Sand**

Termin der Probenahme	Bodentiefe	Injektion am 31.08.2011			Injektion am 22.09.2011			Injektion am 14.10.2011		
		NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N mg/kg	N <sub>min</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N mg/kg	N <sub>min</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N mg/kg	N <sub>min</sub>
27.10.11	0-15	17,4	37,5	54,9	13,6	144,4	157,9	4,3	446,5	450,7
	15-30	38,1	31,1	69,1	13,8	58,6	72,4	4,7	41,2	45,9
	30-45	13,1	13,1	17,9	5,3	4,5	9,8	2,0	2,9	4,9
06.12.11	0-15	19,8	27,6	47,4	40,9	60,0	100,9	18,3	214,0	232,3
	15-30	26,7	27,7	54,4	27,9	26,2	54,2	9,1	32,3	41,4
	30-45	13,6	9,9	23,4	16,8	11,9	28,8	3,5	3,5	7,0
23.03.12	0-15	3,2	1,2	4,4	9,8	17,0	26,8	13,1	25,0	38,1
	15-30	7,5	6,1	13,6	8,6	46,4	55,0	9,1	61,4	70,5
	30-45	5,2	3,0	8,1	5,2	30,1	35,2	5,2	32,9	38,1
	45-60	3,8	0,5	4,3	3,2	2,5	5,7	3,8	6,7	10,5

Die unmittelbar nach der Ausbringung gemessene Ammoniumkonzentration im Bereich des Depots wurde zu den späteren Probenahmen nicht mehr wiedergefunden. Die Abnahme der Ammoniumkonzentration ist in Abbildung 43 dargestellt. Es wird sichtbar, dass von den ersten beiden Injektionsterminen bis Anfang Dezember kaum noch Ammonium in den einzelnen Schichten verblieben ist. In dieser Zeit hat der Nitratanteil leicht zugenommen. Auf Grund der Niederschlagsituation sind allerdings bedeutende Verlagerungsprozesse unwahrscheinlich, zumal die mit dem gleichen Boden versehenen Lysimeter dies nicht gezeigt haben.



**Abbildung 43: Veränderung der Ammoniumkonzentration in und unterhalb der Injektionsdepots auf anlehmigen Sand in der Kastenanlage**

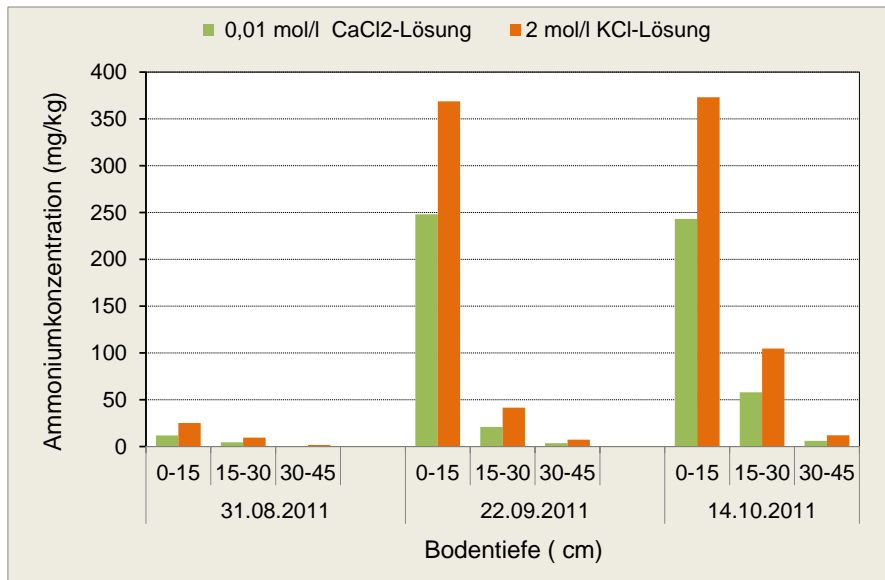
**Tabelle 14: Konzentration von pflanzenverfügbarem Stickstoff in und unter den Ammoniumdepots auf sandigem Lehm zur Probenahme am 23.03.2012**

Termin der Injektion	Bodentiefe	0,01 mol/l CaCl <sub>2</sub> -Lösung			2 mol/l KCl-Lösung			Mehrbetrag NH <sub>4</sub> -N (%)
		NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>min</sub>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>min</sub>	
		mg/kg						
31.08.2011	0-15	78,8	11,8	90,6	79,2	25,1	104,4	47
	15-30	44,2	4,5	48,7	49,2	9,5	59,1	48
	30-45	15,4	0,6	16,0	22,4	1,9	24,1	34
22.09.2011	0-15	49,3	248,2	297,0	52,8	368,7	421,5	67
	15-30	23,4	21,0	44,3	31,8	41,4	73,3	51
	30-45	7,6	3,5	11,1	11,5	7,3	18,9	48
14.10.2011	0-15	21,8	243,1	264,9	26,4	373,1	399,5	65
	15-30	21,0	58,0	78,9	27,2	104,6	131,9	55
	30-45	5,9	6,0	11,9	9,4	12,0	21,4	50

Auf dem sandigen Lehm wurden keine Zwischenbeprobungen vorgenommen. Bei einem mittleren Ausgangswert von 492 mg/kg im Bereich der Injektionsdepots unmittelbar nach der Ausbringung konnten zur Probenahme Ende März die in Tabelle 14 zusammengestellten Gehalte ermittelt werden. Die Abnahme beim Ammonium-N war zwar auch hier vorhanden, aber nicht in dem Maße wie auf dem anlehmigen Sand. Auf Grund der relativ schlechten Wiederfindungsrate der Ausgangsgehalte auf dem anlehmigen Sand wurde neben der routinemäßig für die N<sub>min</sub>-Bestimmung genutzten 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>-Lösung zusätzlich eine 2 mol/l KCl-Lösung eingesetzt. Letztere wurde bereits von BREMNER & KEENEY (1966) für die Erfassung der gesamten Fraktion des pflanzenverfügbaren Stickstoffs empfohlen. Dadurch verbesserte sich die Wiederfindung deutlich und es weist auf eine stärkere Bindung des Ammoniums an den Sorptionskomplex hin. Zu vermuten ist auch, dass zumindest ein Teil des Ammoniums über die Zeit in verarmte Zwischenschichten der Tonminerale eingelagert wurde. Das kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, weil sowohl der anlehmige Sand mit 3,4 mg K<sub>(Cal)</sub>/100g Boden als auch der sandige Lehm mit 4,8 mg K<sub>(Cal)</sub>/100g Boden insgesamt schlecht mit Kalium versorgt waren.

Warum beim ersten Injektionstermin auf dem sandigen Lehmboden der Ammonium-N im Vergleich zu den übrigen Applikationsterminen fast vollständig verschwunden ist, lässt sich nicht klären. Eventuell wurden die Zentren der Depots bei den Probenahmen nicht richtig getroffen. Weil es sich hier um einjährige Resultate handelt, sind allgemeine Schlussfolgerungen noch nicht zu treffen, dazu sind weitere Untersuchungen notwendig. Bei weiteren Untersuchungen sind dann auch unterschiedlich mit Kalium versorgte Böden einzubeziehen. Die geringen Austräge mit dem Sickerwasser selbst unter dem anlehmigen Sand sowie die deutliche Abnahme der Ammoniumkonzentration in den Depots lassen beispielsweise auch vermuten, dass zumindest ein Teil des Ammoniums als gasförmige Verluste aus den Injektionslöchern verbucht werden muss. Von Bedeutung kann dies besonders auf sehr leichten sorptionsschwachen Böden und unter trockenen Ausbringungsbedingungen sein.





**Abbildung 44: Wiederfindung des im Herbst 2011 injizierten Ammonium-N am 23.03.2012 durch unterschiedliche Extraktionsmittel**

#### 2.2.4 Streifenbearbeitung in Verbindung mit platzierter Nährstoffablage

Der Klimawandel ist verbunden mit steigenden Temperaturen. Die Prognosen der verschiedenen Klimamodelle im Hinblick auf die Niederschläge und ihrer Verteilung sind allerdings sehr unsicher. Zu rechnen ist sowohl mit längeren Trockenperioden, was insbesondere in der Hauptvegetationszeit zur Beeinträchtigung der Ertragsbildung führen kann, als auch mit verstärkt auftretenden Starkniederschlägen, die die Gefahr von verstärkter Bodenerosion mit sich bringen. Zukünftig werden deshalb Verfahren der Bodenbearbeitung gebraucht, die einerseits wassersparend sind und ein zügiges Wachstum der Pflanzenbestände ermöglichen, andererseits aber auch den Boden vor Erosion schützen. Als ein in dieser Hinsicht geeignetes Verfahren wird die Streifenbearbeitung angesehen. Es ist ein in Europa noch weitgehend neues Verfahren. Eingesetzt wird es zu Reihenkulturen. Dabei bleibt der überwiegende Flächenanteil zwischen den Pflanzenreihen ohne Bearbeitung. Auf dieser Fläche verbliebene Pflanzenreste sollen den Boden vor Erosion und vor erhöhter Evaporation schützen. Im Bereich der Saatreihe wird die schützende Mulchschicht geräumt und es erfolgt eine Bodenlockerung. In Kombination mit einer Unterfuß- bzw. Unterflurdüngung können so effizienter und verlustärmer Düngemittel eingesetzt werden. Das betrifft sowohl das langfristig knapper und teurer werdende Phosphat als auch die verlustarme Einbringung von flüssigen organischen Düngern in den Boden. Um erste eigene Erfahrungen zu gewinnen, wurde auf der Kastenanlage in Leipzig im Frühjahr 2012 ein diesbezüglicher Modellversuch angelegt.

#### Material und Methoden

Die für den Versuch verwendeten Kastenparzellen mit einer Fläche von 2,9 m<sup>2</sup> waren mit Löss-Lehm gefüllt. Die Makronährstoffe und der pH-Wert des Bodens entsprechen der Gehaltsklasse B. Vermutlich sind auf derart unterversorgten Böden durch Platzierung der Nährstoffe deutliche Effekte zu erzielen. Die Prüfglieder wurden mit dreifacher Wiederholung angelegt. Die Bearbeitung, Ausbringung des Düngers und die Aussaat des Mais erfolgten am 26.04.2012. Weil die Ablage der einzelnen Nährstoffe beim Mineraldünger auch differenziert erfolgen sollte, kamen Ammoniumsulfat und Tripelsuperphosphat und nicht das in der Praxis für die Unterfußdüngung beim Mais zumeist genutzte Diammoniumphosphat zum Einsatz. Die Prüfglieder und die eingesetzten Nährstoffe sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Bei der Gülle handelte es sich um eine trocken-substanzreiche Schweinegülle (TS = 11,1 %). Der Temperaturverlauf und die Niederschlagsituation waren für das Maiswachstum günstig. So wurden in der Zeit zwischen Aussaat und Ernte 227 mm Niederschlag registriert.

**Tabelle 15: Prüfglieder und eingesetzte Nährstoffe**

Prüfglied	Maßnahme	Ausgebrachte N-Menge (kg/ha)	Gesamt-P (kg/ha)
Ungedüngt	ohne Düngung	0	0
Gülle im Streifen (UFI)	20 m <sup>3</sup> Gülle je ha im bearbeiteten Streifen 20 cm tief abgelegt	78 (NH <sub>4</sub> -N) 136 (N <sub>t</sub> )	50
Gülle „oben“	20 m <sup>3</sup> Gülle/ha gleichmäßig auf dem Boden verteilt und eingearbeitet	78 (NH <sub>4</sub> -N) 136 (N <sub>t</sub> )	50
N + P im Streifen (UFI)	Ammoniumsulfat und Tripelsuperphosphat im bearbeiteten Streifen abgelegt	60	30
N + P „oben“	Ammoniumsulfat und Tripelsuperphosphat auf dem Boden gleichmäßig verteilt	60	30
N „oben“; P im Streifen (UFI)	Ammoniumsulfat auf dem Boden gleichmäßig verteilt, Tripelsuperphosphat im bearbeiteten Streifen	60	30
N im Streifen (UFI); ohne P	Ammoniumsulfat im bearbeiteten Streifen abgelegt	60	0

Die Streifenbearbeitung erfolgte bis in einer Tiefe von 20 cm in einer Breite von 15 cm in den jeweils zwei Reihen je Kasten. Die Ablage der Gülle bzw. der Mineraldünger ist beispielhaft der Abbildung 45 zu entnehmen. In den jeweils zwei Reihen je Kasten mit einem Abstand von 60 cm wurden insgesamt 36 Maiskörner ausgelegt. Weil die Pflanzenzahl je Parzelle zur Ernte zwischen 29 und 34 variierte, wurde für die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse ein mittlerer Einzelpflanzenenertrag je Kastenparzelle entsprechend der gewachsenen Pflanzen ermittelt und dann einheitlich auf 100.000 Pflanzen je ha hochgerechnet. Geerntet wurde der Mais am 27.07.2012 als Grünmais. Um zu erfahren, welchen Einfluss die Streifenbearbeitung auf die Maisentwicklung hat, wurde auf einer zusätzlichen Kastenparzelle eine Maisreihe gelockert und die andere blieb unbearbeitet. Hier erfolgte keine Düngung. Zielstellung dieses Modellversuches war es, den Einfluss unterschiedlich abgelegter Nährstoffe bei Streifenbearbeitung auf das Spross- und das Wurzelwachstum zu prüfen.



**Abbildung 45: Beispielhafte Darstellung der Unterflurausbringung von Gülle bzw. Mineraldünger**

### Versuchsergebnisse des Modellversuchs

Auf der zusätzlich angelegten Kastenparzelle mit und ohne bearbeiteten Streifen zeigte sich der Vorteil der Streifenlockerung bereit kurz nach dem Pflanzenaufgang (Abbildung 46). Die Unterschiede blieben bis zur Ernte erhalten. Bis zu diesem Termin hatten die Maispflanzen auf dem unbearbeiteten Streifen gerade einmal 75% der Trockenmasse der Pflanzen auf dem bearbeiteten Streifen gebildet. Im Hinblick auf die Substanzbildung erwies sich die in 20 cm Tiefe abgelegte Gülle von Beginn an als überlegen (Abbildung 47). Letztendlich erfolgte in diesem Prüfglied die signifikant höchste Trockenmassebildung (Abbildung 48). Damit einher ging die höchste N-Aufnahme (Abbildung 49). Diesbezüglich stand allerdings das Prüfglied mit den mineralischen Düngern im bearbeiteten Streifen in nichts nach. Auffällig war insgesamt die schlechte Wirkung der oberflächlich ausgebrachten Nährstoffe. Für die oberflächlich ausgebrachte Gülle lässt sich durchaus eine Erklärung finden. Die zur Zeit der Ausbringung herrschenden Witterungsbedingungen mit einer Lufttemperatur von rund 20 °C, einer relativen Luftfeuchte von etwa 40% und einer Globalstrahlung von rund 460 W/m<sup>2</sup> begünstigten selbst bei sofortiger oberflächiger Einarbeitung beachtliche Ammoniakverluste. Dass dies in gleicher Weise mit dem NH<sub>4</sub>-N aus dem Ammoniumsulfat geschah, ist eher unwahrscheinlich. Auf Grund des schlechten Kaliumversorgungszustandes kann eine stärkere Bindung des Ammoniums an die Tonminerale und damit eine verminderte Pflanzenverfügbarkeit nicht ausgeschlossen werden (vgl. Kap. 2.2.3).

Die nach der Ernte durchgeführten Wurzeluntersuchungen mittels Profilwandmethode zeigten, dass der Mais das gesamte Bodenprofil bis in 90 cm Tiefe gut erschlossen hatte. Im gelockerten Bodenbereich fanden sich immer die größten Wurzeldichten. Bei gemeinsamer Ablage des mineralischen N- und P-Düngers in 20 cm Tiefe konnten im Bereich dieses Nährstoffdepots deutlich stärkere Wurzelverzweigungen festgestellt werden (Abbildung 50). Wurden die Nährstoffe einzeln bzw. als Gülle in 20 cm Tiefe abgelegt, war das nicht so ausgeprägt.

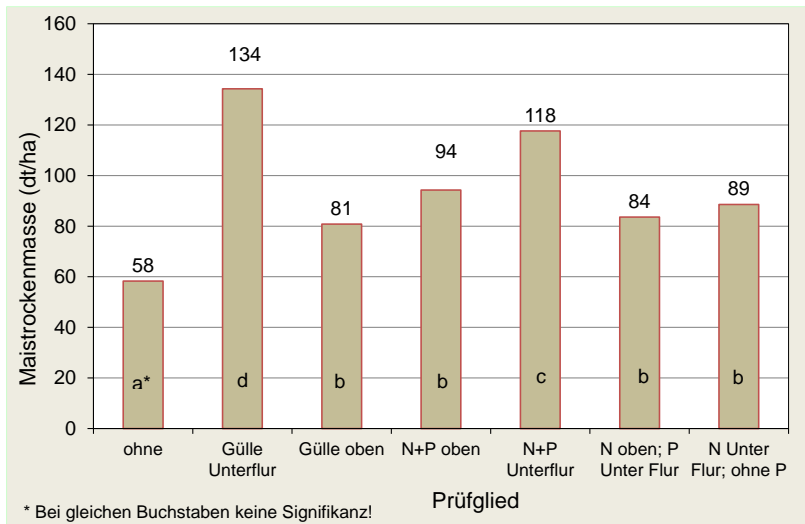
Nach diesen Ergebnissen ist die Gülleausbringung in Kombination mit der Streifenbearbeitung eine günstige Alternative. Dabei steht sicher neben der Minimierung von Ausbringungsverlusten auch die bessere Befahrbarkeit insbesondere unter feuchten Bedingungen im Blickpunkt. Damit erweitert sich auch der Zeithorizont für eine optimale Ausbringung der Gülle.



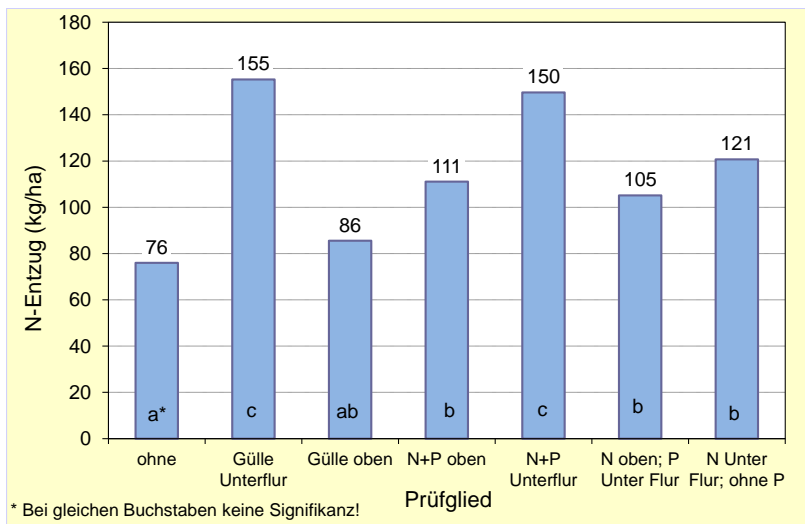
**Abbildung 46: Maispflanzen mit und ohne Streifenbearbeitung im 7-Blattstadium**



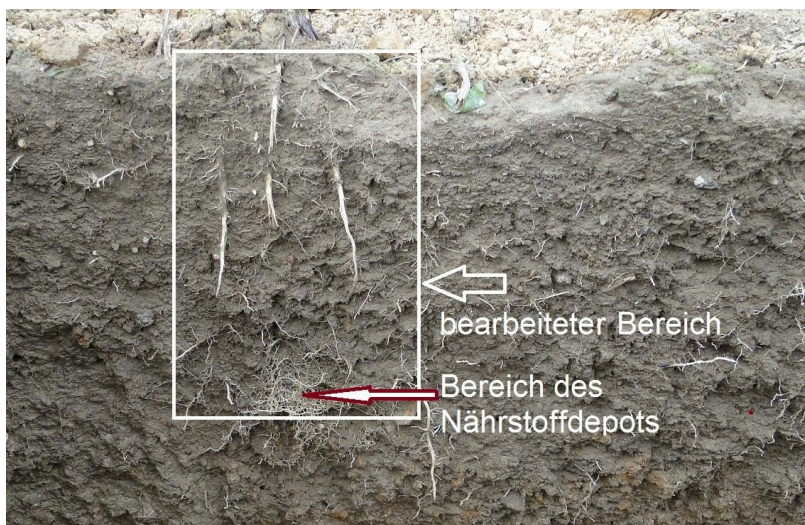
**Abbildung 47: Maisbestand sechs Wochen nach Pflanzenaufgang**



**Abbildung 48: Gebildete Mais-TM in Abhängigkeit von den eingesetzten Nährstoffen und ihrer Platzierung**



**Abbildung 49: N-Entzug durch den Mais in Abhängigkeit von den eingesetzten Nährstoffen und ihrer Platzierung**



**Abbildung 50: Verstärkte Verzweigung der Wurzeln im Bereich des Nährstoffdepots**

## 2.3 Demo-Vorhaben zur Unterstützung der Arbeit der Arbeitskreise 2011 und 2012

### 2.3.1 Winterraps

Einen wesentlichen Schwerpunkt in den Arbeitskreisberatungen spielte die Überführung der in Versuchen gesammelten Erfahrungen zur effizienten Rapsdüngung. Wie bereits beschrieben ist es möglich, mit einer an der Entwicklung des Pflanzenbestandes angepassten Stickstoffdüngung ertragsneutral die hohen Stickstoffüberhänge je nach Jahr zum Teil deutlich zu reduzieren. Dieser Sachverhalt wurde in allen Arbeitskreisen thematisiert. In den Schwerpunktgebieten mit Nitrat im Grundwasser wurde durch Anlage von entsprechenden Demonstrationen dieser Fakt in Form einfacher Streifenanlagen demonstriert. Wichtig dabei war, dieses Thema mit weiteren ackerbaulichen Fragestellungen zu verknüpfen, um so weitere Synergieeffekte in der Zusammenarbeit mit den Landwirten zu nutzen. Bei der praktischen Umsetzung wurden zwei unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. Zum einen wurden neue Saatechniken in Kombination mit einer Unterfußdüngung in einer Tiefe zwischen 5 bis 10 cm genutzt, um durch unterschiedliche Düngermengen differenzierte Pflanzenbestände entwickeln zu lassen. An Hand der bestimmten Biomasse wurden die aufgenommenen Stickstoffmengen in den jeweiligen Varianten ermittelt und mit den Landwirten die sich daraus ergebende Düngungsstrategie diskutiert. Zum anderen wurde auf zwei Feldern die Düngung im Frühjahr nach betriebsüblicher Verfahrensweise bzw. mittels der vom LfULG empfohlenen biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung unter Berücksichtigung der betriebsspezifischen Besonderheiten durchgeführt.

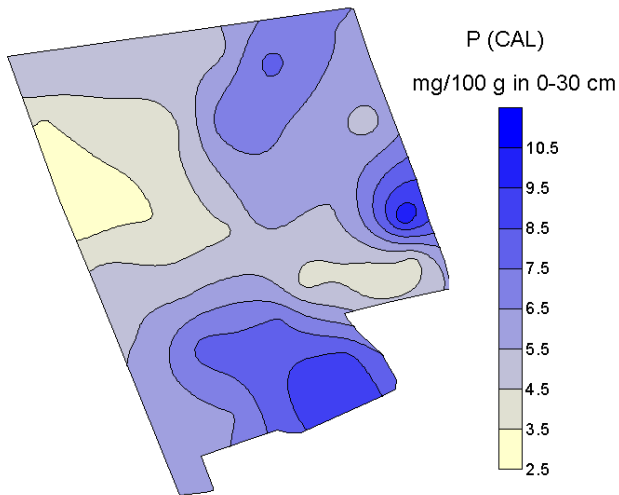
### Bestandesetablierung mit neuen Aussaattechniken zu Winterraps

An drei Standorten wurden neue innovative Sämaschinen mit einer integrierten Unterfußdüngung in Zusammenarbeit mit den beteiligten Landwirten und den jeweiligen Technikherstellern eingesetzt. Ziel der Unterfußdüngung war es, durch geringen Düngereinsatz auch auf schlecht versorgten Ackerflächen optimal entwickelte Pflanzenbestände aufzubauen bzw. mittels Einzelkornablage die Standraumbemessung zu testen. Gleichzeitig konnten durch die in den Prüfgliedern ausgebrachten verschiedenen Düngermengen Rapsbestände etabliert werden, welche in der oberirdischen Biomasse variierten. Auf allen drei Feldern wurde im nächsten Frühjahr der Raps gleich behandelt, um mögliche Einflüsse der Düngeapplikationen vor Winter abzuschätzen.

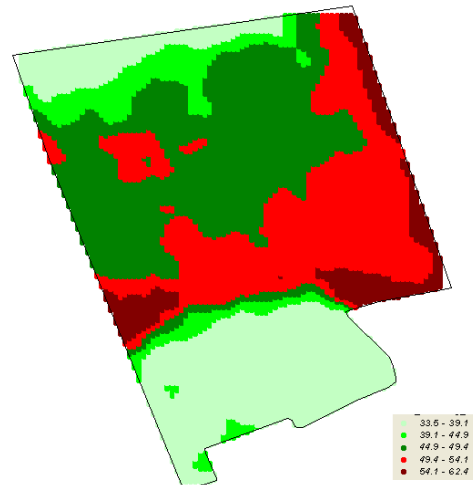
### Staritz

Durch die Lage des Betriebes im Raum Torgau in Elbnähe konnten sowohl ein diluvialer als auch ein alluvialer Standort in die Untersuchungen einbezogen werden. Um Aussagen zur Bodenheterogenität und zur Nährstoffversorgung der beiden Schläge machen zu können, wurden Ergebnisse aus bereits vorhergehenden Untersuchungen und neue zusätzliche aussagefähige Verfahren genutzt. Für den Schlag „Oberweg“ zeigt die Abbildung 51: Unterschiede im P(CAL)-Gehalt auf dem Ackerschlag „Oberweg“ beispielhaft die unterschiedliche Phosphorversorgung in den einzelnen Teilbereichen, Abbildung 52 spiegelt die elektrische Leitfähigkeit wider. Gut zu erkennen sind vor allem gravierende Gradienten in der Phosphorversorgung von einer Mangelversorgung bis hin zu einem Phosphor-Luxusangebot. Gleiches trifft auch auf die elektrische Leitfähigkeit zu.

Ein Vergleich zwischen der elektrischen Leitfähigkeit mit den aus der Ertragskartierung stammenden Daten der Jahre 2005 und 2009, in denen auf diesem Schlag ebenfalls Raps angebaut wurde, lässt einen engen Zusammenhang erkennen (Abbildung 53). Hierbei handelt es sich aber nicht um eine lineare Abhängigkeit. So fallen im Bereich hoher Leitfähigkeit die Erträge wieder ab, was auf Bodenstrukturen bzw. auf jahresspezifische Einflüsse hindeutet. Bei Vorhandensein derartigen Datenmaterials lässt sich gut abschätzen, wie homogen die Demonstrationsstreifenanlage ist und inwieweit vorhandene Unterschiede in der Bodenqualität die später erzielten Ergebnisse beeinflusst haben.

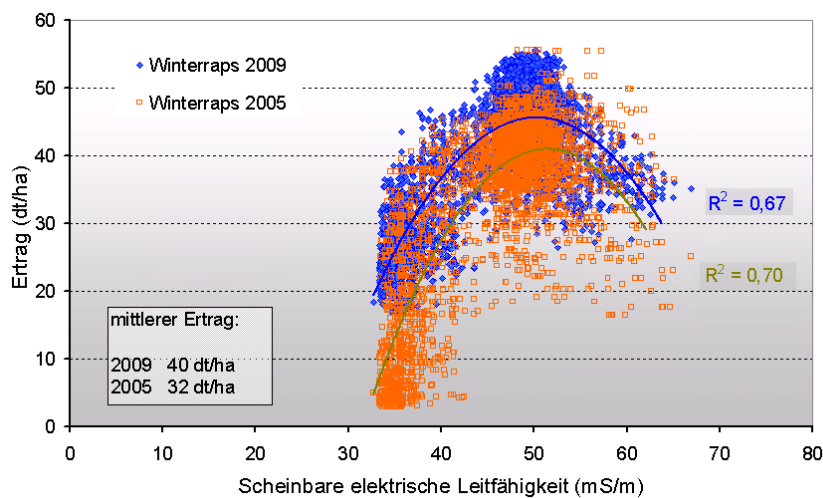


**Abbildung 51: Unterschiede im P(CAL)-Gehalt auf dem Ackerschlag „Oberweg“**



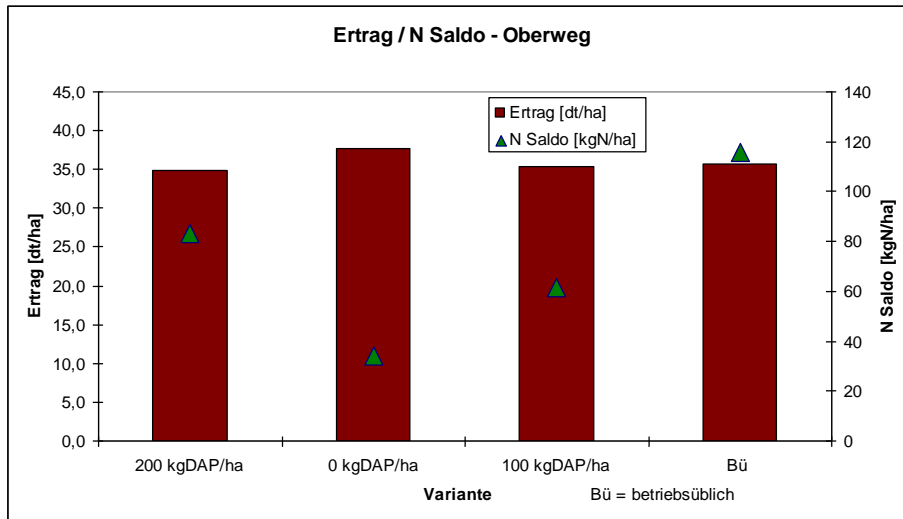
**Abbildung 52: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM38) vom Schlag „Oberweg“**

Für den zweiten Schlag „Chaussee“ war keine ortsspezifische Karte zur Phosphorversorgung vorhanden. Sowohl vorliegende Luftbilder als auch Leitfähigkeitsaufnahmen belegen auch hier beachtliche Inhomogenität. Der Einfluss der eingesetzten Düngermenge auf die gebildeten Biomassen vor Winter war deutlich. Im Vergleich zur ungedüngten Variante fand sich bei den Unterfuß-gedüngten Varianten der eingesetzte Stickstoff in den Beständen weitgehend wieder. Das war bei der Variante mit oberflächiger N-Applikation nicht ganz der Fall.



**Abbildung 53: Beziehung zwischen scheinbarer elektrischer Leitfähigkeit und Ertrag, Schlag „Oberweg“**

Allerdings war die vor Winter gebildete Biomasse letztendlich nicht ausschlaggebend für die Erträge im folgenden Sommer. Ein Grund dafür waren sicher auch die erheblichen Blattverluste durch Kahlfröste im Februar sowie der zu Beginn der Vegetation zu beobachtende Botrytisbefall. Die marginalen und statistisch nicht gesicherten Ertragsunterschiede weisen auf keinen Einfluss der verschiedenen Behandlungen zur Aussaat hin. Die betriebsübliche Variante wurde vor Winter mit  $15 \text{ m}^3/\text{ha}$  Schweinegülle gedüngt, wodurch in etwa  $75 \text{ kg N}_t/\text{ha}$  appliziert wurden. Es zeigt sich eine Ertragsgleichheit für alle Verfahren (Abbildung 54).

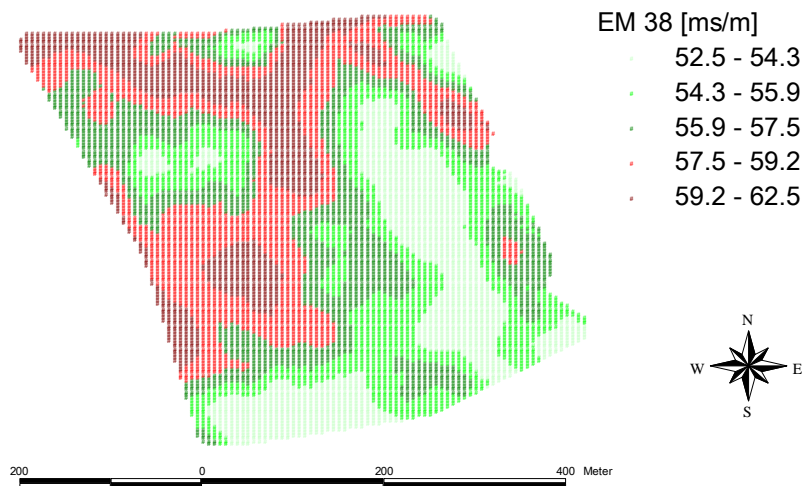


**Abbildung 54: Ertrag und N-Saldo von Winterraps der verschiedenen Düngungsvarianten auf dem Schlag „Oberweg“ in Staritz**

Vor Winter waren die Rapsbestände eindeutig sehr gut und eher zu üppig entwickelt. Im Frühjahr wurden 160 kg N/ha in mineralischer Form ausgebracht. Trotz der starken Auswinterung reichte für diese Demonstration anscheinend diese Menge, um auch ohne Stickstoffgabe vor Winter gleiche Erträge zu erzielen. Denn mit 100 kg N/ha hatte bereits der Raps ohne Herbststickstoff in etwa doppelt so viel Stickstoff aufgenommen wie normal entwickelte Bestände zu diesem Zeitpunkt. Dadurch unterschieden sich die N-Salden gravierend. Wie zu erwarten, hatte die betriebsüblich mit organischem Stickstoff gedüngte Variante den höchsten N-Saldo in Höhe von ca. 115 kg N/ha. Hingegen hatte die im Herbst nicht gedüngte Variante eine Saldo von 35 kg N/ha. Es sei an dieser Stelle aber noch einmal darauf hingewiesen, dass die Salden nicht absolut zu sehen sind, da es sich hier um eine Streifenanlage ohne randomisierte mehrfache Wiederholungen handelt. Als Ergebnis bleibt festzuhalten, dass auch ohne Herbststickstoffgabe auf beiden Rapsschlägen eine ausreichende Vorwinterentwicklung erzielt wurde.

### Ragewitz

Anders als in Staritz wurde an diesem Standort neben der Unterfußdüngung auch die Einzelkornaussaat praktiziert. Um Aussagen zur Bodenheterogenität des zur Verfügung gestellten Ackerschlagel treffen zu können, wurde die elektrische Leitfähigkeitsmessung mittels der EM 38-Technik vorgenommen (Abbildung 55). Aussagen zum Einfluss der Leitfähigkeit auf den Ertrag lassen sich hier allerdings nicht machen, weil keine georeferenzierten Ertragsdaten vorlagen.



**Abbildung 55: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit vom Demo-Schlag in Ragewitz**

Die vor Anlage der Demonstration erfolgte Bodenbeprobung wies für P im Mittel die Gehaltsklasse C bzw. B/C aus. Einzelne Wiederholungen entsprachen für Kalk und Phosphor jedoch der Gehaltsklasse A/B. Das deutet auf bestehende Unterschiede innerhalb des Schlages hin (Tabelle 16).

**Tabelle 16: Ergebnisse der Bodenuntersuchung des Demo-Schlages in Ragewitz (mg/100 g Boden)**

Parameter	Bodentiefe	
	0–30 cm	30–60 cm
pH Wert	6 (B/C)	6,1
P (CAL)	5,1 (B/C)	3,5
K (CAL)	14,4 (C)	10
Mg (CACL <sub>2</sub> )	12,1 (C)	12
N <sub>min</sub> [kg/ha]	36	22
S <sub>min</sub> [kg/ha]	15	10

Die etwaigen Unterschiede in der Bodengüte hatten keinen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung im Herbst. Trotz der späten Aussaat am 05.09.2011 mit einer Einzelkornsämaschine und einem Reihenabstand von 45 cm nahm die Variante ohne Unterfußdüngung noch 60 kg N/ha auf, was einer Normalentwicklung entspricht. Eingesetzt wurden hier 100 bzw. 200 kg DAP/ha, das entspricht einer N- bzw. P-Menge von ca. 20 bzw. 40 kg/ha. In Abbildung 56 sind zusätzlich die im Frühjahr ermittelten N<sub>min</sub>-Werte aus der Bodentiefe von 0–60 cm dargestellt. In den gedüngten Teilflächen fanden sich leicht höhere Werte.

Letztendlich hatte auch auf diesem Standort die Unterfußdüngung keinen Einfluss auf den Ertrag. Es zeigt sich wie in Staritz auch hier ein einheitliches Ertragsniveau mit marginalen Differenzen. Somit konnte auch mit einer zusätzlichen N- bzw. P-Gabe zur Saat kein Mehrertrag erzielt werden. Bei Ertragsgleichheit wies am Ende das nicht im Herbst gedüngte Prüfglied die höchste N-Effizienz und den niedrigsten Saldo mit -35 kg N/ha auf (Abbildung 57).



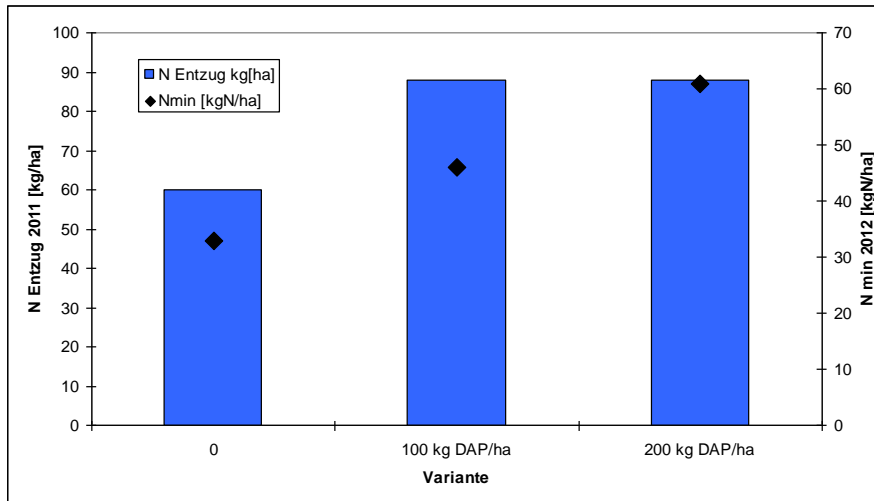


Abbildung 56: N-Entzug im Herbst 2011 und  $N_{\min}$  im Frühjahr 2012 auf dem Demo-Schlag in Ragewitz

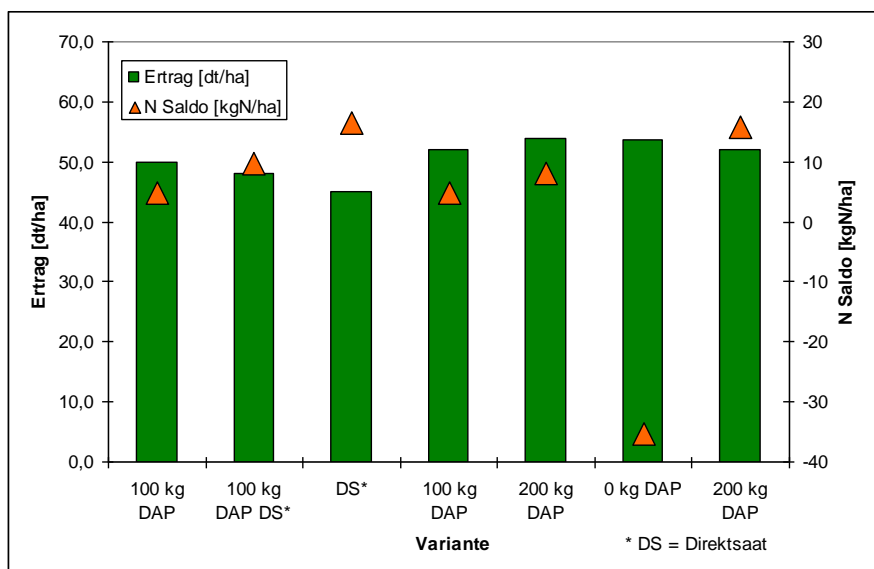


Abbildung 57: Erträge und N-Saldo der einzelnen Prüfglieder in Abhängigkeit von der Düngungsvariante – Ertragsermittlung per Mähdrescher (DS: bei Direktsaat keine Düngung mit der Aussaat)

Ein Vergleich zur betriebsüblichen Aussaattechnik konnte nicht durchgeführt werden. Festgehalten werden muss aber die gute Funktionsfähigkeit der Einzelkornsämaschine EDX aus dem Hause Amazone. Das Saatgut wurde mit Hilfe der Säaggregate exakt platziert und abgelegt sowie rückverfestigt. Ein zügiger und gleichmäßiger Feldaufgang dieser Einzelkornsaat war die Folge. Zusätzlich wurde ein Direktsaatstreifen (DS) angelegt, auf den hier nicht näher eingegangen werden soll.

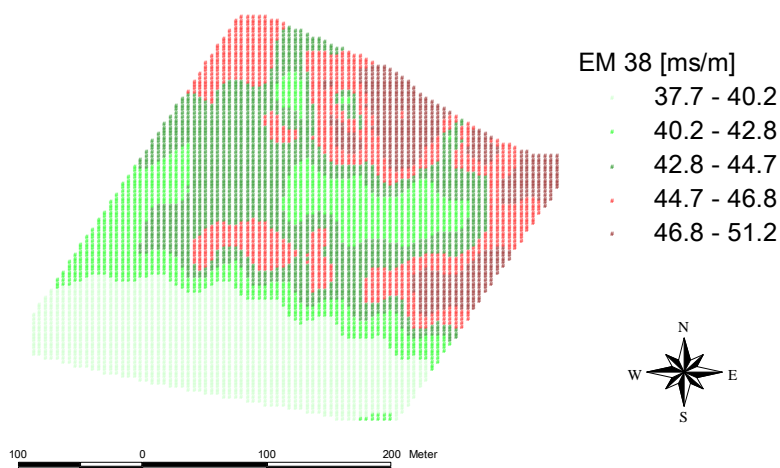
### Weißig

Die zweite Einzelkornsaat mit einer Sämaschine der Firma Kuhn mit einem Reihenabstand von 45 cm wurde in Weißig durchgeführt. Generell funktionierte die Technik sehr gut. Ablagetiefe und Rückverfestigung waren denen der herkömmlichen Sätechnik überlegen. Allerdings gab es bei der Vereinzlung anders als mit der Amazone EDX Probleme auf Grund der Funktionsweise der Maschine. Dieses spiegelt sich auch im subjektiven Eindruck der Längsverteilung der Körner in der Reihe wider. Wiederholt traten sowohl Fehlstellen als auch Doppelbelegungen auf und oft mussten die Vereinzlungsscheiben gereinigt werden, was eine Weiterführung des Säsystems im Betrieb kritisch erscheinen lässt. Nichtsdestotrotz ist in der Abbildung 58 ein gleichmäßiger Rapsbestand in der Jugendentwicklung zu erkennen.

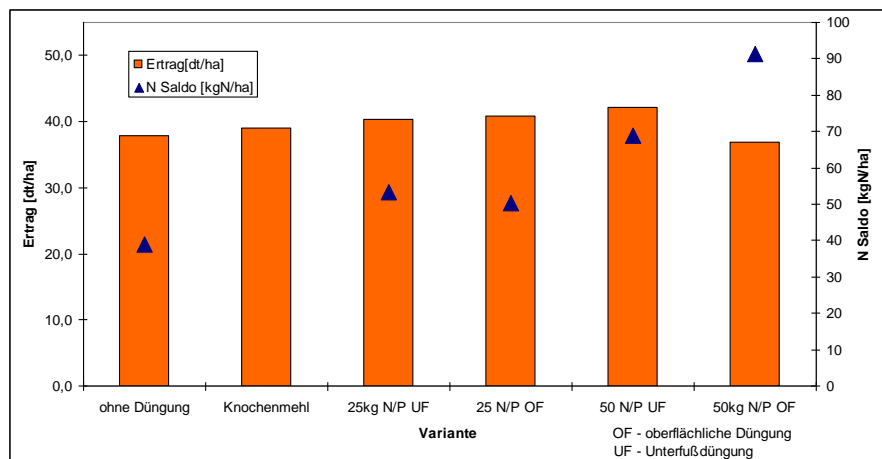


**Abbildung 58: Rapsbestand nach Einzelkornsamt mit 45 cm Reihenabstand in Weißig am 21.09.2011**

Der Demonstrationsschlag in Weißig war vom Verteilungsmuster der Leitfähigkeitsklassen her relativ homogen (Abbildung 59). Gleichmäßig über alle Varianten erstreckten sich die verschiedenen Zonen. Wie auch bei allen anderen Varianten lassen sich aus dieser Streifenanlage nur Tendenzen, aber keine gesicherten Ergebnisse ableiten. Auf Grund des guten Ernährungszustandes des Bodens bei allen Nährstoffen ließen sich keine Ertragsvorteile der Unterfußdüngung gegenüber der Nullvariante erzielen. In der Tendenz waren die im Herbst mit einem N/P/S Düngegemisch gedüngten Parzellen etwas ertragsstärker (Abbildung 60). Die oberflächlich gedüngte Variante (je 50 kg N und P/ha) erbrachte den niedrigsten Ertrag. Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die Erträge in etwa auf einem Niveau befanden und die Herbst-Düngung nur einen minimalen Einfluss hatte. Ein Vergleich der N-Salden lässt die im Herbst nicht mit Stickstoff bedachte Variante mit 40 kg N/ha am besten abschneiden. Auf Grund des geringeren Ertrages und des höheren N-Inputs ist der Saldo der oberflächlich gedüngten Variante mit 90 kg N/ha am schlechtesten (Abbildung 60).



**Abbildung 59: Leitfähigkeit für den Demonstrationsschlag in Weißig**



**Abbildung 60: Ertrag und N Saldo für die Demonstration in Weißig**  
(mit Knochenmehl Ausbringung von je 50 kg N und P/ha)

### Fazit

Bei der Rapsaussaat mit Einzelkorn-Sätechnik einschließlich der Möglichkeit der Unterfußdüngung wurden gemeinsam mit den Landwirten folgende Schwerpunkte herausgearbeitet:

- Mit der Unterfußdüngung konnten sehr gut unterschiedlich entwickelte Rapsbestände im Feld etabliert werden. Bereits kleine Nährstoffmengen fördern die jungen Pflanzenbestände.
- Die Unterfußdüngung und die dadurch verursachte stärkere Vorwinterentwicklung hatten keinen Einfluss auf den Ertrag, weil die von den beteiligten Landwirten bereitgestellten Flächen fast durchgängig Versorgungsstufe C aufwiesen. Anders dürfte es allerdings auf schlecht mit P versorgten Flächen aussehen.
- Es zeigte sich, dass normal entwickelte Bestände vor Winter ein gleiches Ertragsniveau bei einer ausreichenden Düngung im Frühjahr aufweisen wie etwas besser entwickelte Bestände. Die Stickstoffeffizienz der Varianten ohne Herbstdüngung war am besten.
- Die Drillsaatsämaschinen mit Unterfußdüngung arbeiteten sehr gut, wobei der ausgebrachte Dünger von hoher Qualität sein sollte, um eventuellen Verstopfungen vorzubeugen.
- Raps konnte problemlos in einem Reihenabstand von 45 cm mit einer Einzelkornsämaschine gesät werden. Jedoch existieren maschinenabhängige Probleme bei der Saatgutablage auf Grund der durch die Beize entstandenen Verklebungen an den Vereinzlungselementen.

### Biomasseabhängige Rapsdüngung im Frühjahr

#### Lüttewitz

In diesem Betrieb in der Lommatzcher Pflege wurde bereits 2011 die Problematik des Einsatzes von organischen Düngern zu Zuckerrüben bearbeitet. Großes Interesse bestand auch hinsichtlich der biomasseabhängigen Rapsdüngung. Gerade unter den betriebspezifischen Gegebenheiten mit einem Gülleaufkommen von 22.000 m<sup>3</sup> je Jahr spielt die effiziente Verwertung der darin enthaltenen Nährstoffe eine große Rolle. Eine Güllegabe im Herbst zu Raps in Höhe von 15 m<sup>3</sup> stellt eine Standardmaßnahme im Betrieb dar. Unter derartigen Bedingungen ist es wichtig, den im Herbst ausgebrachten und von der Pflanze aufgenommenen Stickstoff im nächsten Frühjahr bei der anstehenden Düngung zu berücksichtigen. Daher wurden, wie aus Tabelle 17 ersichtlich, mehrere Varianten getestet und im Rahmen eines Feldtages den im Arbeitskreis aktiven Landwirten demonstriert. Neben der betriebsüblichen Variante wurden zwei weitere Systeme mit einer Güllegabe im Herbst getestet. In beiden Fällen wurde die gebildete Biomasse im Herbst unter Berücksichtigung der Auswinterung mit in die Düngebedarfsberechnung angerechnet. In einem betriebsüblichen Prüfglied wurde noch zu-

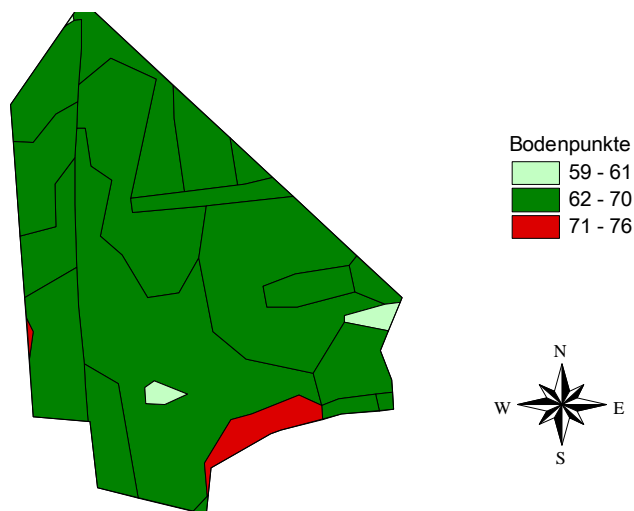
sätzlicher mineralischer Stickstoff vor Winter ausgebracht. Die Gesamtdüngermengen unterschieden sich somit erheblich.

**Tabelle 17: Prüfglieder der Demonstrationsanlage Lüttewitz**

Variante	Herbst N [kg N/ha]	Frühjahr N [kg N/ha]	Gesamt N [kg /ha]
Betriebsüblich	15 m <sup>3</sup> (75 kg N)	175	250
Betriebsüblich/Biomasse	15 m <sup>3</sup> (75 kg N) + 50	110	235
Biomasse	0	195	195
Betriebsüblich/Biomasse	15 m <sup>3</sup> (75 kg N)	135	210

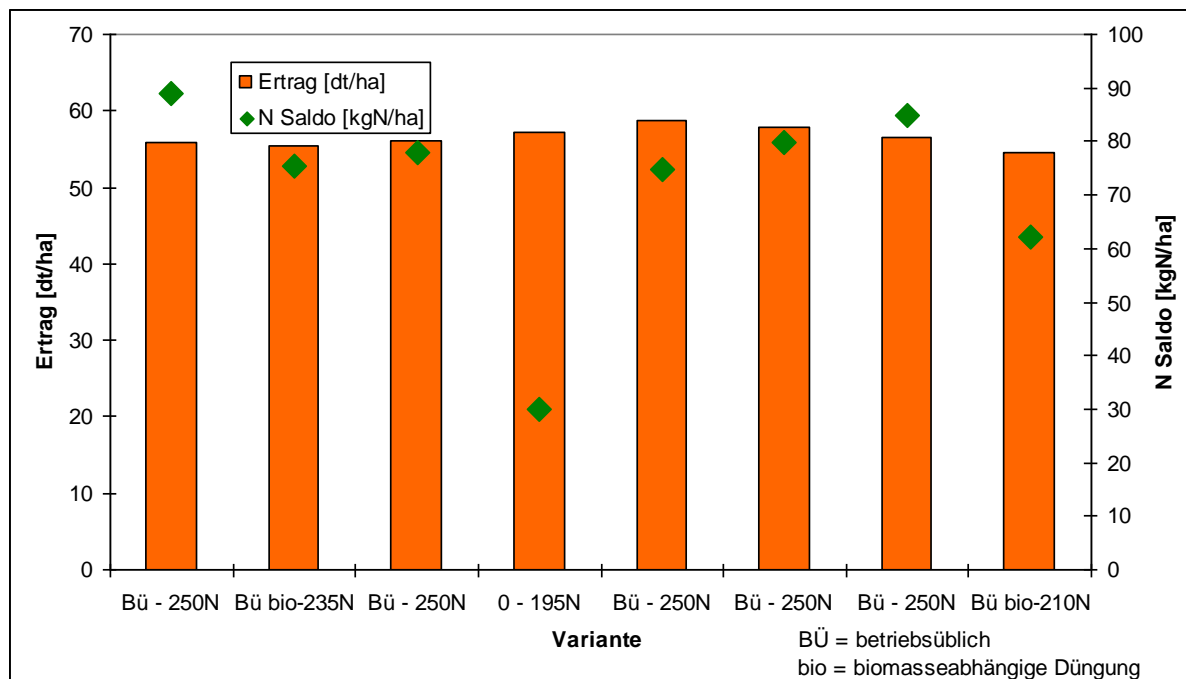
Wie bei jeder Demonstration wurde auch für diesen Schlag versucht, genauere Aussagen über den Standort zu erhalten. Glücklicherweise liegen für diese Region digitalisierte Reichsbodenkarten vor, wodurch eine Aussage über die Bodengüte möglich ist. Im Wesentlichen handelt es sich um einen lehmigen homogenen Lössboden mit einer Bodenpunktzahl von 62 bis 70, der ein relativ hohes und gleichmäßiges Ertragspotenzial über das Feld erwarten lässt (Abbildung 61). Auf Grund der regelmäßigen organischen Düngung und einer regelmäßigen Kalkdüngung befindet sich der Boden in einem optimalen ackerbaulichen Zustand. Darauf deutet auch der im Mittel des Schlages erzielte Rapserttrag für das Jahr 2012 mit über 50 dt/ha hin. Dieses Ergebnis wurde trotz aufgetretener Auswinterungsschäden und einer längere Periode mit Frühsommertrockenheit erzielt.

Aus Abbildung 62 geht hervor, dass sich die Varianten hinsichtlich des Ertrages nur gering unterschieden. In den einzelnen Streifen lagen sie zwischen 54,5 bis 59 dt/ha. Weil die am meisten wiederholte betriebsübliche Variante entsprechende Unterschiede aufwies, kann hier von einem in etwa einheitlichen Ertragsniveau ausgegangen werden.



**Abbildung 61: Reichsbodenschätzung für die Demonstrationsanlage Lüttewitz**

Eindeutig fällt hingegen die Auswertung der N-Salden aus. Es zeigt sich erneut, dass die Variante ohne Stickstoff im Herbst das gleiche Ertragsniveau erzielte (Abbildung 62). Damit ergab sich hier mit weniger als 40 kg/ha der niedrigste N-Saldo. Auch die biomasseabhängige Düngung im Frühjahr führte dazu, dass der N-Saldo bei Einsatz der Gülle im Herbst entsprechend reduziert wurde.



**Abbildung 62: Ertrag und N-Saldo für die Demonstrationsanlage Lüttewitz in Abhängigkeit von der Düngungsvariante**

### Zwenkau

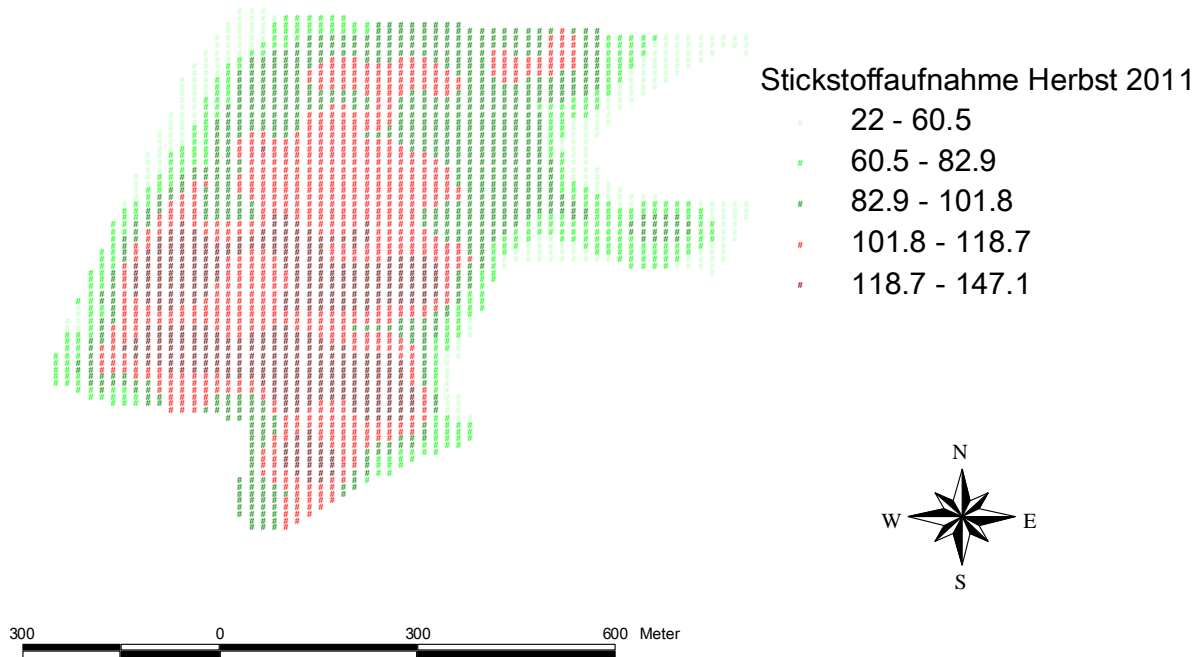
Die Einbeziehung der vor dem Winter gebildeten Biomasse in die Berechnung der Frühjahrsgabe war auch in Zwenkau (Südraum Leipzig) der Arbeitsschwerpunkt. Allerdings standen in dem Betrieb andere technische Möglichkeiten zur Verfügung, die genutzt wurden, um neue interessante Aspekte zur biomasseabhängigen Rapsdüngung in die Arbeit mit den Arbeitskreisen einfließen zu lassen. So wurde hier der Rapsbestand vor Winter mit einem passiven Yara-N-Sensor gescannt und die Stickstoffaufnahme daraus abgeleitet. Zur Überprüfung der erzielten Ergebnisse wurden diese Daten durch eine manuelle georeferenzierte Pflanzenprobenahme verifiziert (vgl. Abbildung 95). Anhand dieser gewonnenen Ergebnisse wurde nach Bestimmung der Auswinterungsschäden und unter Berücksichtigung der  $N_{\min}$ -Gehalte im Frühjahr eine Offsetkarte für die erste Stickstoffgabe erstellt. Dieses Düngungssystem ist relativ neu und wird nur von wenigen Landwirten praktiziert. Üblicher ist die Applikation einer einheitlichen ersten Stickstoffgabe mit einem schwefelhaltigen Dünger, um neben der Stickstoff- auch die Schwefelernährung abzusichern. Dem wurde dadurch Rechnung getragen, dass die Offsetkarte eine Mindestmenge von 50 kg N/ha und 25 kg S/ha sicherstellte. So konnte die Schwefelversorgung abgesichert werden. Der Vergleich zum betriebsüblichen Verfahren wurde somit nicht durch Schwefelmangel beeinträchtigt. Die zweite N-Gabe erfolgte einheitlich mit dem Yara-N-Sensor unter Nutzung des Anwendungsmoduls „Absolute Rapsdüngung“. Anhand der mit dem Sensor bestimmten Biomasse regelt dieser nach Eingabe der Ertragserwartung und dem N-Nachlieferungspotenzial die Stickstoffmenge automatisch (Tabelle 18).

**Tabelle 18: Prüfglieder der Demonstrationsanlage Zwenkau**

Variante	1.Gabe	2.Gabe
betriebsüblich	konstant 80/ha	Yara-N-Sensor
LfULG	Offsetkarte – Biomasse Herbst	Yara N-Sensor

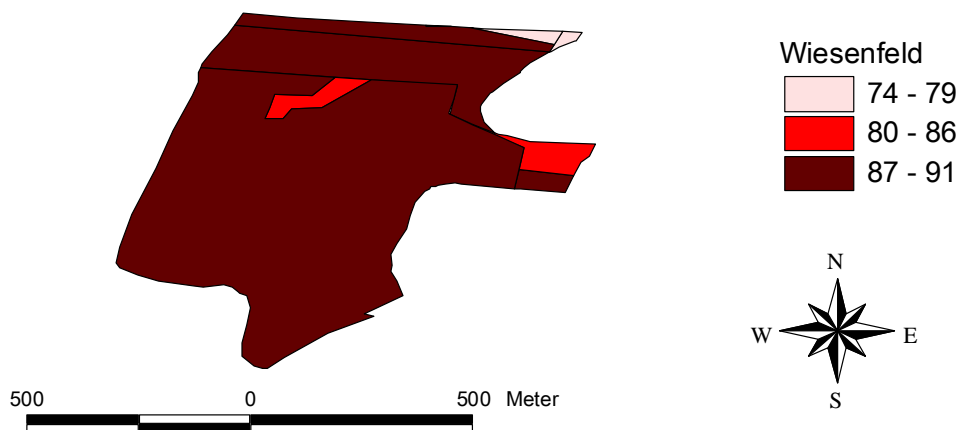
Durch die beschriebene Herangehensweise kam es nur zu einer geringen Differenzierung in der Stickstoffgabhöhe zwischen den Varianten, wodurch die Unterschiede insgesamt sehr gering blieben.

Die aus der Biomassekarte des Yara-N-Sensors unter Zuhilfenahme der im Labor analysierten Pflanzenproben in der Abbildung 63 dargestellte N-Aufnahme lässt erkennen, dass es zum Teil große Unterschiede im Schlag hinsichtlich dieses Parameters gab. Jedoch befanden sich die durch Bodenverdichtung bedingten extrem geringen Werte im Randbereich des Schlages und wurden bei der Auswertung nicht mit einbezogen. Größtenteils hatte der Rapsbestand vor Winter zwischen 85 und 120 kg N/ha aufgenommen, wodurch die sehr gute Entwicklung sichtbar wird. Anders als in weiten Teilen Sachsens kam es am Standort nur zu geringer Auswinterung. Bei der Berechnung für die erste N Gabe nach der Faktorkarte flossen diese Werte nach den Vorgaben zur Düngebedarfsermittlung des LfULG mit ein, jedoch wurde wie bereits beschrieben ein Düngungsminimum von 50 kg N/ha und 25 kg S/ha gesetzt, um die Schwefelversorgung sicherzustellen. Diese Herangehensweise führte dazu, dass die variabel gedüngten Parzellen im Vergleich zu den konstant gestreuten Parzellen im Durchschnitt 10 kg N/ha weniger erhielten. In etwa blieb diese Tendenz auch bei der Betrachtung der gesamt applizierten Stickstoffmenge erhalten.



**Abbildung 63: N-Aufnahme [kg N/ha] im Herbst 2011 – Yara-N-Sensor/Pflanzenanalyse**

Beachtenswert ist die insgesamt applizierte Stickstoffmenge (Abbildung 65). In keiner Variante wurde mehr als 130 kg N/ha gestreut. Der Ertrag lag in jedem Teilstück über 50 dt/ha. Die zum Teil sehr hohen Ertragsunterschiede innerhalb beider Varianten lassen sich nur schwer durch Bodenheterogenität erklären. Ein Blick auf die Reichsbodenkarte attestiert, dass fast der komplette Schlag eine Bodenwertzahl von ca. 90 aufweist (Abbildung 64).

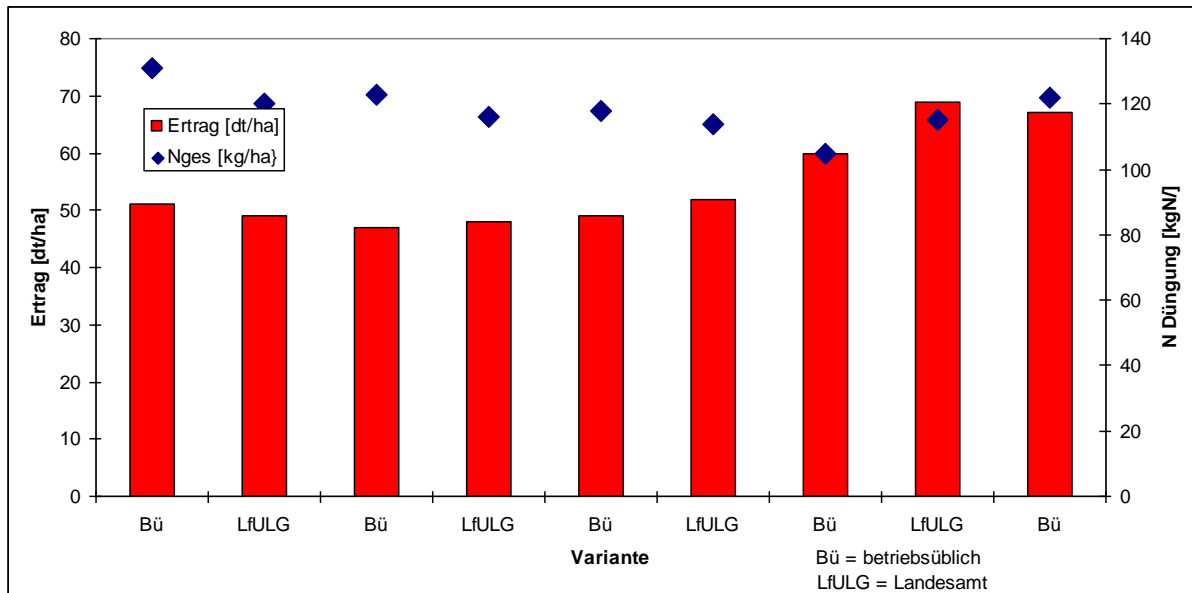


**Abbildung 64: Bodenwertzahl nach Reichsbodenkarte für die Demonstrationsanlage Zwenkau**

Die Ertragsunterschiede beruhen möglicherweise auf einer vorhergehenden unterschiedlichen Bewirtschaftung. Gerade in den drei Streifen mit den höchsten Erträgen (Abbildung 65) wurden in der letzten Dekade je nach Fruchtfolge in Zusammenarbeit mit einem anderen Landwirt Gemüse angebaut. Die unterschiedliche Fruchtfolge mit N-reichen Ernte- und Wurzelresten kann zu einer deutlichen Intensivierung der mikrobiellen Aktivität geführt haben. Aber auch das zwischenzeitlich andere Düngungsregime wirkt auf diesem guten Standort lange Zeit nach.

Wichtig ist aber die Aussage, dass ein sehr hoher Rapserttrag mit maximal 130 kg N/ha durch die Berücksichtigung des vor dem Winter in die Biomasse eingebundenen Stickstoffs erzielt wurde. Auch der Einsatz des Sensors mit dem Rapsmodul zur zweiten N-Gabe hat wesentlich dazu beigetragen. Unterstützend wirkte auch der tiefgründige nährstoffreiche Auenboden mit seiner hohen Wasserhaltefähigkeit.

Weiterhin gilt es noch darauf hinzuweisen, dass die Konzentration bei der Demonstrationsanlage auf wenige Varianten einen Rückschluss auf die Bodenheterogenität und damit auch auf die Aussagefähigkeit der Ergebnisse zuließ. Die durch den Gemüseanbau bedingte Teilung des Schlages führte zu einer Erhöhung des Ertragspotenzials auf diesen Teilflächen. Folgerichtig wäre es trotz vorhergehenden Untersuchungen kaum möglich gewesen, den Einfluss dieser betriebsspezifischen Bewirtschaftung auf den Ertrag zu bestimmen. Das führt bei einer Demonstrationsanlage mit mehreren Prüfgliedern ohne Wiederholungen schnell zu einer gravierenden Ergebnisverzerrung und entsprechenden Fehlinterpretationen. Ein Hauptaugenmerk ist bei der Anlage von entsprechenden Demonstrationen unter Praxisbedingungen auf ausreichende Wiederholung der Prüfglieder zu legen.



**Abbildung 65: Ertrag und eingesetzte N-Düngermenge in der Demonstrationsanlage Zwenkau**

### Fazit

Für beide Demonstrationen konnten den teilnehmenden Landwirten folgende Ergebnisse präsentiert werden:

- Die Vorwinterentwicklung hat einen entscheidenden Einfluss auf die optimale Stickstoffdüngung im Frühjahr.
- Am Standort Lüttewitz führte die unterschiedliche Düngung vor Winter zu Differenzierungen der gebildeten Biomasse. Gleichzeitig konnte dem Betrieb aufgezeigt werden, wie die organische Düngung im Herbst besser bei der Düngplanung zu berücksichtigen ist. Wichtiges Ziel im Betrieb ist eine optimale Anwendung der organischen Dünger, um den darin enthaltenen Stickstoff effizient und kostengünstiger einzusetzen.
- Der Standort bei Zwenkau ließ durch den bereits im Herbst aufgenommenen Stickstoff eine enorme Reduzierung der N-Düngung im Frühjahr zu. Hervorzuheben ist hier die Düngung mit dem Yara-N-Sensor, wodurch zur zweiten N-Gabe auf Grund der abgeschätzten N-Aufnahme durch den Pflanzenbestand sehr viel Stickstoff eingespart wurde.
- Die Biomasseabschätzung mittels Sensor vor Winter ist ein geeignetes Mittel, um die Frühjahrsdüngung sehr gut präzisieren zu können. Im vorliegenden Beispiel bestand ein enger Zusammenhang zwischen der mit dem N-Sensor geschätzten und mit der tatsächlich ermittelten Biomasse

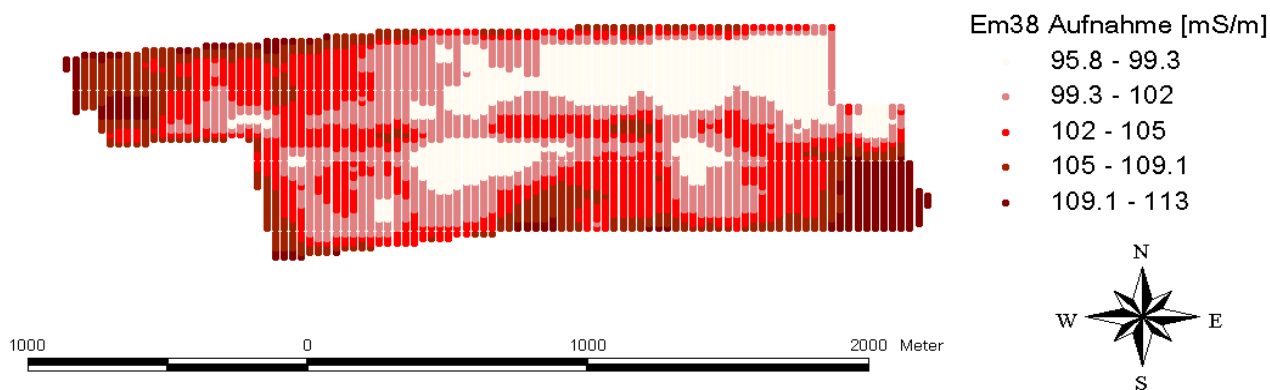
### Demonstration zur Injektionsdüngung

Im Rahmen der Projektarbeit sollte die Injektionsdüngung als ein mögliches Düngungssystem für den sich abzeichnenden Klimawandel in den Arbeitskreisen demonstriert werden. Deshalb wurde ein bereits im Jahr 2010 angelegtes Projekt in Markranstädt (Raum Leipzig) fortgeführt und ein weiteres im Arbeitskreis 1 in Raum Delitzsch im Jahr 2011 neu angelegt. Dabei es im letzteren Fall schon erste Untersuchungen aus dem Jahr 2010 im Rahmen einer Facharbeit.

### Demonstrationsanlage Markranstädt

In Zusammenarbeit mit einem Lohnunternehmen wurde 2010 auf einem ca. 100 ha großen Ackerschlag bei Markranstädt eine Streifenanlage mit Weizenanbau unter Praxisbedingungen angelegt. Das Hauptaugenmerk bei den Untersuchungen lag in dem Vergleich zwischen der Herbstinjektionsdüngung und der Frühjahrsinjektion mit einer ASL-Lösung sowie der betriebsüblichen Düngung mit dem Yara-N-Sensor. Zur Prüfung der Düngerwirkung wurden zusätzlich großflächige Nullparzellen angelegt.



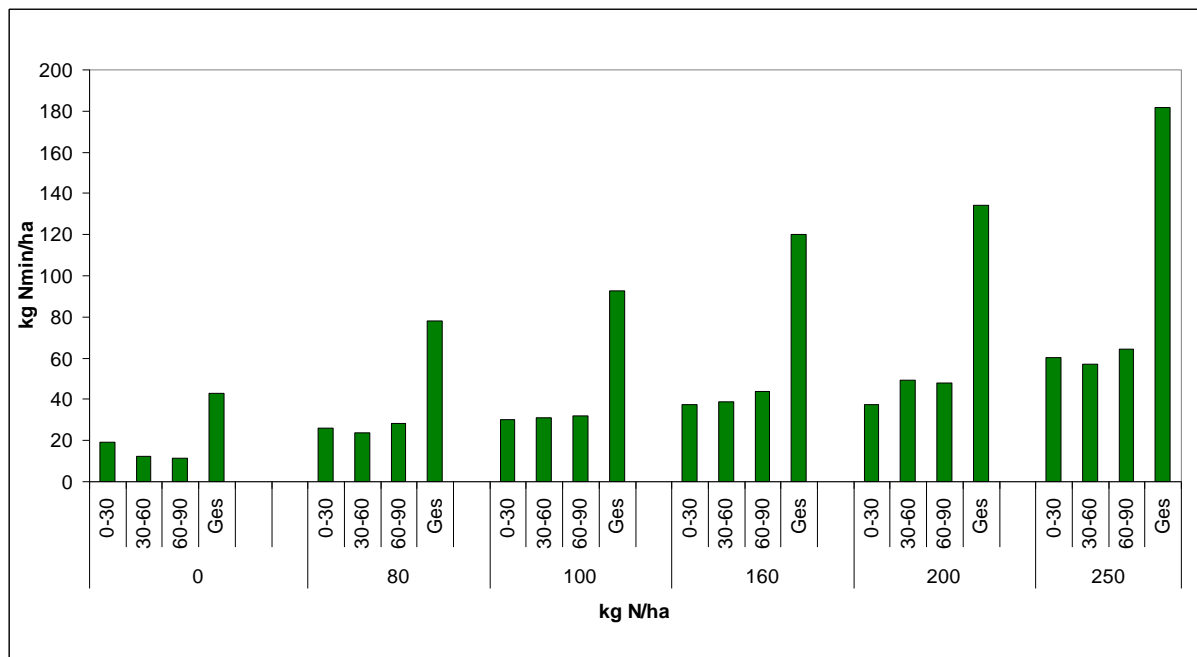


**Abbildung 66: Leifähigkeit für die Demonstrationsanlage Markranstädt 2011**

Bei dem Standort handelt es sich um einen tiefgründigen lehmigen Standort, welcher durch äolische Lösssedimentation während des glazialen Zeitalters entstanden ist. Visuelle Eindrücke während der Bodenprobenahme ließen eine über die Fläche relativ homogene Bodenzusammensetzung erkennen. Die Leitfähigkeitskarte des Schlages (Abbildung 66) weist nur geringe Unterschiede in der Bodengüte auf. Welchen Einfluss diese, wie auch die Inhomogenität der Kalk- und der Magnesiumversorgung auf den Ertrag in den einzelnen Parzellen hatten, lässt sich nur schwer abschätzen. Weil dieses Problem für alle Varianten und deren Wiederholung zutrifft, sind Ergebnisverzerrungen gerade in Bereichen unzureichender Versorgung nicht ausgeschlossen. Insgesamt wurden neun Varianten angelegt. Tabelle 19 gibt einen Überblick zu den Prüfgliedern und zu den eingesetzten Stickstoffmengen. Die Herbstinjektion erfolgte Anfang Oktober 2010 und die Frühjahrsinjektion Anfang März 2011, als die Fahrbarkeit des Bodens bestand. Für die betriebsübliche Variante wurden die für die Region üblichen Düngetermine gewählt, sodass die erste Gabe Ende März 2011, die zweite Gabe Mitte April und die dritte Gabe Anfang Mai mit einem Schleuderstreuer ausgebracht wurden.

**Tabelle 19: Prüfglieder der Demonstrationsanlage Injektionsdüngung zu Raps in Markranstädt**

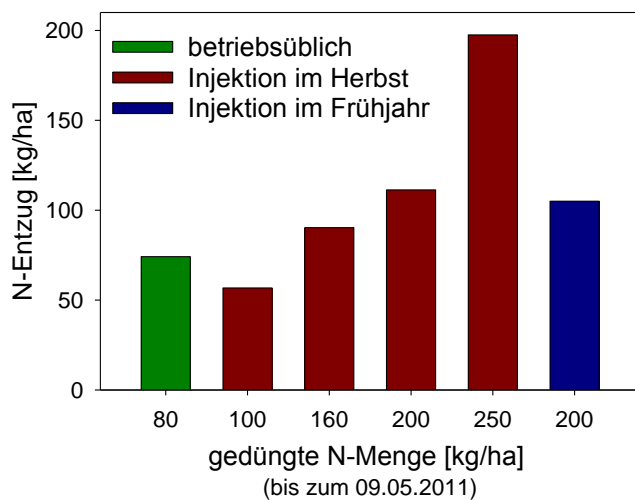
Prüfglied	Applizierte N Menge [ha]	Variante
1	0	Kontrolle
2	140	betriebsüblich
3	80	Herbstinjektion
4	100	Herbstinjektion
5	160	Herbstinjektion
6	200	Herbstinjektion
7	250	Herbstinjektion
8	200	Frühjahrsinjektion
9	250	Frühjahrsinjektion



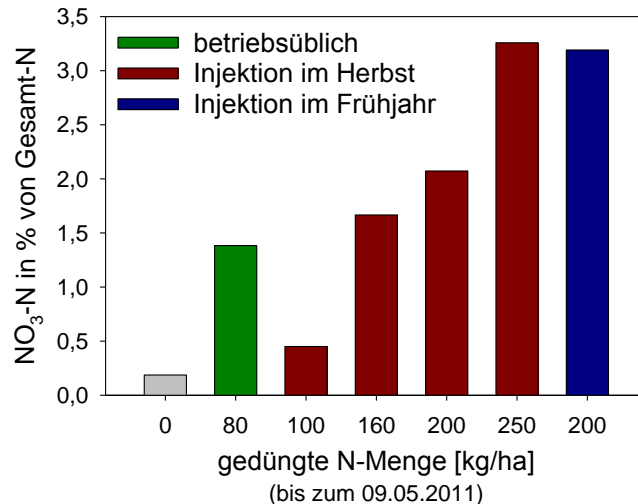
**Abbildung 67:  $N_{\min}$  Werte in Abhängigkeit von der Höhe der Herbst-N-Injektion im Februar 2011 (Markranstädt)**

Noch vor der Injektion der Frühjahrsgabe 2011 erfolgte eine  $N_{\min}$ -Bodenbeprobung. Die Proben wurden bis in eine Tiefe von 90 cm in 30-cm-Schichten entnommen. Es zeigte sich ein enger Zusammenhang zwischen den  $N_{\min}$ -Werten und der im Herbst injizierten N-Düngemenge. Mit 180 kg  $N_{\min}$ /ha wiesen die mit 250 kg N/ha gedüngten Parzellen die höchsten Werte auf (Abbildung 67:  $N_{\min}$  Werte in Abhängigkeit von der Höhe der Herbst-N-Injektion im Februar 2011 (Markranstädt)). Dabei verteilt sich der mineralische Stickstoff, welcher fast ausschließlich aus Nitratstickstoff bestand, gleichmäßig über alle Bodenschichten. Es muss von einer zügigen Nitrifikation des Ammoniums in den Depots und von einer teilweisen Verlagerung des Nitrats über Winter ausgegangen werden. Gleiches berichteten Praktiker, die auf flachgründigen Standorten wirtschaften, wodurch es auf Grund von hohen Winterniederschlägen zu einer geringeren Stickstoffwirkung des im Herbst injizierten Düngers in einzelnen Jahren kam. Auf dem tiefgründigen Standort in Markranstädt ist jedoch eine Verlagerung des Stickstoffes in tiefere Bodenschichten gering, weil der Boden auf Grund der hohen Feldkapazität die Winterniederschläge aufnimmt und unter guten ackerbaulichen Voraussetzungen die Wurzeln der am häufigsten angebauten Kulturarten den in tiefere Schichten verlagerten Stickstoff nutzen können.

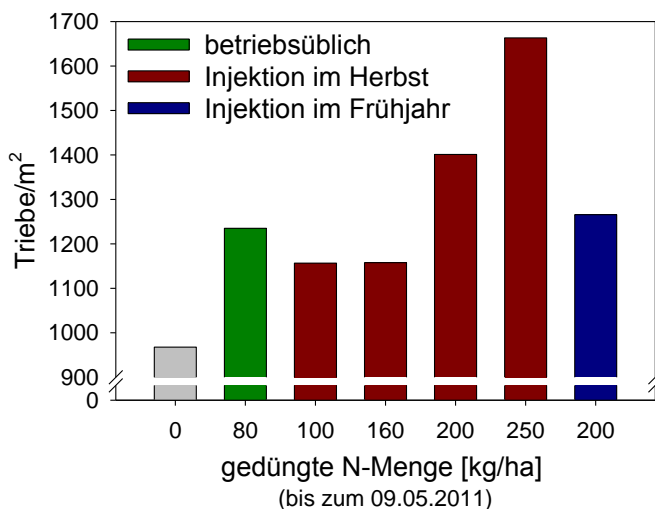
Eine Anfang Mai 2011 durchgeführte Pflanzenprobenahme erbrachte die höchste N-Aufnahme in dem Prüfglied mit 250 kg N/ha Herbstinjektion (Abbildung 68). Interessant ist hierbei auch der Nitratgehalt in den Weizenpflanzen (Abbildung 69). Anders als in vielen Quellen postuliert, stieg mit zunehmender Injektionsmenge des ammoniumhaltigen Düngers auch der Nitratgehalt in den jeweiligen Pflanzen. Das wiederum weist auf eine verstärkte Nitrataufnahme der Pflanze über die Wurzel hin. Eine Umwandlung des Ammoniums in dem Depot hin zu Nitrat durch die Bodenbakterien muss augenscheinlich stattgefunden haben, was auch die Bodenproben belegten, denn die Pflanze wandelt aus physiologischen und energetischen Gründen kein Ammonium zum Nitrat um. Weiterhin weisen höhere Triebzahlen (Abbildung 70) bei hohen Herbstinjektionsgaben zum Teil auch auf eine erhöhte Nitratversorgung im Boden hin. Nitrat als Pflanzennährstoff bewirkt eine höhere Synthese von Cytokininen, welche bestockungsfördernd wirken.



**Abbildung 68: Aufgenommene N-Menge am 09.05.2011**



**Abbildung 69: Nitratgehalt in den Weizenpflanzen am 09.05.2011**



**Abbildung 70: Triebzahl des Weizenbestandes am 09.05.2011**

Auf den späteren Ertrag hatte dieser Bestandesaufbau im Mai 2011 keinen Einfluss. Auch konnte bei einer späteren Auszählung der ährentragenden Halme während der Kornreife keine Differenzierung zwischen den Varianten ermittelt werden. Wie aus Abbildung 71 ersichtlich, gab es kaum (und in keinem Fall statistisch gesicherte) Ertragsunterschiede zwischen den Varianten der hohen Injektionsmengen von 200 bzw. 250 kg N/ha und der mit dem Sensor im Frühjahr gestreuten Variante mit einer Stickstoffgabe in Höhe von 140 kg N/ha. Gut zu erkennen und vom Trend her eindeutig waren die Ergebnisse der Steigerungen der Herbstinjektion von 0 bis 160 kg N/ha. Mit steigender Stickstoffmenge stieg sowohl der Weizenertrag als auch der Rohproteingehalt an. Unter den spezifischen Jahresbedingungen bestätigte sich die Sonderstellung dieser tiefgründigen und sorptionsstarken Böden mit ihrem beachtlichen Haltevermögen an Nährstoffen und Wasser.

Die Rohproteingehalte der Frühjahrsdüngung waren denen der Herbstinjektion überlegen (Abbildung 71). Sie lagen auch über denen der mit dem Yara-N-Sensor gedüngten Varianten. Der N-Sensor hatte jedoch die beste N-Effizienz und den geringsten N-Saldo bei gleichem Ertrag. Bei Verbleib des Stroh und Abfuhr des Korn wurden dem Schlag bei der betriebsüblichen Variante 70 kg N/ha entzogen. Der hohe Ertrag der Nullvariante verdeutlicht das hohe Nachlieferungspotenzial des Feldes.



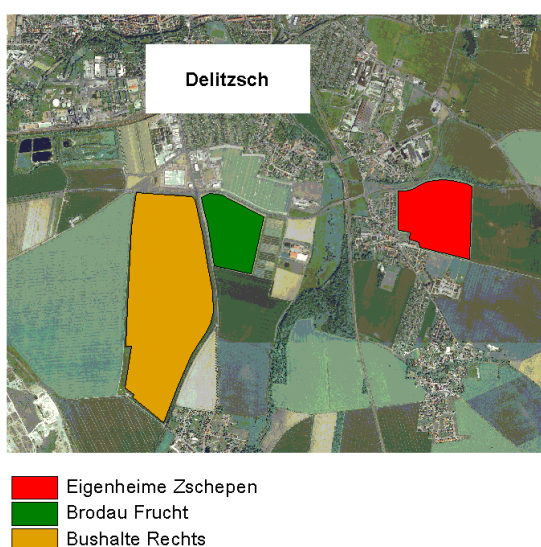
**Abbildung 71: Ertrag für die Demonstrationsanlage in Markranstädt**

HI: Herbstinjektion FI: Frühjahrsinjektion

### Demonstrationsanlage Delitzsch

Schon zur Ernte 2010 wurden im Raum Delitzsch, initiiert durch den Delitzscher Landhandel, Untersuchungen zur Wirkung der Injektionsdüngung auf Praxisflächen im Rahmen einer Facharbeit durchgeführt. Diese bereits bestehenden Strukturen wurden für die Arbeitskreisarbeit nochmals aufgegriffen, um gemeinsam mit den beteiligten Landwirten mehrjährige verallgemeinerungswürdige Ergebnisse zur Injektionsdüngung zu erhalten.

Die ausgewählten landwirtschaftlichen Flächen lagen südlich von Delitzsch (Abbildung 72:) in sehr enger räumlicher Nähe zueinander. Trotz der geringen Entfernung zwischen den Standorten kommt es in diesem Gebiet von Südwest nach Nordost zu einer erheblichen Differenzierung der Böden in Hinblick auf die Bodenart bzw. den Bodentyp. Die Bodeneigenschaften der beiden westlichen Flächen „Bushalte rechts“ und „Brodau Frucht“ sind recht ähnlich und durch eine etwas mächtigere schluffig-lehmige Deckschicht gekennzeichnet. Der weiter östlich liegende Schlag „Eigenheime Zschepen“ hingegen kann diese Bodenart in der obersten Bodenschicht nicht aufweisen. Gemein ist aber für alle drei Ackerschläge die zum Teil beachtliche Bodenheterogenität, welche durch Luftbilder der vergangenen Jahre gut zu identifizieren ist. Im Bodenuntergrund herrscht im gesamten Untersuchungsraum ein sandig lehmiges Substrat glazialen Ursprungs vor.



**Abbildung 72: Schläge der Demonstrationsanlage Delitzsch (Quelle: Archiv LfULG)**

Auf den Schlägen wurden die einzelnen Varianten in Streifen ohne Wiederholung angelegt. Ausschlaggebend dafür waren arbeitstechnologische Überlegungen, die einen möglichst effizienten Arbeitsablauf ermöglichten und den Vorstellungen der Betriebe und des Dienstleisters entgegenkamen.

Im Verlauf der Vegetation wurden an zwei Terminen die Triebzahlen in den einzelnen Varianten ermittelt. In unregelmäßigen Abständen erfolgten Messungen mit dem Yara-N-Tester zur Kontrolle des N-Ernährungszustandes. Die Ertragserfassung wurde mit einem Parzellenmähdrescher auf Teilbereichen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Ernteproben wurden mittels standardisierten Verfahren hinsichtlich ihrer Qualität untersucht.

Die Vegetationsperiode im Frühjahr 2011 war durch eine lange Trockenperiode gekennzeichnet. Bis auf einige Niederschlagsereignisse im April kam es zu keinen weiteren Regenfällen zwischen Mitte Januar und Mitte Juni. Die Winterweizenbestände standen lange unter Trockenstress, welcher sich negativ auf den Ertrag auswirkte. Besonders wurde dies bei dem Vergleich der Erträge zwischen den Schlägen „Brodau Frucht“ und „Bushalte rechts“ deutlich, welche in etwa die gleiche Bodengüte aufweisen. Während auf dem Feld „Brodau Frucht“ beregnet werden konnte, zeigte der Schlag „Bushalte rechts“ deutliche Wuchsdepressionen auf Grund der Trockenheit. Konsequenterweise unterschied sich deshalb auch die Bestandesführung der Winterweizenflächen, die von unterschiedlichen Landwirten bewirtschaftet wurden. Ohne Beregnung wurde eine extensive Strategie gewählt, welche den Verzicht auf eine dritte N-Gabe und eine Fungizidbehandlung beinhaltete. Auf dem beregneten Schlag waren zusätzliche Fungizidbehandlungen wegen erhöhten Befalls an Septoria notwendig. Hier konnte ohne Risiko eine zusätzlich dritte N-Gabe in Höhe von 50 kgN/ha appliziert werden. Unter der Trockenheit litt auch der Winterweizen auf dem dritten Ackerschlag. Eingesetzt wurde hier eine Qualitätsgabe, deren Wirkung sich nur schwer abschätzen ließ. Gleiches gilt auch für die Fungizidmaßnahme, die, anders als auf dem Schlag „Bushalte rechts“, von dem auf diesem Schlag arbeitenden Betrieb durchgeführt wurde. Hinsichtlich des Ertrages konnten keine Vorteile für diese Pflanzenbestandsführung festgestellt werden.

Generell lag das Ertragsniveau auf den nicht beregneten Flächen auf einem niedrigen Niveau. Mögliche Ertragsunterschiede zwischen den einzelnen Varianten konnten nicht festgestellt werden. Wie schon bereits beschrieben, handelt es sich bei dieser Demonstration um eine Streifenanlage ohne Wiederholungen. Vorhandene Bodenunterschiede wurden zwar durch verfrühte Abreife von Teilflächen deutlich sichtbar, konnten bei der Ertragsfeststellung allerdings nicht anteilmäßig berücksichtigt werden. Das kann die Aussagefähigkeit der erzielten Ergebnisse durchaus beeinträchtigt haben.

Die Erträge für die Schläge „Brodau Frucht“ bzw. „Eigenheime Zschepfen“ sind in Tabelle 20 bzw. Tabelle 21 zusammengestellt. Die ungedüngten Teilflächen haben erwartungsgemäß den niedrigsten Ertrag. Der düngungsbedingte Mehrertrag fällt dagegen relativ gering aus. Eine düngungsbedingte Differenzierung der Qualitätsparameter Rohprotein und Fallzahl konnte nicht festgestellt werden. Allgemein war die Fallzahl in allen Varianten überdurchschnittlich und erfüllte die vom abnehmenden Handel geforderten Normen. Gleiches galt für den Proteingehalt der Weizenkornproben des Schlages „Eigenheime Zschepfen“, für die ein Gehalt von etwa 14 % festgestellt wurde. Weil das ungedüngte Prüfglied besonders hohe Rohproteingehalte aufwies, ist zu vermuten, dass nicht die Qualitätsgabe dafür ausschlaggebend war, sondern die Weizenpflanzen sich in tieferen Bodenschichten befindlichen Stickstoff aneigneten. Weil hier im Herbst eine organische Düngung verabreicht wurde, kann das durchaus möglich sein.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die vom Betrieb gewählte Düngermenge weit über dem Optimum und dem Entzug lag. Es ist daher eher von einer unüblichen, weil auch unökonomischen Stick-

stoffmenge auszugehen. Wesentlich höher war die Stickstoffeffizienz auf dem Schlag „Bushalte rechts“. Im Durchschnitt konnten hier Rohproteingehalte erreicht werden, die die geforderten Werte für einen Brotweizen einhielten.

**Tabelle 20: Winterweizen-Erträge für den Schlag „Bushalte rechts“**

Variante	Ertrag [dt/ha]	Rohprotein [%]	Fallzahl [s]
Null	50,1	10,6	339
Bü 130 kg N/ha	59,8	11,7	286
Injektion 140 kg N/ha	57,5	12,3	305
Injektion 180 kg N/ha	64,4	12,7	276

**Tabelle 21: Winterweizen-Erträge für den Schlag „Eigenheime Zschepan“**

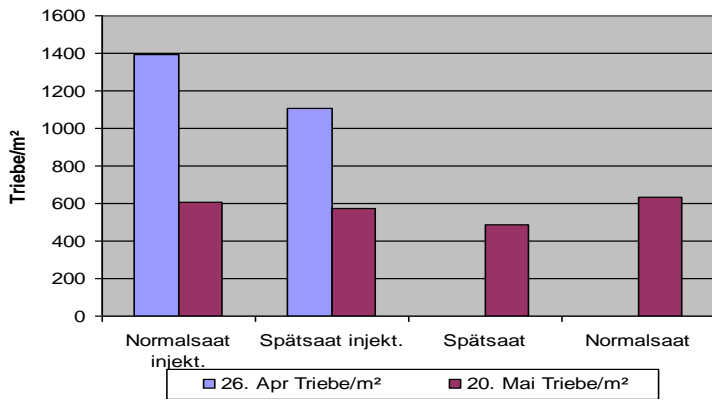
Variante	Ertrag [dt/ha]	Rohprotein [%]	Fallzahl [s]
Null	47,6	14,8	285
Bü 180/ha	58,4	13,7	300
Injektion 140/ha	50,2	14,5	303
Injektion 180/ha	58,6	14,0	318

Auf dem Schlag „Brodau Frucht“ (Tabelle 22) konnte durch die Bewässerung und den hohen applizierten Düngermengen ein hoher Rohproteingehalt zwischen 13 und 14,4 % gemessen werden. Somit wurde der Stickstoff unter Beachtung des sehr hohen Ertragsniveaus gut verwertet. Die ermittelten Ertragsunterschiede zwischen der Injektionsdüngung und der praxisüblichen Düngung in der Variante Normalsaat sind überraschend und können durch die visuell gewonnenen Eindrücke und gemessenen Bestandesparameter nicht bestätigt werden. Allerdings war die Fläche für die Ertragsfeststellung relativ klein und repräsentierte nicht die jeweiligen Großteilstücke. Aus Abbildung 73: geht hervor, dass es keinen wesentlichen Unterschied in der Triebanzahl mit Beginn des Ährenschiebens gab.

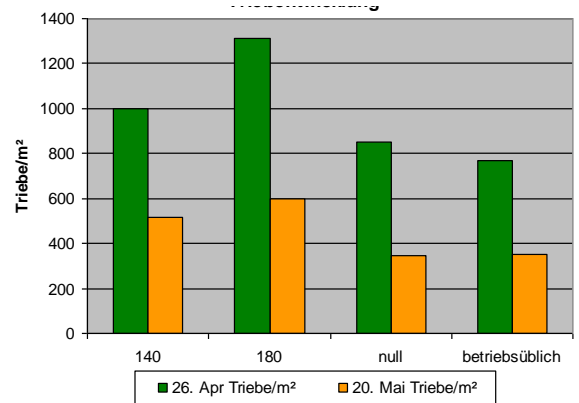
**Tabelle 22: Winterweizen-Erträge für den Schlag „Brodau Frucht“ (mit Beregnung)**

Termin	Variante	Ertrag [dt/ha]	Protein [%]	Fallzahl [s]
Normalsaat	Injektion 180 kg N *	112,1	13,0	292
	Praxis 170 kg N *	121,1	13,3	347
Spätsaat	Injektion 180 kg N *	107,3	14,0	290
	Praxis 206 kg N *	107,2	14,4	327

\* + einheitlich Qualitätsgabe 50 kg N/ha



**Abbildung 73: Triebzahl je m² für den Schlag „Brodau Frucht“**



**Abbildung 74: Triebzahl je m² für den Schlag „Bushalte rechts“**

Danach sollte bei etwa gleichem Tausendkorngewicht und gleicher Kornanzahl je Ähre der Ertragsunterschied minimal sein. Für die nicht bewässerten Flächen stellte sich hingegen eine höhere Triebzahl in den injizierten Varianten im Vergleich zu den betriebsüblich gedüngten Varianten heraus. Eindeutig bestockten die Pflanzen durch das höhere Stickstoffangebot wesentlich stärker. Bis zu 1.300 Triebe konnten dadurch am 20. April in der Schosspphase auf dem Schlag „Bushalte rechts“ ermittelt werden (Abbildung 74). Jedoch wurden viele Triebe durch die vorherrschende lange Trockenheit reduziert, wodurch sich die Differenzen zu den betriebsüblich gedüngten Flächen verringerten.

### Fazit

- Die N-Injektionsdüngung ist ein praxiserprobtes Verfahren und eignet sich hervorragend zur Anwendung auf großen sowie kleinen Ackerschlägen.
- Praktische Probleme bestehen bei der zeitigen Applikation im Frühjahr auf Grund der schlechten Befahrbarkeit des Bodens.
- Eindeutige Ertragseffekte konnten nicht ermittelt werden. Vielmehr deutet sich eine Ertragsneutralität zwischen der herkömmlichen Düngung und der Injektion an.
- Die Frühjahrsinjektion führt zu einem schnellen Wachstum mit üppiger Triebentwicklung.
- Die Ergebnisse der Bodenbeprobung weisen darauf hin, dass die Depots nicht langfristig stabil sind. Möglicherweise existieren hier Unterschiede zwischen den Düngelösungen.
- Die Herbstinjektion ist ein interessantes Verfahren für tiefgründige trockene Standorten mit hoher Feldkapazität. In wärmeren feuchten Wintern kann es allerdings auch dort zu Stickstoffverlusten kommen.

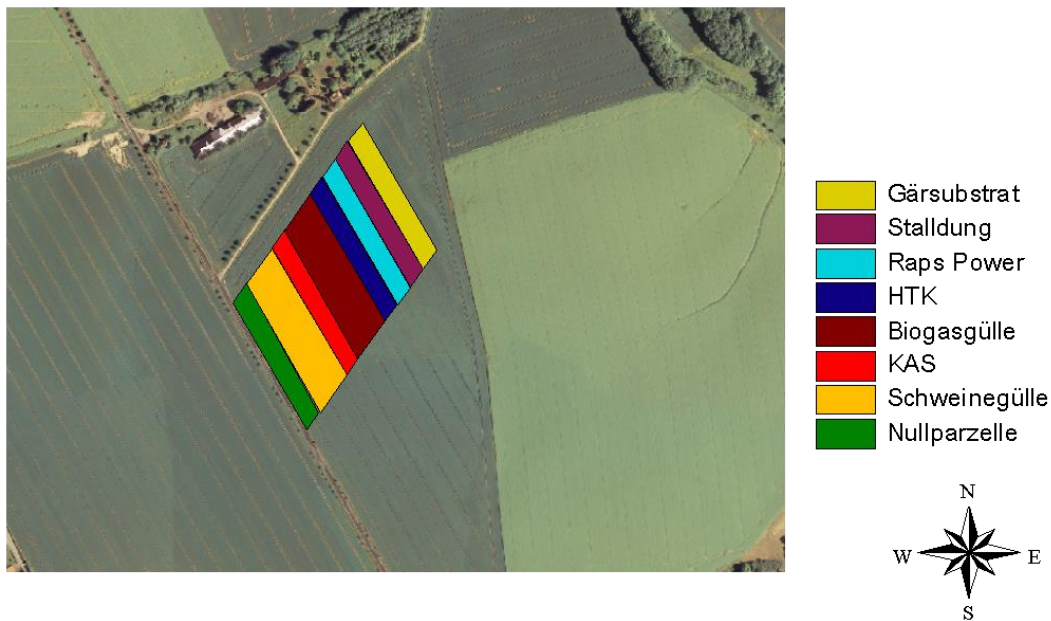
### 2.3.2 Demonstrationsanlage Lüttewitz

Gelegen in der Lommatzcher Pflege bewirtschaftet die Agrarland e.G. Lüttewitz ca. 1.500 ha landwirtschaftliche Nutzfläche. Lediglich 60 ha sind hiervon Dauergrünland, welches vorwiegend zu Ernährung der 400 Milchkühe genutzt wird.

Typisch für diesen Betriebstyp ist der aus der Tierhaltung anfallende organische Dünger, welcher auf den Flächen im Laufe der Vegetation ausgebracht werden muss und zur Bodenfruchtbarkeit beiträgt. Insgesamt 22.000 m³ Gülle bzw. Gärsubstrat werden jährlich auf den Flächen zur Düngung ausgebracht. Hierbei geht es vor allem um eine effiziente Ausnutzung der in dem Gärsubstrat enthaltenen Nährstoffe. Bereits im Jahr 2009

wurde im Betrieb eine Demonstration mit organischer Düngung zu Mais angelegt. Geprüft wurde die Wirkung verschiedener organischer Dünger im Vergleich zur mineralischen Düngung mit Kalkammonsalpeter. Es sollten Aussagen zur Nährstoffausnutzung getroffen werden. Im Herbst 2009 wurde Winterweizen als Fruchtfolgeglied nachgebaut und 2010 nach dem beim Mais angewandten Schema geerntet, um eine Aussage zur Stickstoffnachlieferung zu erzielen.

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen der Projekt- und Arbeitskreisarbeit im Jahr 2011 auf dem gleichen Schlag weitgehend mit den gleichen Düngerformen weitergeführt. Angebaut wurde 2011 mit der Zuckerrübe wiederum eine Hackfrucht.



**Abbildung 75: Parzellenplan für die Demonstrationsanlage zu Zuckerrüben 2011 in Lüttewitz (Quelle: Archiv LfULG)**

Einen Überblick zu den 2011 als Streifenanlage zu Zuckerrüben angelegten Parzellen gibt Abbildung 75. Der Standort als solcher ist in nördlicher Richtung leicht hängig, jedoch laut Reichsbodenschätzung sehr homogen. Bis auf einzelne Bereiche der Nullvariante am westlichen Rand handelt es sich um einen äolisch entstandenen Leimboden der Zustandsstufe 3 mit einer Bonität von 76 Punkten. Die K-Versorgung und der pH-Wert liegen im Optimum. Hingegen ist der CAL lösliche Phosphor in die Gehaltsklasse B eingestuft. Unterschiede in den Parzellen hinsichtlich der Versorgungsstufen existierten nicht, sodass von relativ gleichen Bedingungen für alle acht Varianten ausgegangen werden kann. Insgesamt sechs verschiedene organische Düngemittel wurden eingesetzt und von der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft wie im Jahr 2009 untersucht. Auffällig bei dem Vergleich war das bereits bekannte Problem der Nährstoffgehaltsschwankungen in organischen Düngern. Vor allem bei unterschiedlicher Herkunft, relativ inhomogenen Substanzen oder aber bei wechselnden Prozessen bzw. Fütterungsregimen ändern sich die Gehalte zum Teil gravierend wie Tabelle 23 für den Hühnertrockenkot beispielhaft belegt.

Der Gesamtstickstoffgehalt hat vom Jahr 2009 zum Jahr 2011 um 150 % zugenommen, obwohl es sich um das gleiche Düngemittel handelt. Weil bis zum vorgesehenen Ausbringungstermin noch kein Untersuchungsergebnis von dem Dünger vorlag, wurden für die Berechnung die Gehalte aus dem Jahr 2009 genutzt. Leider wurde dadurch eine zu hohe N-Menge ausgebracht.



Die Zielstellung, auf allen Streifen einheitlich eine N-Menge von 200 kg N<sub>ges</sub>/ha auszubringen, wurde deshalb nicht erreicht (Tabelle 24).

**Tabelle 23: Nährstoffzusammensetzung von Hühnertrockenkot**

	2009	2011	Veränderung [%]
TS [%]	35,8	31	87
N in FM [%]	2,24	3,48	155
NH <sub>4</sub> in FM [%]	0,52	1,63	313

**Tabelle 24: Düngermengen der Demonstrationsanlage Lüttewitz**

Dünger	Düngemenge	NH <sub>4</sub> [kg/ha]	N <sub>ges</sub> [kg/ha]
Schweinegülle	40 m <sup>3</sup> /ha	130	196
KAS	740 kg/ha		200
Gärsubstrat	40 m <sup>3</sup> /ha	112	208
HTK	9 t/ha	147	313
Raps Power	506 kg/ha		200
Stalldung	26 t/ha	18	216
Gärsubstrat	40 m <sup>3</sup> /ha	112	200

**Tabelle 25: Inhaltstoffe der Zuckerrüben in Abhängigkeit vom eingesetzten Dünger**

Variante	Zuckergehalt [%]	Bereinigter Zuckergehalt [%]	Natrium [100 mmol/g]	Kalium [100 mmol/g]	Alpha-Amino-N [100 mmol /g]
Null	19,0	17,4	1,4	32,9	6,6
Schweinegülle	19,3	17,5	1,6	36,6	9,5
KAS	18,6	16,7	2,4	33,7	14,7
Gärsubstrat	18,8	17,0	2,0	34,5	11,2
HTK	18,5	16,6	2,6	35,8	13,9
Raps Power	18,5	16,7	2,3	34,1	12,7
Stallmist	19,3	17,5	1,5	38,7	9,1
Gärsubstrat	19,2	17,4	2,2	34,3	11,7

Neben den mineralisch gedüngten Varianten, die aus Zwecken der Vergleichbarkeit höher als vom BEFU empfohlen gedüngt wurden, wies die Hühnertrockenkot-Variante den höchsten Alpha-Amino-N-Gehalt auf (Tabelle 25). Dieser gibt einen Aufschluss über das Düngeregime und mindert zugleich als Melassebilder die Zuckerausbeute, was sich letztendlich auch negativ auf den bereinigten Zuckerertrag auswirken kann. Die Ertragsunterschiede in Tabelle 26 erscheinen im ersten Moment gravierend, weil zwischen der Variante

Schweinegülle und Raps Power zum Beispiel eine Differenz von 176 dt/ha existiert. Vergleicht man jedoch die identisch behandelten Varianten des Gärsubstrates, erhält man auch einen Unterschied von ca. 70 dt/ha, wodurch die große Schwankungsbreite offensichtlich wird. Auf Grund fehlender Wiederholung sind die Ergebnisse nur schwer zu interpretieren. Einzig die Nullvariante fällt im Vergleich zu den anderen Varianten etwas ab und ist sowohl durch die fehlende Düngung als auch durch die etwas geringere Bodenqualität belegbar. Die Höhe des Ertrages von 1.040 dt/ha des mit Schweinegülle gedüngten Streifens ist nicht erklärbar. Die Stickstoffausnutzung war für die flüssigen organischen Dünger in etwa mit der Ausnutzung der mineralischen Dünger äquivalent. Etwa 50 % des eingesetzten Stickstoffs wurden im Durchschnitt von den Pflanzen aufgenommen. Offensichtlich war die Düngewirkung der Mineraldünger auf Grund der gewollt zu hohen applizierten Düngergabe gering. Gleichzeitig lag dadurch auch die Wirkung der flüssigen organischen Dünger auf deren Niveau, wobei die N-Ausnutzung mit ca. 50 % für die Witterungsbedingungen 2011 als zu gering erscheint.

**Tabelle 26: Zuckerrüben-Ertrag und N-Effizienz der Demonstrationsanlage Lüttewitz**

Variante	Ertrag [dt/ha]	Entzug (Blatt + ZR) [kg N/ha]	Düngung [kg N/ha]	N Ausnutzung [%]	Saldo [kg N/ha]
Null	716	183	0	0	-69
Schweinegülle	1040	296	196	57	66
KAS	948	292	200	54	59
Gärsubstrat	990	299	208	55	68
HTK	944	300	313	37	164
Raps Power	864	268	200	42	71
Stallmist	940	259	216	35	108
Gärsubstrat	924	275	200	46	72

Beim Stallmist entspricht die N-Ausnutzung etwa dem, was im Normalfall im Verlauf einer Vegetationsperiode zu erwarten ist. Ursache ist der hohe Anteil organisch gebundener N-Verbindungen. Beim Hühnertrockenkot dürfte die geringe N-Ausnutzung Folge der überhöhten Einsatzmenge sein. Insgesamt werden durch diese Ergebnisse die Erfahrungen zur Düngewirkung von organischen Düngemitteln zu Zuckerrüben bestätigt. Je nach Bodenart, Ertragserwartung, Vorfrucht, Düngeregime und  $N_{\min}$ -Gehalt im Frühjahr liegt die optimale mineralische Düngung für Zuckerrüben bei etwa 100 kg N/ha. Überhöhte Stickstoffgaben führen zu schlechterer N-Verwertung sowie zu erhöhten Alpha-Amino-N-Gehalten und mindern den bereinigten Zuckerertrag.

Aber auch die Menge der flüssigen organischen Dünger erschien zu hoch. Gerade bei Hackfrüchten wie den Zuckerrüben kann bei verlustarmer Ausbringung im Frühjahr von einer hohen Stickstoffverwertung ausgegangen werden. Daher kann die Düngermenge ohne weitere Ertragsverluste in Zukunft auf diesem nachlieferungsstarken Standort, welcher ein C:N-Verhältnis von 1:8,4 aufweist, reduziert werden. Gleiches galt auch für den im Jahr 2009 untersuchten Silomais. Mit diesen gesammelten Erfahrungen geht es nun darum, den Einsatz der organischen Dünger im Betrieb effizienter zu gestalten.

## Fazit

- Bereits vorhandenes und bekanntes Wissen über die organische Düngung konnte transferiert werden.
- Die Düngewirkung der einzelnen Dünger wurde gut sichtbar. Allerdings war die Schwankungsbreite zwischen den Ergebnissen sehr hoch und konnte nicht in jedem Fall geklärt werden.
- Eine zu hohe N-Düngung führte zu keinem höheren Ertrag, aber zu einer Abnahme der Zuckergehalte im Rübenkörper.
- Die vom Betrieb bis dato gewählte betriebsübliche Düngung erschien zu hoch, wodurch ein Einsparungspotenzial offensichtlich wurde.

### 2.3.3 Streifenbearbeitung zu Mais

Die Anlage dieser Demonstration auf einem Ackerschlag der Agrargenossenschaft Liebenau erfolgte anlässlich eines Feldtages. Ziel war es, ein neues Bearbeitungsverfahren und die dazu notwendige Technik vorzustellen. Zu Beginn der Veranstaltung wurden die einzelnen Geräte den zahlreichen, interessierten Besuchern vorgestellt (Abbildung 76), anschließend konnten sie die Funktionsweise der eingesetzten Maschinen begutachten.



**Abbildung 76: Vorstellung der beim Feldtag eingesetzten Maschinen**

Streifenbearbeitung ist in Mitteleuropa ein noch wenig bekanntes Bearbeitungsverfahren. Dabei erfolgt lediglich eine Lockerung der Saatreihe, während die Zwischenräume unbearbeitet und möglichst gut mit einer Mulchschicht bedeckt bleiben. Vorteil ist, dass die Pflanzenbedeckung den Boden vor Erosion, aber auch vor erhöhter Verdunstung schützt. Der beschattete Boden erwärmt sich später. Im Bereich des gelockerten Streifens finden die jungen Pflanzen gute Wachstumsbedingungen. Zudem eröffnet diese Bearbeitung gute Möglichkeiten der Unterfuß- bzw. Unterflurdüngung.

Neben der betriebsüblichen Bearbeitungstechnik standen für die Streifenbearbeitung der Kuhn-Striger (Abbildung 76) sowie der Duport Terminator (Abbildung 78) zur Verfügung. Während bei ersterem die Streifenbearbeitung in Kombination mit einer mineralischen Unterflurdüngung durchgeführt wurde, wurde der Terminator mit dem TerraGator 8333 kombiniert, sodass während der Bearbeitung Biogasgülle in den Boden injiziert werden konnte. Zum Vergleich wurde eine ortsübliche Mulchsaat mit und ohne Unterfußdüngung angelegt. Zur mineralischen Unterfuß- bzw. Unterflurdüngung wurden 225 kg DAP/ha eingesetzt. Von der Biogasgülle wurden auf diesem Schlag 20 und 40 m<sup>3</sup>/ha eingesetzt. Auf Grund des geringen TS-Gehaltes kam mit den 40 m<sup>3</sup> Flüssigung etwa die gleiche Ammonium-N-Menge zur Anwendung wie mit dem DAP ausgebracht wurde.

Bei dem Boden handelte es sich um einen flachgründigen anlehmigen Sand über grob-kiesigen Geschiebesanden mit hohem Steinanteil (vgl. Abbildung 82). Vorfrucht auf dem Ackerschlag war Wintergerste. Nach deren Ernte wurde eine Zwischenfrucht angebaut. Gedüngt wurde sie mit 20 m<sup>3</sup> Gülle. Im Herbst hatte sich ein guter Pflanzenbestand etabliert und war dann im Verlauf des Winters abgestorben. Die Pflanzenreste bildeten zum Zeitpunkt der Maisaussaat eine ideale Mulchschicht.

Weil die Aussaat getrennt von der Bearbeitung erfolgt, ist für die nachfolgende Technik zur Aussaat ein genaues GPS-gesteuertes Fahren unerlässlich. Während beim Einsatz von DAP die Aussaat noch am gleichen Tag erfolgte, wurde in den Prüfgliedern mit Gülle erst zwei Wochen nach der Bearbeitung und Gülleapplikation der Mais gelegt.



**Abbildung 77: Streifenbearbeitung mit dem Kuhn-Striger mit gleichzeitiger Unterflurdüngung (225 kg DAP/ha)**



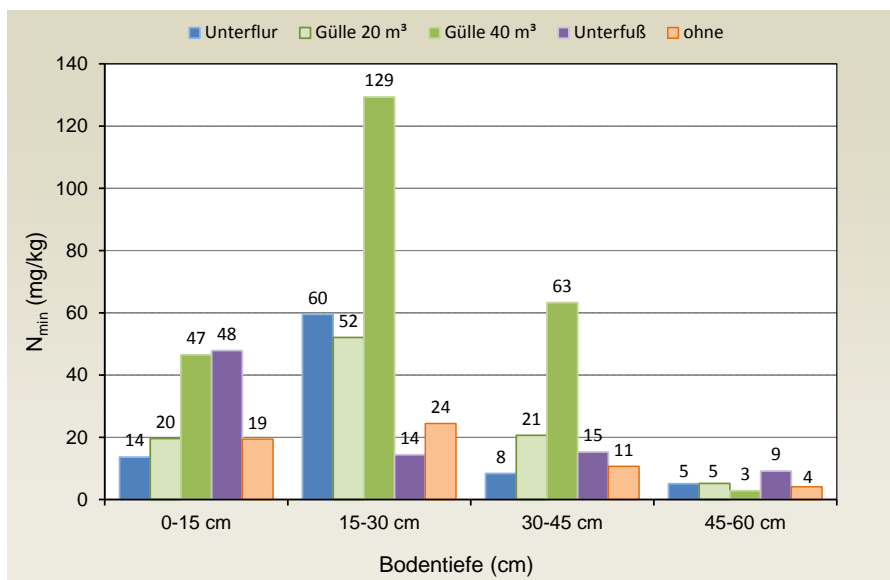
**Abbildung 78: Streifenbearbeitung mit Gülleapplikation (20 bzw. 40 m<sup>3</sup> Biogasgülle/ha) mit dem TerraGator 8333 in Kombination mit dem Duport Terminator**

Fünf Wochen nach der Ausbringung der Gülle bzw. des DAP erfolgte in und zwischen den bearbeiteten Streifen eine Bodenprobenahme. Von Interesse war dabei, ob und wie sich der eingesetzte Stickstoff in den bearbeiteten Streifen wiederfinden ließ. Die Ergebnisse sind in Abbildung 79 dargestellt. Dabei zeigte sich, dass sich der Stickstoff der Unterfußablage in etwa 6–8 cm Tiefe vollständig in der obersten Bodenschicht (0–15 cm) befand. Die Unterflurablage war in einer Tiefe von 18–20 cm erfolgt und wurde auch entsprechend in der Bodentiefe von 15–30 cm wiedergefunden. Der Unterschied zwischen beiden bestand darin, dass der relativ flach abgelegte Ammoniumstickstoff bereits zu diesem Zeitpunkt in Nitrat umgewandelt wurde, während es sich bei der tieferen Ablage des DAP noch ausschließlich um Ammonium-N handelte. Die Verteilung des

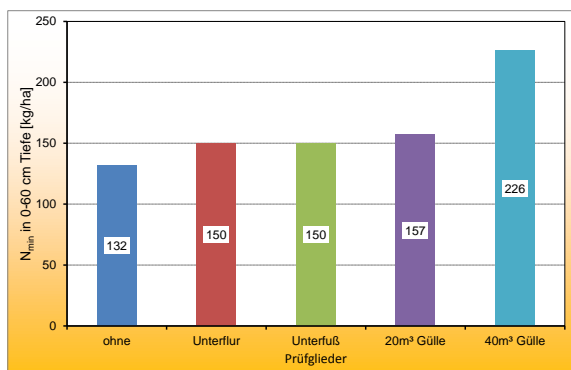
$N_{\min}$  in den einzelnen Schichten in den bearbeiteten Streifen mit Biogasgülle unterscheidet sich von den mineralischen Prüfgliedern deutlich. Zwar findet sich bei beiden Güllemengen der Hauptanteil in 15–30 cm Bodentiefe wieder, es sind allerdings auch große Teile vermutlich mit der Gülleflüssigkeit darüber bzw. darunter eingetragen. Besonders gravierend war das bei der hohen Güllemenge der Fall.

Durch die anteilige Berücksichtigung des in und zwischen den bearbeiteten Streifen ermittelten  $N_{\min}$  ließen sich die Beträge für die gesamte Fläche errechnen (Abbildung 79). Dabei wurde sichtbar, dass im Boden ausreichend pflanzenverfügbarer Stickstoff vorhanden war. Allein auf den Flächenanteilen ohne N-Gabe zur Aussaat wurden rund 130 kg  $N_{\min}$ /ha in 0-60 cm ermittelt. Deshalb wurde auf eine weitere Stickstoffdüngung verzichtet.

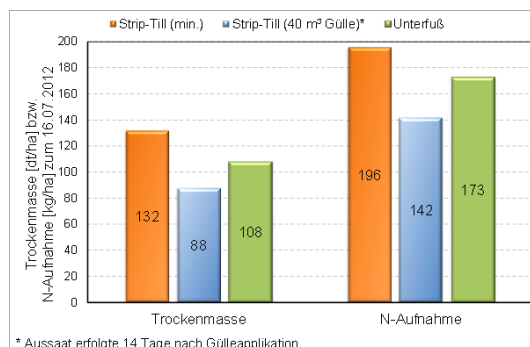
Bis Mitte Juli waren beachtliche Maisbestände herangewachsen. Die etwas später ausgesäten Prüfglieder mit Gülle hatten allerdings den Entwicklungsvorsprung der Maispflanzen auf den übrigen Teilflächen nicht aufgeholt (Abbildung 81). Zu diesem Zeitpunkt hatte der Mais bereits zwischen 140 und 196 kg N/ha in die oberirdische Biomasse eingebunden. Die im Herbst angebaute Zwischenfrucht hatte hier also beachtliche N-Mengen freigesetzt.



**Abbildung 79: Konzentration des  $N_{\min}$  fünf Wochen nach Ausbringung der jeweiligen Dünger unterhalb der Pflanzenreihe (bearbeiteter Streifen)**



**Abbildung 80:  $N_{\min}$  in den verschiedenen Prüfgliedern in Liebenau (Probenahme v. 13.06.2012)**



**Abbildung 81: Trockenmassebildung und aufgenommene N-Menge in verschiedenen Prüfgliedern (Probenahme v. 16.07.2012)**



**Abbildung 82: Maiswurzeln im Bereich des gelockerten Bodens zum 16.07.2012**

Zum Zeitpunkt der Pflanzenprobenahme am 16.07.2012 wurden zusätzlich Profilwände freigelegt, um die Wurzelentwicklung der Maispflanzen in Abhängigkeit von der Bearbeitung zu dokumentieren (Abbildung 82). Dabei zeigte sich, dass einzelne Wurzeln bis in eine Tiefe von etwa 70 cm vorgedrungen waren. Das war beachtlich, zumal der steinige Unterboden sehr kompakt war. Die größte Wurzeldichte fand sich jeweils im Bereich der Bodenlockerung. Das war auch bei der Mulchsaat der Fall. In den Prüfgliedern mit Streifenbearbeitung waren die Wurzeln bereits gut in den unbearbeiteten Zwischenbereich vorgedrungen.

### Fazit

- Streifenbearbeitung schafft die Verbindung von intensiver Bodenbearbeitung mit den Vorteilen der Direktsaat.
- Große Flächenanteile bleiben unbearbeitet mit einer schützenden Mulchschicht.
- Die bearbeiteten Streifen erwärmen sich schnell und trocknen zügig ab. Dies begünstigt die Pflanzenentwicklung.
- Die Kombination mit einer Reihendüngung (mineralisch/organisch) kann besonders auf schlecht versorgten Böden deutliche Vorteile bringen. Beim Einsatz von flüssigen organischen Düngern lassen sich die Ausbringungsverluste deutlich reduzieren.
- Auf Grund der besseren Befahrbarkeit bleibt ein größeres Fenster für die Ausbringung von organischen Düngern.
- Der Zugkraftbedarf und Energiebedarf ist geringer als bei ganzflächiger Bearbeitung.

Es gibt allerdings zu diesem Bodenbearbeitungsverfahren noch viele offene pflanzenbauliche und technische Fragen.

### 2.3.4 Teilschlagspezifische Düngung

Eine der innovativsten und sich gegenwärtig am schnellsten weiterentwickelnden Technologien im Bereich des Ackerbaus ist die teilschlagspezifische Bewirtschaftung. Auf mehreren Gebieten entstehen verbesserte und neuentwickelte Produkte, die die Anwendung des Systems für den Landwirt erleichtern. Im Rahmen des Projektes wurden drei Schwerpunkte des präzisen und teilflächenspezifischen Düngereinsatzes aufgegriffen. In Form von entsprechenden Demonstrationen und Feldtagen wurde dieser Schwerpunkt den Landwirten vorgestellt und mit ihnen diskutiert.

#### Teilflächenspezifischer Gülleinsatz

Im Frühjahr 2011 wurde im LVG Köllitsch ein Demonstrationsversuch zum teilschlagspezifischen Gülleinsatz angelegt. Bei dem dafür ausgewählten Schlag handelt es sich um einen stark heterogenen Auenboden. Von anlehmigem Sand bis zum tonigen Lehm war hier ein breites Bodenartenspektrum vorhanden. Die Erträge werden stark vom Bodenwasservorrat beeinflusst und korrelieren sehr eng mit der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (Abbildung 83).

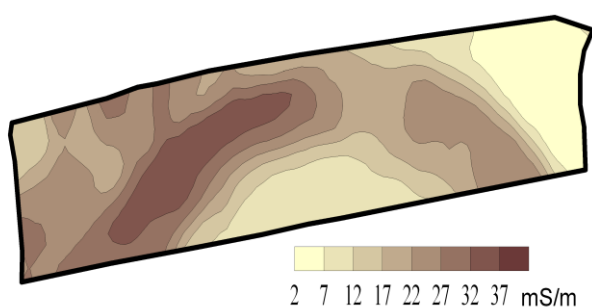


Abbildung 83: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (EM 38) des Demo-Schlages in Köllitsch

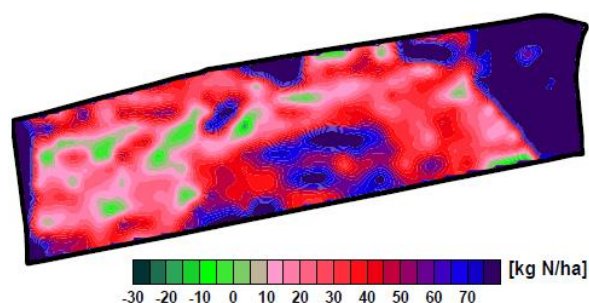


Abbildung 84: N-Bilanz für den 2007 auf dem Demo-Schlag angebauten Winterweizen

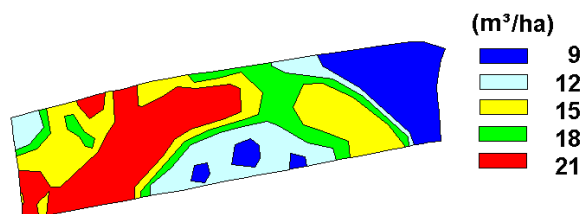


Abbildung 85: Applikationskarte für die eingesetzte Gülle zur ersten N-Gabe 2011

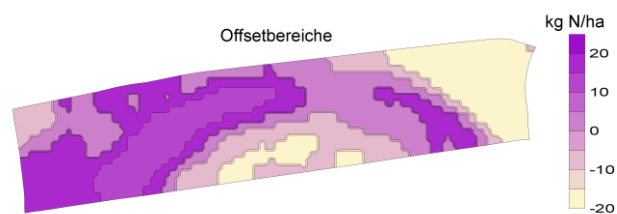
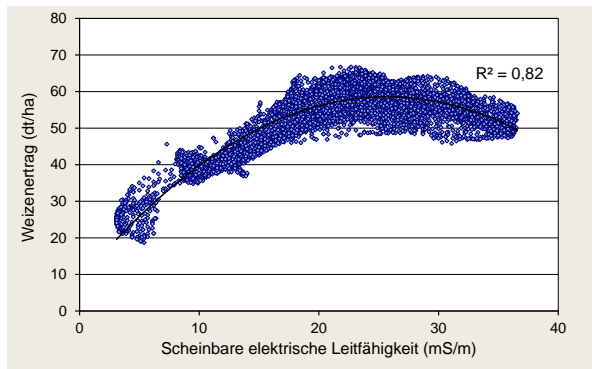


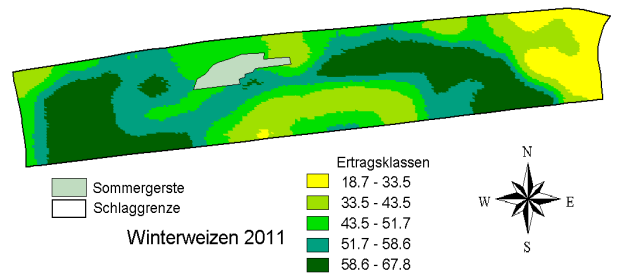
Abbildung 86: Faktorkarte für die zweite N-Gabe

Es bestehen stabile Ertragszonen. Damit verbunden ist, dass die jeweiligen N-Bilanzen bei einheitlichem Stickstoffeinsatz in gleicher Weise differenziert sind. In Abbildung 84: wurde für den im Jahr 2007 angebauten Winterweizen eine kleinflächig gerasterte Stickstoffbilanz für das betroffene Erntejahr angefertigt (PONITKA & PÖSSNECK 2009). Auf dem etwa 39 ha großen Schlag finden sich sowohl Teilbereiche mit leicht negativer N-Bilanz als auch mit deutlichem Bilanzüberschuss. Auf den sandigeren Flächenanteilen, wo regelmäßig ein deutlich niedrigeres Ertragsniveau erzielt wird, betrug dieser Überschuss immerhin mehr als 70 kg N/ha. Auf Grund des geringen Wasserspeichervermögens dieser Flächenanteile wird nicht aufgenommener Düngerstickstoff regelmäßig aus dem Wurzelbereich ausgetragen.



**Abbildung 87: Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Weizenantrag 2012**

**Ertragskarte: Schlag "Am Flugplatz"**



**Abbildung 88: Ertragskarte vom Winterweizen auf dem Demo-Schlag**

Die erste N-Gabe wurde auf der gesamten Fläche als Biogasgülle ausgebracht. Weil auf den sandigeren leichten Flächenanteilen das Ertragsvermögen wegen der geringen Bodenwasserreserven regelmäßig niedrig ausfällt, wurde der organische Dünger differenziert nach dem Ertragsvermögen der Teilflächen eingesetzt. Entsprechend der Leitfähigkeitskarte wurde der Ackerschlag in fünf Ertragszonen eingeteilt. Die für den Gülleinsatz genutzte Applikationskarte ist in Abbildung 85 dargestellt. Ausgebracht wurden Güllemengen zwischen 9 und 21 m<sup>3</sup>.

Für die weiteren Gaben war vorgesehen, einen Teil der Fläche sensorgestützt differenziert zu düngen und den anderen einheitlich konstant. Die Prüfglieder und die ausgebrachten N-Mengen finden sich in Tabelle 27. Die konstante Ausbringung erfolgte zur zweiten N-Gabe in Form von KAS und eine Fahrgassenbreite nochmals als Biogasgülle. Beim Sensoreinsatz wurde nach der Kalibrierung sowohl normal mit der für das entsprechende Entwicklungsstadium vorgesehenen Sensorfunktion gedüngt als auch mit zusätzlicher Hinterlegung einer Faktorkarte (Abbildung 86). Letztere bewirkt, dass entsprechend der Ertragsfähigkeit unabhängig vom Ernährungszustand bzw. der Grünfärbung entsprechende Zu- bzw. Abschläge vorgenommen werden. Beim einfachen Sensoreinsatz wurden die zur ersten N-Gabe schwach angedüngten Flächenanteile verstärkt mit Stickstoff bedacht. Dagegen bewirkte die hinterlegte Faktorkarte, dass zwar in der jeweiligen Ertragszone ein Ausgleich entsprechend des unterschiedlichen Ernährungszustandes vorgenommen wird, aber auf unterschiedlichem Niveau. Die höhere N-Menge wurde in den ertragreichen Zonen ausgebracht.

**Tabelle 27: Zur zweiten N-Gabe in den Leitfähigkeitsklassen eingesetzte N-Mengen [kg N/ha]**

Prüfglied	EC-Klassen (mS/m)				
	< 9,7 sehr niedrig	9,8 16,3 niedrig	16,4-23,0 mittel	23,1-29,8 hoch	> 29,8 sehr hoch
Sensor	68 (38-80)	60 (40-70)	55 (40-71)	54 (40-72)	53 (45-60)
Konstant mit KAS	65	65	65	65	65
Sensor mit Faktorkarte	52 (39-60)	55 (36-69)	60 (42-83)	80 (46-100)	77 (55-99)
Konstant mit Gülle*	100	100	100	100	100

\* Biogasgülle mit 100 kg N<sub>t</sub>/ha bzw. 63 kg NH<sub>4</sub>-N/ha



**Tabelle 28: Winterweizenertrag (dt/ha) in Abhängigkeit von den Prüfgliedern und Leitfähigkeitsklassen**

Prüfglied	EC-Klassen (mS/m)				
	< 9,7 sehr niedrig	9,8 16,3 niedrig	16,4-23,0 mittel	23,1-29,8 hoch	> 29,8 sehr hoch
Sensor	32,9	45,1	57,3	61,7	61,6
konstant KAS	32,6	42,7	55,5	59,9	55,1
Sensor mit Faktorkarte	31,2	46,4	59,3	57,9	54,1
konstant Gülle	31,4	41,8	55,8	60,0	53,1

Weil auf Grund der langen Trockenheit von Anfang April bis Mitte Juni die zweite N-Gabe nicht zur vollen Wirkung kam, wurde auf die vorgesehene Qualitätsgabe verzichtet. Die in den jeweiligen Prüfgliedern erzielten Weizenerträge wurden der Ertragskartierung entnommen. Auf Grund der langen Trockenheit war der Ertrag niedrig und er streute auf der Gesamtfläche zwischen 20 und 65 dt/ha (Abbildung 88). Die Ertragskarte macht sichtbar, dass die Bodenwasserreserven auch in diesem Anbaujahr über die Ertragshöhe entschieden haben. Es gab wiederum einen engen Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit und dem Weizenertrag (Abbildung 87). Die Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern waren minimal und sind eher zufälliger Art (Tabelle 28).

### Fazit zum Demo-Versuch mit Feldtag

Den anwesenden Arbeitskreismitgliedern wurde der teilschlagspezifische Gülleinsatz am praktischen Beispiel vorgestellt. Es konnte Folgendes gezeigt werden:

- Teilschlagspezifische Bewirtschaftung ist ein neues landwirtschaftliches Managementverfahren. Es basiert auf einem System von vielfältigen Informationen und modernen Technologien. Ortsspezifische Bodenunterschiede sowie zeitweilig auftretende Variabilitäten auf den Ackerschlägen sollen erkannt, analysiert und gehandhabt werden.
- Die Umsetzung der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung im Betrieb erfordert einen höheren Ausbildungsstand aller an der Umsetzung Beteiligten.
- Ziel ist eine optimale Rentabilität, Nachhaltigkeit und der Schutz der Umwelt sowie eine Verbesserung der Transparenz im landwirtschaftlichen Betrieb.
- Unter trockenen Standortbedingungen bestehen enge Beziehungen zwischen den Bodenunterschieden und den erzielten Erträgen. Es finden sich häufig relativ stabile Ertragszonen. Eine starr auf Ertragspotenzialzonen beschränkte N-Ausbringung lässt allerdings zeitweilige, jahresbedingte Unterschiede außer Acht.
- Eine effiziente Stickstoffwirkung aus ammoniumreicher Gülle im Winterweizen lässt sich nur durch den Einsatz im Frühjahr erzielen. Beim Anbau von Qualitätsweizen bringt die Berücksichtigung der Ertragspotenziale der Teilflächen deutliche Vorteile.

### Sensoren für die teilschlagspezifische Düngung

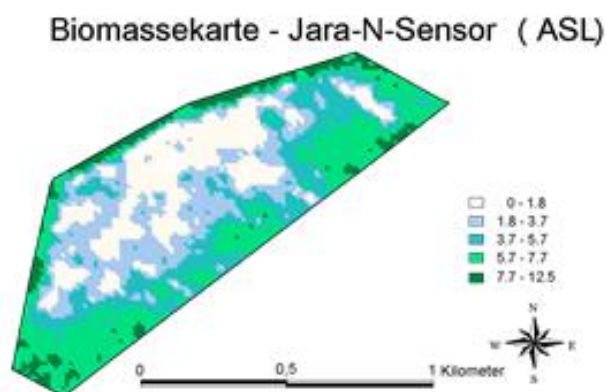
Im Mai 2012 wurde ein Feldtag mit Vortragsveranstaltung zum Einsatz von Sensoren zur teilschlagspezifischen Düngung durchgeführt. Gastgeber war die Agrargenossenschaft Arzberg e. G. In Vorbereitung dazu wurde einige Tage zuvor von den drei eingesetzten traktorgebundenen Sensoren ein Weizenbestand gescannt, um später vergleichen zu können, wie die einzelnen Sensoren die vorhandenen Unterschiede erfassen und ob es zwischen den Sensoren entsprechende Abweichungen gibt. Ziel dieses Feldtages war es, den Landwirten einen guten Überblick zum Einsatz der Sensortechnik bei der teilschlagspezifischen N-Düngung

präsentieren zu können. Natürlich dienen die Untersuchungen auch dazu, weitere Erkenntnisse und Vergleiche zu anderen Forschungsarbeiten zu erlangen.

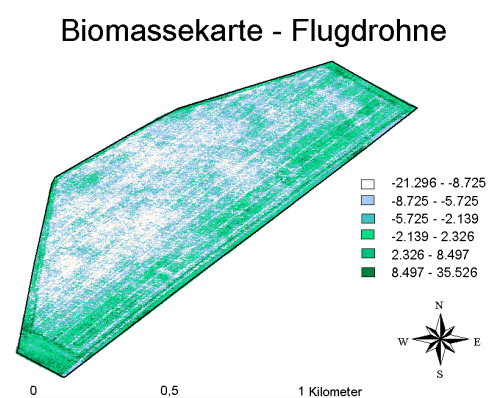
Die Sensoren arbeiten alle im Nahinfrarotbereich, wodurch sehr gut über bekannte oder leicht variierte Bestandesindizes die Biomasse auf dem Feld abgeschätzt werden kann. Neben den drei Sensoren wurde eine derzeit noch in der Erprobung befindliche Flugdrohne für diese Zwecke getestet. Diese Drohne arbeitet mit integrierter Kamera, die je nach Modell auf unterschiedliche Wellenlängenbereiche zurückgreift. Während die traktorengelassenen Sensoren bei der Stickstoffdüngung im Online-Einsatz arbeiten, wurde die Drohne für den Offline-Einsatz konzipiert. So sind aus den gewonnenen Biomassekarten in einem weiteren Schritt entsprechende N-Applikationskarten zu erarbeiten.

In Abbildung 87 bis Abbildung 92 ist die von den einzelnen Sensoren erfasste Biomasse nach einheitlichem Muster aufgearbeitet und in Form einer Karte dargestellt. Die einzelnen Karten weisen kaum visuelle Unterschiede auf. Beispielsweise besteht ein enger Zusammenhang zwischen der ermittelten Biomasse vom Yara-N-Sensor in Abbildung 89 und der vom GreenSeeker in Abbildung 89: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05 – Yara-N-Sensor. Der ermittelte Korrelationskoeffizient lag bei 0,64, obwohl beide Systeme leicht variierte Bestandesindizes nutzen. Diese Feststellung wird auch von wissenschaftlichen Analysen der Universität München gestützt (ERDLE et al. 2012). Bemerkenswert ist das auch, weil der im Frühjahr 2012 stark von Auswinterung betroffene Weizenbestand sehr dünn und auf Grund der Frühsommertrockenheit sehr schlecht entwickelt war. Bei diesen Bedingungen, so die Autoren, arbeiten beide Verfahren in etwa gleich. Unterschiede sind in sehr gut versorgten und weit entwickelten Beständen zu finden, welche oft keine weitere Düngung benötigen. Jedoch könnten diese Differenzen hinsichtlich der Wirkungsweise für den Einsatz im Raps von Interesse sein, doch darauf wird später näher eingegangen.

Der dritte N Sensor von Claas Agrosystems, der zwischenzeitlich durch ein anderes Produkt ausgetauscht wurde, basiert auf dem gleichen System wie der GreenSeeker und lieferte nahezu identische Ergebnisse (Abbildung 92). Interessant war der Einsatz der Flugdrohne der Firma Rucon aus Thüringen (Abbildung 90). Unter optimalen Witterungsbedingungen konnte sie störungsfrei Aufnahmen vom Weizenbestand aus der Luft tätigen, welche anschließend auch über den Nahinfrarotbereich in eine Biomassekarte umgewandelt wurden. Sehr präzise, in einer Auflösung von einem Meter, lieferte sie ein gestochen scharfes Bild vom Zustand des Weizenbestandes. Auch hier gab es eine enge Korrelation zu den Ergebnissen des Yara-N-Sensors und des GreenSeekers (0,6 bzw. 0,52).

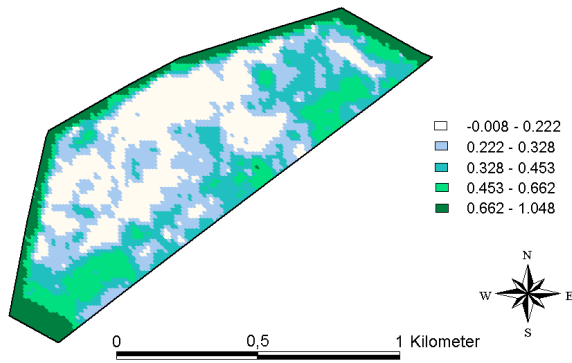


**Abbildung 89: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05 – Yara-N-Sensor**



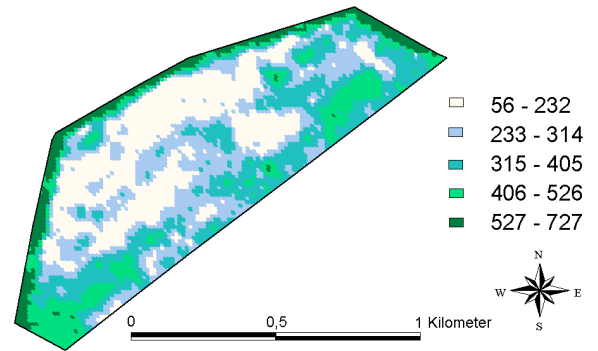
**Abbildung 90: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05 – Flugdrohne**

Biomassekarte -GreenSeeker



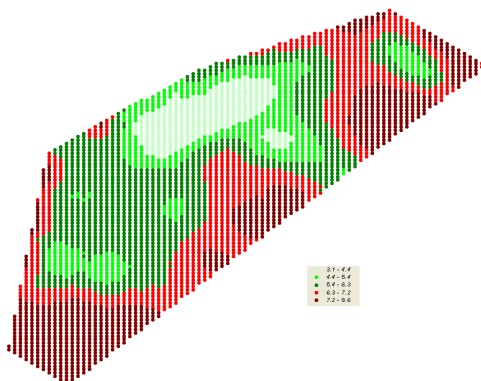
**Abbildung 91: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05. – GreenSeeker**

Biomassekarte - CropSensor

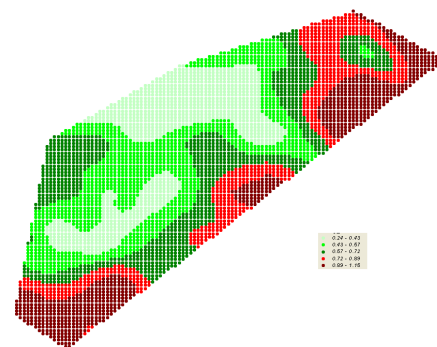


**Abbildung 92: Biomassekarte vom Winterweizen am 04.05. –CropSensor**

Zu einem späteren Termin (22.05.2012) wurden noch einmal der Yara-N-Sensor und der GreenSeeker eingesetzt, um einen Vergleich zwischen beiden Geräten und einem Biomassebild, welches per Satellitenaufnahme entstand, zu realisieren. Abermals wurde eine enge Korrelation von 0,57 zwischen den beiden Online-Sensoren festgestellt. Aber auch zwischen dem Satellitenbild der Firma Geo Vista aus München (Abbildung 94) und der Yara-N-Sensor Aufnahme (Abbildung 93) existierte mit einem Koeffizienten von 0,7 ein sehr enger Zusammenhang. Hierbei wird ersichtlich, dass auch dieses System bei normal bzw. eher schlecht entwickelten Beständen ähnliche Ergebnisse liefert. Diese Erkenntnis dürfte gerade für die Landwirte von Interesse sein, die nicht die Möglichkeit haben, die Systeme direkt zu vergleichen. Es ist zu vermuten, dass unter der Vorgabe einer identischen Stickstoffregelfunktion durch alle Sensoren in etwa die gleiche N-Menge je Teilfläche ausgebracht würde.



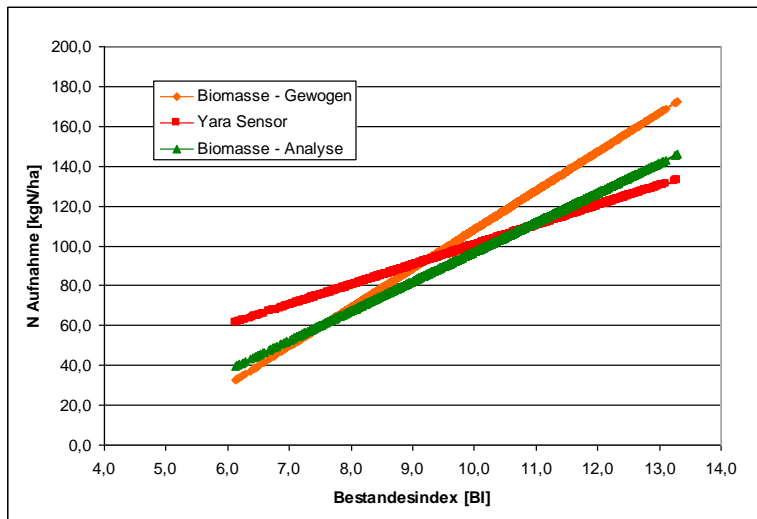
**Abbildung 93: Biomasse am 22.05 – Yara N Sensor**



**Abbildung 94: Biomasse am 22.05 – Satellitenbild**

Wie bereits beschrieben, lassen sich diese Erkenntnisse nicht ohne weiteres auf üppig entwickelte Bestände übertragen. Dies könnte aber gerade zur Biomasseabschätzung und N-Aufnahme beim Raps von Interesse sein. Abbildung 95 zeigt die N-Aufnahme von Raps in Abhängigkeit vom Bestandesindex. Bestimmt wurde er zum einen durch den Yara-N-Sensor und zum anderen durch georeferenzierte Rapsprobenahmen, die mit den Werten des Sensors verrechnet wurden. Dadurch konnte einerseits eine Aussage über den aufgenommenen Stickstoff nach dem bereits beschriebenen Wiegeverfahren getätigt werden, andererseits wurden die Rapsproben im Labor analysiert und der exakt bestimmte Stickstoff in einer weiteren Funktion in Abhängigkeit von den Sensorwerten verrechnet.

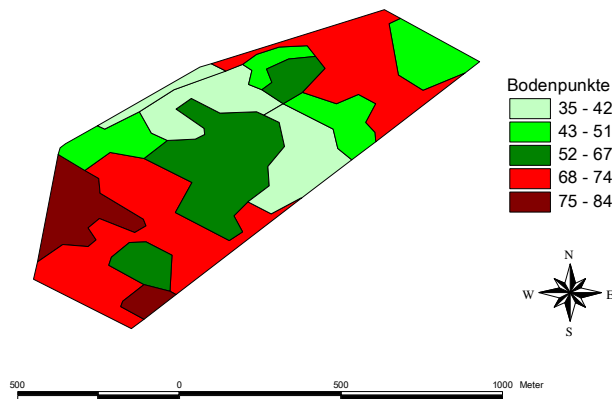
Sehr gut erkennt man für das Beispiel in Zwenkau einen engen Zusammenhang zwischen der mit dem Sensor und mit der Wiegemethode bestimmten N-Aufnahme. Unter Zuhilfenahme des Sensors kann also in diesem Beispiel bei der Düngung online sehr wohl die aufgenommene N-Menge bei der Stickstoffdüngung berücksichtigt werden. Gerade in üppig entwickelten Beständen, wie es in Zwenkau der Fall war, ist dies für die effiziente Düngungsplanung von Interesse. Diesbezüglich wären weitere Untersuchungen auch mit den anderen Sensoren beim Raps wünschenswert, um weitere nützliche und der N-Effizienz dienende Aussagen tätigen zu können.



**Abbildung 95: N-Aufnahme von Raps in Abhängigkeit vom Bestandesindex – bestimmt mit Yara-N-Sensor bzw. georeferenziertem Wiegeverfahren**

### Zonierung

Ein großes Problem zur gezielten und höchst effizienten Bestandesführung ist, wie bereits beschrieben, die Vorhersagbarkeit der exakten Erträge. Je nach Jahresbedingungen können diese extrem schwanken, wodurch der optimale Betriebsmitteleinsatz nur an Hand von Mittelwerten vorgenommen werden kann. Das können logischerweise allerdings nur Behandlungskompromisse sein. Gerade auf sehr heterogenen Schlägen ist die Ertragsvariabilität innerhalb eines Feldes sehr hoch. Zum Beispiel existiert für den Schlag „Mittelweg“ in Arzberg (Abbildung 96) eine Spannweite von 50 Bodenpunkten. Höchstwahrscheinlich sind hier unter den trockenen Bedingungen im Raum Torgau gravierende Ertragsheterogenitäten in vielen Jahren auf Grund unzureichender Wasserversorgung anzutreffen.



**Abbildung 96: Reichsbodenschätzung – Schlag „Mittelweg“**

Bei einer Durchwurzelungstiefe von einem Meter würden entsprechend einer Faustformel, wonach die Bodenpunkte mit 3 multipliziert die nutzbare Feldkapazität ergeben, auf diesem Schlag das pflanzenverfügbare Wasser für einen Kubikmeter Boden zwischen ca. 100 und 250 Liter schwanken. Offensichtlich wird, dass sich je nach Teilbereich unter trockenen Bedingungen der Wasservorrat unterschiedlich schnell erschöpft. Diese unterschiedlichen Bedingungen führen natürlich auch zu einem sich differenzierenden Wachstum, was das Ertragspotenzial extrem beeinflusst. Durchschnittlich ist zu erwarten, dass auf Teilschlägen besserer Bodengüte höhere Erträge geerntet werden können. Demnach sollte auch die Bestandesführung, wenn die Technik vorhanden ist, auf diesen Teilflächen angepasst werden.

Leider ist es jedoch sehr kompliziert, die ortsspezifischen Voraussetzungen für diese Vorgehensweise exakt einzuschätzen. Mitunter schwankt das Potenzial für dieses Verfahren im Betrieb, wodurch eine generelle Herangehensweise nicht möglich ist. Auch setzt es vom Pflanzenbauleiter sehr viel Wissen voraus. Selbst in Veröffentlichungen wird immer wieder darauf hingewiesen, dass der Zonenansatz jeweils nur für die untersuchten Flächen gilt.

Im Rahmen der Projektarbeit und der vielen Demonstrationen wurden Ackerschläge hinsichtlich ihrer Heterogenität untersucht, um so mögliche Einflüsse auf die später erzielten Ergebnisse abschätzen zu können. Neben den gängigen Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit wurden Reichsbodenkarten digitalisiert und Biomassekarten aus mehrjährigen Satellitenkarten durch Dienstleister erstellt. Neben der Abschätzung der Ertragsvariabilität wurden die einzelnen Verfahren miteinander verglichen, um auf diese Weise mögliche Handlungsoptionen für den Landwirt aufzuzeigen.

Vorteile der Zonierung sind vor allem in Gebieten mit ausgeprägter Vorsommertrockenheit und großer Bodenheterogenität, wie sie oft im Mitteldeutschen Trockengebiet auftreten, zu erwarten. Grundvoraussetzungen sind der gute ackerbauliche Zustand des Ackerschlag (Grundnährstoffversorgung, keine Verdichtungszone etc.) sowie der Ausschluss von anderen Phänomenen wie Staunässe oder Grundwassernähe. Weiterhin muss der Landwirt über ein exaktes Datenmanagement mit der entsprechenden Software verfügen, um überhaupt Applikationskarten erstellen zu können.

Hilfreich für die Erstellung von unterschiedlichen Managementzonen sind Extremjahre, in denen die Vorsommertrockenheit zu einer starken Differenzierung des Pflanzenwachstums auf den Schlägen führt und diese durch Ertrags-, Sensor- oder Biomassekarten abgebildet werden können. Biomassekarten, die aus Satellitendaten der vergangenen zehn Jahre in der Vegetationszeit gewonnen wurden, lassen sich auf Grund der Kom-

plexität leider nicht vom Landwirt erstellen. Allerdings haben die Dienstleister, die dafür beauftragt werden, oft nicht die Kenntnis über die jahresspezifischen Effekte, was zu Verzerrungen und falschen Deutungen führen kann. So werden Jahre miteinander gemittelt, in denen zum einen die Witterung unterschiedlich war und zum anderen eine andere Frucht angebaut wurde. Mittelt man diese Einflüsse, so ist das Ergebnis nie so präzise wie in Extremjahren, in denen sich die Bodeneinflüsse stark abzeichnen.

Die scheinbare elektrische Leitfähigkeit ist nicht abhängig von Jahreseffekten. Bestimmt wird sie durch einen so genannten Bodenscan, welcher je nach Feuchtegehalt im Niveau und in der Spreizung der Werte reagiert. Sie weisen oft einen engen Zusammenhang zum Ertrag auf (vgl. Abbildung 53). Für die Einteilung von Ertragszonen sind langjährige gute Ertragskartierungen essentiell. Leider kommt es vor, dass sich Ertragskarten und Leitfähigkeitskarten hinsichtlich ihrer relativen Ertragseinschätzung unterscheiden. In diesem Fall ist es natürlich schwierig, eine konkrete Entscheidung hinsichtlich der Einteilung des Schlages zu treffen.

### Fazit

Allgemein bietet die Zonierung viele Vorteile. Es bestehen allerdings auch noch Probleme in der Erstellung von so genannten Managementzonen. Zusammenfassend lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Vorteile des Verfahrens bestehen vor allem im Mitteldeutschen Trockengebiet auf großen Schlägen mit erheblicher Bodenheterogenität.
- Potenziell kann durch Ertragszonen der Betriebsmitteleinsatz und damit auch der Stickstoffeinsatz optimiert und damit oft auch reduziert werden. Gerade größere N-Überhänge auf Teilschlägen schlechter Bonität können vermieden werden.
- Es wird bei der Anwendung eine hohe Anforderung an den Landwirt und an sein Datenmanagement gestellt. Grundvoraussetzung ist weiterhin eine entsprechende Soft- sowie Hardware im Büro und auf dem Schlepper.
- Die Erstellung von Ertragspotenzialkarten muss mit der Realität übereinstimmen, weil sich der Bewirtschafter über einen langen Zeithorizont für das schlagspezifische Teilflächenmanagement festlegt.
- Verschiedene Daten wie Ertragskartierung, Leitfähigkeitsmessungen, Biomassekarten (Satellitendaten), Reichsbodenkarten wirken für die Einteilung unterstützend, sind aber nicht in jedem Fall das Maß der Dinge. Fehlinterpretationen erscheinen hierbei möglich.

Daher sollte die Einteilung nur auf stark heterogenen Flächen mit eindeutigen Ertragszonen erfolgen, denn gerade hier liegen die Vorteile des Verfahrens.

# 3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Wasserrahmenrichtlinie fordert von den EU-Mitgliedstaaten den Schutz sowie die Verbesserung und Sanierung aller Wasserkörper. Ziele sind ein guter ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer sowie ein guter chemischer und ein guter mengenmäßiger Zustand des Grundwassers.

Es gibt mannigfaltige Verursacher schädlicher Emissionen, dazu gehört auch die Landwirtschaft. Für Sachsen wird eingeschätzt, dass bei den Stickstoffeinträgen aus diffusen Quellen und aus Punktquellen das Ackerland mit fast 50 % den größten Anteil hat. Einen Schwerpunkt bilden dabei die Nitratausträge ins Grundwasser. Aber auch die Phosphoreinträge durch Bodenerosion in die Oberflächengewässer stellen die Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Um einen guten Zustand der Gewässer langfristig zu gewährleisten, sind die Landwirte verpflichtet, die bindenden Vorgaben der guten fachlichen Praxis einzuhalten. Teilweise reichen diese Vorgaben in Gebieten mit hoher Belastung nicht aus und es sind ergänzende Maßnahmen notwendig. Neben den vielfältigen Förderprogrammen, die sachsenweit Anklang bei den Landwirten auf Grund der finanziellen Unterstützung finden, wurden in nährstoffbelasteten Gebieten Sachsens Arbeitskreise zur Umsetzung der WRRL eingerichtet. Diese dienen dem Wissens- und Erfahrungstransfer sowie der Schulung und Beratung der Landwirte zu den genannten Fragestellungen. Zur Unterstützung dieser Arbeitskreise wurde das Projekt „Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz ...“ angeregt und in den Jahren 2011 bis 2012 durchgeführt. Der Aufgabenschwerpunkt lag in der Verbesserung der Stickstoffeffizienz und der Verminderung von Nitratausträgen durch eine variantenreiche Herangehensweise.

Während der Projektlaufzeit wurden verschiedene Versuche zur Nährstoffeffizienz, die auf den Versuchsstationen des LfULG durchgeführt werden, betreut und ausgewertet. Diese Ergebnisse bildeten den Grundbaustein für die zahlreichen Vorträge in den Arbeitskreisen und die umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit. Daneben wurden zu Schwerpunktthemen in Landwirtschaftsbetrieben Demonstrationen angelegt. Die Auswertung erfolgte auf Feldtagen und in Arbeitsgruppenberatungen.

Teilnehmer auf dieser Beratungsebene waren vor allem Verantwortliche für den Pflanzenbau aus größeren Agrarunternehmen. Aus den offen geführten Diskussionen war ersichtlich, dass es sich zumeist um erfahrene Fachleute handelt, die neuen Ideen offen gegenüberstehen, aber auch unter dem Druck ökonomischer Zwänge handeln. Maßnahmen, die zur Minderung von Nährstoffausträgen dienen, müssen sich daher auch finanziell für den jeweiligen Betrieb lohnen. Unter diesem Gesichtspunkt angelegt, fanden die verschiedenen gesetzten Schwerpunkte zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz und zur Ertragsstabilität reges Interesse bei den beteiligten Landwirten.

Im Fokus standen hierbei vor allem Themen, welche in den letzten Jahren bereits durch das LfULG im Rahmen der angewandten Forschung bearbeitet wurden. Sie beruhen auf regionalspezifischen Erkenntnissen und wurden aus mehrjährigen Versuchsreihen gewonnen. Damit erlauben sie fundierte Aussagen.

Die Ergebnisse zur biomasseabhängigen Rapsdüngung und ihre Einführung in die Düngebedarfsberatung stellen zum Beispiel eine wichtige Entwicklung für eine optimale Düngung zu Winterraps dar. Damit lässt sich langfristig eine deutliche Verbesserung in der N-Effizienz dieser vom Anbauumfang sowie im Hinblick auf Vermeidung von Stickstoffverlusten wichtigen Fruchtart erreichen. Die Untersuchungen auf den Stationen des

LfULG sowie in zahlreichen Praxisbetrieben haben gezeigt, dass in Abhängigkeit vom Standort, dem N-Angebot und dem Witterungsverlauf bis zum Winter sich sehr unterschiedliche Rapsbestände entwickeln können. Die Unterschiede zwischen den Jahren sind beachtlich. In der oberirdischen Biomasse konnten zwischen 10 und 300 kg N/ha ermittelt werden. Ausreichend für ein hohes Ertragsniveau ist beim Raps eine Vorwinterentwicklung mit einer N-Aufnahme von 50 bis 80 kg/ha. Bei normaler Entwicklung erfordert die Bildung eines hohen Ertrages auch ein entsprechend hohes N-Angebot im Frühjahr. Bei sehr üppiger Vorwinterentwicklung dagegen wird bereits ein großer Teil des N-Bedarfs aus den innerpflanzlichen Reserven abgedeckt. Deutlich wird dies in den verschiedenen Versuchen an dem Ertrag in den Prüfgliedern ohne N-Düngung. Die Einbeziehung der Biomasse ermittelt zum Ende bzw. zum Beginn der neuen Vegetation – führt zu einer deutlichen Verbesserung der Düngebedarfsermittlung. Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass bei der Düngebedarfsermittlung stets von realistischen Ertragszielen auszugehen ist. Bei sehr schwacher Herbstentwicklung sind keine Höchstserträge zu erzielen.

Für die Ausschöpfung des standörtlichen Ertragsniveaus ist insbesondere auf den leichten und flachgründigen Böden eine etwas kräftigere Vorwinterentwicklung durchaus günstig. Im Vordergrund steht dabei allerdings eine gute Wurzelentwicklung, um im Verlauf der Vegetation Stresssituationen besser überstehen zu können. Neben einem optimalen Saatbett, einer ausgewogenen, aber nicht stickstoffbetonten Ernährung ist das eine Frage von ausreichend Licht und noch hohen Bodentemperaturen. Die Einhaltung von optimalen Aussaatzeiten bewirkt viel. Der Entwicklungsnachteil von spät ausgesätem Raps lässt sich nicht durch ein zusätzliches erhöhtes N-Angebot ausgleichen. Diese Bestände sind auf Grund ihrer schwach entwickelten Wurzelsysteme nicht in der Lage, den Stickstoff voll aufzunehmen. Die Folge sind Stickstoffausträge über Winter und ein höherer Frühjahrsstickstoffbedarf. Die Effizienz des Herbststickstoffs ist deutlich schlechter als der Stickstoffeinsatz im Frühjahr. Die größten Effekte brachte der Herbststickstoff auf den tiefgründigen Böden bei suboptimaler Frühjahrsdüngung.

Selbst unter normalen Winterbedingungen sind geringfügige Blattverluste möglich. Sie sind bei der Düngebedarfsermittlung durchaus zu vernachlässigen, weil zumindest ein Teil recht zügig wieder mineralisiert wird. Die Kahlfröste mit Temperaturen unter  $-20\text{ °C}$  haben im Februar 2012 erhebliche Blattverluste verursacht. Dabei hat sich gezeigt, dass bei üppig entwickelten Beständen und starken Blattverlusten die Bestimmung der Frischmassen vor Winter für die Düngebedarfsermittlung eher ungeeignet war. In diesem Fall führte die Berücksichtigung der zu Vegetationsbeginn vorhandenen vitalen Sprossbiomasse zu optimaleren Düngungsempfehlungen. Warum die N-Nachlieferung aus der abgestorbenen Biomasse in diesem Jahr eher gering war, bleibt offen.

Bei früheren eigenen Untersuchungen mit markiertem Stickstoff wurde festgestellt, dass etwa die Hälfte des Stickstoffs aus den abgestorbenen Blättern zur Ernte in der Rapssaat bzw. im Stroh wiedergefunden wurde. Ein knappes Drittel befand sich zu diesem Zeitpunkt in der organischen Bodensubstanz. Der Rest war vermutlich als gasförmige Verluste verlorengegangen. Angaben aus der Literatur weisen auf noch höhere gasförmige Verluste hin. Weil hohe Blattverluste besonders infolge üppiger Vorwinterentwicklung auftreten können, ist unter diesem Gesichtspunkt eine zu starke Förderung der Herbstentwicklung durchaus negativ zu bewerten.

Überhöhte N-Gaben führten bereits zur Ernte zu hohen  $N_{\min}$ -Resten. Unter günstigen Mineralisationsbedingungen im Verlauf des Herbstes wird das Rapsstroh zügig mineralisiert und es kommt zu einem weiteren deutlichen Anstieg. In Abhängigkeit von der eingesetzten N-Düngermenge verändert sich auch das C:N-Verhältnis im Rapsstroh. Intensiver Stickstoffeinsatz verengt dieses Verhältnis beachtlich. Das bedingt eine erhöhte Netto-N-Freisetzung während des Strohabbaus.



Einen weiteren Schwerpunkt in der Beratung bildete der Anbau von Qualitätsweizen, welcher in Sachsen einen hohen Flächenanteil einnimmt. Grund dafür sind die Standortbedingungen mit der oft begrenzten Niederschlagsmenge. Unter diesen Bedingungen können die sonst ertragsstärkeren B- und C-Weizensorten ihren Ertragsvorteil gegenüber den Qualitätsweizensorten nicht ausspielen. Bestimmt wird dieser hohe Anbauumfang allerdings auch durch die ökonomischen Rahmenbedingungen.

Das wichtigste Merkmal bei der Einstufung von Qualitätsweizen ist der Rohproteingehalt im Korn. Die Einhaltung der von der abnehmenden Hand geforderten hohen Gehalte lässt sich in der Regel nur durch entsprechende späte N-Gaben absichern. Auf Grund der Niederschlagsverhältnisse ist deren Wirkung unsicher, was wiederum schnell zu Stickstoffüberhängen führt. Zur Lösung dieses Zielkonfliktes kann ein ganzes Bündel von Maßnahmen beitragen. Wichtig ist es, die alten starren Düngungsregimes zu überwinden und die N-Düngebedarfsermittlung den jahres- und schlagspezifischen Bedingungen anzupassen. Bei Nutzung der vorhandenen Hilfsmittel wie z. B. des  $N_{\min}$ -Wertes zur Präzisierung der ersten N-Gabe und vorhandener Schnelltests zur Bestimmung des aktuellen N-Ernährungszustandes tragen dazu bei, die jeweiligen Düngergaben an den aktuellen Bedarf anzupassen. Weil häufig die Niederschlagsituation und die Bodenwasserreserven über die Ertragshöhe entscheiden, ist ein realistisches Abschätzen der Ertragssituation gefragt.

Ein weiteres Instrument zur Absicherung von Qualitätsanforderungen ist die teilschlagspezifische Düngung. Der Einsatz von Sensoren führt zu einer bedarfsgerechten N-Versorgung von heterogenen Beständen bzw. Ackerflächen. Unter trockenen Standortbedingungen mit relativ stabiler Ertragszonierung (große Bodenheterogenität) erweist sich der Einsatz von Faktorkarten als optimal. Sie lassen sich aus Bodenkarten, langjährigen Biomassekarten bzw. langjähriger Ertragskartierung erstellen und setzen ein hohes Wissen sowie ein gutes Datenmanagement mit qualitativ hochwertigen Informationen voraus.

Insgesamt können diese Handlungsoptionen zu einem effizienteren N-Einsatz bei der Düngung von Qualitätsweizen führen. Wichtig ist, wie bereits beschrieben, die Anpassung der Düngung an die jahresspezifischen Gegebenheiten unter Zuhilfenahme von geeigneten Methoden, um zum einen ökologisch und zum anderen ökonomisch sinnvoll zu handeln. Wie die Versuchsergebnisse belegen, kann bei ihrer Anwendung in den meisten Jahren mit entsprechenden Stickstoffeinsparungen gerechnet werden.

Die Minimierung des Risikos von N-Verlusten nach dem Anbau von Qualitätsweizen lässt sich durch eine angepasste Fruchtfolge verwirklichen. Nachgebauter Winterraps bzw. Zwischenfrüchte binden hohe  $N_{\min}$ -Reste. Bleibt das Stroh von Qualitätsweizen auf dem Feld, kann auf einen N-Ausgleich auf Grund der relativ engen C:N-Verhältnisse in jedem Fall verzichtet werden.

Weiterhin wurde die Injektionsdüngung thematisiert, welche gezeigt hat, dass bei Winterraps die N-Injektion im Frühjahr zu ebenbürtigen Erträgen wie die Standarddüngung mit geteilten Gaben führt. Teilgaben im Herbst sind besonders auf guten Böden möglich. Dadurch entfällt die zeitige Düngung zu Vegetationsbeginn. Die Versuche mit Winterweizen und Wintergerste zeigten, dass mit einer N-Injektionsdüngung zu Vegetationsbeginn vergleichbare Erträge wie mit der Standard-N-Verteilung erreicht werden. Besonders auf leichten, trockenen Standorten bzw. in Jahren mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit kann die Injektionsdüngung der konventionellen N-Düngung überlegen sein.

Im Hinblick auf die Stabilität der Injektionsdepots insbesondere bei Herbstinjektion bleiben Fragen offen. Die Austräge mit dem Sickerwasser der Lysimeter waren zwar gering, die Wiederfindung im Boden war allerdings unbefriedigend. Zu klären ist, ob bei der Injektion unter trockenen Bedingungen und sorptionsschwachen Böden stärkere Ammoniakverluste auftreten.

Die in den Landwirtschaftsbetrieben durchgeführten Demonstrationen als Teil des Wissens- und Erfahrungsaustausches waren ein wichtiger Bestandteil der Tätigkeit in den Arbeitskreisen. Zusammen mit den Landwirten konnten am Anschauungsobjekt Schwerpunktthemen diskutiert und ausgewertet werden. Insbesondere der Einsatz neuer Technik und Verfahren motiviert und regt die Landwirte an, selbst Neues auszuprobieren. Das fördert auch die Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft der Landwirte für die Ziele und Maßnahmen zur Umsetzung der WRRL.

Am Beispiel der in Zwenkau gemachten Erfahrungen bei der Auswertung der dort durchgeführten Demonstration wird allerdings deutlich, wie begrenzt der Wissensgewinn aus derartigen einfachen „Versuchsanlagen“ ist. Auf Grund der großflächigen Anlage in Streifenform verteilt über zumeist sehr inhomogene Schlageinheiten war die Aussagegenauigkeit oft nur begrenzt. Sie dienen zwar sehr gut zum Veranschaulichen von thematisierten Fragestellungen, führen auf Grund ihrer Gestaltung jedoch zumeist zu keinen reproduzierbaren Ergebnissen. Sie können in keinem Fall Exaktversuche mit ausreichenden Wiederholungen ersetzen, in denen die immer im Hintergrund wirkenden Boden- und Bestandesunterschiede entsprechende Berücksichtigung finden.

Der in Sachsen gewählte kooperative Ansatz zur Umsetzung und zur Erreichung der Vorgaben der WRRL setzt ein kontinuierliches Arbeiten voraus und verlangt ein vertrauensvolles Verhältnis zwischen den handelnden Akteuren. Weil die Vorgaben nicht indoktriniert, sondern im Diskurs erörtert werden, findet sich bei den Landwirten eine höhere Akzeptanz. Sie wird sich langfristig auch für den Gewässerschutz auszahlen.

Grundvoraussetzung für die Kooperation und damit auch für die Umsetzung der Ziele in den Arbeitskreisen ist es, das Interesse bei den Teilnehmern der Beratungsrunden zu wecken und insbesondere die Wirkung in der Breite zu verstärken. Von Vorteil für die Arbeit mit den Landwirtschaftsbetrieben war die gute Verbindung zu der angewandten Forschung auf den Versuchsstationen des LfULG. Die in den letzten Jahren hier erzielten Ergebnisse waren ein gutes Fundament bei der thematischen Betreuung der Arbeitskreise. Für die Zukunft ist es angeraten, eine enge Verknüpfung zwischen den in den Arbeitskreisen tätigen Mitarbeitern und Dienstleistern mit den im LfULG für die jeweiligen Forschungsthemen Verantwortlichen herzustellen.

# 4 Literatur

- ALBERT, E. (2012): Schwerpunkte der Düngereforschung in Leipzig-Möckern seit Mitte des 20. Jahrhunderts sowie zukünftige Aufgaben, Vortrag auf dem Kolloquium – 160 Jahre Versuchsstation Leipzig-Möckern, April 2012
- ALBERT, E. (2011): Düngung; In: CHRISTEN, O. & FRIEDT, W., Winterraps – Das Handbuch für Profis, 2. Überarbeitete Auflage; DLG-Verlag; 121-142.
- ALPMANN, L. (2012) Schwieriges Rapsjahr 2011, DSV-Magazin Innovation, 2/2012
- BAUMECKER, M. (2012): Einzelkornsaat von Winterroggen, KWS Lochow, Blickpunkt-Wissen aus erster Hand, Sonderausgabe Roggen +Rye Belt, Juli 2012
- BREMNER, I. M. & KEENEY, D. R. (1966): Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. III. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by extraction-distillation methods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 1966, 577-582.
- BISCHOFF, J. & HOFMANN, B. (2007): Korn für Korn, In: Neue Landwirtschaft, 8/2007, 35-38
- FARACK, K. & ALBERT, E. (2011): Injektionsdüngung, Schriftenreihe des LfULG, Heft 12/2011/2
- HEINITZ, F.; ALBERT, E.; REINICKE, F. & WAGNER, B. (2010): Optimierung N-Management, Schriftenreihe des LfULG, Heft 25/2010
- LfULG (2010) Bericht zum Zustand der sächsischen Wasserkörper 2009, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
- LfULG (2009 a): Neue Impulse für Sachsen – Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder. Hintergrunddokument, Textteil, Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Dezember 2009.
- LfULG (2009 b): Neue Impulse für Sachsen – Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder. Hintergrunddokument, Anlage II Thematische Karten, Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Dezember 2009.
- LfULG (2009 c): Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Dezember 2009.
- LfUG (2007) Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 4: Auswertungskarten zum Bodenschutz
- NAGEL, K. A. (2012) Steuerung des Wurzelwachstums, DSV-Magazin Innovation, 2/2012
- PONITKA, J. & PÖSSNECK, J. (2006): Untersuchung zur Teilflächenbewirtschaftung, Schriftenreihe des LfULG, Heft 18/2006
- SCHLIEPHAKE, W. (2011): Teilflächendüngung auf trockenen Standorten, Schriftenreihe des LfULG, Heft 17/2011
- SCHLIEPHAKE, W. (2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8-9, 2003
- SCHMIDT, A. & GLÄSER, H. (2012): Anbau von Zwischenfrüchten-Auswertung der Versuchsanlagen 2011/2012, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
- SELING, K. & KAGE, H. (2011): Efficient N management using winter oilseed rape. In: Sustainable Agriculture Vol. 2 (Eds. E. Lightfouse, M., Hamelin, M. Navarrete, P. Debaeke), Springer-Verlag Heidelberg, ISBN: 978-94-007-0393-3, 931-942.
- ZORN, W. & SCHRÖTER, H. (2009): Effizienter Grundnährstoffeinsatz bei gestiegenen Düngemittelpreisen, Vortrag zum Düngungstag 2009 in Groitzsch

**Herausgeber:**

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

**Autoren:**

Dr. Wilfried Schliephake, Peter Müller  
Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau  
Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen

**Redaktion:**

Dr. Michael Grunert  
Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau  
Waldheimer Straße 219, 01683 Nossen  
Telefon: +49 35242 631-7201  
Telefax: +49 35242 631-7299  
E-Mail: michael.grunert@smul.sachsen.de

**Redaktionsschluss:**

30.11.2012

**Fotos:**

LfULG

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> 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. Dies 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 Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten 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.