



Teilflächendüngung auf trockenen Standorten

Schriftenreihe, Heft 17/2011



Anforderungen an eine teilflächenspezifische N-Düngung unter besonderer Berücksichtigung einer umweltorientierten Nährstoffversorgung auf trockenen Standorten

Dr. Wilfried Schliephake

Ergebnisse eines durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt
geförderten Projektes

1	Anlass und Zielstellung des Projektes	10
2	Arbeitsschritte und angewandte Methoden.....	12
2.1	Arbeitsschritte	12
2.2	Methoden	13
2.2.1	Biomasseabhängige Düngebedarfsempfehlung zu Winterraps	13
3.2.1.1	Beschreibung der Versuchsstandorte	13
3.2.1.2	Versuchsdurchführung.....	14
2.2.2	Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Düngung.....	14
2.2.2.1	Winterraps	18
2.2.2.2	Qualitätsweizen.....	19
3	Ergebnisse	20
3.1	Begleitende Untersuchungen.....	20
3.1.1	Einfluss der N-Versorgung auf die Vorwinterentwicklung	20
3.1.2	Frischmassebestimmung zur Einschätzung der N-Aufnahme beim Winterraps	23
3.1.3	Einfluss der differenzierten Vorwinterentwicklung auf den N-Bedarf im Frühjahr	25
3.1.4	Einfluss der N-Düngung auf den im Boden verbleibenden N_{min} und das C/N-Verhältnis in den Ernteresten	30
3.1.5	Ergebnisse der ^{15}N -Mikroparzellen	31
3.1.6	Multispektrale Reflexionsmessungen.....	33
3.2	Teilschlagspezifische N-Düngung zum Winterraps.....	40
3.2.1	Winterrapsversuche in Warnstedt	40
3.2.1.1	Versuchsjahr 2007/2008	41
3.2.1.2	Versuchsjahr 2008/2009	46
3.2.1.3	Versuchsjahr 2009/2010	49
3.2.2	Winterrapsversuche in Staritz	53
3.2.2.1	Versuchsjahr 2007/2008	53
3.2.2.2	Versuchsjahr 2008/2009	56
3.2.2.3	Versuchsjahr 2009/2010	60
3.2.3	Winterrapsversuche in Köllitsch.....	62
3.2.3.1	Versuchsjahr 2007/2008	62
3.2.3.2	Versuchsjahr 2008/2009	65
3.2.3.3	Versuchsjahr 2009/2010	67
3.2.4	Winterrapsversuche in Langenchursdorf	69
3.2.4.1	Versuchsjahr 2008/2009	69
3.2.4.2	Versuchsjahr 2009/2010	72
3.2.5	Zwischenfazit	73
3.3	Untersuchungen zur teilschlagspezifischen N-Düngung von Qualitätsweizen auf trockenen Standorten.....	74
3.3.1	Die Versuche mit Winterweizen in Warnstedt	75
3.3.2	Die Versuche mit Winterweizen in Staritz	80
3.3.3	Die Versuche mit Winterweizen im LVG Köllitsch	84
3.3.4	Zwischenfazit	87
4	Diskussion.....	88
5	Zusammenfassung	91
6	Literatur	93

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bestandesindex von Winterraps im November 2006 auf einem heterogenen Ackerschlag und die georeferenzierten festen Probenahmepunkte.....	11
Abbildung 2:	Differenziertheit eines Rapsbestandes vor Winter auf einem heterogenen Ackerschlag.....	11
Abbildung 3:	Rapsbestand vor und nach einem Winter mit starken Kahlfrösten auf einem Lössstandort in Ostsachsen	11
Abbildung 4:	Niederschlagsverteilung und mittlere Monatstemperaturen im Verlauf der drei Versuchsjahre am Standort Köllitsch	15
Abbildung 5:	Bodenarten auf dem Schlag „Vor den Eichen“ nach der Karte der Reichsbodenschätzung in Warnstedt.....	15
Abbildung 6:	Bewertung des Bodens auf dem Schlag „Vor den Eichen“ nach der Reichsbodenschätzung in Warnstedt.....	15
Abbildung 7:	Karte der elektrischen Leitfähigkeit für den Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt.....	16
Abbildung 8:	Höhenrelief des Ackerschlages „Vor den Eichen“ in Warnstedt	16
Abbildung 9:	Ertragskarte vom letzten Winterrapsanbau aus dem Jahr 2002 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt	16
Abbildung 10:	Ertragskarte der Vorfrucht Winterweizen im Jahr 2007 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt.....	16
Abbildung 11:	Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens und dem Winterweizenertrag 2007 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt	17
Abbildung 12:	Beziehung zwischen der Bodenart und dem Winterweizenertrag 2007 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt	17
Abbildung 13:	Beziehung des Relativertrages zu unterschiedlichen Jahreserträgen auf dem Versuchsschlag 2009 mit Winterraps in Warnstedt	18
Abbildung 14:	Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Baruth	20
Abbildung 15:	Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Forchheim	20
Abbildung 16:	Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Nossen.....	21
Abbildung 17:	Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Pommritz.....	21
Abbildung 18:	Einfluss der Temperatursumme auf die Frischmassebildung des verspätet ausgesäten Rapses bis zum Winter mit und ohne Herbststickstoffgabe	21
Abbildung 19:	Einfluss der Temperatursumme auf die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse des verspätet ausgesäten Rapses bis zum Winter mit und ohne Herbststickstoffgabe.....	21
Abbildung 20:	N_{\min} im Boden unter den verschiedenen Rapsbeständen vor und nach dem Winter 2009/2010	22
Abbildung 21:	Beziehung zwischen der Rapsfrischmasse zum Ende der Vegetation zu der darin eingebundenen N-Menge.....	23
Abbildung 22:	Beziehung zwischen der vor dem Winter gebildeten Frischmasse und dem darin ermittelten N-Gehalt	24
Abbildung 23:	Rapsenertrag nach unterschiedlicher Herbstentwicklung bei optimaler Aussaat und ohne zusätzlichen Herbststickstoff auf dem diluvialen Standort in Baruth	26
Abbildung 24:	Beziehung zwischen dem im Herbst im Rapsbestand befindlichen N und dem optimalen N-Aufwand im Frühjahr am Standort Baruth bei hohem Ertragsniveau	26
Abbildung 25:	Einfluss unterschiedlicher Vorwinterentwicklung und N-Düngung auf den Ertrag auf zwei Lössstandorten im Jahr 2009.....	29
Abbildung 26:	Einfluss der bereits im Herbst durch den Rapsbestand aufgenommenen N-Menge auf den optimalen N-Aufwand im Frühjahr in Nossen und Pommritz.....	30
Abbildung 27:	N_{\min} nach der Ernte und das C/N-Verhältnis im Rapsstroh am Standort Baruth.....	30
Abbildung 28:	N_{\min} nach der Ernte und das C/N-Verhältnis im Rapsstroh in Nossen und Pommritz im Versuchsjahr 2009	31
Abbildung 29:	Spezieller Bestandesindex des YNS zum Beginn des Streckungswachstums	34
Abbildung 30:	Einfaches Verhältnis zweier Wellenlängen (R_{780}/R_{740}) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps	34
Abbildung 31:	NDI ($(R_{780}-R_{740})/(R_{780}+R_{740})$) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps	34
Abbildung 32:	NDVI ($(R_{780}-R_{670})/(R_{780}+R_{670})$) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps	34
Abbildung 33:	VI opt ($100 \cdot (\ln R_{780} - \ln R_{740})$) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps	35
Abbildung 34:	Einfaches Verhältnis zweier Wellenlängen (R_{780}/R_{670}) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps	35
Abbildung 35:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem SR (R_{780}/R_{740})	35

Abbildung 36:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem NDI $(R780-R740)/(R780+R740)$	35
Abbildung 37:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem VI opt $(100 \cdot (\ln R780 - \ln R740))$	35
Abbildung 38:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem klassischen NDVI $(R780-R670)/(R780+R670)$	35
Abbildung 39:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS bzw. des mittels Handspektrometer gemessenen VI opt und dem N-Entzug an den Probenahmepunkten.....	36
Abbildung 40:	Beziehung zwischen dem einfachen Verhältnis (SR) der Reflexionsmesswerte bei 810 nm zu 560 nm zur Frischmasse	36
Abbildung 41:	Beziehung zwischen dem einfachen Verhältnis (SR) der Reflexionsmesswerte bei 780 nm zu 550 nm zur Frischmasse	36
Abbildung 42:	Beziehung zwischen dem NDI (normalized difference index) und der Frischmasse	37
Abbildung 43:	Beziehung zwischen dem einfachen Verhältnis der Reflexionsmesswerte bei 780 nm zu 740 nm (SR) zur Frischmasse	37
Abbildung 44:	Beziehung zwischen dem NDVI (normalized difference vegetation index) und der Frischmasse.....	37
Abbildung 45:	Beziehung zwischen dem Vlopt $(100 \cdot [\ln R780 - \ln R740])$ und der Frischmasse.....	37
Abbildung 46:	Beziehung zwischen dem VI opt und der gebildeten Frischmasse über zwei Jahre und drei Versuchsstandorte.....	38
Abbildung 47:	Beziehung zwischen dem NDVI und der gebildeten Rapsfrischmasse	38
Abbildung 48:	Beziehung zwischen dem VI opt und der gebildeten Rapsfrischmasse.....	39
Abbildung 49:	Bestandesindex SR $(R780/R740)$ in Baruth vor und nach dem Winter 2009/2010.....	39
Abbildung 50:	Vegetationsindices von Winterrapsbeständen vor der 2. N-Gabe im Streckungswachstum nach differenzierter Andüngung zu Vegetationsbeginn	40
Abbildung 51:	Vegetationsindices von Winterrapsbeständen vor der 2. N-Gabe im Streckungswachstum nach differenzierter Andüngung zu Vegetationsbeginn	40
Abbildung 52:	Bestandesindex des YNS und N-Mengen im Rapsbestand auf dem Versuchsschlag 2007/2008 zum Ende der Herbstentwicklung	41
Abbildung 53:	Aus dem Bestandesindex des YNS und georeferenzierten Pflanzenprobenahmen ermittelte N-Mengen im Rapsbestand zum Ende der Herbstentwicklung 2007	41
Abbildung 54:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex und dem in der oberirdischen Biomasse ermittelten Stickstoff	42
Abbildung 55:	Lageplan mit den Prüfgliedern in Warnstedt 2008.....	42
Abbildung 56:	Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Raps in Warnstedt 2008	43
Abbildung 57:	Mittlerer Rapsenertrag in den Prüfgliedern in Warnstedt 2008.....	43
Abbildung 58:	Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der Aussaatzeit und eingesetzter N-Düngermenge auf der Teilfläche mit sandigem Lehm in Warnstedt 2008	44
Abbildung 59:	Applikationskarte zur ersten N-Gabe auf dem zweiten Versuchsschlag in Warnstedt 2008.....	45
Abbildung 60:	Ertragskarte vom zweiten Versuchsschlag in Warnstedt 2008	45
Abbildung 61:	Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der N-Düngermenge auf den Teilflächen mit Sand und sandigem Lehm auf dem zweiten Versuchsschlag in Warnstedt 2008	46
Abbildung 62:	Bestandesindex des YNS und N-Mengen im Rapsbestand auf dem Versuchsschlag 2009 zum Ende der Herbstentwicklung 2008	46
Abbildung 63:	Lageplan der Prüfglieder des Versuches 2009 mit Winterraps in Warnstedt.....	46
Abbildung 64:	Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Winterraps in Warnstedt 2009	47
Abbildung 65:	Mittlerer Rapsenertrag in den jeweiligen Prüfgliedern in Warnstedt 2009	47
Abbildung 66:	Erträge der drei Standardvarianten sowie des reduzierten Prüfgliedes in den drei Ertragsbereichen	48
Abbildung 67:	Verteilung der Bodenarten auf dem Versuchsschlag mit Winterraps in Warnstedt 2010.....	50
Abbildung 68:	Lageplan der Prüfglieder des Versuches 2010 mit Winterraps in Warnstedt.....	50
Abbildung 69:	Bestandesindex des YNS und N-Mengen im Rapsbestand auf dem Versuchsschlag 2010 zum Ende der Herbstentwicklung 2009	50
Abbildung 70:	N-Applikationskarte zur ersten Stickstoffgabe auf dem Schlag mit Winterraps in Warnstedt 2010	50
Abbildung 71:	Ertragsbereiche des Versuchsschlages in Warnstedt 2010.....	51
Abbildung 72:	Ertragskarte vom Winterrapschlag in Warnstedt 2010.....	51
Abbildung 73:	Vergleich der Rapsjahre 2007 und 2010 im Bereich der konstanten N-Düngung.....	51
Abbildung 74:	Verteilung des N_{\min} nach der Ernte der Vorfrucht auf einem heterogenen Ackerschlag im Jahr 2007 in Staritz	53

Abbildung 75:	N-Entzug des Winterrapsbestandes zum Ende der Vegetation 2007 in Staritz	53
Abbildung 76:	Lageplan der Prüfglieder vom Versuchsschlag 2008	54
Abbildung 77:	Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und dem Ertrag auf einer Teilfläche des Versuchsschlages	54
Abbildung 78:	Ertragskarte vom Winterraps in Staritz 2007/2008	54
Abbildung 79:	Mittlerer Rapsrertrag in den vier Prüfgliedern in Staritz 2007/2008	55
Abbildung 80:	Luftbild vom abreifenden Weizenbestand im Juni 2006	56
Abbildung 81:	Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit vom Versuchsschlag	56
Abbildung 82:	Bestandesindex des YNS und die N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse zum Ende der Vegetation 2008 ..	57
Abbildung 83:	Prüfglieder und Versuchsanlage von dem Versuchsschlag 2009	57
Abbildung 84:	Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Winterrapsrertrag von zwei Erntejahren	57
Abbildung 85:	Beziehung zwischen dem Relativertrag und dem Winterrapsrertrag von zwei Erntejahren	57
Abbildung 86:	Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Raps 2008/2009	58
Abbildung 87:	Mittlerer Rapsrertrag in den Standardprüfgliedern 2009	59
Abbildung 88:	Bestandesindex des YNS und die N-Aufnahme der Biomasse zum Ende der Vegetation 2009	60
Abbildung 89:	Prüfglieder und Versuchsanlage vom Versuchsschlag 2010	60
Abbildung 90:	Auf den jeweiligen Teilflächen zur ersten Gabe ausgebrachte N-Menge	61
Abbildung 91:	Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Raps 2010	61
Abbildung 92:	Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (EM 38) vom Versuchsschlag 2008 in Köllitsch	62
Abbildung 93:	Bestandesindex des YNS und die N-Einlagerung in die oberirdische Biomasse	62
Abbildung 94:	Verteilung der Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Rapsdüngung in Köllitsch 2008	63
Abbildung 95:	Im Herbst und im Frühjahr auf den jeweiligen Teilflächen eingesetzte N-Mengen	63
Abbildung 96:	Ertragskarte der Winterrapsversuchsfläche in Köllitsch 2008	64
Abbildung 97:	Erträge der einzelnen Parzellen auf dem Versuchsschlag 2008 in Köllitsch	64
Abbildung 98:	Scheinbare elektrische Leitfähigkeit vom Winterrapserschlag 2009	65
Abbildung 99:	Bestandesindex des YNS zum Ende der Vegetation 2008	65
Abbildung 100:	Lageplan der Prüfglieder vom Versuchsschlag 2009	65
Abbildung 101:	Ertragskarte 2009 vom Versuchsschlag in Köllitsch	65
Abbildung 102:	Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem N-Entzug an den Messpunkten	66
Abbildung 103:	Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und dem Ertrag in unterschiedlichen Jahren ..	66
Abbildung 104:	Mittlerer Rapsrertrag in den einzelnen Prüfgliedern in Köllitsch 2009	67
Abbildung 105:	Scheinbare elektrische Leitfähigkeit vom Versuchsschlag in Köllitsch 2010	67
Abbildung 106:	Bestandesindex zum Ende der Herbstentwicklung auf dem Versuchsschlag in Köllitsch 2010	67
Abbildung 107:	Versuchsanlage und Prüfglieder in Köllitsch 2010	68
Abbildung 108:	Applikationskarte zur ersten N-Gabe in Köllitsch 2010	68
Abbildung 109:	Ertragskarte vom Winterrapserschlag in Köllitsch 2010	68
Abbildung 110:	Im September 2008 in Langenchursdorf ausgebrachte N-Mengen	70
Abbildung 111:	Spezieller Bestandesindex des YNS zum Ende der Vegetation 2008	70
Abbildung 112:	Lage der Prüfglieder in Langenchursdorf 2009	70
Abbildung 113:	Ertragskarte vom Versuchsschlag in Langenchursdorf 2009	70
Abbildung 114:	N-Düngermenge im Frühjahr und der Rapsrertrag in dem variablen und dem konstanten Prüfglied	71
Abbildung 115:	Ackerzahl auf dem Versuchsschlag mit Winterraps in Langenchursdorf 2010	72
Abbildung 116:	Verteilung der Herbststickstoffgabe auf den Teilflächen	72
Abbildung 117:	Zum Ende der Vegetation in der oberirdischen Biomasse eingebundene N-Menge	72
Abbildung 118:	Lage der Prüfglieder auf dem Rapserschlag in Langenchursdorf 2010	72
Abbildung 119:	Applikationskarte für die 1. N-Gabe in Langenchursdorf 2010	72
Abbildung 120:	Ertragskarte vom Versuchsschlag in Langenchursdorf 2010	72
Abbildung 121:	Ergebnisse der N _{min} -Untersuchung vor und nach dem Winter 2009 auf dem Versuchsschlag in Warnstedt	74
Abbildung 122:	Ergebnisse der S _{min} -Untersuchung vor und nach dem Winter 2009 auf dem Versuchsschlag in Warnstedt	74
Abbildung 123:	Karte der Reichsbodenschätzung vom Weizenschlag 2008	75
Abbildung 124:	Karte der Reichsbodenschätzung vom Weizenschlag 2009	75
Abbildung 125:	Karte der Reichsbodenschätzung vom Weizenschlag 2010	76

Abbildung 126: N _{min} -Gehalte auf dem Versuchsschlag mit Weizen 2008.....	76
Abbildung 127: Lageplan der Prüfglieder auf dem Winterweizenschlag 2008.....	76
Abbildung 128: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit von der Versuchsfläche 2009.....	76
Abbildung 129: Offsetkarte für den Versuchsschlag 2009 und die darin festgelegten Abstufungen in kg/ha.....	76
Abbildung 130: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern zur 2. N-Gabe in Abhängigkeit vom Bestandesindex.....	77
Abbildung 131: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern zur 3. N-Gabe in Abhängigkeit vom Bestandesindex.....	77
Abbildung 132: Ertragskarte vom Versuchsschlag 2008 in Warnstedt.....	77
Abbildung 133: Beziehung zwischen dem Relativertrag und dem 2008 erzielten Weizenertrag.....	77
Abbildung 134: Ertragskarte für den Versuchsschlag 2009 in Warnstedt.....	78
Abbildung 135: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem Kornertrag 2009.....	78
Abbildung 136: Ertragskarte für den Versuchsschlag 2010 in Warnstedt.....	78
Abbildung 137: Beziehung zwischen dem Relativertrag und dem 2010 erzielten Weizenertrag.....	78
Abbildung 138: Ertrag und Rohproteingehalt im Höchstertragbereich im Versuch mit Winterweizen 2008 in Warnstedt.....	79
Abbildung 139: Ertrag des Winterweizens in den jeweiligen Prüfgliedern und Ertragsbereichen in Warnstedt 2009.....	79
Abbildung 140: Rohproteingehalt in Abhängigkeit von den Prüfgliedern in Warnstedt 2009.....	80
Abbildung 141: N _{min} nach der Ernte des Winterweizens 2009 in Abhängigkeit von der Bodenzahl.....	80
Abbildung 142: Lage der Versuchspartzellen mit Winterweizen 2008.....	81
Abbildung 143: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Winterweizen 2008.....	81
Abbildung 144: Beziehung zwischen dem Ertrag und dem Rohproteingehalt.....	81
Abbildung 145: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit auf dem Versuchsschlag mit Winterweizen 2009.....	82
Abbildung 146: Versuchsanlage auf dem Winterweizenschlag 2009.....	82
Abbildung 147: Relativertrag (mittel von sechs Erntejahren) der Versuchsfläche mit Winterweizen 2009 und die daraus abgeleitete Einteilung der Ertragsbereiche.....	82
Abbildung 148: Bestandesindex des Winterweizens zum Beginn des Schossens.....	83
Abbildung 149: Ertragskarte 2009 des Versuchsschlages mit Winterweizen in Staritz.....	83
Abbildung 150: Beziehung zwischen Bestandesindex zu Beginn des Schossens und dem Kornertrag des Winterweizens.....	83
Abbildung 151: Beziehung zwischen dem mittleren Relativertrag (sechs Erntejahre) und dem Kornertrag des Winterweizens 2009.....	83
Abbildung 152: Ertragsmittelwerte in den jeweiligen Prüfgliedern und Ertragsbereichen im Versuch mit Winterweizen in Staritz 2009.....	83
Abbildung 153: Rohproteingehalte in Abhängigkeit von den Prüfgliedern in Staritz 2009.....	84
Abbildung 154: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (Veris deep) auf dem Winterweizenschlag 2009 in Köllitsch.....	84
Abbildung 155: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (EM 38) auf dem Winterweizenschlag 2009 in Köllitsch.....	84
Abbildung 156: Lageplan der Prüfglieder auf dem Winterweizenschlag in Köllitsch.....	85
Abbildung 157: Bestandesindex zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe auf dem Winterweizenschlag in Köllitsch.....	85
Abbildung 158: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Winterweizen in Köllitsch 2009.....	85
Abbildung 159: Leitfähigkeit und Bestandesindex des Winterweizens zur 2. N-Gabe in Köllitsch.....	86
Abbildung 160: Leitfähigkeit und Ertrag des Winterweizens 2009 in Köllitsch.....	86
Abbildung 161: Ausgebrachte zweite Stickstoffgabe im Prüfglied Sensor im Versuch mit Winterweizen 2009 in Köllitsch.....	86
Abbildung 162: Ausgebrachte zweite Stickstoffgabe im Prüfglied Sensor + Offsetkarte im Versuch mit Winterweizen 2009 in Köllitsch.....	86
Abbildung 163: Mittlerer Ertrag des Winterweizens auf den Teilstücken der jeweiligen Prüfglieder.....	87
Abbildung 164: Mittlerer Ertrag des Winterweizens in den Ertragsbereichen der drei verschiedenen Prüfglieder.....	87
Abbildung 165: N _{min} nach der Ernte des Winterweizens in Köllitsch in den drei Prüfgliedern.....	87
Abbildung 166: Abhängigkeit zwischen der Leitfähigkeit und den N _{min} - und S _{min} -Werten nach der Ernte.....	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Merkmale der Versuchsstandorte	14
Tabelle 2: Prüffaktoren im Versuch zur biomasseabhängigen Düngebedarfsempfehlung.....	14
Tabelle 3: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung im Raps im ersten Versuchsjahr	18
Tabelle 4: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung im Raps ab dem zweiten Versuchsjahr	19
Tabelle 5: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung des Weizens	19
Tabelle 6: Veränderungen in der Sprossbiomasse und dem darin eingebundenen Stickstoff über Winter 2009/2010 am Standort Baruth	22
Tabelle 7: Prinzip der biomasseabhängigen N-Düngebedarfsermittlung zu Winterraps im Beratungsprogramm BEFU	25
Tabelle 8: Rapsrerträge im Versuchsjahr 2009 in den Versuchen zur biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung	27
Tabelle 9: Rapsrerträge im Versuchsjahr 2010 in den Versuchen zur biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung	28
Tabelle 10: Optimalertrag und N-Aufwand im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme im Herbst in den einzelnen Prüfgliedern auf dem diluvialen Standort in Baruth	29
Tabelle 11: Verbleib des in Staritz nach dem Aufgang der Rapspflanzen ausgebrachten markierten Stickstoffs.....	32
Tabelle 12: Verbleib des in Warnstedt nach dem Aufgang der Rapspflanzen ausgebrachten markierten Stickstoffs	32
Tabelle 13: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern im Versuchsjahr 2008.....	42
Tabelle 14: Ertrag, eingesetzte N-Mengen und N-Saldo auf den einzelnen Teilflächen auf dem zweiten Versuchsschlag zur Ernte 2008.....	45
Tabelle 15: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern im Versuchsjahr 2009.....	47
Tabelle 16: Erträge in den Ertragsbereichen und die Bilanz des Düngerstickstoffs.....	49
Tabelle 17: Ausgebrachte N-Menge in den verschiedenen Prüfgliedern im Frühjahr 2010	50
Tabelle 18: Ertrag, N-Düngermenge und N-Bilanz in den drei Standardvarianten für die Teilflächen mit zusätzlicher N-Gabe im Herbst	52
Tabelle 19: Ertrag, N-Düngermenge und N-Bilanz in den drei Standardvarianten für die Teilflächen ohne zusätzliche N-Gabe im Herbst	52
Tabelle 20: Ausgebrachte mittlere N-Menge in den jeweiligen Prüfgliedern	54
Tabelle 21: Erträge und die Bilanz des Düngerstickstoffs in den Bereichen mit unterschiedlicher Leitfähigkeit	55
Tabelle 22: Ausgebrachte N-Mengen in den einzelnen Prüfgliedern	58
Tabelle 23: Rapsrertrag und die Bilanz des eingesetzten Düngerstickstoffs in den Standardprüfgliedern 2009.....	59
Tabelle 24: Rapsrertrag und die Bilanz des eingesetzten Düngerstickstoffs in den Standardprüfgliedern 2010.....	61
Tabelle 25: Ausgebrachte N-Mengen in den einzelnen Prüfgliedern in Köllitsch	66
Tabelle 26: Erträge in den Ertragsbereichen und die Bilanz des im Frühjahr ausgebrachten Düngerstickstoffs	69
Tabelle 27: Erträge und N-Bilanz der eingesetzten Düngermenge in Langenchursdorf im Versuchsjahr 2009.....	71
Tabelle 28: Erträge und N-Bilanz der eingesetzten Düngermenge in Langenchursdorf im Versuchsjahr 2010.....	73
Tabelle 29: N-Düngermengen und Weizenertrag in den Prüfgliedern 2009.....	78

Abkürzungsverzeichnis

BEFU	vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie entwickeltes Programm zur Düngeberatung und Nährstoff- sowie Humusbilanzierung (abgeleitet von B estandes f uehrung)
C/N-Verhältnis	Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff
GD	Grenzdifferenz
IR/G	einfacher Quotient aus einem Reflexionsmesswert im Nahinfrarot- und im Grünbereich
IR/R	einfacher Quotient aus einem Reflexionsmesswert im Nahinfrarot- und im Rotbereich
LSD	Least Significant Difference
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
NDVI	normalized difference vegetation index, nach Bausch 1993, $(R780-R670)/(R780+R670)$
NDI	normalized difference index form, nach Müller u.a. 2008
SR	simple ratio formt, einfacher Quotient von zwei Wellenlängen-messwerten
Vlopt	Vegetationsindex optimal; nach Reusch 2005 $(100 * (\ln R780 - \ln R740))$ bzw. nach Jasper u.a. 2006 $(100 * (\ln R760 - \ln R730))$
WHD	Wurzelhalsdurchmesser
YNS	Yara-N-Sensor

1 Anlass und Zielstellung des Projektes

Der Anbau von Winterraps hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. Ursache dafür sind die gute Nachfrage und die im Vergleich zu anderen Marktfrüchten deutlich höheren Erlöse. Verbreitet wird ein Anbauumfang von mehr als 20 % der ackerbaulich genutzten Fläche erreicht. Dabei zeigt sich, dass der Raps von den wichtigsten Feldfrüchten in seinem Ertrag am deutlichsten auf den Stickstoffeinsatz reagiert (ALBERT 2007). Weil mit dem Rapssamen jedoch nur etwa die Hälfte der zum Höhepunkt der pflanzlichen Entwicklung im Bestand gebundenen N-Menge vom Feld abgefahren wird, ergeben sich hier beachtliche N-Bilanzüberschüsse.

Aktuelle Erhebungen von HEINITZ (2010) zum N-Management in typischen sächsischen Landwirtschaftsbetrieben ergaben, dass der N-Bilanzüberschuss beim Winterraps im Mittel der Jahre 2006 bis 2009 bei 99 kg/ha lag. Erfasst wurde dabei eine Anbaufläche von rund 13.000 ha. Die Bilanzierung erfolgte auf Grundlage der Vorgaben der Düngeverordnung. Der mittlere Stickstoffeinsatz (mineralisch und organisch) betrug dabei 210 kg/ha. Die Spannweite war jedoch beachtlich und lag zwischen 130 und 300 kg N/ha. Es konnte keine Beziehung zwischen der eingesetzten N-Menge und dem erzielten Ertrag festgestellt werden. Dabei zeigt sich, dass mit zunehmender Höhe der eingesetzten N-Menge das Risiko von Nitratausträgen insgesamt ansteigt (HENKE et al. 2008). Die Auswertung von Schlagdaten sächsischer Praxisbetriebe ergaben, dass N-Bilanzsalden wesentlich von den realisierten Erträgen bestimmt werden (ALBERT & SCHLIEPHAKE 2010). Den Ergebnissen zufolge führen hohe Erträge bei bedarfsgerechter N-Düngung zu einer effizienten und zugleich umweltschonenden N-Verwertung.

Die Ausnutzung des standörtlichen Ertragspotenzials erfordert deshalb besondere ökologische Sensibilität. Spezielles Augenmerk kommt den heterogenen Ackerschlägen zu, weil hier selbst ausgeglichene N-Bilanzen die Tatsache überdecken, dass im Bereich hoher Erträge diese Bilanz häufig negativ ausfällt und im Niedrigertragsbereich deutliche Stickstoffüberhänge verbleiben. Daraus resultieren punktuelle Belastungen. Auf Grund des geringen Wasserspeichervermögens fällt in den Schlagteilen mit niedrigen Erträgen vorwiegend Sickerwasser mit erhöhter Nitratkonzentration an. Dieser Umstand erschwert die Erfüllung der Zielstellung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Vor allem in den Trockengebieten mit geringer Sickerwasserbildung werden infolge der verminderten Verdünnung hohe Nitratgehalte im oberflächennahen Grundwasser beobachtet.

Kennzeichnend für viele Standorte im Mitteldeutschen Trockengebiet ist die Heterogenität der Böden. Besonders ausgeprägt ist dies auf vielen diluvialen sowie aluvialen Standorten und nimmt regelmäßig mit der Größe der Schläge zu. Unter den geschilderten Bedingungen wird die Ertragsbildung stark vom Wasserspeichervermögen im potenziellen Wurzelraum der Pflanzen beeinflusst. Insbesondere spät ausgebrachter Stickstoff kommt zumeist nur unvollständig zur Wirkung und stellt regelmäßig ein beachtliches Verlustpotenzial dar.

Dieser Umstand spricht für eine stärkere Anwendung teilflächenspezifischer Bewirtschaftung. Zudem erfordert ein begrenztes Wasserangebot in jedem Fall eine ausgewogene Pflanzenernährung, um Phasen mit auftretendem Trockenstress besser zu überstehen. Dabei ist der Stickstoffeinsatz restriktiver zu handhaben und stärker an das Ertragspotenzial der Teilflächen anzupassen. Einzuschränken ist jede unproduktive Substanzbildung, die lediglich zu einem erhöhten Wasserverbrauch führt. Insbesondere sehr zeitige hohe Stickstoffbereitstellung fördert zwar in der vegetativen Phase ein kräftiges Blattwachstum, behindert aber eher die Ausprägung einer intensiven Durchwurzelung insbesondere des Unterbodens. Der Pflanzenbestand und seine Entwicklung sind deshalb an das begrenzte Wasserangebot besser anzupassen.

Die Zunahme im Anbauumfang beim Winterraps und der im Vergleich zu anderen Fruchtarten deutlich zu hohe N-Bilanzüberschuss lassen konkreten Handlungsbedarf erkennen. Auf heterogenen Böden findet sich bei Raps regelmäßig bereits vor dem Winter eine differenzierte Bestandesentwicklung. Durch eine überhöhte (zumeist auch unnötige) Andüngung im Herbst wird dies allerdings häufig visuell überdeckt.

In der Abbildung 1 wurde ein Rapsbestand mit dem Yara-N-Sensor (YNS) zum Ende der Vegetation erfasst. Der gemessene spezielle Index (Bestandesindex), der sehr gut die Bestandesentwicklung wiedergibt, weist deutliche Unterschiede in den einzelnen Schlagteilen auf. An den in der Abbildung dargestellten Probenahmepunkten wurden parallel dazu durch Handprobenahme die gebildeten Trockenmassen ermittelt. Einen Eindruck von markanten Schlagteilen und die dort ermittelten Trocken-

massen gibt Abbildung 2. Innerhalb des Ackerschlaes fanden sich Sprosstrockenmassen im Bereich von 25 bis 65 dt/ha. Darin eingebunden war eine Stickstoffmenge von 50 bis 250 kg/ha. Dabei ist zu bemerken, dass N-Mengen im vorwinterlichen Rapsbestand von 40 bis 80 kg N/ha ausreichend sind, um später mit bedarfsgerechter Frhjahrsdngung hohe Ertrge zu realisieren. Eine entsprechende Einbeziehung der unterschiedlichen Vorwinterentwicklung in die Dngelbedarfsermittlung fr das Frhjahr erfolgte gegenwrtig gar nicht bzw. nur unzureichend.

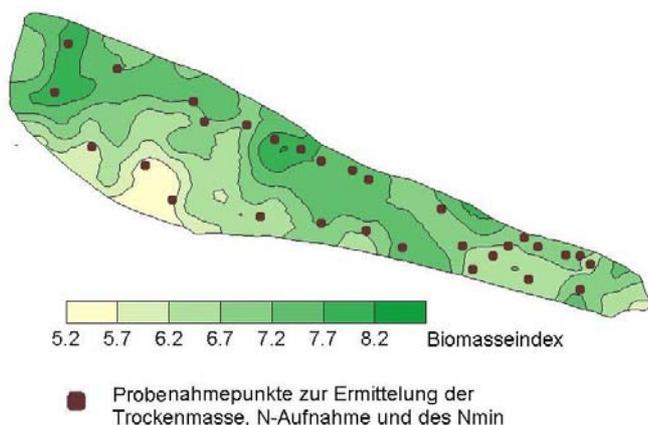


Abbildung 1: Bestandesindex von Winterraps im November 2006 auf einem heterogenen Ackerschlag und die georeferenzierten festen Probenahmepunkte

Abbildung 2: Differenziertheit eines Rapsbestandes vor Winter auf einem heterogenen Ackerschlag



Abbildung 3: Rapsbestand vor und nach einem Winter mit starken Kahlfrsten auf einem Lsstandort in Ostachsen

Erschwerend fr die Ermittlung des N-Bedarfs insgesamt erweist sich beim Raps, dass oft ber Winter erhebliche Anteile der im Herbst gebildeten Sprosstteile absterben. Die ber Winter auftretenden Blatt- und N-Verluste knnen ein beachtliches Ausmaß erreichen (Abb. 3). Dabei spielt sicher das eher kontinentale Klima in Mitteldeutschland eine nicht unwesentliche Rolle (extremere Temperaturgegensätze und Kahlfrste).

ber den Umfang und den zeitlichen Verlauf der erneuten Verfgbarkeit dieses N ist wenig bekannt. Vermutlich wird dies stark von der N-Versorgung des Bestandes beeinflusst (z. B. gespeichertes Nitrat, wasserlsliche N-Verbindungen, Reineiweiß) und von den Witterungsbedingungen im Verlauf des Frhjahrs (Temperatur und Niederschlag). Unter den Bedingungen von regel-

mäßig auftretender Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit sollten allerdings die Mineralisation und damit die erneute Freisetzung dieses Stickstoffs unter Umständen stark eingeschränkt bleiben. Die Klärung dieser Problematik ist ein wichtiger Beitrag für eine umweltschonendere Stickstoffdüngung im Rapsanbau, zumal wenn es sich um Beträge handelt, die die Menge einer einfachen N-Gabe überschreiten.

Mit dem Projekt sollen Wege aufgezeigt werden, wie die hohen N-Bilanzüberschüsse bei Winterraps abgebaut und folglich die Gefahr von Stickstoffausträgen verringert werden können. Durch konsequente teilschlagbezogene Stickstoffdüngung ergibt sich besonders auf heterogenen Ackerschlägen ein beachtliches Potenzial, um Stickstoffverluste wirksam einzuschränken. Voraussetzung ist jedoch, dass die auszubringende N-Menge an den jahresspezifischen Stickstoffbedarf des Pflanzenbestandes angepasst wird. Die Erfassung der vorwinterlichen Entwicklung und ihre Differenziertheit können dafür einen wichtigen Ansatzpunkt bieten. Für eine bedarfsgerechte Bemessung der N-Gaben ist es zudem notwendig, über den Verbleib des Stickstoffs im Verlauf des Winters abgestorbener Sprosssteile Aussagen zu treffen. Bedeutsam ist dies besonders bei sehr üppigen und gut mit Stickstoff versorgten Beständen, wie sie in den letzten Jahren immer häufiger anzutreffen sind. Ursache dafür ist die günstige und lange Vorwinterentwicklung und der Einsatz von Stickstoffdüngern im Herbst. Festzustellen ist auch eine zunehmende Anwendung von organischen Düngern zum Winterraps, wobei unter günstigen Witterungsbedingungen die Substanzbildung durch verstärkte Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs zusätzlich gefördert wird.

Im Mitteldeutschen Trockengebiet sind gute Bedingungen für die Produktion von Qualitätsweizen mit hervorragender Backqualität gegeben. Das erhöhte Nitratverlustrisiko ergibt sich daraus, dass für die geforderten hohen Rohproteingehalte eine angemessene N-Bereitstellung bis zum Ende der Kornbildung notwendig ist. Die oft schlechte Verwertung führt zu beachtlichen N-Überhängen.

2 Arbeitsschritte und angewandte Methoden

2.1 Arbeitsschritte

Grundlage für die Untersuchungen in den drei Jahren bildeten die Feldversuche in den Kooperationsbetrieben Landgut Staritz und der Agrargesellschaft Warnstedt sowie im zum Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie gehörenden Lehr- und Versuchsgut Köllitsch. Um einen Vergleich zu Standorten mit langjährig höheren Niederschlägen zu erhalten, erfolgten zusätzliche Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Winterrapsdüngung in der Agrargenossenschaft Langenchursdorf. Darüber hinaus wurden auf vier Versuchsstationen des LfULG Feldversuche angelegt. Durch differenzierte Aussaatzeit und N-Bereitstellung wurden unterschiedliche Pflanzenbestände aufgebaut. Untersucht wurde hier der Einfluss der unterschiedlich gebildeten Biomasse auf den Düngebedarf im Frühjahr. Ein Schwerpunkt war, wie sich durch multispektrale Reflexionsmessungen und den daraus gewonnenen Indices Aussagen zur gebildeten Biomasse und der damit einhergehenden N-Aufnahme gewinnen lassen.

In den einzelnen Jahren wurde wie folgt vorgegangen:

Vor dem jeweiligen Versuchsjahr erfolgte die Auswahl geeigneter Ackerschläge. Um die vorgesehenen Fragestellungen zu beantworten, wurde im ersten Versuchsjahr auf den jeweiligen Winterrapsflächen die Aussaat zu zwei unterschiedlichen Terminen durchgeführt. In den folgenden Jahren wurde dann keine zeitlich gestaffelte Aussaat mehr vorgenommen, weil durch die Bodenunterschiede und unterschiedliche N-Versorgung bereits stark differenzierte Bestände vorhanden waren.

Von den betroffenen Ackerschlägen wurde das vorliegende Datenmaterial wie Ertragskarten der zurückliegenden Jahre sowie die vorhandenen Bodenkarten (Karten der Reichsbodenschätzung; Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit) gesammelt, um einen Überblick zur Heterogenität des Standortes und über die Differenzierung der Erträge über die Jahre zu erhalten. Wo noch nicht vorhanden, wurde eine Standortinventur mit dem Bodenscanner EM 38 durchgeführt und die elektri-

sche Leitfähigkeit des Bodens ermittelt. Nach rastermäßigen Bodenbeprobungen der Versuchsflächen wurden aus den erhaltenen Messwerten Nährstoffkarten erstellt.

Zum Ende der herbstlichen Entwicklung wurden die Rapsbestände mit dem YNS (Yara-N-Sensor) gescannt, um vorhandene Differenzierungen zu erfassen. Parallel dazu wurden auf markanten Schlagteilen georeferenzierte Handbeprobungen durchgeführt, um die gebildete Pflanzensubstanz sowie den dazugehörigen N-Gehalt direkt zu ermitteln. Aus der Kombination von YNS und der Handbeprobung wurde dann die N-Aufnahme des Gesamtschlages berechnet. An den georeferenzierten Probenpunkten wurde zum Ende der Vegetation auch der verbliebene N_{\min} bestimmt. Die Festlegung der Probenpunkte erfolgte entsprechend der vorhandenen Boden- und Bestandesunterschiede.

Die bereits im Spätherbst durchgeführten Untersuchungen wurden zum Ende des Winters wiederholt, um die Veränderungen im Verlauf des Winters zu erfassen. Schwerpunkt war dabei die Erfassung eventueller Blattverluste und die Ermittlung des N_{\min} zu Vegetationsbeginn. Aus den Untersuchungsergebnissen wurden Düngeempfehlungen für die teilflächenspezifische N-Düngung nach den vorgesehenen Ansatzmethoden abgeleitet und die notwendigen Applikationskarten erarbeitet.

Im Verlauf der Vegetation erfolgten regelmäßig Bonituren und die Dokumentation der Pflanzenentwicklung auf den Raps- und Weizenschlägen. Vor dem Mähdrusch erfolgte auf den Weizenschlägen an vorgegebenen Probenpunkten eine Handernte, um den Einfluss auf die Qualität der Ernteprodukte in Abhängigkeit von Bodenunterschieden und N-Düngung zu untersuchen. Zur Erfassung der N_{\min} -Reste erfolgte nach der Ernte eine abschließende Bodenbeprobung.

Auf den Winterrapsflächen Staritz und Warnstedt wurden im September 2008 und 2009 ^{15}N -Kleinstparzellen angelegt, um den Weg des im Herbst aufgenommenen Stickstoffs im Verlauf der Vegetation besser verfolgen zu können.

Eine zentrale Fragestellung im Projekt war, wie sich die unterschiedliche Bestandesentwicklung im Herbst auf den N-Bedarf im Frühjahr auswirkt. Zur Klärung standen ab dem Herbst 2008 eine zusätzliche Versuchsreihe auf vier Versuchsstandorten des LfULG zur Verfügung. Kontinuierlich erfolgte die Aufarbeitung und Auswertung der angefallenen Versuchsergebnisse.

2.2 Methoden

2.2.1 Biomasseabhängige Düngebedarfsempfehlung zu Winterraps

Welchen Einfluss eine unterschiedliche Vorwinterentwicklung der Winterrapsbestände auf den N-Bedarf im Frühjahr hat, lässt sich in den Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Düngung nur bedingt ableiten. Besser geeignet sind spezielle N-Steigerungsversuche. Ab Herbst 2008 wurden dafür entsprechende Versuche auf vier Stationen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie angelegt. Hier wurde wie auf den heterogenen Rapschlägen durch Pflanzenprobenahmen und Reflexionsmessungen zum Ende der Vegetation sowie nach dem Winter die gebildete Biomasse erfasst.

3.2.1.1 Beschreibung der Versuchsstandorte

Mit den Steigerungsversuchen wurden sehr unterschiedliche Boden- und Klimabedingungen abgedeckt (Tab. 1). Was die Niederschlagsverhältnisse betrifft, sind die Bedingungen günstiger als im Mitteldeutschen Trockengebiet, wo im langjährigen Mittel lediglich mit einer Jahressumme von etwa 500 mm Niederschlag gerechnet werden kann.

Tabelle 1: Merkmale der Versuchsstandorte

Merkmal	Baruth	Forchheim	Nossen	Pommritz
Leitbodenform	Decksalmbraunerde	Berglehm-Braunerde	Löss-Braunstauglay	Löss-Braunstauglay
Bodenart	anlehmgiger Sand	sandiger Lehm	Lehm	Lehm
Ackerzahl	30	33	65	61
Produktionsgebiet	diluvialer Standort	Verwitterungsstandort	Löss-Standort	Löss-Standort
mittlerer Jahresniederschlag 1994 – 2007 (mm)	588	879	674	619
Jahresmitteltemperatur (° C)	9,8	6,5	9,5	9,5

3.2.1.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde als Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Die Prüffaktoren sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Es wurde auf allen Stationen einheitlich die Sorte Visby angebaut. Eine deutlich differenzierte Vorwinterentwicklung sollte durch verschiedene Aussaatzeiten (zum optimalen, standortüblichen Termin und etwa 14 Tage verspätet) und ein unterschiedliches N-Angebot im Herbst (ohne bzw. mit 50 kg N/ha zur Aussaat) erreicht werden.

Tabelle 2: Prüffaktoren im Versuch zur biomasseabhängigen Düngebedarfsempfehlung

Prüffaktor	Merkmal	Stufen
Faktor A	Aussaatzeit	2
Faktor B	N-Herbstdüngung	2
Faktor C	N-Düngung im Frühjahr	5

Durch Pflanzenprobenahme vor und nach dem Winter wurden die vorhandene Biomasse und die dazugehörige N-Aufnahme ermittelt. Parallel dazu durchgeführte Messungen mit einem Handspektrometer der Firma Tec5 sollten Aufschluss darüber geben, in welchem Maße Reflexionsmessungen und die daraus erstellten Indices geeignet sind die Unterschiede in der Biomassebildung und N-Ernährung wiederzugeben.

Zu Beginn der Vegetation erfolgte eine abgestufte N-Düngung. Außer im ungedüngten Prüfglied wurden zum Streckungswachstum einheitlich 100 kg N/ha verabreicht. Ein genauer Überblick zu den Düngungsstufen findet sich in Tabelle 8. Die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen erfolgten standortüblich.

2.2.2 Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Düngung

Typisch für das Mitteldeutsche Trockengebiet sind mittlere jährliche Niederschlagssummen um die 500 mm. Das trifft sowohl für die bei Torgau gelegenen Standorte Köllitsch und Staritz als auch für das im Harzvorland gelegene Warnstedt zu. Im Vergleich dazu stehen in Langenchursdorf, im Übergangsbereich vom Erzgebirge zum mittelsächsischen Hügelland gelegen, im Mittel der Jahre etwa 180 mm Niederschlag mehr zur Verfügung.

Am Beispiel von Köllitsch soll die in den drei Versuchsjahren angetroffene Niederschlagsverteilung und der Temperaturverlauf dargestellt werden (Abb. 4). Deutlich wird, dass in dieser Zeit sowohl längere Trockenperioden als auch niederschlagsreiche Abschnitte auftraten. Die oft für die Ertragsbildung kritische Frühjahrs- bzw. Vorsommertrockenheit wurde mit unterschiedlicher Ausprägung in allen drei Versuchsjahren angetroffen. Die Niederschlagsmenge in den einzelnen Jahren lag nur leicht über dem langjährigen Mittel. Der Temperaturverlauf besonders in den Wintermonaten war sehr unterschiedlich. Während im ersten Jahr

beim Raps keine ausgeprägte Vegetationsruhe auftrat, war das in den folgenden zwei Wintern der Fall. Dabei traten lediglich im Winter 2009/2010 bemerkenswertere Auswinterungsschäden auf.

Für die Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Düngung wurden Ackerschläge mit zum Teil beachtlichen Bodenunterschieden ausgewählt. Während es sich in Köllitsch ausschließlich um alluvial geprägte Böden handelt, bewirtschaftet das Landgut Staritz sowohl alluvial als auch diluvial entstandene Böden. Für die Winterrapsversuche wurden hier leichte diluvial entstandene Böden ausgewählt. In der Agrargesellschaft Warnstedt, im Übergangsbereich von den Löss-Schwarzerden der Magdeburger Börde zum Harz gelegen, finden sich vorwiegend diluvial hervorgegangene Böden. Bei den in Langenchursdorf genutzten Ackerschlägen handelte es sich um aus Löss entstandene Lehme.

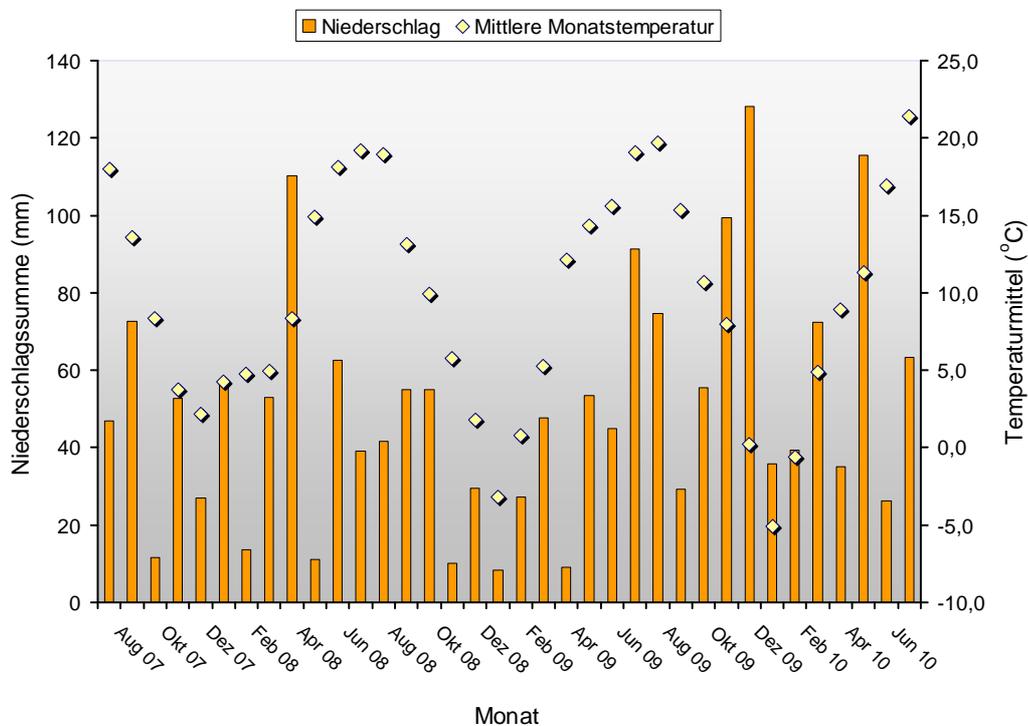


Abbildung 4: Niederschlagsverteilung und mittlere Monatstemperaturen im Verlauf der drei Versuchsjahre am Standort Köllitsch

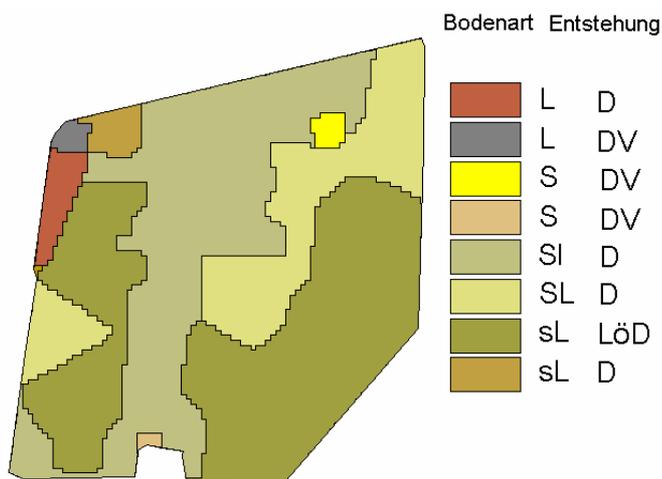


Abbildung 5: Bodenarten auf dem Schlag „Vor den Eichen“ nach der Karte der Reichsbodenschätzung in Warnstedt

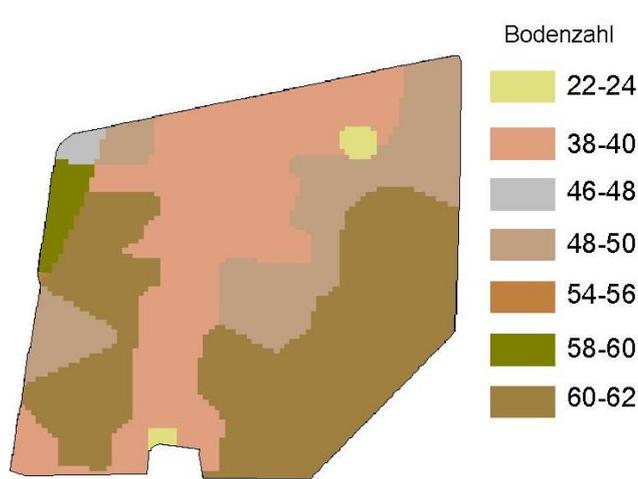


Abbildung 6: Bewertung des Bodens auf dem Schlag „Vor den Eichen“ nach der Reichsbodenschätzung in Warnstedt

Zur Charakterisierung der Bodenheterogenität und des Ertragsverhaltens der Versuchsschläge kamen Karten aus der Reichsbodenschätzung (Abb. 5 und 6), aus Messungen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit mit dem EM 38 (Abb. 7) und Daten aus der mehrjährig vorliegenden Ertragsfassung zum Einsatz (Abb. 9 und 10).

Während die Qualität der Karten der Reichsbodenschätzung vor allem von der Erfahrung und der Standortkenntnisse des Schätzers bestimmt werden, sind die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit durch vorhandene Störgrößen (Bodenverdichtungen, Meliorationsmaßnahmen usw.) beeinflusst. Als Beispiel wurde in den Abbildungen 5 bis 10 der Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt dargestellt. Insgesamt finden sich auf dem 54 ha großen Ackerschlag laut der Karte aus der Reichsbodenschätzung acht verschiedene Bodenarten, die vom Sand bis zum Lehm eine große Vielfalt aufweisen. Vom Flächenanteil bestimmend sind anlehmiger Sand, stark lehmiger Sand und sandiger Lehm. Die große Differenziertheit des Schlages spiegelt sich auch in der Leitfähigkeitskarte wider.

Neben der Vielfalt des Bodens traten oft auch beachtliche Unterschiede im Relief auf (Abb. 8). Auf dem hier vorgestellten Schlag sind es etwa 30 Höhenmeter. Verbunden ist dies mit einer entsprechenden Kuppierung des Geländes.

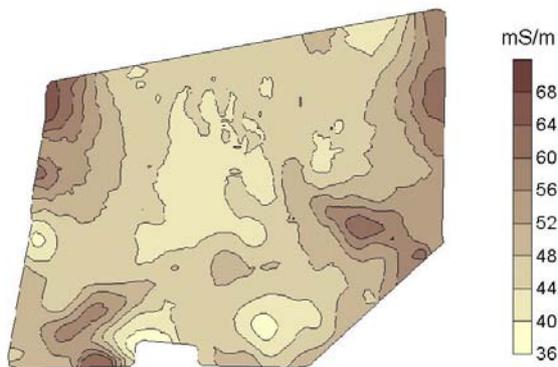


Abbildung 7: Karte der elektrischen Leitfähigkeit für den Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt

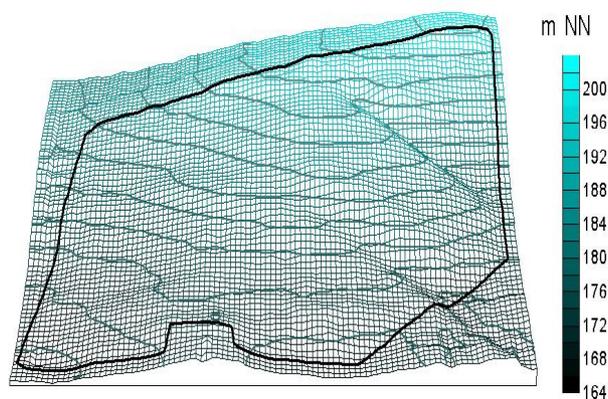


Abbildung 8: Höhenrelief des Ackerschlages „Vor den Eichen“ in Warnstedt

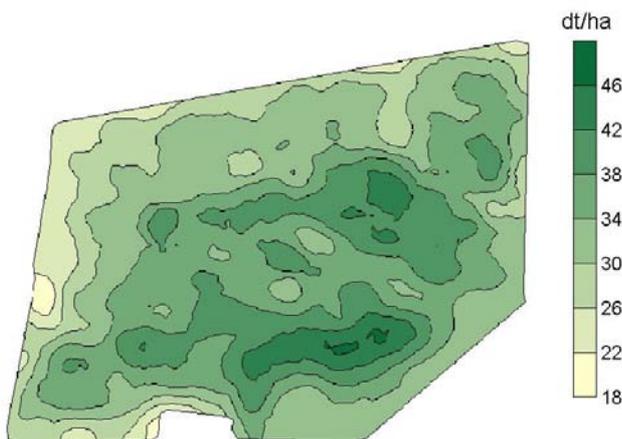


Abbildung 9: Ertragskarte vom letzten Winterertragsanbau aus dem Jahr 2002 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt



Abbildung 10: Ertragskarte der Vorfrucht Winterweizen im Jahr 2007 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt

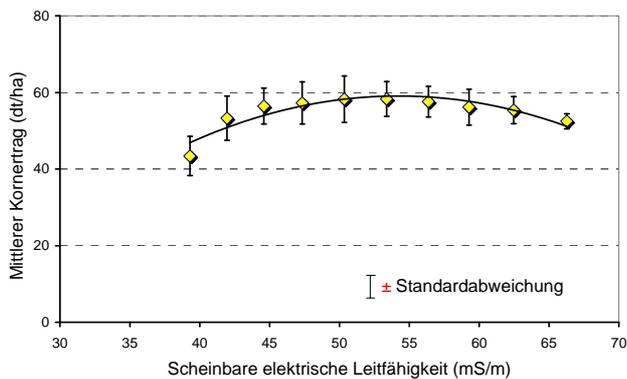


Abbildung 11: Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens und dem Winterweizenertrag 2007 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt

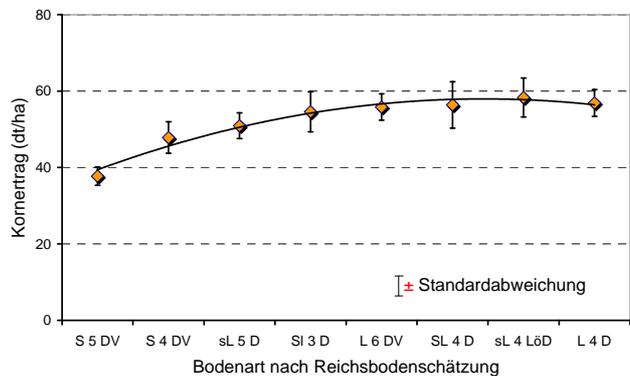


Abbildung 12: Beziehung zwischen der Bodenart und dem Winterweizenertrag 2007 auf dem Schlag „Vor den Eichen“ in Warnstedt

Die Ertragskartierung gibt direkt Auskunft darüber, wie unterschiedlich die Ernten innerhalb der einzelnen Schlagteile ausfallen. Die Differenziertheit ist allerdings zwischen den Jahren unterschiedlich ausgeprägt.

Typisch für die trockenen Bedingungen in Mitteldeutschland sind relativ stabile Ertragszonen. Sie stehen in enger Wechselwirkung mit dem Wasserspeichervermögen der jeweiligen Schlagteile. Der Zusammenhang zwischen Bodenunterschieden und dem Ertragsverhalten wird in Abbildung 11 und 12 wiederum für den Schlag „Vor den Eichen“ aufgezeigt. Der im Jahr 2007 als Vorfrucht für den Rapsversuch angebaute Winterweizen ließ in seinem Ertrag sowohl eine deutliche Abhängigkeit zur scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit als auch zu den anstehenden Bodenarten erkennen. Die Auswertung des Datenmaterials macht aber auch sichtbar, dass auf den Flächenanteilen mit hoher Leitfähigkeit nicht immer die höchsten Erträge erzielt werden. Ursache dafür ist, dass beispielsweise sehr hohe Tongehalte zwar für einen Anstieg der Leitfähigkeit sorgen, aber nicht automatisch auch das Pflanzenwachstum begünstigen. Zudem muss immer mit Störgrößen wie Bodenverdichtungen und Stau-nässe, Meliorationen oder durch Einbeziehung ursprünglicher Wege oder ehemaliger Gräben nach Neugestaltung der Feldflur gerechnet werden.

Eine Auswertung der vorliegenden Ertragskartierung ergab, dass mit dem Anstieg der Heterogenität zumeist eine stabile Zonierung in ertragsstarke und ertragschwache Teilflächen auftrat. Eine Zusammenfassung der Einzelkarten über den Relativertrag wies immer eine enge Beziehung zu den jeweiligen Jahreserträgen auf. Das Ertragsverhalten war sowohl in schwachen als auch in besonders ertragsstarken Jahren gleich. In der Abbildung 13 sind die Verhältnisse am Beispiel des Versuchsschlages mit Raps aus dem Jahr 2008/2009 in Warnstedt dargestellt. Die Auswertung der einzelnen Jahresdaten machte deutlich, dass kleinräumige Bodenunterschiede auch nur durch kleinflächige Auswertungsraster sichtbar werden. In dem hier dargestellten Fall wurde die Auswertung auf der Basis von 5 m x 5 m Rastern vorgenommen.

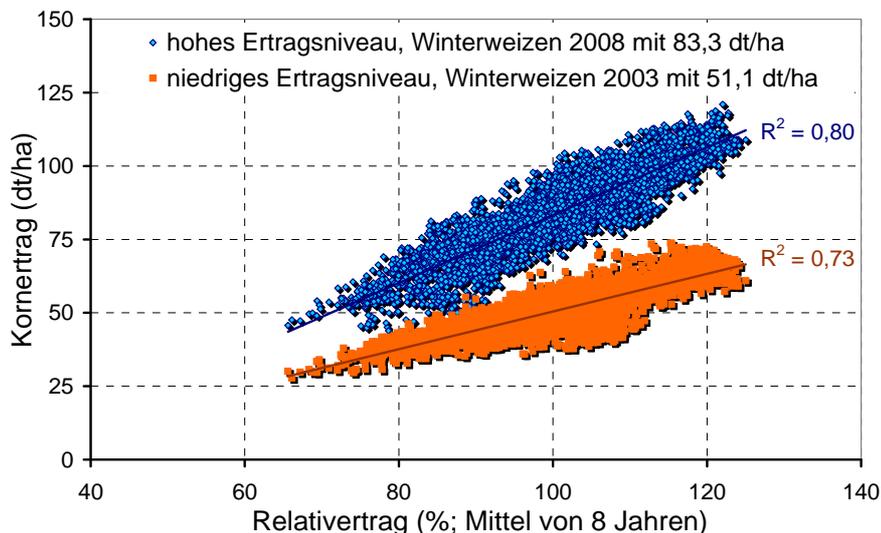


Abbildung 13: Beziehung des Relativertrages zu unterschiedlichen Jahreserträgen auf dem Versuchsschlag 2009 mit Winterraps in Warnstedt

2.2.2.1 Winterraps

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen bildete die Erfassung der Herbstentwicklung der Bestände auf den großen heterogenen Ackerschlägen. Flächendeckend wurden hierfür die Bestände mit dem YNS erfasst. Parallel dazu wurden entsprechend der vorhandenen Bodenunterschiede an georeferenzierten Punkten Handbeprobungen durchgeführt. Die Beprobungen wurden zu Beginn der Vegetation wiederholt.

Geprüft wurden verschiedene Ansätze zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung. Die einzelnen Prüfglieder im ersten Versuchsjahr sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Verteilt wurden sie so über die Versuchsflächen, dass die verschiedenen Bodenarten, Leitfähigkeitsklassen bzw. Ertragsbereiche in ihnen zu etwa gleichen Anteilen vertreten waren. Die Lagepläne wurden den spezifischen Schlagbedingungen angepasst. Die Auswertung des ersten Versuchsjahres ergab, dass selbst auf den größten Schlägen die Aufteilung der vier Grundprüfglieder der ersten N-Gabe in ein konstantes bzw. sensorgestütztes Prüfglied zur zweiten N-Gabe nicht sinnvoll war. Durch die Vielzahl der Prüfglieder waren die unterschiedlichen Ertragsbereiche nicht mit ausreichender Fläche bzw. Wiederholung in jedem einzelnen Prüfglied vertreten. Deshalb wurden ab dem zweiten Versuchsjahr die in Tabelle 4 aufgeführten Prüfglieder weitergeführt.

Tabelle 3: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung im Raps im ersten Versuchsjahr

N-Düngung	Prüfglieder							
	konstant (Bemessung standortüblich)		Sensor (N-Vorgabe wie bei „konstant“, nach Kalibrierung Verteilung mit YNS ± 40 kg/ha)		Sensor mit Offsetkarte (N-Vorgaben wie bei „Sensor“, durch hinterlegte Karte erfolgen Zu- und Abschläge, die zu einer Parallelverschiebung der Sensorfunktion führen)		Kartenansatz (Bilanzverfahren für jedes Raster (10 m x 10 m), Berücksichtigung der zum Ende der Vegetation mit dem YNS gescannten Bestände und der daraus abgeleiteten N-Aufnahme)	
1. N-Gabe	konstant		Sensor		Sensor mit Offsetkarte		Kartenansatz	
2. N-Gabe	konstant	Sensor	konstant	Sensor	konstant	Sensor + Offsetkarte	konstant	Sensor + Offsetkarte

Tabelle 4: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung im Raps ab dem zweiten Versuchsjahr

N-Düngung	Prüfglieder			
1. N-Gabe	konstant (Bemessung nach BEFU-Rapsmodul, unter Berücksichtigung einer mittleren N-Aufnahme im Bestand)	Sensor (N-Vorgabe wie konstant, nach Kalibrierung Verteilung mit $YNS \pm 40$ kg/ha)	Sensor mit Offsetkarte (N-Vorgaben wie bei Sensor, durch hinterlegte Karte erfolgen Zu- und Abschläge, die zu einer Parallelverschiebung der Sensorfunktion führten)	Kartenansatz (Bemessung nach BEFU-Rapsmodul für jedes Raster (10 m x 10 m), Berücksichtigung der zum Ende der Vegetation mit dem YNS gescannten Bestände und der daraus abgeleiteten N-Aufnahme)
2. N-Gabe	konstant	Sensor	Sensor mit Offsetkarte	Sensor mit Offsetkarte

Weil in allen Betrieben die N-Düngung mit Schleuderdüngerstreuern ausgebracht wurde, umfassten die jeweiligen Großteilstücke der Prüfglieder jeweils zwei Fahrgassen. Für die Auswertung wurden dann nur die Kernflächen zwischen den Fahrgassen herangezogen, um den Überlappungseffekt mit dem Nachbarprüfglied auszuschließen. Die Auswertung erfolgte auf der Basis der aus der Ertragskartierung stammenden Daten. Außer der N-Düngung wurden alle anderen acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen standortüblich durchgeführt. Mit Ausnahme von Köllitsch wirtschaften alle Betriebe langjährig mit nichtwendender Bodenbearbeitung. Zum Anbau kamen verschiedene Liniensorten.

2.2.2.2 Qualitätsweizen

Auf Grund regelmäßiger Vorsommertrockenheit ist die Wirkung von späten N-Gaben (zum Ährenschieben und später) sehr unsicher. Im Vordergrund stand deshalb die Frage, wie sich unter den trockenen heterogenen Standortbedingungen hohe Rohproteingehalte realisieren lassen, ohne dass überhöhte N_{min} -Reste nach der Ernte im Boden verbleiben.

Weil die N_{min} -Gehalte zu Beginn der Vegetation oft entsprechend der Bodenunterschiede variierten, wurde zur ersten Gabe der Stickstoff einheitlich ausgebracht. Die vier Grundprüfglieder finden sich in Tabelle 5. In Warnstedt wurde im ersten Jahr die E-Weizensorte Skagen und in den folgenden zwei Jahren die E-Weizensorte Akteur angebaut. In Köllitsch und Staritz kam jeweils die A-Weizensorte Brilliant zum Anbau. Die erste Stickstoffgabe wurde nach dem Einsetzen der Vegetation ausgebracht. Der Zeitpunkt und die Höhe der weiteren N-Gaben richteten sich nach dem N-Bedarf des Bestandes. Als Entscheidungshilfe wurde der Yara-N-Tester genutzt. Damit erfolgten an festen Punkten regelmäßige Messungen.

Tabelle 5: Prüfglieder zur teilschlagspezifischen Stickstoffdüngung des Weizens

N-Düngung	Prüfglieder			
1. N-Gabe	konstant			
2. N-Gabe	konstant	Sensor	Sensor mit Offsetkarte	Sensor mit Offsetkarte ⁽¹⁾
3. N-Gabe	konstant	Sensor ⁽²⁾	Sensor mit Offsetkarte ⁽²⁾	Sensor mit der Funktion „Qualitätsweizengabe“

(1) 2010 wurde die Funktion „Qualitätsweizengabe“ in diesem Prüfglied bereits zum Schossen eingesetzt.

(2) Zur dritten N-Gabe wurde die Funktion „Qualitätsweizengabe“ genutzt.

3 Ergebnisse

Deutlich verbesserte N-Bilanzen im Winterraps- sowie Qualitätsweizenanbau sind ein wesentlicher Beitrag zur Absenkung des Nitrataustragspotenzials in ackerbaulich genutzten Fruchtfolgen. Ausgehend von der Zielstellung des Projektes konzentrierten sich die Untersuchungen in den drei Versuchsjahren auf Entwicklungsabschnitte im Verlauf der Vegetation, die Ansatzpunkte für eine verbesserte N-Düngebedarfsempfehlung bieten. Neben den eigentlichen Versuchen zur teilschlagspezifischen Düngung wurden zusätzliche, begleitende Untersuchungen durchgeführt.

Ab dem zweiten Versuchsjahr wurden auf vier Versuchsstationen des LfULG mit unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen N-Steigerungsversuche mit differenzierter Aussaat und Herbstdüngung genutzt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag darin, den Einfluss differenzierter Vorwinterentwicklung auf den N-Düngebedarf im Frühjahr besser aufzuklären. Ausgelotet wurde in diesen Versuchen auch die Möglichkeit, ob durch multispektrale Reflexionsmessungen und den verschiedensten daraus abgeleiteten Indices eine einfache Bestimmung von Biomasse und N-Ernährungszustand möglich ist.

3.1 Begleitende Untersuchungen

3.1.1 Einfluss der N-Versorgung auf die Vorwinterentwicklung

In einer speziell dafür angelegten Versuchsreihe wurden die Auswirkungen differenzierter Vorwinterentwicklung auf den N-Bedarf im Frühjahr geprüft. Unterschiede in der Biomassebildung und der damit einhergehenden Stickstoffeinlagerung wurde durch eine differenzierte Aussaatzeit und ein unterschiedliches N-Angebot im Herbst erzielt. Die Ergebnisse stellen eine gute Ergänzung zu Untersuchungen auf den heterogenen Rapsschlägen dar. Sie dienen insbesondere dazu, den jahresspezifischen N-Bedarf besser abzuschätzen.

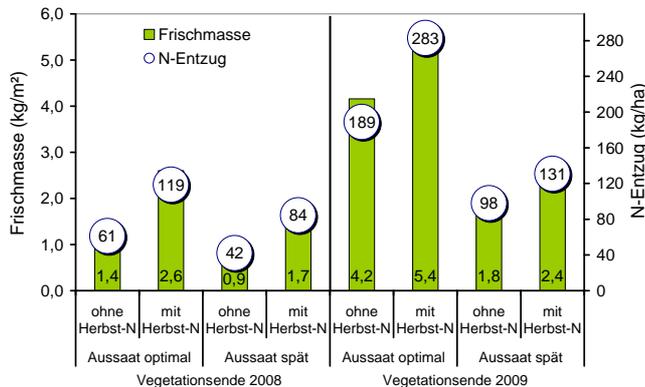


Abbildung 14: Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Baruth

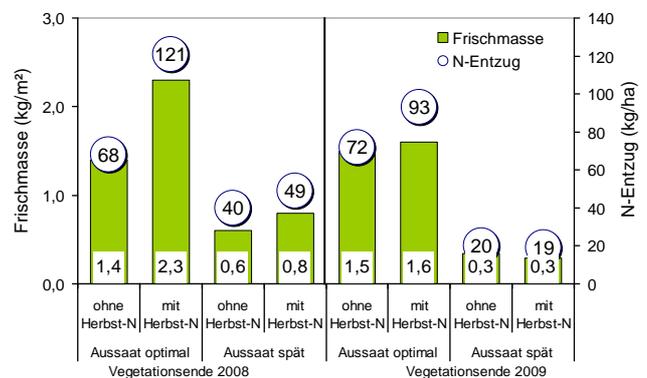


Abbildung 15: Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Forchheim

Zunächst interessieren die zum Ende der Herbstentwicklung gebildeten Frischmassen (Abb. 14 bis 17). Sie belegen einen deutlichen Standort- und Jahreseffekt. Je zeitiger die Aussaat erfolgt und je günstiger die Witterungsbedingungen, umso kräftiger entwickeln sich die Rapsbestände bis zum Ende der Vegetation. Neben einer ausreichend langen Vegetationszeit prägt vor allem das N-Angebot die vorwinterliche Entwicklung. Dabei zeigte sich, dass eine normale, ausreichende Herbstentwicklung in den Versuchsorten durchweg ohne zusätzliche Herbststickstoffgaben möglich war. Bei standortangepasster Aussaatzeit ist das mit einer oberirdischen Frischmassebildung von 1 bis 1,5 kg/m² verbunden. Darin befinden sich dann etwa 50 bis 80 kg N/ha.

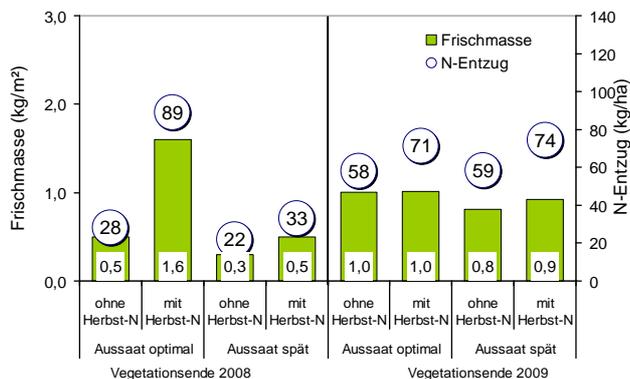


Abbildung 16: Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Nossen

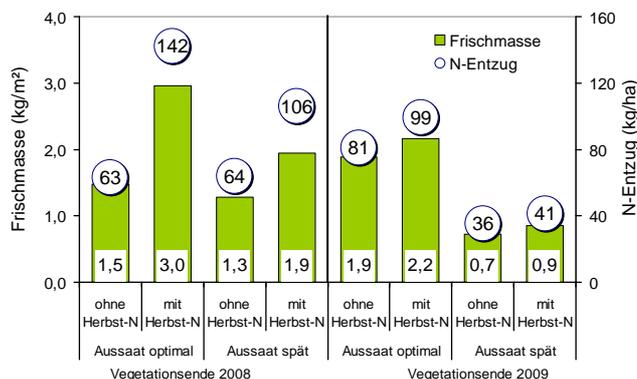


Abbildung 17: Gebildete Frischmasse und N-Aufnahme vom Raps zum Ende der Vegetation in Pommritz

Die angetroffenen Bedingungen entsprachen dabei eher typischen Marktfruchtbetrieben, weil auf den Versuchsflächen langjährig ohne organische Dünger gewirtschaftet wurde. Die herbstliche N-Mineralisation war jedoch durch die Saatbettbereitung mittels Pflug begünstigt.

Die zusätzlich zur Aussaat verabreichten 50 kg N/ha vergrößerten die Sprossbiomasse und die aufgenommenen N-Mengen in etwa um den ausgebrachten Betrag. Ausnahmen wie in Abbildung 16 (Vegetationsende 2009) lassen sich dadurch erklären, dass hier die Herbststickstoffgabe relativ spät nach der Aussaat im Oktober verabreicht wurde. Dieser Stickstoff konnte noch zu großen Teilen vom Winterrapss aufgenommen werden und erhöhte den N-Gehalt in der Trockenmasse um rund 0,6 %. Im Vergleich zu den Prüfgliedern ohne zusätzliche N-Gabe im Herbst führte er allerdings zu keiner signifikanten Zunahme in der Biomasse.

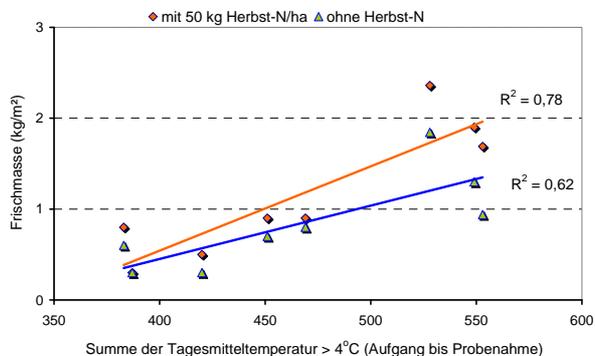


Abbildung 18: Einfluss der Temperatursumme auf die Frischmassebildung des verspätet ausgesäten Rapses bis zum Winter mit und ohne Herbststickstoffgabe

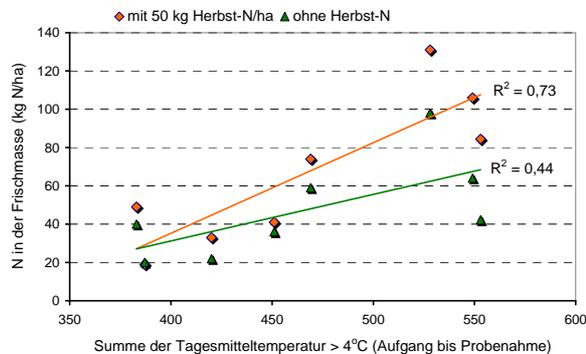


Abbildung 19: Einfluss der Temperatursumme auf die N-Aufnahme in die oberirdische Biomasse des verspätet ausgesäten Rapses bis zum Winter mit und ohne Herbststickstoffgabe

Von besonderem Interesse ist, welchen Einfluss die Winterbedingungen auf unterschiedlich entwickelte Rapsbestände und die in ihnen eingelagerten N-Mengen ausüben. Zwischen den Jahren können dabei beachtliche Unterschiede auftreten. Während im Winter 2007/2008 auf den heterogenen Rapsschlägen in der Zeit von Dezember bis Februar durchweg ein leichter Substanzzuwachs festgestellt werden konnte, wurden in den folgenden zwei Jahren auf allen Versuchsflächen Blattverluste beobachtet. Bei den schwach bis normal entwickelten Rapsbeständen hielten sie sich jedoch mit etwa 10 bis 15 % in Grenzen. Auf eine detaillierte Darstellung soll deshalb hier verzichtet werden.

Verspätete Aussaaten sind in der Regel auch mit einer längeren Keimpflanzenphase verbunden. Der aufgetretene Entwicklungsverzug ist zum Teil beachtlich. Eine Förderung derartiger Bestände durch ein zusätzliches N-Angebot im Herbst brachte nur dann einen signifikanten Biomassezuwachs, wenn bis zum Ende der Vegetation die Summe der Tagesmitteltemperatur (>4° C) deutlich über 500° C lag (Abb. 18). Unter diesen Bedingungen konnte der ausgebrachte Stickstoff durch den Rapsbestand weitgehend aufgenommen werden (Abb. 19). Der von den schwach entwickelten Pflanzenbeständen nicht eingebundene Stickstoff ging auf den leichten und flachgründigen Standorten in Baruth und Forchheim regelmäßig über Winter verloren.

Anders war es allerdings bei sehr kräftig entwickelten Rapsbeständen wie zum Beispiel im Winter 2009/2010 auf dem diluvialen Standort in Baruth (Tab. 6). Günstige Witterungsbedingungen und ein vergleichsweise hohes N-Angebot aus der Hinterlassenschaft der Vorfrucht führten zu einer üppigen Substanzbildung und besonders hoher N-Aufnahme. Selbst der zehn Tage verspätet ausgesäte Raps entwickelte sich so gut, dass auch hier die N-Aufnahme über den Beträgen von normalen Winterrapsbeständen lag. Die Pflanzenprobenahme zu Beginn der Vegetation ergab bei dem üppigen Bestand der optimalen Aussaat, dass nahezu 50 % der Biomasse über Winter abgestorben waren. Damit einhergegangen war ein N-Verlust in gleicher Größenordnung. In welchem Umfang der in der abgestorbenen Biomasse eingebundene Stickstoff wieder pflanzenverfügbar wird, lässt sich schwer abschätzen. Untersuchungen von DEJOUX u. a. (2000) belegen allerdings, dass der Abbau dieses Pflanzenmaterials an der Bodenoberfläche mit verstärkten gasförmigen N-Verlusten verbunden ist und sich die erneute Verwertung durch den Pflanzenbestand im Frühjahr in Grenzen hält.

Tabelle 6: Veränderungen in der Sprossbiomasse und dem darin eingebundenen Stickstoff über Winter 2009/2010 am Standort Baruth

Merkmal	Optimale Aussaatzeit Herbststickstoff		Verspätete Aussaatzeit Herbststickstoff	
	ohne	mit	ohne	mit
N in Sprossbiomasse vor dem Winter (kg/ha)	189	263	98	131
Über Winter abgestorbene Biomasse (%)	36	46	16	21
N in aktiver Sprossbiomasse nach dem Winter (kg/ha)	120	145	82	104

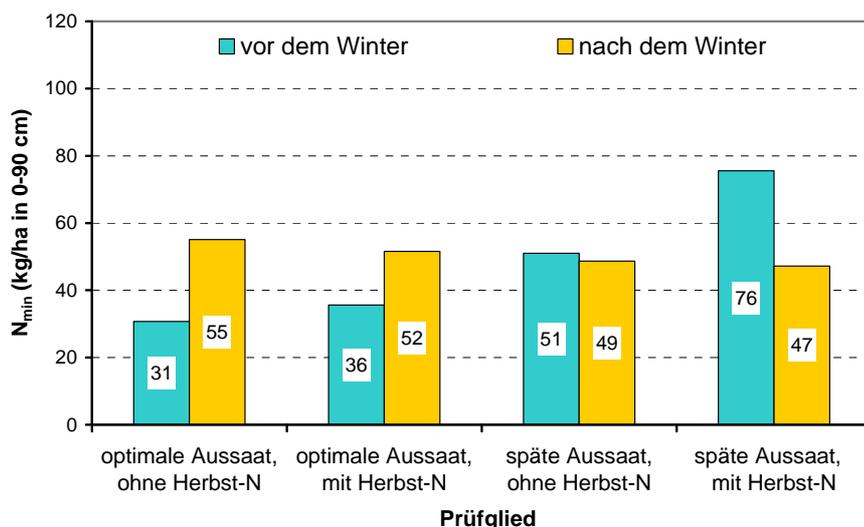


Abbildung 20: N_{min} im Boden unter den verschiedenen Rapsbeständen vor und nach dem Winter 2009/2010

Bemerkenswert war jedoch, dass sich bereits im Verlauf des Winters in den Prüfgliedern mit starken Blattverlusten die N_{\min} -Gehalte um 15 bis 20 kg/ha erhöhten (Abb. 20). Dabei handelte es sich im Wesentlichen um eine Zunahme des Ammoniumstickstoffs. Unter der Spätsaat mit zusätzlichem Herbststickstoff traten zur gleichen Zeit Nitratverluste auf. Das verwundert nicht, weil vor dem Winter bereits ein großer Teil des nicht aufgenommenen Nitrats in dem unteren Bereich der untersuchten Bodenschichten angetroffen wurde.

3.1.2 Frischmassebestimmung zur Einschätzung der N-Aufnahme beim Winterraps

Mit der Bestimmung der oberirdischen Frischmasse lassen sich Unterschiede in der Bestandesentwicklung relativ einfach feststellen. Inwieweit diese Werte Auskunft über die im jeweiligen Pflanzenbestand eingebundenen N-Mengen geben, ist aus Abbildung 21 ersichtlich. Grundlage für diese Ergebnisse bilden über 750 Datensätze von Pflanzenprobenahmen, die im Rahmen dieses Projektes sowohl auf den heterogenen Ackerschlägen als auch in den Rapsversuchen im LfULG durchgeführt wurden. Einbezogen werden somit sehr unterschiedliche Standortbedingungen und N-Niveaus. Zwischen den einzelnen Orten und Jahren sind die Unterschiede gering. Die aus dem Datenmaterial abgeleitete Regressionsfunktion besagt, dass bei einem gebildeten kg Frischmasse je m^2 im Mittel mit einem N-Entzug von rund 50 kg/ha gerechnet werden kann. Mit diesem Wissen lässt sich der in der Biomasse gebundene Stickstoff relativ einfach abschätzen und kann so in eine verbesserte Düngebedarfsermittlung einfließen. Eine hohe Aussagefähigkeit von Frischmassebestimmung und der Abschätzung der bereits erfolgten N-Aufnahmen wird allerdings nur nach entsprechend repräsentativen Probenahmen erzielt. Um den notwendigen Probenumfang mit vertretbarem Aufwand zu realisieren, müssen die Bestände zudem weitgehend homogen sein.

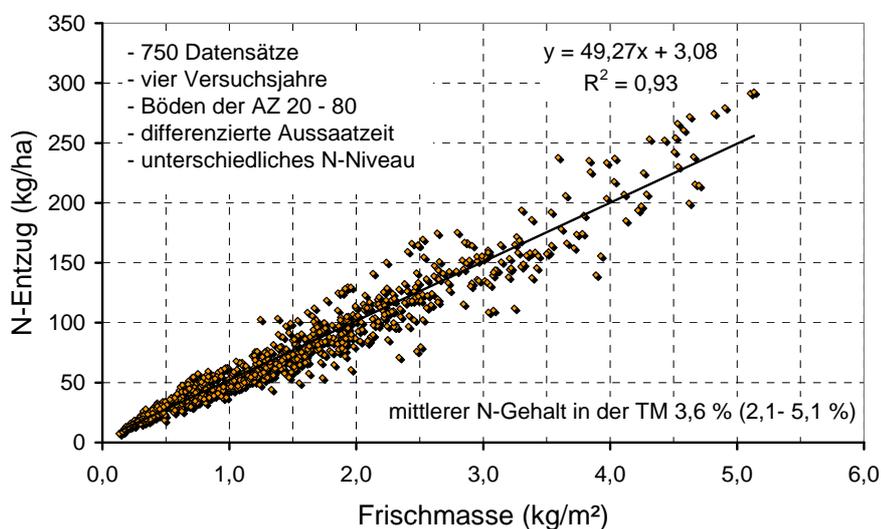


Abbildung 21: Beziehung zwischen der Rapsfrischmasse zum Ende der Vegetation zu der darin eingebundenen N-Menge

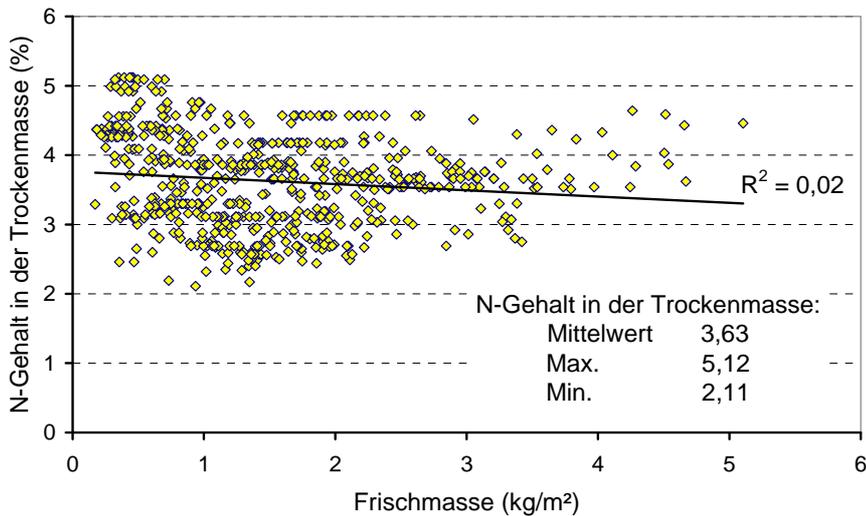


Abbildung 22: Beziehung zwischen der vor dem Winter gebildeten Frischmasse und dem darin ermittelten N-Gehalt

Hingewiesen werden soll in diesem Zusammenhang auf die N-Gehalte in diesem Entwicklungsstadium des Winterrapses (Abb. 22). Sie haben eine beachtliche Spannweite (2,1 bis 5,1 % bezogen auf die Trockenmasse). Besonders augenfällig ist dies bei geringer Substanzbildung. Hier finden sich sowohl verspätete Aussaattermine mit reichlicher N-Versorgung als auch Pflanzenbestände, die zur optimalen Zeit ausgesät wurden, deren Substanzbildung jedoch auf Grund eines niedrigen N-Angebotes begrenzt blieb. In diesem Entwicklungsstadium weisen Pflanzen mit N-Gehalten unter 2,5 % bereits deutliche N-Mangelerscheinungen auf. Festzustellen ist, dass unter günstigen Wachstumsbedingungen der vorhandene pflanzenverfügbare Stickstoff zügig aufgenommen und für die Substanzbildung verbraucht wird. Hohe Frischmassebeträge sind vorwiegend im Bereich des mittleren N-Gehaltes (etwa 3,4 bis 4,0 %) anzutreffen.

Die Ergebnisse der Pflanzenprobenahme zu Vegetationsbeginn waren stark von den Witterungsbedingungen im Winter geprägt. Jahres- und standortbedingt gab es sowohl leichte Zuwächse als auch Substanzverluste, wobei letztere überwogen. Die Regressionsfunktion weist einen etwas lockeren Zusammenhang zwischen der Frischmasse und dem darin eingebundenen Stickstoff aus. Aus dem Datenmaterial geht hervor, dass die ermittelte N-Aufnahme je kg Frischmasse etwas höher als bei den Herbstprobenahmen ausfällt.

Aus den eigenen bisher vorliegenden Befunden lässt sich allerdings noch nicht ableiten, wann der günstigste Zeitpunkt für die Pflanzenprobenahme ist. HENKE et al. (2009) favorisieren die Ermittlung der N-Aufnahme vor dem Winter, weil sie den engsten Zusammenhang zwischen den N-Mengen im Pflanzenbestand und dem später ermittelten N-Düngungsoptimum ergab. Für die praktische Düngeberatung ist diese Frage eher zweitrangig. Wichtiger ist, dass die oft beachtlichen Unterschiede in der Vorwinterentwicklung bei der Ermittlung des Düngebedarfs entsprechende Berücksichtigung finden.

In welcher Weise dies am Besten geschieht, muss sich langfristig noch erweisen. In das vom LfULG entwickelte Programm zur Düngeberatung (BEFU) wurde die Anrechnung der unterschiedlichen Entwicklung bzw. N-Aufnahme der Bestände im Herbst bei der Düngebedarfsermittlung zum Frühjahr 2010 integriert. Das grobe Schema findet sich in Tabelle 7. Es zeigt sich immer wieder, dass für die Bedarfsermittlung standortangepasste Beratungsprogramme ein geeignetes Hilfsmittel sind. In ihnen sollen alle wichtigen, den Düngebedarf beeinflussende Größen, Berücksichtigung finden. Weil die Bilanzierung des N-Bedarfs nach wie vor problematisch ist, wird hier weiter auf bewährte standortabhängige N-Sollwerte zurückgegriffen. In Sachsen liegen sie auf den besseren Standorten bei 200 – 220 kg/ha und auf Sandböden bei 180 kg/ha. Wichtige Korrekturgrößen sind neben dem N_{\min} die Bestandesentwicklung sowie die Ertragserwartung. Erfolgt die Beprobung vor dem Winter und treten bis zum Frühjahr erhebliche Blattverluste auf, wird zum Ausgleich ein leichter Zuschlag gegeben.

Tabelle 7: Prinzip der biomasseabhängigen N-Düngebedarfsermittlung zu Winterraps im Beratungsprogramm BEFU

N-Sollwert: [kg/ha]	Sollte regional typisch sein! Für Sachsen	
	V-Standorte:	220
	Lö-Standorte:	200
	D-Standorte:	180
-	N _{min} -Gehalt zu Vegetationsbeginn	
±	Bestandesentwicklung	
	schwach entwickelter Bestand (< 1 kg FM/m ² bzw. eine N-Aufnahme <50 kg/ha, WHD <7mm)	+ 10 bis + 20
	normal entwickelter Bestand (1 bis 1,5 kg FM/m ² bzw. eine N-Aufnahme von 50 bis 75 kg/ha, WHD 7 bis 9 mm)	± 0
	kräftig entwickelter Bestand (1,5 bis 2,2 kg FM/m ² bzw. eine N-Aufnahme von 75 bis 110 kg/ha, WHD 10 bis 12 mm)	- 20 bis - 50
	sehr kräftig entwickelter Bestand (2,2 bis 3 kg FM/m ² bzw. eine N-Aufnahme von 110 bis 150 kg/ha, WHD > 12 mm)	- 50 bis - 90
±	Erwartungsertrag	
	niedrig (<30 dt/ha)	- 10 bis - 30
	hoch (>40 dt/ha)	+ 10 bis + 40
=	N-Düngung	

3.1.3 Einfluss der differenzierten Vorwinterentwicklung auf den N-Bedarf im Frühjahr

Einen Überblick zu den auf den einzelnen Versuchsstandorten erzielten Erträgen geben die Tabellen 8 und 9. Dabei wurde auf allen Stationen in beiden Jahren ein hohes Ertragsniveau realisiert. Bei der Betrachtung dieser Ergebnisse interessiert besonders die Frage, welchen Einfluss die Vorwinterentwicklung letztendlich auf den N-Bedarf im Frühjahr ausübte. Weil am Standort Baruth sowohl zwischen den beiden Versuchsjahren als auch zwischen den Aussatterminen die Bestandesentwicklung besonders stark differenziert war, lässt sich die Wirkung besonders gut demonstrieren (Abb. 23). Dargestellt wurde hier die Normsaat ohne zusätzlichen Herbststickstoff. Es zeigt sich, dass in beiden Jahren der optimale N-Aufwand im Frühjahr ganz wesentlich von der Bestandesentwicklung im Herbst beeinflusst wurde. Die Annahmen für die Ermittlung des N-Optimums aus Abbildung 23 wurden auch für alle weiteren Berechnungen genutzt. Auf dem diluvialen Standort war für die Erzielung eines hohen Ertragsniveaus (etwa 50 dt/ha) im Mittel eine N-Summe aus dem bereits im Herbst aufgenommenen Stickstoff sowie dem im Frühjahr eingesetzten Düngerstickstoff von rund 310 kg/ha notwendig (Tab. 10).

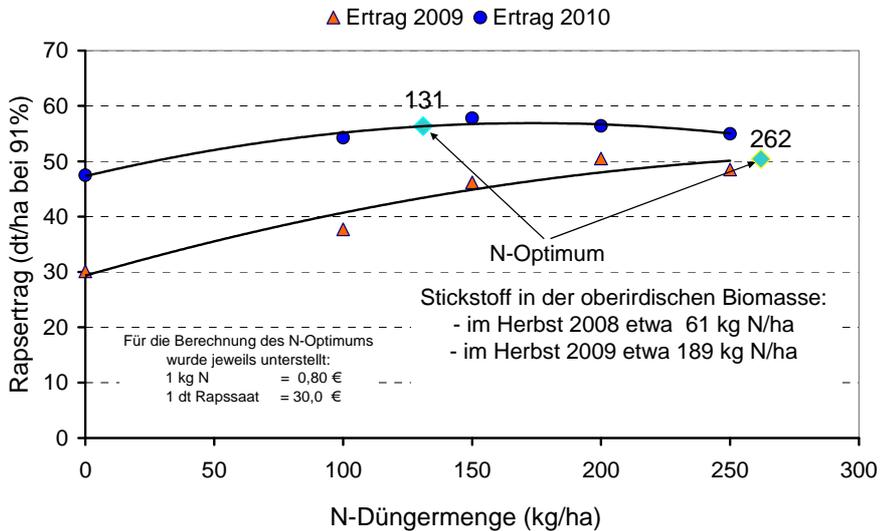


Abbildung 23: Rapsertag nach unterschiedlicher Herbstentwicklung bei optimaler Aussaat und ohne zusätzlichen Herbststickstoff auf dem diluvialen Standort in Baruth

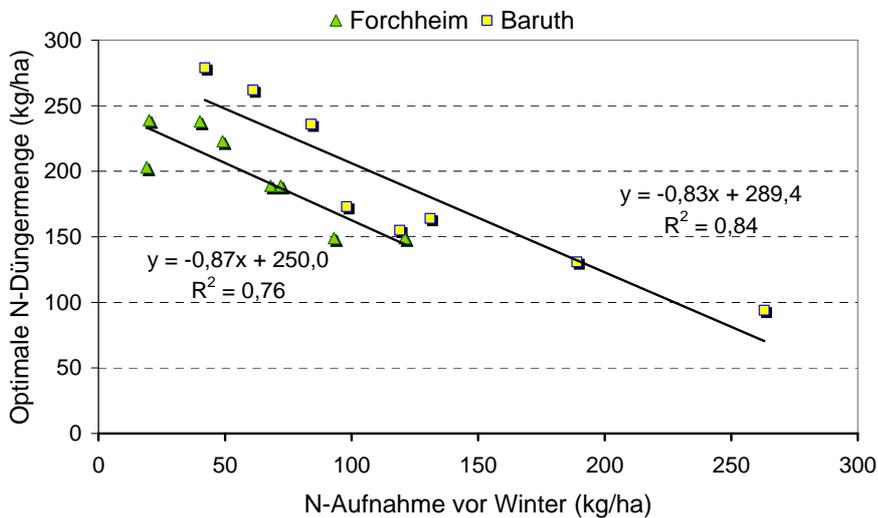


Abbildung 24: Beziehung zwischen dem im Herbst im Rapsbestand befindlichen N und dem optimalen N-Aufwand im Frühjahr am Standort Baruth bei hohem Ertragsniveau

Eine kräftigere Vorwinterentwicklung, die durch eine gute Ausnutzung des im Boden vorhandenen pflanzenverfügbaren N begleitet wurde, brachte sowohl Vorteile im Ertrag als auch einen geringeren N-Bedarf im Frühjahr. Insgesamt besteht eine enge Beziehung zwischen der N-Aufnahme des vorwinterlichen Rapsbestandes und dem optimalen N-Aufwand in der darauf folgenden Vegetationsperiode (Abb. 24). Ursache dafür dürfte zum einen die unter günstigen Wachstumsbedingungen fast vollständige N-Aufnahme sein, zum anderen kommt es auf diesem sandigen Boden über Winter regelmäßig zu entsprechender Stickstoffverlagerung. Zumeist ist dieser Stickstoff im Frühjahr nicht mehr verfügbar. Die gleichen Verhältnisse finden sich auch auf dem flachgründigen Verwitterungsboden in Forchheim.

Tabelle 8: Rapsertträge im Versuchsjahr 2009 in den Versuchen zur biomasseabhängigen Düngedarfsermittlung

Prüfglied	Aussaat	N-Düngung (kg/ha)			Ertrag			
		Herbst	Frühjahr		(dt/ha bei 91 % TS)			
			1. Gabe	2. Gabe	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	54,8	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 9: Rapsertträge im Versuchsjahr 2010 in den Versuchen zur biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung

Prüfglied	Aussaat	N-Düngung (kg/ha)			Ertrag			
		Herbst	Frühjahr		(dt/ha bei 91 % TS)			
			1. Gabe	2. Gabe	Baruth	Forchheim	Nossen	Pommritz
1	normal	ohne	0	0	47,5	38,1	32,9	40,6
2	normal	ohne	0	100	54,3	55,9	47,5	46,7
3	normal	ohne	50	100	57,8	60,5	54,7	50,2
4	normal	ohne	100	100	56,4	58,9	54,8	50,1
5	normal	ohne	150	100	55,0	62,4	61,3	51,6
6	normal	50	0	0	47,2	46,9	41,6	41,1
7	normal	50	0	100	54,0	58,6	51,8	48,2
8	normal	50	50	100	53,9	61,2	58,7	49,3
9	normal	50	100	100	55,4	61,9	62,0	51,8
10	normal	50	150	100	56,0	58,9	61,3	51,1
11	spät	ohne	0	0	39,3	31,8	36,8	39,3
12	spät	ohne	0	100	48,7	49,8	53,9	47,1
13	spät	ohne	50	100	50,2	57,2	53,6	50,3
14	spät	ohne	100	100	51,6	59,1	57,5	50,3
15	spät	ohne	150	100	52,2	62,4	58,1	49,8
16	spät	50	0	0	38,9	36,3	43,1	40,8
17	spät	50	0	100	49,1	50,9	52,4	49,4
18	spät	50	50	100	51,3	57,4	57,6	52,0
19	spät	50	100	100	53,3	58,1	60,7	52,3
20	spät	50	150	100	51,8	60,9	62,6	51,5
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 10: Optimaler Ertrag und N-Aufwand im Frühjahr in Abhängigkeit von der N-Aufnahme im Herbst in den einzelnen Prüfliegern auf dem diluvialen Standort in Baruth

Jahr	Aussaat	Herbst-N	Optimaler Ertrag	N-Aufnahme vor Winter	Optimale N-Menge im Frühjahr
			dt/ha	kg/ha	
2009	normal	ohne	50,4	61	262
		mit	49,1	119	155
	spät	ohne	47,8	42	279
		mit	47,7	84	236
2010	normal	ohne	56,4	189	131
		mit	54,4	263	94
	spät	ohne	51,4	98	173
		mit	52,2	131	164
Mittel			51,2	123	187

Ein Vergleich der beiden Lössstandorte in Nossen und Pommritz im Versuchsjahr 2009 bestätigt den Einfluss unterschiedlicher Vorwinterentwicklung auf den optimalen N-Aufwand (Abb. 25). Bemerkenswert ist aber auch, wie unterschiedlich die Raps-erträge auf die N-Steigerung reagieren. Die hohe N-Nachlieferung am Standort Pommritz führte bereits ohne Stickstoffdüngung zu einem hohen Grundertrag. Anders als in Nossen hält sich dann der stickstoffbedingte Mehrertrag in Grenzen. Während auf dem anlehmgigen Sand in Baruth und auf dem flachgründigen Verwitterungsboden in Forchheim nach normaler Aussaat und die damit einhergehende kräftigere Vorwinterentwicklung mit leichten Ertragsvorteilen verbunden war, blieb das Ertragsvermögen auf den tiefgründigen Lössböden davon unbeeinflusst (Tab. 8 und 9).

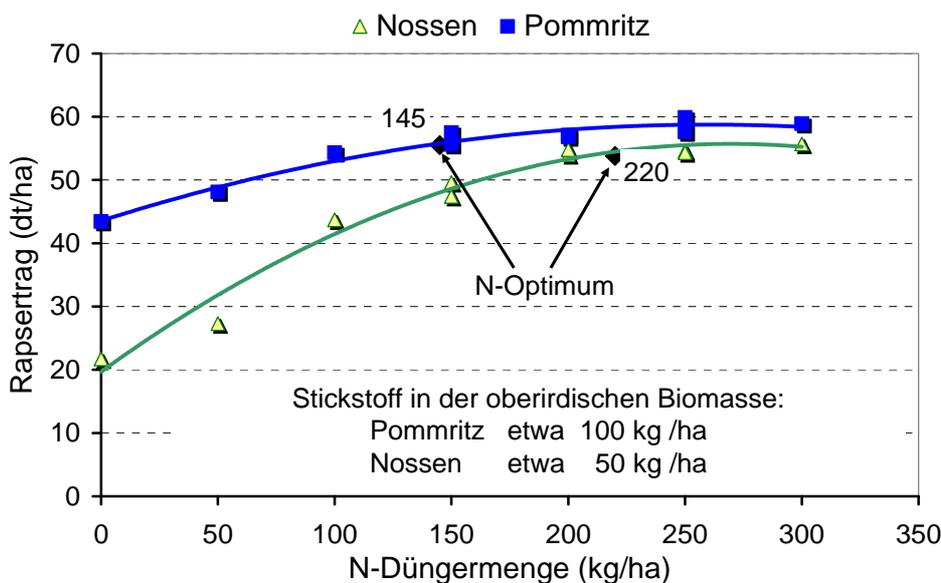


Abbildung 25: Einfluss unterschiedlicher Vorwinterentwicklung und N-Düngung auf den Ertrag auf zwei Lössstandorten im Jahr 2009

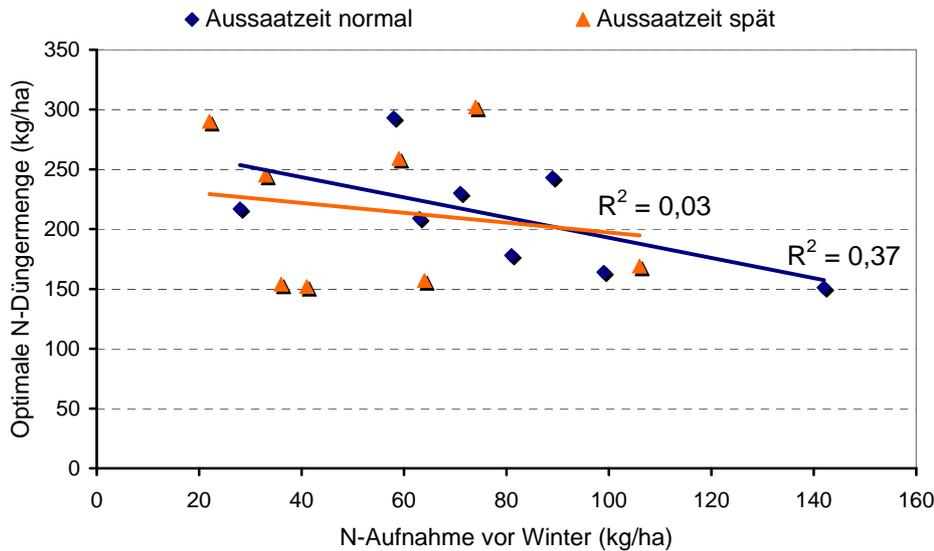


Abbildung 26: Einfluss der bereits im Herbst durch den Rapsbestand aufgenommenen N-Menge auf den optimalen N-Aufwand im Frühjahr in Nossen und Pommritz

In Pommritz und Nossen bleibt die Beziehung zwischen dem vor dem Winter im Pflanzenbestand eingelagerten N-Mengen und dem optimalen N-Aufwand wesentlich schwächer als auf den beiden anderen Standorten (Abb. 26). Insbesondere die Spätsaaten, bei denen die N-Aufnahme immerhin zwischen 20 und 110 kg/ha betrug, lassen keinen Zusammenhang zum späteren optimalen N-Aufwand erkennen. Eine wesentliche Ursache dafür könnte sein, dass auf den tiefgründigen Standorten der im Unterboden befindliche Stickstoff wesentlich stärker im Frühjahr zur N-Ernährung beiträgt.

3.1.4 Einfluss der N-Düngung auf den im Boden verbleibenden N_{min} und das C/N-Verhältnis in den Ernteresten

Die vorgestellten Ergebnisse belegen, wie stark sich die Unterschiede in der vorwinterlichen Bestandesentwicklung auf den N-Düngebedarf auswirken. Ihre Berücksichtigung trägt dazu bei, die oft zu hohen N-Bilanzüberschüsse abzubauen. Im Hinblick auf eine verminderte Nitratbelastung interessiert sowohl die Höhe der unmittelbar nach der Ernte angetroffenen N_{min} -Reste als auch die bis zum Winter ablaufende Stickstoffmineralisation. Letztere wird vor allem durch das auf dem Feld verbleibende Rapsstroh und dessen C/N-Verhältnis beeinflusst.

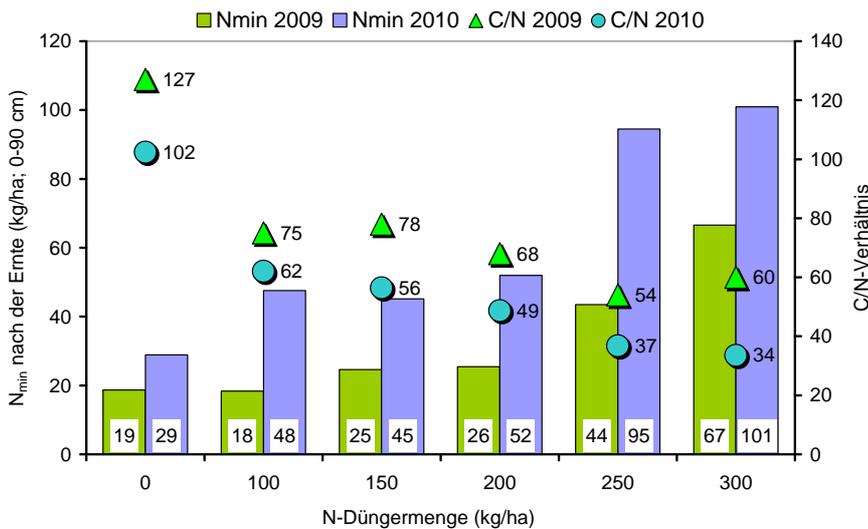


Abbildung 27: N_{min} nach der Ernte und das C/N-Verhältnis im Rapsstroh am Standort Baruth

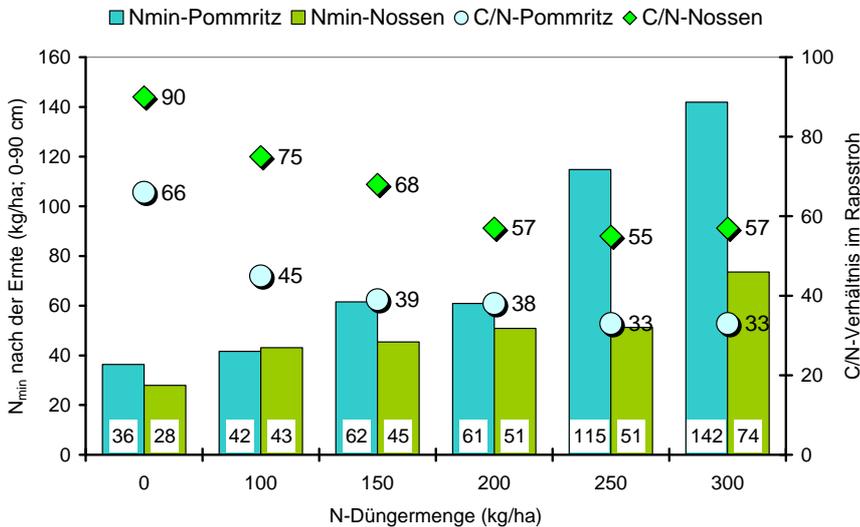


Abbildung 28: N_{min} nach der Ernte und das C/N-Verhältnis im Rapsstroh in Nossen und Pommritz im Versuchsjahr 2009

Es zeigte sich, dass die N_{min}-Beträge zur Rapsernte erst oberhalb der jeweils optimalen N-Gaben deutlich überhöht sind (Abb. 27 und 28). Gleichzeitig verengt sich im Rapsstroh das C/N-Verhältnis. Bei suboptimalem Stickstoffeinsatz sind Verhältnisse anzutreffen wie sie von Getreidestroh bekannt sind. Beim Abbau kann dann sogar mit entsprechender Stickstoffimmobilisation gerechnet werden. Hinzuweisen ist auf die beachtlichen Jahres- sowie Standortunterschiede. Üppige Vorwinterentwicklung sowie hohes N-Nachlieferungsvermögen waren immer mit einem engen C/N-Verhältnis im Rapsstroh verbunden.

3.1.5 Ergebnisse der ¹⁵N-Mikroparzellen

Im Herbst 2008 und 2009 wurden auf den Versuchsschlägen mit Winterraps in Staritz und Warnstedt Mikroparzellen angelegt. Auf einer Fläche von 16 m² wurde markierter Stickstoff (¹⁵N) in Form einer Impulsmarkierung ausgebracht. Ziel dieser Untersuchungen war es, den Verbleib dieses markierten N im Verlauf der Vegetation zu verfolgen. Von besonderem Interesse war sowohl die Aufnahme während der Herbstentwicklung als auch die mit Blattverlusten über Winter freigesetzten N-Mengen sowie deren erneute Verfügbarkeit für den sich entwickelnden Rapsbestand im Frühjahr.

Eingesetzt wurde jeweils ein kg markierter Stickstoff (¹⁵N) je ha in Form von Ammoniumnitrat. Um eine gleichmäßige Verteilung über die Fläche zu erhalten und den Stickstoff möglichst verlustfrei in den Boden zu bekommen, wurde die für einen Quadratmeter berechnete Salzmenge in einem Liter Wasser aufgelöst und mit einem speziellen Beregnungsrechen gleichmäßig über die Bodenfläche verteilt. Die Pflanzen- und Bodenproben wurden zum Ende der Herbstentwicklung, zu Beginn der Vegetation und zur Rapsernte genommen. Die Bodenprobenahme erfolgte bis in eine Tiefe von 90 cm in 30 cm Schichten.

In den Tabellen 11 und 12 sind die in den beiden Versuchsjahren und Standorten zu den verschiedenen Probenahmen ermittelten Anteile des eingesetzten markierten Stickstoffs dargestellt. Auf dem leichten diluvialen Standort in Staritz wurden zu allen Terminen zwischen 70 und 85 % des ausgebrachten Stickstoffs in der Summe aus oberirdischer Biomasse und Boden wiedergefunden. Die im ersten Jahr etwas niedrigeren Werte sind vermutlich durch höhere Ausbringungsverluste verursacht. Auf der Mikroparzelle wurden in der Sprossbiomasse etwa 60 kg N/ha ermittelt. Vom markierten Stickstoff finden sich darin lediglich ein Viertel bis ein Drittel wieder. Zur Ernte erscheinen etwa 20 % in der Biomasse (Rapssaat 15 %; Stroh 5 %) und rund 50 % im Boden.

Tabelle 11: Verbleib des in Staritz nach dem Aufgang der Rapspflanzen ausgebrachten markierten Stickstoffs

Probenahme	Wiederfindung in %			
	Sprossbiomasse	Abgestorbene Blätter	Boden	Summe
Versuchsjahr 2008/2009				
Ende der Herbstentwicklung	25,9	-	43,1	68,0
Vegetationsbeginn	33,1	2,0	47,5	82,6
Zur Ernte	20,3	-	52,2	72,5
Versuchsjahr 2009/2010				
Ende der Herbstentwicklung	42,3	-	44,2	86,5
Vegetationsbeginn	26,4	10,8	46,5	83,7
Zur Ernte	31,6	-	49,5	81,1

Im zweiten Versuchsjahr ist der Anteil des wiedergefundenen ¹⁵N insgesamt höher. In der Sprossbiomasse des Bestandes konnten vor und nach dem Winter rund 130 kg N/ha ermittelt werden. Davon befanden sich nach dem Winter etwa 30 kg/ha in den abgestorbenen Blättern. Das gleiche Verhältnis wurde in etwa beim markierten N angetroffen. Anders als im Jahr zuvor ist bis zur Ernte der Anteil in der Biomasse und im Boden wieder leicht angestiegen. Überschlägig ergibt sich, dass etwa die Hälfte des Stickstoffs aus den abgestorbenen Blättern im Verlauf des Frühjahrs erneut pflanzenverfügbar wurde. Weitere 30 % verblieben im Boden. Die restlichen 20 % des N aus den abgestorbenen Blättern sind vermutlich vor allem gasförmige N-Verluste.

Tabelle 12: Verbleib des in Warnstedt nach dem Aufgang der Rapspflanzen ausgebrachten markierten Stickstoffs

Probenahme	Wiederfindung in %			
	Sprossbiomasse	Abgestorbene Blätter	Boden	Summe
Versuchsjahr 2008/2009				
Ende der Herbstentwicklung	35,0	-	48,5	83,5
Vegetationsbeginn	30,9	7,0	47,2	85,6
Zur Ernte	32,7	-	46,1	78,8
Versuchsjahr 2009/2010				
Ende der Herbstentwicklung	39,8	-	55,8	95,6
Vegetationsbeginn	30,1	4,6	52,4	87,1
Zur Ernte	26,6	-	56,1	82,7

Auf dem tonreicheren diluvialen Standort war die Wiederfindung des markierten Stickstoffs etwas höher als in Staritz. Im ersten Jahr wurden im Verlauf der Herbstentwicklung 60 kg N/ha und im zweiten 110 kg N/ha in der Biomasse des Rapsbestandes der Mikroparzelle ermittelt. Zu Vegetationsbeginn befanden sich davon 15 % bzw. 23 % in den abgestorbenen Blättern. Das entspricht in etwa den Relationen wie sie beim markierten Stickstoff angetroffen wurden. Zur Ernte findet sich von dem Stickstoff der abgestorbenen Blätter in der Summe aus Biomasse- und Bodenstickstoff kaum etwas wieder und muss als Fehlbetrag registriert werden.

Untersuchungen von DEJOUX et al. (2000) erbrachten, dass von dem markierten Stickstoff aus abgestorbenen Rapsblättern zur Blüte 28 % und zur Ernte 24 % in der oberirdischen Biomasse vorlagen. Mit rund 40 % waren die Verluste allerdings wesentlich höher als bei den hier vorgestellten Untersuchungen. In welchem Umfang es sich letztendlich um wirkliche Verluste handelt oder um methodische Unzulänglichkeiten bei der anteiligen Erfassung der auf dem Boden verbliebenen Pflanzenreste, bleibt offen. Gasförmige Verluste können stark variieren. Ihre Höhe wird von verschiedenen Faktoren bestimmt. Neben dem Boden, den Niederschlägen und dem Temperaturverlauf nehmen vor allem auch die Bestandesdichte und das damit in Beziehung stehende Mikroklima Einfluss.

Die erzielten Ergebnisse lassen keine abschließende Beurteilung zu, zumal auch zwischen den Jahren beachtliche Unterschiede vorkamen. Von praktischer Bedeutung ist dies auch nur, wenn es sich um hohe N-Aufnahmen im Herbst und in Verbindung mit starken Blattverlusten über Winter handelt. In dem Fall fanden sich in Staritz etwa 50 % dieses Stickstoffs aus den abgestorbenen Blättern zur Ernte in der Rapssaat und im Stroh wieder. Bei geringen Blattverlusten ist die Frage der Pflanzenverfügbarkeit eher von untergeordneter Bedeutung, zumal unter trockenen Frühjahrsbedingungen, wie sie in Mitteleuropa häufig angetroffen werden, ihre Freisetzung eher langsam erfolgt. Weil die Mineralisation der relativ stickstoffreichen Blätter an der Bodenoberfläche abläuft, werden gasförmige N-Verluste sicher begünstigt. Da hohe Blattverluste immer in Verbindung mit üppiger Vorwinterentwicklung stehen, ist unter diesem Gesichtspunkt eine zu starke Förderung der Herbstentwicklung durchaus negativ.

3.1.6 Multispektrale Reflexionsmessungen

Ursprünglich waren multispektrale Reflexionsmessungen im Projekt nicht vorgesehen. Sie wurden durch Anregung eines Gutachters in das Arbeitsprogramm aufgenommen. Hintergrund war, dass andere Indices als der spezielle Bestandesindex des YNS unter Umständen besser zur Erfassung von Biomasse und N-Aufnahme geeignet sind. Einen Überblick zu den Möglichkeiten gegenwärtig genutzter optischer Systeme bei der teilflächenspezifischen N-Düngung geben HEEGE et al. (2008). Verwiesen wird dabei auch auf die Problematik bei der Erfassung junger, den Boden unvollständig bedeckender Pflanzenbestände. Auf Grund der längeren und oft kräftigeren Vorwinterentwicklung sollte der Winterraps davon weniger betroffen sein und eine Bestandserfassung zum Ende der Vegetation in der Regel erlauben. Problematisch wird allerdings der Sensoreinsatz zu Vegetationsbeginn bei entsprechend starken Blattverlusten über Winter.

Bei der Nutzung von reflexionsoptischen Sensoren zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen wirken vielfältige Störgrößen (REUSCH 1997). Besonders betroffen sind Sensoren, die von den unterschiedlichen natürlichen Lichtverhältnissen abhängig sind (Passivsensoren). Unter den spezifischen Bedingungen erweisen sich einzelne Wellenlängenbereiche und die daraus erstellten Indices als besonders geeignet. Nutzbar für den Praxiseinsatz sind jedoch nur die, die unter sehr vielgestaltigen Bedingungen stabile Messwerte mit engen Beziehungen zum Pflanzenbestand und seinem N-Ernährungszustand aufweisen.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, die sich speziell mit der Nutzung von Reflexionsmessungen bei Winterraps beschäftigten (BEHRENS et al. 2006; MÜLLER et al. 2008). Erarbeitet wurden dabei neue Indices, die eine sehr enge Beziehung zur Biomassebildung und N-Aufnahme aufwiesen. An dieser Stelle sollen die im Rahmen des Projektes gewonnenen Ergebnisse vorgestellt werden.

Am Standort Warnstedt wurden mit dem dort eingesetzten Sensor im erweiterten Modus die Rapsbestände vor dem Winter und zu den beiden Düngungsterminen im Frühjahr erfasst. Aufgezeichnet werden konnte der Wellenlängenbereich von 450 bis 1.000 nm in 10 nm Schritten. Auf dieser Grundlage ließen sich die verschiedensten gebräuchlichen Indices berechnen und flächenhaft darstellen. In den Abbildungen 29 bis 34 sind einige Beispiele angeführt. Es handelt sich hier um einen Raps Schlag zum Zeitpunkt des beginnenden Streckungswachstums.

Es zeigt sich, dass die verschiedenen Indices die beachtlichen Bestandesunterschiede gut wiedergeben. Deutlich wurde auch, dass Indices auf der Basis gleicher Wellenlänge weitgehend identische Ergebnisse liefern und zwischen ihnen eine enge Beziehung besteht (Abb. 35 bis 37). Etwas stärkere Unterschiede finden sich dann zwischen dem speziellen Bestandesindex des YNS und dem NDVI, dem im GreenSeeker genutzten Index (Abb. 38).

Die Aussagefähigkeit hinsichtlich Biomassebildung und N-Ernährungszustand bedürfen jedoch der Überprüfung. Nach der jeweiligen Reflexionsmessung ist deshalb anschließend eine destruktive Pflanzenbeprobung zur Bestimmung der Biomasse und des N-Ernährungszustandes notwendig. Weil der auf dem Traktor montierte Sensor je Messpunkt die Fläche von mehreren Quadratmetern an unterschiedlichen Stellen erfasst, waren hier die Untersuchungen mit einem nicht zu bewältigenden Aufwand verbunden. Insbesondere bleibt die Beziehung bei kleinräumigen Bestandesunterschieden eher schwach wie das Beispiel in Abbildung 39 zeigt. Dargestellt sind hier Messergebnisse aus dem Jahr 2008 in Langenchursdorf. An den jeweiligen Punkten der Pflanzenprobenahme wurden die Messwerte des YNS mit denen des Handspektrometers verglichen. Grundlage beider Indices sind die Reflexionswerte der Wellenlänge 780 nm und 740 nm.

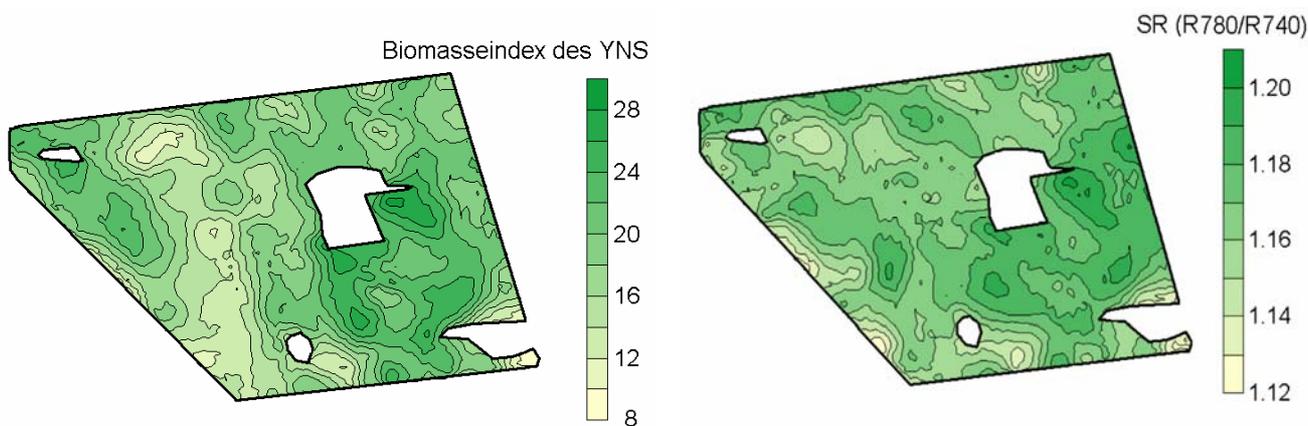


Abbildung 29: Spezieller Bestandesindex des YNS zum Beginn des Streckungswachstums

Abbildung 30: Einfaches Verhältnis zweier Wellenlängen (R780/R740) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps

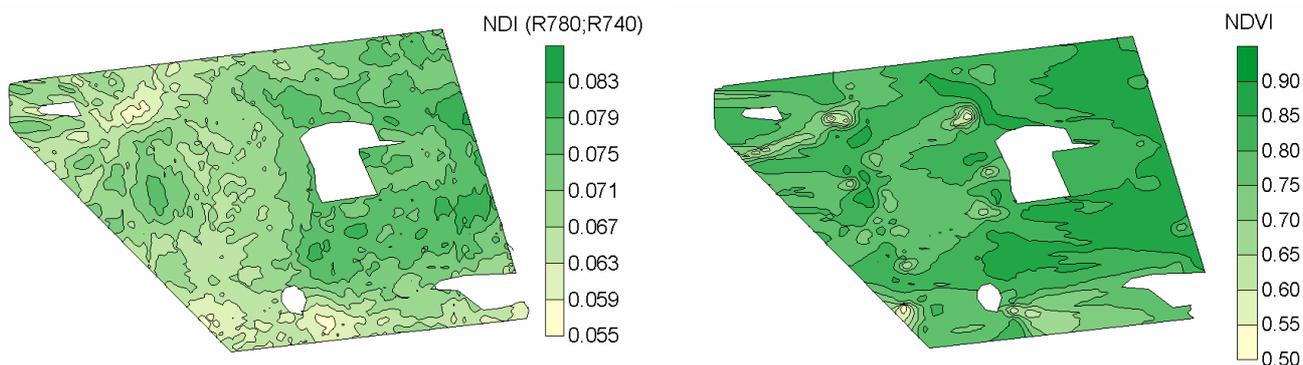


Abbildung 31: NDI $((R780-R740)/(780+R740))$ zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps

Abbildung 32: NDVI $((R780-R670)/(R780+R670))$ zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps

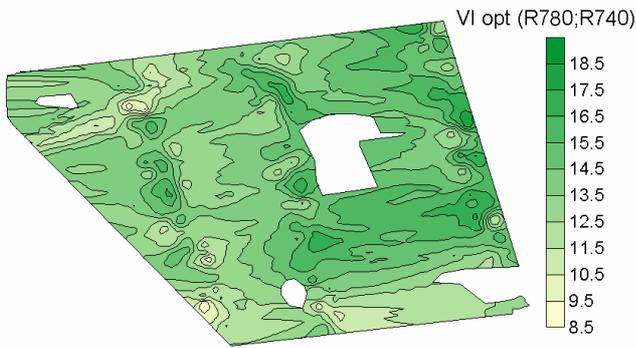


Abbildung 33: VI opt ($100 \cdot (\ln R780 - \ln R740)$) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps

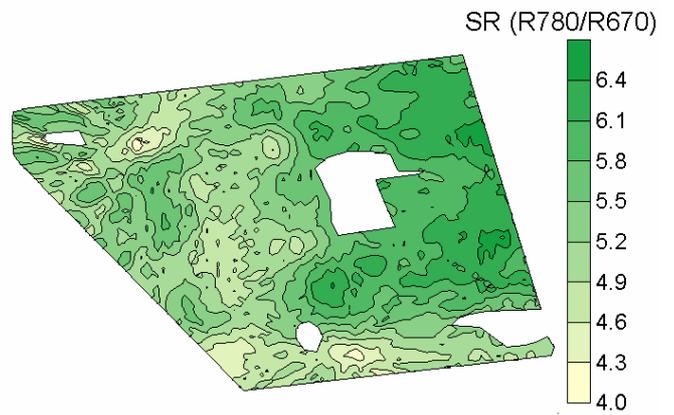


Abbildung 34: Einfaches Verhältnis zweier Wellenlängen (R780/R670) zum Beginn des Streckungswachstums beim Winterraps

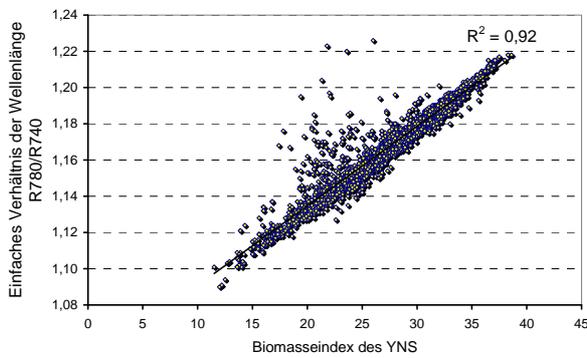


Abbildung 35: Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem SR (R780/R740)

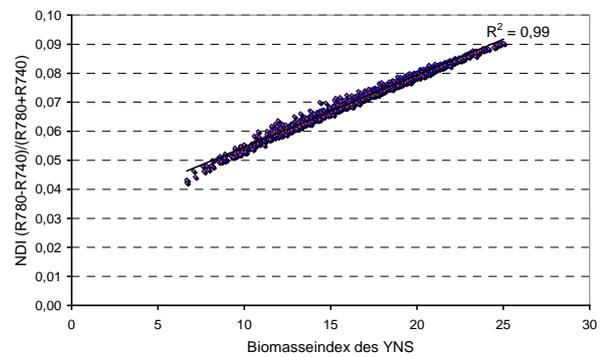


Abbildung 36: Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem NDI (R780-R740)/(R780+R740)

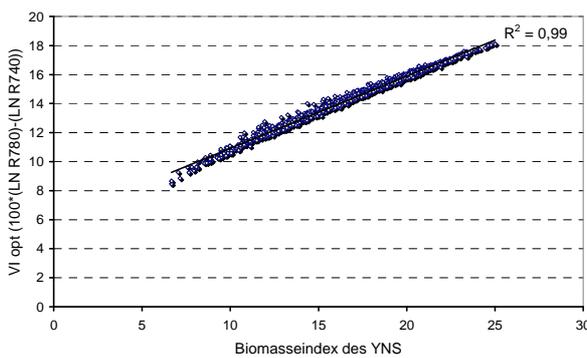


Abbildung 37: Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem VI opt ($100 \cdot (\ln R780 - \ln R740)$)

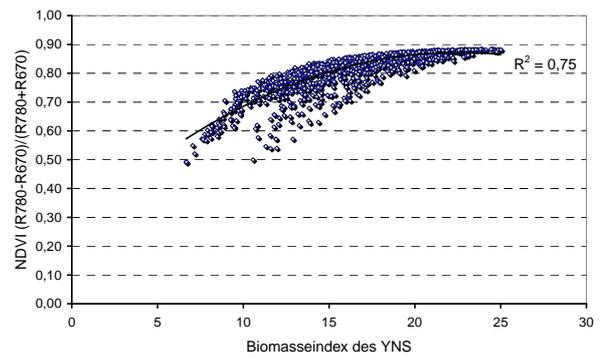


Abbildung 38: Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem klassischen NDVI (R780-R670)/(R780+R670)

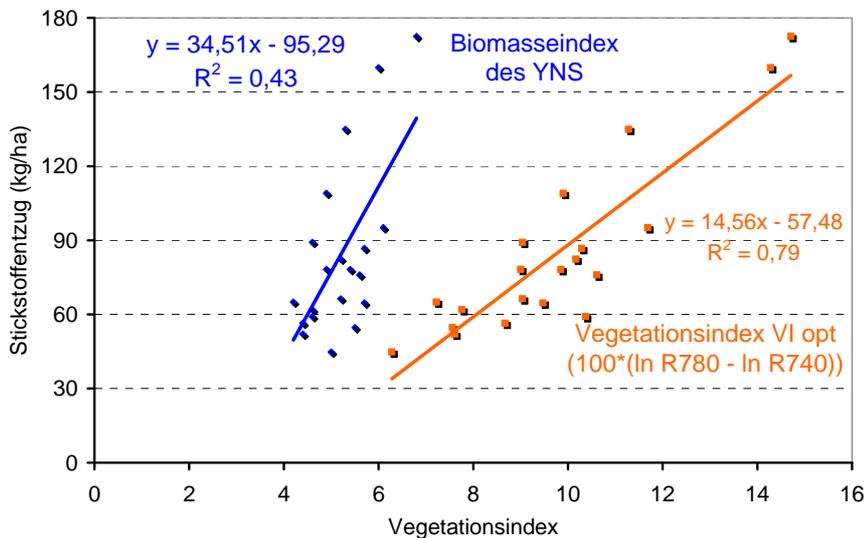


Abbildung 39: Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS bzw. des mittels Handspektrometer gemessenen VI opt und dem N-Entzug an den Probenahmepunkten

Um dieses Teilthema erfolgreich zu bearbeiten, wurde deshalb ab Herbst 2008 ein tragbares Handspektrometer der Firma Tec5 eingesetzt. So konnten kleinflächige Messungen mit anschließender Beerntung vorgenommen werden. Bei diesem Gerät wird bei einem Abstand von einem Meter eine Fläche von rund 0,25 m² erfasst. Von dem gemessenen Bereich lässt sich anschließend die vorhandene Biomasse und die darin eingelagerte N-Menge bestimmen. Diese Messungen erfolgten auf den dafür angelegten Versuchspartellen auf vier Versuchsstationen des LfULG. Die Differenzierung der Pflanzenbestände wurde durch differenzierte Aussattermine und unterschiedliches N-Angebot während der Herbstentwicklung erreicht. Am Beispiel des Standorts Baruth sollen die Ergebnisse aufgezeigt werden.

Erst einmal ist festzustellen, dass unterschiedliche Bestände mit differenziertem Ernährungszustand durch die aus den Reflexionsmessungen erstellten Indices sehr gut wiedergegeben werden. Die größten Unterschiede treten oberhalb der Wellenlänge von 700 nm auf. Dieser Bereich scheint besonders gut geeignet zu sein, um vorhandene Bestandesunterschiede einfach zu erfassen. Bei Winterraps fanden auch MÜLLER et al. (2008) im Bereich von 740 bis 780 nm mit den von ihnen vorgeschlagenen Indices eine sehr enge Beziehung zur gebildeten Trockenmasse und der damit einher gegangenen N-Aufnahme.

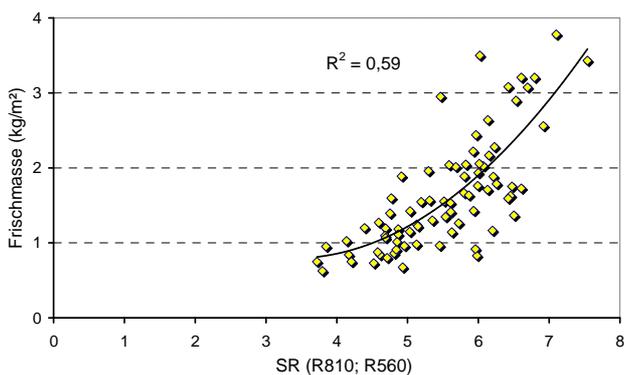


Abbildung 40: Beziehung zwischen dem einfachen Verhältnis (SR) der Reflexionsmesswerte bei 810 nm zu 560 nm zur Frischmasse

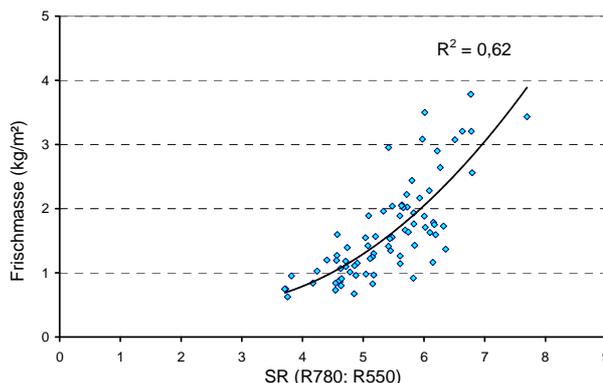


Abbildung 41: Beziehung zwischen dem einfachen Verhältnis (SR) der Reflexionsmesswerte bei 780 nm zu 550 nm zur Frischmasse

In den Abbildungen 40 bis 45 sind verschiedene Indices und ihre Beziehung zur Sprossfrischmasse dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Indices und der Frischmasse (aber auch Trockenmasse bzw. N-Aufnahme, hier nicht dargestellt) unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen Versuchsorte führt zumeist zu einer Abschwächung der Beziehung. Eine Ausnahme bildete hier der VI opt (Abb. 46), der sich damit als sehr robust erwies.

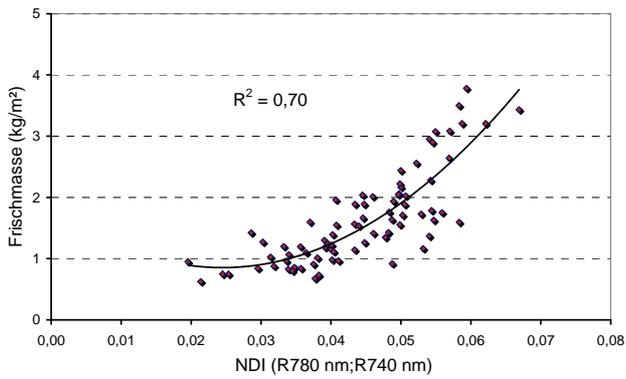


Abbildung 42: Beziehung zwischen dem NDI (normalized difference index) und der Frischmasse

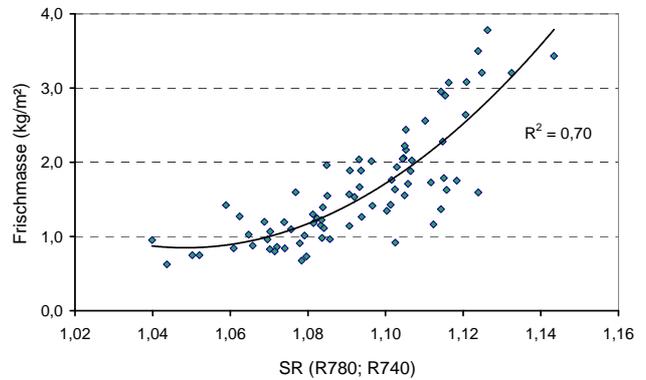


Abbildung 43: Beziehung zwischen dem einfachen Verhältnis der Reflexionsmesswerte bei 780 nm zu 740 nm (SR) zur Frischmasse

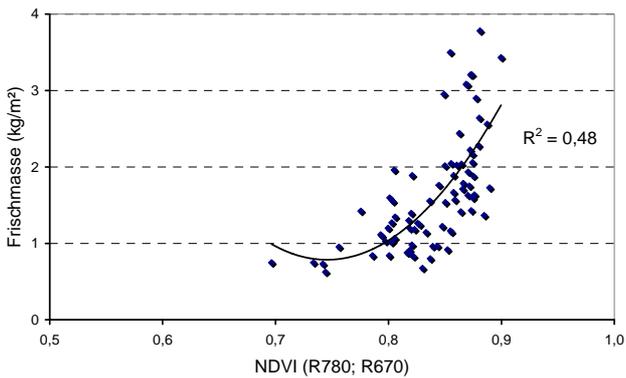


Abbildung 44: Beziehung zwischen dem NDVI (normalized difference vegetation index) und der Frischmasse

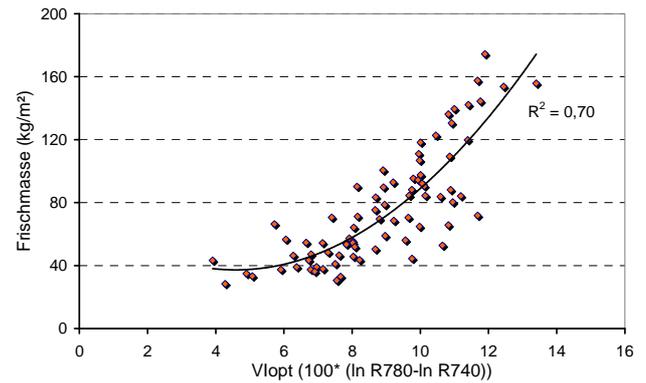


Abbildung 45: Beziehung zwischen dem Vlopt (100* [ln R780-ln R740]) und der Frischmasse

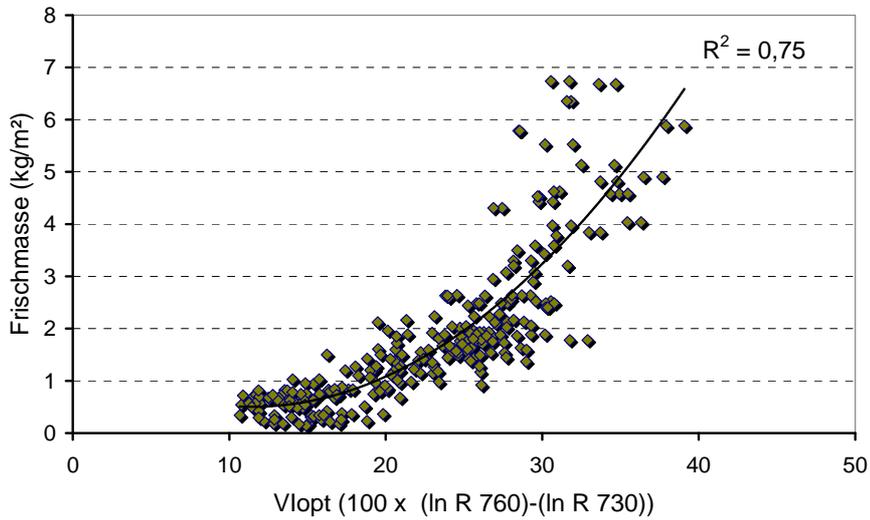


Abbildung 46: Beziehung zwischen dem VI opt und der gebildeten Frischmasse über zwei Jahre und drei Versuchsstandorte

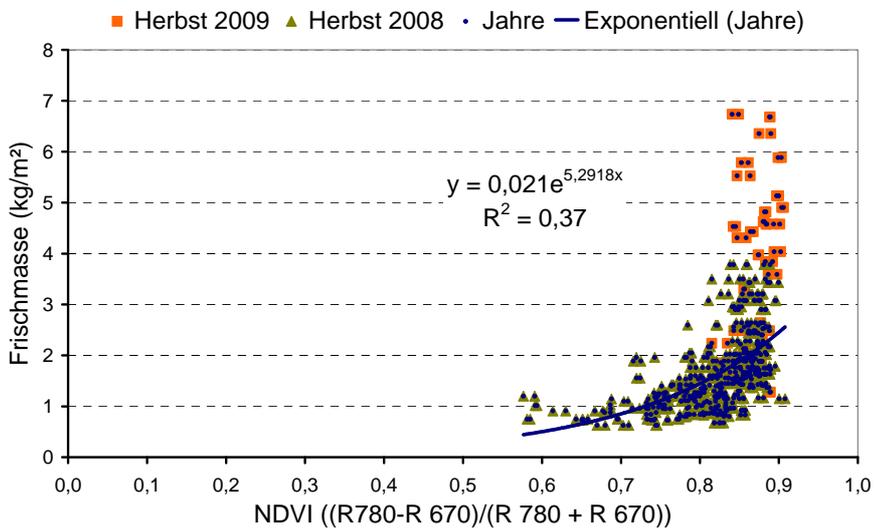


Abbildung 47: Beziehung zwischen dem NDVI und der gebildeten Rapsfrischmasse

Insbesondere bei großer Differenziertheit im Bestand werden die Schwächen einzelner Indices aufgezeigt. Eine Zusammenfassung der Herbstmessungen am Standort Baruth über zwei Versuchsjahre macht das deutlich (Abb. 47 und 48). Bei den im Herbst 2009 sehr üppigen Beständen (vgl. Abb. 14) kommt es beim NDVI, obwohl deutliche Unterschiede vorhanden sind, zu keiner entsprechenden Differenzierung.

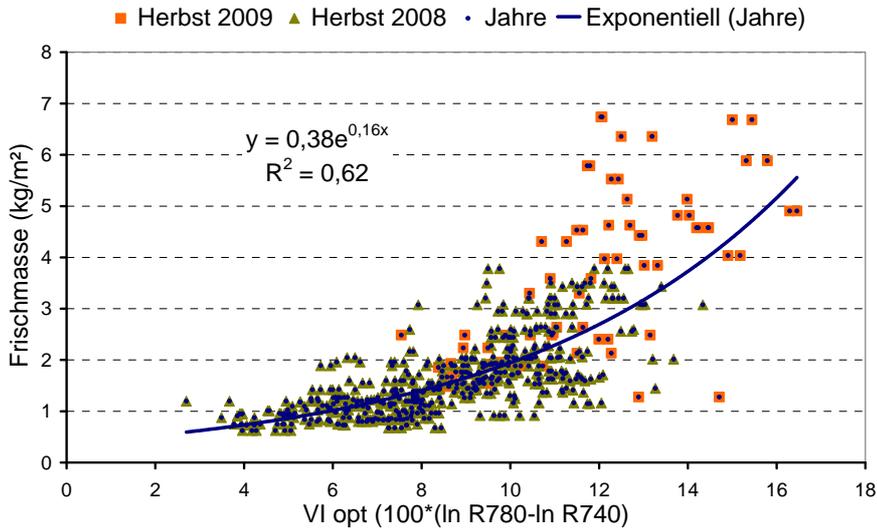


Abbildung 48: Beziehung zwischen dem VI opt und der gebildeten Rapsfrischmasse

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass nach stärkeren Blattverlusten über Winter die Messungen zum Vegetationsbeginn die Verhältnisse auf den Teilflächen nicht bzw. nur unzureichend wiedergeben (Abb. 49). Um bereits zu Beginn der Vegetation differenziert düngen zu können, sind Messungen zum Ende der Herbstentwicklung unerlässlich. Dargestellt sind wiederum Ergebnisse vom Standort Baruth. Während vor dem Winter die Unterschiede im Bestand deutlich wiedergegeben werden, ist das zu Beginn der Vegetation nicht mehr der Fall. Dies betraf alle gebräuchlichen Indices.

Bei der Wahl geeigneter Indices für die differenzierte teilschlagbezogene Düngung stehen zwei Faktoren im Vordergrund. Sie müssen zu den vorgesehenen Terminen in der Lage sein, die vorhandenen Unterschiede in der Bestandesentwicklung (N-Versorgung) entsprechend wiedergeben. Gleichzeitig wird von ihnen erwartet, dass unter den verschiedensten Bedingungen stabile Messwerte erzielt werden. In den Abbildungen 50 und 51 sind verschiedene Indices vor der 2. N-Gabe im Streckungswachstum nach differenzierter Andüngung zu Vegetationsbeginn dargestellt. Es zeigt sich, dass die aus dem Nahinfrarotbereich erstellten Vegetationsindices die vorhandene Differenzierung bis zur höchsten N-Stufe wiedergeben, während bei den übrigen im Bereich hoher N-Versorgung keine Unterschiede mehr sichtbar werden.

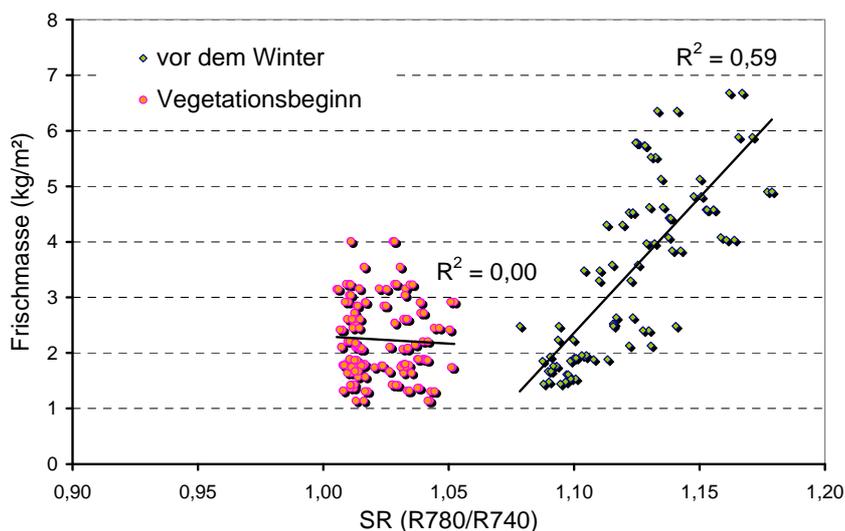


Abbildung 49: Bestandesindex SR (R780/R740) in Baruth vor und nach dem Winter 2009/2010

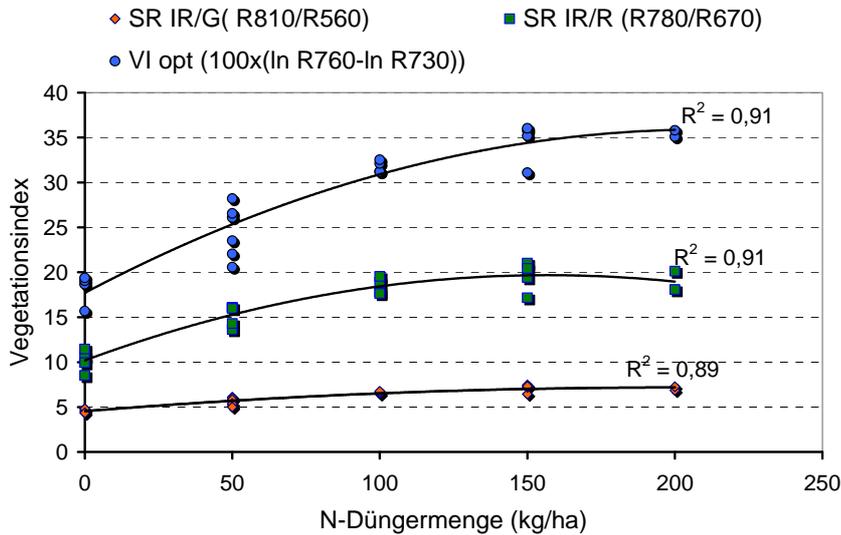


Abbildung 50: Vegetationsindices von Winterrapsbeständen vor der 2. N-Gabe im Streckungswachstum nach differenzierter Andüngung zu Vegetationsbeginn

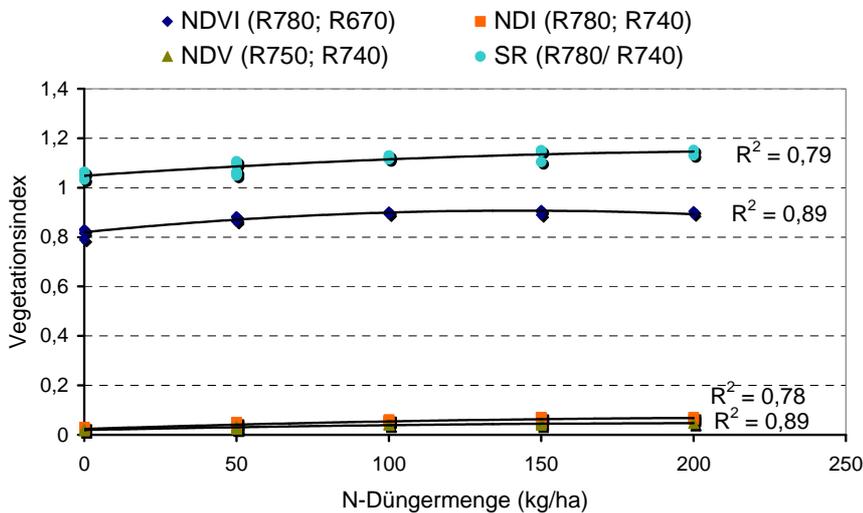


Abbildung 51: Vegetationsindices von Winterrapsbeständen vor der 2. N-Gabe im Streckungswachstum nach differenzierter Andüngung zu Vegetationsbeginn

3.2 Teilschlagspezifische N-Düngung zum Winterraps

3.2.1 Winterrapsversuche in Warnstedt

Die in der Agrargesellschaft Warnstedt genutzten Versuchsschläge wiesen zum Teil eine beachtliche Heterogenität auf. Anders als beispielsweise in Staritz oder Köllitsch gab es an diesem Standort nur eine sehr lose bzw. keine Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und den erzielten Erträgen.

Eine Auswertung der vorliegenden Ertragskartierung ergab, dass über die Jahre eine stabile Zonierung in ertragsstarke und ertragsschwache Teilflächen auftrat. Eine Zusammenfassung der Einzelkarten über den Relativertrag wies immer die engste Beziehung zu den jeweiligen Jahreserträgen aus. Das Ertragsverhalten war sowohl in schwachen als auch in besonders ertragsstarken Jahren gleich (vgl. Abb. 13). Die Auswertung der einzelnen Jahresdaten machte deutlich, dass kleinräumige Bodenunterschiede auch nur durch kleinflächige Auswertungsraaster sichtbar werden.

3.2.1.1 Versuchsjahr 2007/2008

Bereits während der Vorwinterentwicklung ergaben sich beachtliche Differenzierungen in der Frischmassebildung und N-Aufnahme der jungen Rapsbestände (Abb. 52 und 53). Zum Ende der Herbstentwicklung wurden in der Rapsbiomasse zwischen 40 und 200 kg N/ha ermittelt. Berechnet wurden die N-Aufnahmen der Pflanzenbestände über die in Abbildung 54 dargestellte Funktion. Grundlage bildeten die mit dem YNS ganzflächig erfassten Bestände und die an georeferenzierten Punkten vorgenommenen Pflanzenprobenahmen.

Die an den entsprechenden Punkten im Februar erneut vorgenommenen Beprobungen erbrachten, dass im Verlauf des Winters ein weiterer Substanzzuwachs erfolgt war. Blattverluste traten nicht auf. Die im ersten Versuchsjahr zusätzlich vorgenommene differenzierte Aussaatzeit (vgl. Abb. 53) führte zwar zu einer größeren Spannweite bei der im Pflanzenbestand eingelagerten N-Menge, war aber im Frühjahr mit einer verzögerten Entwicklung verbunden. Dadurch ergaben sich Probleme bei der Findung optimaler Termine zur einheitlichen Behandlung mit dem notwendigen Pflanzenschutz und bei der Ernte. Deshalb wurde in den folgenden Jahren auf differenzierte Aussaatzeiten verzichtet. Die Versuchsanlage mit den Prüfgliedern findet sich in Abbildung 55. Die Teilstücke umfassen jeweils zwei Fahrgassen. Bei der Verteilung über die Gesamtfläche wurde darauf geachtet, dass die Bodenunterschiede auf alle Prüfglieder gleichmäßig verteilt wurden. Die im Mittel ausgebrachten N-Mengen sind aus Tabelle 13 ersichtlich. Innerhalb der variablen Prüfglieder erfolgte eine starke Differenzierung. Die hohen N-Mengen wurden im Bereich der Spätsaaten ausgebracht.

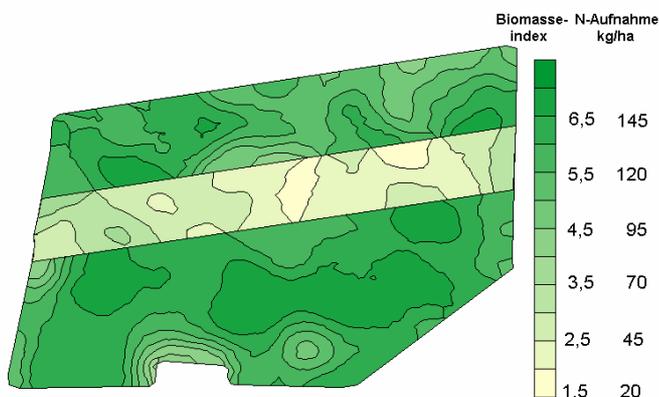


Abbildung 52: Bestandesindex des YNS und N-Mengen im Rapsbestand auf dem Versuchsschlag 2007/2008 zum Ende der Herbstentwicklung

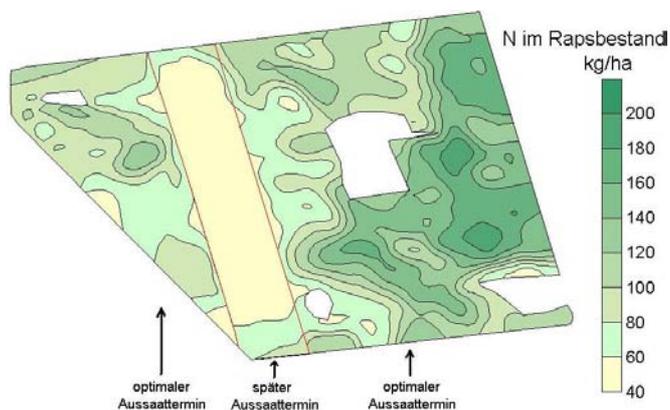


Abbildung 53: Aus dem Bestandesindex des YNS und georeferenzierten Pflanzenprobenahmen ermittelte N-Mengen im Rapsbestand zum Ende der Herbstentwicklung 2007

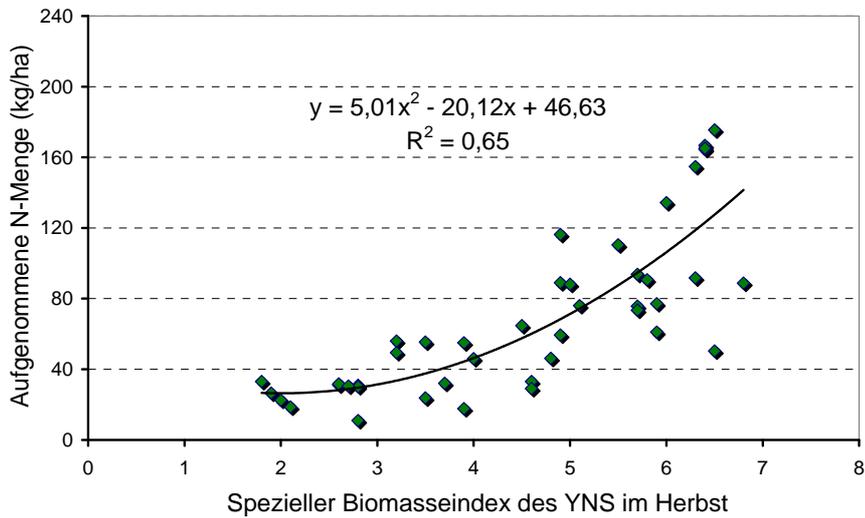


Abbildung 54: Beziehung zwischen dem Bestandesindex und dem in der oberirdischen Biomasse ermittelten Stickstoff

Tabelle 13: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern im Versuchsjahr 2008

Versuchsjahr/ N-Menge	konstant/ konstant	Sensor/ Sensor	Sensor mit Offset- karte/ Sensor mit Offsetkarte	Applikationskarte/ Sensor mit Offset- karte
Mittelwert	170	171	174	159
Maximum	170	257	248	290
Minimum	170	126	110	112

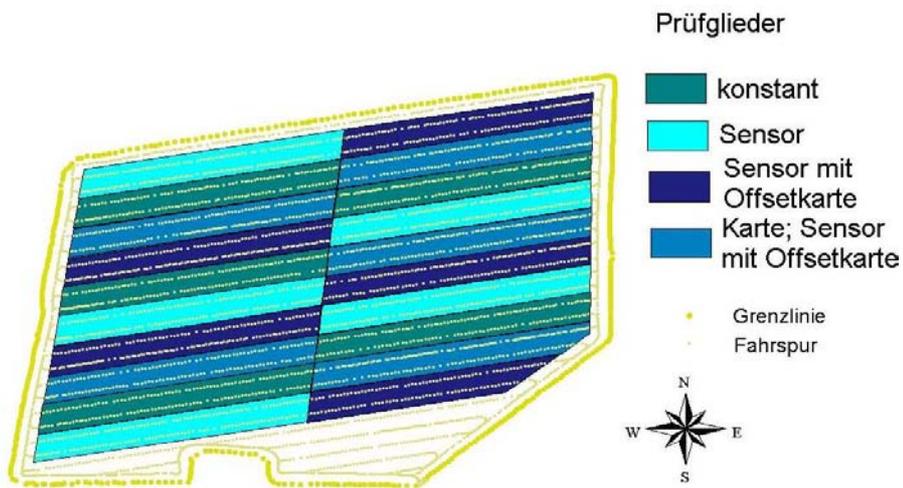


Abbildung 55: Lageplan mit den Prüfgliedern in Warnstedt 2008

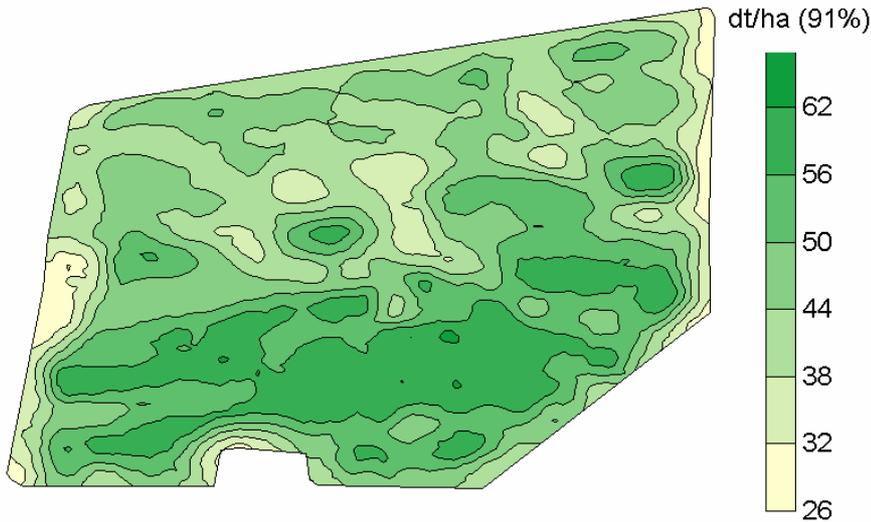


Abbildung 56: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Raps in Warnstedt 2008

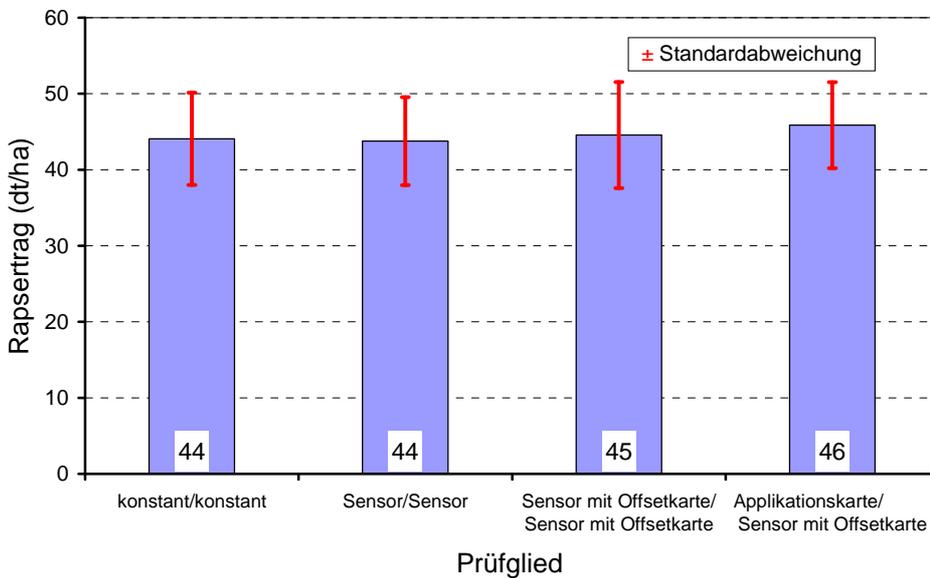


Abbildung 57: Mittlerer Rapserttrag in den Prüfgliedern in Warnstedt 2008

Mit rund 44 dt/ha auf der Gesamtfläche wurde ein ansprechendes Ertragsniveau erzielt. Innerhalb der Versuchsfläche streute der Ertrag zwischen 30 und 60 dt/ha (Abb. 56). Die Ertragsunterschiede der Prüfglieder (Abb. 57) hielten sich in Grenzen. Auf eine Darstellung der Ergebnisse nach Ertragsbereichen wird verzichtet, weil die verspätete Aussaat über alle Prüfglieder einen signifikanten Minderertrag erbrachte. Der Aussaattermin musste als eigenständiger Prüffaktor behandelt werden. Durch die Lage dieses Großteilstücks auf dem Versuchsschlag fanden sich damit nicht mehr alle Ertragsbereiche in jedem Prüfglied mit ausreichenden Flächenanteilen wieder.

Von Interesse ist jedoch die Wechselwirkung zwischen der differenzierten Vorwinterentwicklung des Rapsbestandes und der ausgebrachten N-Düngermenge. Um den Einfluss der beachtlichen Bodenunterschiede einzuschränken, wurde hier auf der Basis von 10 m x 10 m Rastern eine Gruppierung nach Bodenarten und ausgebrachter N-Menge in 10 kg Stufen für die variablen Prüfglieder vorgenommen. Abgedeckt wurde so ein N-Bereich zwischen 110 und 310 kg N/ha. In der Abbildung 58 ist das Ergebnis am Beispiel der Teilflächen mit sandigem Lehm (vgl. Abb. 5) dargestellt. Bei einer mittleren N-Aufnahme bei normaler Rapsaussaat von 120 kg/ha bis zum Winter reichte im Frühjahr eine N-Düngermenge von 136 kg zur Erzielung des Optimalertrages aus. Höhere N-Mengen erbrachten keine weitere Ertragssteigerung. Im Bereich der verspäteten Rapsaussaat waren

die Verhältnisse deutlich anders. Bei einer N-Aufnahme von etwa 40 kg/ha bis zum Dezember lag der optimale N-Aufwand im Frühjahr bei 204 kg/ha. Fasst man die N-Aufnahmen vor dem Winter und die optimalen N-Düngermengen im Frühjahr zusammen, so ergeben sich für den sandigen Lehm bei der normalen Aussaat 256 kg N/ha und bei der verspäteten Aussaat 244 kg N/ha.

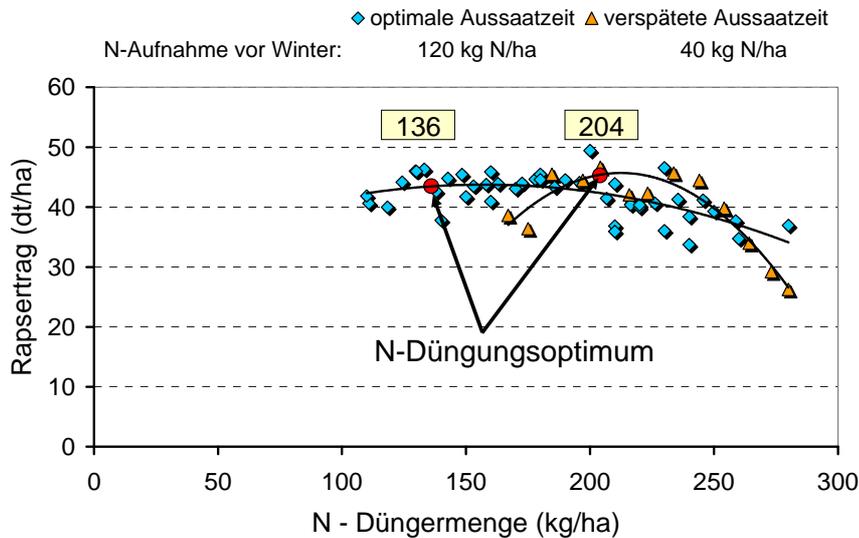


Abbildung 58: Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der Aussaatzeit und eingesetzter N-Düngermenge auf der Teilfläche mit sandigem Lehm in Warnstedt 2008

In Hinblick auf den N_{\min} des Bodens gab es vor dem Winter zwischen den Aussaatterminen noch deutliche Unterschiede. An den Probenahmepunkten des gut entwickelten Rapses wurden im Mittel 22 kg/ha in 0 – 90 cm ermittelt (5 ... 30 kg N_{\min} /ha). Dagegen waren es bei der Spätsaat im Mittel 55 kg/ha in 0 – 90 cm (40 ... 100 kg N_{\min} /ha). Zum Ende des Winters waren diese Unterschiede verschwunden. Der N_{\min} -Gehalt lag zum Vegetationsbeginn einheitlich bei etwa 20 kg/ha. Der geringere Wasserverbrauch der Spätsaat im Herbst war also mit höherem Sickerwasseranfall und entsprechender Nitratverlagerung verbunden.

Für die Untersuchungen 2007/2008 stand in Warnstedt ein zweiter Rapsschlag zur Verfügung. Auf ihm wurden zum Ende der Herbstentwicklung zwischen 40 und 200 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse ermittelt (vgl. Abb. 53). Die erste N-Gabe wurde mittels Applikationskarte ausgebracht. Erstellt wurde sie durch ein Bilanzverfahren. Ausgangspunkt bei der Berechnung war das in den letzten Jahren erzielte Ertragsniveau. Entsprechend der Karte der Reichsbodenschätzung wurde für jede Bodenart ein Zieldertrag festgelegt. Unterstellt wurde, dass für die Bildung 1 dt Rapssaat 6 kg Stickstoff benötigt werden. Mit Hilfe der flächendeckend erfassten Bestandesindices aus der N-Sensorkarte (Abb. 53) wurde die Beziehung zu den bereits erfolgten N-Entzügen hergestellt. Die Differenz zwischen dem notwendigen N-Bedarf und dem bereits bis zum Winter aufgenommenen Stickstoff ergab die auszubringende Düngermenge. Zur ersten N-Gabe wurden 50 % der so errechneten Menge ausgebracht. Im Mittel des gesamten Schlages waren das 68 kg/ha (Abb. 59). Damit blieb ein ausreichend großer Spielraum für die zweite N-Gabe. Die zweite N-Gabe wurde mit dem YNS und hinterlegter Offsetkarte durchgeführt. Nach Kalibrierung des Sensors wurde mit einem Referenzwert von 100 kg N/ha gedüngt. Im Mittel des Versuchsschlages kamen letztendlich mit der zweiten Gabe 108 kg N/ha zur Anwendung.

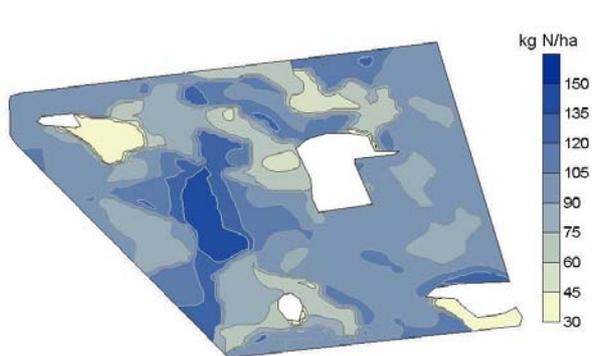


Abbildung 59: Applikationskarte zur ersten N-Gabe auf dem zweiten Versuchsschlag in Warnstedt 2008

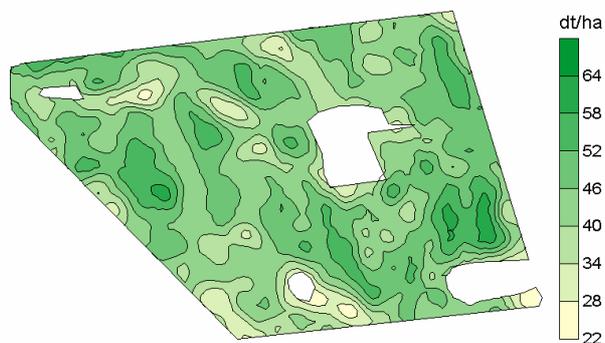


Abbildung 60: Ertragskarte vom zweiten Versuchsschlag in Warnstedt 2008

Tabelle 14: Ertrag, eingesetzte N-Mengen und N-Saldo auf den einzelnen Teilflächen auf dem zweiten Versuchsschlag zur Ernte 2008

Merkmal	Sand	lehmiger Sand	stark sandiger Lehm	Lehm	sandiger Lehm
Ertrag (dt/ha)	41,1	42,6	45,7	47,0	47,0
N-Düngung (kg/ha)	106	141	160	175	179
N-Entzug mit der Rapssaat (kg/ha)	131	150	168	173	173
Saldo des eingesetzten Dünger-N (kg/ha)	-25	-9	-8	2	6
Stickstoff im Pflanzenbestand zum Ende der Vegetation 2007 (kg/ha)	85	80	85	129	92

Geerntet wurden im Mittel rund 45 dt/ha. Die Ertragsunterschiede innerhalb des Schlages blieben jedoch beachtlich und bewegten sich zwischen 28 und 60 dt/ha (Abb. 60). Bei der Auswertung zeigte sich, dass auf den sandigen Schlagteilen die N-Bilanz des Düngerstickstoffs negativ ausfiel (Tab. 14). Zieht man die bereits im Herbst im Pflanzenbestand eingelagerten N-Mengen in diese Betrachtungen ein, ergibt sich ein anderes Bild. Mit 60 bis 131 kg/ha ergibt sich ein deutlicher N-Saldoüberschuss. Die bereits im Pflanzenbestand eingelagerten N-Beträge erklären, warum auf den sandigen Schlagteilen mit einer für Praxisbedingungen verhaltenen N-Düngung derartig hohe Rapsertträge erzielt werden konnten.

Um abzuschätzen, wie die eingesetzten N-Mengen den Ertrag beeinflussten, wurde auch hier beispielhaft für den sandigen Lehm eine Ertragsfunktion aus den eingesetzten N-Düngermengen und den erzielten Erträgen ermittelt. Basis dieser Auswertung waren wiederum die Mittelwerte aus den 10 m x 10 m Ertragsrastern (Abb. 61). Das daraus abgeleitete Optimum lag bei 112 kg N/ha und damit deutlich unter den 179 kg N/ha, die auf diesen Teilflächen im Mittel eingesetzt wurden.

Nach der Rapsernte war auf beiden Versuchsschlägen der N_{\min} des Bodens weitgehend erschöpft. Die Beprobung an georeferenzierten Punkten ergab im Mittel 32,2 kg/ha in 0 – 90 cm. Bis zum Eintritt des nachfolgenden Winters hatte er sich auf den Schlagteilen mit lehmigem Sand auf 64 und mit sandigem Lehm auf 85 kg/ha erhöht.

Die Ergebnisse belegen, dass auf beiden Versuchsschlägen selbst bei dem relativ hohen Ertragsniveau die ausgebrachte Stickstoffmenge noch deutlich über dem Optimum lag. Damit erklären sich natürlich die geringen Unterschiede zwischen den verschieden gewählten Prüfgliedern.

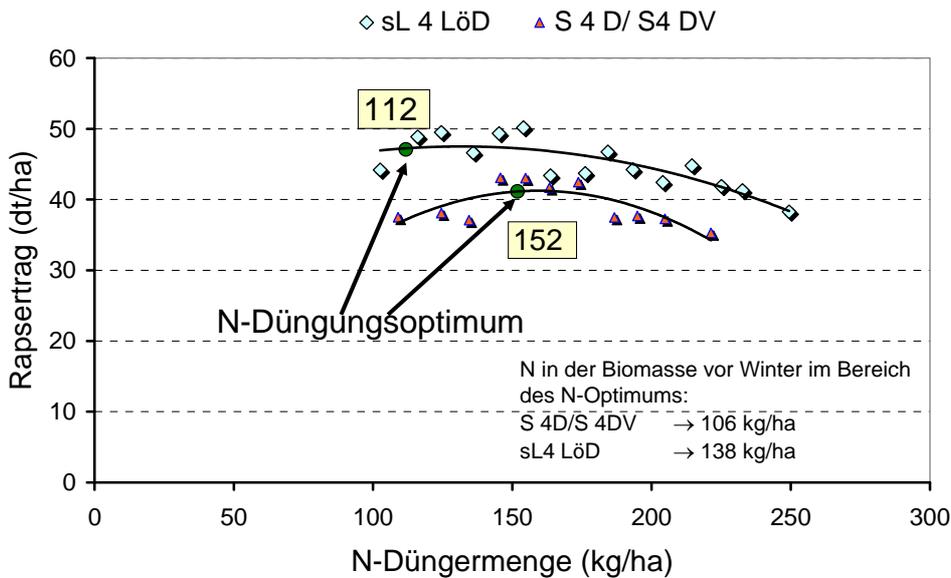


Abbildung 61: Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der N-Düngermenge auf den Teilflächen mit Sand und sandigem Lehm auf dem zweiten Versuchsschlag in Warnstedt 2008

3.2.1.2 Versuchsjahr 2008/2009

Im Vergleich zum ersten Versuchsjahr war die Vorwinterentwicklung des Rapsbestandes verhaltener. Innerhalb des Schlages gab es jedoch wiederum beachtliche Differenzierungen. Die im Pflanzenbestand eingebundene N-Menge lag zwischen 40 und 120 kg N/ha (Abb. 62). Während im Winter zuvor sogar ein leichter Substanzzuwachs angetroffen wurde, waren diesmal leichte Blattverluste aufgetreten. Sie betrug etwa 13 % von der Sprossstrockenmasse und bedeuten einen N-Verlust aus dem vorwinterlichen Pflanzenbestand von etwa 5 bis 10 kg/ha.

In der Zeit von Mitte März bis Ende April waren keine bemerkenswerten Niederschläge gefallen. Die erste N-Gabe vom 16.03.09 kam nicht vor der Streckung des Rapsbestandes zur Wirkung. Das für die Pflanzen begrenzte N-Angebot behinderte anfangs die Verzweigung. Der weitere Witterungsverlauf war dann allerdings für die Ertragsbildung günstig. So verlängerte sich die Blüte um mehr als eine Woche. Auch der Juni mit den kühleren Temperaturen und für den Standort ungewöhnlich hohen Niederschlägen (rund 80 mm) waren für die Ertragsbildung von Vorteil.

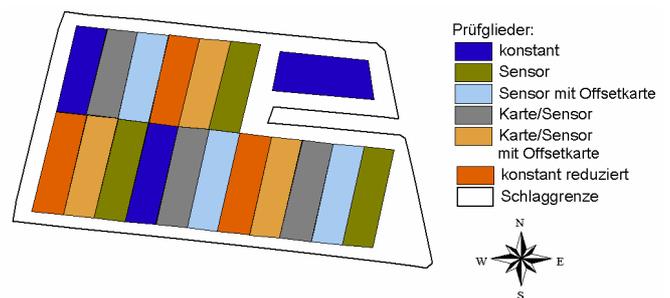
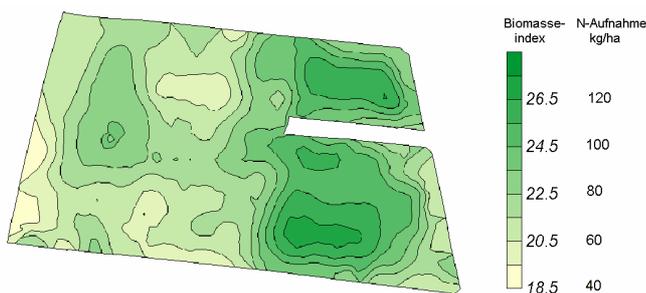


Abbildung 62: Bestandesindex des YNS und N-Mengen im Rapsbestand auf dem Versuchsschlag 2009 zum Ende der Herbstentwicklung 2008

Abbildung 63: Lageplan der Prüfglieder des Versuches 2009 mit Winterraps in Warnstedt

Tabelle 15: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern im Versuchsjahr 2009

N-Menge	konstant/ konstant	Sensor/ Sensor	Sensor mit Offsetkarte/ Sensor mit Offsetkarte	Applikationskarte/ Sensor	Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	konstant reduziert/ konstant reduziert
Mittelwert	180	184	195	191	187	150
Maximum	180	216	250	231	227	150
Minimum	180	150	151	157	139	150

Die Verteilung der Prüfglieder auf dem Ackerschlag findet sich in Abbildung 63. Die in den jeweiligen Prüfgliedern ausgebrachten N-Mengen und deren Spannweite sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Auf Grund der Erfahrungen des ersten Versuchsjahres wurde ein reduziertes Prüfglied eingeführt, um den optimalen N-Aufwand besser abschätzen zu können.

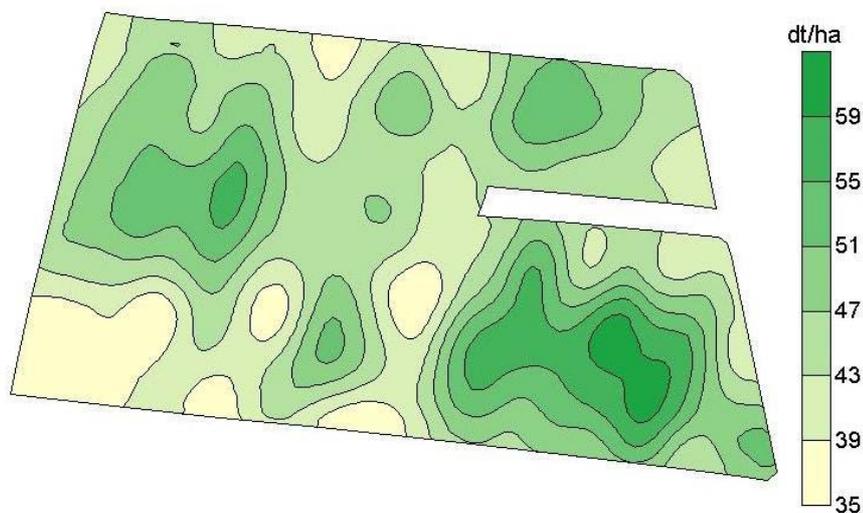


Abbildung 64: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Winterraps in Warnstedt 2009

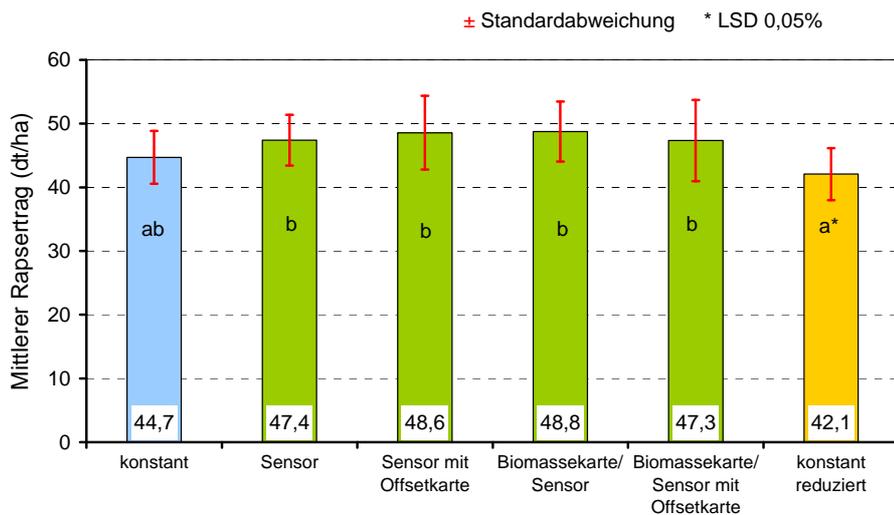


Abbildung 65: Mittlerer Rapserttrag in den jeweiligen Prüfgliedern in Warnstedt 2009

Die Unterschiede in der vorwinterlichen Bestandesentwicklung spiegeln sich deutlich im Ertragsverhalten des Gesamtschlages wider (Abb. 64). Besonders eng ist die Beziehung zwischen dem Ertrag und dem vor dem Winter gemessenen Bestandesindex im Prüfglied „Sensor“ ($r = 0,68$). Dagegen besteht nur eine lockere Beziehung zum langjährigen Relativertrag. Die reduzierte N-Menge war mit einem signifikanten Ertragsrückgang verbunden (Abb. 65). Zwischen den übrigen Varianten ergeben sich keine Unterschiede. Anders sieht es jedoch in den einzelnen Ertragsbereichen aus. In den sensorgestützten Prüfgliedern gelingt es besser das vorhandene Ertragspotenzial auszuschöpfen. Bei etwa gleichen mittleren N-Mengen war dafür vor allem die bedarfsgerechtere Verteilung durch den Sensor verantwortlich.

Hinsichtlich der N-Bilanz der drei Standardprüfglieder sind keine Unterschiede vorhanden. Erwartungsgemäß fällt sie bei reduziertem N-Einsatz und entsprechender Ertragseinbuße am günstigsten aus (Tab. 16). Auffallend wiederum war, dass die größten N-Überschüsse im Niedrigertragsbereich auftraten.

Wie bereits im Jahr zuvor konnten keine Unterschiede in den N_{min} -Resten nach der Ernte festgestellt werden. Im Mittel des Schlages waren es gerade 34 kg N_{min} /ha in 0 – 90 cm. Der verabreichte Düngerstickstoff wurde also weitgehend in die gewachsene Biomasse eingebaut und eine Mineralisation der bereits während der Ausbildung der Rapssaat abgestorbenen Blätter hatte noch nicht eingesetzt.

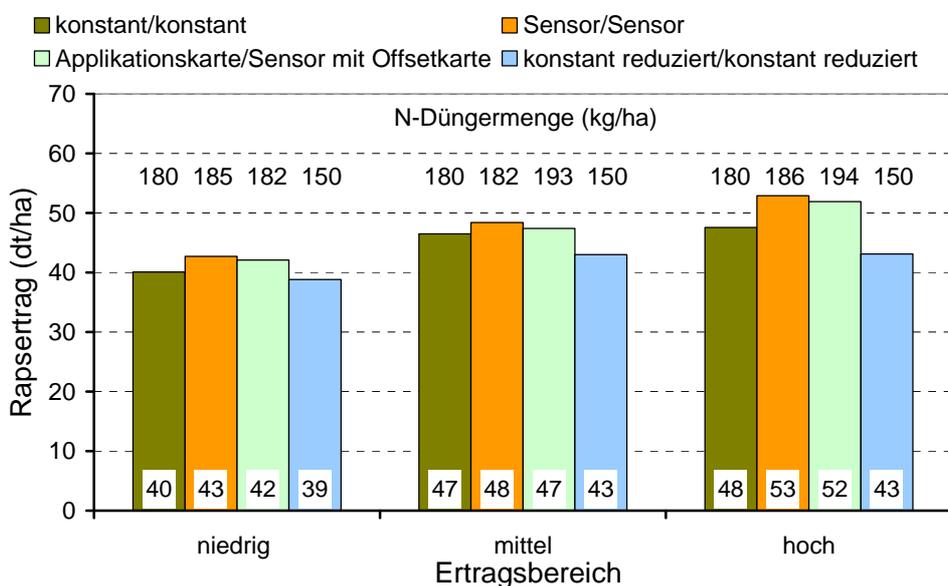


Abbildung 66: Erträge der drei Standardvarianten sowie des reduzierten Prüfgliedes in den drei Ertragsbereichen

Tabelle 16: Erträge in den Ertragsbereichen und die Bilanz des Düngerstickstoffs

Prüfglied	Ertragsbereich	Ertrag	N-Entzug	N-Düngermenge	N-Saldo
		dt/ha		kg/ha	
konstant/konstant	niedrig	40,1	134	180	46
	mittel	46,5	156	180	24
	hoch	47,5	159	180	21
Sensor/Sensor	niedrig	42,7	143	185	42
	mittel	48,4	162	182	20
	hoch	52,9	177	186	9
Applikationskarte/Sensor mit Offsetkarte	niedrig	42,1	141	182	41
	mittel	47,4	159	193	34
	hoch	51,9	174	194	20
konstant reduziert/ konstant reduziert	niedrig	38,8	130	150	20
	mittel	43,0	144	150	6
	hoch	43,1	144	150	6

3.2.1.3 Versuchsjahr 2009/2010

Der rund 60 ha große Rapsschlag umfasste vorwiegend die Bodenarten sandiger Lehm und Lehm (Abb. 67). Lediglich im nord-westlichen Teil findet sich lehmiger Sand, der etwa ein Zehntel der Gesamtfläche einnimmt. Eine gleichmäßige Aufteilung der wiederum sechs Prüfglieder auf alle Bodenarten konnte nicht gewährleistet werden (Abb. 68). Bei der Versuchsauswertung wurde das entsprechend berücksichtigt. Im mittleren Bereich der Ackerfläche wurde Ende September eine zusätzliche N-Gabe verabreicht, um eine stärkere Differenzierung des Bestandes zu erreichen (Abb. 69). Zum Ende der Vegetationsperiode fanden sich dann zwischen 50 und 160 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse. Eine durchgehend geschlossene Schneedecke über Winter sorgte dafür, dass sich die Blattverluste in Grenzen hielten. Zu Vegetationsbeginn wurden in den abgestorbenen Pflanzenteilen zwischen 5 und 15 kg N ermittelt. Das sind etwa 10 % des vor dem Winter in der Sprossbiomasse vorhandenen Stickstoffs.

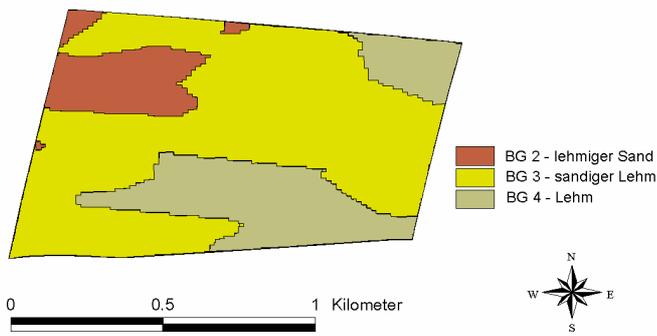


Abbildung 67: Verteilung der Bodenarten auf dem Versuchsschlag mit Winterraps in Warnstedt 2010

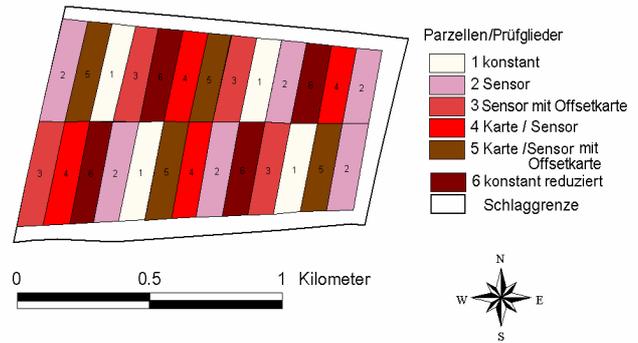


Abbildung 68: Lageplan der Prüfglieder des Versuches 2010 mit Winterraps in Warnstedt

Die zur ersten N-Gabe vorbereitete Applikationskarte macht deutlich, wie unterschiedlich in den einzelnen Prüfgliedern auf die differenzierte Vorwinterentwicklung reagiert wurde (Abb. 70). Bei den geringen Blattverlusten konnte in den Prüfgliedern Sensor bzw. Sensor mit Offsetkarte bereits zur ersten N-Gabe im Echtzeitverfahren (vorn messen, hinten düngen) gearbeitet werden, sodass die vorbereitete Applikationskarte in diesen Prüfgliedern nicht eingesetzt wurde. Die jeweils ausgebrachten N-Mengen sind in Tabelle 17 zusammengestellt.

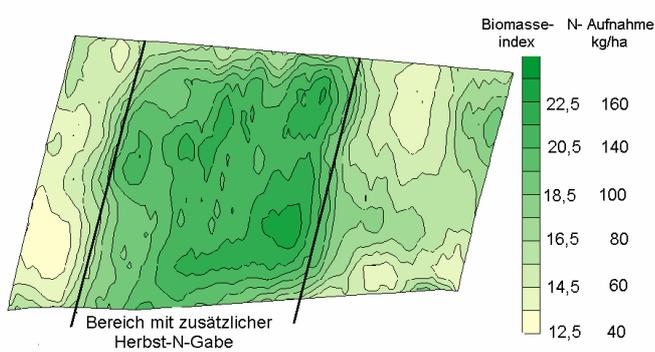


Abbildung 69: Bestandesindex des YNS und N-Mengen im Rapsbestand auf dem Versuchsschlag 2010 zum Ende der Herbstentwicklung 2009

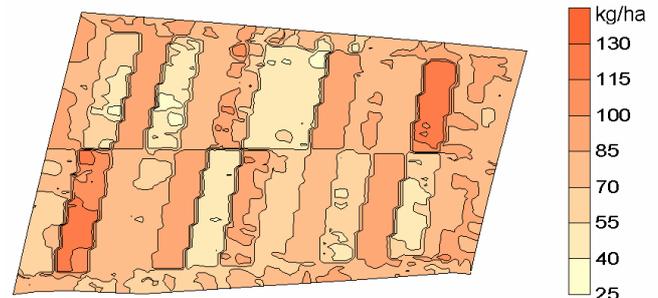


Abbildung 70: N-Applikationskarte zur ersten Stickstoffgabe auf dem Schlag mit Winterraps in Warnstedt 2010

Tabelle 17: Ausgebrachte N-Menge in den verschiedenen Prüfgliedern im Frühjahr 2010

N-Menge	konstant/ konstant	Sensor/ Sensor	Sensor mit Offsetkarte/ Sensor mit Offsetkarte	Applikationskarte/ Sensor	Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	konstant reduziert/ konstant reduziert
Mittelwert	180	142	135	171	145	150
Maximum	180	214	215	234	220	150
Minimum	180	98	77	102	89	150

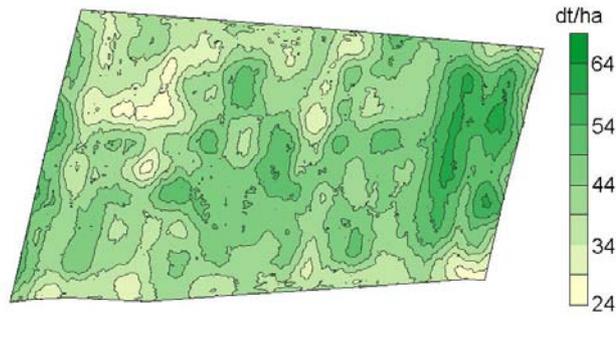
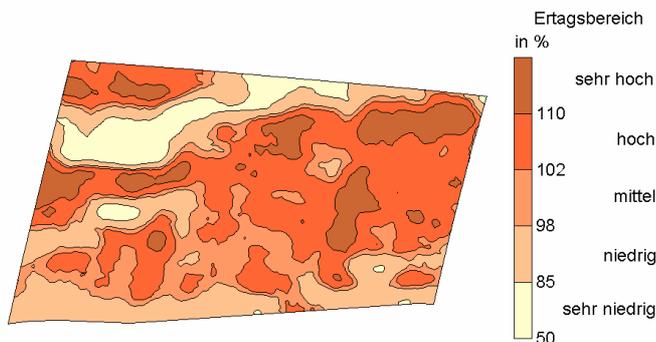


Abbildung 71: Ertragsbereiche des Versuchsschlages in Warnstedt 2010

Abbildung 72: Ertragskarte vom Winterertragsschlag in Warnstedt 2010

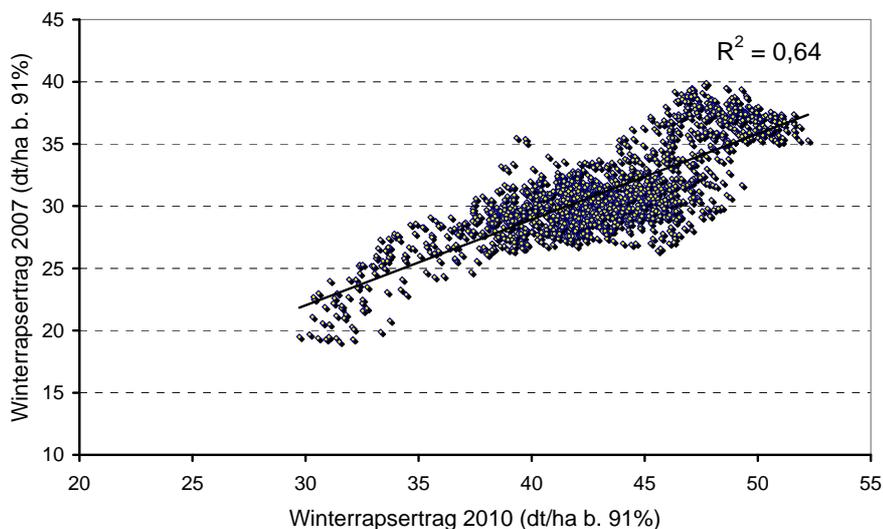


Abbildung 73: Vergleich der Rapsjahre 2007 und 2010 im Bereich der konstanten N-Düngung

Ein Vergleich der Abbildungen 71 und 72 lässt erkennen, dass das Ertragsverhalten weitgehend dem aus dem langjährigen Relativertrag erstellten Ertragsbereichen entspricht. In besonderer Weise trifft das für das Prüfglied mit einheitlicher, konstanter Stickstoffdüngung zu (Abb. 73). Die Rapsenerträge und die dazugehörige Bilanz des eingesetzten Stickstoffs in den Ertragsbereichen sind in den Tabellen 18 und 19 zusammengestellt. Die Schlagteile mit und ohne Herbst-N wurden getrennt ausgewertet. Das etwas höhere Ertragsniveau in Tabelle 19 wurde vor allem durch die besseren Bodenbedingungen im östlichen Schlagteil (vgl. Abb. 67 und Abb. 71) verursacht. Deutlich wird, dass durch den Sensoreinsatz die bessere N-Versorgung auf den Schlagteilen mit einer zusätzlichen Herbststickstoffgabe zu einer Reduktion der N-Düngung im Frühjahr geführt hat. Das spiegelt sich in den recht einheitlichen N-Salden der Prüfglieder wider. Anders verhält es sich mit dem konstanten Prüfglied, in dem mit 89 bzw. 53 kg N/ha wieder die höchsten Überschüsse angetroffen wurden. Besonders hoch sind sie erneut im Niedrigertragsbereich, wo die Gefahr von Nitratausträgen am größten ist.

Tabelle 18: Ertrag, N-Düngermenge und N-Bilanz in den drei Standardvarianten für die Teilflächen mit zusätzlicher N-Gabe im Herbst

Prüfglied	Ertragsbereich	Ertrag	N-Entzug	N-Düngung	N-Saldo	N-Saldo Prüfglied
		dt/ha				
konstant/konstant	niedrig	34	102	210	108	89
	mittel	40	120	210	90	
	hoch	44	132	210	78	
	sehr hoch	43	129	210	81	
Sensor/Sensor	niedrig	34	102	167	65	40
	mittel	39	117	170	53	
	hoch	44	132	154	22	
	sehr hoch	45	135	154	19	
Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	niedrig	34	114	164	50	34
	mittel	40	134	164	30	
	hoch	45	151	168	17	
	sehr hoch	46	154	193	39	

Tabelle 19: Ertrag, N-Düngermenge und N-Bilanz in den drei Standardvarianten für die Teilflächen ohne zusätzliche N-Gabe im Herbst

Prüfglied	Ertragsbereich	Ertrag	N-Entzug	N-Düngung	N-Saldo	N-Saldo Prüfglied
		dt/ha				
konstant/konstant	niedrig	36	108	180	72	53
	mittel	43	129	180	51	
	hoch	45	135	180	45	
	sehr hoch	46	138	180	42	
Sensor/Sensor	niedrig	37	111	180	69	26
	mittel	45	135	158	23	
	hoch	43	129	145	16	
	sehr hoch	49	147	144	- 2	
Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	niedrig	43	129	169	40	43
	mittel	46	138	178	40	
	hoch	49	147	185	38	
	sehr hoch	54	162	216	54	

3.2.2 Winterrapsversuche in Staritz

Bei den Versuchsflächen mit Winterraps in Staritz handelte es sich um leichte, diluvial geprägte Böden mit Ackerzahlen im Bereich von 18 bis 50. Zum Teil konnten selbst auf den leichteren Schlagteilen beachtliche Rapsertträge erzielt werden.

3.2.2.1 Versuchsjahr 2007/2008

Auf dem heterogenen Ackerschlag waren die Ausgangsbedingungen für die jungen Rapsbestände im Herbst vielgestaltig. Der differenzierte Ertrag der Vorfrucht war vermutlich die Hauptursache dafür. So wurden zur Aussaat des Rapses große Unterschiede in N_{\min} -Gehalt angetroffen (Abb. 74). Daraus resultierten bis zum Ende der Vegetation beachtliche Unterschiede in der Bestandesentwicklung und N-Aufnahme (Abb. 75). Zu Beginn des Winters befanden sich im Rapsbestand zwischen 20 und 160 kg N/ha. Zwischen dem N_{\min} nach der Ernte der Vorfrucht und dem im Rapsbestand ermittelten N-Beträgen besteht ein Zusammenhang ($r = 0,60$). Die eigentliche Versuchsdurchführung erfolgte im westlichen Teil des über 90 ha großen Schlages. Der Lageplan findet sich in Abbildung 76 wieder. Weil für diesen Schlagteil nicht ausreichende Unterlagen aus früheren Ertragskartierungen vorlagen, wurde bei der Erstellung der Offsetkarten ausschließlich auf die Karten der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit zurückgegriffen. Zwar besteht auf diesem Schlag eine enge Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem Ertrag (Abb. 77), in Teilbereichen traten jedoch deutliche Abweichungen auf. Sie sind in erster Linie auf alte Beregnungsleitungen zurückzuführen, die die Leitfähigkeitsmesswerte störend beeinflusst haben.

Die ausgebrachten N-Mengen sind in Tabelle 20 zusammengestellt. Hingewiesen werden soll darauf, dass zur ersten Gabe die Sensorprüfglieder deutlich niedriger angedüngt wurden. Das wurde zur zweiten N-Gabe wieder ausgeglichen.

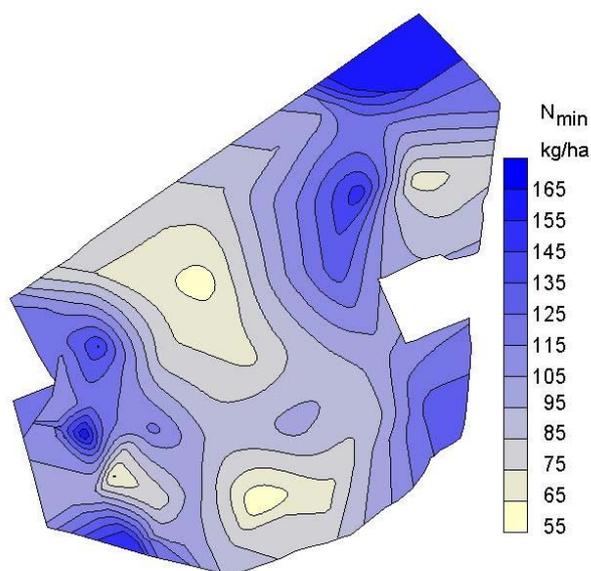


Abbildung 74: Verteilung des N_{\min} nach der Ernte der Vorfrucht auf einem heterogenen Ackerschlag im Jahr 2007 in Staritz

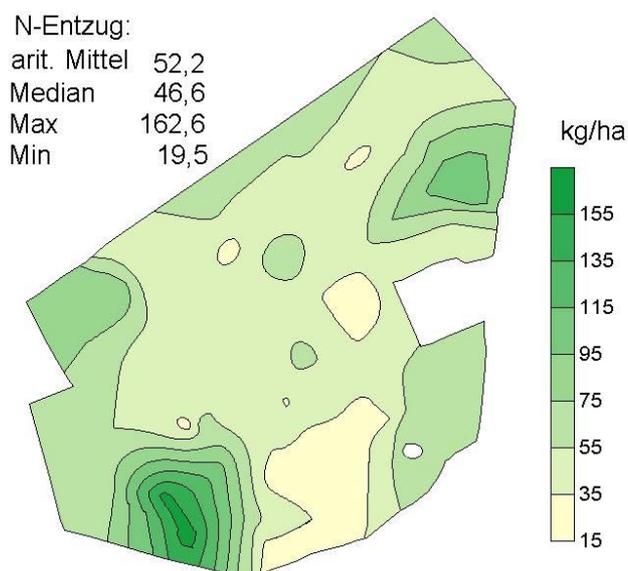


Abbildung 75: N-Entzug des Winterrapsbestandes zum Ende der Vegetation 2007 in Staritz

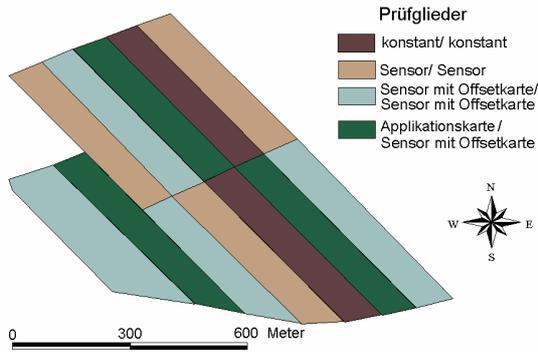


Abbildung 76: Lageplan der Prüfglieder vom Versuchsschlag 2008

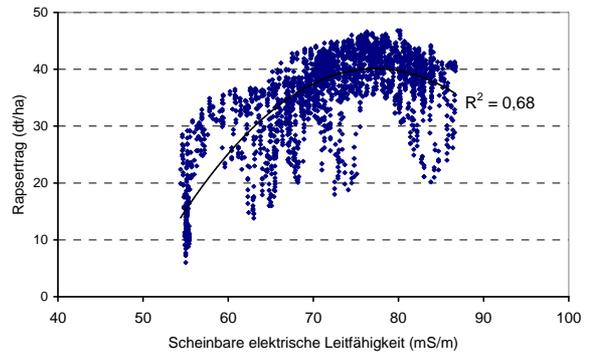


Abbildung 77: Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und dem Ertrag auf einer Teilfläche des Versuchsschlages

Tabelle 20: Ausgebrachte mittlere N-Menge in den jeweiligen Prüfgliedern

Prüfglied	1. Gabe	2. Gabe	Summe
	kg N/ha		
konstant/konstant	80	80	160
Sensor/Sensor	46	114	162
Sensor mit Offsetkarte/Sensor mit Offsetkarte	53	96	149
Applikationskarte/Sensor mit Offsetkarte	90	79	169

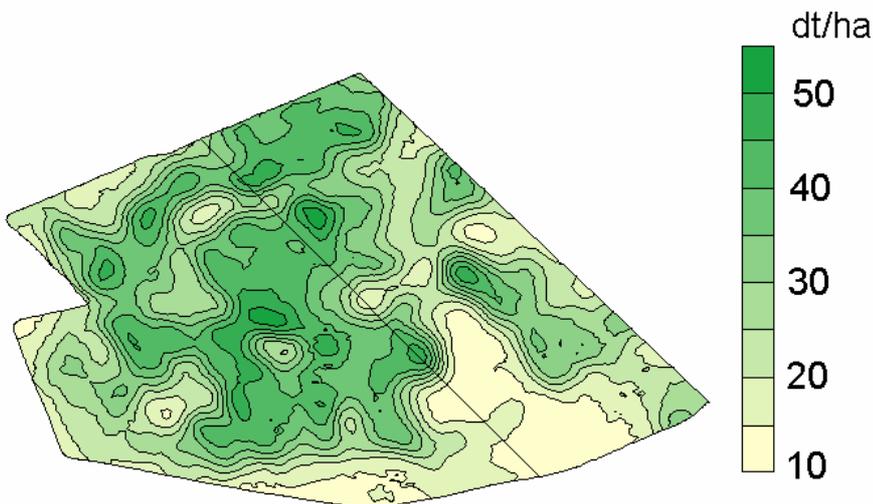


Abbildung 78: Ertragskarte vom Winterraps in Staritz 2007/2008

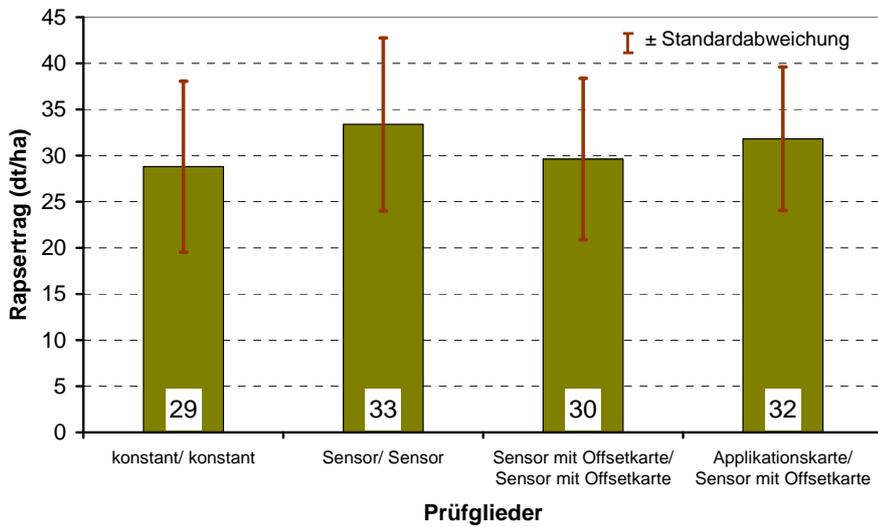


Abbildung 79: Mittlerer Rapsenertrag in den vier Prüfgliedern in Staritz 2007/2008

Tabelle 21: Erträge und die Bilanz des Düngerstickstoffs in den Bereichen mit unterschiedlicher Leitfähigkeit

Prüfglied	Leitfähigkeit	Ertrag	N-Entzug	N-Düngermenge	N-Saldo
		dt/ha	kg/ha		
konstant/konstant	niedrig	23	76	160	84
	mittel	37	122	160	38
	hoch	34	112	160	48
Sensor/Sensor	niedrig	25	83	148	65
	mittel	39	129	151	22
	hoch	36	119	144	25
Sensor mit Offsetkarte/ Sensor mit Offsetkarte	niedrig	24	79	127	48
	mittel	34	112	136	24
	hoch	33	109	140	31
Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	niedrig	31	102	122	20
	mittel	39	129	163	34
	hoch	35	116	182	66

Die Rapsenerträge belegen insgesamt die große bodenbedingte Differenzierung (Abb. 78). Zwischen den Prüfgliedern sind die Ertragsunterschiede nicht signifikant und weisen sehr hohe Standardabweichungen (Abb. 79) auf. Die Bilanz des gedüngten Stickstoffs macht deutlich, dass sich durch die Nutzung der Offsetkarten besonders auf den ertragsschwachen und auswaschungsgefährdeten Flächenanteilen Vorteile ergeben.

3.2.2.2 Versuchsjahr 2008/2009

Bei dem Rapsschlag in Staritz handelte es sich um den leichtesten Standort von den vier Versuchsorten im Jahr 2009. Er ist diluvial geprägt und mit einer mittleren Ackerzahl von 40 bewertet. Die Spanne der verschiedenen Teilflächen reicht von 22 bis 50. Wie bestimmend die Wasserreserven des Bodens für die Ertragsausbildung sind, zeigt eine Luftaufnahme dieses Schlates aus dem Jahr 2006 (Abb. 80). Der angebaute Winterweizen begann bereits Mitte Juni auf den sandigeren Teilflächen abzureifen. Dagegen war der Bestand auf den Teilflächen mit bester Bodengüte noch dunkelgrün und im vollen Wachstum. Ein Vergleich mit der Leitfähigkeitskarte (Abb. 81) zeigt, dass es hier deutliche Übereinstimmungen gibt. Sowohl die Ergebnisse der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit als auch das Luftbild vom abreifenden Weizenbestand weisen auf die beachtliche kleinräumige Heterogenität des Versuchsschlages hin.

Um auch auf den Teilflächen mit regelmäßig hohem Ertragsniveau unterschiedliche Ausgangsbestände zu erhalten, wurden im südwestlichen Bereich im Herbst 40 kg N/ha zusätzlich ausgebracht. Dieser Stickstoff brachte noch einen deutlichen Substanzzuwachs. Der vor dem Winter mit dem YNS geschnittene Pflanzenbestand und die daraus erstellte Karte geben dies sehr gut wieder (Abb. 82). Bis zum Vegetationsende fand sich im Bestand eine mittlere N-Menge von 85 kg/ha. Die Spanne reichte dabei von 40 bis 120 kg N/ha.

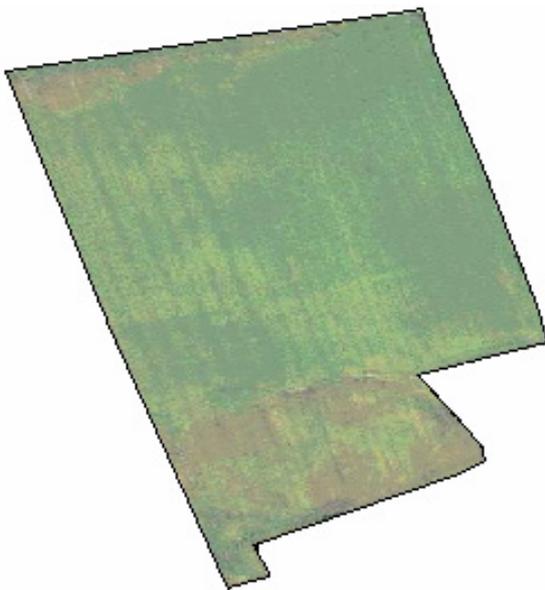


Abbildung 80: Luftbild vom abreifenden Weizenbestand im Juni 2006

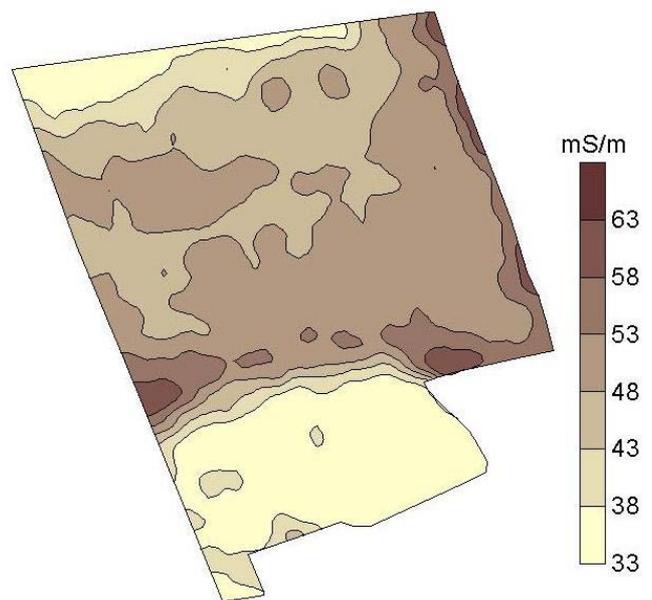


Abbildung 81: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit vom Versuchsschlag

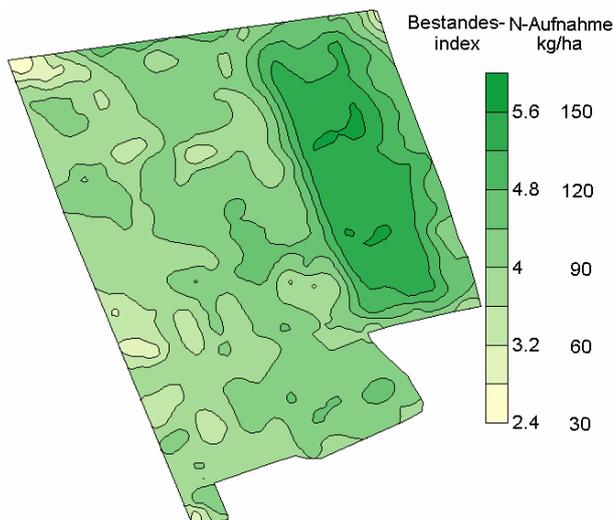


Abbildung 82: Bestandesindex des YNS und die N-Aufnahme der oberirdischen Biomasse zum Ende der Vegetation 2008

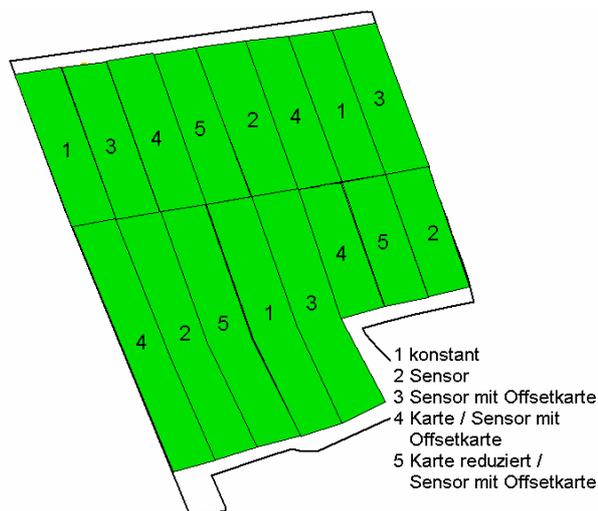


Abbildung 83: Prüfglieder und Versuchsanlage von dem Versuchsschlag 2009

Neben den vier Prüfgliedern aus dem Jahr zuvor wurde auch in Staritz 2009 ein reduziertes Prüfglied eingeführt. Das betraf hier allerdings nur die erste N-Gabe. Letztendlich glied der Sensor die reduzierte erste Gabe zur zweiten Stickstoffdüngung wieder aus (vgl. Tab. 22). Die Versuchsanlage ist in Abbildung 83 dargestellt.

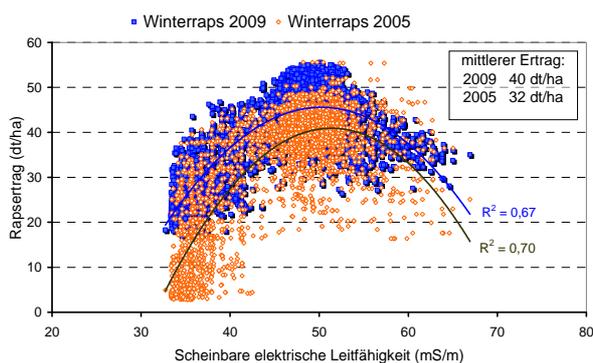


Abbildung 84: Beziehung zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und dem Winterrapsertag von zwei Erntejahren

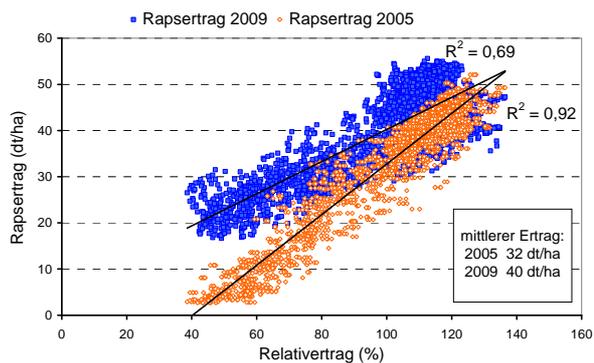


Abbildung 85: Beziehung zwischen dem Relativertrag und dem Winterrapsertag von zwei Erntejahren

Die Auswertung der Daten der Ertragskartierung aus den zurückliegenden Jahren erbrachte, dass immer unabhängig von den Jahresbedingungen ein enger Zusammenhang zwischen dem Ertrag und den Bodenunterschieden bestand. Bei der scheinbaren Leitfähigkeit fällt auf, dass die Erträge im Bereich hoher Leitfähigkeit wieder deutlich absinken. Ein Vergleich der Jahre mit Winterraps bestätigt diese Feststellung. Entsprechend der Jahresbedingungen ergab sich zwar ein unterschiedliches Ertragsniveau (Abb. 84), die Relationen auf den jeweiligen Teilflächen blieben aber erhalten. Deshalb erweist sich für diesen Ackerschlag der Relativertrag als bessere Alternative (Abb. 85) und wurde darum für die Einteilung in Ertragsbereiche und die Erstellung der Offsetkarte genutzt.

Tabelle 22: Ausgebrachte N-Mengen in den einzelnen Prüfgliedern

N-Menge (kg/ha)	konstant/ konstant	Sensor/ Sensor	Sensor mit Offsetkarte/ Sensor mit Offsetkarte	Karte/ Sensor mit Offsetkarte	Karte reduziert/ Sensor mit Offsetkarte
Mittelwert	175	178	171	161	164
Maximum	175	209	231	191	195
Minimum	175	123	105	105	97

Die im Frühjahr ausgebrachten N-Mengen sind in Tabelle 22 zusammengestellt. Auffallend ist, dass in den Prüfgliedern mit Offsetkarten, bedingt durch die Zu- bzw. Abschläge in den Ertragsbereichen, die jeweils größten Spannen auftraten. Die Ertragskarte verdeutlicht die große Differenziertheit der einzelnen Schlagteile (Abb. 86). Es fällt auf, dass das Ertragsverhalten unabhängig von der Herbstentwicklung war und vor allem von den Bodenverhältnissen bestimmt wurde. In den Prüfgliedern mit Sensordüngung konnte in den vergleichbaren Bodenbereichen die unterschiedliche Vorwinterentwicklung durch eine angepasste Frühjahrsdüngung ausgeglichen werden.

Die mittleren Erträge der jeweiligen Prüfglieder finden sich in Abbildung 87. Bemerkenswert ist, dass zwischen den Sensorprüfgliedern keine Unterschiede bestehen und lediglich das konstante Prüfglied leicht abfällt. Die in den jeweiligen Ertragsbereichen erzielten Rapsertträge sind in Tabelle 23 zusammengestellt. Im Niedrigertragsbereich finden sich zwischen den Prüfgliedern keine Unterschiede. Durch den Einsatz der Offsetkarte sind hier allerdings im Vergleich zu „konstant“ im Mittel 40 kg N/ha weniger ausgebracht worden. Im Prüfglied „Sensor“ kam es zu einer geringen Reduktion (13 kg N/ha). Im Bereich mit hohen Erträgen sind die Unterschiede im N-Einsatz gering. In den Sensorvarianten konnte allerdings etwas höhere Erträge erzielt werden.

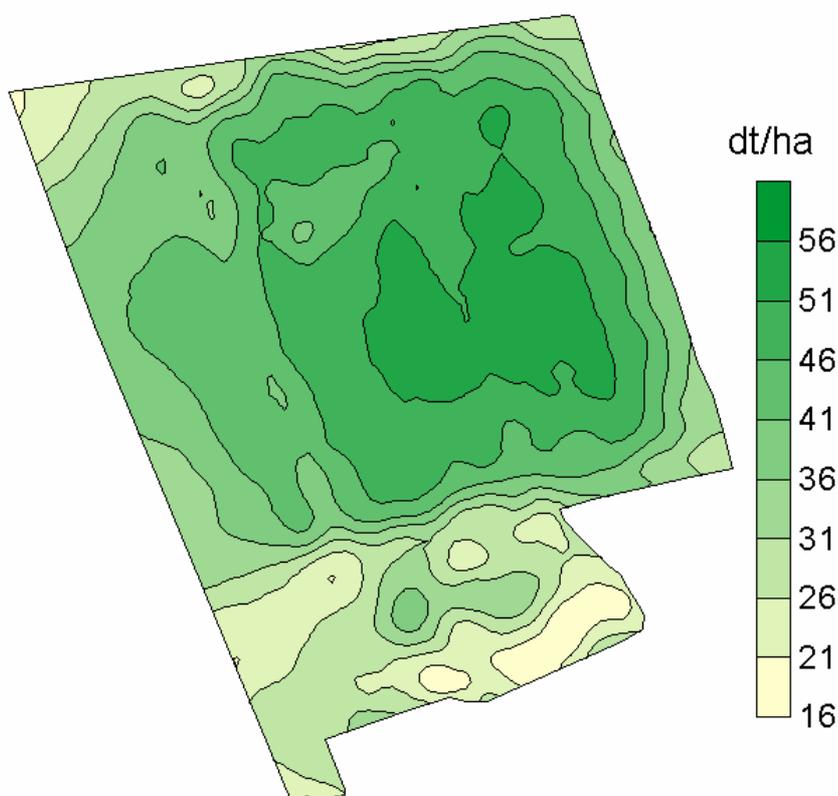


Abbildung 86: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Raps 2008/2009

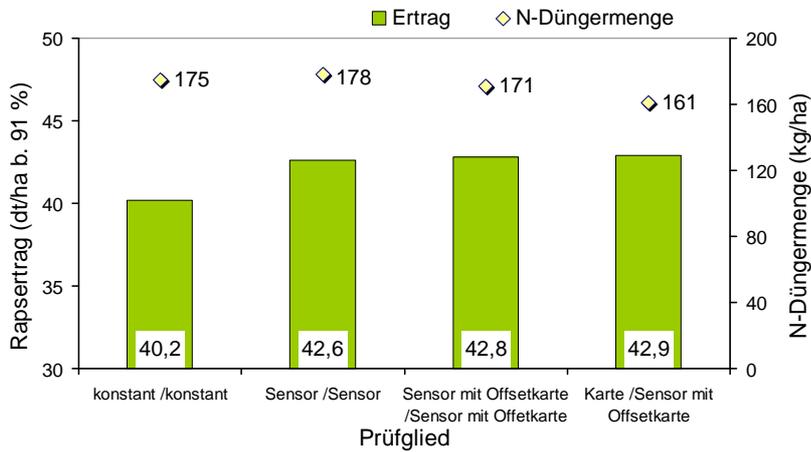


Abbildung 87: Mittlerer Rapserttrag in den Standardprüfgliedern 2009

Tabelle 23: Rapserttrag und die Bilanz des eingesetzten Düngerstickstoffs in den Standardprüfgliedern 2009

Prüfglied	Ertragsbereich	Ertrag	N-Entzug	N-Düngung	N-Saldo	N-Saldo Prüfglied
		dt/ha	kg/ha			
konstant/ konstant	sehr niedrig	25	86	175	89	49
	niedrig	31	107	175	68	
	mittel	38	131	175	44	
	hoch	44	152	175	23	
	sehr hoch	44	152	175	23	
Sensor/ Sensor	sehr niedrig	25	86	162	76	40
	niedrig	30	104	161	57	
	mittel	44	152	176	24	
	hoch	48	166	178	12	
	sehr hoch	44	152	181	29	
Sensor mit Offsetkarte/ Sensor mit Offsetkarte	sehr niedrig	26	90	137	47	28
	niedrig	32	110	141	31	
	mittel	44	152	171	19	
	hoch	47	162	175	13	
	sehr hoch	47	162	190	28	
Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	sehr niedrig	26	90	152	62	26
	niedrig	31	107	151	44	
	mittel	42	145	158	13	
	hoch	46	159	163	4	
	sehr hoch	46	159	165	6	

3.2.2.3 Versuchsjahr 2009/2010

Auf Grund der günstigen Wachstumsbedingungen im Herbst entwickelte sich ein üppiger Rapsbestand. Bis zum Ende der Vegetation waren zwischen 50 und 160 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse eingebunden (Abb. 88). Im Mittel wurden vor dem Winter lediglich 16 kg N_{min}/ha in 0 bis 90 cm ermittelt. Der Rapsbestand hatte also den Boden weitgehend entleert.

Zwar war über Winter eine weitgehend geschlossene Schneedecke vorhanden, nach der Schneeschmelze zeigte sich jedoch, dass trotzdem beachtliche Anteile der Rapsblätter abgestorben waren. Aus den Handbeprobungen geht hervor, dass es sich dabei um 33 bis 50 % der im Herbst gebildeten Trockenmasse handelte. Die größten Blattverluste traten auf den Schlagteilen mit dichtem, kräftig entwickeltem Pflanzenbestand auf. In der abgestorbenen Biomasse fanden sich zwischen 20 und 45 kg N/ha. Der N-Gehalt in der abgestorbenen Biomasse lag etwa 1 % unter dem der grünen oberirdischen Pflanzenteile. Es kann davon ausgegangen werden, dass aus den abgestorbenen Blättern bereits die löslichen N-Verbindungen in den Boden eingetragen wurden. Im Mittel war der N_{min} vor der ersten N-Gabe im Vergleich zum Vorwinter um etwa 10 kg/ha erhöht. Im Wesentlichen betraf das die Bodenschicht von 0 – 30 cm. Weil der Oberboden unter der Schneedecke nicht tief gefroren war, kann dieser Anstieg sowohl aus den abgestorbenen Blättern als auch durch Mineralisation von bodenbürtigen N-Verbindungen stammen.

Die beachtlichen Blattverluste ließen keinen Echtzeiteinsatz des YNS zu. Deshalb wurde die erste N-Gabe insgesamt mittels N-Applikationskarte durchgeführt. Grundlage für die Bedarfsermittlung bildeten die mit dem YNS vor dem Winter ermittelten Bestandesindices und die daraus abgeleiteten N-Aufnahmen. Auf Basis von 10 m x 10 m Rastern wurde mit BEFU die auszubringende Düngermenge berechnet. Während in dem „konstanten“ Prüfglied der mittlere Betrag einheitlich gedüngt wurde, erfolgte in den drei anderen Prüfgliedern eine Differenzierung. Zum einen wurde die erste N-Gabe wie empfohlen eingesetzt, zum anderen erfolgte eine Erhöhung bzw. Reduzierung der vorgesehenen N-Menge. Die zweite Gabe wurde hier nach Kalibrierung sensorgesteuert ausgebracht. Die einzelnen Prüfglieder und ihre Verteilung über den Versuchsschlag sind aus Abbildung 89 ersichtlich. Verteilt wurden sie so, dass in ihnen die vorwinterliche Bestandesentwicklung gleichmäßig vertreten war. Im Mittel befanden sich in der Biomasse jedes Prüfgliebes etwa 120 kg N/ha. Die zur ersten N-Gabe ausgerichteten N-Mengen sind in Abbildung 90 dargestellt.

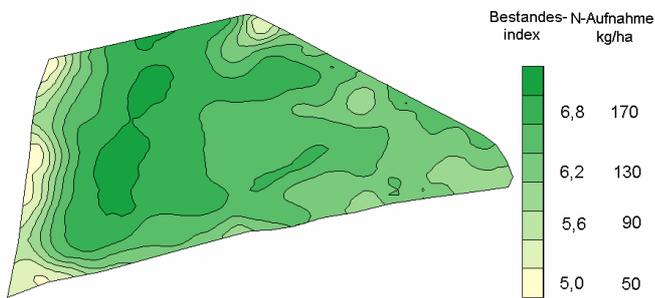


Abbildung 88: Bestandesindex des YNS und die N-Aufnahme der Biomasse zum Ende der Vegetation 2009

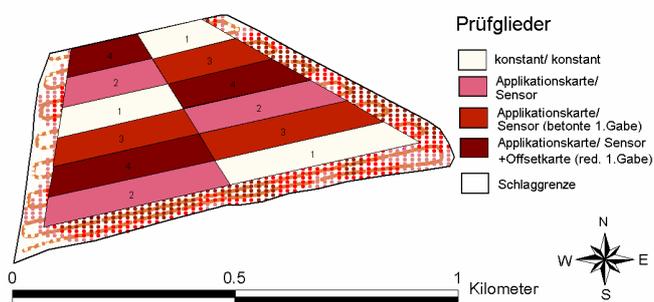


Abbildung 89: Prüfglieder und Versuchsanlage vom Versuchsschlag 2010

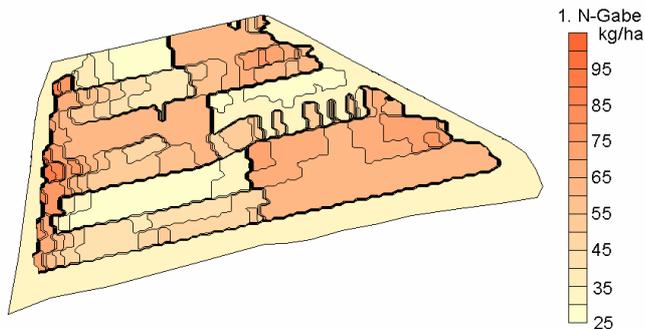


Abbildung 90: Auf den jeweiligen Teilflächen zur ersten Gabe ausgebrachte N-Menge

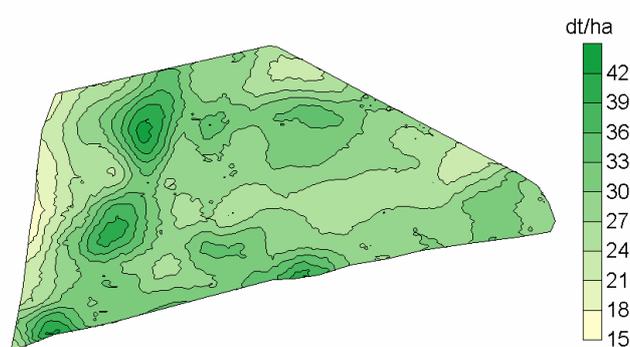


Abbildung 91: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Raps 2010

Auf dem Schlag traten beachtliche Ertragsunterschiede auf (Abb. 91). Weil der Rapsbestand im Mai durch Sturm und Hagel geschädigt wurde, sind diese Unterschiede eher zufällig und nicht düngungsbedingt. Das Ertragsniveau selbst wurde stark durch die extrem hohen Junitemperaturen in Verbindung mit Trockenheit beeinflusst, sodass sich die begrenzten Wasserreserven auf großen Flächenanteilen deutlich bemerkbar machten. Der für die Düngbedarfsermittlung zugrunde gelegte Zielertrag für den Gesamtschlag von 40 dt/ha konnte nicht erreicht werden. Lediglich auf den Schlagteilen mit Lehmبändern im Untergrund wurde er realisiert. Die Ertragsunterschiede zwischen den verschiedenen Großteilstücken der Prüfglieder waren nur gering und nicht signifikant. Auch zwischen den verschiedenen Ertragsbereichen blieben die Unterschiede eher gering (Tab. 24). Im Hinblick auf die N-Bilanz schneiden wieder die variablen Prüfglieder deutlich besser ab als die konstante, einheitliche Stickstoffdüngung. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass ohne Berücksichtigung der N-Beträge in der Rapsbiomasse vor dem Winter die N-Bilanz insgesamt ein wesentlich höheres Saldo ausgewiesen hätte. Im Mittel des Schlages sind es immerhin 50 kg N/ha.

Tabelle 24: Rapsrertrag und die Bilanz des eingesetzten Düngerstickstoffs in den Standardprüfgliedern 2010

Prüfglied	Ertragsbereich	Ertrag	N-Düngung	N-Abfuhr	N-Saldo	N-Saldo Prüfglied
		dt/ha				
konstant/ konstant	niedrig	27	142	82	60	56
	mittel	28	142	83	59	
	hoch	32	142	95	48	
Applikationskarte/ Sensor (1. Gabe 50 % der berechneten N-Menge)	niedrig	28	114	85	29	21
	mittel	31	120	92	29	
	hoch	36	116	109	7	
Applikationskarte/ Sensor (1. N-Gabe 2/3 der berechneten N-Menge)	niedrig	26	99	78	21	35
	mittel	30	127	89	38	
	hoch	32	142	96	46	
Applikationskarte/ Sensor + Offsetkarte (1. Gabe 1/3 der berechneten N-Menge)	niedrig	27	88	81	7	12
	mittel	31	105	92	13	
	hoch	35	122	106	16	

3.2.3 Winterrapsversuche in Köllitsch

3.2.3.1 Versuchsjahr 2007/2008

Der Boden der Versuchsfläche wies starke Differenzierungen auf. Dies kommt auch in der Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit zum Ausdruck (Abb. 92). Das Bodenartenspektrum reicht von lehmigem Sand bis Lehm. Mit Hilfe von zwei Aussaatterminen (optimal und verspätet) sowie durch eine gestaffelte Herbststickstoffgabe (0; 40 und 80 kg N/ha) wurde ein stark differenzierter Pflanzenbestand bis zum Winter aufgebaut (Abb. 93). In der oberirdischen Biomasse fanden sich zwischen 15 und 160 kg N/ha. Die Prüfglieder wurden unabhängig vom Aussaattermin so gelegt, dass die Bodenunterschiede in allen möglichst gleichmäßig vertreten waren (Abb. 94). Die auf den jeweiligen Teilflächen im Mittel eingesetzten N-Mengen finden sich in Abbildung 95 wieder.

Während bei dem optimalen Aussaattermin die 80 kg/ha Herbststickstoff aufgenommen und in zusätzliche Biomasse umgesetzt wurden, konnte bei der verspäteten Saat keine Förderung der Herbstentwicklung durch die zusätzliche N-Düngung beobachtet werden. Dieser Stickstoff blieb im Boden. Während auf den sandigeren Schlagteilen davon kaum etwas in 0 bis 90 cm Bodentiefe verblieb, fand sich dieser N im Bereich hoher Leitfähigkeit unterhalb von 60 cm Bodentiefe wieder. Dieses Ergebnis entspricht der im Mitteldeutschen Trockengebiet häufig angetroffenen Situation, wonach der N_{min} innerhalb der heterogenen Schlageinheiten gerichtete Unterschiede aufweist (SCHLIEPHAKE 2007). Auf Grund des oft begrenzten Niederschlags wird der Nitratstickstoff bei hohem Wasserspeichervermögen zwar verlagert, verbleibt aber innerhalb des durchwurzelbaren Bodenvolumens.

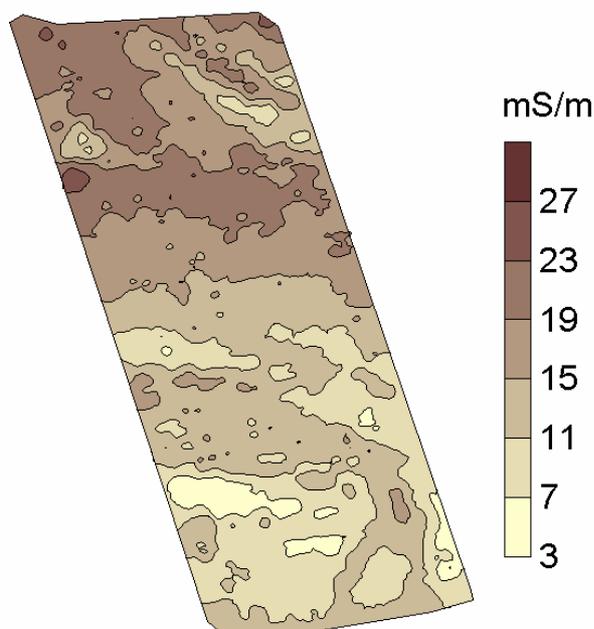


Abbildung 92: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (EM38) vom Versuchsschlag 2008 in Köllitsch

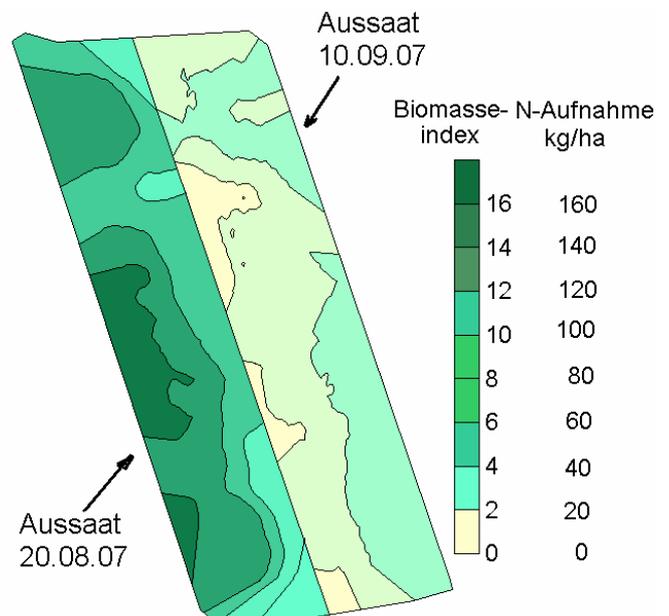


Abbildung 93: Bestandesindex des YNS und die N-Einlagerung in die oberirdische Biomasse

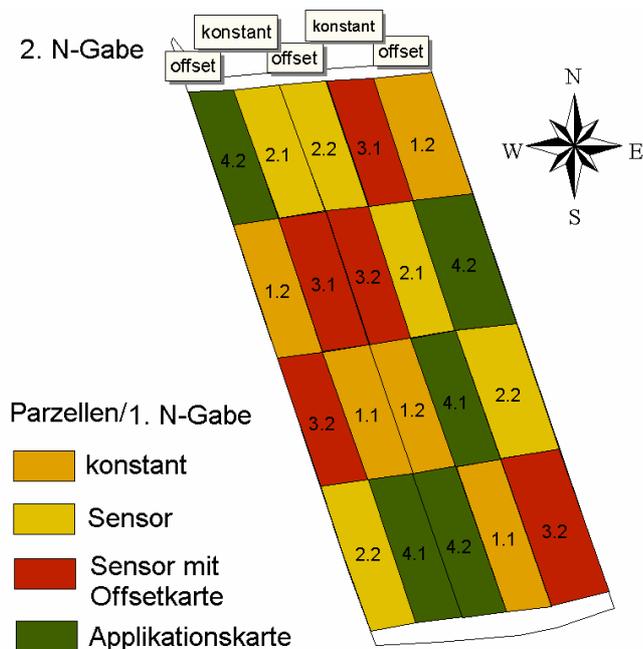


Abbildung 94: Verteilung der Prüfglieder zur teilschlag-spezifischen Rapsdüngung in Köllitsch 2008

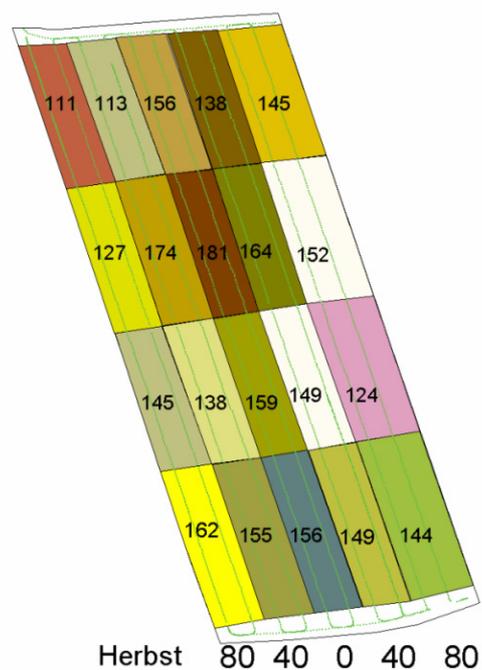


Abbildung 95: Im Herbst und im Frühjahr auf den jeweiligen Teilflächen eingesetzte N-Mengen

Die starke Differenzierung des Rapsbestandes blieb bis zur Ernte erhalten (Abb. 96). Insbesondere der verspätet ausgesäte Raps reagierte mit deutlichem Ertragsabfall. Die Einzelparzellenerträge sind in Abbildung 97 dargestellt. Neben den Bodenunterschieden haben sowohl die unterschiedlichen Herbstgaben als auch die Aussattermine signifikanten Einfluss auf das Ertragsgeschehen. Das führte dazu, dass auf eine detaillierte Auswertung auf Grund der fehlenden Wiederholungen verzichtet werden musste.

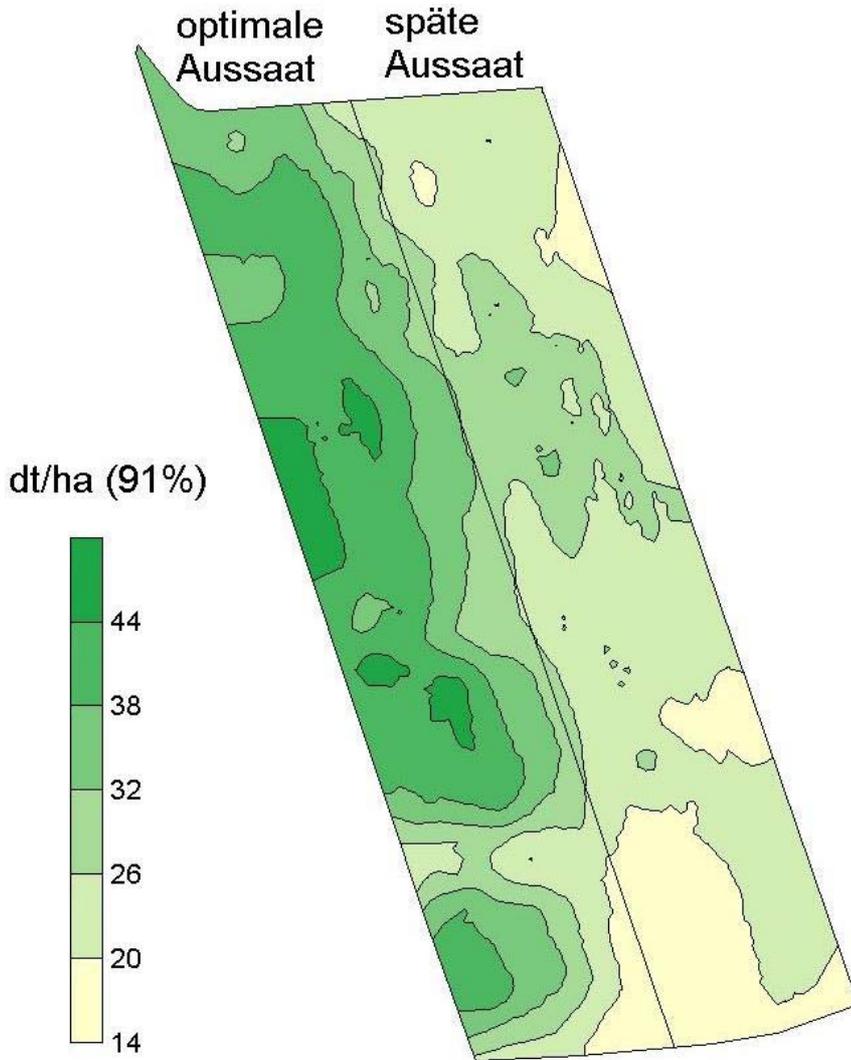


Abbildung 96: Ertragskarte der Winterrapsversuchsfläche in Köllitsch 2008

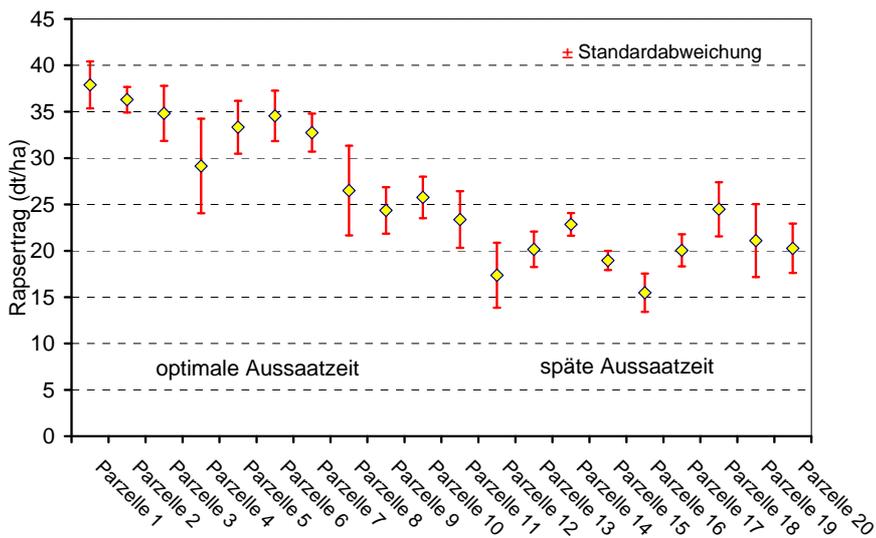


Abbildung 97: Erträge der einzelnen Parzellen auf dem Versuchsschlag 2008 in Köllitsch

3.2.3.2 Versuchsjahr 2008/2009

Der alluvial geprägte Boden umfasst ein relativ breites Bodenartenspektrum. Es erstreckt sich von lehmigem Sand über sandigen Lehm bis zum reinen Lehmboden. Die Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit weist dann für den Versuchsschlag auch entsprechende Unterschiede auf (Abb. 98), sie betreffen allerdings eher Randbereiche. Anders als beispielsweise in Warnstedt musste auf eine Einteilung der Teilflächen in Ertragsbereiche verzichtet werden. Die Gründe dafür sind vielgestaltig. Zum einen wurde der Zuschnitt dieses Schrages in den letzten Jahren mehrmals verändert und zum anderen erfolgten hier im regelmäßigen Abstand bereits verschiedene Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Düngung, sodass die vorliegenden Ertragsdaten aus unterschiedlichen Behandlungen der Teilflächen keine geeignete Grundlage bilden.

Im Herbst 2008 entwickelte sich ein recht gleichmäßiger Rapsbestand (Abb. 99). Die aufgetretenen Unterschiede stehen nicht in Wechselwirkung mit den vorhandenen Bodenunterschieden. Die an den festgelegten Messpunkten im Schlag ermittelten Bestandesindices stehen in enger Beziehung zur ermittelten Frischmasse und den darin eingebundenen N-Beträgen (Abb. 102). Daraus abgeleitet ergibt sich für den Rapsbestand vor dem Winter eine mittlere N-Aufnahme von 62 kg N/ha. Innerhalb des Schrages streut dieser Wert zwischen 30 und 100 kg N/ha (Spannweite zwischen niedrigstem und höchstem Index).

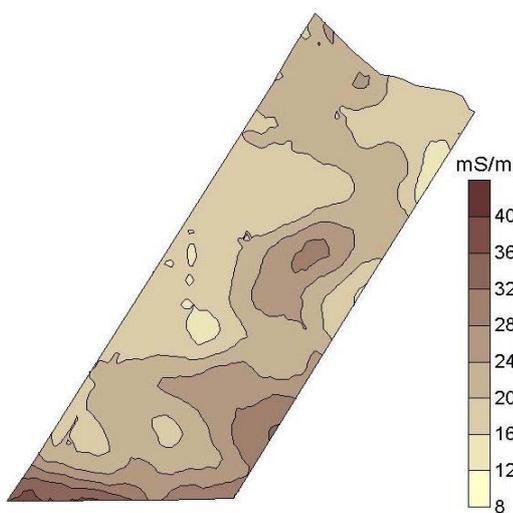


Abbildung 98: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit vom Winterrapschlag 2009

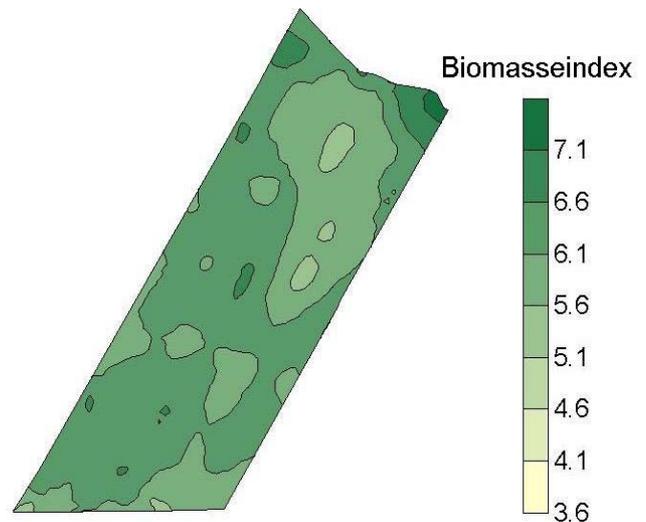


Abbildung 99: Bestandesindex des YNS zum Ende der Vegetation 2008

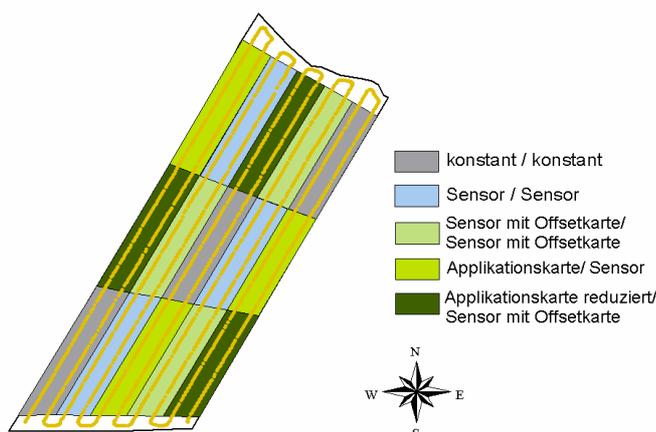


Abbildung 100: Lageplan der Prüfglieder vom Versuchsschlag 2009

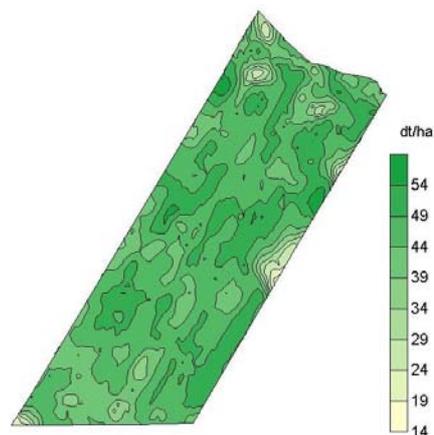


Abbildung 101: Ertragskarte 2009 vom Versuchsschlag in Köllitsch

Die Versuchsanlage ist in Abbildung 100 dargestellt. Gewählt wurden hier fünf Prüfglieder. Damit konnten bei der vorhandenen Schlaggröße ausreichend große Teilflächen mit einer Mindestanzahl von drei Wiederholungen eingerichtet werden. Anders als in Warnstedt wurde auf eine reduzierte konstante Variante verzichtet. Dafür wurde ein zweites Prüfglied „Applikationskarte“ eingeführt. Für die erste N-Gabe wurden hier die ermittelten Beträge pauschal für jedes Raster um 15 kg N/ha reduziert. Die in den einzelnen Prüfgliedern ausgebrachten N-Mengen finden sich in Tabelle 25.

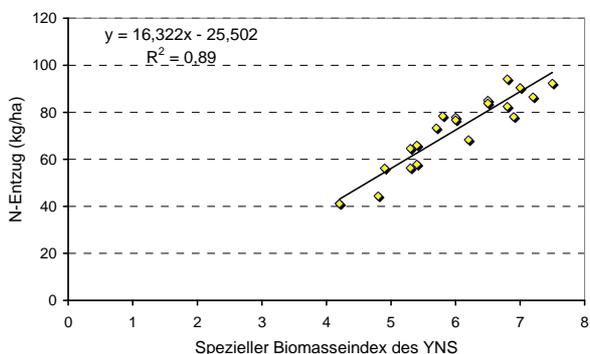


Abbildung 102: Beziehung zwischen dem Bestandesindex des YNS und dem N-Entzug an den Messpunkten

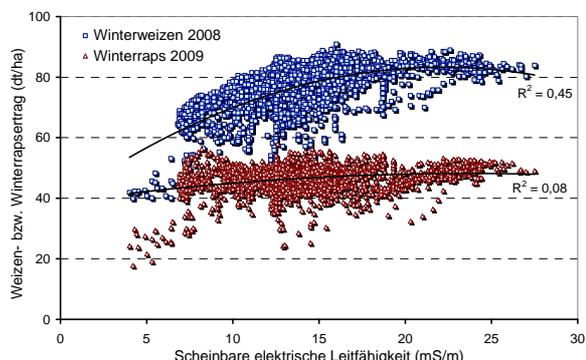


Abbildung 103: Beziehung zwischen der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit und dem Ertrag in unterschiedlichen Jahren

Tabelle 25: Ausgebrachte N-Mengen in den einzelnen Prüfgliedern in Köllitsch

N-Menge (kg/ha)	konstant/ konstant	Sensor/ Sensor	Sensor mit Offsetkarte/ Sensor mit Offsetkarte	Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte	Applikationskarte reduziert/ Sensor mit Offsetkarte
Mittelwert	160	163	154	150	153
Maximum	160	215	197	191	209
Minimum	160	114	105	111	117

Auf Grund des Witterungsverlaufs Ende Mai und im Juni (>90 mm Niederschlag) wurde auf diesem Standort ein hohes Ertragsniveau realisiert (Abb. 101). Es überrascht dann auch nicht, dass der Rapserttrag unabhängig von der Leitfähigkeit bzw. dem Wasserspeichervermögen des Bodens war (Abb. 103).

Letztendlich traten zwischen den fünf Prüfgliedern keine signifikanten Ertragsunterschiede auf (Abb. 104). Auffallend war die im Vergleich zu den übrigen Standorten geringe Standardabweichung. Die Bilanz des eingesetzten Stickstoffs ergab, dass die mit der Rapssaat abgefahrenen N-Mengen nahezu den gedüngten Stickstoffmengen entsprachen. In den einzelnen Prüfgliedern betrug der N-Bilanzüberschuss lediglich 9 bis 14 kg N/ha. Der nach der Ernte ermittelte Nitrat-N in 0 bis 90 cm lag im Mittel des Schlages bei 30 kg/ha. Die Einzelwerte an den 27 Probestellen streuten zwischen 10 und 50 kg/ha.

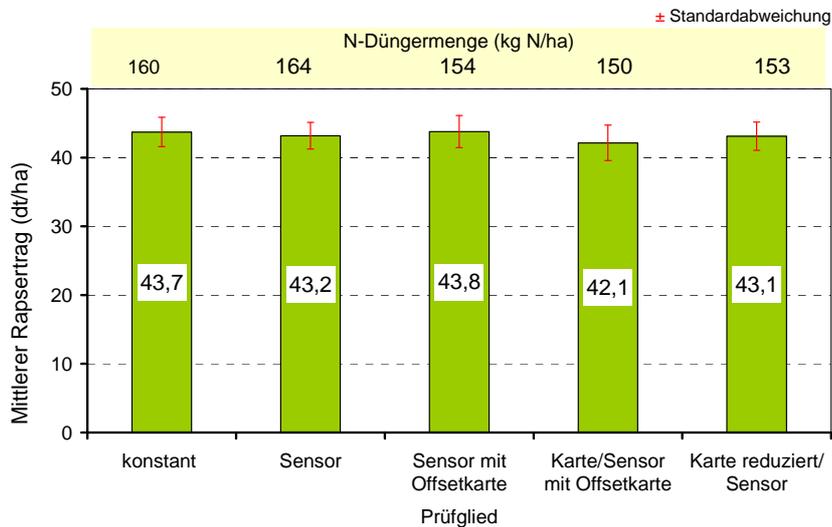


Abbildung 104: Mittlerer Rapserttrag in den einzelnen Prüfgliedern in Köllitsch 2009

3.2.3.3 Versuchsjahr 2009/2010

Nach den hohen Sommerniederschlägen im Juli/August 2009 (166 mm) zeigte sich bereits kurz nach dem Aufgang ein stark heterogener Rapsbestand. Während im Bereich des lehmigen Sandbodens (Abb. 105; niedrige Leitfähigkeit) das Wachstum zügig einsetzte, etablierte sich im Bereich des tonigen Lehms (hohe Leitfähigkeit) ein lückiger Bestand. Die verhaltene Entwicklung hielt hier bis zum Ende der Vegetation an (Abb. 106). Auf dem Versuchsschlag wurden zu diesem Zeitpunkt zwischen 30 und 160 kg N/ha in der oberirdischen Rapsbiomasse ermittelt. Die über den gesamten Winter weitgehend geschlossene Schneedecke verhinderte Auswinterungsschäden.

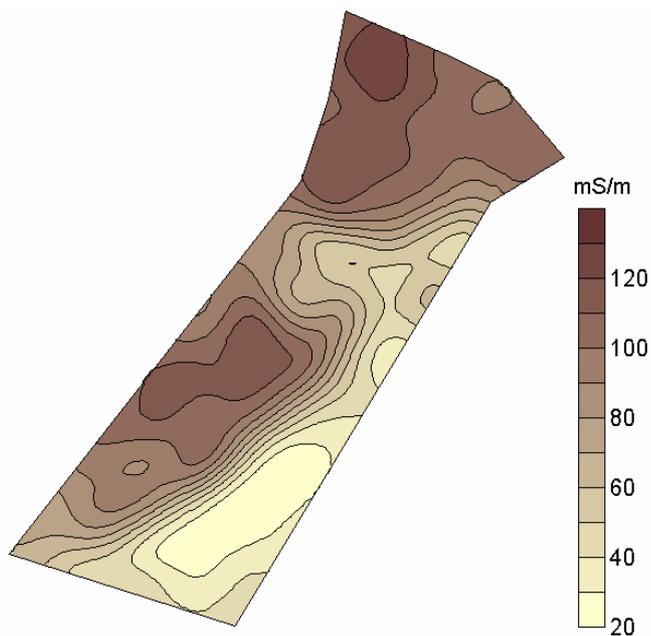


Abbildung 105: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit vom Versuchsschlag in Köllitsch 2010

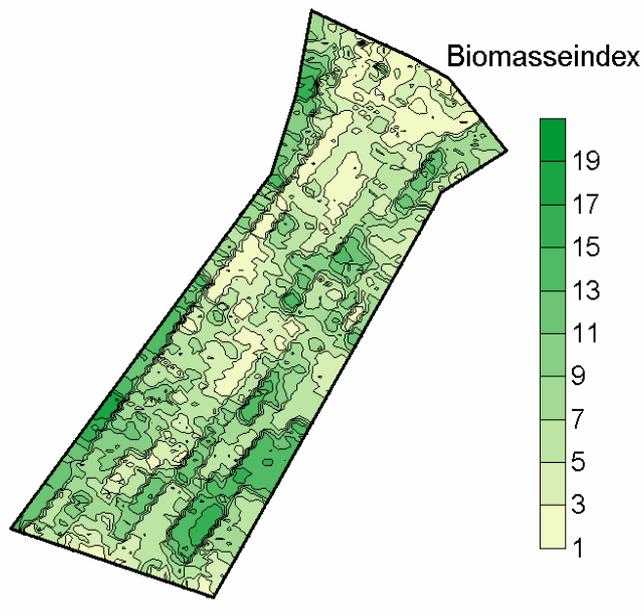


Abbildung 106: Bestandesindex zum Ende der Herbstentwicklung auf dem Versuchsschlag in Köllitsch 2010

Die gewählten Prüfglieder und ihre Lage auf der Versuchsfläche sind in Abbildung 107 dargestellt. Die erste N-Gabe wurde mittels Applikationskarte ausgebracht (Abb. 108). Grundlage für die Düngedarfsermittlung bildeten die vor dem Winter mit dem YNS erstellten Biomasseindices und die daraus abgeleiteten N-Aufnahmen. Das mittlere Ertragsziel lag bei 42 dt/ha (je nach Ertragsbereich zwischen 35 und 50 dt/ha). Für jedes 10 m x 10 m Raster wurde die zu düngende Stickstoffmenge mit Hilfe des Rapsmoduls in BEFU errechnet. Im Prüfglied „konstant“ kam der für den Gesamtschlag errechnete Wert (160 kg N/ha) zum Einsatz. Zur ersten N-Gabe wurden davon 50 % ausgebracht. Im zweiten Prüfglied wurden zur ersten N-Gabe die für die Raster berechneten N-Mengen ebenfalls zur Hälfte berücksichtigt. Im dritten Prüfglied kamen 2/3 und im vierten lediglich 1/3 der berechneten Beträge zur Anwendung. Die im Mittel in jedem Prüfglied ausgebrachte N-Menge findet sich in Tabelle 26.

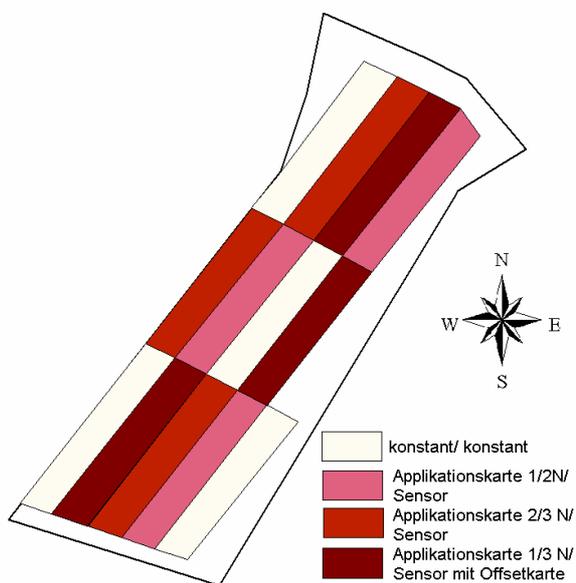


Abbildung 107: Versuchsanlage und Prüfglieder in Köllitsch 2010

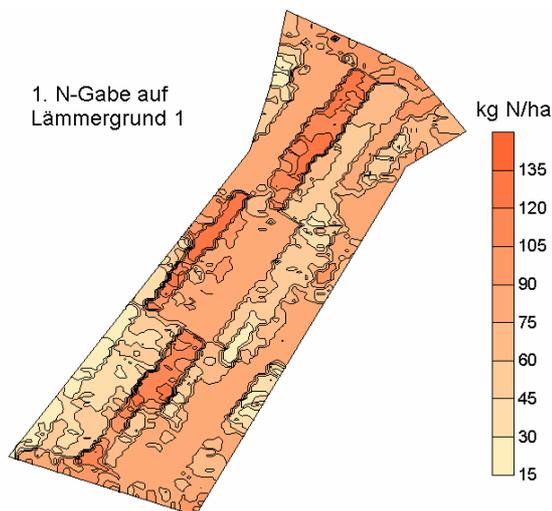


Abbildung 108: Applikationskarte zur ersten N-Gabe in Köllitsch 2010

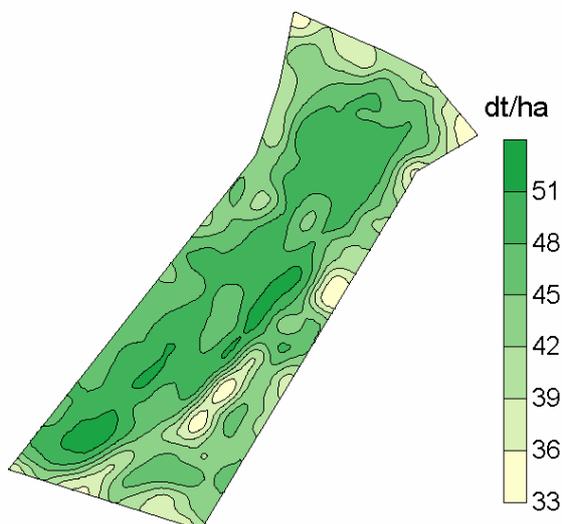


Abbildung 109: Ertragskarte vom Winterrapsschlag in Köllitsch 2010

Wie aus Abbildung 109 ersichtlich, hatte die Vorwinterentwicklung keinen Einfluss auf den späteren Ertrag. Auf den leichteren Flächenanteilen wurden letztendlich wieder die niedrigsten Erträge erzielt. Die Ergebnisse in den Ertragsbereichen der jeweiligen Prüfglieder weisen darauf hin, dass eine verhaltene Andüngung zu Vegetationsbeginn (ein Drittel des berechneten N-Bedarfs) von Vorteil war.

Tabelle 26: Erträge in den Ertragsbereichen und die Bilanz des im Frühjahr ausgebrachten Düngerstickstoffs

Prüfglied	Ertragsbereich	Ertrag	N-Entzug	N-Düngung	N-Saldo
		dt/ha	kg/ha		
konstant/konstant	niedrig	43,2	165	160	-5
	mittel	48,1	184	160	-24
	hoch	46,5	178	160	-18
Applikationskarte/Sensor (1. Gabe 50 % der berechneten N-Menge)	niedrig	43,7	167	142	-25
	mittel	48,3	184	140	-44
	hoch	48,5	185	152	-33
Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte (1. Gabe 2/3 der berechneten N-Menge)	niedrig	42,0	160	139	-21
	mittel	46,4	177	171	-6
	hoch	47,5	181	196	15
Applikationskarte/ Sensor mit Offsetkarte (1. Gabe 1/3 der berechneten N-Menge)	niedrig	45,7	174	123	-51
	mittel	49,3	188	131	-57
	hoch	50,0	191	150	-41

Eine Gegenüberstellung der im Frühjahr gedüngten und mit dem Rapssamen abgefahrenen N-Mengen ergibt, dass mehr Stickstoff abgefahren als mit der Düngung ausgebracht wurde (Tab. 26). Die Berücksichtigung der N-Beträge in der Rapsbiomasse führte dazu, dass sich die berechnete Düngermenge im Mittel des Schlages um 52 kg N/ha reduzierte. Im Fall des konstanten Prüfglieds kamen deshalb nicht 210, sondern lediglich 160 kg N/ha zum Einsatz. Bemerkenswert ist, dass mit einem insgesamt negativen N-Düngersaldo ein ansprechendes Ertragsniveau erzielt werden konnte. Bei den ausreichend hohen Niederschlägen im Mai und Juni (227 mm) trug vermutlich die N-Mineralisation im starken Maße zur N-Ernährung bei. Weil durch die längeren Trockenperioden auf diesen Böden die N-Mineralisation nicht kontinuierlich abläuft, kommt es in Zeiten mit reichlichem Wasserangebot zu entsprechend höherer Stickstoffnachlieferung. Neben dem ausreichenden Wasserangebot steht dann für die Ertragsbildung verstärkt bodenbürtiger Stickstoff zur Verfügung. Dies sollte bei der Düngebedarfsermittlung auf trockenen Standorten stärker beachtet werden.

3.2.4 Winterrapsversuche in Langenchursdorf

Die Agrargenossenschaft Langenchursdorf wurde in die Untersuchungen einbezogen, um einen Vergleich mit feuchteren Standorten zu haben. Während auf den drei Trockenstandorten zumeist mit weniger als 500 mm Jahresniederschlag gerechnet wird, sind es hier im langjährigen Mittel etwa 750 mm. Die mittlere Jahrestemperatur liegt in dem etwa 300 m ü NN gelegenen Standort zudem bei 7,8° C. Das sind etwa 1,5° C unter der Jahresmitteltemperatur der übrigen Versuchsstandorte.

3.2.4.1 Versuchsjahr 2008/2009

Bei dem Versuchsschlag handelte es sich um einen Lehmboden in verschiedenen Zustandsstufen. Die Ackerzahl liegt zwischen 43 und 60. Auf Grund der eher geringen Differenzierung wurde der rund 15 ha große Ackerschlag gedrittelt und zusätzlicher Herbststickstoff in drei Stufen (0; 25 und 50 kg/ha) verabreicht (Abb. 110).

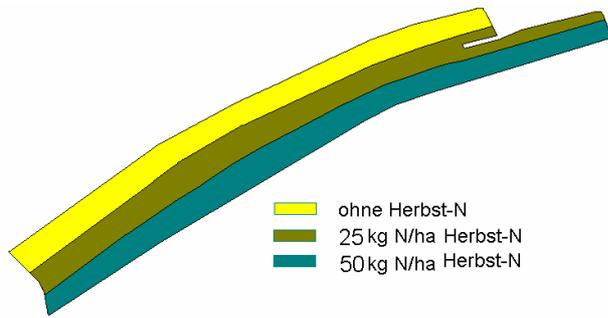


Abbildung 110: Im September 2008 in Langenchursdorf ausgebrachte N-Mengen

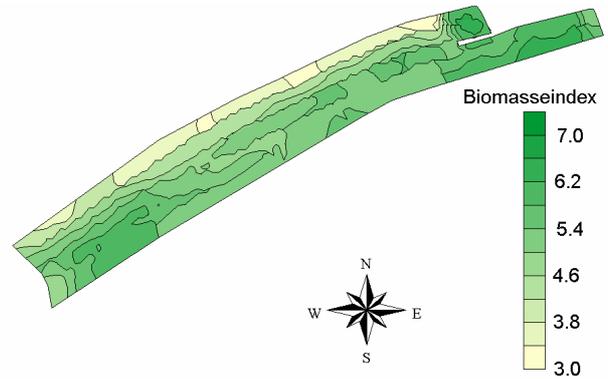


Abbildung 111: Spezieller Bestandesindex des YNS zum Ende der Vegetation 2008

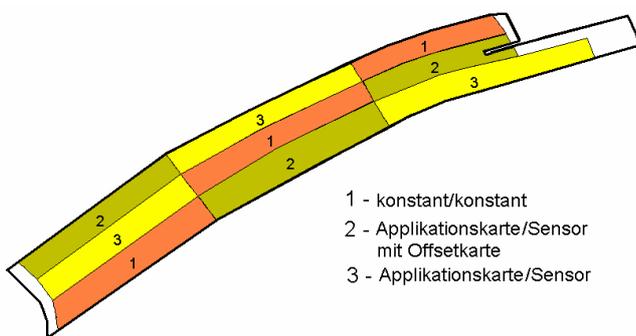


Abbildung 112: Lage der Prüfglieder in Langenchursdorf 2009

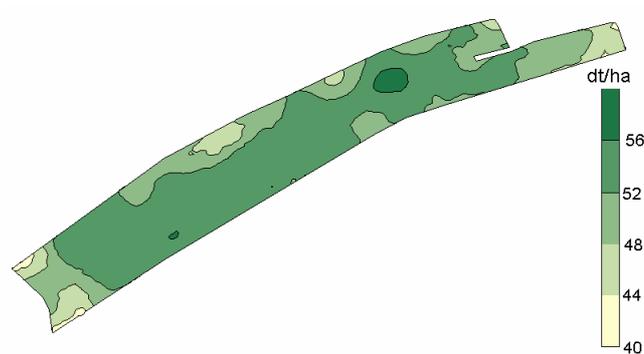


Abbildung 113: Ertragskarte vom Versuchs Schlag in Langenchursdorf 2009

Bis zum Winter konnte sich dadurch ein stark differenzierter Bestand aufbauen (Abb. 111). Der im September verabreichte Stickstoff sorgte für eine sichtbar bessere Herbstentwicklung. Zum Winter war er vollständig aufgenommen. Im N_{\min} des Bodens (Median 40,1 kg/ha in 0 – 90 cm) waren keine Unterschiede vorhanden. Im Pflanzenbestand des Ackerschlagens wurden Anfang Dezember zwischen 45 und 150 kg N/ha ermittelt. Diese Unterschiede stammen nicht allein aus dem zusätzlichen Herbststickstoff.

Die Versuchsanlage und die drei gewählten Prüfglieder sind in Abbildung 112 dargestellt. Die erste N-Gabe wurde mittels Applikationskarte ausgebracht. Darin wurde die unterschiedliche Vorwinterentwicklung entsprechend berücksichtigt. Nach Vegetationsbeginn wurde die Pflanzenentwicklung in Langenchursdorf durch eine längere Trockenperiode beeinflusst. Der zur ersten Gabe verabreichte Stickstoff kam erst zu Beginn des Streckungswachstums zur Wirkung. Mit rund 200 mm Niederschlag im Mai und Juni war die Wasserversorgung mehr als reichlich.

Im Mittel des Ackerschlagens wurden 52,1 dt/ha Rapssaaten geerntet. Die Ertragskarte weist nur auf kleinen Teilflächen geringfügige Unterschiede auf (Abb. 113). Die im Frühjahr ausgebrachten N-Mengen weisen keine bemerkenswerten Unterschiede auf. Eine wesentliche Ursache dafür war die lange Trockenperiode bis zur zweiten N-Gabe und die dadurch begrenzte Reaktion des Sensors auf den bereits zu Beginn der Vegetation ausgebrachten Stickstoff. Eine kräftige Biomasseentwicklung setzte erst nach der zweiten N-Gabe Mitte April ein.

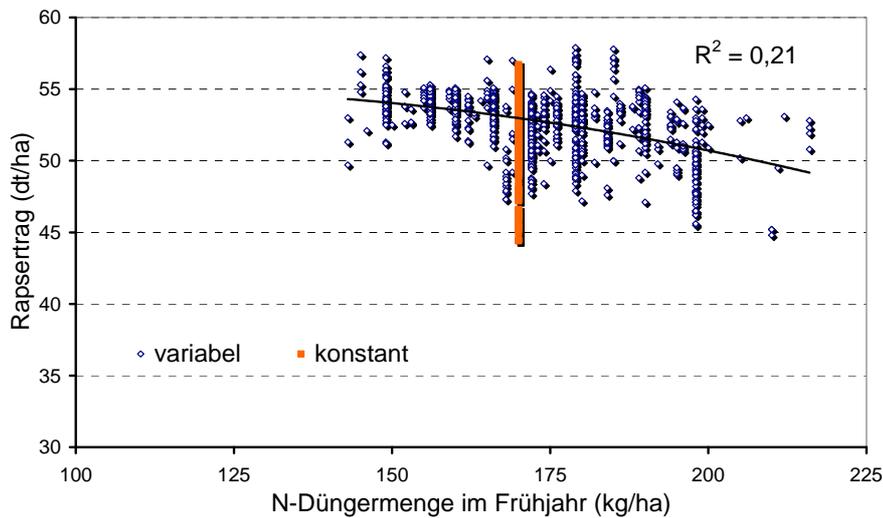


Abbildung 114: N-Düngermenge im Frühjahr und der Rapserttrag in dem variablen und dem konstanten Prüfglied

Tabelle 27: Erträge und N-Bilanz der eingesetzten Düngermenge in Langenchursdorf im Versuchsjahr 2009

Prüfglied	Herbst-N	N-Düngung insgesamt	Ertrag	N-Entzug mit der Saat	N-Saldo
	kg N/ha		dt/ha	kg/ha	
konstant/konstant	50	220	52,3	175	45
	25	195	53,6	179	16
	0	170	52,1	174	-4
Applikationskarte/Sensor mit Offsetkarte	50	223	53,5	179	44
	25	198	53,9	180	18
	0	183	51,9	173	-10
Applikationskarte/Sensor	50	221	52,3	175	46
	25	199	52,6	176	23
	0	192	49,6	166	26

Festzustellen ist, dass die mit dem zusätzlichen Herbst-N erzielte kräftigere Vorwinterentwicklung zu keinem signifikanten Mehrertrag geführt hat. Auch die teilschlagbezogene N-Ausbringung brachte im Vergleich zur einheitlichen Stickstoffausbringung keinen Ertragsvorteil (Tab. 27). Es deutet sich an, dass bei dem insgesamt sehr hohen Ertragsniveau der optimale N-Aufwand noch unter 180 kg N/ha lag (Abb. 114). Vermutlich war der Anteil der N-Mineralisation an der N-Ernährung des Rapsbestandes auf dem ständig durchfeuchteten Boden im Mai und Juni beachtlich. Bemerkenswert ist auch, dass zwar die N-Bilanz des gedüngten Stickstoffs insgesamt günstig ausfiel (Tab. 27), nach der Ernte im Mittel des Schlages allerdings bereits 81 kg N_{min}/ha in 0 bis 90 cm Bodentiefe angetroffen wurden.

3.2.4.2 Versuchsjahr 2009/2010

Bei dem rund 10 ha großen Schlag handelte es sich um einen Lehm Boden aus Löss mit einer Ackerzahl im Bereich der Versuchspartellen von 50 bis 59 (Abb. 115). Um eine entsprechende Differenzierung in der Vorwinterentwicklung zu erhalten, wurde auf Teilflächen im Herbst zusätzlich eine N-Gabe von 40 kg/ha ausgebracht (Abb. 116). Dieser zusätzliche Stickstoff führte zu einer kräftigeren Herbstentwicklung und findet sich in der N-Entzugskarte wieder (Abb. 117).

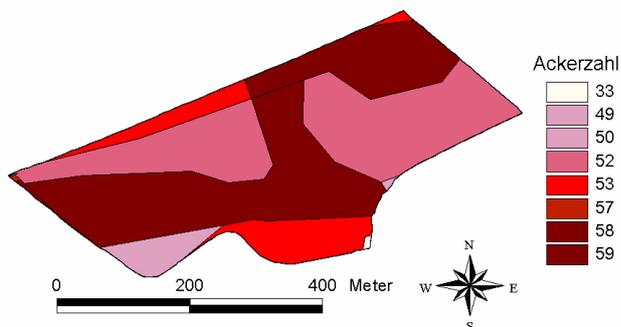


Abbildung 115: Ackerzahl auf dem Versuchsschlag mit Winterraps in Langenchursdorf 2010

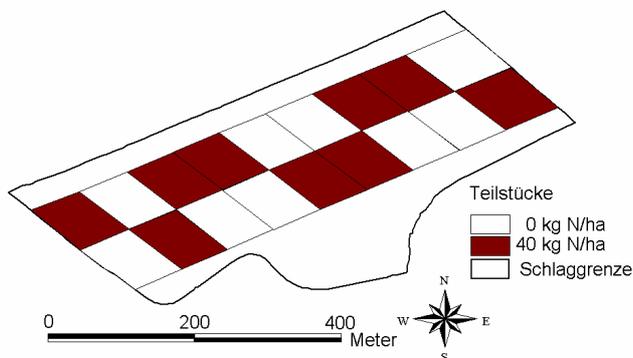


Abbildung 116: Verteilung der Herbststickstoffgabe auf den Teilflächen

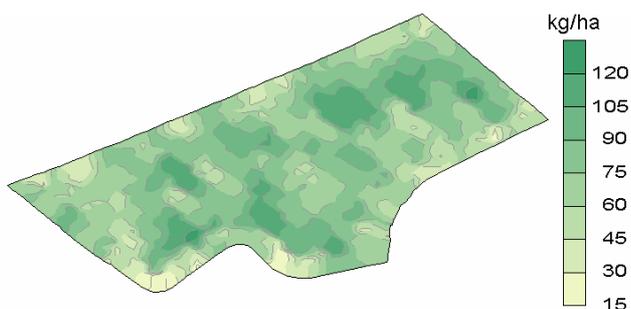


Abbildung 117: Zum Ende der Vegetation in der oberirdischen Biomasse eingebundene N-Menge

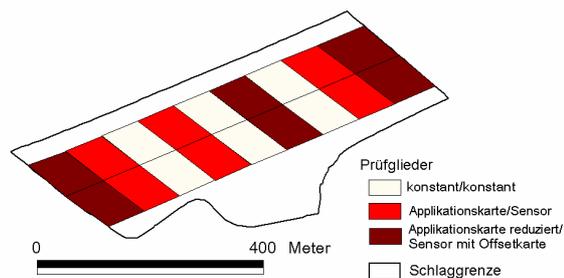


Abbildung 118: Lage der Prüfglieder auf dem Rapsschlag in Langenchursdorf 2010

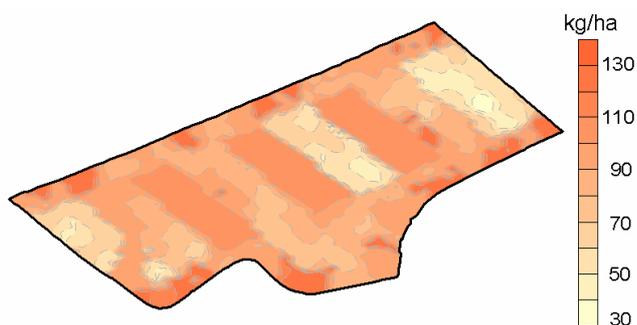


Abbildung 119: Applikationskarte für die 1. N-Gabe in Langenchursdorf 2010

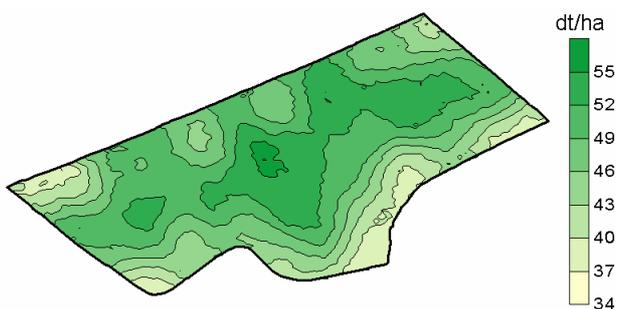


Abbildung 120: Ertragskarte vom Versuchsschlag in Langenchursdorf 2010

Die gewählten Prüfglieder und ihre Lage auf der Versuchsfläche sind in Abbildung 118 dargestellt. Die erste N-Gabe wurde insgesamt mittels Applikationskarte ausgebracht (Abb. 119). Grundlage für die ausgebrachte N-Menge bildeten die vor dem Winter mit dem YNS erstellten Biomasseindices und die daraus abgeleiteten N-Entzüge (vgl. Abb. 117). Für jedes 10 m x 10 m Raster wurde dann die zu düngende Stickstoffmenge mit Hilfe des Rapsmoduls in BEFU errechnet. Im Prüfglied „konstant“ kam der für den Gesamtschlag errechnete Wert (180 kg N/ha) zum Einsatz. Zur ersten N-Gabe wurden davon 50 % ausgebracht. Im zweiten Prüfglied wurden zur ersten N-Gabe die für die Raster berechneten N-Mengen ebenfalls zur Hälfte berücksichtigt. In der reduzierten Variante war es dagegen nur ein Drittel. Die insgesamt in jedem Prüfglied ausgebrachte N-Menge findet sich in Tabelle 28.

Wie bereits im Jahr zuvor sind die Ertragsunterschiede im Bereich der Versuchsfläche nur gering (Abb. 120). Auffallend ist, dass der zusätzliche Herbststickstoff wiederum keinen Einfluss auf den Ertrag hatte (Tab. 28). Vermutlich erhöhen sich dadurch lediglich die N-Gehalte in der Rapssaat und im Stroh. Engere C/N-Verhältnisse in dem auf dem Feld verbleibenden Ernteresten bewirken dann im Verlauf des Herbstes eine zügigere Netto-N-Freisetzung. Damit verbunden ist ein erhöhtes Risiko im Hinblick auf den Nitrataustrag. Bemerkenswert bleibt insgesamt, dass auf diesem Standort wiederum ein hohes Ertragsniveau mit moderatem N-Einsatz (150 ... 160 kg/ha) realisiert wurde.

Tabelle 28: Erträge und N-Bilanz der eingesetzten Düngermenge in Langenchursdorf im Versuchsjahr 2010

Prüfglied	Herbst-N	N-Düngung insgesamt	Ertrag	N-Entzug mit der Saat	N-Saldo
	kg/ha		dt/ha	kg/ha	
konstant/konstant	0	180	51,5	175	5
	40	220	52,8	180	40
Applikationskarte/Sensor	0	163	51,4	175	-12
	40	195	51,6	175	20
Applikationskarte reduziert/Sensor	0	152	49,6	169	-17
	40	149	49,2	167	-18

3.2.5 Zwischenfazit

Die Ergebnisse weisen nachdrücklich auf die besondere Bedeutung einer den jeweiligen Standortbedingungen angepassten Düngebedarfsempfehlung hin. Unter diesem Gesichtspunkt ist es im ersten Versuchsjahr nicht immer gelungen, die N-Aufwendungen an den Bedarf der Rapsbestände anzupassen. Die Vorgehensweise bei der Bedarfsermittlung (Zielertrag und Bilanzierung des N-Bedarfs) führte insgesamt zu vergleichsweise hohen Stickstoffdüngergaben und Stickstoffüberschüssen. Wesentlich besser gelang die Düngebedarfsermittlung in den folgenden Jahren unter Nutzung standortangepasster Sollwerte und der Einbeziehung der im Rapsbestand vor dem Winter eingebundenen N-Menge.

In allen Versuchsjahren begrenzen die Wasserreserven des Bodens die Ertragsbildung und nicht die N-Versorgung. Für die Ertragsbildung bedeutsam war eine ausreichende N-Ernährung während des Streckungswachstums bis zur Blüte. Zeitige und hohe Gaben begünstigen zwar das vegetative Wachstum, führen aber auch zu erhöhtem Wasserverbrauch. Behindert wird dadurch die Ausbildung eines tiefgründigen, leistungsfähigen Wurzelsystems.

Unter trockenen Standortbedingungen traten in Abhängigkeit von der Bodenheterogenität relativ stabile Ertragsbereiche auf. Beim Einsatz des N-Sensors werden die Unterschiede in der Bestandesentwicklung und der N-Ernährung erkannt und über entsprechende Regelfunktionen erfolgt die N-Bemessung entsprechend der Vorgaben des Nutzers. Dabei erhalten schwach entwickelte Flächenanteile höhere N-Mengen als Bereiche mit kräftig entwickelten Pflanzenbeständen. Besonders gefördert werden so auch die Niedrigertragsbereiche. Weil hier allerdings auch der Bodenwasservorrat begrenzt ist, können die

ausgebrachten N-Mengen nicht in Ertrag umgesetzt werden. Der Einsatz von Offsetkarten ermöglicht eine bessere Anpassung an das Ertragsniveau der jeweiligen Teilflächen. Damit lassen sich letztendlich die N-Bilanzen wesentlich ausgeglichener gestalten und es verbleiben keine N-Überschüsse auf den ertragsschwachen und auswaschungsgefährdeten Schlagteilen.

3.3 Untersuchungen zur teilschlagspezifischen N-Düngung von Qualitätsweizen auf trockenen Standorten

Die Forderung nach hohen Rohproteingehalten beim Qualitätsweizenanbau führt dazu, dass hohe und späte Stickstoffgaben verabreicht werden. Ihre Wirksamkeit hängt entscheidend von den Niederschlagsverhältnissen zwischen dem Ährenschieben bis zum Ende der Kornausbildung ab. Häufig auftretende Vorsommertrockenheit schränkt die Pflanzenverfügbarkeit ein und führt dann zu beachtlichen Stickstoffüberhängen. Deshalb steht der Anspruch, den Einsatz stärker ertragsorientiert in seiner Höhe und Verteilung vorzunehmen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich dabei auf heterogenen Standorten mit ihrer unterschiedlichen N-Dynamik und Wasserbereitstellung.

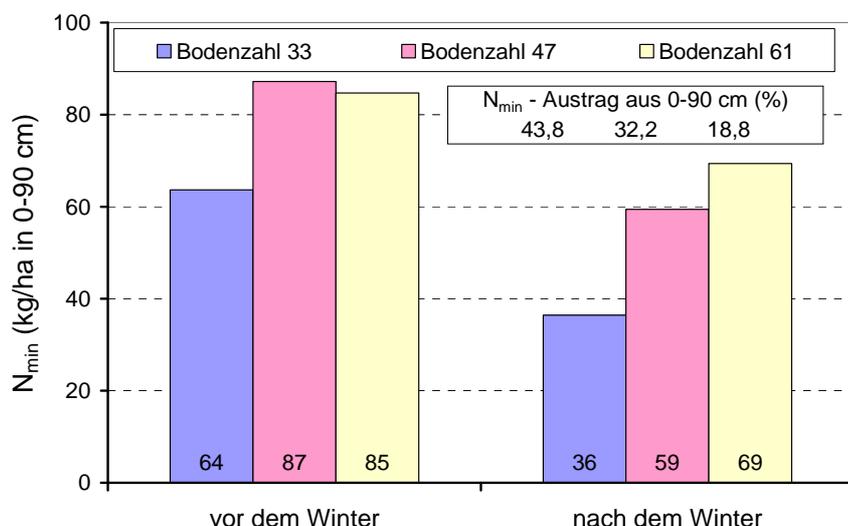


Abbildung 121: Ergebnisse der N_{min}-Untersuchung vor und nach dem Winter 2009 auf dem Versuchsschlag in Warnstedt

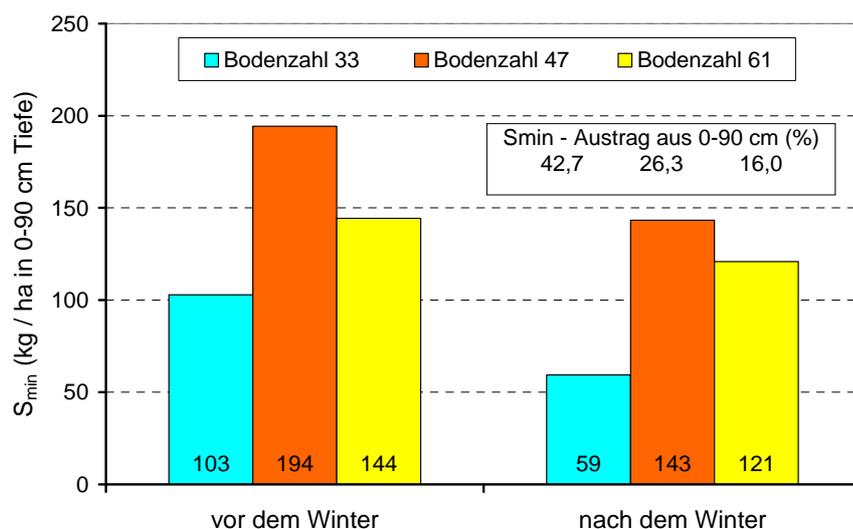


Abbildung 122: Ergebnisse der S_{min}-Untersuchung vor und nach dem Winter 2009 auf dem Versuchsschlag in Warnstedt

Zu Beginn der Untersuchungen war vorgesehen, bereits ab der ersten Stickstoffgabe neben der konstanten einheitlichen Ausbringung eine nach Bodenkarte differenzierte Ausbringung durchzuführen, um damit bereits auf die Bestandesetablierung Einfluss zu nehmen. Die N_{\min} -Untersuchungen zu Beginn der Vegetation zeigten allerdings, dass auf den ausgewählten Standorten zu diesem Zeitpunkt regelmäßig bodenbedingte Unterschiede auftraten. Beispielhaft ist dies für den Winterweizenschlag aus dem Jahr 2009 in Warnstedt dargestellt (Abb. 121). Als Vorfrucht wurde hier Winterraps angebaut. Der relativ hohe N_{\min} -Gehalt erklärt sich vor allem aus der herbstlichen N-Mineralisation der Erntereste. Dass es sich um Verlagerungsverluste handelt, wird durch die Ergebnisse der S_{\min} -Analysen aus den gleichen Proben bestätigt (Abb. 122). Im Folgenden sollen markante Ergebnisse der Versuchsreihe mit Winterweizen vorgestellt werden.

3.3.1 Die Versuche mit Winterweizen in Warnstedt

Wie beim Winterraps wiesen die Versuchsschläge mit Winterweizen ein breites Spektrum an Bodenarten auf (Abb. 123 bis 125). Die Bodenzahlen umfassten jeweils eine beträchtliche Spanne. Vorfrüchte waren im ersten Versuchsjahr Erbsen und in den folgenden Jahren Winterraps. Die gute Vorfruchtwirkung war verbunden mit relativ hohen N_{\min} -Gehalten zu Beginn der Vegetation (Abb. 121 und 126) und einer guten Stickstoffnachlieferung. Die Hauptprüfglieder finden sich in Tabelle 5. Eine Besonderheit im ersten Versuchsjahr in Warnstedt war, dass zur Erstellung der Offsetkarten zum einen die Leitfähigkeitskarte und zum anderen die Ertragspotenzialkarte genutzt wurde. Die Versuchsanlage erfolgte wie beim Raps. Ein Beispiel findet sich in Abbildung 127.

Die Offsetkarten wurden entsprechend dem für den jeweiligen Schlag vorhandenen Datenmaterial erarbeitet. Während im Jahr 2008 zwei unterschiedliche Karten (Leitfähigkeit und Ertragspotenzial) genutzt wurden, kam im folgenden Jahr eine aus Leitfähigkeit (Abb. 128) und dem Ertragspotenzial verschnittenen Karte zum Einsatz. Für den Gesamtschlag ist sie beispielhaft in Abbildung 129 dargestellt. Im dritten Versuchsjahr wurde ausschließlich der aus der langjährigen Ertragskartierung stammende Relativertrag dafür genutzt, da zwischen dem Ertragsverhalten und der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit lediglich eine sehr schwache Beziehung bestand.

Die Offsetwerte selbst wurden an Hand der Ertragsdifferenzierung des Gesamtschlages festgelegt. Je nach Differenzierung wurden drei bzw. fünf Stufen festgelegt. Die Auswirkungen der Offsetkarten werden in Abbildung 130 und 131 an zwei unterschiedlichen Beispielen sichtbar. Durch die Offsetkarte wird entsprechend der Belegung des jeweiligen Rasterpunktes auf dem Ackerschlag die gewählte Sensorfunktion um den Offsetwert parallel verschoben. Dabei werden zur zweiten N-Gabe die schwachen Bestände stärker gefördert. Zur dritten Gabe wurde bereits die Qualitätsweizenfunktion genutzt, bei der die gut entwickelten Flächenanteile stärker mit Stickstoff bedacht werden.

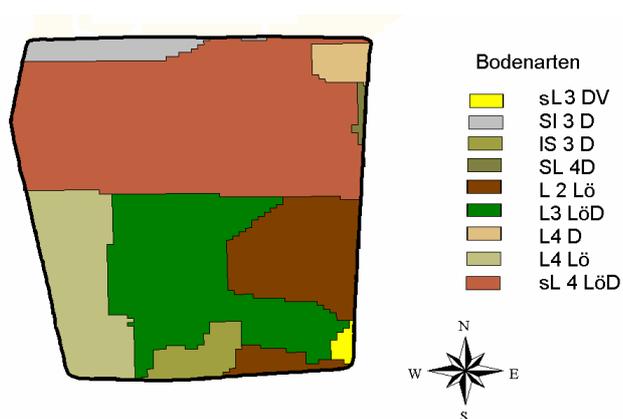


Abbildung 123: Karte der Reichsbodenschätzung vom Weizenschlag 2008

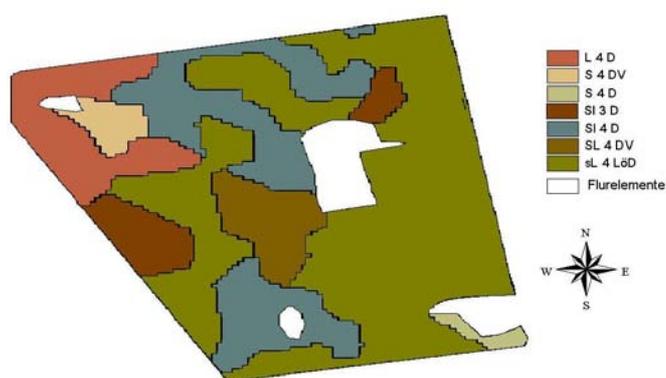


Abbildung 124: Karte der Reichsbodenschätzung vom Weizenschlag 2009

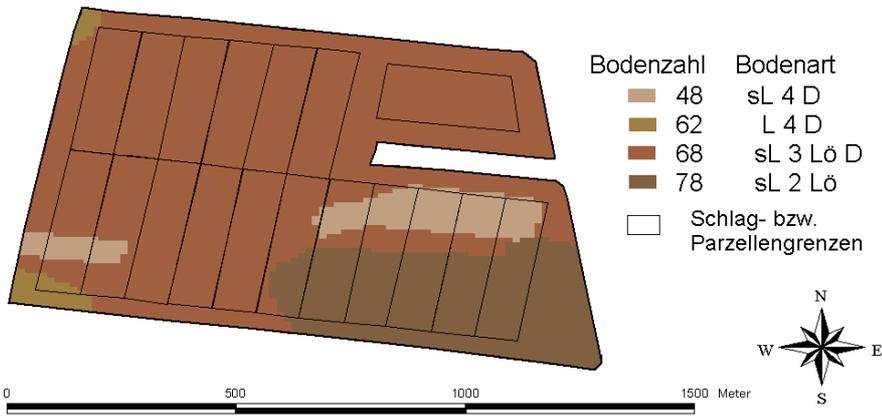


Abbildung 125: Karte der Reichsbodenschätzung vom Weizenschlag 2010

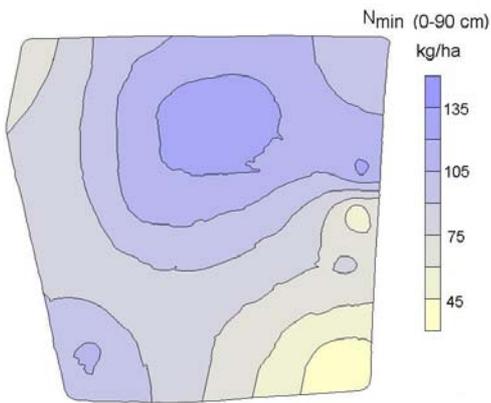


Abbildung 126: N_{min} -Gehalte auf dem Versuchsschlag mit Weizen 2008

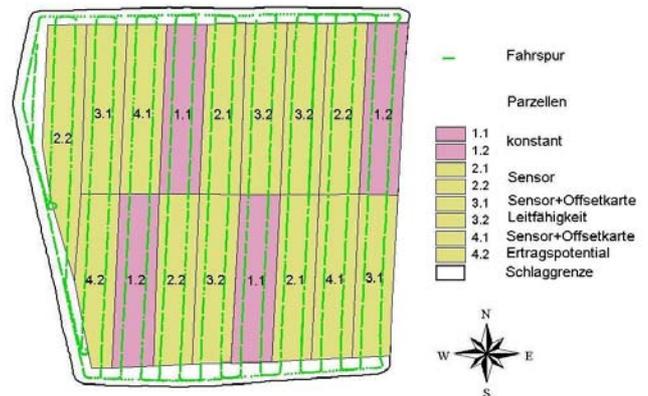


Abbildung 127: Lageplan der Prüfglieder auf dem Winterweizenschlag 2008

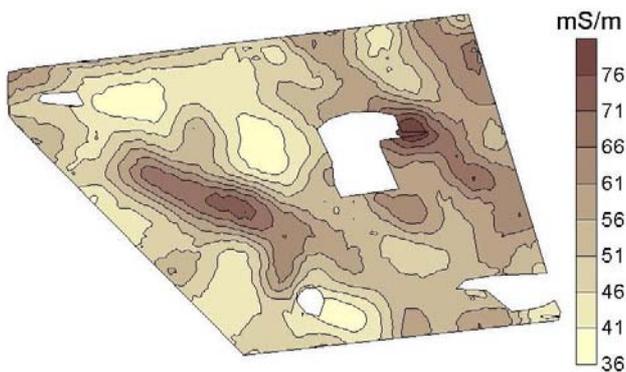


Abbildung 128: Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit von der Versuchsfläche 2009

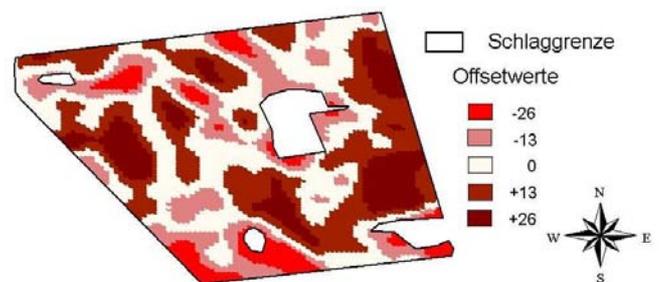


Abbildung 129: Offsetkarte für den Versuchsschlag 2009 und die darin festgelegten Abstufungen in kg/ha

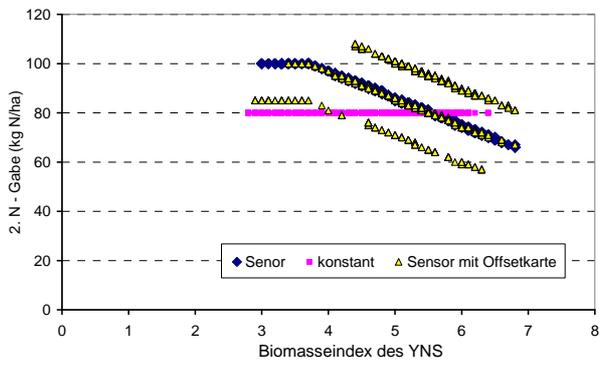


Abbildung 130: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern zur 2. N-Gabe in Abhängigkeit vom Bestandesindex

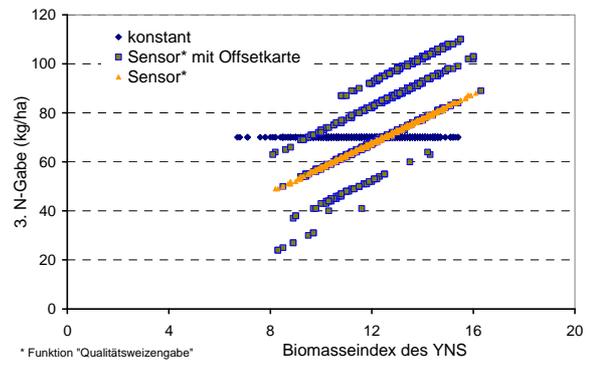


Abbildung 131: Ausgebrachte N-Menge in den Prüfgliedern zur 3. N-Gabe in Abhängigkeit vom Bestandesindex

Die Weizenerträge weisen in allen Jahren beachtliche Differenzierungen auf (Abb. 132; 134 und 136). Dabei bestätigten sich die stabilen Ertragsbereiche. Bis auf den Versuchsschlag im Jahr 2009 besteht jeweils eine enge Beziehung zwischen dem mittleren Relativertrag und den speziellen Jahresertrag (Abb. 133; 135 und 137).

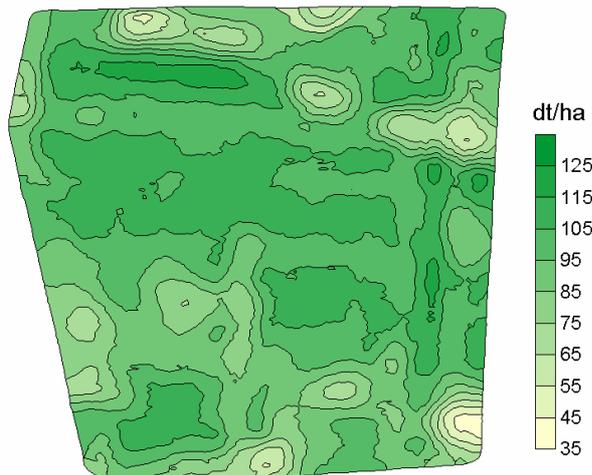


Abbildung 132: Ertragskarte vom Versuchsschlag 2008 in Warnstedt

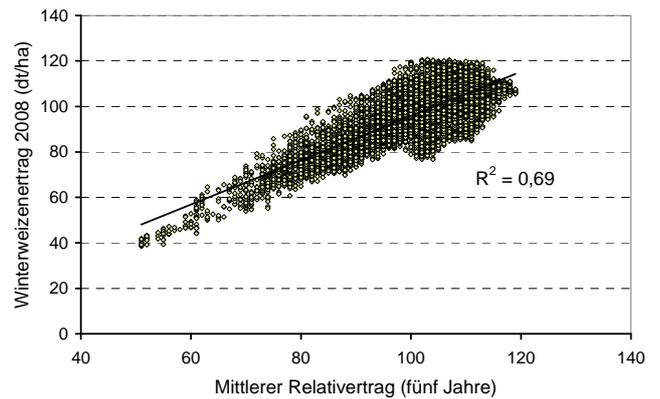


Abbildung 133: Beziehung zwischen dem Relativertrag und dem 2008 erzielten Weizenertrag

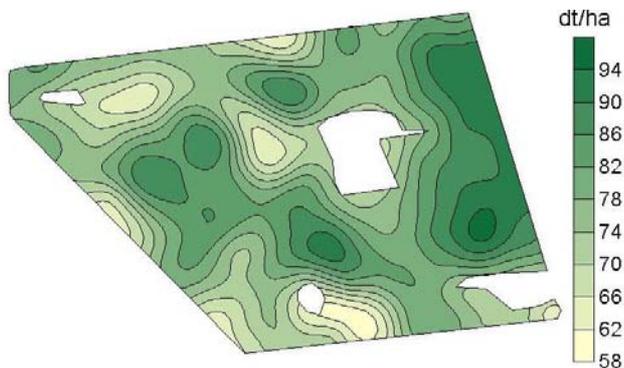


Abbildung 134: Ertragskarte für den Versuchsschlag 2009 in Warnstedt

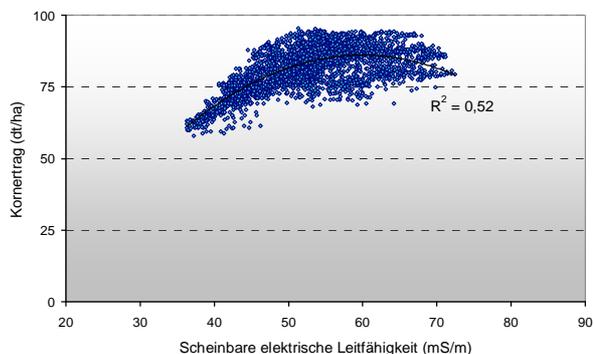


Abbildung 135: Beziehung zwischen der Leitfähigkeit und dem Kornertrag 2009

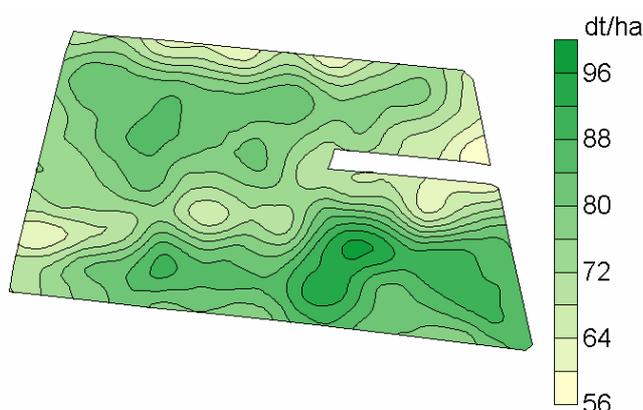


Abbildung 136: Ertragskarte für den Versuchsschlag 2010 in Warnstedt

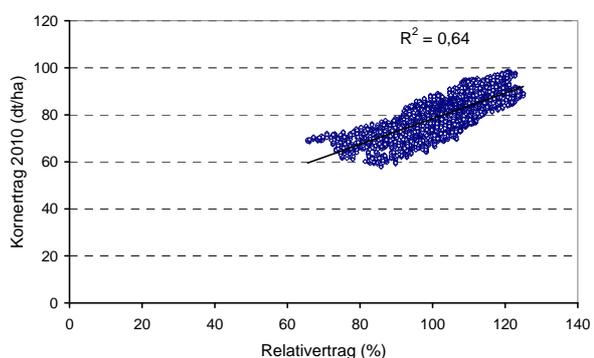


Abbildung 137: Beziehung zwischen dem Relativertrag und dem 2010 erzielten Weizenertrag

Im Hinblick auf das Ertragsverhalten ist festzustellen, dass der Einfluss der verschiedenen Prüfglieder gering blieb. So gab es 2008 zwischen den Prüfgliedern „konstanten“ und „Sensor“ keine Ertragsunterschiede (Tab. 29) bei annähernd gleichen mittleren N-Mengen. Selbst die Unterschiede im Rohproteingehalt bleiben klein (Abb. 138). Anders sieht das im Prüfglied Sensor mit Offsetkarte (Ertragspotenzial) aus. Weil auf diesem Versuchsschlag die scheinbare elektrische Leitfähigkeit nur schwach mit dem Ertragsverhalten korrelierte, erbrachten die auf ihrer Grundlage erstellten Karten keine Verbesserung.

Tabelle 29: N-Düngermengen und Weizenertrag in den Prüfgliedern 2009

Merkmal	konstant	Sensor	Sensor mit Offsetkarte (Leitfähigkeit)	Sensor mit Offsetkarte (Ertragspotenzial)
N-Düngermenge (kg/ha)	174	177 (135 – 197)	172 (132 – 210)	185 (148 – 227)
Kornertrag (dt/ha)	98	98	95	101

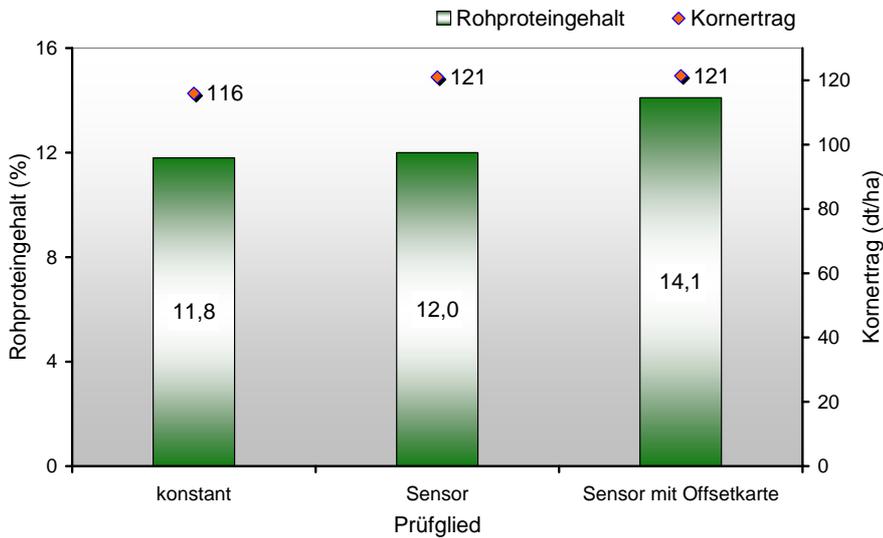


Abbildung 138: Ertrag und Rohproteingehalt im Höchstertragsbereich im Versuch mit Winterweizen 2008 in Warnstedt

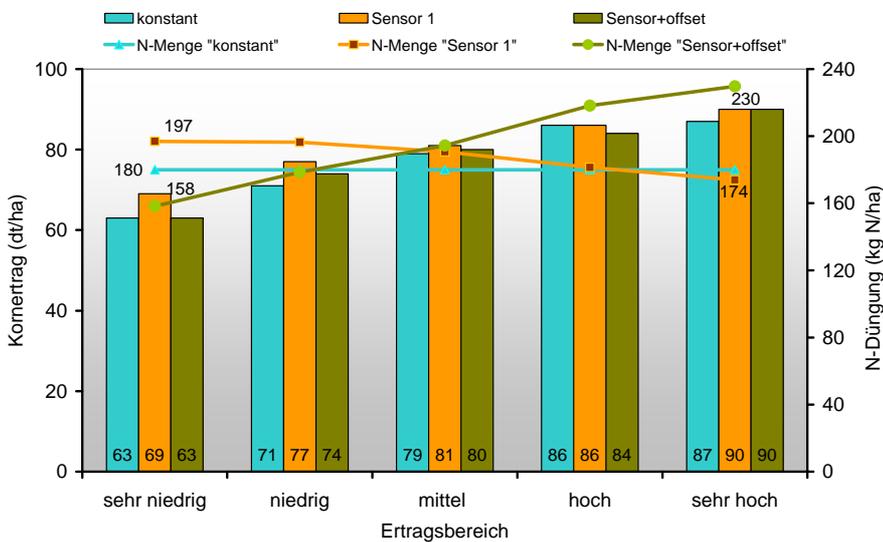


Abbildung 139: Ertrag des Winterweizens in den jeweiligen Prüfgliedern und Ertragsbereichen in Warnstedt 2009

Auch 2009 lassen sich die Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern nicht statistisch absichern. In der Tendenz schneiden die Sensorvarianten jedoch etwas besser ab (Abb. 139). Vor der Ernte wurde wiederum eine georeferenzierte Handbeprobung durchgeführt, um innerhalb der Prüfglieder und Ertragsbereiche Aussagen zum erzielten Rohproteingehalt treffen zu können (Abb. 140). Bei der Darstellung sind der „niedrige“ und „sehr niedrige“ sowie der „hohe“ und „sehr hohe“ Bereich zusammengefasst. Bei einem mittleren Rohproteingehalt von 13,9 % für die Gesamtfläche sind die Unterschiede zwischen den Ertragsbereichen jedoch beachtlich. Dabei fällt auf, dass wie im Jahr zuvor im Höchstertragsbereich sowohl bei konstant als auch beim Sensor die niedrigsten Rohproteingehalte erzielt wurden. Die auf das Ertragsvermögen der Teilflächen abgestimmte N-Düngung (Sensor + Offsetkarte) erbrachte wiederum die höchsten Werte. Bemerkenswert war im Versuch 2009 auch, dass die Ausnutzung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs auf den Teilflächen mit hoher Bodengüte deutlich besser war als auf den sandigen Flächen (Abb. 141).

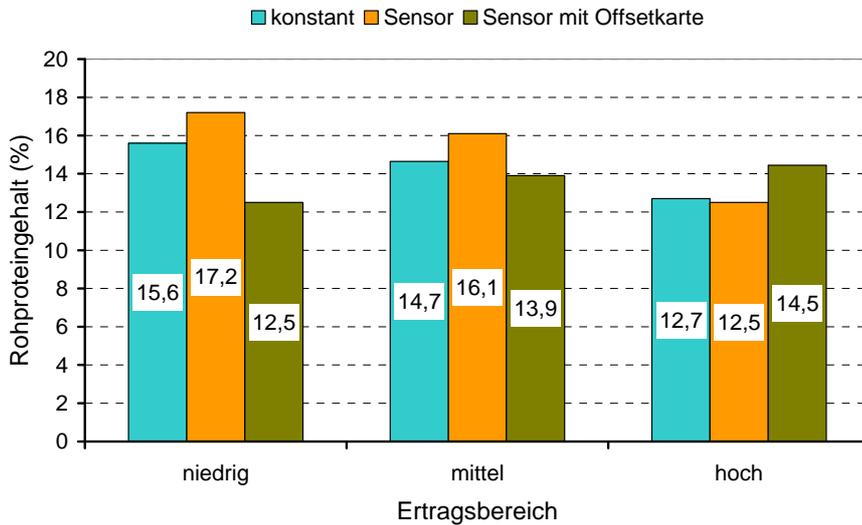


Abbildung 140: Rohproteingehalt in Abhängigkeit von den Prüfgliedern in Warnstedt 2009

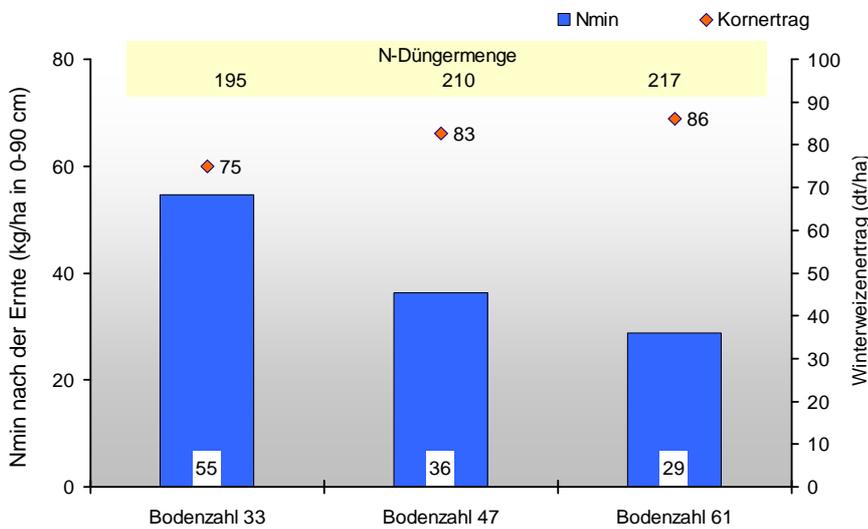


Abbildung 141: N_{min} nach der Ernte des Winterweizens 2009 in Abhängigkeit von der Bodenzahl

3.3.2 Die Versuche mit Winterweizen in Staritz

Die Versuche mit Winterweizen wurden auf alluvial entstandenen Böden durchgeführt. In den beiden ersten Jahren stand Winterraps und im dritten Mais als Vorfrucht.

Der erste Versuch 2008 wurde auf dem westlichen Teilstück des 90 ha großen Schlags angelegt. Der Boden war hier besonders heterogen. Nach einheitlicher erster N-Gabe mit 60 kg/ha wurde zur zweiten Düngung der Stickstoff differenziert ausgebracht. Die Lage der drei Prüfglieder (konstant, Sensor und Sensor mit Offsetkarte) geht aus Abbildung 142 hervor. Weil im Bereich der sandigen Flächenanteile bereits Ende Mai erste Trockenschäden auftraten und die N-Versorgung des Bestandes aber noch sehr gut war, wurde auf eine späte dritte N-Gabe verzichtet.

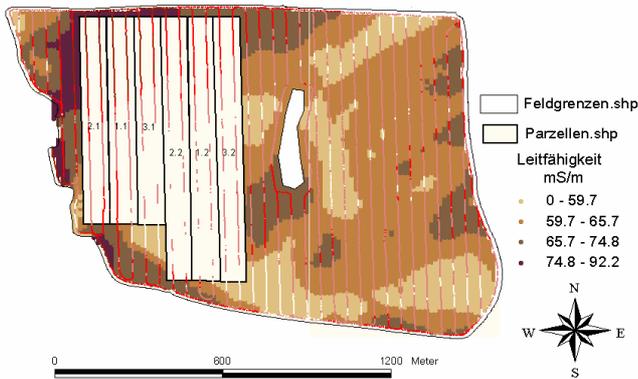


Abbildung 142: Lage der Versuchspartellen mit Winterweizen 2008

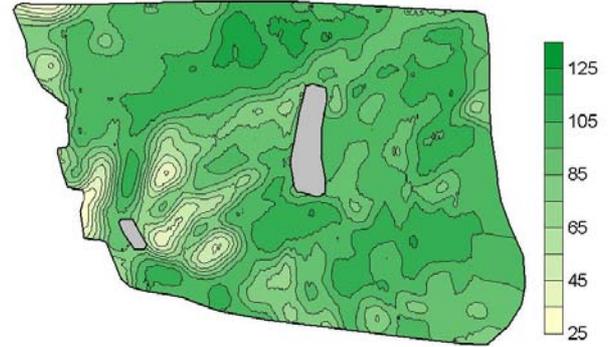


Abbildung 143: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Winterweizen 2008

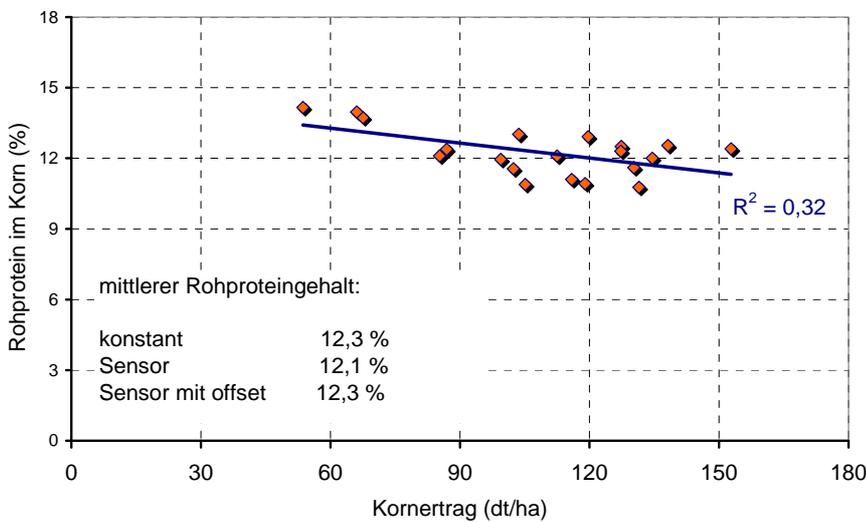


Abbildung 144: Beziehung zwischen dem Ertrag und dem Rohproteingehalt

Mit rund 96 dt/ha für die gesamte Fläche wurde letztendlich ein hohes Ertragsniveau erzielt. Die Unterschiede zwischen den Teilflächen waren besonders deutlich (Abb. 143). Insbesondere im Bereich mit zeitig aufgetretenen Trockenschäden wurden nur etwa 30 dt/ha geerntet. Auf eine nähere Auswertung des Versuchsjahres wird verzichtet. Hingewiesen werden soll jedoch auf die Ergebnisse der georeferenzierten Handbeprobung vor der Mähdruschernte (Abb. 144). Die Rohproteingehalte waren insgesamt sehr niedrig und nehmen leicht mit steigendem Ertrag ab. Dass sich dieser Verdünnungseffekt insbesondere im hohen Ertragsbereich in Grenzen hält, weist auf höhere Stickstoffreserven aus dem Unterboden hin, die insbesondere in trockenen Jahren verstärkt zur Wirkung kommen. Im Bereich niedriger Weizenerträge lagen nach der Ernte die N_{min} -Gehalte zwischen 70 und 120 kg/ha, auf den Teilflächen mit hohen Erträgen waren es 30 bis 50 kg/ha. Der überwiegende Teil befand sich jeweils in der Bodenschicht von 0 bis 30 cm. Nach längerer Trockenperiode handelte es sich weitgehend um nicht aufgenommenen Dünger-N.

Auch die Versuchsfläche im zweiten Jahr wies ausgeprägte Bodenunterschiede und stabile Ertragsbereiche auf (Abb. 145 und 147). Geprüft wurden lediglich die drei Standardprüfglieder, um jeden Ertragsbereich mit einer ausreichenden Anzahl von Wiederholungen abzudecken (Abb. 146)

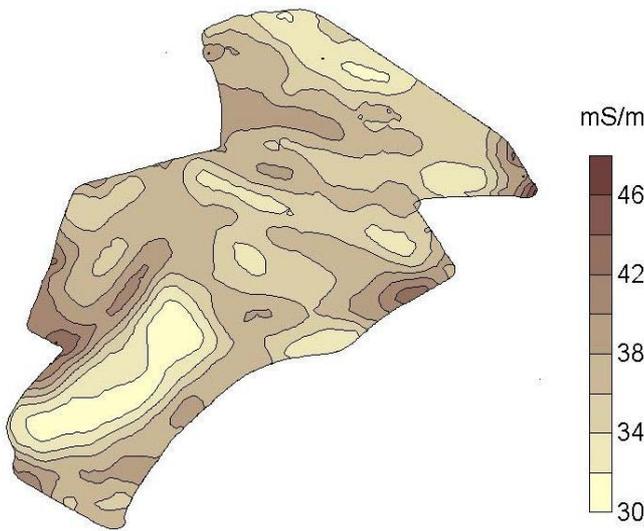


Abbildung 145: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit auf dem Versuchsschlag mit Winterweizen 2009

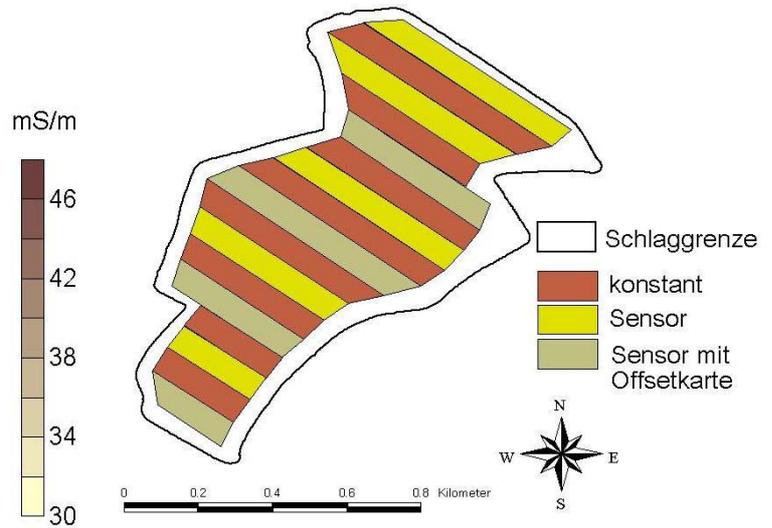


Abbildung 146: Versuchsanlage auf dem Winterweizenschlag 2009

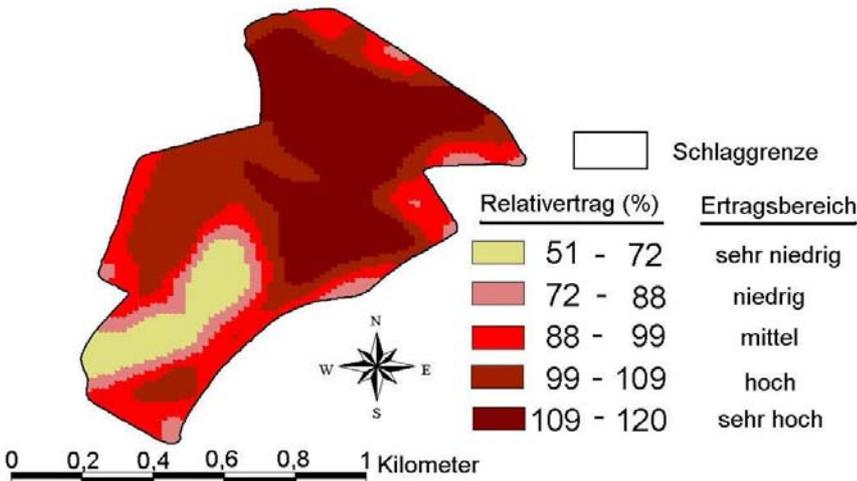


Abbildung 147: Relativertrag (Mittel von sechs Erntejahren) der Versuchsfläche mit Winterweizen 2009 und die daraus abgeleitete Einteilung der Ertragsbereiche

Der Bestandesindex zur zweiten N-Gabe zu Beginn des Schossens weist bereits starke Differenzierungen auf (Abb. 148). Besonders auf den süd-westlichen Teilflächen finden sich bereits Bestandesunterschiede, die bis zur Ernte unabhängig von der Stickstoffdüngung erhalten bleiben (Abb. 149). Die Ertragskarte weist große Übereinstimmung mit dem langjährigen Relativertrag auf. Es bestehen sowohl enge Beziehungen zwischen dem Weizenertrag und der Leitfähigkeit (Abb. 150) und dem langjährigen Relativertrag (Abb. 151).

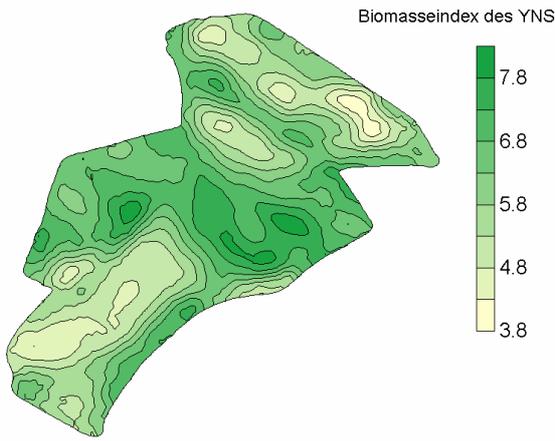


Abbildung 148: Bestandesindex des Winterweizens zum Beginn des Schossens

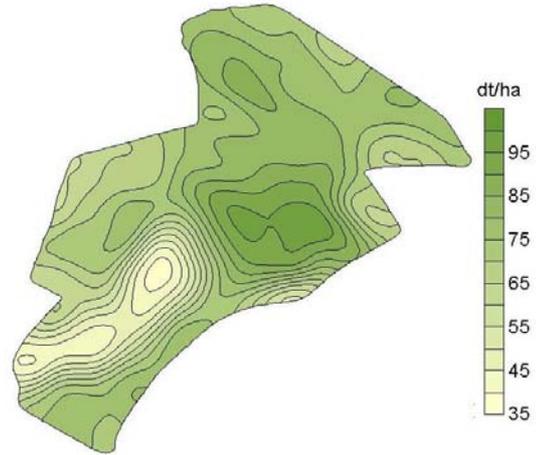


Abbildung 149: Ertragskarte 2009 des Versuchsschlags mit Winterweizen in Staritz

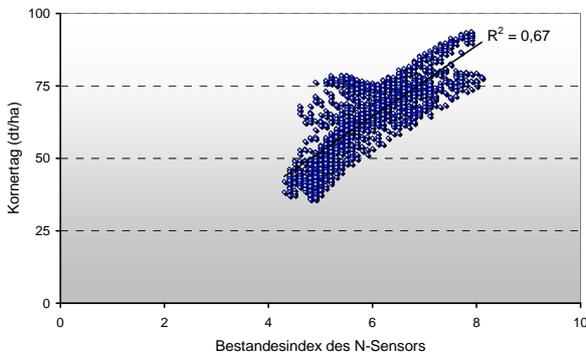


Abbildung 150: Beziehung zwischen Bestandesindex zu Beginn des Schossens und dem Kornertrag des Winterweizens

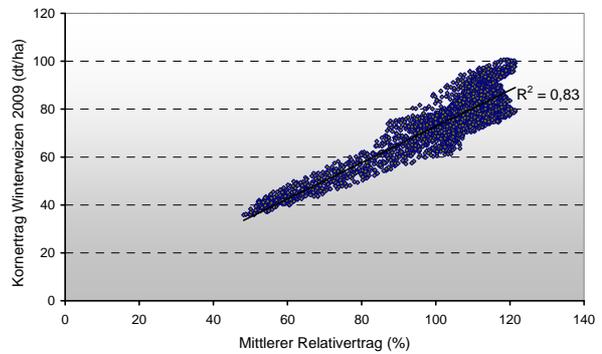


Abbildung 151: Beziehung zwischen dem mittleren Relativertrag (sechs Erntejahre) und dem Kornertrag des Winterweizens 2009

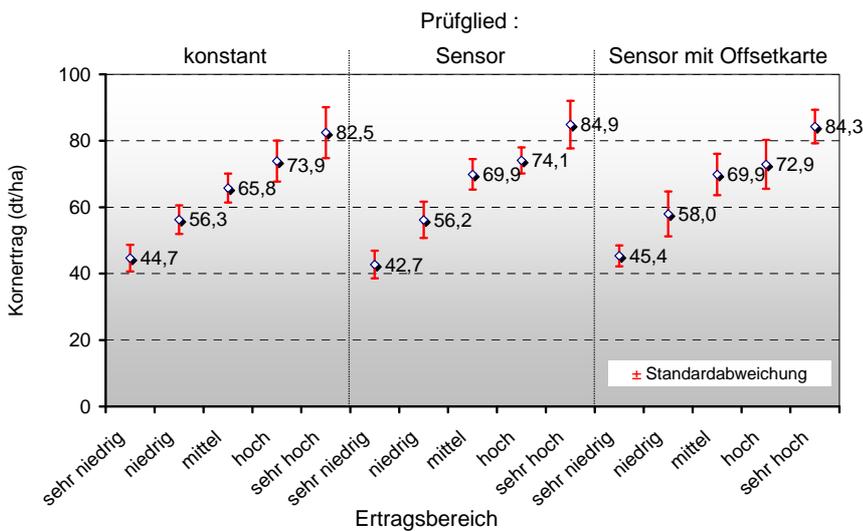


Abbildung 152: Ertragsmittelwerte in den jeweiligen Prüfgliedern und Ertragsbereichen im Versuch mit Winterweizen in Staritz 2009

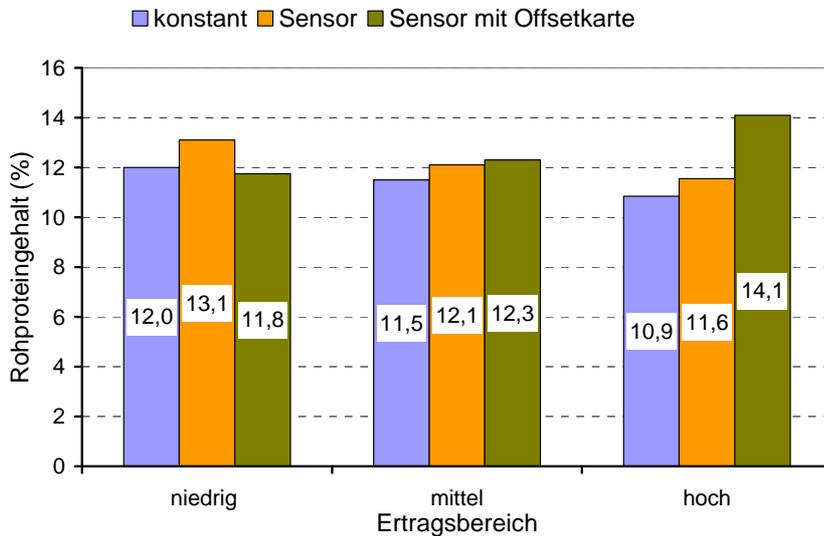


Abbildung 153: Rohproteingehalte in Abhängigkeit von den Prüfgliedern in Staritz 2009

Es bestehen deutliche Unterschiede zwischen den jeweiligen Ertragsbereichen (Abb. 152). Sie überdecken die durch die unterschiedlichen Prüfglieder erzielten Ertragsunterschiede. Das gewichtete Mittel über die Ertragsbereiche weist auf eine leichte Überlegenheit der Sensorprüfglieder hin. Beim Rohproteingehalt findet sich ebenfalls die Situation, dass der normale Sensoreinsatz den Bereich mit niedrigem Ertragsniveau begünstigt (Abb. 153). Die hinterlegte Offsetkarte erhöhte die N-Düngermenge im Bereich mit hohen Erträgen, was sich entsprechend auf den Rohproteingehalt auswirkte.

3.3.3 Die Versuche mit Winterweizen im LVG Köllitsch

Die Versuchsschläge umfassten auch hier ein breites Bodenartenspektrum. Diese Bodenunterschiede werden sehr gut durch die scheinbare elektrische Leitfähigkeit wiedergegeben. Auf der 2009 genutzten Ackerfläche wurden in der Vergangenheit verschiedene Messungen mit unterschiedlichen Verfahren durchgeführt (Abb. 154 und 155). Die jeweiligen Messwerte weisen einen engen linearen Zusammenhang ($r = 0,95$) auf.

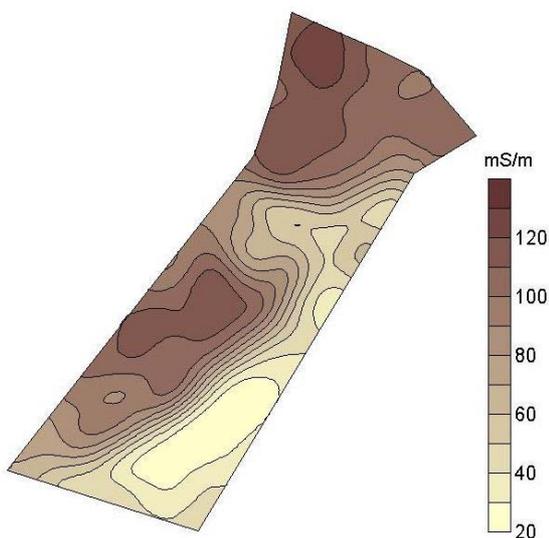


Abbildung 154: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (Veris deep) auf dem Winterweizenschlag 2009 in Köllitsch

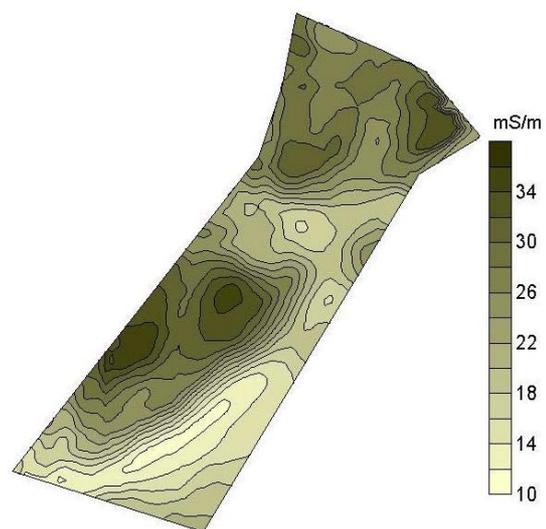


Abbildung 155: Scheinbare elektrische Leitfähigkeit (EM 38) auf dem Winterweizenschlag 2009 in Köllitsch

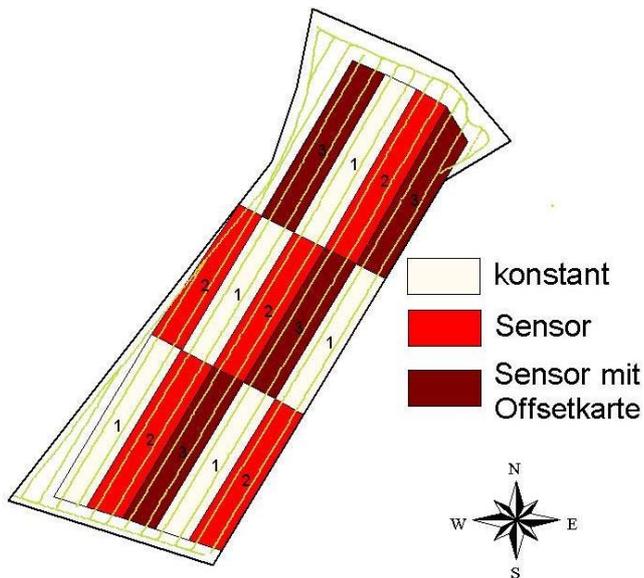


Abbildung 156: Lageplan der Prüfglieder auf dem Winterweizenschlag in Köllitsch

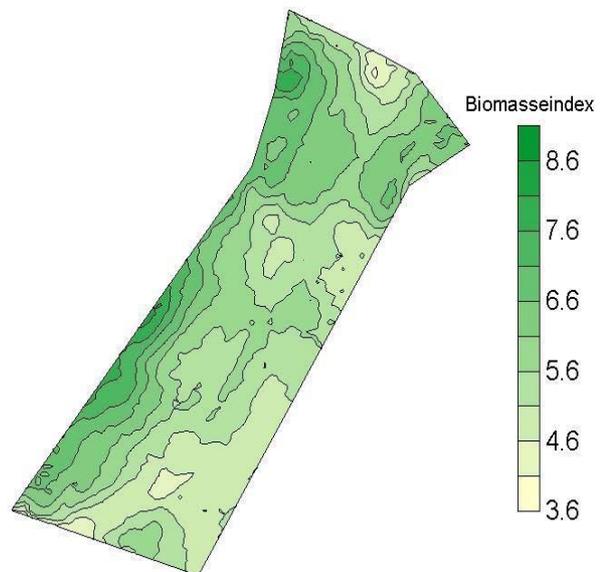


Abbildung 157: Bestandesindex zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe auf dem Winterweizenschlag in Köllitsch

Damit die Bodenunterschiede in jeder Variante ausreichend Berücksichtigung fanden, wurden nur drei Versuchsglieder geprüft (Abb. 156). Auf Grund der Witterung war die Bestandesentwicklung bis zur zweiten N-Gabe sehr verhalten. Zu diesem Zeitpunkt machten sich die Bodenunterschiede bei der Bestandesbildung bereits deutlich bemerkbar (Abb. 157 und 159). Dieses Bild bleibt bis zur Ernte erhalten (Abb. 158). Im Mittel des Schlages wurde ein Ertrag von 77 dt/ha erzielt. Die Ertragsdifferenzierung wurde stark von den Bodenunterschieden geprägt (Abb. 160).

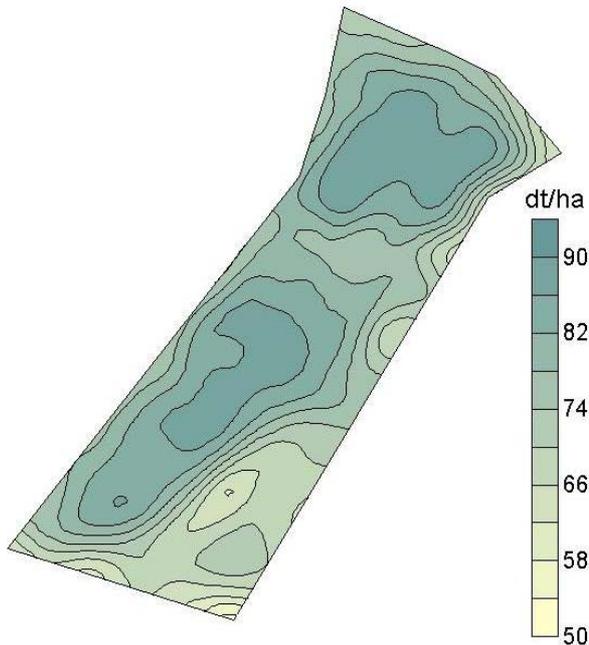


Abbildung 158: Ertragskarte vom Versuchsschlag mit Winterweizen in Köllitsch 2009

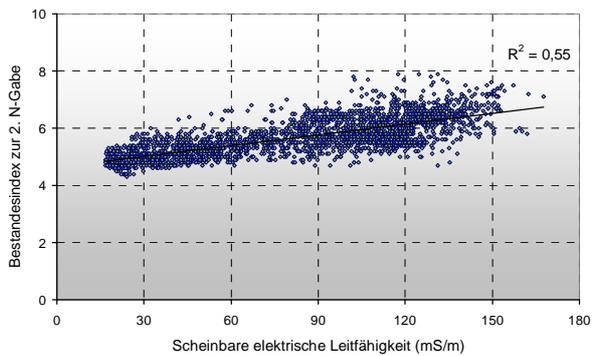


Abbildung 159: Leitfähigkeit und Bestandesindex des Winterweizens zur 2. N-Gabe in Köllitsch

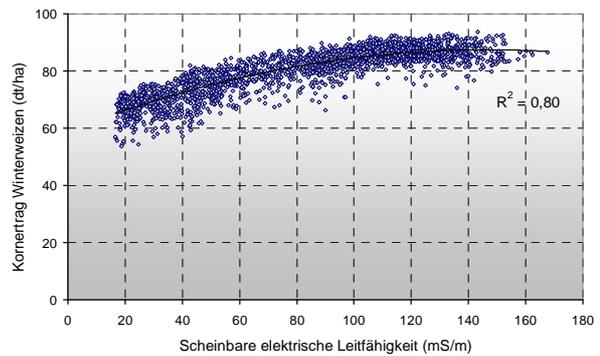


Abbildung 160: Leitfähigkeit und Ertrag des Winterweizens 2009 in Köllitsch

In diesem Zusammenhang soll noch einmal auf die Auswirkung der Offsetkarte bei der N-Bemessung hingewiesen werden. Am Beispiel der Abbildungen 161 und 162 soll der Unterschied in der N-Bemessung zwischen den Varianten „Sensor“ und „Sensor mit Offsetkarte“ aus der Sicht der Bodenunterschiede aufgezeigt werden. Ausgewählt wurde dazu die in Abhängigkeit vom Boden ausgebrachte zweite N-Gabe. Es zeigt sich, dass die Sensorfunktion in den vorgegebenen Grenzen den auf den sandigeren Teilflächen mit geringeren Wasserreserven und schlecht entwickelten Bestand fördert. Dagegen können durch die Offsetkarte in den jeweiligen Bodenbereichen unterschiedliche Grenzen eingerichtet werden, die dem Ertragsvermögen besser angepasst sind.

Eine einfache Auswertung der Ertragsdaten erbrachte, dass die Unterschiede zwischen den Prüfgliedern relativ gering waren (Abb. 163). Weil innerhalb jeder Variante die Ertragsbereiche nicht im gleichen Umfang vertreten waren, lassen sich für die Beurteilung der Wirkung der drei Versuchsglieder daraus keine Schlussfolgerungen ziehen. Aufschlussreicher sind die Ertragsdaten in den jeweiligen Ertragsbereichen (Abb. 164). Wie in Warnstedt wurde der Schlag in Abhängigkeit von seiner Heterogenität und Ertragsfähigkeit in fünf Ertragsbereiche eingeteilt. Weil in zwei Prüfgliedern der sehr hohe Ertragsbereich nur mit wenigen Werten (mittlerer Ertrag eines 10 m x 10 m Rasters) vertreten war, wurde auf deren Wiedergabe verzichtet.

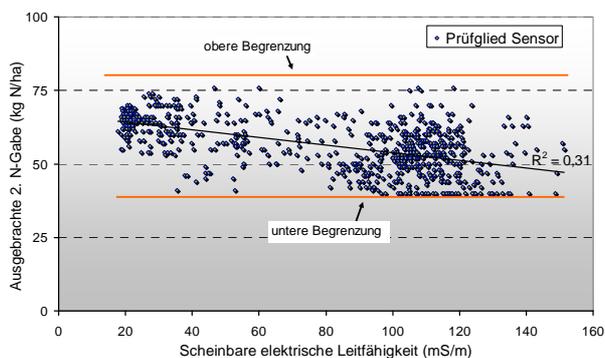


Abbildung 161: Ausgebrachte zweite Stickstoffgabe im Prüfglied Sensor im Versuch mit Winterweizen 2009 in Köllitsch

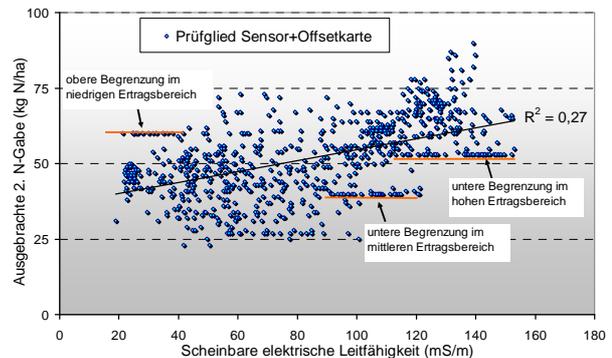


Abbildung 162: Ausgebrachte zweite Stickstoffgabe im Prüfglied Sensor + Offsetkarte im Versuch mit Winterweizen 2009 in Köllitsch

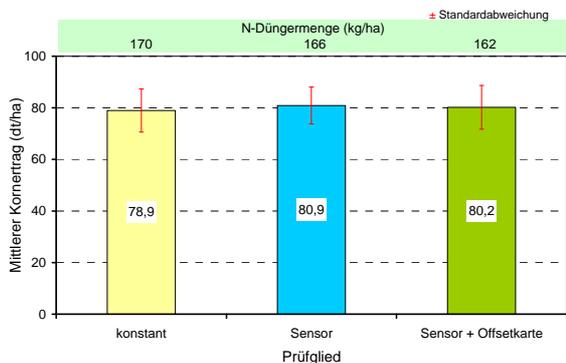


Abbildung 163: Mittlerer Ertrag des Winterweizens auf den Teilstücken der jeweiligen Prüfglieder

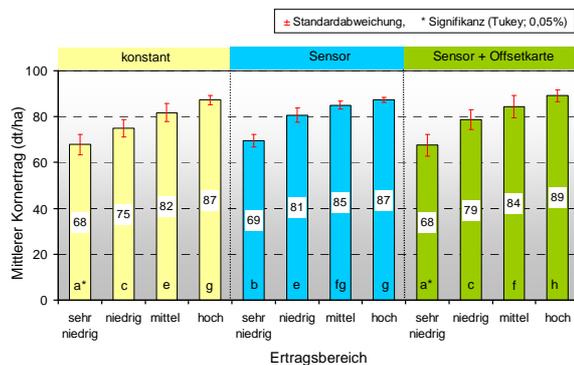


Abbildung 164: Mittlerer Ertrag des Winterweizens in den Ertragsbereichen der drei verschiedenen Prüfglieder

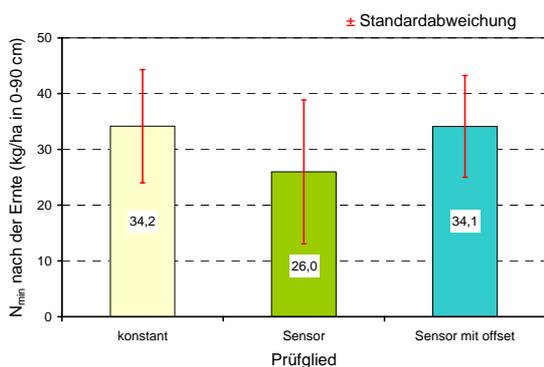


Abbildung 165: N_{min} nach der Ernte des Winterweizens in Köllitsch in den drei Prüfgliedern

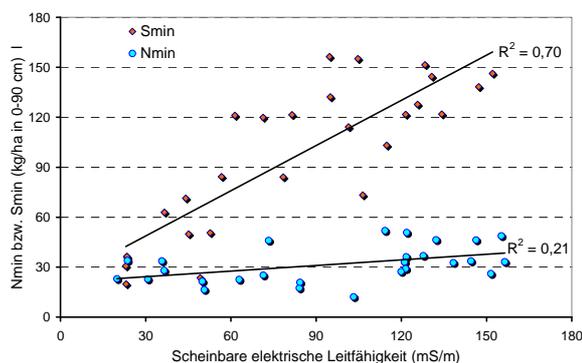


Abbildung 166: Abhängigkeit zwischen der Leitfähigkeit und den N_{min}- und S_{min}-Werten nach der Ernte

Unabhängig von den Prüfgliedern war der N_{min} nach der Ernte sehr niedrig (Abb. 165). Der Rest-N_{min} steigt leicht mit der Bodengüte bzw. mit der Ertragshöhe (Abb. 166). Ursache dafür dürfte vor allem die N-Mineralisation sein, weil zur Kornreife der Boden bereits ausreichend durchfeuchtet war.

3.3.4 Zwischenfazit

Die auf allen Versuchsflächen relativ niedrigen Stickstoffdüngermengen (<200 kg N/ha) resultieren vor allem daraus, dass der Winterweizen nicht nach Getreide angebaut wurde. Von der höheren N-Freisetzung aus den verbliebenen Ernteresten profitierte besonders der Weizen auf den Teilflächen mit hohem Wasserspeichervermögen, weil hier der bereits im Herbst mineralisierte Stickstoff oft im unteren Wurzelbereich verbleibt und dann in der Kornausbildung verfügbar wird. Vermieden werden sollte auch der Aufbau zu dichter Bestände, die letztendlich unproduktiv Wasser verbrauchen und zur Lagerbildung neigen.

Auf heterogenen, trockenen Standorten beeinflussen die Wasserreserven des Bodens das Ertragsgeschehen beim Weizen vermutlich stärker als beim Raps. Ursache ist die später einsetzende Ertragsbildung bei zumeist höheren Temperaturen. Zur Absicherung hoher Rohproteingehalte eingesetzte Stickstoffgaben nach der Blüte sind in ihrer Düngewirkung unsicher.

Durch die unterschiedliche Behandlung in den Prüfgliedern wurde der Ertrag auf den heterogenen Teilflächen kaum beeinflusst. Die höchsten Rohproteingehalte wurden im Bereich niedriger Erträge durch die Prüfglieder „konstant“ und „Sensor“ erzielt. Durch die hinterlegten Offsetkarten konnten die Rohproteingehalte im Bereich mit hohem Ertragsniveau besser abgesichert werden. In welchem Ausmaß die Differenzierung durch die hinterlegten Karten erfolgen sollte, hängt vor allem vom Ausmaß der Ertragsunterschiede auf der Gesamtfläche ab.

4 Diskussion

Der Raps gehört zu den wirtschaftlich attraktivsten Fruchtarten in Deutschland. Sein Anbau ist oft durch eine ungünstige N-Effizienz gekennzeichnet. Im Vergleich zur N-Aufnahme des Rapsbestandes werden mit dem Samenertrag relativ geringe N-Mengen exportiert. Das führt häufig zu hohen N-Bilanzsalden und N_{\min} -Resten nach der Ernte. Eine wichtige Zielstellung des Projektes bestand deshalb darin Möglichkeiten aufzuzeigen, wie die oft unnötig hohen N-Bilanzüberschüsse abgebaut werden können und damit die Gefahr von Stickstoffausträgen deutlich einzuschränken.

Auf heterogenen Ackerschlägen ergibt sich durch teilschlagbezogene Stickstoffdüngung ein beachtliches Potenzial, um Verluste wirksam zu reduzieren. Voraussetzung ist jedoch, dass die eingesetzten N-Mengen an den jahresspezifischen Stickstoffbedarf des Pflanzenbestandes der jeweiligen Teilflächen angepasst werden. Nach Ergebnissen von FLOWERS et al. (2004) ist für den Ertrag die Anpassung der auszubringenden N-Menge an den jahresspezifischen Bedarf entscheidender als die teilschlagspezifische Bewirtschaftung. Erst nachdem dies beachtet wird, ist die teilschlagspezifische Ausbringung sinnvoll und ermöglicht eine entsprechende Reduktion des N-Einsatzes. Das bestätigen auch die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Untersuchungen. So lag im ersten Versuchsjahr der N-Einsatz verschiedentlich deutlich oberhalb des Optimalbereiches. In den folgenden Jahren wurde deshalb verstärkt an einer Verbesserung der Düngebedarfsermittlung gearbeitet. Die dazu erzielten Ergebnisse sind in das Beratungsprogramm BEFU eingeflossen und stehen somit einem breiten Nutzerkreis zur Verfügung (SCHLIEPHAKE et al. 2010).

Die Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Düngung erfolgten auf heterogenen Praxisschlägen, die von den Kooperationspartnern bereitgestellt wurden. Während der Projektbearbeitung bestand immer ein enger Kontakt. Die Zusammenarbeit und die für das Vorhaben geleisteten Arbeiten gingen über die anfänglichen Vereinbarungen hinaus. Ein wesentlicher Grund ist darin zu sehen, dass die Betriebe von diesen Untersuchungen profitierten und ihnen Möglichkeiten einer verbesserten N-Effizienz aufgezeigt wurden.

Auf den inhomogenen Ackerschlägen war auf Grund der vielfältigen Ausgangsbedingungen keine eindeutige Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Vorwinterentwicklung auf den N-Düngebedarf im Frühjahr möglich. Zur exakten Ermittlung der jeweiligen Optima wäre in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand und den Bodenunterschieden eine Mindestzahl von N-Steigerungsstufen notwendig. Die auf den Versuchsstationen des LfULG durchgeführten Rapsversuche mit unterschiedlicher Vorwinterentwicklung und entsprechender Stickstoffsteigerung stellen deshalb eine notwendige Ergänzung und Abrundung dar. Sie werden in den nächsten Jahren weitergeführt, um den Jahreseinfluss, der im Pflanzenbau eine wesentliche Rolle spielt, besser zu erfassen. Bei der Verallgemeinerung der Ergebnisse ist zu bedenken, dass beispielsweise bei den geringeren mittleren Jahresniederschlägen auf den heterogenen trockenen Standorten das hohe Ertragsniveau aus den Steigerungsversuchen in der Regel nicht realisieren werden kann. Das hat natürlich Einfluss auf den Düngebedarf.

Sowohl auf den heterogenen Praxisschlägen als auch in den Parzellenversuchen entwickelten sich jeweils bis zum Winter sehr unterschiedliche Rapsbestände. Der Einfluss von Standort und Jahren war dabei beachtlich. Mit steigendem Stickstoffangebot nahmen die Substanzbildung und die darin eingelagerte Stickstoffmenge zu. Allerdings benötigen die jungen Pflanzen ausreichend Zeit, um sich zu entwickeln und sich den verfügbaren Stickstoff anzueignen. Verspätete Aussaaten und zeitig einsetzender Winter behinderten dies. Erfolgt die Aussaat nicht zur optimalen Zeit, fördert zusätzlicher Herbststickstoff nur bedingt die Substanzbildung und die Aufnahme bleibt zumeist unvollständig. Auf den leichten und flachgründigen Böden geht dieser Stickstoff in der Regel verloren. Diese Tatsache muss den Landwirten verstärkt bewusst gemacht werden.

Eine Möglichkeit zur Absenkung derartiger N-Verluste ergibt sich, wenn zugleich mit der Aussaat kleine Stickstoffmengen platziert in der Nähe der jungen Rapspflanzen abgelegt werden. So konnten GARZ et al. (1992) in der Jugendentwicklung von Zuckerrüben bereits mit 10 kg N/ha einen signifikanten Trockenmassezuwachs im Vergleich zur breitwürfigen Verteilung erzielen. Ursache für diese gute Wirkung war, dass das noch schwach entwickelte Wurzelsystem der jungen Pflanzen in den ersten Wochen nach dem Aufgang noch nicht in der Lage ist, den in der oberen Ackerkrume befindlichen Stickstoff zu erschließen und sich anzueignen. Erhöht sich allerdings die Konzentration in unmittelbarer Nähe des sich entwickelnden Wurzelsystems, so profitieren die jungen Pflanzen bereits von einer kleinen Gabe. Auch im Zusammenhang mit der langfristig knappen P-Ressource und der sich vielerorts verschlechternden P-Versorgung der Böden ist die Frage einer ausreichenden

Versorgung in der Jugendentwicklung mit geringem Mitteleinsatz von Interesse und sollte zukünftig verstärkt in den Blickpunkt rücken.

Bei der Ermittlung der N-Aufnahme der Rapsbestände hat sich die Frischmassebestimmung als ein solides und treffsicheres Verfahren herauskristallisiert. Die dazu durchgeführten Untersuchungen erbrachten, dass bei Beprobung vor dem Winter bei einem kg Frischmasse je m² mit einer N-Menge von 50 kg/ha gerechnet werden kann. Dieser Wert liegt um 5 kg/ha höher als der von HENKE et al. (2009) ermittelte Betrag. Auf Grund der großen Datenbasis erweist er sich als sehr stabil. In Einzelfällen gab es leichte Abweichungen. Diese bewegten sich bei einem kg Frischmasse zwischen 45 und 55 kg N/ha.

Die Ergebnisse der Pflanzenprobenahme zu Beginn der Vegetation erbrachten je nach Witterungsbedingungen sowohl leichte Biomassezuwächse als auch Blattverluste. Im Mittel entsprach im Frühjahr ein kg Frischmasse etwa 55 kg N/ha und liegt damit leicht über dem Betrag vom Vorwinter. Diese Zunahme zwischen den Probenahmeterminen war auch bei den Untersuchungen von HENKE et al. (2009) aufgetreten. Die Beziehung zwischen der zum Ende der Vegetation in der oberirdischen Biomasse ermittelten N-Menge und dem optimalen N-Aufwand ist etwas enger als bei der Frühjahrsbeprobung. Deshalb wird dieser Termin bevorzugt zur Erfassung der N-Einbindung im Rapsbestand empfohlen (SIELING et al. 2009). Es spricht allerdings nichts dagegen, diese Beprobung vor der Frühjahrsdüngung zu wiederholen. Besser einschätzen lassen sich dadurch auch mögliche Auswinterungsschäden, die unter den eher kontinentaleren Klimabedingungen in Mitteleuropa häufiger vorkommen.

Durch Einbeziehung der bereits im Rapsbestand vorhandenen N-Mengen lässt sich der Düngebedarf genauer abschätzen. Dabei hat sich in den Untersuchungen gezeigt, dass auf den verschiedenen sächsischen Standorten zwischen den aufgenommenen N-Mengen und dem optimalen N-Düngeraufwand beachtliche Unterschiede auftraten. Auf dem leichten D-Standort sowie auf dem flachgründigen Verwitterungsstandort bestand eine enge Beziehung zwischen der vor dem Winter im Bestand ermittelten N-Menge und dem optimalen N-Aufwand im Frühjahr ($r \sim 0,9$). Die Steigung der Geraden beträgt $-0,83$ bzw. $-0,87$ und belegt die hohe Ertragswirksamkeit des bereits im Herbst im Bestand eingebundenen Stickstoffs. Wesentlich lockerer war die Beziehung zwischen der N-Aufnahme vor Winter und der optimalen Düngermenge auf den tiefgründigen Löss-Böden. Ursache dafür kann sowohl die höhere N-Mineralisationsleistung dieser Böden als auch der in tieferen Bodenschichten (> 90 cm) verbliebene N_{\min} sein. Vor allem auf trockenen Standorten sollte die Ausnutzung dieses Stickstoffs besonders hoch sein, weil die Pflanzenbestände auch auf die Nutzung des hier gespeicherten Wassers angewiesen sind. Bei den Spätsaaten war die N-Aufnahme im Herbst insgesamt geringerer. Zumindest ein Teil des nicht aufgenommenen Nitratstickstoffs verblieb über Winter in der unteren durchwurzelbaren Bodenzone und blieb somit pflanzenverfügbar.

Auf Grund der beachtlichen Unterschiede zwischen den Standorten wurde bei der biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung im sächsischen Beratungsprogramm BEFU auf die bewährten standortabhängigen N-Sollwerte zurückgegriffen. Ihnen liegt eine normale Vorwinterentwicklung mit einer N-Aufnahme von 50 bis 75 kg/ha in der oberirdischen Biomasse zugrunde. Finden sich N-Mengen im Pflanzenbestand, die unter oder über diesen normalen Beträgen liegen, werden die N-Düngermengen um diese Werte mittels hinterlegter Funktionen stufenlos korrigiert. Die häufig auftretenden geringfügigen Blattverluste über Winter werden ignoriert, zumal ein Teil des in der abgestorbenen Biomasse enthaltenen Stickstoffs im Verlauf des Frühjahrs erneut pflanzenverfügbar wird. Deshalb sind sie auch für die Bedarfsbestimmung ohne große Bedeutung. Das bestätigen auch die Untersuchungen mit dem markierten Stickstoff. Erfolgte die Einschätzung der im Pflanzenbestand eingelagerten N-Menge bereits zum Ende der Vegetation und treten über Winter erhebliche Blattverluste auf (> 50 % der gebildeten Blattmasse sind abgestorben), werden im Berechnungsalgorithmus die im Bestand eingebundenen N-Mengen nicht im vollen Maße angerechnet, um die notwendige Regeneration der Rapspflanzen ausreichend zu fördern.

Die unterschiedlichen Standort- und Wachstumsbedingungen waren eine gute Voraussetzung, um in der Projektlaufzeit ein breites Datenmaterial zu sammeln. Bei der praktischen Versuchsdurchführung auf den Praxisschlägen hat sich die zeitlich differenzierte Winterrapsaussaart nicht bewährt. Deshalb wurde bei der Neuanlage für das Versuchsjahr 2009 darauf verzichtet. Für die teilschlagbezogene N-Düngung waren die unterschiedlichen Aussaattermine kein Problem. Sie führte aber durch die verzögerte Entwicklung - selbst zur Rapsblüte waren es immer noch mehr als sieben Tage - zu einem erhöhten Kosten- und Arbeitsaufwand. Das betraf vor allem den Pflanzenschutz und durch die spätere Abreife auch die Ernte. Weil die Differenzierung der Bestände innerhalb der Versuchsschläge selbst beim optimalen Aussaattermin beachtlich war, stellte der Verzicht auf unterschiedliche Aussaattermine bei der Beantwortung der Versuchsfragen zur teilschlagspezifischen N-Düngung keinen Verlust dar.

Bei ausreichenden Niederschlägen lassen sich die Unterschiede im bodenbedingten Nährstoffangebot durch eine zielgerichtete Nährstoffzufuhr ausgleichen. Die jährlich anzutreffenden Ertragsbilder eines Ackerschlagel sind dann eher zufällig. Zeitweilig auftretende Heterogenitäten des Bestandes, die durch acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, den aktuellen Witterungsverlauf, durch Krankheitsherde usw. bestimmt werden, überlagern die vorhandenen Bodenunterschiede. Anders stellt sich die Situation auf den trockenen, heterogenen Standorten in Mitteldeutschland dar. Die vorhandenen Bodenunterschiede prägen das Ertragsbild wesentlich stärker als die verschiedenen zufälligen Ereignisse. Das erklärt, warum bei entsprechender Bodenheterogenität relativ stabile Ertragszonen angetroffen werden. Darauf muss sich eine effiziente Stickstoffdüngung einstellen.

Erste Voruntersuchungen zur teilschlagbezogenen Rapsstickstoffdüngung wurden 2006 durchgeführt. Im Hinblick auf den Ertrag gab es in diesem trockenen Jahr (in der Vegetationszeit von März bis Juli fielen gerade 160 mm Niederschlag) keinen signifikanten Unterschied zwischen konstanter und variabler Ausbringung. Dabei wurden allerdings im Mittel der variablen N-Düngung 20 kg N/ha weniger eingesetzt. Dies weist auf ein beachtliches Reduzierungspotenzial hin. Für die Differenzierung der ersten N-Gabe wurden bei diesen Untersuchungen die Bodenunterschiede (beschrieben durch die elektrische Leitfähigkeit) und der N_{\min} (nach Rasterbeprobung) herangezogen. Derartige Vorgehensweisen sind allerdings sehr aufwändig und wenig erprobt.

Auf großen Schlägeinheiten mit einer stabilen Ertragszonierung finden sich im jeweiligen Bereich auch unterschiedliche Stickstoffoptima. Je größer die Ertragsdifferenzierung zwischen den Teilflächen ist, umso weniger gelingt es die bedarfsgerechte N-Versorgung mit einer einheitlichen Funktion, wie sie im YNS zum jeweiligen Entwicklungsstadium verfügbar ist, abzusichern. Durch die Hinterlegung von Karten lässt sich die Höhe der auszubringenden N-Menge auf das Ertragsniveau der Teilflächen besser anpassen.

Für die Erstellung der Offsetkarten lassen sich vorhandene Bodenkarten, Ertragskarten der zurückliegenden Jahre oder relativ kostengünstige Messungen der Leitfähigkeit nutzen. LAMP et al. (2002) wiesen bereits darauf hin, dass auf trockenen Standorten zur direkten Umsetzung von teilflächenspezifischen Managementmaßnahmen Leitfähigkeitskarten gut geeignet sind. Sie stellen die Bodenunterschiede dar, die vor allem durch die Bodenartverteilung (Sand- und Tongehalte), Schichtungen und Bodenfeuchte bedingt sind. Bei früheren Untersuchungen auf dem alluvialen Standort in Köllitsch erwiesen sich derartige Karten als ein zuverlässiges Hilfsmittel (SCHLIEPHAKE 2007).

Im Verlauf der Untersuchungen zeigte sich besonders am Standort Warnstedt, dass die scheinbare elektrische Leitfähigkeit nicht in jedem Fall geeignet war, die unterschiedlichen Zonen eines Schlagel zu identifizieren. Neben verschiedenen künstlichen und natürlichen Störgrößen, die die Messergebnisse beeinflussen können, sind hohe Leitfähigkeitswerte nicht automatisch mit höheren Ertragsvermögen verbunden. In einzelnen Fällen bestand zwischen dem langjährigen Ertragsverhalten auf den Teilflächen und den Ergebnissen der Leitfähigkeitsmessung kein Zusammenhang. Sollen Leitfähigkeitskarten zur Erstellung von Offsetkarten genutzt werden, ist ein Abgleich mit den Befunden der Ertragskartierung in jedem Fall sinnvoll.

Auf den trockenen Standorten mit stabiler Ertragszonierung erwies sich eine präzise Ertragserfassung mit sorgfältiger, kleinräumiger Aufarbeitung als besonders geeignet für die Erstellung von Offsetkarten. Die Anzahl der zu bildenden Klassen hängt vor allem von der Ertragsdifferenzierung bzw. der Heterogenität der Ackerfläche ab. Das gilt auch für die Höhe der Zu- bzw. Abschläge von der zu verabreichenden Stickstoffmenge.

Die Ertragsunterschiede zwischen der konstanten, einheitlichen sowie der variablen Stickstoffausbringung waren nicht immer signifikant. Hinsichtlich der N-Bilanzsalden schnitt besonders der Sensoreinsatz mit hinterlegter Offsetkarte günstig ab. Im Vergleich zur konstanten Ausbringung und zum alleinigen Sensoreinsatz konnten damit besonders im Niedrigertragsbereich die N-Bilanzüberschüsse ohne Ertragseinbußen eingeschränkt werden. Bei stärkeren Auswinterungsschäden verhinderte der hohe Anteil abgestorbener Blätter den Sensoreinsatz zur ersten N-Gabe. In dem Fall wurden die zum Ende der Vegetation erstellten Applikationskarten für die Erarbeitung von N-Applikationskarten genutzt. Diese Vorgehensweise bietet sich generell dort an, wo mit Passivsensoren gearbeitet wird. Dadurch kann im zeitigen Frühjahr der Stickstoff teilschlagsspezifisch ausgebracht werden, ohne Begrenzung durch den Sonnenstand und die spezifischen Lichtverhältnisse.

Reflexionsmessungen sind gut geeignet, um die unterschiedliche Entwicklung von Winterrapsbeständen und die damit einhergehende N-Aufnahme wiederzugeben. Allerdings sind die Einsatzmöglichkeiten von Sensoren, die auf ausreichende natürliche Lichtverhältnisse angewiesen sind, zum Ende und zu Beginn der Vegetation stark begrenzt. Die verschiedenen, aus den multispektralen Messungen abgeleiteten Indices sind in Abhängigkeit von den jeweiligen Messbedingungen in unterschiedlicher Weise in der Lage, die Differenziertheit des Bestandes wiederzugeben. Die vorliegenden Ergebnisse weisen darauf hin, dass zwischen den verschiedenen Indices aus dem Nahinfrarotbereich keine wesentlichen Unterschiede bestehen. Das betrifft sowohl den spezifischen Bestandesindex des YNS als auch die neuen von MÜLLER et al. (2008) für den Winterraps empfohlenen Indices.

5 Zusammenfassung

Die Realisierung der im Arbeitsplan vorgegebenen Aufgaben erfolgte während der dreijährigen Projektlaufzeit kontinuierlich und planmäßig. Neben der Versuchsdurchführung auf den von den Kooperationspartnern zur Verfügung gestellten Flächen und deren Auswertung war die Betreuung der auf vier Versuchsstationen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) durchgeführten Parzellenversuche ein Schwerpunkt. Letztere dienten vor allem dazu, die Möglichkeiten der biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung beim Winterraps besser auszuloten. Untersucht wurde dabei auch, wie die aus multispektralen Reflexionsmessungen gewonnenen Bestandesindices die Biomasseentwicklung und den N-Ernährungszustand eines Rapsbestandes wiedergeben.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen zur biomasseabhängigen Düngebedarfsermittlung standen auf den heterogenen Acker-schlägen sowohl vor als auch nach dem Winter georeferenzierte Pflanzen- und Bodenprobenahmen. Damit wurde die Bestandesentwicklung in Abhängigkeit von Aussaatzeit, N-Angebot und Bodenheterogenität erfasst und quantifiziert. Von besonderem Interesse war dabei, welche N-Mengen in Beständen von Winterraps bis zum Ende der Vegetation aufgenommen werden und wie sich die Verhältnisse über Winter in Abhängigkeit von der Witterung verändern. Neben den Praxisschlägen wurden Exaktversuche auf vier Versuchsstationen des LfULG einbezogen. Insgesamt sind damit sehr unterschiedliche Standort- und Witterungsbedingungen erfasst worden und erlauben allgemeingültige Aussagen. Mit Hilfe der Parzellenversuche war auch eine bessere Abschätzung der Ertragswirksamkeit des bereits im Herbst in die Biomasse eingebundenen Stickstoffs möglich.

In Abhängigkeit vom Standort, dem N-Angebot und dem Witterungsverlauf entwickelten sich bis zum Winter sehr unterschiedliche Pflanzenbestände, in deren oberirdischer Biomasse zwischen 15 und 250 kg N/ha ermittelt wurden. Während im milden Winter 2007/2008 sogar ein Substanzzuwachs und eine weitere N-Aufnahme beobachtet wurden, waren die folgenden durch eine längere Vegetationsruhe geprägt. Die zum Teil sehr niedrigen Temperaturen führten auf Grund der ausreichenden Schneebedeckungen zu keinen bedeutenden Auswinterungsschäden und Substanzverlusten. Letztere beliefen sich zumeist auf etwa 10 bis 15 % der vor dem Winter ermittelten Biomasse. Etwas höhere Verluste traten immer dann auf, wenn sehr üppige Bestände über längere Zeit von verharschtem Schnee bedeckt waren.

Die Ergebnisse der ¹⁵N-Mikroparzellen belegen, dass zumindest ein Teil des Stickstoffs der abgestorbenen Biomasse im Verlauf des Frühjahrs für die Rapspflanzen erneut zur Verfügung steht. Im günstigsten Fall fand sich zur Ernte etwa die Hälfte in der Rapssaat und im Stroh wieder. Weil das abgestorbene Pflanzenmaterial auf der Bodenoberfläche verbleibt und dort mineralisiert wird, sind in Abhängigkeit von der Witterung beachtliche gasförmige Verluste möglich. Insbesondere unter warmen, trockeneren Bedingungen können davon größere Beträge betroffen sein.

Die auf den Versuchsschlägen durchgeführten georeferenzierten Pflanzenprobenahmen dienten auch dazu, die aus den Messungen mit dem Yara-N-Sensor (YNS) stammenden speziellen Biomasseindices zu eichen. Auf diesem Wege war es möglich, flächendeckende N-Entzugskarten zu erstellen. Sie bildeten die Grundlage für die Erstellung von Applikationskarten für die eigentlichen Untersuchungen zur teilschlagspezifischen Stickstoffausbringung. Bereits im Winter vorbereitete Applikationskarten stellen eine gute Alternative für den Fall dar, dass starke Auswinterungsschäden mit entsprechenden Blattverlusten den Online-Einsatz des Sensors zur ersten Gabe im Frühjahr behindern oder gar unmöglich machen. Sie sind zudem eine Möglichkeit, die erste Stickstoffgabe mit hoher Schlagkraft auszubringen, wenn im Betrieb der heute noch am weitesten verbreitete Passiv-

sensor eingesetzt wird, der auf entsprechendes Tageslicht und ausreichend hohen Sonnenstand angewiesen ist. Zu Beginn der Vegetation ist deshalb seine Einsatzzeit auf wenige Stunden begrenzt.

Die umfangreichen Handbeprobungen haben wiederum gezeigt, dass eine Ermittlung der Frischmassen in diesem frühen Entwicklungsstadium des Winterrapses gute Aussagen über die N-Aufnahme des Pflanzenbestandes erlaubt. Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass mit der Bildung von einem kg oberirdischer Frischmasse je Quadratmeter eine entsprechende Stickstoffeinbindung von 50 kg/ha einhergeht. Eine repräsentative Bestimmung der Frischmasse sollte also für den Praktiker ein gutes Hilfsmittel für die Anpassung von N-Düngungsempfehlungen im Frühjahr darstellen und helfen einen überhöhten Stickstoffeinsatz zu vermeiden. Nach Einarbeitung dieser Ergebnisse in das Düngungsberatungsprogramm BEFU konnten die Nutzer bereits zur Winterrapsdüngung im Frühjahr 2010 darauf zurückgreifen. Die zahlreichen Rückfragen belegen, dass es von den Landwirten ausprobiert und genutzt wurde.

Aus den Parzellenversuchen ging hervor, dass insbesondere auf dem leichten Boden in Baruth und dem Verwitterungsboden in Forchheim eine enge Beziehung zwischen der N-Aufnahme des vorwinterlichen Rapsbestandes und dem optimalen N-Aufwand in der darauf folgenden Vegetationsperiode bestand. Ursache dafür dürfte zum einen die unter günstigen Wachstumsbedingungen fast vollständige N-Aufnahme bis zum Winter sein, zum anderen kommt es auf diesem sandigen Boden über Winter regelmäßig zu entsprechender Stickstoffverlagerung und wird im Frühjahr nicht mehr verfügbar. Auf den tiefgründigen Lössböden war die Beziehung wesentlich lockerer. Besonders bei den Spätsaaten mit ihrer verhaltenen Sprossentwicklung war dies der Fall. Der nicht bis zum Winter aufgenommene Stickstoff wurde vermutlich nicht aus dem unteren Wurzelbereich ausgetragen und trägt im Folgejahr zur N-Ernährung bei.

Die Nutzung der Frischmasse zur N-Düngebedarfsermittlung setzt jedoch weitgehend gleichmäßige Pflanzenbestände voraus. In heterogenen Beständen ist der Informationswert bei vertretbarem Probenumfang gering und eine einheitliche Stickstoffdüngung nicht effektiv. Die Nutzung von vorab erstellten Applikationskarten oder der direkte Einsatz des Sensors stellt die bessere Alternative dar. Unter den trockenen Bedingungen in Mitteldeutschland wird allerdings beim Sensoreinsatz auf stark heterogenen Flächen eine Steigerung der N-Effizienz durch Hinterlegung von Ertragszonen- bzw. Bodenkarten erreicht.

Die Auswertung der durchgeführten Feldversuche hat gezeigt, dass auf den heterogenen Ackerschlägen im Trockengebiet relativ stabile Ertragsbereiche anzutreffen sind. Allein durch die Stickstoffdüngung lässt sich hier kein einheitliches Ertragsniveau erzielen. Letztendlich entscheidet der Boden mit seinem unterschiedlichen Wasserspeichervermögen. Darauf muss die N-Düngung abgestimmt werden. Die Überdüngung der ertragsschwachen Flächenanteile erbringt unter den trockenen Bedingungen die größten Nitratverluste, weil hier selbst bei dem zumeist begrenzten Niederschlagsangebot die verbliebenen Reststickstoffmengen über Winter ausgetragen werden.

Die in den Versuchen eingesetzten Offsetkarten können dies verhindern. Beim Einsatz des Yara-N-Sensors lässt sich damit sowohl die Uneinheitlichkeit des Bestandes als auch das Ertragsvermögen der Teilflächen besser berücksichtigen. Bei entsprechender Heterogenität des Bodens war die teilerschlagspezifische Stickstoffausbringung der einheitlichen Anwendung im Ertrag und der N-Effizienz überlegen.

Mit dem Projekt wurden Grundlagen für eine biomasseabhängige Düngebedarfsermittlung bei Winterraps erarbeitet und in das sächsische Düngeberatungsmodell BEFU integriert. Das neue Rapsmodul wurde im Rahmen von Harmonisierungsgesprächen zur Düngung zwischen den ostdeutschen Landesanstalten vorgestellt und den beteiligten Ländern zur Verfügung gestellt. Gegenwärtig werden die entsprechenden Algorithmen für die Berechnung der Düngungsempfehlung zu Winterraps in das Beratungsprogramm der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft eingearbeitet.

6 Literatur

- ALBERT, E. (2007): Düngung; In: O. CHRISTEN & W. FRIEDT, Winterraps – Das Handbuch für Profis; DLG-Verlag; 115-128.
- ALBERT, E. & SCHLIEPHAKE, W. (2010): Biomasseabhängige N-Düngung zu Winterraps: In Thüringer Düngung- und Pflanzenschutztag 2010, Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, 7, 11-20.
- BAUSCH, W. C. (1993) Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn. *Remote Sensing Environment* 46, 213–222.
- BEHRENS, T., MÜLLER, J. & DIEPENBROCK, W. (2006): Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus L.*) and barley (*Hordeum vulgare L.*) during ontogenesis. *European Journal of Agronomy* 25, 345-355.
- DEJOUX, J.-F.; RECOUS, S.; MEYNARD, J.-M.; TRINSOUTROT, I. & LETERME, P. (2000): The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralisation, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring, *Plant and Soil* 218, 257-272.
- FLOWERS, M., RANDELL, W., HEINIGER, R., OSMOND, D. & CROZIER, C. (2004): In season optimization and site-specific nitrogen management for soft red winter wheat. *Agron. J.* 96, 124-134.
- GARZ, J., ABDALLAH, M. & SCHLIEPHAKE, W. (1992): Die Wurzelentwicklung von Zuckerrübenpflanzen auf einem Sandlöß-Standort und ihre Bedeutung für die Stickstoffernährung. *J. Agronomy & Crop Science* 169, 260-269.
- HEINITZ, F. (2010): persönliche Mitteilung.
- HEEGE, H. J.; REUSCH, S. & THIESSEN, E. (2008): Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany, *Precision Agriculture*. 9, 115-131.
- HENKE, J., BÖTTCHER, U., NEUKAM, D., SIELING, K. & KAGE, H. (2008): Evaluation of different agronomic strategies to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape (*Brassica napus L.*) using a simulation model, *Nutr Cycl Agroecosyst* 82: 299–314.
- HENKE, J., SIELING, K., SAUERMAN, W. & KAGE, H. (2009): Analysing soil and canopy factors affecting optimum nitrogen fertilization rates of oilseed rape (*Brassica napus*). *J. of Agricultural Science*, 147, 1-8.
- JASPER, J., REUSCH, S. & LINK, A. (2006): N-sensor ALS–Active sensing of crop N status using optimized wavelength combination. In: D. J. MULLA (ed.) *Precision Agriculture. Proc. of the 8th Int. Conf. Univ. of Minnesota*, Minneapolis.
- LAMP, J., HERBST, R., REIMER, G., SCHMIDT, F., REICHE, E.-W., SCHMIDHALTER, U. & BODERT, J. (2002): Standortcharakteristik durch Bodenschätzung, geoelektrische Leitfähigkeits- und Bodenwassersensoren, Geländemodelle und digitale Hof-Bodenkarten. In WERNER, A. & JARFE, A. [Hrsg.]: *Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis; Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn; KTBL-Sonderveröffentlichung 038, Darmstadt: 25-29.*
- MÜLLER, K., BÖTTCHER, U., MEYER-SCHATZ, F. & KAGE, H. (2008): Analysis of vegetation indices derived from hyperspectral reflection measurements for estimating crop canopy parameters of oilseed rape (*Brassica napus L.*), *Biosystems Engineering* 101, 172-182.
- REUSCH, S. (2005): Optimum waveband selection for determining the nitrogen uptake in winter wheat by active remote sensing. In: J. Stafford (ed.) *Precision Agriculture. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*, Uppsala, Sweden. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 261-266.
- REUSCH, S. (1997): Die Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Diss. CAU Kiel.
- SCHLIEPHAKE, W. (2007): Reduktion von Nährstoffausträgen durch teilschlagspezifische Bewirtschaftung als Beitrag zur Umsetzung der EU Wasserrahmenrichtlinie. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 34, 1- 89.
- SCHLIEPHAKE, W., FÖRSTER, F. & ALBERT, E. (2010): Das muss und das kann warten - Zur Ermittlung des N-Düngebedarfes zu Winterraps mit dem sächsischen Beratungsprogramm BEFU gibt es ein neues Berechnungsverfahren. *Bauernzeitung* 6, 26-27.
- SIELING, K., HENKE, J., SAUERMAN, W. & KAGE, H. (2009): Optimierung der N-Düngung – Berücksichtigung der N-Menge im Bestand. *Raps*, 4, 195-199.

Herausgeber:

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

Autor:

Dr. Wilfried Schliephake
Abteilung Pflanzliche Erzeugung/Referat Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: + 49 341 9174-187
Telefax: + 49 341 9174-189
E-Mail: wilfried.schliephake@smul.sachsen.de

Redaktion:

s. Autor

Redaktionsschluss:

31.03.2011

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

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

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. 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 zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

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