

Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial

Abschlussbericht

für die

Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e. V.

Dr. Klaus Sieling
Dr. Wolfgang Sauermann*
Prof. Dr. Henning Kage

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Acker- und Pflanzenbau
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel

* Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Abteilung Pflanzenbau, Pflanzenschutz und Landtechnik
Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg

Kiel im Dezember 2009

Zusammenfassung

Ziel dieses Projektes war es, die N-Düngung von Winterraps unter Berücksichtigung der N-Aufnahme der Rapsbestände bis Vegetationsende im Herbst bzw. zu Vegetationsbeginn im Frühjahr zu optimieren und damit die Nachhaltigkeit des Winterrapsanbaus in Deutschland zu fördern. Weiterhin soll eine praxistaugliche Methode zur schnellen Abschätzung der N-Mengen zu den genannten Zeitpunkten in den Rapsbeständen gefunden werden.

Im Versuchsjahr 2008/2009 konnten auf den meisten Standorten überdurchschnittliche Erträge realisiert werden. Wie in 2007/08, aber im Gegensatz zu den 2005/06 und 2006/07 führte eine Herbst-N-Düngung von 80 kg N/ha zu deutlichen Mehrerträgen von 5 dt/ha im Mittel aller Standorte und aller übrigen Faktoren. Die Mehrerträge korrelierten negativ mit der N-Menge im Frühjahr.

Bei der Auswertung über alle Standorte konnte die in den Vorjahren gefundene, signifikante Beziehung zwischen der N-Menge im Bestand im Herbst und der optimalen Düngermenge bestätigt werden. Die Beziehungen zwischen den N-Mengen im Bestand im Frühjahr, dem Mittelwert aus N-Menge im Herbst und Frühjahr und N_{min} im Frühjahr waren deutlich schlechter, aber teilweise noch signifikant. Der bei der Umrechnung der Frischmasse auf die N-Menge im Bestand benutzte Faktor von 45 ($\text{kg N/ha} = \text{FM in kg/m}^2 \cdot 45$) bestätigte sich in diesem Jahr. Eine Schätzung der absoluten ortsoptimalen N-Düngermenge aus der Herbst-N-Aufnahme und dem standortspezifischen Ertragspotenzial ist nur bedingt möglich. Die Herbst-N-Aufnahme ist in bestimmten Grenzen positiv mit der Ertragsleistung im nächsten Jahr korreliert. Es konnte gezeigt werden, dass die Wirkung einer Herbst-N-Düngung in Beständen <50 kg N/ha Herbst-N-Aufnahme negativ mit der Bestandesentwicklung korreliert ist.

1 Einleitung

Im Rahmen dieses Abschlussberichtes werden zunächst die Ergebnisse aus dem letzten Versuchsjahr 2008/09 präsentiert. Im Anschluss werden Auswertungen aller Daten aus dem vierjährigen Projekt gezeigt, um weitergehende Schlussfolgerungen daraus ziehen zu können.

Das Projekt „Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial“ hatte zum Ziel, eine einfache, praxistaugliche Methode zur Ermittlung einer bestandes- und standortangepassten Stickstoffdüngung im Frühjahr zu Winterraps zu entwickeln. Ausgangspunkt der Arbeiten ist ein in Frankreich erfolgreich eingeführtes System der Stickstoffdüngung zu Winterraps, das die N-Menge in den Rapsbeständen zu Vegetationsende im Herbst bzw. zu Vegetationsbeginn im Frühjahr sowie das Ertragspotenzial für eine schlagspezifische Düngungsempfehlung berücksichtigt.

Um den Einfluss der Vorwinterentwicklung bzw. der N-Aufnahme vor und nach Winter auf die Höhe der optimalen Düngermengen zu untersuchen, wurden in den Versuchsjahren 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 und 2008/09 in Parzellenversuchen an mehreren Standorten in Deutschland vier verschiedene Ausgangsbedingungen in Bezug auf die Bestandesentwicklung vor Winter durch Variation des Aussaattermins (standortüblich normal vs. spät) und der N-Versorgung im Herbst (0 kg N/ha vs. 40 (2005/06, 2006/07) und bzw. 80 kg N/ha (2007/08, 2008/09; in Berge und Thyrow: 40 kg N/ha) nach der Aussaat) angelegt. Im vierten Versuchsjahr wurde der Versuch auf sechs weitere Standorte ausgedehnt (s.u.). Jede der vier Herbstvarianten wurde mit einem N-Steigerungsversuch (N-Düngung im Frühjahr: 0-280 kg N/ha in fünf Varianten) kombiniert, um anhand einer durch Regressionsanalyse geschätzten Funktion N-Düngung vs. Ertrag die optimale N-Düngermenge im Frühjahr zu ermitteln. Diese berechneten optimalen Düngermengen wurden abschließend mit den vom Raps vor bzw. nach Winter aufgenommenen N-Mengen und den Nmin-Werten im Frühjahr in Beziehung gesetzt. Zusätzlich wurden in 2 zusätzlichen Varianten eine ortsoptimale und eine an die Bestandesentwicklung angepasste N-Düngung geprüft.

2 Material und Methoden

2.1 Parzellenversuche

Die Parzellenversuche (Plot-in-Plot-Verfahren) wurden im Herbst 2008 an den Standorten Futterkamp (Schleswig-Holstein), Hohenschulen (Schleswig-Holstein), Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern), Borwede (Niedersachsen), Roda (Sachsen), Moosburg (Bayern), Ohrensen (Niedersachsen), Groß-Gerau (Hessen), Berge und Thyrow (beide Brandenburg) sowie Kümbdchen und Nornborn (beide Rheinland-Pfalz) als zweifaktorielle, vollständig randomisierte Blockanlagen mit vierfacher Wiederholung für jede Saatzeit angelegt. In Kümbdchen und Nornborn konnte allerdings nur jeweils eine Saatzeit geprüft werden. Die 2. Saatzeit in Gülzow musste wegen lückiger Bestände abgebrochen werden. Die Sorte NK Fair (Linien-sorten) wurde auf den Standorten Gülzow, Hohenschulen, Roda, Nornborn, Berge und Moosburg und die Sorte Trabant (Hybridsorten) an den Standorten Futterkamp, Hohenschulen, Borwede, Ohrensen, Groß-Gerau, Kümbdchen und Thyrow angebaut. Eine Randomisation der Aussaattermine war aus versuchstechnischen Gründen nicht möglich.

Die N-Düngung wurde im Herbst in zwei Stufen und im Frühjahr in 5 Stufen variiert (Tab. 1). Neben den Düngevarianten der N-Steigerung wurden die Versuchsergebnisse aus den ersten drei Versuchsjahren in einer dem Bestand angepassten N-Düngermenge (Variante 11 und 12) umgesetzt und mit der offiziellen Empfehlung (Variante 13 und 14) verglichen. Die in den Varianten 11-14 gedüngten N-Mengen sind in Tabelle A1 und A2 im Anhang aufgeführt. Die Versuchstandorte wurden von Frau Gronow im Frühjahr 2009 begutachtet.

Tab. 1: Düngevarianten im Versuch (je Saatzeit) (kg N/ha)

Variante	N im Herbst	N im Frühjahr	N1	N2
1	0	0	0	0
2	0	80	40	40
3	0	160	80	80
4	0	240	120	120
5	0	280	140	140
6	40/80 [‡]	0	0	0
7	40/80	80	40	40
8	40/80	160	80	80
9	40/80	240	120	120
10	40/80	280	140	140
11	0	bestandesangepasst		
12	40/80	bestandesangepasst		
13	0	nach offizieller Empfehlung		
14	40/80	nach offizieller Empfehlung		

[‡] in Berge und Thyrow: 40 kg N/ha

2.2 Probenahmen

Pflanzen- und Nmin-Proben wurden zu den Terminen ‚Vegetationsende im Herbst‘ und ‚Vegetationsbeginn im Frühjahr‘ genommen. Rapspflanzen wurden aus fünf mal 1 m laufende Reihe entnommen und nach Kiel versandt, wo neben der oberirdischen grünen Frischmasse die Gesamttrockenmasse und die entsprechende N-Konzentration mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) bestimmt wurden. Parallel zu den Probenahmen wurden Nmin-Proben (0-90 cm bzw. 0-60 cm) auf der Probenahmefläche entnommen.

2.3 Statistische Analyse

Die Varianzanalyse über die vier Versuchsjahre 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008 und 2008/09 wurde mit einem gemischten Modell durchgeführt, wobei die Interaktion jahr x ort x saatzeit als random gesetzt wurde. Für die Rapsertträge wurde eine Varianzanalyse und ein multipler Mittelwertvergleich (Student-Newmans-Keuls, p=0.05) für die einzelnen Versuchsjahre durchgeführt. Da die Saatzeiten als getrennte Versuche angelegt wurden, müssen sie auch bei einer jahresweisen statistischen Analyse getrennt ausgewertet werden. Die optimalen Düngermengen wurden mit quadratischen Funktionen (Regressionsanalyse) separat für jede Saatzeit x Herbst-N-Kombination ermittelt und dann mit den gemessenen Parametern in Beziehung gesetzt (Kovarianz-, Regressionsanalyse).

3 Ergebnisse

3.1 N-Mengen in den Rapsbeständen zu Vegetationsende im Herbst und Vegetationsbeginn im Frühjahr

Der Wachstumsverlauf im Herbst 2008 war gekennzeichnet durch eher durchschnittlichen Temperaturen (für den Standort Hohenschulen: Tab. 2). Im Gegensatz zu den beiden Vorjahren gab es eine ausgeprägte Vegetationsruhe über Winter.

Tab. 2: Monatsmitteltemperaturen (°C) für August bis März am Standort Hohenschulen

	Jahr				Langj. Mittel
	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	
August	15,8	16,6	17,0	16,7	17,9
September	15,3	17,0	13,1	13,2	14,2
Oktober	11,8	12,5	8,9	9,5	9,8
November	5,8	7,7	5,0	6,4	4,9
Dezember	2,8	6,5	3,3	2,8	1,6
Januar	-0,6	5,5	4,4	-0,1	1,2
Februar	1,6	3,7	4,7	0,5	2,0
März	1,0	7,2	4,3	4,1	3,4

Die Herbst-N-Gabe von 80 kg N/ha steigerte die N-Aufnahme vor Winter von 26 auf 65 kg N/ha in den normal gesäten Beständen und von 19 auf 35 kg N/ha in den Spätsaaten. Die Variation zwischen den Standorten fiel in diesem Jahr vergleichsweise groß aus (Tab. 3).

Die Monate November und Dezember waren wärmer, die Monate Januar und Februar dagegen kälter als das langjährige Mittel. Im Mittel aller Standorte kam es während des Winters nur zu geringen Veränderungen der Trockenmassen und der N-Menge im Bestand.

Aufgrund der besseren N-Aufnahme lagen die Nmin-Werte in der Schicht 0-60 cm unter den Normalsaaten mit 22 (ungedüngt) bzw. 39 kg N/ha (mit Herbst-N) auf einem niedrigen Niveau als die unter dem spät gedrückten Raps mit 34 bzw. 69 kg N/ha.

Tab. 3: Trockenmassen (g/m²) und N-Aufnahmen (kg N/ha) vor und nach Winter 2008/09

Standort	Aussaat	Herbst-N-Dgg.	vor Winter		nach Winter	
			TM (g/m ²)	N-Aufnahme (kg N/ha)	TM (g/m ²)	N-Aufnahme (kg N/ha)
Berge	normal	0	153,2	51,4	151,8	60,6
		40	218,7	85,1	175,3	73,5
	spät	0	41,1	21,5	55,2	24,7
		40	59,5	32,5	119,6	56,1
Borwede	normal	0	91,8	33,9	81,3	30,8
		80	221,6	95,8	193,9	79,3
	spät	0	91,5	37,1	94,3	39,5
		80	169,8	82,4	171,3	78,1
Futterkamp	normal	0	62,0	29,4	75,3	33,1
		80	134,4	64,8	145,5	61,4
	spät	0	21,1	11,5	57,5	26,7
		80	40,2	22,3	82,9	39,2
Groß-Gerau	normal	0	68,9	21,3	60,8	21,2
		80	270,9	82,4	240,0	71,6
	spät	0	94,4	36,5	59,8	22,8
		80	195,4	84,0	213,7	80,0
Gülzow	normal	0	87,1	26,0	93,5	41,6
		80	253,3	115,8	221,8	104,0
Hohenschulen NK Fair	normal	0	9,9	5,2	13,2	6,7
		80	23,8	13,1	31,6	16,0
	spät	0	6,5	3,4	7,4	3,9
		80	13,6	7,9	18,5	9,7
Hohenschulen Trabant	normal	0	13,7	7,3	18,7	9,0
		80	26,5	14,4	46,2	22,6
	spät	0	8,3	4,7	14,9	7,7
		80	13,7	8,0	23,0	11,4
Kümbdchen	normal	0	58,9	31,8	40,9	21,7
		80	73,0	41,3	39,1	21,2
Moosburg	normal	0	64,7	19,3	50,6	19,0
		80	127,9	49,8	114,8	42,0
	spät	0	55,4	21,4	53,5	21,3
		80	96,5	47,5	79,2	34,8
Nomburg	normal	0	85,5	33,8	54,7	25,5
		80	149,2	64,2	101,3	49,5
Ohrensen	normal	0	95,0	32,8	120,3	43,5
		80	178,9	75,8	167,1	65,3
	spät	0	21,4	11,0	39,5	18,9
		80	24,0	12,9	63,3	29,5
Roda	normal	0	87,2	27,4	107,4	43,5
		80	223,4	89,4	226,7	87,4
	spät	0	28,1	16,6	72,2	31,1
		80	29,9	18,9	101,2	44,0
Thyrow	normal	0	65,0	20,1	76,5	30,0
		40	167,3	51,4	139,1	48,0
	spät	0	51,7	26,2	44,1	19,5
		40	66,0	33,2	95,2	40,5
Mittel	normal	0	72,5	26,1	72,7	29,7
		40/80	159,1	64,9	141,7	57,1
	spät	0	42,0	18,9	50,1	21,8
		40/80	70,9	35,0	96,8	42,3

3.2 Erträge und Berechnung der optimalen Düngermenge sowie die Beziehung zwischen der optimalen N-Düngermenge (N_{opt}) und der N-Menge im Herbst für das Jahr 2008/09

Wie in den Vorjahren wurde in einem ersten Schritt der Einfluss der Herbstdüngung auf die Rapsrerträge über alle Stufen der Frühjahrsdüngung an den sieben Standorten zu den zwei Saatzeiten untersucht. In den Tab. 4 und 5 sind die Auswertungen der Erträge 2009 zusammengefasst.

Wie im Vorjahr steigerte eine Herbst-N-Gabe von 80 kg N/ha den Rapsrertrag auf fast allen Standorten signifikant um im Mittel aller Faktoren und Standorte 5,2 dt/ha (Tab. 4). In der Normalsaat wurden 5,3 und in der Spätsaat 5,1 dt/ha mehr geerntet. Diese Mehrerträge insbesondere in den Spätsaaten sind vor dem Hintergrund der schwachen Herbstentwicklung besonders erstaunlich (siehe Tab. 3). Die N_{min}-Werte in 0-60 cm zu Vegetationsbeginn (Normalsaat: 26 (ungedüngt) bzw. 20 kg N/ha (mit Herbstdüngung); Spätsaat: 20 bzw. 26 kg N/ha) als auch die an den meisten Standorten erhobenen N_{min}-Werte in 0-90 cm geben keine Hinweise darauf, ob u.U. Reste aus der Herbstdüngung in tieferen Bodenschichten vorlagen, die vom Raps hätten genutzt werden können. Somit muss die Ursachenforschung für die erhebliche Ertragswirkung der Herbstdüngung in den beiden Jahren 2007/08 und 2008/09 Spekulation bleiben. Allerdings nahm der Effekt der Herbst-N-Gabe mit steigender Frühjahrsdüngung ab (Tab. 5), was darauf hindeutet, dass der im Herbst gedüngte Stickstoff vermutlich in tieferen Bodenschichten (>90 cm) zumindest teilweise vom Raps genutzt werden konnte.

Die Frühjahrsdüngung steigerte die Erträge auf allen Standorten signifikant (Tab. 6). Die parallel dazu geprüften Varianten einer ortsüblichen N-Düngung bzw. einer Düngung nach offizieller Empfehlung und die an die Herbstentwicklung angepasste N-Düngung unterschieden sich kaum in ihrer Höhe (Tab. A1 und A2 im Anhang), so dass auch keine Differenzierung in der Ertragswirkung zu erwarten war. Obwohl meistens nicht signifikant, erzielten die Varianten mit 240 bzw. 280 kg N/ha höhere Erträge als die Varianten mit der ortsüblichen Düngung bzw. der angepassten Düngung, was evtl. auf eine gewisse N-Limitierung hindeuten könnte.

Die Bestimmung der optimalen N-Düngermengen erfolgte mittels Regressionsanalyse. Dabei wurden für jeden Standort quadratische Funktionen an die Ertragsdaten je Saatzeit und Herbstdüngungsstufe angepasst, so dass das ökonomische Düngeoptimum bestimmt werden konnte (Tab. 7). Für die Ermittlung der ökonomische Optima wurde ein Rapspreis von 30 €/dt und ein N-Preis von 0,75 €/kg N unterstellt.

Tab. 4: Einfluss der Herbst-N-Düngung von 40 bzw. 80 kg N/ha auf den Rapserttrag (dt/ha) 2009 im Mittel aller übrigen Faktoren

Standort	Saatzeit	Rapserttrag (dt/ha)	
		0 kg N/ha im Herbst	40/80 kg N/ha im Herbst
Berge	normal	52,0 ^{a‡}	49,7 ^a
	spät	48,1 ^a	48,4 ^a
Borwede	normal	50,7 ^b	57,4 ^a
	spät	55,0 ^b	60,6 ^a
Futterkamp	normal	58,9 ^a	60,5 ^a
	spät	55,7 ^b	57,4 ^a
Groß-Gerau	normal	38,4 ^b	43,2 ^a
	spät	40,9 ^b	45,0 ^a
Gülzow	normal	56,9 ^b	63,5 ^a
Hohenschulen	normal (NK Fair)	36,9 ^b	49,4 ^a
	spät (NK Fair)	26,3 ^b	36,5 ^a
	normal (Trabant)	40,9 ^b	50,5 ^a
	spät (Trabant)	37,5 ^b	48,8 ^a
Kümbdchen	normal	38,4 ^a	38,6 ^a
Moosburg	normal	41,4 ^b	46,3 ^a
	spät	43,6 ^b	46,5 ^a
Nomborn	normal	50,7 ^b	53,4 ^a
Ohrensen	normal	48,6 ^b	54,2 ^a
	spät	40,4 ^b	46,1 ^a
Roda	normal	44,4 ^b	47,4 ^a
	spät	45,9 ^b	47,9 ^a
Thyrow	normal	36,0 ^b	44,4 ^a
	spät	27,8 ^b	30,2 ^a
Mittel	normal	45,1 ^b	50,4 ^a
	spät	41,7 ^b	46,8 ^a
Mittel		43,7 ^b	48,9 ^a

[‡] Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei p=0,05 zwischen den Mittelwerten einer Zeile

Tab. 5: Einfluss der Herbst- und Frühjahrs-N-Düngung auf den Rapserttrag (dt/ha) 2009 (n=1257) und 2006-2009 (n=2478) im Mittel aller übrigen Faktoren

2009	Herbst-N-Düngung		Mehrertrag
	0 kg N/ha	80 kg N/ha	
Saatzeit			
normal	45,1 ^{b‡}	50,4 ^a	+5,3
spät	41,7 ^b	46,8 ^a	+5,1
Frühjahrs-N-Düngung			
0/0 kg N/ha	20,5 ^b	29,8 ^a	+9,3
40/40 kg N/ha	37,0 ^b	44,5 ^a	+7,5
80/80 kg N/ha	46,0 ^b	52,2 ^a	+6,2
120/120 kg N/ha	50,1 ^b	55,0 ^a	+4,9
140/140 kg N/ha	53,3 ^b	56,4 ^a	+3,1

[‡] Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei p=0,05 zwischen den Mittelwerten einer Zeile, signifikante Interaktion Herbst-N x Frühjahrs-N

2006-2009	Herbst-N-Düngung		Mehrertrag
	0 kg N/ha	40 bzw. 80 kg N/ha	
Saatzeit			
normal	44,8 ^{b‡}	48,7 ^a	+3,9
spät	43,6 ^b	47,6 ^a	+4,0
Frühjahrs-N-Düngung			
0/0 kg N/ha	27,1 ^b	33,4 ^a	+6,3
40/40 kg N/ha	41,1 ^b	46,5 ^a	+5,4
80/80 kg N/ha	48,2 ^b	51,7 ^a	+3,5
120/120 kg N/ha	51,5 ^b	54,2 ^a	+3,0
140/140 kg N/ha	53,0 ^b	54,9 ^a	+1,9

[‡] Gleiche Buchstaben bedeuten keine signifikanten Unterschiede bei p=0,05 zwischen den Mittelwerten einer Zeile, signifikante Interaktion Herbst-N x Frühjahrs-N

Tab. 6: Einfluss der Frühjahrs-N-Düngung auf den Rapserttrag (dt/ha) 2009 im Mittel aller übrigen Faktoren

Standort	Saatzeit	N-Düngung im Frühjahr					Flex [†]	o.E. [†]
		0	80	160	240	280		
Berge	normal	39,9 ^b	53,4 ^a	52,0 ^a	51,9 ^a	57,1 ^a	50,9 ^a	51,8 ^a
	spät	38,8 ^b	41,3 ^b	48,3 ^a	54,2 ^a	51,4 ^a	51,8 ^a	50,9 ^a
Borwede	normal	31,9 ^f	48,4 ^e	55,3 ^d	61,1 ^b	64,0 ^a	58,0 ^c	59,4 ^{bc}
	spät	34,4 ^e	50,7 ^d	61,6 ^c	65,0 ^b	67,7 ^a	63,2 ^c	62,0 ^c
Futterkamp	normal	29,9 ^d	53,1 ^c	64,6 ^b	67,8 ^b	71,7 ^a	65,0 ^b	66,0 ^b
	spät	28,9 ^d	47,9 ^c	61,4 ^b	66,0 ^a	68,4 ^a	64,5 ^{ab}	61,9 ^b
Groß-Gerau	normal	22,0 ^c	39,3 ^b	43,5 ^a	46,1 ^a	46,0 ^a	45,7 ^a	43,1 ^a
	spät	21,3 ^d	39,0 ^c	46,4 ^b	48,0 ^b	50,6 ^a	48,8 ^{ab}	46,5 ^b
Gülzow	normal	44,7 ^c	57,0 ^b	63,1 ^a	63,2 ^a	65,3 ^a	62,9 ^a	63,8 ^a
	normal (NK Fair)	13,5 ^d	33,8 ^c	45,2 ^b	50,0 ^{ab}	54,7 ^a	52,8 ^{ab}	48,5 ^{ab}
	spät (NK Fair)	10,3 ^c	18,1 ^b	33,3 ^a	34,5 ^a	42,9 ^a	39,2 ^a	34,3 ^a
	normal (Trabant)	17,5 ^c	35,1 ^b	50,0 ^a	52,3 ^a	58,8 ^a	54,0 ^a	52,2 ^a
Kümbdchen	spät (Trabant)	14,3 ^d	30,0 ^c	43,2 ^b	50,7 ^{ab}	54,7 ^a	51,5 ^{ab}	47,8 ^{ab}
	normal	23,5 ^d	35,3 ^c	40,6 ^{ab}	43,1 ^{ab}	44,6 ^a	42,8 ^{ab}	39,6 ^b
Moosburg	normal	22,8 ^c	37,2 ^b	48,9 ^a	50,0 ^a	50,0 ^a	48,6 ^a	49,6 ^a
	spät	25,8 ^c	40,2 ^b	48,7 ^a	50,1 ^a	51,5 ^a	49,9 ^a	49,2 ^a
Nomborn	normal	28,6 ^d	47,2 ^c	54,8 ^b	59,8 ^a	59,7 ^a	58,3 ^{ab}	56,5 ^{ab}
Ohrensen	normal	31,1 ^d	45,5 ^c	53,8 ^b	60,3 ^a	60,6 ^a	56,7 ^b	54,3 ^b
	spät	15,3 ^d	37,0 ^c	46,2 ^b	51,8 ^{ab}	54,0 ^a	49,6 ^{ab}	48,5 ^{ab}
Roda	normal	31,8 ^b	46,7 ^a	47,8 ^a	49,4 ^a	49,5 ^a	47,8 ^a	48,3 ^a
	spät	30,5 ^d	46,3 ^c	48,9 ^b	52,0 ^{ab}	52,7 ^a	49,5 ^b	49,2 ^b
Thyrow	normal	22,8 ^d	32,9 ^c	39,5 ^b	46,1 ^a	48,1 ^a	46,6 ^a	45,2 ^a
	spät	14,0 ^d	25,2 ^c	29,5 ^b	33,1 ^{ab}	34,4 ^a	34,3 ^a	32,5 ^{ab}
Mittel	normal	27,0 ^f	42,9 ^e	50,7 ^d	53,9 ^b	56,1 ^a	53,1 ^b	52,2 ^c
	spät	22,9 ^f	37,7 ^e	46,9 ^d	50,7 ^b	53,2 ^a	50,3 ^b	48,9 ^c
Mittel		25,2 ^f	40,8 ^e	49,0 ^d	52,5 ^b	54,8 ^a	51,9 ^b	50,8 ^c

[†] Flex = an Bestandesentwicklung angepasst (Var. 11+12)
o.E. = offizielle Empfehlung(ortsüblich) (Var. 13+14)

Tab. 7: Ökonomisches Optimum (Nopt; kg N/ha) und der entsprechende Rapsertag (Yopt; dt/ha) 2009 auf der Basis von 30 Euro/dt Raps und 0,75 Euro/kg N

Standort	Saatzeit	0 kg N/ha im Herbst		80 kg N/ha im Herbst	
		Nopt (kg N/ha)	Yopt (dt/ha)	Nopt (kg N/ha)	Yopt (dt/ha)
Berge	normal	181	57,5	106	50,8
	spät	209	54,1	151	51,6
Borwede	normal	264	60,5	253	65,1
	spät	257	65,3	237	67,8
Futterkamp	normal	245	70,3	233	69,6
	spät	290	70,2	219	65,4
Groß-Gerau	normal	221	44,6	178	46,8
	spät	238	48,5	199	49,7
Gülzow	normal	199	62,2	194	65,7
Hohenschulen	normal (NK Fair)	240	46,2	246	60,4
	spät (NK Fair)	257	33,2	k.O. [‡]	k.O.
	normal (Trabant)	273	54,5	234	59,2
	spät (Trabant)	250	47,3	303	60,9
Kümbdchen	normal	226	42,8	237	43,8
Moosburg	normal	218	48,2	208	52,6
	spät	213	49,4	219	52,4
Nomborn	normal	240	59,1	212	60,3
Ohrensen	normal	278	59,4	266	61,5
	spät	275	51,6	233	54,4
Roda	normal	188	48,8	173	49,9
	spät	202	51,3	220	51,8
Thyrow	normal	260	44,9	218	51,2
	spät	196	33,4	183	34,0

[‡] kein Optimum bestimmbar (berechnetes Optimum lag weit außerhalb der geprüften Spanne)

Die ökonomisch optimalen Düngermengen wurden nun mit der N-Menge im Bestand im Herbst in Beziehung gesetzt (Abb. 1). Generell lag die N-Aufnahme vor Winter auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in den beiden Vorjahren. Die Kovarianzanalyse ergab eine signifikante Beziehung zwischen beiden Parametern. Mit steigenden N-Mengen im Bestand im Herbst sinkt die optimale N-Düngermenge um $b=-0,42$. Dieser Wert liegt unter dem der vergangenen drei Jahren ($b=-0,7$).

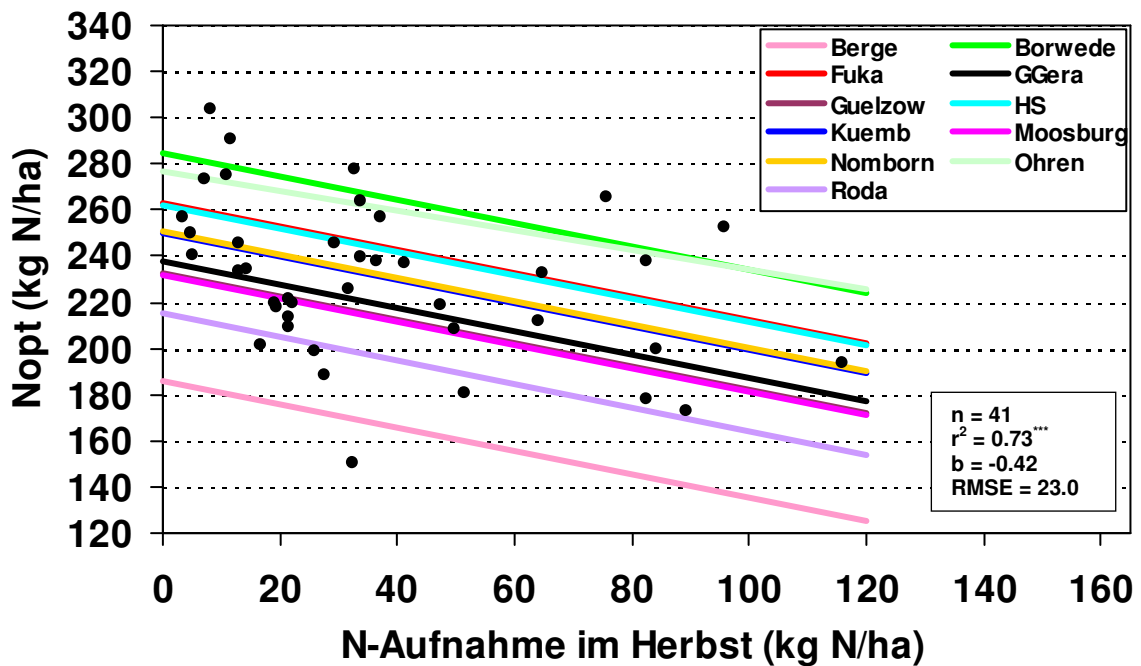


Abb. 1: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Herbst und der optimalen N-Dünger-
menge im Frühjahr 2008/09 (r^2 für das Gesamtmodell)

In 2007/08 konnte die N-Düngung unter Berücksichtigung der Herbst-N-Aufnahme auf Grund der schwachen Herbstentwicklung nicht mit der Offizialempfehlung verglichen werden. In diesem Jahr war die Variation der Herbstentwicklung deutlich größer. In 2009 wurde erstmalig eine Erhöhung der N-Düngung im Frühjahr bei Beständen mit <50 kg N/ha im Herbst empfohlen. Daher werden die Ergebnisse in Abb. 2 auch dementsprechend differenziert dargestellt. Bei Beständen, die im Herbst 2008 mehr als 50 kg N/ha aufgenommen hatten, konnte die Düngung im Mittel der Standorte um 14 kg N/ha ohne Ertragseinbußen gesenkt werden. In schwächer entwickelten Beständen (<50 kg N/ha) wurde die N-Düngung um 16 kg N/ha erhöht, was zu einer signifikanten Ertragssteigerung um 1,3 dt/ha führte.

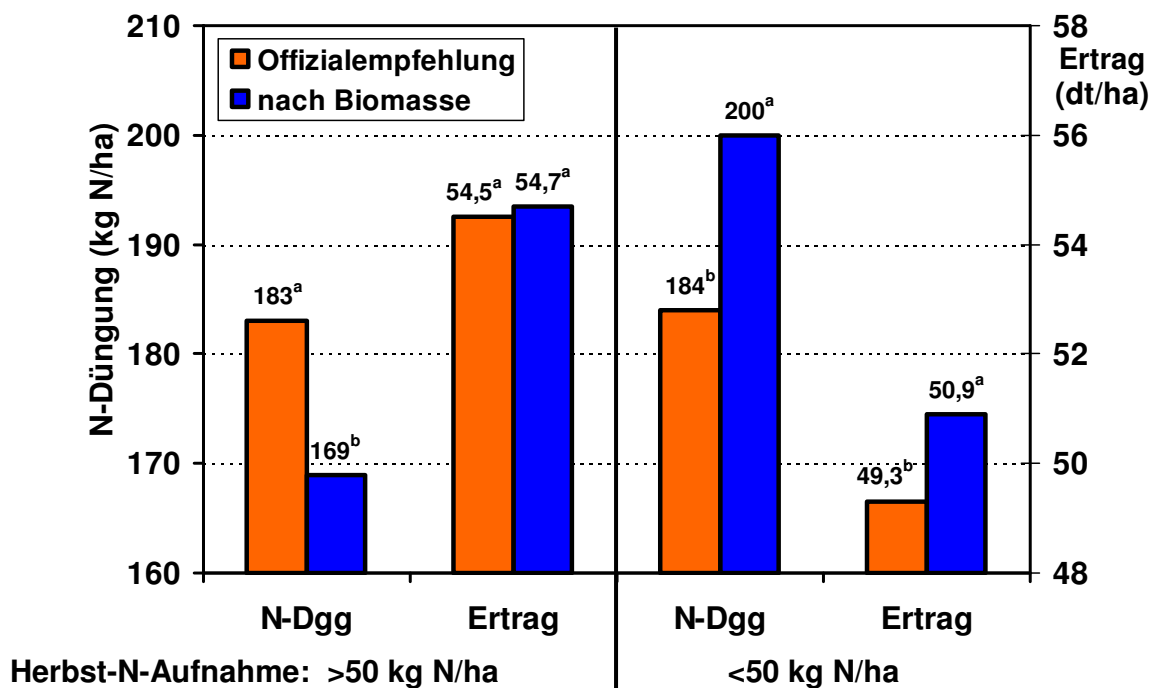


Abb. 2: Vergleich zwischen der Offizialempfehlung und der N-Düngung nach Biomasse (2009; Mittel über 12 Standorte; >50 kg N/ha: n = 99; <50 kg N/ha: n = 256)

3.3 Abschließende Auswertung des Projektes

3.3.1 Abschätzung der N-Mengen in Herbst

Für den in der Einleitung beschriebenen Versuchsansatz ist es wichtig, praxistaugliche Methoden zur einfachen und schnellen Abschätzung der N-Mengen im Bestand zu entwickeln. Die Wägung der Frischmasse als Methode zur Bestimmung der N-Menge im Bestand hat sich in Frankreich als praxistaugliche Methode behauptet. Daher wurde dieses Verfahren in den Jahren 2006/07, 2007/08 und 2008/09 geprüft. Bei der Beprobung der Versuchsfelder im Herbst und Frühjahr wurden eine mittlere N-Konzentration von 4,5 % und eine mittlere Trockenmasse von 10 % ermittelt. Daraus ergibt sich der Faktor 45 für die Umrechnung von oberirdischer Frischmasse in kg/m^2 auf N-Menge im Bestand (kg N/ha). In der Abb. 3 ist die Beziehung zwischen der Frischmasse (kg/m^2) und den gemessenen N-Mengen in den Rapsbeständen im Herbst dargestellt. Die Steigung der Geraden liegt bei $b=44,9$, d.h., der aus den Ergebnissen des Vorjahres abgeleitete Umrechnungsfaktor von 45 wird damit bestätigt. Auch die übrigen statistischen Parameter belegen, dass die Wägung der Frischmasse eine geeignete, praxistaugliche Methode zur einfachen Abschätzung der oberirdischen N-Mengen in frühen Entwicklungsstadien des Raps ist.

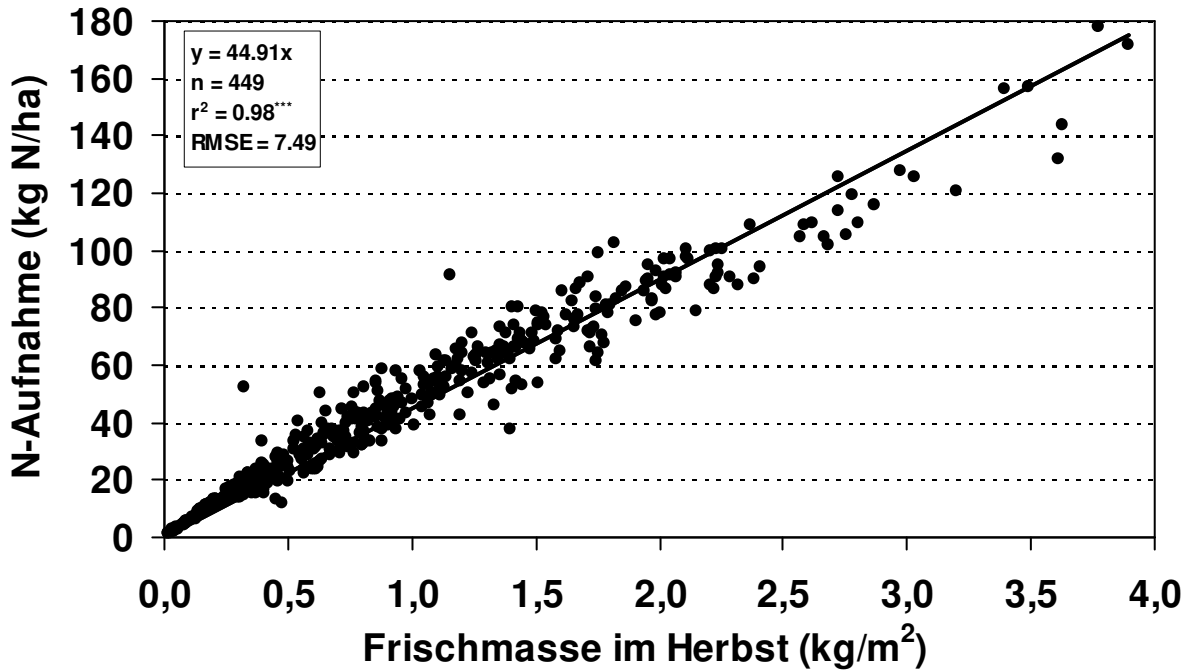


Abb. 3: Beziehung zwischen der Frischmasse und der oberirdischen N-Aufnahme im Herbst (2006/07, 2007/08 und 2008/09)

3.3.2 Beziehungen zwischen der optimalen N-Düngermenge (Nopt) und der N-Menge im Herbst, im Frühjahr und dem Nmin-Wert 0-60 cm im Frühjahr

Um eine generelle Aussage über die Beziehungen zwischen der optimalen Düngermenge und den erhobenen N-Mengen im Rapsbestand oder Nmin zu treffen, wurden diese über alle Standorte (Umwelten) unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehender Versuchsjahre 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09 analysiert. Es gab keinen signifikanten Jahreseffekt. Zudem waren die Interaktionen zwischen den Standorten und den Parametern (N-Menge im Herbst, N-Menge im Frühjahr, Nmin im Frühjahr) nicht signifikant. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in den vier Versuchsjahren die optimale N-Menge an den verschiedenen Standorten zwar variierten, aber ähnlich auf Unterschiede in den N-Mengen im Bestand zu den untersuchten Terminen reagierten. Alle Regressionen in der mehrortigen vierjährigen Auswertung weisen daher die gleiche Steigung auf (Abb. 4-6).

Wie schon in der dreijährigen Auswertung konnte in der Analyse über vier Jahre eine signifikante Beziehung zwischen der optimalen Düngermenge und der N-Menge im Bestand im Herbst gefunden werden (Abb. 4). Die Steigung der Geraden beträgt $b = -0,70$. Die Ergebnisse aus 4 Jahren belegen, dass im Herbst schwächer entwickelte Bestände (N-Aufnahme < 50 kg N/ha) ein höheres Düngeroptimum im Frühjahr aufweisen als ein angenommener Durchschnittsbestand mit 50 kg N/ha. Unter Berücksichtigung der Ölkonzentration ergibt sich

ein ähnlicher Zusammenhang wie bei alleiniger Betrachtung der Ertragsreaktion, allerdings sind die Steigung mit $b=-0,39$ und der r^2 -Wert mit $0,44$ deutlich geringer (Abb. 5).

Die Beziehung der optimalen N-Düngermenge zur N-Menge im Bestand im Frühjahr ist zwar signifikant, aber bezogen auf die statistischen Maßzahlen r^2 und RMSE deutlich unpräziser (Abb. 6). Das gleiche gilt für den Zusammenhang zwischen den Nmin-Werten im Frühjahr und der optimalen N-Düngermenge (Abb. 7). In allen Jahren waren die Nmin-Werte im Frühjahr aufgrund der hohen N-Aufnahme der Bestände bis auf einige Ausnahmen relativ niedrig. Die Aussagekraft von Nmin-Werten im Frühjahr unter Raps zur Bemessung der Düngermenge ist vor dem Hintergrund des dritten Versuchsjahres auch weiterhin kritisch zu hinterfragen.

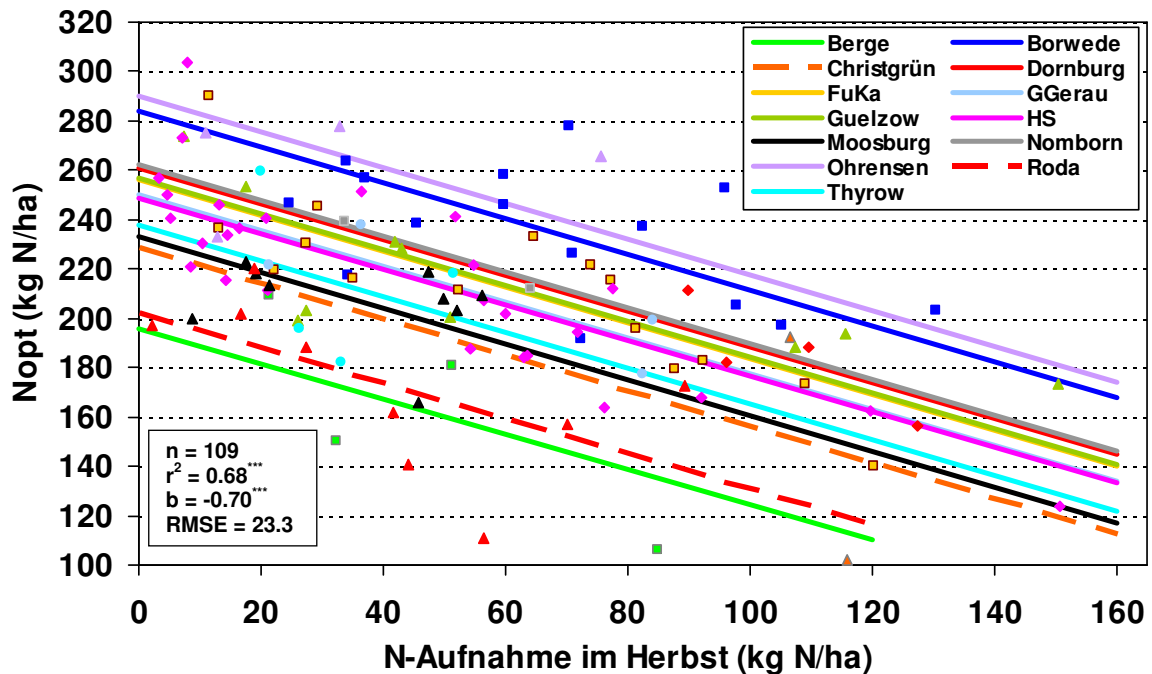


Abb. 4: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Herbst und der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09 (r^2 für das Gesamtmodell)

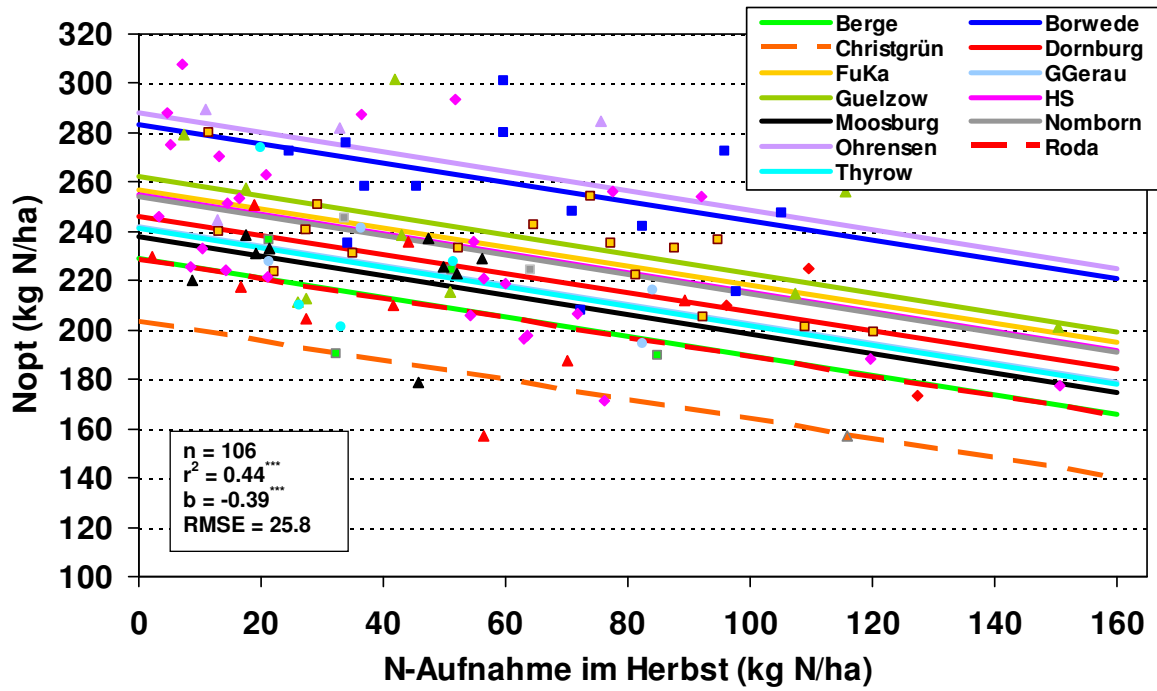


Abb. 5: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Herbst und der optimalen N-Dünger-
menge im Frühjahr unter Berücksichtigung der Ölkonzentration für 2005/06,
2006/07, 2007/08 und 2008/09 (r^2 für das Gesamtmodell)

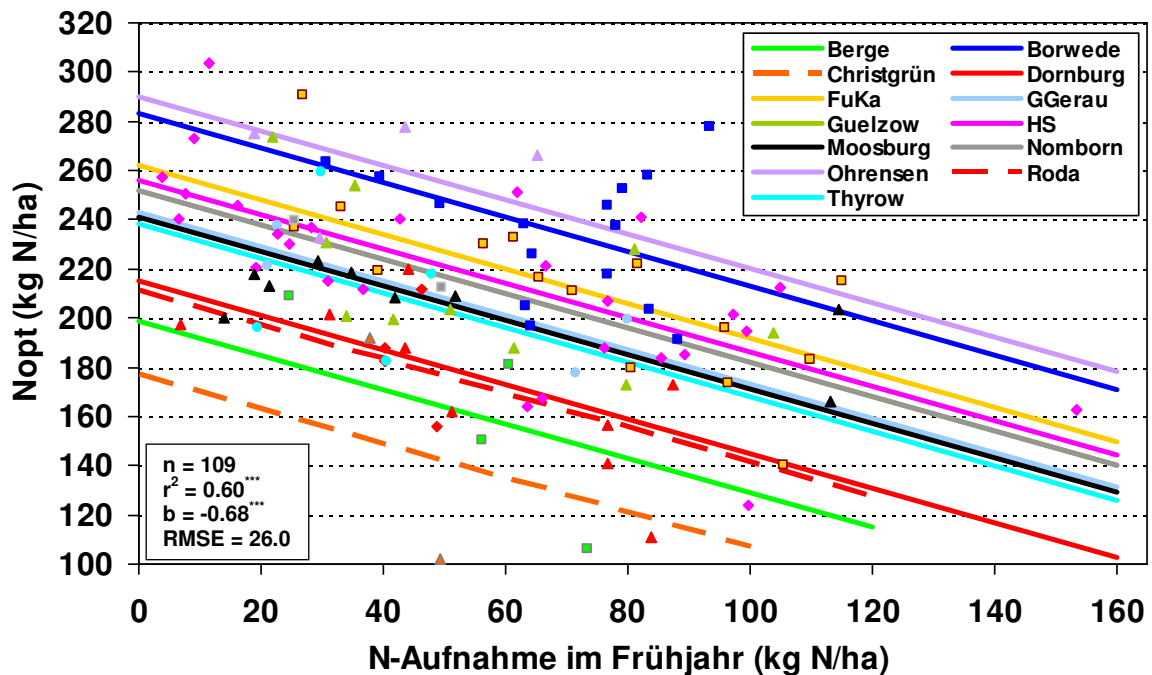


Abb. 6: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Frühjahr und der optimalen N-Dünger-
menge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09
(r^2 für das Gesamtmodell)

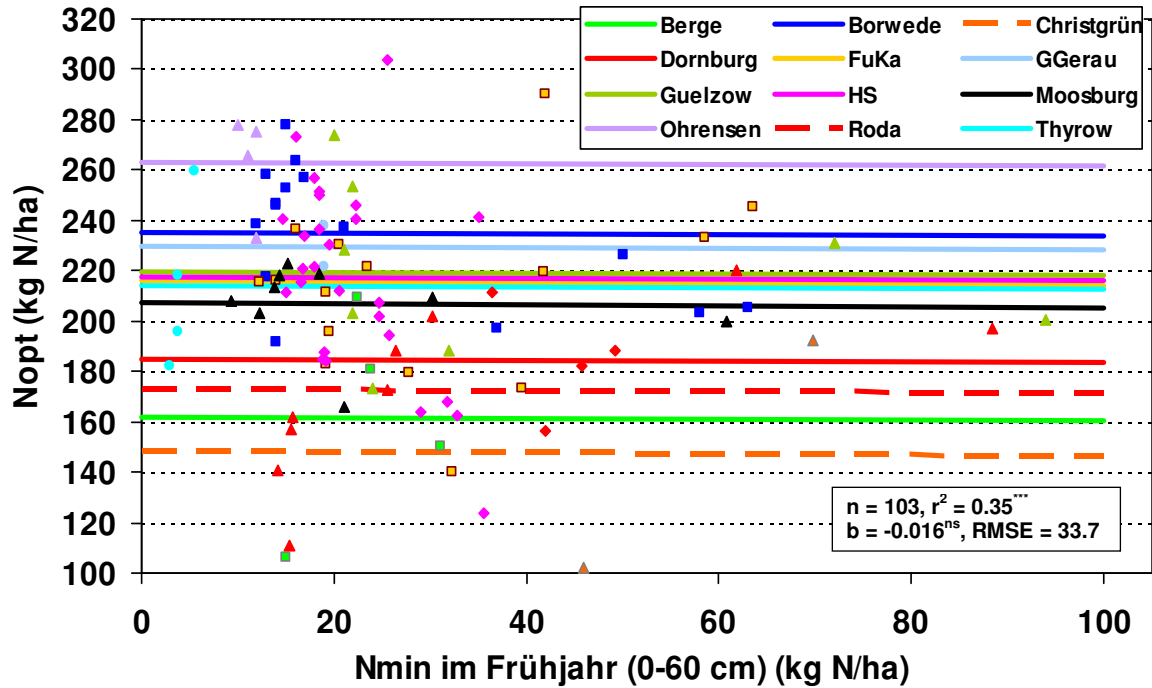


Abb. 7: Beziehung zwischen dem Nmin-Wert in 0-60 cm im Frühjahr und der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09 (r^2 für das Gesamtmodell)

Bei dem hier vorgestellten Ansatz wird die N-Menge, die der Rapsbestand vor Winter aufgenommen hat, zur Korrektur der ortsoptimalen N-Düngung im Frühjahr herangezogen. Die nach der Düngeverordnung erforderliche ortsoptimale Düngebedarfsermittlung basiert u.a. auf dem erwarteten Ertrag. Aus den vorliegenden Daten lässt sich allerdings nur eine schwache Beziehung zwischen der optimalen N-Düngermenge und dem entsprechenden Ertrag finden (Abb. 8, siehe auch Kap. 3.3.3), wohl aber eine signifikante zwischen Nopt und dem Ertrag der ungedüngten Variante als Indikator für das N-Nachlieferungsvermögen (Abb. 9).

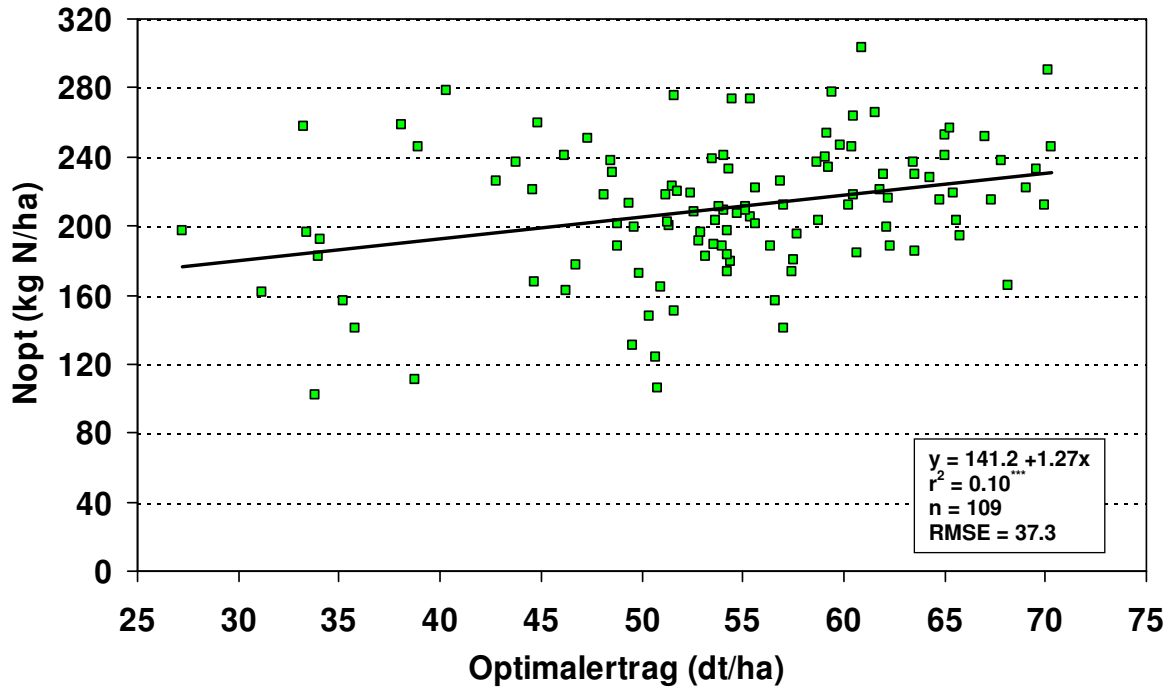


Abb. 8: Beziehung zwischen dem Ertragsniveau bei optimaler N-Düngung und der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09 im Mittel aller Jahre und Orte

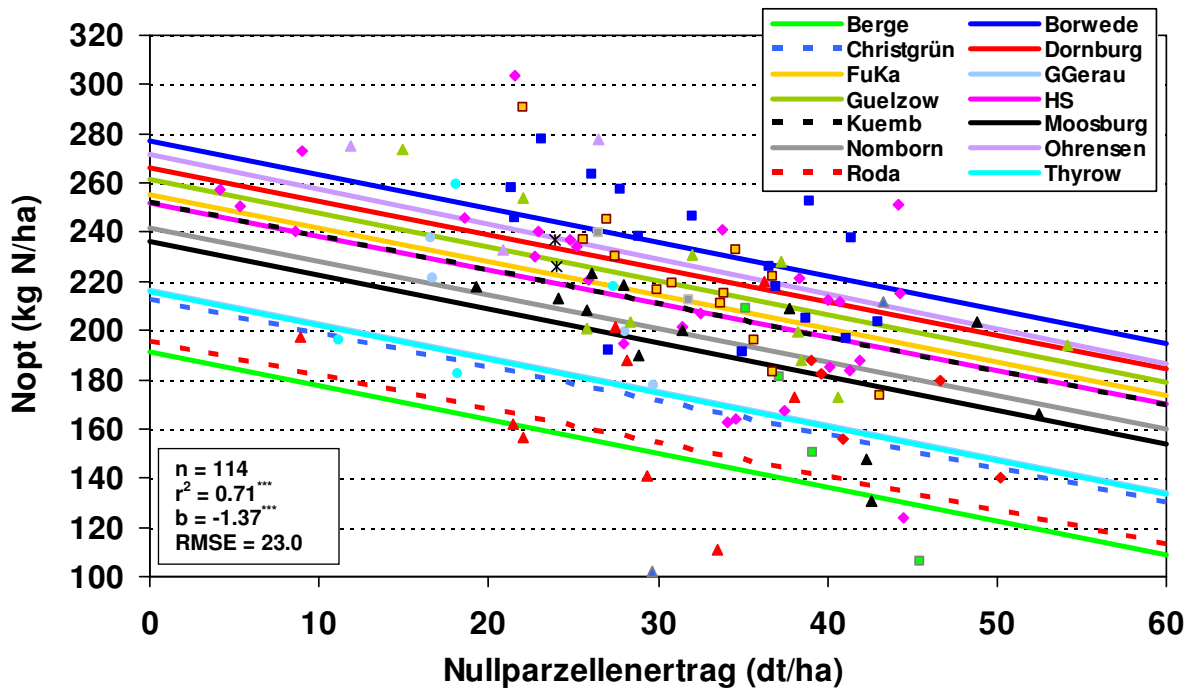


Abb. 9: Beziehung zwischen dem Nullparzellenertrag und der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09 (r^2 für das Gesamtmodell, Geraden für 2007)

3.3.3 Schätzung der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr (Nopt)

Das oben vorgestellte Verfahren berücksichtigt die vom Raps vor Winter aufgenommene N-Menge zur Korrektur der ortsoptimalen N-Düngung im Frühjahr (Nopt). Im Folgenden wird untersucht, ob anhand des vorliegenden Datenmaterials eine direkte Bestimmung der ortsoptimalen Dünger-N-Menge möglich ist. Dazu wurden verschiedene Kombinationen aus der Herbst-N-Aufnahme (Herbst-N), dem Optimalertrag (Yopt) als Indikator für das Ertragspotential und dem Nullparzellenertrag (Ynull) als Indikator für das N-Mineralisationspotenzial geprüft (Tab. 8). In Abb. 8 wurde schon gezeigt, dass nur ein schwacher Zusammenhang zwischen dem Ertragspotential und Nopt zu beobachten ist. Auch mit den erweiterten Ansätzen lässt sich Nopt im Mittel aller Daten (n=109) mit r^2 -Werten von 0,31-0,60 nur vergleichsweise unsicher schätzen. Die Kombination aus Yopt und Ynull mit $r^2=0,60$ erscheint auf den ersten Blick ein viel versprechender Ansatz (Abb. 10), jedoch eignet er sich nicht für eine Prognose, da die Schätzung *ex post*, also im Nachhinein, mit den orts- und jahresspezifischen Werten für Yopt und Ynull gemacht wurde. Da aber zumindest die entsprechenden jahresspezifischen Werte *ex ante* nicht bekannt sind, können für eine Prognose nur die langjährigen Mittelwerte als beste Schätzung für das Ertragspotential und den Nullparzellenertrag herangezogen werden. Dadurch wird aber ein Großteil der Varianz nicht mehr erklärt (Abb. 11). Vor diesem Hintergrund scheint die Kombination aus der Herbst-N-Aufnahme und dem Ertragspotential trotz des geringeren Bestimmtheitsmaßes von 39 % geeigneter, zumal die meisten gravierenden Fehlschätzungen (mehr als 20 kg N/ha Abweichung) bei sehr hohen Düngerniveaus auftraten (Abb. 12).

Tab. 8: Ansätze zur Schätzung der ortsoptimalen Frühjahrs-N-Düngung

Ansatz	Intercept	Herbst-N	Yopt	Ynull	r^2	RMSE
Herbst-N[‡]	242,6	-0,59			0,31 ^{***}	32,2
Herbst-N, Yopt	178,5	-0,57	1,16		0,39 ^{***}	30,3
Herbst-N, Ynull	259,6	-0,45		-0,79	0,34 ^{***}	31,7
Yopt, Ynull	153,4		2,76	-2,98	0,60 ^{***}	24,7

[‡] Herbst-N = N-Menge im Bestand zu Vegetationsende

Yopt = Ertrag bei optimaler Frühjahrs-N-Düngung (abgeleitet aus den Ertragsfunktionen)

Ynull = Ertrag ohne Frühjahrs-N-Düngung (abgeleitet aus den Ertragsfunktionen)

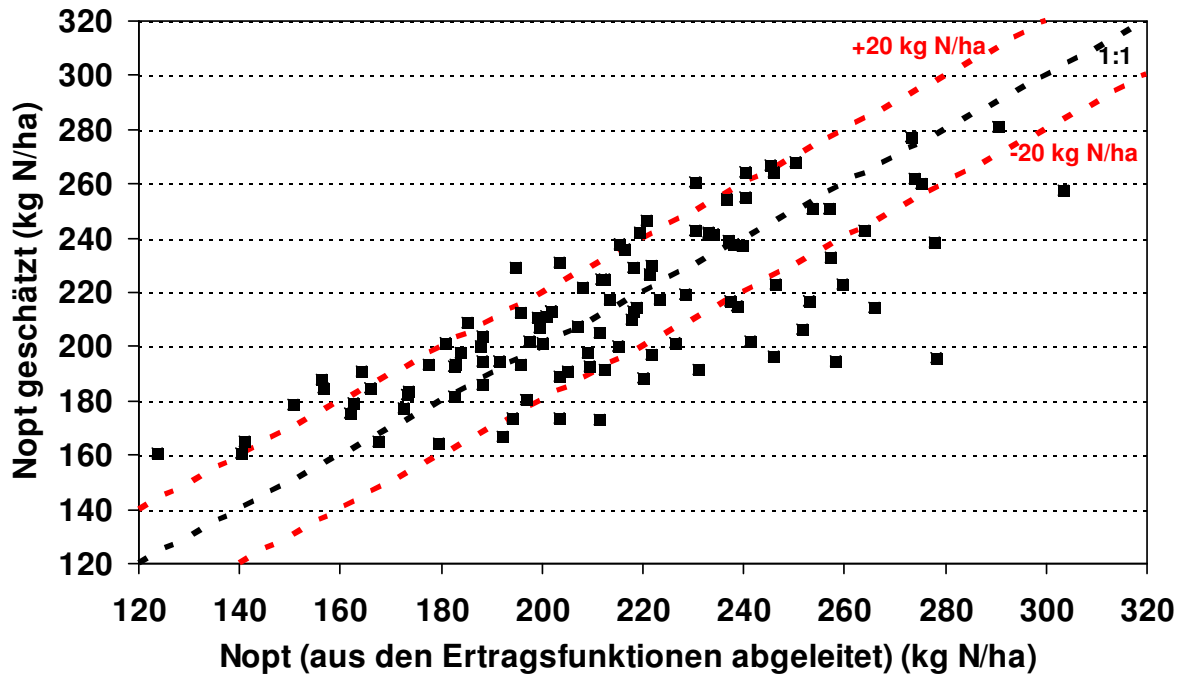


Abb. 10: Beziehung zwischen geschätzten Nopt-Werten (aus Yopt und Ynull) und den aus den Ertragsfunktionen abgeleiteten Nopt-Werten (2006-2009, alle Standorte)

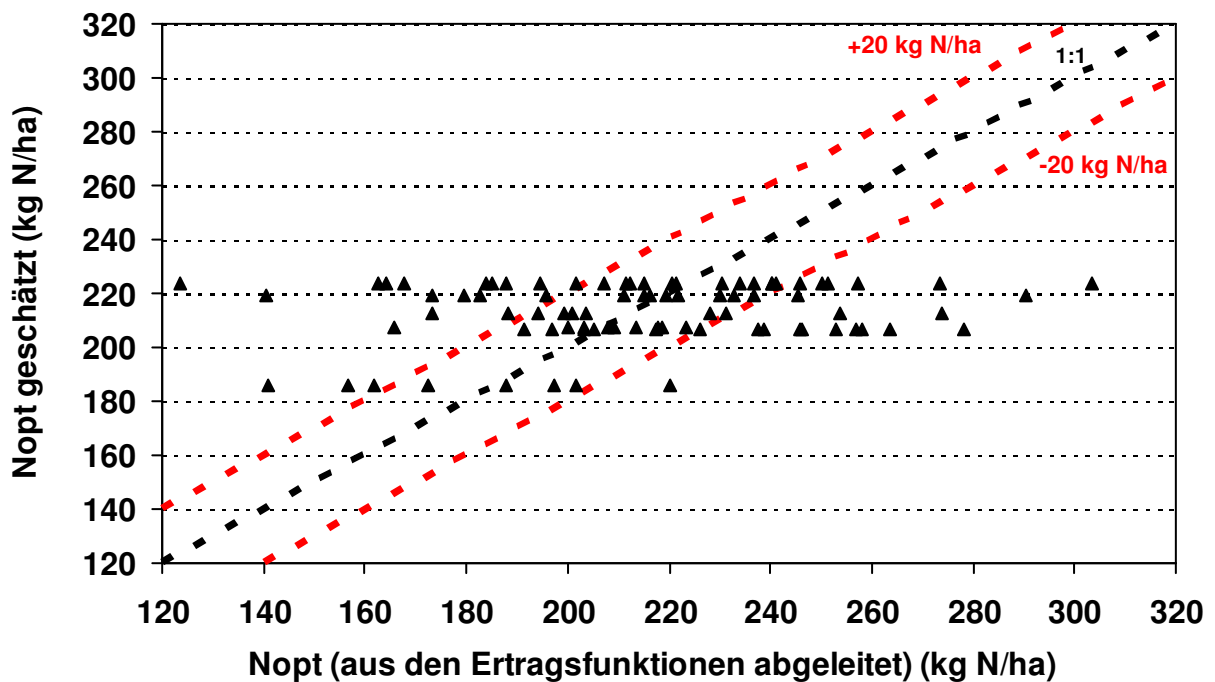


Abb. 11: Beziehung zwischen geschätzten Nopt-Werten (aus Yopt und Ynull) und den aus den Ertragsfunktionen abgeleiteten Nopt-Werten für die Standorte Borwede, Futterkamp, Gülzow, Hohenschulen, Moosburg und Roda. Für Yopt und Ynull wurden je Standort die Mittelwerte über 3 bzw. 4 Jahre eingesetzt.

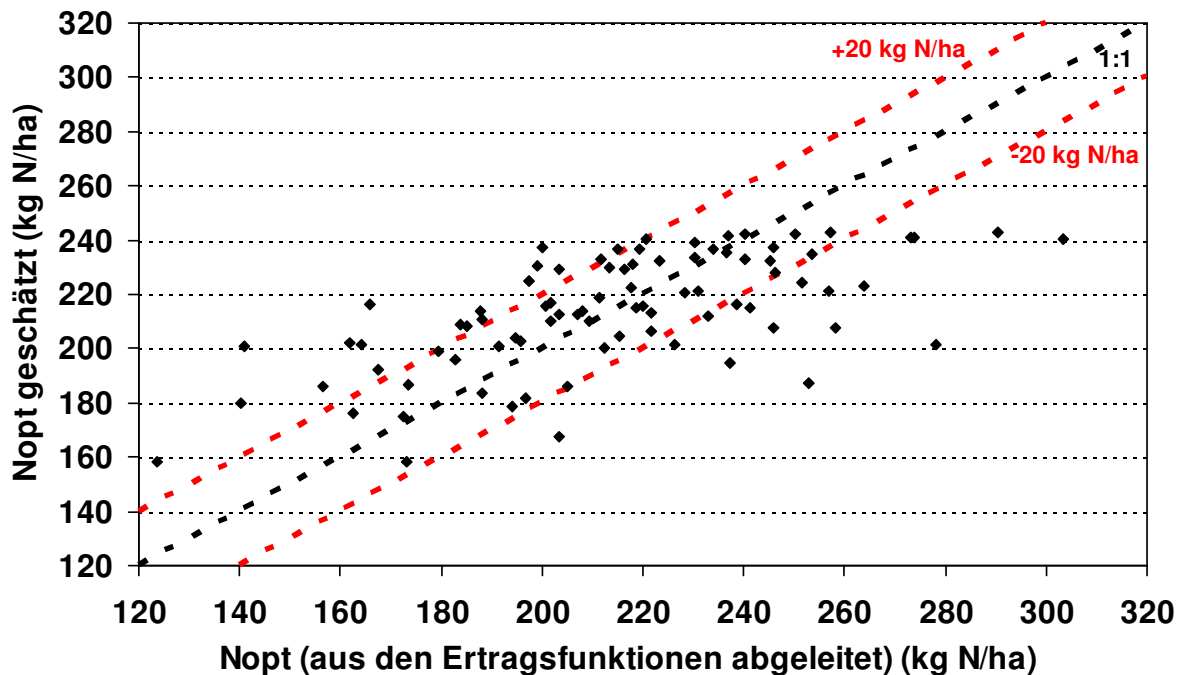


Abb. 12: Beziehung zwischen geschätzten Nopt-Werten (aus Yopt und Herbst-N-Aufnahme) und den aus den Ertragsfunktionen abgeleiteten Nopt-Werten für die Standorte Borwede, Futterkamp, Gülzow, Hohenschulen, Moosburg und Roda. Für Yopt wurden je Standort die Mittelwerte über 3 bzw. 4 Jahre, für die Herbst-N-Aufnahme die im Herbst gemessenen Werte eingesetzt.

3.3.4 Beziehung zwischen der Herbst-N-Aufnahme und dem Ertragsniveau

Abb. 13 zeigt die Beziehung zwischen der Herbst-N-Aufnahme und dem Ertragsniveau im Folgejahr für alle verfügbaren Daten aus 2006-2009. Die Kovarianzanalyse ergab einen signifikanten Einfluss der Jahre, der Orte der Interaktion Jahr x Ort sowie der Herbst-N-Aufnahme, aber kein signifikante Interaktionen zwischen der Herbst-N-Aufnahme und dem Jahr bzw. dem Ort. Das bedeutet, dass der Ertrag mit der Herbst-N-Aufnahme korreliert, die Reaktion des Ertrages aber in allen Jahren und an allen Standorten ähnlich war. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit sind in Abb. 14 die Daten und Kurven für das Jahr 2009 dargestellt. Mit steigender Herbst-N-Aufnahme stieg der Ertrag an, wobei aber die Variation bedingt durch den Standort und durch das Jahr deutlich größer war als die Schwankungen, die durch die Herbstentwicklung hervorgerufen wurden. Insgesamt unterstreicht das Ergebnis die Bedeutung eines ausreichenden Wachstums vor Winter.

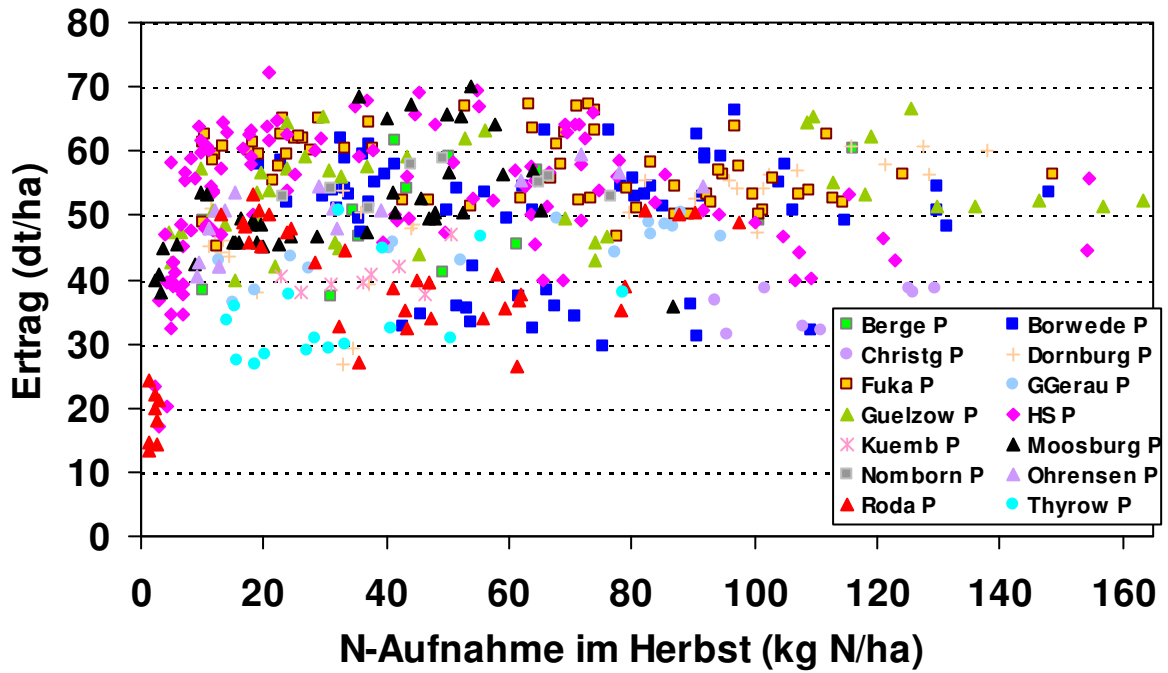


Abb. 13: Beziehung zwischen der Herbst-N-Aufnahme und dem Ertrag (2006-2009)

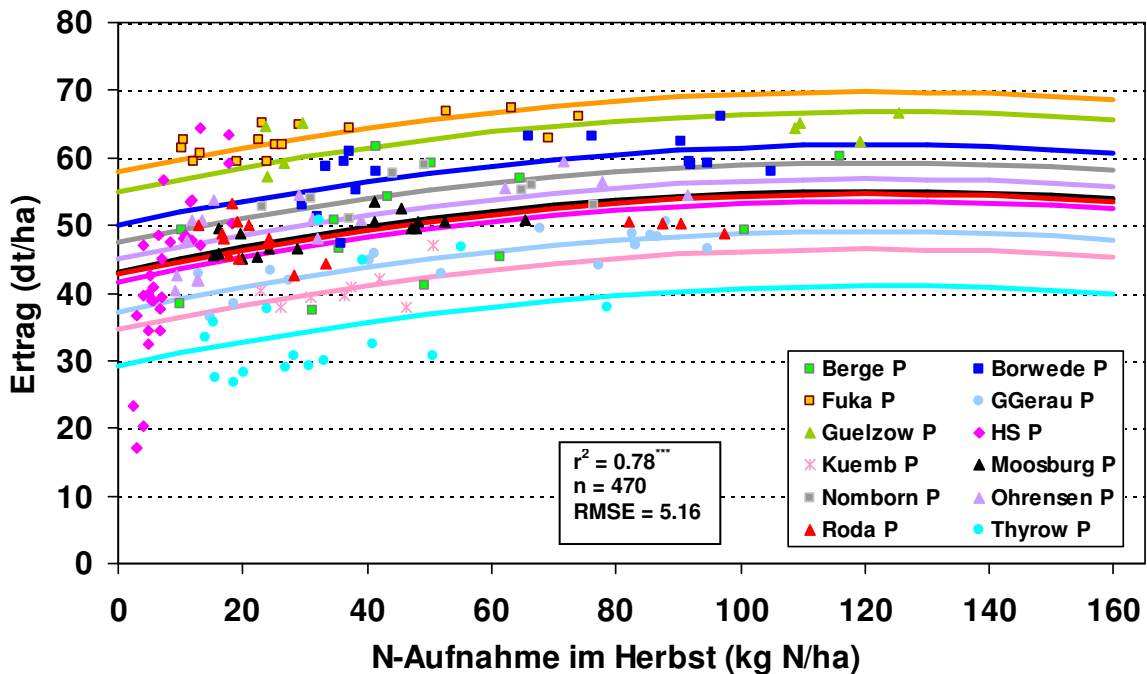


Abb. 14: Beziehung zwischen der Herbst-N-Aufnahme und dem Ertrag (Berechnungen für 2006-2009; r^2 für das Gesamtmodell; Punkte und Kurven für 2009)

3.3.5 Ertragswirkung einer Herbst-N-Gabe

In Abb. 15 ist der Einfluss einer Herbst-N-Gabe von 40 (2006 und 2007) bzw. 80 kg N/ha (2008 und 2009) dargestellt. In den ersten beiden Jahren hatte eine N-Gabe im Herbst keine Ertragswirkung. In 2008 und 2009 konnte dagegen ein deutlicher Ertragsanstieg von jeweils 5,2 dt/ha beobachtet werden, der aber mit steigender Frühjahrs-N-Düngung abnahm (Tab. 5). In einer weitergehenden Analyse wurde der Mehrertrag durch die Herbst-N-Düngung der Herbst-N-Aufnahme in den ungedüngten Varianten gegenübergestellt (Abb. 16). Es zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Herbstentwicklung. Je mehr N der Raps vor Winter aufnehmen können, umso geringer war die Ertragswirkung der Herbst-N-Gabe. Ebenso korrelierte der Mehrertrag auf Grund der Herbst-N-Düngung negativ mit der Frühjahrs-N-Düngung, mit anderen Worten: Die Wirkung der Herbst-N-Düngung konnte zumindest teilweise durch die Frühjahrs-N-Düngung kompensiert werden. Dieser Umstand kann wiederum als Hinweis darauf gewertet werden, dass der im Herbst applizierte Stickstoff vermutlich in tieferen Schichten (unter 90 cm) verlagert wurde und von dort vom Raps im Frühjahr wieder aufgenommen werden konnte. Bei einer Herbst-N-Aufnahme von über 45 kg N/ha konnte im Mittel aller Daten keine Ertragswirkung mehr beobachtet werden.

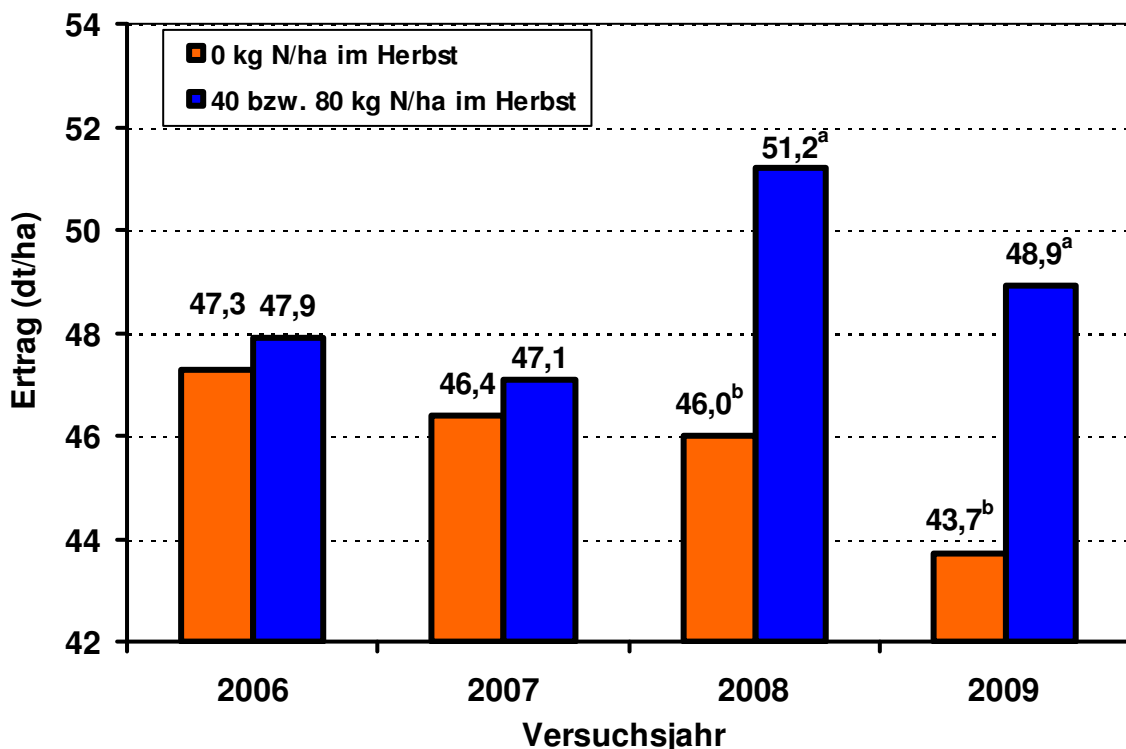


Abb. 15: Einfluss einer Herbst-N-Düngung auf den Rapsenertrag in den Versuchsjahren 2006-2009 (Mittel über alle Orte, Saatzeiten und Frühjahrs-N-Stufen, n = 2479)

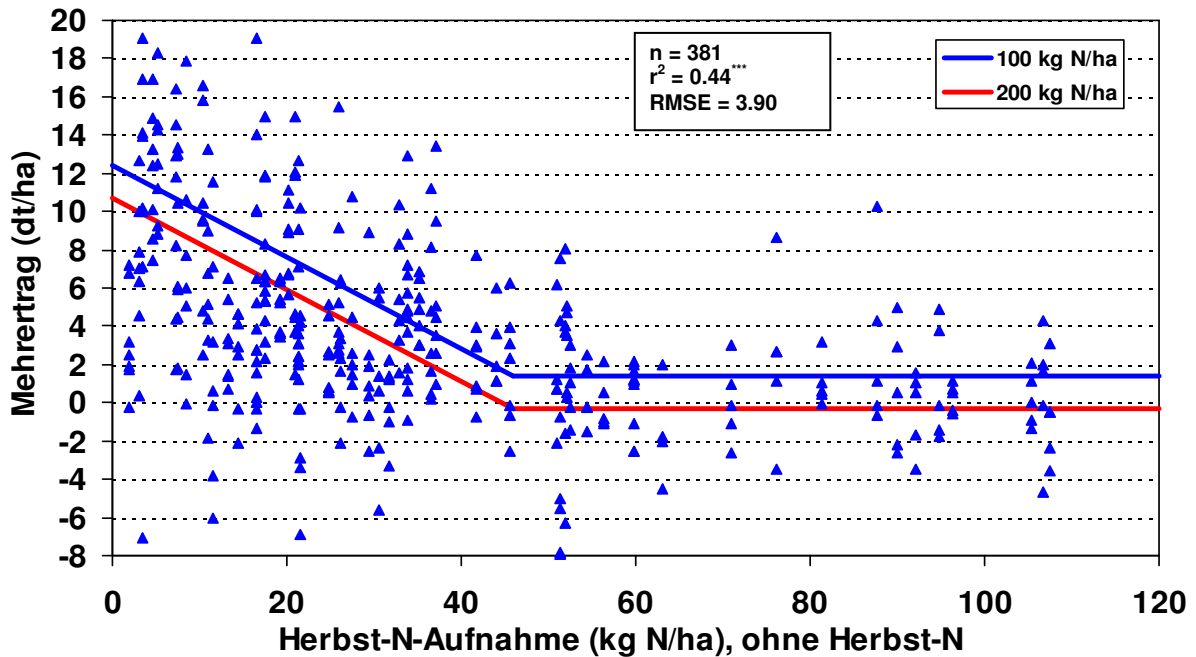


Abb. 16: Beziehung zwischen der Herbst-N-Aufnahme (ohne Herbst-N-Düngung) und dem Mehrertrag durch eine Herbst-N-Düngung im Mittel beider Saatzeiten (2006-2009; 200 kg N/ha im Frühjahr; r^2 für das Gesamtmodell)

3.3.6 Bebrütungsversuch

Im Frühjahr 2009 wurden Bodenproben von 10 Standorten im Labor des Institutes für Bodenkunde der Leibniz-Universität Hannover an Hand eines Bebrütungsversuches auf ihr N-Nachlieferungspotenzial analysiert (Abb. 17). Aus den Ergebnissen können die Poolgrößen 'Nfast' als leicht abbaubare N-Fraktion und 'Nslow' als schwer abbaubare N-Fraktion abgeleitet werden. Diese Werte wurden mit der Herbst-N-Aufnahme (für Herbst 2006 und 2007, ohne Herbst-N-Düngung, gemittelt über die Saatzeiten) und dem Nullparzellenertrag (gemittelt über alle Jahre und Saatzeiten, ohne Herbst-N-Düngung) in Beziehung gesetzt. Zwischen der Herbst-N-Aufnahme und den Parametern aus den Bebrütungsversuchen konnte kein sinnvoller Zusammenhang beobachtet werden (nicht dargestellt). Demgegenüber gibt es eine schwache positive Korrelation zwischen dem Nullparzellenertrag und dem 'Nslow'-Pool sowie der N-Freisetzung nach 195 Tagen (Abb. 18-20).

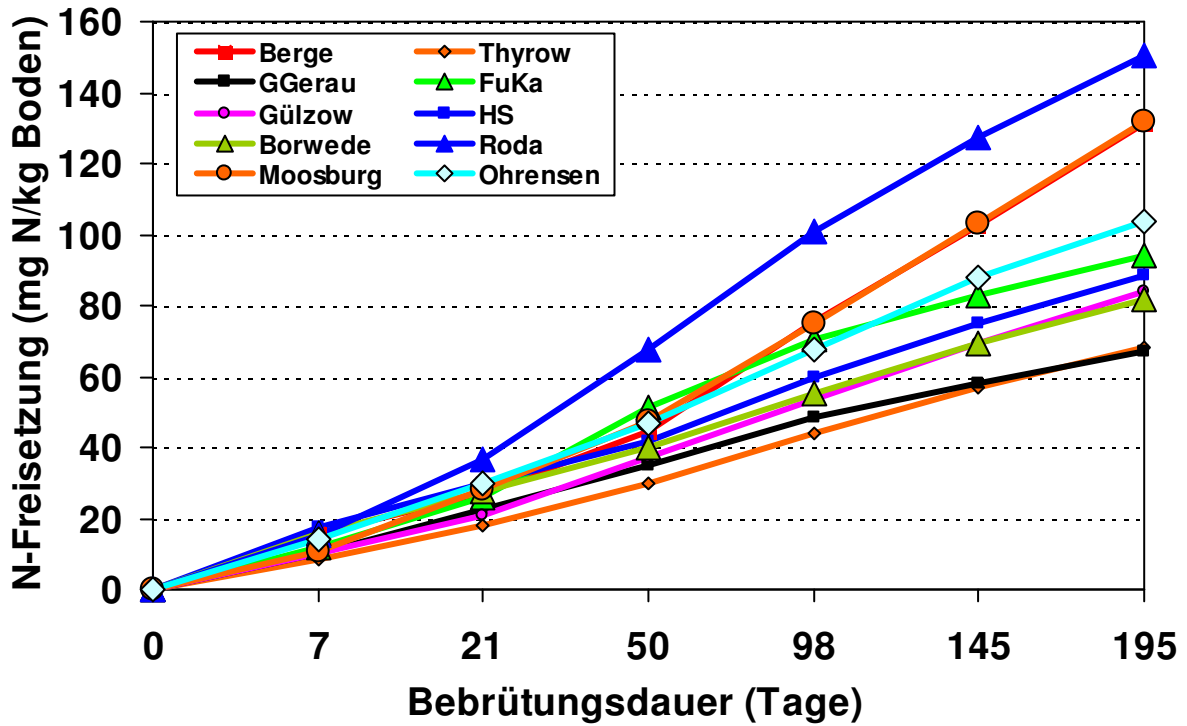


Abb. 17: N-Freisetzungskurven der Standorte

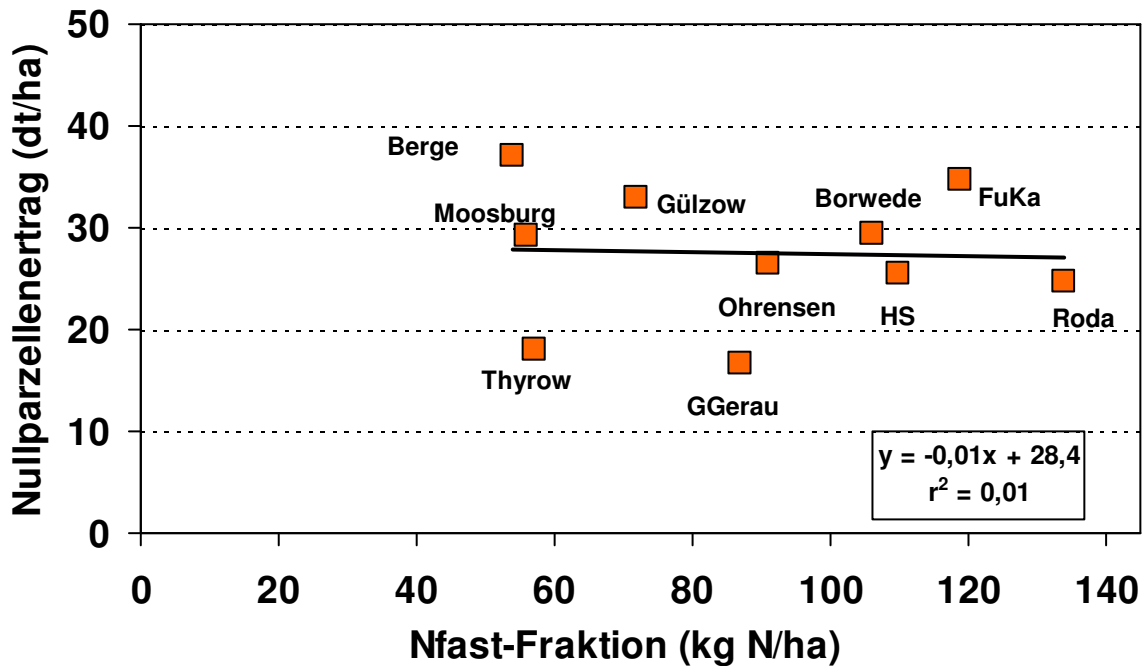


Abb. 18: Beziehung zwischen der Poolgröße 'Nfast' und dem Nullparzellenertrag (gemittelt über alle Jahre und Saatzeiten, ohne Herbst-N-Düngung)

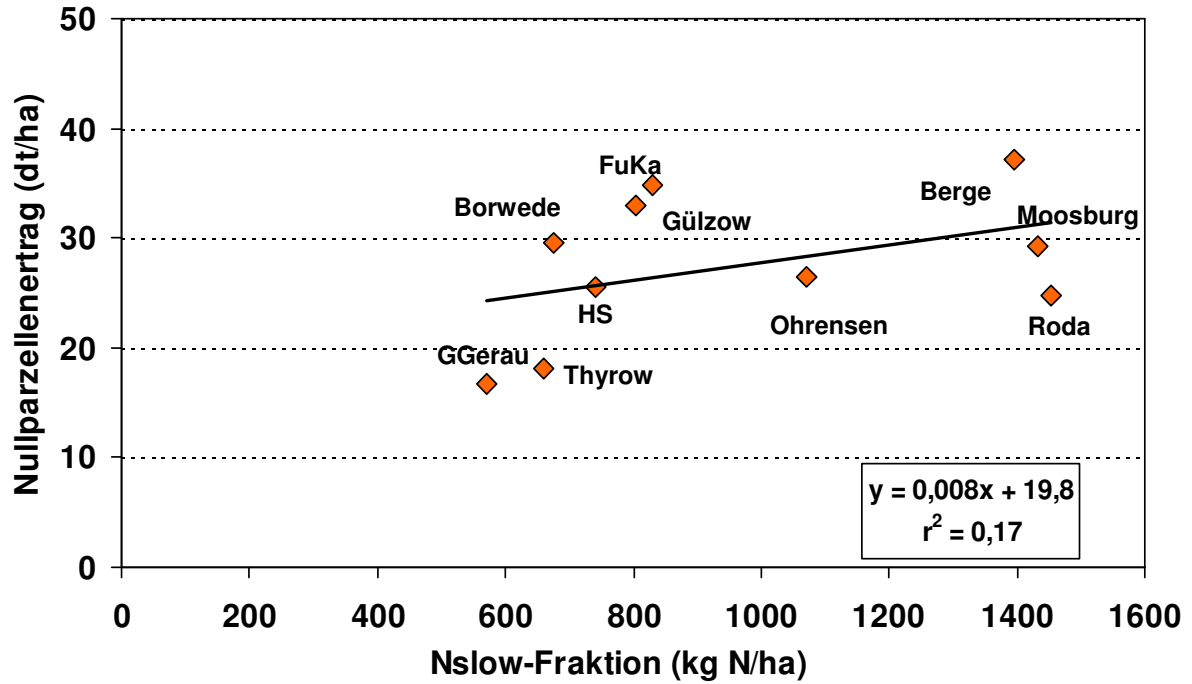


Abb. 19: Beziehung zwischen der Poolgröße 'Nslow' und dem Nullparzellenertrag (gemittelt über alle Jahre und Saatzeiten, ohne Herbst-N-Düngung)

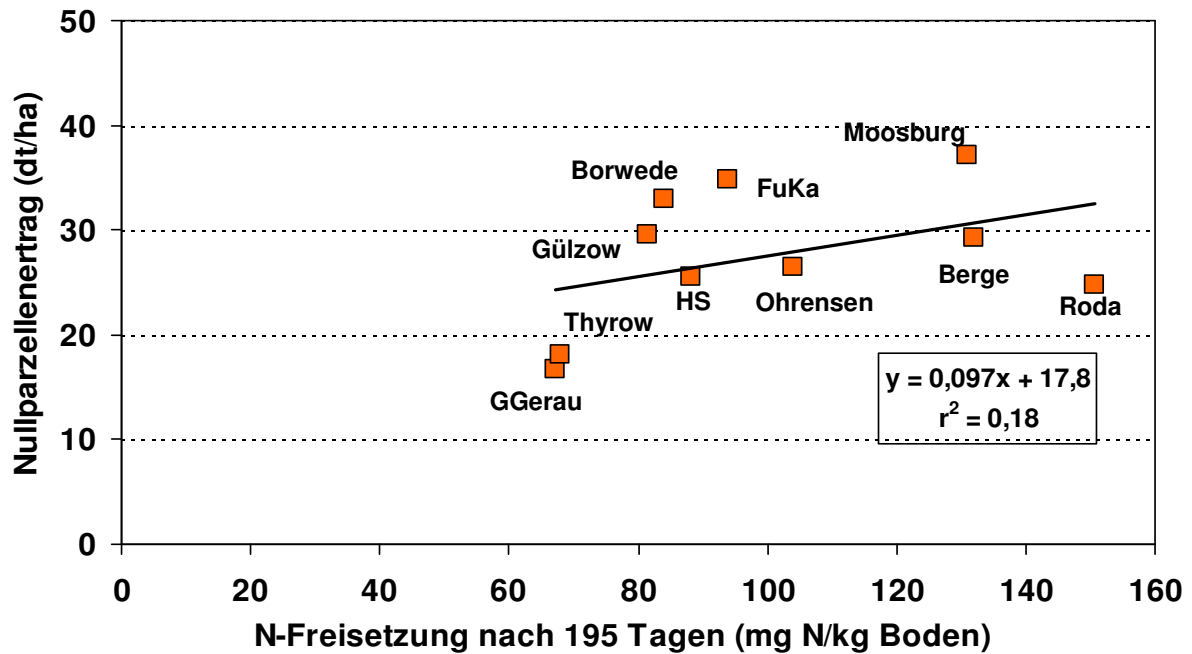


Abb. 20: Beziehung zwischen N-Freisetzung am Ende der Bebrütung nach 195 Tagen und dem Nullparzellenertrag (gemittelt über alle Jahre und Saatzeiten, ohne Herbst-N-Düngung)

4. Abschlussbemerkung

Das Projekt 'Optimierung der Stickstoffdüngung zu Winterraps durch schlagspezifische Berücksichtigung von Bestandesparametern und Ertragspotenzial' wurde über 4 Jahre auf zuletzt 12 Standorten verteilt über Deutschland geprüft. Über 3.100 Parzellen wurden beerntet. 109 Rapsbestände mit unterschiedlicher Herbstentwicklung konnten in die Analyse aufgenommen werden. Insgesamt ergibt sich damit eine umfangreiche Datenbasis.

Zum Abschluss des Projektes lässt sich feststellen, dass sich durch die Berücksichtigung der N-Menge in der oberirdischen Biomasse vor Winter die N-Düngung im Frühjahr optimieren lässt. Im Gegensatz zum französischen Ansatz bietet nach den Ergebnissen die Erfassung der N-Aufnahme im Herbst unter deutschen Bedingungen die bessere Basis als die Messung im Frühjahr oder die Kombination aus beidem.

Eine gewisse Bedeutung der Herbstentwicklung für die Ertragsleistung im nächsten Frühjahr/Sommer konnte an Hand des vorliegenden Datenmaterials belegt werden, ebenso wie die Wirksamkeit einer Herbst-N-Gabe in schwächer entwickelten Beständen. Allerdings muss die Frage offen bleiben, über welche Wirkungspfade diese Ertragseffekte realisiert wurden. Solange diese nicht ansatzweise bekannt sind, bleiben die Frage nach der Verallgemeinerungsfähigkeit und der Empfehlung für die Praxis, insb. die einer Herbst-N-Gabe oder einer Erhöhung der N-Düngung in schwächeren Beständen, auch vor dem Hintergrund der Nitrat- und N₂O-Problematik zu diskutieren

5 Anhang

Tab. A1: In den Varianten 11-14 der **Saatzeit 1** in 2009 gedüngte N-Mengen (kg N/ha)

Ort	Variante	N-Aufnahme im Herbst (kg N/ha)	Korrektur der ortsoptimalen N-Menge nach N-Aufnahme im Herbst [kg N/ha]	N 1	N 2
Berge	11	51	0	120	60
	12	85	-20	100	60
	13		ortsoptimale Düngung	120	60
	14		ortsoptimale Düngung	120	60
Borwede	11	34	+10	110	80
	12	96	-30	110	40
	13		ortsoptimale Düngung	110	70
	14		ortsoptimale Düngung	110	70
Futterkamp	11	30	+10	100	85
	12	65	-10	100	65
	13		ortsoptimale Düngung	100	75
	14		ortsoptimale Düngung	100	75
Groß-Gerau	11	21	+20	140	90
	12	82	-20	140	50
	13		ortsoptimale Düngung	140	70
	14		ortsoptimale Düngung	140	70
Gülzow	11	26	+20	100	120
	12	116	-50	100	50
	13		ortsoptimale Düngung	100	105
	14		ortsoptimale Düngung	100	70
Hohenschulen	11	5	+30	100	110
	12	13	+30	100	110
	13		ortsoptimale Düngung	100	80
	14		ortsoptimale Düngung	100	80
	25	7	+30	100	110
	26	13	+30	100	110
	27		ortsoptimale Düngung	100	80
	28		ortsoptimale Düngung	100	80
Kümbdchen	11	26	+20	90	110
	12	34	+10	90	100
	13		ortsoptimale Düngung	90	90
	14		ortsoptimale Düngung	90	90
Moosburg	11	23	+20	100	100
	12	59	-10	100	70
	13		ortsoptimale Düngung	100	80
	14		ortsoptimale Düngung	100	80
Nomborn	11	34	+10	90	100
	12	64	-10	90	80
	13		ortsoptimale Düngung	90	90
	14		ortsoptimale Düngung	90	90

Ort	Variante	N-Aufnahme im Herbst (kg N/ha)	Korrektur der ortsoptimalen N-Menge nach N-Aufnahme im Herbst [kg N/ha]	N 1	N 2
Ohrensen	11	33	+10	105	80
	12	76	-20	105	50
	13		ortsoptimale Düngung	115	70
	14		ortsoptimale Düngung	110	100
Roda	11	28	+10	90	100
	12	89	-30	90	60
	13		ortsoptimale Düngung	100	90
	14		ortsoptimale Düngung	80	80
Thyrow	11	20	+20	140	60
	12	51	0	120	60
	13		ortsoptimale Düngung	120	60
	14		ortsoptimale Düngung	120	60

ortsoptimale Düngung = offizielle Empfehlung / ortsüblich

Tab. A2: In den Varianten 11-14 der Saatzeit 2 in 2009 gedüngte N-Mengen (kg N/ha)

Ort	Variante	N-Aufnahme im Herbst (kg N/ha)	Korrektur der ortsoptimalen N-Menge nach N-Aufnahme im Herbst [kg N/ha]	N 1	N 2
Berge	11	22	+20	140	60
	12	33	+10	130	60
	13		ortsoptimale Düngung	120	60
	14		ortsoptimale Düngung	120	60
Borwede	11	37	+10	100	90
	12	82	-20	80	75
	13		ortsoptimale Düngung	100	80
	14		ortsoptimale Düngung	90	85
Futterkamp	11	12	+30	100	105
	12	22	+20	100	95
	13		ortsoptimale Düngung	100	75
	14		ortsoptimale Düngung	100	75
Groß-Gerau	11	37	+10	140	80
	12	84	-20	140	60
	13		ortsoptimale Düngung	140	70
	14		ortsoptimale Düngung	140	70
Hohenschulen	11	3	+30	100	110
	12	8	+30	100	110
	13		ortsoptimale Düngung	100	80
	14		ortsoptimale Düngung	100	80
	25	5	+30	100	110
	26	8	+30	100	110
	27		ortsoptimale Düngung	100	80
	28		ortsoptimale Düngung	100	80
Moosburg	11	25	+20	100	10
	12	56	0	100	80
	13		ortsoptimale Düngung	100	80
	14		ortsoptimale Düngung	100	80
Ohrensen	11	11	+30	110	100
	12	13	+30	105	100
	13		ortsoptimale Düngung	130	70
	14		ortsoptimale Düngung	105	70
Roda	11	17	+20	90	110
	12	19	+20	90	110
	13		ortsoptimale Düngung	100	90
	14		ortsoptimale Düngung	80	80
Thyrow	11	26	+20	140	60
	12	33	+10	130	60
	13		ortsoptimale Düngung	120	60
	14		ortsoptimale Düngung	120	60

ortsoptimale Düngung = offizielle Empfehlung / ortsüblich