

## Wie lässt sich die N-Düngung zu Winterraps optimieren?

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  
Tel.: 0431-880-3444  
Email: sieling@pflanzenbau.uni-kiel.de

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

Die Anforderungen an eine wirtschaftlich erfolgreiche und gleichzeitig umweltgerechte N-Düngungsstrategie zu Winterraps werden in Zukunft deutlich steigen. Einerseits soll nach der DüngeVO die N-Bilanz im dreijährigen gleitenden Mittel den Grenzwert von 60 kg N/ha nicht überschreiten, eine Vorgabe, die in Fruchtfolgen mit Winterraps auch in gut geführten Ackerbaubetrieben ohne umfangreichen Einsatz organischer Dünger nicht immer erfüllt wird. Raps weist auf Grund seines vergleichbar geringen N-Entzuges mit dem Samen (ca. 134 kg N/ha bei einem Ertrag von 40 dt/ha) einen hohen Bilanzüberschuss auf und der Transfer dieses N-Überschusses in die übliche Folgefrucht Winterweizen gelingt häufig nur unvollständig.

Auf der anderen Seite fordert die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV) beim Einsatz von Biomasse zur Treibstoffherzeugung (Bio-Diesel) eine Reduktion der Treibhausgasemission von mindestens 35% (bereits gültiger Grenzwert) bzw. 50% (ab 2017). Die zur Zeit gültigen Standardwerte (default values) der Treibhausgasemissionen weisen für Biodiesel aus Raps eine Minderung von 38% aus, ein Wert, der also nur knapp über dem jetzigen und deutlich unter dem ab 2017 gültigen Grenzwert liegt. Da der landwirtschaftliche Produktionsprozess mit insgesamt ca. 60% an den, in der Produktionskette von Biodiesel entstehenden Treibhausgasemissionen beteiligt ist und da weiterhin von diesen 60% der im Produktionsprozess entstehenden Treibhausgasemissionen nach zurzeit üblichen Berechnungsmethoden ca. 80% direkt (Energieaufwand für Düngemittel und Ausbringung) oder indirekt (klimawirksame Lachgasemissionen) auf die Stickstoffdüngung zurückgeführt werden, sind Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz im Rapsanbau dringend geboten.

Die N-Düngung zu Winterraps im Frühjahr erfolgt im Regelfall in zwei Teilgaben, zu Vegetationsbeginn und während der Streckung der Hauptsprossachse. Beide Düngetermine liegen deutlich vor dem Termin, an dem die endgültige Anzahl der Ertragskomponenten Schotenzahl/Pflanze und Samenzahl je Schote festgelegt werden, welches also während und nach der Blüte erfolgt. Sie können jedoch maßgeblich die Blattflächenbildung und damit die Assimilationsleistung beeinflussen, die letztlich im Zusammenspiel mit den Witterungsfaktoren die erfolgreiche Anlage und Ausbildung von Ertragsanlagen determiniert.

Als Ansatzpunkt zur Optimierung der N-Düngung zum Raps kann die grundsätzliche Überlegung dienen, dass der N-Düngebedarf eines Pflanzenbestandes sich aus der Pflanzenaufnahme und dem N<sub>min</sub>-Wert nach der Ernte ergibt. Das N-Angebot selbst setzt sich zusammen aus dem N<sub>min</sub>-Wert zu Vegetationsbeginn, der N-Mineralisation während der Vegetationsperiode und der N-Düngung. Die Düngungsempfehlungen der Officialberatung in Deutschland beruhen weitgehend auf dem N<sub>min</sub>-System, bei dem ausgehend von empirisch ermittelten Sollwerten unter Berücksichtigung von N<sub>min</sub>-Messwerten oder Schätzwerten, eine schlagspezifische Düngungsempfehlung erfolgt. Neben N<sub>min</sub> werden hierbei oft weitere Korrekturfaktoren berücksichtigt, so auch der Zustand des Bestandes (üppig, schwach), jedoch meist nur auf der Grundlage pauschaler Zu- oder Abschläge.

Bei Kulturen, wie dem Raps, die vor der 1. N-Gabe bereits beträchtliche N-Mengen aufnehmen, erscheint es jedoch sinnvoll, die Bemessung der N-Düngung primär von der N-Aufnahme der Bestände vor dem 1. Düngungstermin abhängig zu machen. Ergebnisse verschiedener Autoren zeigen, dass gemessene N<sub>min</sub>-Werte im Frühjahr unter Raps aufgrund der hohen N-Aufnahme der Kultur häufig im Bereich sehr niedriger Werte liegen (20-30 kg N/ha). Im Gegensatz hierzu können nach milder Herbstwitterung und normalen Saatzeiten aber häufig 80 kg N/ha und mehr vor Winter im Rapsaufwuchs ermittelt werden. Dieser Ansatz liegt auch einem in Frankreich erfolgreich etablierten System der N-Düngebedarfsermittlung zugrunde.

### **Versuchsanlage mit unterschiedlicher Entwicklung im Herbst**

In einer von der Union zur Förderung des Öl- und Proteinpflanzen (UFOP) finanziell geförderten Versuchsserie wurde den oben skizzierten Fragestellungen systematisch nachgegangen. In 4 Versuchsjahren wurden an bundesweit repräsentativen Standorten (12 in 2009) durch Variation der Saatzeit (früh/spät) und durch Stickstoffdüngung im Herbst (0/40 kg N/ha) vier verschiedene Ausgangsbedingungen in Bezug auf die Bestandesentwicklung vor Winter geschaffen. Aufgrund der sehr verhaltenen Entwicklung im Herbst 2007 und 2008 wurde in beiden Jahren eine Erhöhung der Herbstgabe von 40 auf 80 kg N/ha beschlossen. Damit sollte sichergestellt werden, dass eine ausreichende Differenzierung der N-Aufnahme im Herbst im Sinne der Versuchsanstellung erfolgt und vorhanden ist. Jede dieser

Herbstvarianten wurde mit einem N-Steigerungsversuch (N-Düngung im Frühjahr: 0-280 kg N/ha in fünf Varianten) kombiniert. Die optimale N-Düngermenge im Frühjahr wurde mit Hilfe einer durch Regressionsanalyse geschätzten quadratischen Ertragsfunktion N-Düngung vs. Ertrag ermittelt. Diese berechneten optimalen Düngermengen wurden abschließend mit den vom Raps vor bzw. nach Winter aufgenommenen N-Mengen sowie den N<sub>min</sub>-Werten im Frühjahr mittels einer Kovarianzanalyse in Beziehung gesetzt.

Zur Ermittlung der aufgenommenen N-Mengen im Bestand konnte ein vergleichsweise einfaches Verfahren etabliert werden. Dazu wird die oberirdische, grüne Pflanzenmasse von einem Quadratmeter gewogen und das ermittelte Frischgewicht in kg mit dem Faktor 45 multipliziert. Der Umrechnungsfaktor beruht auf der Annahme einer mittleren Trockenmasse von 10 % und einer mittleren N-Konzentration von 4,5 %. In der Praxis sollte man auf einem Rapsschlag 4-5-mal jeweils 1 m<sup>2</sup> Rapspflanzen ausgraben, die Wurzeln am Wurzelhals abschneiden und die von grobem Schmutz gesäuberte oberirdische grüne Biomasse wiegen. Multipliziert man die einzelnen Massen (kg/m<sup>2</sup>) mit 45 und bildet den Mittelwert, so erhält man eine gute Schätzung für die oberirdische N-Menge (kg N/ha) im Bestand (Abb. 1). Ein Excel-Rechner steht auf der Internetseite der Landwirtschaftskammer S-H bereit ([www.lwksh.de](http://www.lwksh.de))

### **N-Aufnahme im Herbst kann anteilig angerechnet werden**

Um eine generelle Aussage über die Beziehungen zwischen der optimalen Düngermenge und den erhobenen N-Mengen im Rapsbestand oder N<sub>min</sub> zu treffen, wurden diese über alle Standorte (Umwelten) unter Berücksichtigung aller vier Versuchsjahre analysiert. Es gab keinen signifikanten Jahreseffekt. Zudem waren die Interaktionen zwischen den Standorten und den Parametern (N-Menge im Herbst, N-Menge im Frühjahr, N<sub>min</sub> 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.

Die weitere Analyse ergab eine signifikante negative Beziehung zwischen der optimalen Düngermenge und der N-Menge im Bestand im Herbst (Abb. 2). Die Steigung der Geraden beträgt  $b=-0,70$ , d.h. mit Zunahme der N-Aufnahme in den untersuchten Beständen um 1 kg N/ha sank im Mittel die optimale N-Düngermenge um 0,7 kg N/ha. Gleichzeitig zeigte sich jedoch eine erhebliche Variation des optimalen N-Düngungsniveaus zwischen den Standorten, die jedoch interessanterweise zwischen den Jahren vergleichsweise konstant blieb. Für die Umsetzung dieser Ergebnisse in die Praxis ist daher zunächst von den ortsüblichen Erfahrungswerten bzw. den Sollwerten unter Berücksichtigung üblicher N<sub>min</sub>-Werte auszugehen, da zunächst noch keine Aussagen zu den Ursachen der Variation zwischen den Orten gemacht werden kann.

Zu beachten ist weiterhin, dass die bisher gültigen Sollwerte für die N-Düngung zu Winterraps bereits eine „normale“ N-Aufnahme der Bestände beinhalten. Wird unterstellt, dass ein solcher 'Normalbestand' im Herbst etwa 50 kg N/ha aufgenommen hat, ist als Korrektur zur nach Sollwert ermittelten Düngung jeweils nur die Differenz zu 50 kg N/ha mit 70% zu berücksichtigten. Bei im Herbst üppig entwickelten Beständen (>50 kg N/ha) sollte die N-Düngung im Frühjahr reduziert werden, während 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. Auch unter Berücksichtigung der Ölkonzentration ergibt sich ein ähnlicher Zusammenhang wie bei alleiniger Betrachtung der Ertragsreaktion.

Eine ebenfalls geprüfte 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. Zwischen den Nmin-Werten im Frühjahr und der optimalen N-Düngermenge konnte dagegen kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden. In allen Jahren waren die Nmin-Werte im Frühjahr aufgrund der hohen N-Aufnahme der Bestände bis auf einige Ausnahmen relativ niedrig und variierten meistens zwischen 15 und 35 kg N/ha.

In 2008/09 konnte erstmalig eine N-Düngung unter Berücksichtigung der Biomasse in Versuchen im Vergleich zur Offizialempfehlung geprüft werden. Bei Beständen, die im Herbst 2008 mehr als 50 kg N/ha aufgenommen hatten, konnte die Düngung im Mittel der Standorte und damit auch die N-Bilanz um 14 kg N/ha ohne Ertragseinbußen gesenkt werden (Abb. 3). In schwächer entwickelten Beständen (<50 kg N/ha) wurde die N-Düngung um 16 kg N/ha erhöht. Dies führte zwar zu einer signifikanten Ertragssteigerung um 1,3 dt/ha und war damit ökonomisch gerechtfertigt, belastete aber die N-Bilanz mit 10 kg N/ha zusätzlich. Zu beachten ist jedoch, dass die N-Aufnahme im Versuchsjahr 2008/09 geringer als im Durchschnitt der 4 Versuchsjahre lag, woraus zu folgern ist, dass im Mittel der Jahre wahrscheinlich eher höhere Einsparpotentiale aus dem neuen Düngekonzept resultieren werden als im Versuchsjahr 2008/09.

Der hier vorgestellte Ansatz korrigiert die ortsoptimale Frühjahrs-N-Düngung durch die Berücksichtigung der vom Bestand bereits aufgenommenen N-Menge. Das grundsätzliche Problem, die ortsoptimale N-Menge zu bestimmen, bleibt aber bestehen.

### **Wie sinnvoll ist eine Herbst-N-Düngung?**

In der Praxis wird Raps im Herbst häufig zusätzlich mit Stickstoff gedüngt, insbesondere bei verspäteter Aussaat z.B. nach Weizen und/oder bei pflugloser Bestellung, um eine ausreichende Herbstentwicklung zu gewährleisten. Sofern der Raps ausreichend Gelegenheit hat, diesen Stickstoff aufzunehmen (Bodentemperatur), ist dieses am üppigeren

Wachstum in der Regel gut sichtbar. Bei Spätsaaten ist aber häufig nicht Stickstoff, sondern die Temperatur der limitierende Faktor. Der ausgebrachte Stickstoff wird in dieser Situation nicht vom Bestand aufgenommen, sondern vergrößert den Pool an mineralischem Stickstoff im Boden, was das Risiko von N-Auswaschung und Lachgasfreisetzung deutlich erhöht. Über die Notwendigkeit einer Herbst-N-Gabe wird kontrovers diskutiert, zumal zur Ertragswirkung keine eindeutigen Versuchsergebnisse vorliegen. In einer früheren dreijährigen Versuchsserie mit pfluglos bestelltem Raps nach Weizen konnten wir am Standort Hohenschulen trotz verbesserter Herbstentwicklung keine signifikante Ertragswirkung beobachten. Auch in den ersten beiden Jahren (2006 und 2007) des hier vorgestellten Projektes konnte eine N-Gabe im Herbst im Mittel über alle Düngevarianten den Ertrag nicht signifikant steigern (Abb. 4). In 2008 und 2009 wurde dagegen ein deutlicher Ertragsanstieg von jeweils 5,2 dt/ha im Mittel aller Düngevarianten beobachtet. Die Mehrerträge durch die Herbstdüngung standen aber in starker Abhängigkeit von der N-Düngung im Frühjahr. Ohne N-Düngung im Frühjahr wurden erwartungsgemäß hohe Mehrerträge erreicht, während die Mehrerträge mit steigender Frühjahrs-N-Düngung abnahmen (Tab. 1).

In einer weitergehenden Analyse wurde der Mehrertrag durch die Herbst-N-Düngung der Herbst-N-Aufnahme in den ungedüngten Varianten gegenübergestellt (Abb. 5). Es zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Herbstentwicklung. Je mehr N der Raps vor Winter hatte aufnehmen können, umso geringer war die Ertragswirkung der Herbst-N-Gabe. Bei einer Herbst-N-Aufnahme von über 45 kg N/ha konnte im Mittel aller Daten keine Ertragswirkung mehr beobachtet werden. Darüber hinaus korrelierte der Mehrertrag nach einer 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. Modellgestützte Simulationen der N-Dynamik im Herbst und über Winter für den Standort Hohenschulen unterstützten die Hypothese, dass der im Herbst applizierte Stickstoff in tieferen Schichten (unter 90 cm) verlagert wurde und von dort vom Raps im Frühjahr wieder aufgenommen werden konnte.

Auch wenn eine Herbst-N-Düngung in manchen Jahren ökonomisch sinnvoll ist, ist vor dem Hintergrund der von der DüngeVO geforderten Einhaltung des N-Saldos von 60 kg N/ha und der N<sub>2</sub>O-Problematik der Sinn einer solchen Maßnahme zu hinterfragen. Nicht in jedem Jahr und auf jedem Standort beeinflusst im Herbst ausgebrachter Stickstoff den Ertrag positiv. Nach unseren Ergebnissen profitieren nur schwache Bestände von einer Herbst-N-Gabe. Zudem beruhen die Ertragseffekte zumindest teilweise weniger auf einer Beeinflussung der Pflanzenphysiologie als vielmehr auf einer Zwischenspeicherung des Stickstoffs in tieferen Bodenschichten. Eine solche Strategie kann aber nur in Wintern mit wenig Sickerwasser erfolgreich sein, da hohe Niederschläge den Stickstoff zu weit verlagern können. Da aber die

Winterwitterung zum Zeitpunkt der Applikation nicht abgeschätzt werden kann, sollte daher eine Herbst-N-Düngung eher die Ausnahme (z.B. bei pflugloser Bestellung, wenn der Raps im Strohmulch aufläuft) als die Regel sein. Aus den gleichen Gründen sollte davon Abstand genommen werden, in Erwartung eingeschränkter Wirksamkeit der N-Düngung bei Trockenheit im Frühjahr eine 'Vorratsdüngung' im Herbst vorzunehmen. Auf jeden Fall sollte sichergestellt werden, dass der Raps den im Herbst zusätzlich angebotenen Stickstoff auch wirklich aufnehmen kann und nicht den Nitratpool im Boden unnötig vergrößert. Inwiefern stabilisierte N-Dünger eine Lösung sein können, müssen weitere Versuche zeigen.

## **Fazit**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die N-Düngermenge im Frühjahr durch die Berücksichtigung der N-Menge in der oberirdischen Biomasse vor Winter die N-Düngung gezielter bemessen lässt. Im Mittel der Jahre gehen hiervon voraussichtlich positive Effekte auf N-Salden und den ggf. in Zukunft wichtigen Parameter der Treibhausgasbilanz aus. Aus den Versuchsdaten ließen sich darüber hinaus auch Rückschlüsse über die Wirkung von Stickstoffdüngungsmaßnahmen im Herbst ziehen. Es zeigte sich, dass eine Herbst-N-Gabe in nur schwächer entwickelten Beständen den Ertrag positiv beeinflusste, meist jedoch nicht ertragswirksam war. Damit bleibt eine N-Düngung im Herbst vor dem Hintergrund der Nitrat- und N<sub>2</sub>O-Problematik kritisch zu diskutieren.

Das vorgestellte Verfahren ist ein erster Schritt, um die N-Düngermenge zu Winterraps gezielter zu bemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass weiteres Optimierungspotenzial bei dieser Fruchtart vorhanden ist. Dieses zu nutzen, wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

**Tab. 1:** Einfluss einer Herbst-N-Gabe auf den Rapsertag (dt/ha) (2006-2009, im Mittel aller Standorte und Saatzeiten)

Frühjahrs-N-Düngung (kg N/ha)	Herbst-N-Düngung		Differenz
	0 kg N/ha	40 bzw. 80 kg N/ha	
0/0	28,7	33,9	+5,2
40/40	41,9	46,6	+4,7
80/80	48,6	51,4	+2,8
120/120	51,5	53,8	+2,3
140/140	52,9	54,4	+1,5
Mittel	44,7	48,0	3,3

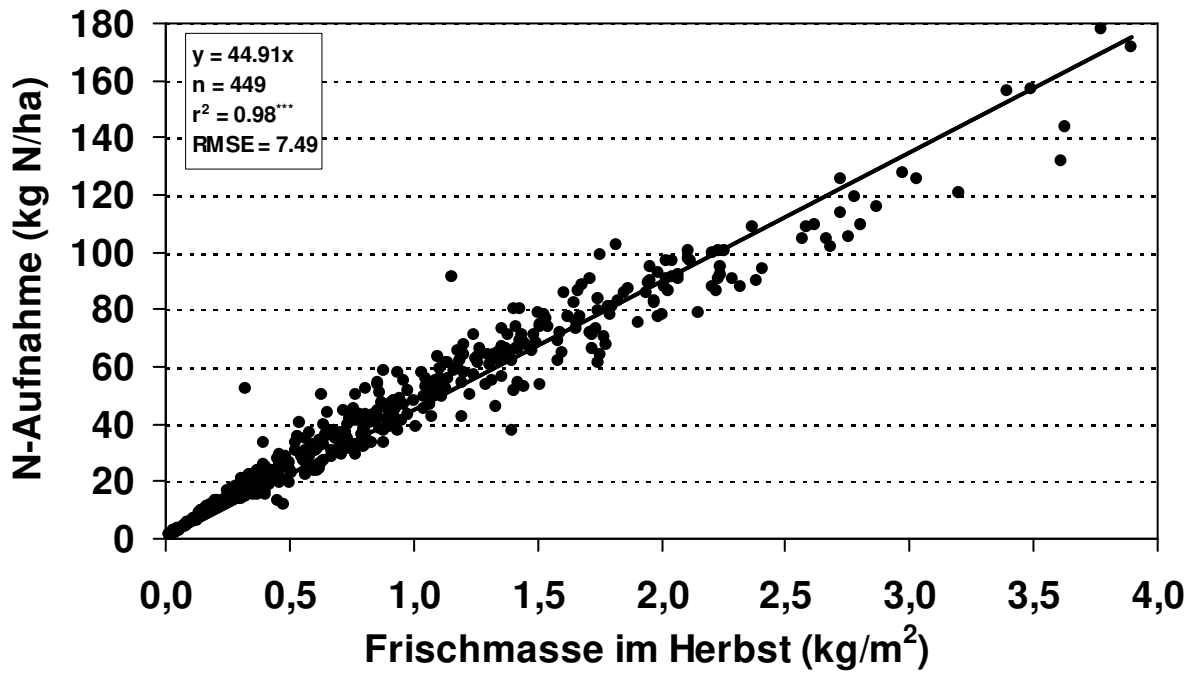


Abb. 1: Beziehung zwischen der Frischmasse und der oberirdischen N-Aufnahme im Herbst (2006/07, 2007/08 und 2008/09)

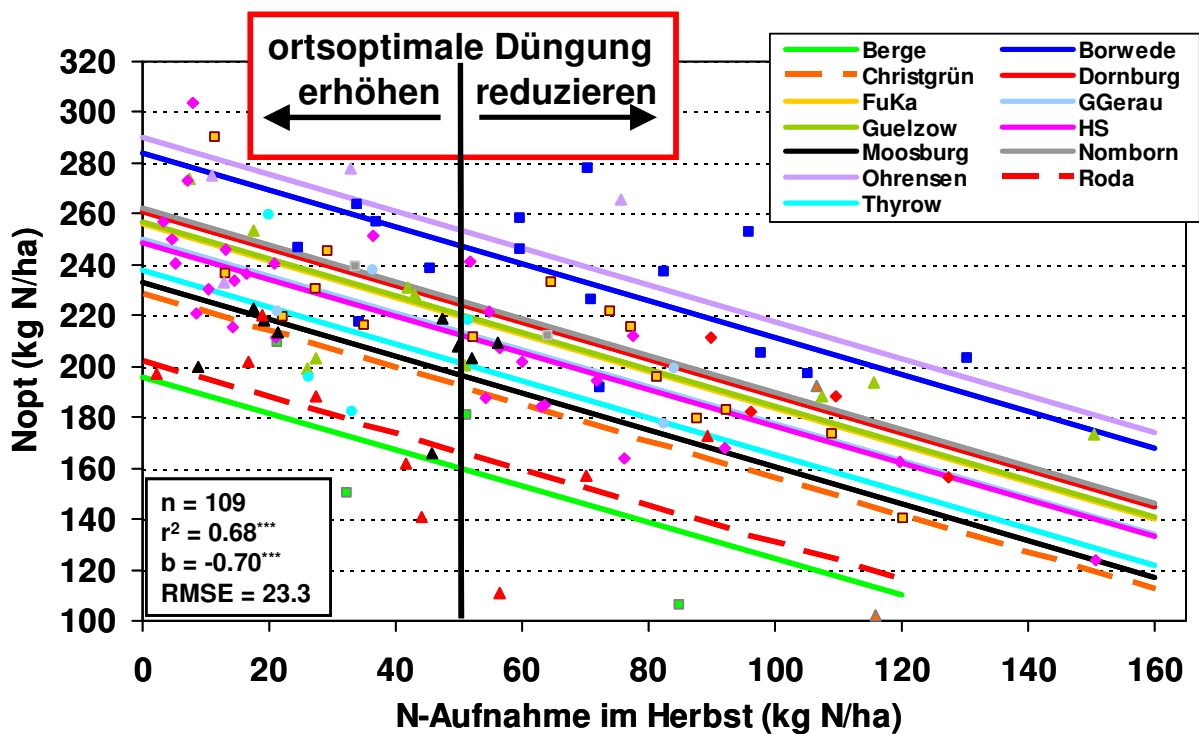
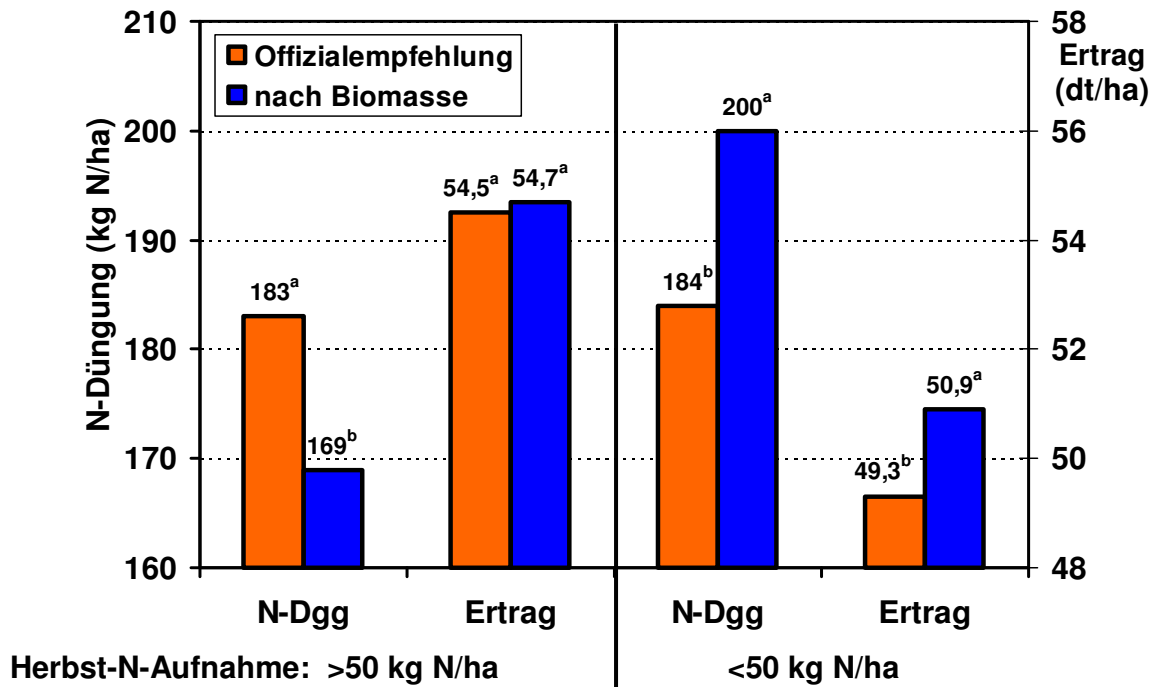
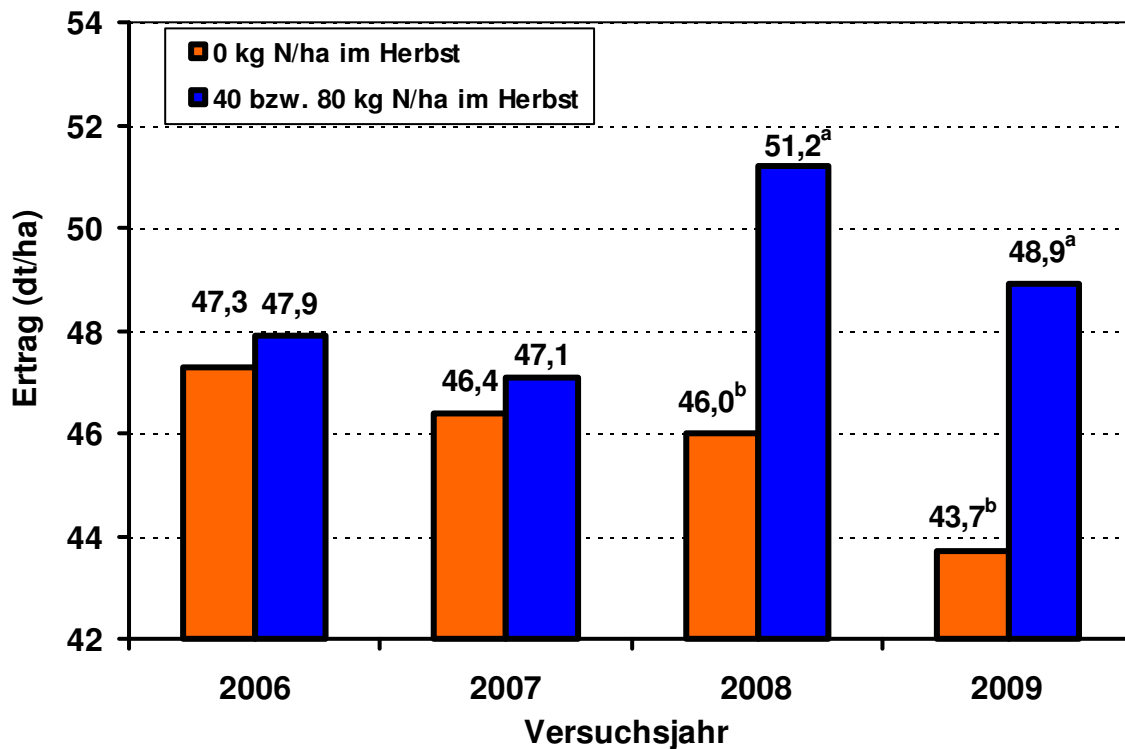


Abb. 2: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Herbst und der optimalen N-Dünger-  
menge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07, 2007/08 und 2008/09  
( $r^2$  für das Gesamtmodell)

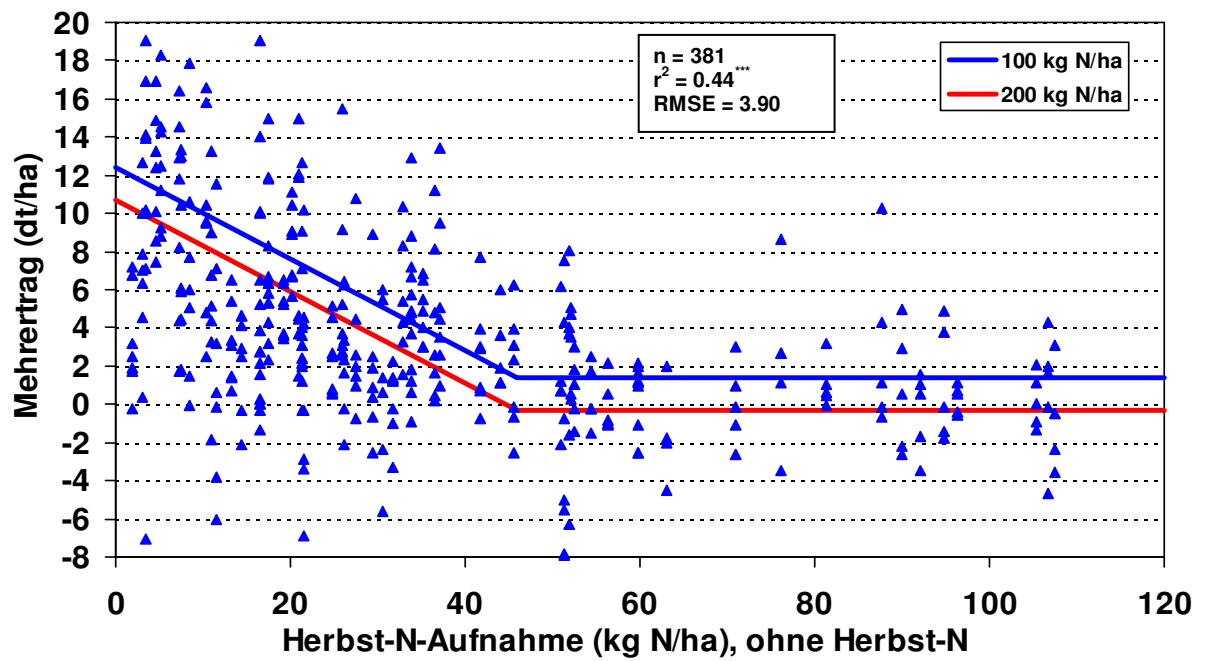




**Abb. 3:** Vergleich zwischen der Offizialempfehlung und der N-Düngung nach Biomasse (2009; Mittel über 12 Standorte; >50 kg N/ha: n = 99; <50 kg N/ha: n = 256)



**Abb. 4:** 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. 5:** Beziehung zwischen der Herbst-N-Aufnahme (ohne Herbst-N-Düngung) und dem Mehrertrag durch eine Herbst-N-Düngung im Mittel beider Saatezeiten (2006-2009; 200 kg N/ha im Frühjahr;  $r^2$  für das Gesamtmodell)