

Optimierung der N-Düngung durch Berücksichtigung der N-Menge im Bestand

PD Dr. Klaus Sieling¹, Dr. Johannes Henke², Dr. Wolfgang Sauermann³, Prof. Dr. Henning Kag¹

Winterraps nimmt während der Vegetationszeit erhebliche N-Mengen auf, die er aber größtenteils für den Aufbau der vegetativen Masse verwendet. Die Verwertungseffizienz, also die Nutzung des aufgenommenen Stickstoffs über den Samen, ist dadurch vergleichsweise gering, so dass der Bilanzüberschuss gemäß Düngeverordnung häufig recht hoch ausfällt.

Sowohl aus Gründen der Umweltverträglichkeit als auch hinsichtlich der ökonomischen Bewertung ist daher anzustreben, dass der Raps zur Ernte einen Ertrag nahe dem wirtschaftlichen Optimum erbringt. Besonderes Augenmerk liegt in diesem Zusammenhang auf einer möglichst treffgenauen Stickstoffdüngung zu Winterraps. Bei einer suboptimalen N-Versorgung wird das standortspezifische Ertragspotenzial nicht vollständig ausgeschöpft, während eine überzogene N-Düngung zu hohen N_{min}-Werten nach der Ernte führt und die N-Auswaschung über Winter erhöht.

Während die N-Düngung beispielsweise zu Weizen meist das Ergebnis mehr oder minder komplexer Überlegungen ist, wird der Raps in den meisten Fällen nach einfacheren Regeln gedüngt. Die häufig zweigeteilte Düngung ist bereits lange erfolgt, wenn die Ertragskomponenten Schotenzahl/Pflanze und Samenzahl je Schote festgelegt werden, also während und nach der Blüte. Mit anderen Worten, im Gegensatz zum Weizen kann die Ertragsbildung von Raps nicht direkt durch die N-Düngung gezielt beeinflusst werden. Das wäre allein aus technischer Sicht auch kaum durchführbar und mit hohen Fahrspurverlusten verbunden.

Trotzdem gibt es Ansatzpunkte zur Optimierung der N-Düngung zum Raps. Dazu zunächst

einige grundsätzliche Überlegungen: Der N-Bedarf eines Pflanzenbestandes ergibt sich aus der Pflanzenaufnahme und dem N_{min}-Wert nach der Ernte. Das N-Angebot setzt sich zusammen aus dem N_{min}-Wert zu Vegetationsbeginn, der N-Mineralisation während der Vegetationsperiode und der N-Düngung. Bei Kulturen, die vor der 1. N-Gabe bereits beträchtliche N-Mengen, die sowohl aus dem N_{min}-Vorrat des Bodens als auch aus der Mineralisation stammen, aufnehmen, erscheint es daher sinnvoll, die vor dem 1. Düngungstermin aufgenommenen N-Mengen bei der N-Düngung zu berücksichtigen.

Versuchsanalyse mit unterschiedlicher Bestandesentwicklung im Herbst

Dieser Ansatz ist die Basis für ein in Frankreich erfolgreich etabliertes System der N-Düngebedarfsermittlung, das in einer von der UFOP geförderten Versuchsserie unter deutschen Bedingungen geprüft wurde. Um den Zusammenhang zwischen der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr und den N-Mengen in den Beständen in Herbst und Frühjahr zu untersuchen, wurden in den Erntejahren 2006 bis 2008 bundesweit N-Düngungsversuche als Parzellenversuche (Plot-in-Plot-Verfahren) an den Standorten Hohenschulen (Schleswig-Holstein), Futterkamp (Schleswig-Holstein), Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern), Borwede (Niedersachsen), Dornburg (Thüringen), Roda (Sachsen) und Moosburg (Bayern) durchgeführt (Abb. 1). Die Standorte der Parzellenversuche decken ein weites Spektrum der wichtigsten Rapsanbaugebiete in Deutschland ab.

Als Sorten wurden an den Standorten Futterkamp, Borwede und Dornburg die Hybride Trabant und in Gülzow, Roda und Moosburg die Liniensorte NK Fair angebaut. In Hohenschulen

¹ Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

² Syngenta Seeds, Bad Salzflen

³ Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Rendsburg

standen beide Sorten, so dass nur an diesem Standort ein Sortenvergleich möglich ist. Da hier keine signifikanten Sorteneffekte auftraten, wird im Folgenden der Sortenaspekt nicht weiter berücksichtigt.

An allen sieben Standorten wurden vier verschiedene Ausgangsbedingungen in Bezug auf die Bestandesentwicklung vor Winter geschaffen. Dies erfolgte durch Variation des Aussaattermins (standortüblich normal vs. spät) und der N-Versorgung im Herbst (0 kg N/ha vs. 40 bzw. 80 kg N/ha nach der Aussaat) innerhalb jeder Saatzeit. Aufgrund der sehr verhaltenen Entwicklung im Herbst 2007 wurde eine Erhöhung der Herbstgabe von 40 auf 80 kg N/ha beschlossen. Jede dieser Herbstvarianten wurde mit einem N-Steigerungsversuch (N-Düngung im Frühjahr: 0-280 kg N/ha in fünf Varianten) kombiniert (Tab. 1).

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 und den Nmin-Werten im Frühjahr mittels einer Kovarianzanalyse in Beziehung gesetzt. Der Versuch war als zweifaktorielle, vollständig randomisierte Blockanlage mit vierfacher Wiederholung für jede Saatzeit angelegt. Eine Randomisation der Aussaattermine war aus versuchstechnischen Gründen nicht möglich.

N-Aufnahme im Herbst und N-Menge nach Winter

In den ersten beiden Versuchsjahren führten warme Herbste und milde Winter zu weit entwickelten Rapsbeständen und daher zu sehr hohen N-Mengen in den Beständen. Im Herbst 2005 waren bis Vegetationsende im Mittel über alle Standorte, Saatzeiten und Herbst-Düngevarianten 95 kg N/ha (40-150 kg N/ha) in der oberirdischen grünen Pflanzenmasse vorhanden, im Folgejahr bis Ende November 2006 71 kg N/ha (30-150 N/ha). Demgegenüber war der Wachstumsverlauf im Herbst 2007 gekennzeichnet durch unterdurchschnittliche Temperaturen, die in Kombination mit den meistens nassen Böden und einer häufig verspäteten Aussaat zu einer nur sehr verhaltenen Entwicklung des Rapses vor Winter führten. Dies spiegeln die Werte für die N-Aufnahme vor Winter mit durchschnittlich 28 kg N/ha (16-45 kg N/ha) deutlich wider; insbesondere die Spät-

saaten konnten nur wenig N akkumulieren. Die N-Gabe im Herbst 2007 von 80 kg N/ha steigerte die N-Aufnahme vor Winter von 28 auf 56 kg N/ha in den normal gesäten Beständen und von 11 auf 19 kg N/ha in den Spätsaaten. Die Spätsaaten hatten lediglich 8 kg N/ha (= 10% der gedüngten Menge) zusätzlich aufgenommen, was aber andererseits fast zu einer Verdoppelung der N-Menge im Bestand geführt hat.

Durch Blattverluste gingen im Winter 2005/2006 im Mittel 34 kg N/ha verloren, im extrem milden Winter 2006/2007 erhöhten sich die N-Mengen aufgrund des nahezu ununterbrochenen Pflanzenwachstums im Mittel um 31 kg N/ha. Blattverluste über Winter führen zwangsläufig auch zu einer Reduzierung der N-Menge im Bestand, allerdings kann N aus diesen Blattverlusten im Frühjahr zu einem gewissen Teil wieder mineralisiert werden. Der Winter 2007/08 war gegenüber dem langjährigen Mittel deutlich zu warm. Der Raps konnte während des Winters auf allen Standorten zusätzlich Trockenmasse bilden und N aufnehmen, so dass zu Vegetationsbeginn die Bestände im Mittel in den im Herbst ungedüngten Varianten 46 kg N/ha in der Normalsaat und 23 kg N/ha in der Spätsaat akkumuliert hatten. Mit 80 kg N/ha im Herbst erhöhten sich die Werte auf 77 bzw. 38 kg N/ha.

Die bereits aufgenommenen N-Mengen im Bestand lassen sich vergleichsweise einfach abschätzen. 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 Raps Schlag 4-5-mal jeweils 1 m² Rapspflanzen ausgraben, die Wurzeln am Wurzelhals abschneiden und die von grobem Schmutz gesäuberte oberirdische grüne Biomasse wiegen. Multipliziert man die einzelnen Massen (kg/m²) mit 45 und bildet den Mittelwert, so erhält man eine gute Schätzung für die oberirdische N-Menge (kg N/ha) im Bestand (Abb. 3).

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. Für die Ermittlung der ökonomischen Optima wurde ein Rapspreis von 25 €/dt und ein N-Preis von 0,60 €/kg N unterstellt. Für ei-

nige Kombinationen lag das berechnete Optimum weit außerhalb der geprüften Spanne, so dass diese Fälle von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden mussten. Die ökonomisch optimalen Düngermengen wurden nun mit folgenden Parametern in Beziehung gesetzt:

- N-Menge im Bestand im Herbst
- N-Menge im Bestand im Frühjahr
- Nmin in 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 und 2007/08 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 drei Versuchsjahren die optimalen N-Mengen 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 dreijährigen Auswertung weisen daher die gleiche Steigung auf (Abb. 4-6).

N-Aufnahme im Herbst kann anteilig angerechnet werden

In der Analyse über drei Jahre konnte eine signifikante Beziehung zwischen der optimalen Düngermenge und der N-Menge im Bestand im Herbst gefunden werden (Abb. 4). Die Steigung der Geraden betrug $b = -0,67$. Obwohl die Herbst-N-Mengen im Herbst 2007 auf einem deutlich niedrigeren Niveau lagen als in den Vorjahren, bestätigen sich die Ergebnisse aus 2005/06 und 2006/07 in 2007/08 eindrucksvoll. Nach den vorliegenden Ergebnissen kann auch davon ausgegangen werden, dass im Herbst schwächer entwickelte Bestände (NAufnahme <50 kg N/ha) ein höheres Düngeroptimum im Frühjahr aufweisen als ein angenommener Durchschnittsbestand mit 50 kg N/ha.

Die Beziehung der optimalen N-Düngermenge zur N-Menge im Bestand im Frühjahr (Abb. 5) ist zwar signifikant, aber bezogen auf die statistischen Maßzahlen r^2 und RMSE deutlich unpräziser. Die schlechtere Beziehung kann dadurch erklärt werden, dass über Winter in einigen Jahren Blattverlust durch Abfrieren auf-

trat, während in anderen aufgrund höherer Temperaturen die N-Menge im Bestand noch zunahm. Diese ungerichteten Veränderungen über Winter überdecken die Informationen über die N-Nachlieferung des Standortes, für die die N-Aufnahme im Herbst ein Indikator ist. Auch die Beziehung zwischen den Nmin-Werten im Frühjahr und der optimalen N-Düngermenge (Abb. 6) war nur schwach ausgeprägt. In allen Jahren lagen 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.

Einfache Umsetzung in der Praxis

Die praktische Umsetzung der Ergebnisse kann in folgender Weise geschehen: Es wird unterstellt, dass ein Bestand, der zu Vegetationsende 50 kg N/ha aufgenommen hat, im folgenden Frühjahr ortsüblich gedüngt wird. Hat ein Rapsbestand im Herbst eine davon abweichende N-Menge aufgenommen, so wird die Differenz zu 50 kg N/ha zu zwei Dritteln (67 %, da die Steigung der Geraden 0,67 beträgt) bei der Bemessung der Frühjahrs-N-Düngung angerechnet. Schwächer entwickelte Bestände erhalten einen entsprechenden Zuschlag, üppige Bestände einen entsprechenden Abschlag. Ein Beispiel: Ein Winterrapsbestand hat im Herbst 90 kg N/ha aufgenommen, und die ortsübliche Düngermenge beträgt 200 kg N/ha. Die durchschnittliche N-Menge im Bestand wird in diesem Beispiel um 40 kg N/ha überschritten. Von diesen 40 kg N/ha sind 67 %, also 27 kg N/ha auf die ortsübliche Düngermenge anrechenbar, so dass sich eine Düngermenge von 173 kg N/ha (200-27) ergibt. Bei einem Bestand mit einer N-Aufnahme von 20 kg N/ha vor Winter sollte dagegen die N-Düngung um 20 kg N/ha auf 220 kg N/ha erhöht werden $((50-20)*0,67)$.

Es erscheint aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse sinnvoll, auf sehr üppige Bestände im Herbst mit einer reduzierten N-Düngung im Frühjahr zu reagieren und damit eine bedarfsgerechtere N-Düngung durchzuführen. Die Möglichkeit zur Einsparung von Düngestickstoff ergibt sich letztlich aus der erhöhten Freisetzung von Bodenstickstoff während warmer Herbstmonate, die in den Rapsbeständen offenbar zu einem gewissen Umfang für die Ertragsbildung im nächsten Frühjahr genutzt wer-

den kann. Dabei ist allerdings festzuhalten, dass bei Raps zur Realisierung hoher Erträge eine entsprechende N-Aufnahme notwendig ist und die Reduzierung der N-Düngermengen nicht überzogen werden sollte. In Frankreich wurden unter Berücksichtigung der N-Mengen im Bestand im Mittel über die Jahre 25 kg N/ha eingespart.

Bei dem hier vorgestellten Verfahren bleibt allerdings eine grundlegende Frage ungeklärt, nämlich die Frage nach der Höhe der ortsoptimalen N-Düngung. Wie aus Abb. 4 ersichtlich wird, unterscheiden sich die Standorte deutlich hinsichtlich der optimalen N-Düngungshöhe. Diese Unterschiede sind nicht auf Unterschiede in der N-Aufnahme der Bestände im Herbst oder durch unterschiedliche Erträge und damit durch einen unterschiedlichen N-Bedarf zurückzuführen. Inwiefern die Standortbedingungen wie Wasserverfügbarkeit oder unterschiedliche N-Nachlieferungen des Bodens Teile dieser Differenzen erklären können, muss in weiteren Analysen noch geklärt werden.

Wir bedanken uns bei Frau J. Gronow (UFOP-Außenstelle für Versuchswesen), Dr. habil E. Albert (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft), Herrn A. Baer (Norddeutsche Pflanzenzucht), Dr. G. Baumgärtel (Landwirtschaftskammer Niedersachsen), Herrn T. Graf (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft), Dr. R.-R. Schulz (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern) für die Zusammenarbeit und bei der UFOP e.V. für die Finanzierung dieses Projektes.

Tab. 1: Versuchsfaktoren und Faktorstufen des Feldversuches

Saatzeit	Normal		Spät	
	N-Düngung im Herbst (kg N/ha)	0	40 bzw. 80*	0
N-Düngung im Frühjahr (kg N/ha)	0	0	0	0
	80	80	80	80
	160	160	160	160
	240	240	240	240
	280	280	280	280

* 40 kg N/ha in 2005/06 und 2006/07, 80 kg N/ha in 2007/08

Abb. 1: Standorte in Deutschland



Abb. 2: Unterschiedlich entwickelte Winterrapsbestände (Normal-, Spätsaat) am Standort Hohenschulen im Herbst 2007 (05.12.2007)

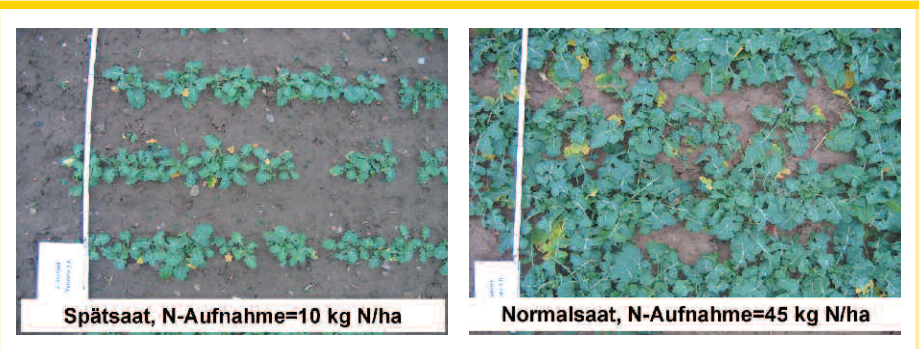


Abb. 3: Beziehung zwischen der oberirdischen Frischmasse (kg/m²) und den gemessenen N-Mengen (kg N/ha) in den Rapsbeständen im Herbst 2006 und 2007

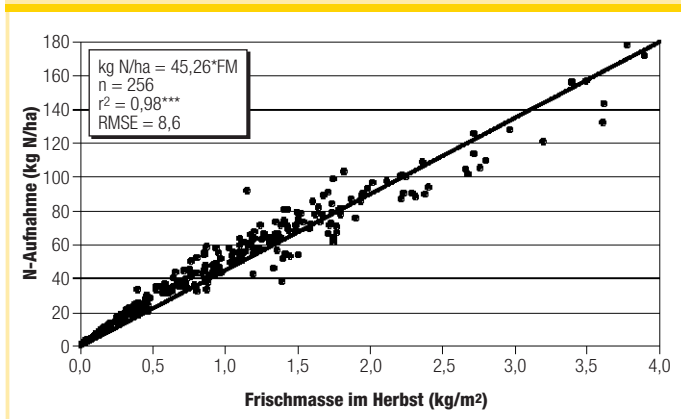


Abb. 4: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Herbst und der optimalen N-Dünger-menge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07 und 2007/08 (r² für das Gesamtmodell)

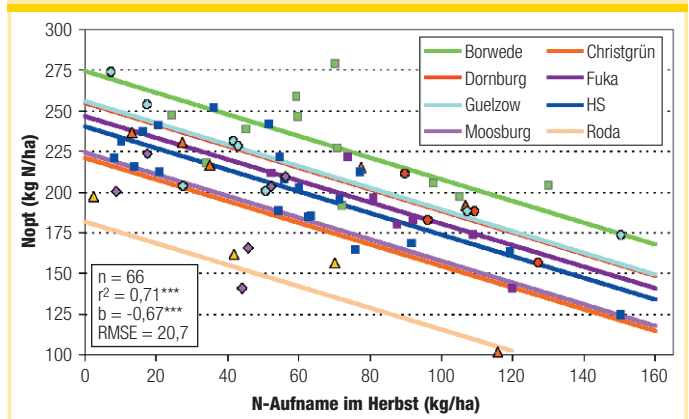


Abb. 5: Beziehung zwischen der N-Aufnahme im Frühjahr und der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07 und 2007/08 (r^2 für das Gesamtmodell)

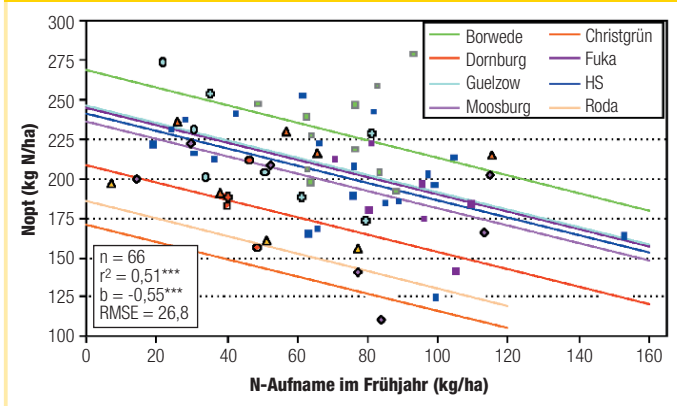


Abb. 6: Beziehung zwischen dem N_{min}-Wert in 0-60 cm im Frühjahr und der optimalen N-Düngermenge im Frühjahr für 2005/06, 2006/07 und 2007/08 (r^2 für das Gesamtmodell)

