

# N-Überschüsse minimieren

## Besonderheiten des Stickstoff-Haushalts von Winterraps

**Die Anbaufläche von Winterraps hat sich in Deutschland in den letzten 20 Jahren fast verdoppelt und betrug 2009 1,46 Mio. ha. Mit einem Anteil von 12 Prozent an der bestellten Ackerfläche ist Raps somit nach Weizen, Mais und Gerste eine der wichtigsten Ackerkulturen in Deutschland. Wie man den besonderen N-Ansprüchen dieser Kultur gerecht wird, erläutern Prof. Franz Wiesler und Dr. Martin Armbruster von der LUFA Speyer.**

Ungeachtet der positiven Entwicklungen bei Anbaufläche und Ertrag der letzten Jahrzehnte muss Raps, insbesondere was seinen N-Düngerbedarf und seine N-Düngerausnutzung betrifft, auch als eine sowohl für den Gewässer- als auch den Klimaschutz nicht unproblematische Kultur angesehen werden. So weist Raps unter den in Deutschland angebaute landwirtschaftlichen Kulturen mit die höchsten N-Bilanzüberschüsse auf.

### Nicht unproblematisch bei Gewässer und Klimaschutz

Dies wird vor allem darauf zurückgeführt, dass Raps zwar einen sehr hohen N-Bedarf für seine Gesamtbio-massebildung hat, aber nur relativ wenig N mit den Samen entzogen wird, was zu einem im Vergleich zu anderen Kulturen niedrigen Stickstoffern-teindex führt. Dies erfordert eine weit über den Entzug durch die Samen hinausgehende N-Düngung und führt aufgrund der Mineralisierung von N-reichen Ernterückständen zu stark ansteigenden  $N_{\min}$ -Gehalten.

Im Folgenden werden einige Untersuchungsergebnisse zum N-Haushalt von Winterraps vorgestellt, die in Feldversuchen im Raum Göttingen gewonnen wurden.

### Hohe N-Aufnahmeraten vor Winter und im Frühjahr

Winterraps unterscheidet sich von anderen Kulturen sehr deutlich in seinem N-Haushalt. So nimmt er bereits vor Winter 40 bis 100 kg N/ha auf, die allerdings mit abfrierendem Pflanzenmaterial über Winter teilweise auch wieder dem Boden zugeführt werden. Mit einsetzender Vegetation im Frühjahr erfolgt eine Phase sehr intensiver N-Aufnahme, die bis zum Beginn der Blüte anhält.

Aufgrund sehr starker Lichtreflektion durch die Blütenblätter und eine anschließende sehr starke Beschattung durch das sich ausbildende Schotendach kommt es ab Blühbeginn nur noch zu einem niedrigen Licht-Angebot im unteren Bestandesbereich. Dadurch geht die Aufnahmeaktivität der Wurzeln stark zurück, das heißt diese



**Im Gegensatz zu anderen Kulturpflanzen nimmt Raps vor allem vor der Blüte Stickstoff auf.**

Foto: agrar-press

Wachstumsphase ist durch eine nur noch sehr geringe N-Aufnahme aus dem Boden gekennzeichnet. Es setzen Chlorophyll- beziehungsweise Proteinabbauprozesse in den Blättern und eine – allerdings unvollständige – Rückverlagerung des so mobilisierten Stickstoffs in die sehr proteinreichen Samen ein. Zeitgleich kommt es zu N-Verlusten über abfallende Blätter, die bisher aber nur selten quantifiziert wurden.

### Ab Blühbeginn kaum noch Netto-N-Aufnahme zu verzeichnen

Grafik 1 zeigt die N-Aufnahme von Winterraps in die Gesamtpflanze zu Blühbeginn und zur Reife bei einer in Menge (insgesamt 0, 103, 223 kg N/ha;  $N_{\min}$ -Gehalt zu Vegetationsbeginn 17 kg N/ha) und Zeit (Vegetations-/Schossbeginn) variierten N-Düngung.

Das Ertragsniveau war in diesem Versuch sehr hoch und variierte je nach Düngungshöhe zwischen 2,81 (N0/0), 4,10 (N103/0), 4,33 (N0/103) und 4,76 (N103/120) t TM/ha. Je nach Düngungshöhe betrug die N-Aufnahme zu Blühbeginn zwischen 70 (N0/0), 128 (N103/0), 118 (N0/103) und 186 (N103/120) kg N/ha.

In Übereinstimmung mit dem skizzierten N-Aufnahmeverlauf konnte auch in diesem Versuch festgestellt wer-

den, dass zwischen Blühbeginn und Reife in den Varianten N103/0 und N103/120 praktisch überhaupt keine Netto-N-Aufnahme mehr stattfand. In den Varianten ohne (N0/0) beziehungsweise bei später N-Düngung (N0/103) betrug die N-Aufnahme noch 9 beziehungsweise 26 kg/ha. Ähnliche Ergebnisse konnten auch in anderen Versuchen beobachtet werden, wobei auch Netto-N-Verluste während der reproduktiven Wachstumsphase von über 30 kg N/ha festgestellt wurden.

Damit unterscheidet sich Raps deutlich von anderen Pflanzenarten, die während der reproduktiven Wachstumsphase häufig noch eine wesentlich höhere N-Aufnahme aufweisen.

### Hohe N-Bilanzüberschüsse im Rapsanbau

In den vorgestellten Versuchen mit Winterraps war der Stickstoff-Ernteindex (die N-Menge in den Samen im Vergleich zur N-Menge in der Gesamtpflanze) mit 0,82 bis 0,86 ausgesprochen hoch. Je nach Düngungsvariante hatten die Pflanzen 68 (N0/0), 106 (N103/0), 123 (N0/103) und 154 (N103/120) kg N/ha in ihre Samen aufgenommen. Die N-Menge im Stroh betrug 11 (N0/0), 20 (N103/0), 21 (N0/103) und 34 (N103/120) kg N/ha. Aus technischen Gründen nicht berücksichtigt sind hier die N-Mengen in den Stoppeln und Wurzeln sowie in den Schotenwänden, welche die N-Mengen in der Gesamtrestpflanze vermutlich noch deutlich erhöhen würden.

Bei den ausgebrachten Düngermengen betrug der N-Saldo damit -3 (N103/0), -20 (N0/103) und +69 (N103/120) kg N/ha. Selbst bei dem in diesem Versuch sehr hohen Ertragsniveau war der N-Bilanzüberschuss damit noch relativ hoch und übertraf den von der Düngeverordnung im dreijährigen Durchschnitt geforderten Wert von 60 kg N/ha. In anderen eigenen N-Düngungsversuchen mit Winterraps wurden bei niedrigerem Ertragsniveau N-Bilanzüberschüsse von deutlich über 100 kg N/ha ermittelt.

Als eine Ursache für hohe N-Bilanzüberschüsse im Rapsanbau werden häufig hohe N-Verluste mit abfallenden Blättern während der reproduktiven Phase der Pflanzen genannt. Tatsächlich zeigen Untersuchungen mit einem sogenannten Canopy-Analyzer, dass der Blattflächenindex (Bodenbedeckungsgrad) von Raps bis zur Blüte sehr stark ansteigt, dann aber deutlich zurückgeht.

Dieser Rückgang beruht auf dem Verlust der alten Blätter (alle Blätter unterhalb der untersten Verzweigung

des Blütenstands), die in einem Zeitraum von vier bis sechs Wochen ab der Blüte vollständig abfallen. Dies trifft teilweise auch auf jüngere Blätter zu, was aber durch die Zunahme der Schotenfläche überkompensiert wird. Interessant beim Vergleich der beiden Sorten ist, dass die N-ineffiziente Sorte Capitol bei niedrigem N-Angebot ihre alten Blätter schneller verlor als die effiziente Sorte Apex.

**Abgefallene Blätter wurden gesammelt und analysiert**

Um nun Trockenmasse- und N-Verluste während der reproduktiven Wachstumsphase durch Blattfall tatsächlich quantifizieren zu können, wurden in dem anfangs vorgestellten Versuch zu Blühbeginn Lattengestelle, in die ein Netz gespannt war, ebenerdig zwischen die Pflanzenreihen gelegt. In wöchentlichem Abstand wurden die abgefallenen Blätter gesammelt und deren TM sowie deren N-Gehalte bestimmt. Grafik 3 zeigt die TM- und N-Verluste sowie die N-Gehalte in den abgefallenen Blättern im Verlauf der reproduktiven Wachstumsphase im Mittel von zwei Sorten.

Dabei wird deutlich, dass die Pflanzen zu Beginn der Blüte schon bis zu 0,3 t TM beziehungsweise 4 kg N/ha durch abgefallene Blätter verloren hatten (ermittelt durch Aufsammeln von Blättern vor dem ersten Auslegen der

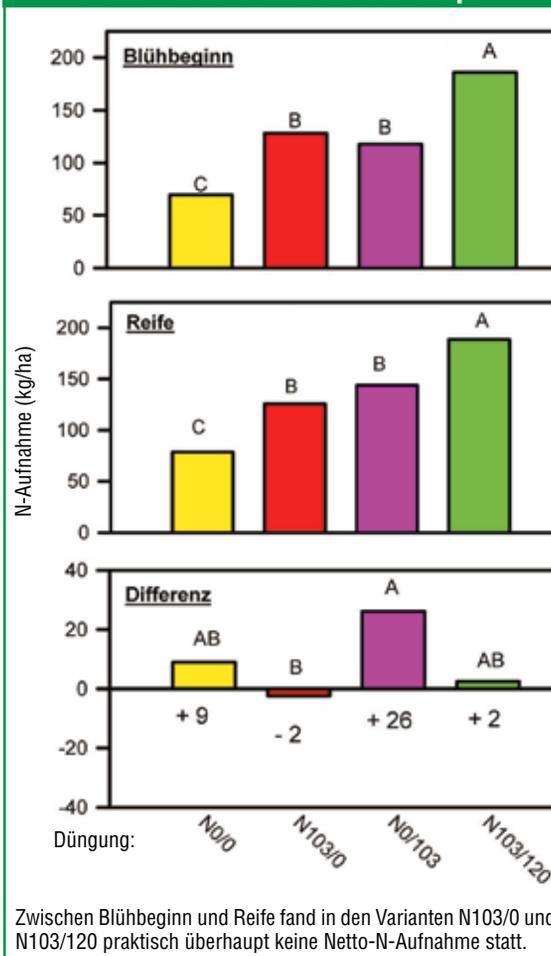
Lattengestelle). Im weiteren Verlauf der reproduktiven Wachstumsphase wurden zunächst übereinstimmend ansteigende TM-Verluste in den Varianten N0/0, N103/0 und N103/120 festgestellt. Eine deutliche Differenzierung zwischen diesen N-Stufen setzte dann ab etwa einer Woche nach Blühende ein, die (a) in zunächst steiler ansteigenden Verlusten in der Variante mit Düngung nur zu Vegetationsbeginn (N103/0) im Vergleich zu der hochgedüngten Variante (N103/120) zum Ausdruck kommt und (b) einem Ausklingen der TM-Verluste in der ungedüngten Kontrolle, was darauf beruht, dass diese Variante zu diesem Zeitpunkt praktisch alle Blätter verloren hatte.

**N-Gehalte der Blätter spiegeln die Höhe des N-Angebots wider**

Einen im Vergleich zur Variante N103/0 parallel nach unten verschobenen Verlauf zeigt die Variante N0/103, bei der die späte Düngung zu langsamer einsetzenden und auch insgesamt geringeren TM-Verlusten führte. Am Ende der Vegetationsperiode variierten die Gesamt-TM Verluste zwischen 0,7 t/ha in der ungedüngten Kontrolle und 1,1 t/ha beim höchsten N-Angebot.

Die im Verlauf der reproduktiven Wachstumsphase in den abgefallenen Blättern ermittelten N-Gehalte wiesen keine klare zeitliche Dynamik auf, was

**Grafik 1: N-Aufnahme von Winterraps**

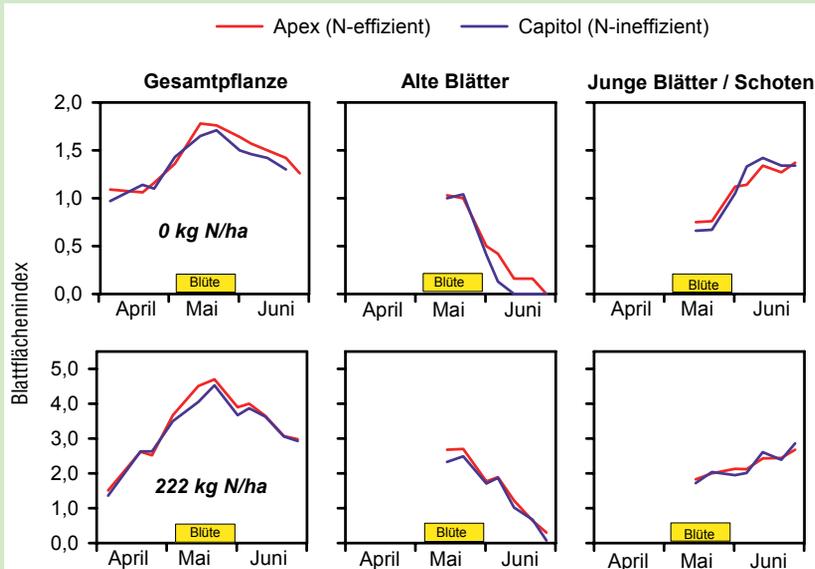


Zwischen Blühbeginn und Reife fand in den Varianten N103/0 und N103/120 praktisch überhaupt keine Netto-N-Aufnahme statt.

darauf beruhen dürfte, dass die Pflanzen je nach Witterungsbedingungen (Wind, Bodenfeuchte) unterschiedlich alte Blätter verloren. Insgesamt spiegeln die N-Gehalte klar die Höhe des N-Angebots wider. Sie betragen im Mittel des Beobachtungszeitraums 6,1 (N0/0), 9,7 (N103/0), 10,3 (N0/103) und 14,3 (N103/120) mg N/g TM. Sie waren damit mehr als doppelt so hoch wie die zur Reife in den Restpflanzen ermittelten N-Gehalte.

Entsprechend des Verlaufs von TM-Verlusten und N-Gehalten in den abgefallenen Blättern erhöhten sich die N-Verluste in der ungedüngten Kontrolle bis etwa eine Woche nach Blühende, in den anderen Varianten fast bis zur Reife. Insgesamt waren die N-Verluste jedoch nicht sehr hoch. Sie variierten je nach N-Angebot zwischen 4,4 kg N/ha in der ungedüngten Kontrolle und 16,3 kg N/ha beim höchsten N-Angebot. Auch die Untersuchung von zwölf Sorten beim höchsten N-Angebot (N103/120) ergab N-Verluste durch Blattfall von maximal 21 kg/ha. Insgesamt stehen die ermittelten N-Verluste durch Blattfall damit in guter Übereinstimmung mit den wenigen Angaben, die dazu aus der Literatur vorliegen, die sich in einem Bereich von 10 bis 30 kg N/ha bewegen. →

**Grafik 2: Blattflächenindizes im Verlauf der Vegetationsperiode von zwei Winterrapssorten bei niedrigem und bei hohem N-Angebot**



Der Blattflächenindex (Bedeckungsgrad) von Raps steigt bis zur Blüte sehr stark an, geht dann aber deutlich zurück. Dieser Rückgang beruht auf dem Verlust der alten Blätter. Interessant beim Vergleich der beiden Sorten ist, dass die N-ineffiziente Sorte Capitol bei niedrigem N-Angebot ihre alten Blätter schneller verlor als die effiziente Sorte Apex. Die Messungen erfolgten zwischen Bodenoberfläche und Spitze der Pflanzen („Gesamtpflanze“), Bodenoberfläche und Beginn der Blütenstandsverzweigung („Alte Blätter“) sowie Beginn der Blütenstandsverzweigung und Pflanzenspitze („Junge Blätter/Schoten“).

## Samenertrag und N-Aufnahme zweier Winterrapsorten bei zwei N-Düngungsstufen

N-Düngung:	ohne		223 kg N/ha	
Sorte:	Apex	Capitol	Apex	Capitol
Samenertrag (t/ha):	3,35 a	2,61 b	4,97 a	4,91 b
• N-Aufnahme (kg/ha)				
- Reife	93 a	68 b	198 a	191 a
- Blüte – Reife	33 a	- 15 b	- 7 a	19 a

Sortenvergleich innerhalb der N-Stufen (Mittelwerte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden)

### Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz von Winterraps

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst bei Realisierung eines hohen Ertragsniveaus vergleichsweise hohe N-Bilanzüberschüsse beim Anbau von Winterraps auftreten, was aus Gründen des Gewässer- und Klimaschutzes Maßnahmen zur Verbesserung der N-Effizienz erforderlich macht. Dazu bestehen grundsätzlich drei Ansatzpunkte, die in ein System des integrierten N-Managements im Rapsanbau einbezogen werden können:

- Transfer und Nutzung der N-Bilanzüberschüsse aus der Rapskultur durch die Folgekultur,
- Verbesserung der N-Ausnutzung und damit Verminderung der N-Bilanzüberschüsse durch die Rapskultur, sowie
- Realisierung des bei der Düngereinsatzermittlung zugrunde gelegten Ertragspotenzials.

### Je nach Boden Wintergetreide oder Sommergerne nachbauen

Für den Transfer von N-Bilanzüberschüssen und deren Nutzung durch die Folgekultur ist die Gestaltung der Fruchtfolge maßgebend. So können N-Bilanzüberschüsse durch den tiefwurzenden Winterweizen sehr gut genutzt werden, selbst wenn die N-Aufnahme dieser Kultur vor Winter gering ist und eine gewisse Nitratauswaschung in den Unterboden erfolgt. Dies erfordert allerdings eine sehr treffsichere Ermittlung des Düngereinsatzbedarfs bei Winterweizen unter Berücksichtigung der N-Nachlieferung auf dem Standort.

Die Nutzung der verschiedenen Möglichkeiten der Pflanzendiagnose als Basis für die N-Schossergabe erscheint hier besonders attraktiv. Lediglich auf leichten Standorten ist die Gefahr groß, dass die N-Bilanzüberschüsse in Raps-Weizen-Fruchtfolgen schon über Winter ausgewaschen werden. Auf solchen Standorten könnte die biologische N-Konservierung über Winter durch Ausfallraps und den An-

bau einer Sommergerne mit hohem N-Bedarf eine Alternative zu Wintergetreide sein.

### Düngereinsatz und -zeitpunkt exakt ermitteln

Dessen ungeachtet sollte eine überhöhte N-Düngung zu Winterraps vermieden werden, was eine möglichst treffsichere Ermittlung des Düngereinsatzbedarfs zu Raps erforderlich macht. Die besten Aussichten dafür bietet die Kombination von Bodenuntersuchung zu Beginn und von Pflanzentests während der Vegetationsperiode an. In neueren Systemen wird auch die Berücksichtigung der vor Winter aufgenommenen N-Menge für die Ableitung des Düngereinsatzbedarfs im Frühjahr empfohlen.

Das Muster der Aufteilung der N-Düngung während der Vegetationsperiode hängt sehr stark von den vorherrschenden klimatischen Bedingungen ab. Bei ausreichender Feuchtigkeit und insgesamt knapper N-Düngung ist eine verhaltene Düngung zu Vegetationsbeginn im Frühjahr und eine eher schosserbetonte N-Düngung günstiger, da dadurch unproduktives vegetatives Wachstum zugunsten einer ausreichenden Ausbildung der Ertragsorgane eher vermieden wird. Unter Bedingungen mit häufiger Frühjahrs- beziehungsweise Frühsommertrockenheit kann diese Strategie jedoch fehlschlagen.

Unter Bedingungen eines eher knappen N-Angebots kann auch der Anbau von Sorten mit hoher agronomischer N-Effizienz, also einer vergleichsweise hohen und stabilen Ertragsbildung pro Einheit gedüngtem Stickstoff, an Bedeutung gewinnen. Dieser Aspekt war Gegenstand einiger

Forschungsprojekte, hat aber bisher kaum Eingang in die landwirtschaftliche Praxis gefunden.

Das erhebliche Potenzial, welches in der Nutzung von Sortenunterschieden in der N-Effizienz besteht, geht aus Tabelle 1 hervor. Die beiden untersuchten Sorten Apex und Capitol unterschieden sich bei hohem N-Angebot weder in der Ertragsbildung noch in der N-Aufnahme in den Spross. Dagegen bestanden signifikante Unterschiede in der Ertragsbildung zwischen den Sorten bei unterlassener N-Düngung. Die höhere agronomische N-Effizienz der Sorte Apex war hier eindeutig auf eine höhere N-Aufnahme zurückzuführen, die sich in der reproduktiven Wachstumsphase der Pflanzen etablierte.

### Angestrebte Ertragshöhe muss auch erreicht werden

Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass die treffsichere Ermittlung des Düngereinsatzbedarfs für eine Kultur und damit auch die Erzielung eines möglichst niedrigen N-Bilanzüberschusses immer die Kenntnis einer bestimmten Ertragsersparnis voraussetzt. Deren Realisierung hängt von Bewirtschaftungsmaßnahmen ab, die vom Landwirt optimiert werden müssen.

Dessen ungeachtet werden die Unwägbarkeiten der Witterung immer zu Ertragsschwankungen zwischen Jahren und damit auch zu unterschiedlichen und wenig beeinflussbaren N-Bilanzüberschüssen führen. Dieser Aspekt wird mit dem Klimawandel und der prognostizierten Zunahme an Extremereignissen wie Trockenheit oder Unwetter noch an Bedeutung gewinnen. ■



Um die N-Düngung möglichst exakt zu platzieren, muss man auch die Erntemenge gut abschätzen und absichern. Foto: Dr. Moennig