

Réglette azote colza[®]: Anpassung eines Tools für die Stickstoffdüngung von Raps an die Schweiz

Arnaud Micheneau^{1,2}, Luc Champolivier¹, Nicolas Courtois³, Sokrat Sinaj² und Alice Baux²

¹Terres Inovia, Institut technique des producteurs d'oléagineux, de protéagineux, de chanvre et de leurs filières, 31326 Castanet-Tolosan, Frankreich

²Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

³AgriGeneve, Rue des Sablières 15, 1242 Satigny, Schweiz

Auskünfte: Alice Baux, E-Mail: alice.baux@agroscope.admin.ch



Rapsparzelle Ende Winter. (Foto: Vincent Nussbaum, Agroscope)

Einleitung

Das vom französischen Institut Terres Inovia entwickelte Online-Tool Réglette azote colza[®] stellt eine Entscheidungshilfe für die Stickstoffdüngung von Rapskulturen dar. Es bietet Landwirtschaftsbetrieben und Beratungsstellen die Möglichkeit, die für die Rapskultur erforderliche Stickstoffdosis ausgehend von einem Dutzend Kriterien schnell und präzise zu bestimmen. Diese leicht zugänglichen Kriterien werden vom Anwender erfasst: Departement, Bodentyp, Ertragsziel, Frischgewicht des Rapses zu Beginn und am Ende des Winters, Eintrag organischer Produkte in die Parzelle, Vorgängerkultur eine Leguminose oder nicht, zusammen mit Leguminosen als Gründüngung oder nicht (Champolivier *et al.* 2014). Das Ertragsziel wird errechnet aus dem Durchschnitt der Erträge, die in der Parzelle in den letzten fünf Jahren mit Rapsanbau erreicht wurden, wobei der höchste und der tiefste Ertrag ausgeschlossen werden.

Das 1998 lancierte Tool Réglette azote colza[®] findet heute in französischen Landwirtschaftsbetrieben in seiner

neuen, angepassten, elektronischen und kostenlosen Version breite Anwendung. Es steht eine Applikation für Smartphones (Android und Apple) zur Verfügung. Damit lassen sich die Berechnungen direkt auf dem Feld vornehmen. Mit einem Bericht im PDF-Format können die Berechnungen festgehalten werden. Das Tool wird von den französischen Bestimmungen im Zusammenhang mit der Stickstoffdüngung anerkannt.

Eine der Stärken des Rechners ist, dass er die Biomasse des Rapses zu Beginn und am Ende des Winters berücksichtigt. Durch diese mit einigen Wägungen leicht bestimmbar Information kann eine Schätzung des Ende Winter bereits von der Pflanze exportierten Stickstoffs vorgenommen und die Düngungsdosis ausgehend von dieser Information angepasst werden.

Durch die Korrektur von Situationen mit Unter- oder Überdüngung bei der gängigen Düngungspraxis kann das Stickstoffmanagement auf dem Betrieb verbessert werden: Der eingesparte Stickstoff bei der Korrektur einer Überdüngungssituation steht für eine andere Kultur zur Verfügung. Andererseits ermöglicht es ein besserer Um-

gang mit Überdüngungssituationen, die Stickstoffverluste durch Auswaschung und damit die Gewässerverschmutzung mit Nitraten zu begrenzen. Wenn umgekehrt der Rechner eine Erhöhung der Stickstoffdosis gegenüber der gängigen Praxis empfiehlt, kann die Düngung bestimmter Kulturen zugunsten des Rapses reduziert werden, der diesen Stickstoff besser verwerten kann. Maltas *et al.* (2015) haben gezeigt, dass die Methode der korrigierten Normen und die Nmin-Methode eher zu einer Unterschätzung des N-Bedarfs von Raps tendieren, und sie vermuteten, dass bestimmte Parzellen mit den gegenwärtigen Praktiken unterdüngt sind. Eine Stickstoff-Ergänzung würde in diesen Situationen mit einem Ertragsgewinn einhergehen. Auf der Grundlage von Agroscope-Versuchen zur Stickstoffdüngung wurden im Rahmen dieser Studie die Parameter des Tools untersucht und die vom Rechner vorgeschlagene Stickstoffdosis mit der Dosis nach der Methode der korrigierten Normen (Sinaj *et al.* 2009) oder der nachträglich berechneten optimalen Dosis verglichen.

Schätzung der Parameter des Tools

Für die Verwendung des Programms Réglette azote colza® in der Schweiz muss vorgängig abgeklärt werden, ob die für Frankreich festgelegten Werte für Schweizer Verhältnisse geeignet sind oder ob Anpassungen erforderlich sind.

Verfügbare Daten

Die Anpassung des Tools erfolgte auf der Grundlage von elf Stickstoffdüngungsversuchen, die bei Agroscope zwischen 1998 und 2007 am Standort Changins (Nyon) durchgeführt wurden. Es wurden je nach Jahr vier bis sechs verschiedene Stickstoffdosen getestet. Aufgrund der Modellierung des Ertrags in Abhängigkeit der Stickstoffdosis mittels quadratischer Kurve mit Plateau wurde der potenzielle Maximalertrag und die entsprechende optimale Dosis bestimmt (Maltas *et al.* 2015). Diese Ver-

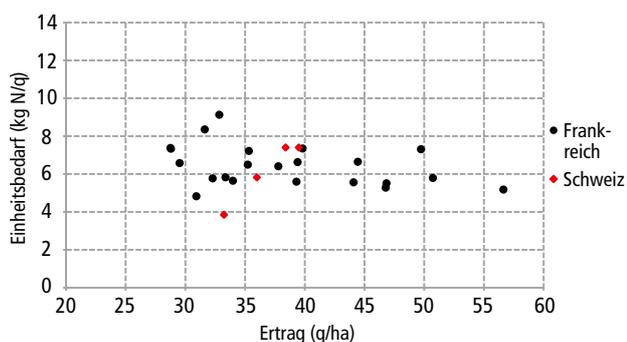


Abb. 1 | In der Schweiz und in Frankreich beobachteter Einheitsbedarf als Funktion des maximalen Körnerertrags.

Zusammenfassung Réglette azote colza® ist ein Online-Tool zur Entscheidungshilfe bei der Stickstoffdüngung von Raps, das am französischen Institut Terres Inovia entwickelt wurde. Dieses Tool wurde konzipiert, um die auf den Bedarf der Kultur abgestimmte Stickstoffdosis zu ermitteln, wobei der Wachstumszustand der Rapskultur zu Beginn und am Ende des Winters berücksichtigt wird. Die Parameter des Rechners wurden im Rahmen von Versuchen geprüft, die von Agroscope zwischen 1998 und 2007 durchgeführt wurden. Das Werkzeug wurde anschliessend mit der Methode der korrigierten Normen auf der Grundlage technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Kriterien verglichen. Gemäss den Versuchen ermöglichte der Rechner eine verbesserte Schätzung des Stickstoffbedarfs von Raps gegenüber der Methode der korrigierten Normen. Die bessere Schätzung hat eine Reduktion von Situationen mit Über- oder Unterdüngung zur Folge, führt also zu einem besseren Stickstoffmanagement. Diese Untersuchung mit ersten Ergebnissen sollte vertieft werden, um das Tool in weiteren Situationen zu prüfen und die Vielfalt der Bedingungen des Rapsanbaus in der Schweiz besser zu berücksichtigen.

suche wurden in Parzellen mit relativ gut übereinstimmenden Bodeneigenschaften (Bodentiefe etwa 60 cm und Tonanteil zwischen 20 und 25%) mit einem potenziellen Maximalertrag zwischen 31 und 44 q/ha durchgeführt.

Untersuchte Parameter

Mit den gesammelten Daten konnten vier Faktoren untersucht werden, die bei der Berechnung der Stickstoffdosis durch das Tool eine wichtige Rolle spielen: der Einheitsbedarf, die Koeffizienten für die Umwandlung von frischer oberirdischer Biomasse in aufgenommenen Stickstoff zu Winterbeginn (WB-Koeffizient) und am Winterende (WE-Koeffizient), sowie alle Bodenparameter, namentlich der verbliebene Anteil des ursprünglichen Stickstoffs. Die Herausforderung besteht darin, einen Durchschnittswert für jeden dieser Faktoren zu bestimmen, damit schliesslich die Dosis berechnet werden kann, mit der sich das Ertragsziel erreichen lässt.

Einheitsbedarf

Der Einheitsbedarf ist festgelegt als Stickstoffmenge, die vom Raps aufgenommen werden muss, um einen Zentner Samen zu produzieren, wenn die Kultur ihr Ertragspotenzial ausschöpft. Bei vier der in der Schweiz durchgeführten Versuche konnte der Einheitsbedarf berechnet werden. Ein Vergleich der in der Schweiz beobachteten Werte mit jenen Frankreichs (Abb. 1) zeigt, dass die schweizerischen und französischen Werte nahe beieinander liegen. Die umfangreicheren und in einer grösseren Vielfalt von Situationen gesammelten französischen Daten können deshalb als Grundlage zur Wahl des Werts für den Einheitsbedarf herangezogen werden. Getestet wurden die drei in der Tabelle 1 dargestellten Werte für den Einheitsbedarf, die dem 3., 5. und 7. Dezil entsprechen. Die Dezile lassen sich als unterschiedliche Niveaus der Über- und Unterschätzung des Einheitsbedarfs deuten. Eine Über- bzw. Unterschätzung des Einheitsbedarfs hat eine Über- beziehungsweise Unterschätzung des Stickstoffbedarfs der Pflanze zur Folge. Ein hoher Einheitsbedarf führt zu einer stärkeren Dosis als ein geringer Einheitsbedarf. Mit dem Wert des 7. Dezils besteht das Risiko, dass in 70% der Fälle der Bedarf überschätzt wird, gegenüber 30% mit dem 3. Dezil (beim Wert des 3. Dezils besteht umgekehrt ein 70%iges Risiko einer Unterschätzung).

Tab. 1 | Getestete Werte und gewählte Werte (rot) für den Einheitsbedarf sowie Koeffizienten für die Umwandlung von frischer oberirdischer Biomasse in aufgenommenen Stickstoff zu Winterbeginn bzw. -ende (WB- bzw. WE-Koeffizient)

| Dezil | Einheitsbedarf (kg N/q Samen) | WB-Koeffizient (Kg N/10 t FM) | WE-Koeffizient (Kg N/10 t FM) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 3 | 5,58 | 51,8 | 62,7 |
| 5 | 6,45 | 57,5 | 70,0 |
| 7 | 7,05 | 64,3 | 78,5 |

WB- und WE-Koeffizienten

Mit den Koeffizienten für die Umwandlung von frischer oberirdischer Biomasse in aufgenommenen Stickstoff kann aufgrund einer einfachen, im Feld vorgenommenen Wägung von 1 m² Raps (idealerweise zwei bis vier Wägungen pro Parzelle) die Stickstoffmenge bestimmt werden, die von der Pflanze aufgenommen wird. Die Berechnung berücksichtigt auch die während des Winters gefrorenen grünen Blätter, deren Stickstoff teilweise von der Kultur remobilisiert werden könnte.

Wir verfügen über acht Biomasse-Messungen zu Winterbeginn (Abb. 2A) und zehn Messungen zu Winterende (Abb. 2B), die von Agroscope und Agrigenève zwischen 2005 und 2015 vorgenommen wurden. In Frankreich wurde für die beiden Koeffizienten ein starker Einfluss Jahr*Region festgestellt (Champolivier *et al.* 2014) und auch in der Schweiz zeigt sich eine grosse Variabilität zwischen den Jahren. Dennoch sind die Werte sowohl zu Beginn als auch am Ende des Winters in Frankreich und der Schweiz ähnlich. Wie beim Einheitsbedarf wurden deshalb für die Berechnung der WB- und WE-Koeffizienten die französischen Daten herangezogen, die mit den Schweizer Daten kohärent sind.

Geprüft wurden die Werte der Koeffizienten für die Umwandlung von frischer oberirdischer Biomasse in aufgenommenen Stickstoff, die dem 3., 5. und 7. Dezil entsprechen (Tab. 1). Ein tiefer Umwandlungskoeffizient (3. Dezil) führt zu einer höheren Düngungsempfehlung als ein hoher Umwandlungskoeffizient (7. Dezil).

Boden

In der gegenwärtigen Parametrierung unterscheidet das Tool drei grosse Bodentypen: tief, oberflächlich und Craie de Champagne (Boden in der Region Champagne-Ardenne). Jeder Bodentyp ist charakterisiert durch Standardwerte für die anfänglichen und abschliessenden Stickstoffüberreste, sowie für die Mineralisierung des Humus. Da Elemente fehlen, mit denen eine unterschiedliche

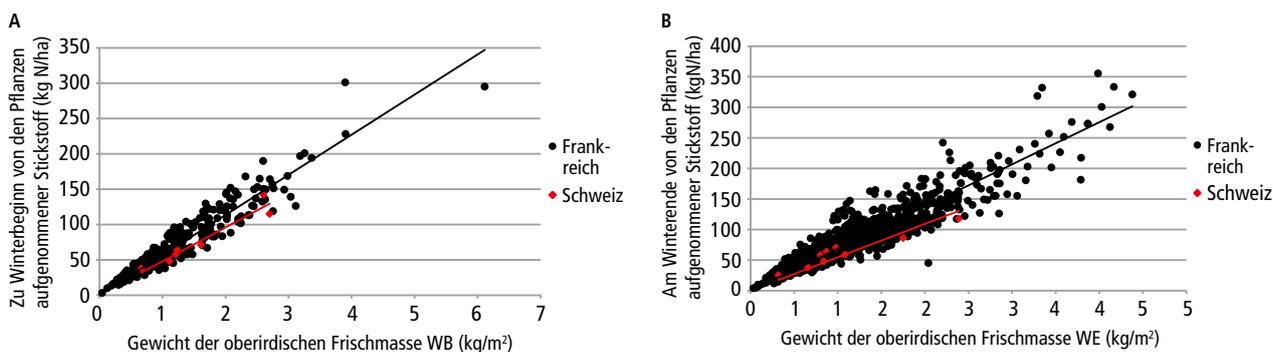


Abb. 2 | Von der frischen oberirdischen Biomasse aufgenommene Stickstoffmenge als Funktion des Gewichts der oberirdischen Frischmasse: Vergleich der Daten für Frankreich und die Schweiz A) zu Beginn des Winters (WB) und B) am Ende des Winters (WE).

Tab. 2 | Gewählte Werte für die Bodenparameter

| | oberflächlich | tief |
|--|---------------|------|
| Anfängliche Überreste (kg N/ha) | 20 | 30 |
| Abschliessende Überreste (kg N/ha) | 15 | 30 |
| Nettomineralisierung des Humus (kg N/ha) | 20 | 40 |

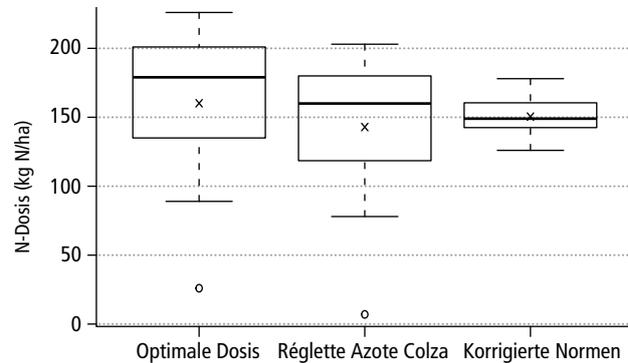
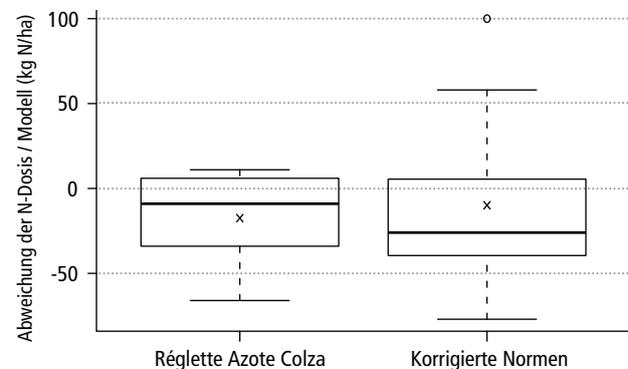
Klassifikation für die Schweiz festgelegt werden könnte, und um die Anwendung des Werkzeugs einfach zu halten, wurde entschieden, die beiden Kategorien tiefer Boden und oberflächlicher Boden beizubehalten (Tab. 2). Die in dieser Studie berücksichtigten Versuche wurden auf Parzellen durchgeführt, deren Boden als tief zu klassifizieren ist. Die durchschnittliche Menge mineralischen Stickstoffs im Boden am Ende des Winters (anfängliche Überreste) betrug 22 kg N/ha, wobei die Werte zwischen 8 und 36 kg N/ha lagen, das heisst etwas unter den Referenzwerten des Werkzeugs. Die abschliessenden Überreste (bei der Ernte) und die Mineralisierung des Humus konnten dagegen nicht evaluiert und mit den Referenzwerten verglichen werden.

Bei der schlussendlich gewählten Parametrierung wurde der Wert des 7. Dezils des Einheitsbedarfs (7,05 kg N/dt Samen) zusammen mit dem Wert des 3. Dezils der Koeffizienten für die Umwandlung von frischer oberirdischer Biomasse in aufgenommenen Stickstoff zu Winterbeginn bzw. -ende (51,8 bzw. 62,7 kg N/10 t frische oberirdische Biomasse) gewählt. Mit dieser Wertekombination soll das Risiko einer Unterschätzung der empfohlenen Stickstoffdosis begrenzt werden. Die anderen bei der Berechnung verwendeten Parameter entsprechen den Werten, die bereits vom Tool verwendet werden.

Evaluation der vom Tool empfohlenen Dosis Stickstoffdosis

Die vom Tool vorgeschlagene Stickstoffdosis wurde mit der nachträglich berechneten optimalen Dosis und mit der durch die Methode der korrigierten Normen berechneten Dosis verglichen. Als Ertragsziel für jeden Versuch wurde der maximale beobachtete Ertrag minus 1 q/ha festgelegt. Durch den Vergleich mit der Methode der korrigierten Normen lässt sich abschätzen, ob das Tool gegenüber einer der beiden aktuellen Referenzmethoden (Sinaj *et al.* 2009) Vorteile bietet. Bei der Methode der korrigierten Normen entsprechen die verwendeten Werte den neuen Düngungsnormen, die demnächst veröffentlicht werden, das heisst 150 kg N/ha für ein Ertragsziel von 35 q/ha (Sinaj, persönliche Mitteilung).

Über die elf Versuche gemittelt betrug die optimale Dosis 160 kg N/ha (Abb. 3). Bei der Methode der korri-


Abb. 3 | Empfohlene Stickstoffdosis nach den verschiedenen Methoden.

Abb. 4 | Unterschiede zwischen der nachträglich berechneten optimalen Dosis und der empfohlenen Dosis nach dem Tool bzw. nach der Methode der korrigierten Normen.
Tab. 3 | Anzahl Situationen mit Über- oder Unterdüngung (n=11)

| | Tool | korrigierte Normen |
|---|------|--------------------|
| Erforderliche Dosis (optimale Dosis ± 15 kg N/ha) | 7 | 3 |
| Unterdüngung | 4 | 6 |
| Überdüngung | 0 | 2 |

gierten Normen wurde im Durchschnitt eine Dosis von 150 kg N/ha empfohlen, während die vom Tool empfohlene Dosis bei durchschnittlich 142 kg N/ha lag.

Die nachträglich berechnete optimale Dosis variiert von 26 bis 226 kg N/ha. Eine ähnliche Variabilität tritt beim Tool auf (7 bis 203 kg N/ha), nicht aber bei der Methode der korrigierten Normen (128 bis 176 kg N/ha). Es scheint, dass die Methode der korrigierten Normen den unterschiedlichen Bedarf der Kulturen weniger gut berücksichtigt, insbesondere wenn der Bedarf gering ist. Dies wird in der Abbildung 4 deutlich, welche die Abweichung der empfohlenen Dosis nach dem Tool beziehungsweise nach der Methode der korrigierten Normen von der nachträglich berechneten optimalen Dosis

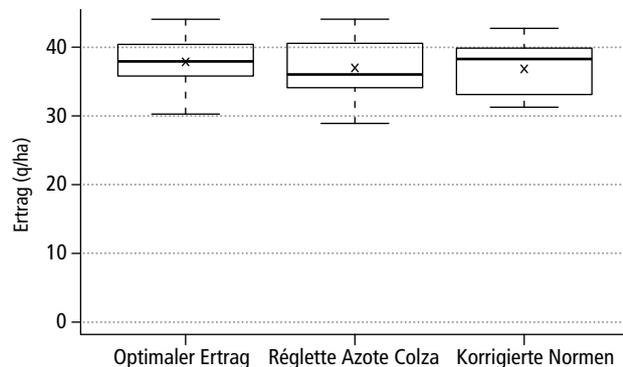


Abb. 5 | Erträge bei der Anwendung der Stickstoffdosen, die nach den verschiedenen Methoden vorgeschlagen werden.

zeigt. Bei der Methode der korrigierten Normen ist nicht nur die Häufigkeit der Fälle mit einer Unter- oder Überschätzung der erforderlichen Dosis grösser (nur drei von elf Situationen mit korrekter Einschätzung der Dosis gegenüber sieben Situationen bei Verwendung des Tools; Tab. 3), sondern auch die Grösse der Abweichung von der optimalen Dosis.

Ertrag

Der nachträglich berechnete optimale Ertrag lag über die elf Versuche gemittelt bei 37,8 q/ha. Der erreichte durchschnittliche Ertrag betrug bei Verwendung des Tools 37,0 q/ha und mit der Methode der korrigierten Normen 36,8 q/ha. Die mit dem Tool *Réglette azote colza*[®] bzw. mit der Methode der korrigierten Normen erreichten durchschnittlichen Erträge unterschieden sich nicht signifikant, auch nicht vom durchschnittlichen optimalen Ertrag ($P=0,05$). Es ist also keine der Methoden der anderen vorzuziehen, weil sich mit beiden Methoden Erträge erzielen lassen, die sehr nahe am optimalen Ertrag liegen (Abb. 5).

Rohrertrag

Diese Analyse beruht auf einem Verkaufspreis für Raps von 730 CHF/t, einem Ankaufspreis von Stickstoff von 1,5 CHF/Einheit und geschätzten Betriebsausgaben von 1250 CHF/ha (Ausgaben ohne Stickstoff, Daten nach AgriGenève). Der Rohrertrag beträgt ausgehend von der nachträglich berechneten optimalen Dosis im Durchschnitt der elf Versuche 1274 CHF/ha (Abb. 6). Der durchschnittliche Rohrertrag betrug 1236 CHF/ha bei einer Anwendung des Tools und 1214 CHF/ha mit der Methode der korrigierten Normen.

Bei diesen Versuchen lag damit der durchschnittliche Rohrertrag bei der Anwendung der korrigierten Normen signifikant ($p=0,05$) unter dem durchschnittlichen Roh-

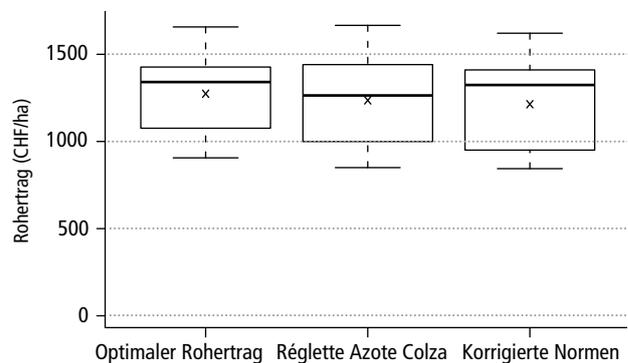


Abb. 6 | Rohrerträge, berechnet aufgrund der vorgeschlagenen Stickstoffdosen und der eingebrachten Erträge nach den verschiedenen Methoden.

ertrag, der aus der nachträglich bestimmten optimalen Dosis berechnet wurde. Der durchschnittliche Rohrertrag nach den Berechnungen des Tools *Réglette azote colza*[®] weicht dagegen weder signifikant von diesem Referenz-Rohrertrag ab noch vom Rohrertrag nach der Methode der korrigierten Normen. Auch wenn die Rohrerträge nach dem Tool bzw. nach der Methode der korrigierten Normen sehr nahe beieinander liegen (+22 CHF/ha beim Tool), ist festzustellen, dass das Tool in zehn von elf Fällen einen leicht höheren Rohrertrag ermöglicht (Ergebnisse nicht dargestellt).

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass das Tool *Réglette azote colza*[®] im Vergleich zur Methode der korrigierten Normen eine bessere Einschätzung des Stickstoffbedarfs und damit der erforderlichen Stickstoffdosis ermöglicht. Diese Verbesserung äussert sich in einer Reduktion der Anzahl Situationen mit Über- oder Unterdüngung. Das Tool ermöglicht es, besser auf den Stickstoffbedarf der Kultur einzugehen und damit, umweltschädliche Verluste durch Auswaschung zu vermeiden. Die wirtschaftliche Analyse zeigt, dass die Ergebnissen bei beiden Methoden nahe beieinander liegen, wobei das Tool einen leichten Vorteil gewährt. Die Betrachtung des Stickstoffmanagements erfolgte allerdings auf der Ebene des Betriebs. Mit einer wirtschaftlichen Analyse auf Systemebene würde sich die Eignung des Tools besser abschätzen lassen.

Die zur Evaluation des Tools verwendeten Daten sind zu wenig umfangreich und nicht genügend repräsentativ für die Vielfalt der Anbaubedingungen von Raps in der Schweiz. Es ist also eine umfangreichere Datenbank erforderlich, um die Anwendung des Tools in der Schweiz genauer zu prüfen und besser anzupassen. ■

Riassunto**Réglette azote colza®: adattamento per la Svizzera di un ausilio per la concimazione azotata della colza**

Réglette azote colza® è un sistema di supporto decisionale in linea per la concimazione azotata della colza sviluppato dall'istituto francese Terres Inovia. Questo strumento permette di determinare il livello ottimale di azoto per il fabbisogno della coltura in considerazione dello stato di maturazione all'inizio e alla fine dell'inverno. I parametri del sistema *Réglette* sono stati valutati alla luce di esperimenti condotti da Agroscope tra il 1998 e il 2007. Basandosi su criteri tecnici, economici e ambientali, si è quindi proceduto a un confronto tra *Réglette* e il metodo delle norme corrette. Dagli esperimenti si evince che, rispetto al metodo delle norme corrette, il sistema *Réglette* ha permesso di migliorare la stima del fabbisogno azotato della colza. Questa maggior precisione si traduce in un minor numero di situazioni di sovraconcimazione o sottoconcimazione, quindi in una migliore gestione dell'azoto. Alla luce dei primi, incoraggianti risultati, questo studio deve essere portato avanti per valutare il sistema *Réglette* in altre situazioni, in modo da caratterizzare in modo ottimale le diverse condizioni della produzione di colza in Svizzera.

Summary**Réglette azote colza®: A decision support tool for rapeseed N management adapted for Switzerland**

The *Réglette azote colza®* is a decision support tool for rapeseed nitrogen fertilization, developed by the French institute Terres Inovia. This tool was designed to determine the nitrogen dose the most adapted to the needs of the crop, based on the rapeseed status at the beginning and at the end of the winter. The parameters were evaluated from field experiments carried out by Agroscope. The tool was then tested on technical, economic and environmental criteria and compared to the corrected norms. On our dataset, the *Réglette azote colza®* gave better estimation of the crop's nitrogen needs than the corrected norms. The improvement of the estimation results in a reduction of the number of situation with nitrogen excess or deficiency, and therefore, an optimization of nitrogen use. This study, with first positive results, needs further assessment in various environments, to represent the diversity of the conditions of rapeseed production in Switzerland.

Key words: rapeseed, nitrogen fertilization, decision support tool.

Literatur

- Champolivier L., Baillet A., Flénet F. & Wagner D., 2014. Synthèse technique Terres Inovia, Nouvelle Réglette azote colza® 2014, Paramétrage et Evaluation. Unveröffentlicht, 130 S.
- Maltas A., Charles R., Pellet D., Dupuis B., Levy L., Baux A., Jeangros B. & Sinaj S., 2015. Evaluation zweier Methoden für eine optimale Stickstoffdüngung im Ackerbau. *Agrarforschung Schweiz* 6 (3), 84–93.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (1), 1–98.