

Düngung

Düngung von Körneraps

Bedarf, Anlieferung und Effizienz der Nährstoffe

Prof. Dr. A. Amberger, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan

Raps ist ein wichtiges Glied zur Auflockerung getreidereicher Fruchtfolgen und eine sehr gute Vorfrucht (Bodengare), die sich durch eine hohe Wurzelaktivität und Nährstoffeffizienz auszeichnet. Das Grundkonzept für den Nährstoffbedarf basiert auf dem zu erwartenden Ertrag. Die Anwendung von Ammoniumdüngern im Frühjahr erweist sich als eine besonders vorteilhafte N-Form für die Mobilisierung von Phosphat und Mangan sowie zur Deckung des hohen Schwefelbedarfs.

Raps ist heute mehr denn je eine interessante Kulturart mit einem relativ guten Deckungsbeitrag sowie ein wichtiges Glied zur Auflockerung getreidereicher Fruchtfolgen und zur Verhinderung der Nährstoffauswaschung im Winter/Frühjahr. Darüber hinaus hinterläßt er aufgrund einer intensiven Durchwurzelung den Boden in guter Struktur (Bodengare) und mit einer leicht abbaubaren Strohecke ($C/N \approx 40$). Was die Ausnutzung und die Effizienz der Nährstoffe anlangt, nimmt er verglichen mit anderen Kulturen eine gewisse Sonderstellung ein.

Grundformel für den (sortenabhängigen) durchschnittlichen **Nährstoffbedarf** (bzw. -entzug kg/ha) zur Erzeugung von 10 dt Körner + Stroh:

$55 \text{ N} - 25 \text{ P}_2\text{O}_5 - 50 \text{ K}_2\text{O} - 50 \text{ CaO} - 10 \text{ MgO}$

Auf mittleren tiefgründigen Böden kann man mit einem guten Ertrag von 40 dt Körner + Stroh rechnen, das entspricht einem Nährstoffentzug (kg/ha) von:
 $220 \text{ N} - 100 \text{ P}_2\text{O}_5 - 200 \text{ K}_2\text{O} - 200 \text{ CaO} - 40 \text{ MgO}$.

Die **Nährstoffanlieferung** errechnet sich aus dem Anteil der

- Bodennährstoffe (abhängig von Standort und Fruchtfolge) und der
- organischen Düngung.

Der **Fehlbetrag** zum ertragsabhängigen Nährstoffbedarf muß durch mineralische Dünger ergänzt werden unter Berücksichtigung von deren Ausnutzung. Basierend auf dieser Nährstoffberechnung ist aber eine ständige Beobachtung des Pflanzenbestandes notwendig, um

boden- oder witterungsbedingte Einflüsse gegebenenfalls rasch korrigieren zu können.

Stickstoff

Raps hat einen relativ hohen **Stickstoffbedarf** zum Aufbau eines großen Assimilationssystems (Blätter + Stengel), dagegen erfordert die Kornausbildung (Ölpflanze) weniger Stickstoff (Abb.1). Nach dem obigen Rechenbeispiel werden im Verlaufe der vorwinterlichen Entwicklung (EC 0-25, Rosetten-, Sproßbildung) etwa 60 kg N/ha aufgenommen; für das Längenwachstum (Schossen EC 30-50) im Frühjahr sind etwa 100, zur Knospenbildung und Blüte (EC 55-65) weitere 60 kg N erforderlich (Abb. 1).

Was die **Stickstoffanlieferung** anlangt, so steht Körneraps in der Fruchtfolge vornehmlich nach Getreide (Gerste oder Weizen); das Stroh bleibt in der Regel auf dem Feld. Der von dieser Vorfrucht (bis zur Ernte) nicht verbrauchte Düngestickstoff im Boden beträgt durchschnittlich 30-40 kg N/ha. Diese Menge ist notwendig für den mikrobiellen Abbau des Getreidestrohs, um eine Stickstoffblockierung zu vermeiden; sie kann also nicht in Anrechnung gebracht werden. Aufgrund der frühen Saatzeit des Rapses (2. Augusthälfte) erfolgt aber auch noch eine beträchtliche Mineralisierung des Bodestickstoffs, die mit etwa 30 kg N veranschlagt werden kann. Der Fehlbetrag zu 60 kg N (Bedarf) - also 30 kg N (auf schweren untätigen Böden höchstens 40 kg N) muß abgedeckt werden durch

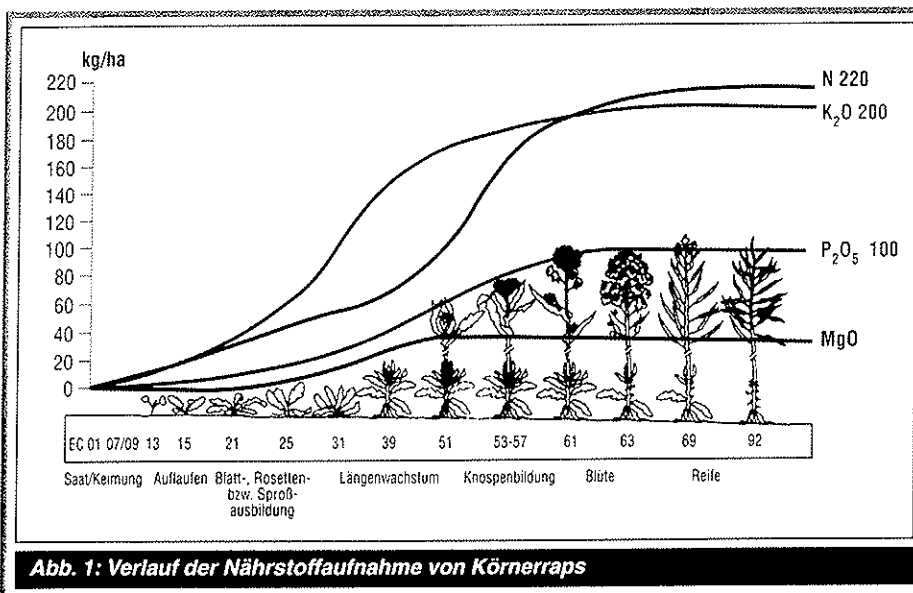


Abb. 1: Verlauf der Nährstoffaufnahme von Körneraps



(Foto: SMC Agrimedia Bild, haps)

Raps besonders gut verwertet wird (daher Reduzierung der Gesamt-Menge um 10–20 kg N/ha ratsam). Die Ausnutzung dieser Düngergabe ist bei optimaler Applikationstechnik relativ hoch, weil Verluste durch Auswaschung, Ammoniakverdunstung und Immobilisation kaum ins Gewicht fallen. In der N-Bilanz ergibt sich auf der Basis von 40 dt/ha Körner (mit einem N-Gehalt von etwa 4%) ein Export von 160 kg N/ha; auf dem Feld verbleiben in Wurzeln und Stroh (0,55% N) somit etwa 60 kg N, der relativ rasch mineralisiert wird. Was die N-Düngung von Grünraps als Zwischenfrucht im Herbst anlangt, so sind je nach zu erwartendem Aufwuchs) ca. 50 kg N/ha empfehlenswert. Hohe Nitratwerte (Grenzwert 0,5% NO_3 i. TS) werden im Pansen von Ruminanten bakteriell in Nitrit überführt; ein dadurch gehemmter Sauerstofftransport im Blut kann zu schweren Schäden (unter Umständen zum Tod) der Tiere führen.

Phosphor

Die Rapspflanze bildet pfahlförmig verlaufende Primärwurzeln (bis zu 150 cm tief) mit zahlreichen, feinen Seitenwurzeln und (weißen) Wurzelhaaren, die sich schirmförmig nach den Seiten (bis 110 cm) ausbreiten. Das bedeutet, daß bei einer Drillweite von 25–30 cm der gesamte Boden sehr bald intensiv durchwurzelt ist und somit als „Rhizosphärenboden“ angesprochen werden kann. Dadurch ist der Raps wie kaum eine andere Kulturpflanze in der Lage, durch direkten Kontakt Bodenphosphor oder schwerer lösliche Rohphosphate (Hydroxyl- und Carbonatapatit, Hyperphos etc.) aufzuschließen und damit die P-Aufnahme günstig zu gestalten. Für diese spezifischen P-mobilisierenden Eigenschaften der Rapswurzel gibt es mehrere Ansatzpunkte (Abb. 2, S. 112).

Raps gehört zu den Pflanzenarten, die bevorzugt Kationen (wie NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) aufnehmen zum Unterschied von Feldfrüchten mit einem anderen Aufnahmemuster. Um nun eine interne Elektroneutralität (Ladungsausgleich) zu gewährleisten, gibt die Pflanze entweder mehr Protonen ab (Austausch) oder muß mehr Anionen (z. B. H_2PO_4^-) aufnehmen (1). Demnach reagiert Raps (zum Unterschied von anderen Dicotyledonen) sehr günstig auf Ammoniumdüngung. Dieser Mechanismus wird noch verstärkt durch ein erhöhtes und länger andauerndes NH_4 -Angebot in Form von „stabilisierten N-Düngern“ (Alzon, Basammon).

Die vermehrte Protonenabgabe führt konsequenterweise zu einer beträchtlichen pH-Absenkung (um ca. 2 Einheiten) in unmittelbarer Nähe (einige mm) der

Mineraldünger, Kalkammonsalpeter oder Harnstoff (aber eingearbeitet!) vor der Saat oder durch 15–20 m^3 Rindergülle (2 kg $\text{NH}_4\text{-N/m}^3$) bzw. 8–10 m^3 /ha Schweinegülle (4 kg $\text{NH}_4\text{-N/m}^3$). Zur Vermeidung von N-Verlusten (Ammoniakverflüchtigung) empfiehlt sich die Einarbeitung zusammen mit dem Stroh. Zu hohe N-Gaben im Herbst auf Standorten in guter Bodenfruchtbarkeit und zu Hybridsorten mit



Manganmangel

großer Blattentwicklung erhöhen die Gefahren der Auswinterung.

Die Frühjahrsgabe basiert auf N_{min} -Untersuchungen (Februar/März), die in der Regel 20–40 kg N ergeben. Legt man nun einen Sollwert (je nach Ertragshöhe) von 150 (Bayern) oder 200 kg N/ha (Hannover) zugrunde, dann müssen 100–120 N bzw. 140–160 N im zeitigen Frühjahr möglichst auf schwach gefrorenem Boden und 40–60 N später zur Knospenbildung/Blüte verabreicht werden, eventuell mit entsprechenden Korrekturen (Standort, Sorte). Die Aufteilung des Stickstoffs in 2 Gaben entfällt durch Verwendung von sogenannten „stabilisierten N-Düngern“ (Alzon, Basammon) im zeitigen Frühjahr, wobei der Ammoniumstickstoff durch

Düngung



Schwefelmangel: Die Blütenblätter verfärben sich weißlich und sind deutlich kleiner als normale Blüten (Foto: Feger)

Wurzeln (2) und bringt damit Düngerphosphat (CaHPO_4), Bodenphosphor oder in die Rhizosphäre applizierte weicherde Rohphosphate in Lösung (2 a, b). Auf diese Weise wird auch die Ca-Aufnahme der sehr Ca-bedürftigen (siehe Ca-Bedarf) Rapspflanze begünstigt.

Schließlich scheidet die Rapswurzel aber auch chelatisierende organische Säuren (vor allem Zitronensäure) ab (2 c), die nach Dissoziation (Auftrennung in Ionen) einerseits die Protonenkonzentration und damit den Angriff auf Calciumphosphate erhöhen, andererseits bildet

das Citrat anion mit Ca (oder Mg) leicht aufnehmbare Chelate (Komplexe) oder es verdrängt an Fe-Oxiden oder Tonmineralen sorbiertes Phosphat und macht dieses damit pflanzenverfügbar (2 d). Dieser als Desorption von Phosphat durch Ligandenaustausch bezeichnete Vorgang hat nach heutiger Auffassung der Wissenschaft eine größere Bedeutung für die Pflanzenernährung

als die direkte Nutzung von vornehmlich Ca-Phosphaten, obwohl erstere durch die Bodenuntersuchung nicht erfaßt werden (!).

Welche Folgerungen ergeben sich daraus für die praktische Düngung?

Der P-Bedarf einer guten Rapsernte ist zwar beträchtlich (siehe Grundformel); da aber die Rapspflanze ein sehr hohes Aufschließungs- bzw. Aneignungsvermögen

für Phosphat hat, – ist unter der Voraussetzung einer guten P-Versorgung des Bodens – eine Reduzierung der P-Düngung (um 50%?) durchaus erwägenswert. Andererseits ist aber zu berücksichtigen, daß P-Düngung zur Vorfrucht Getreide kaum Mehrerträge bringt, mit anderen Worten diese reduziert werden kann, dann, wenn in der übrigen Fruchtfolge normal mit P gedüngt wird.

Mangan

Raps hat auch einen beträchtlichen Bedarf an dem Spurenelement Mangan (ca. 1800 g/ha), das an sehr vielen wichtigen Reaktionen im Kohlenhydrat-, Eiweiß- und Fettstoffwechsel, in der Photosynthese und im Wuchshaushalt beteiligt ist. Nicht selten kommt es daher – vor allem auf neutralen Böden – zu Mn-Mangelerscheinungen (Chlorosen zwischen den Blattadern der mittleren und jüngeren Blätter). Zur Behebung empfiehlt sich eine Blattspritzung mit 1,5 %iger Mangansulfat-Lösung oder mit Mn-Chelaten. Vorbeugend wirkt eine NH_4 -Düngung mit „stabilisierten“ Stickstoffdüngern, wodurch die Abscheidung von Protonen und organischen Säuren der Wurzeln begünstigt und damit – in gleicher Weise wie beim Phosphat – durch pH-Absenkung und Chelatisierung schwerlösliches Boden-Mangan aufnahmefähig gemacht wird (Abb. 3).

Bor

Der Borbedarf liegt etwa bei 300 g B/ha. Bormangelerscheinungen (gestauchte, verdickte Stengel, schwacher Schotenansatz und geringe Körnezahl/Schote) können am besten durch Borax- oder Soluborspritzungen behandelt werden.

Schwefel

Der hohe Schwefelbedarf des Rapses verwundert nicht (ca. 50 kg S entsprechend etwa 150 kg SO_4 /ha), ist dieser Nährstoff doch wesentlicher Bestandteil der schwefelhaltigen Aminosäuren (Cystein, Cystin, Methionin), wichtiger Enzyme (funktionelle Gruppen) und Coenzyme (vor allem Coenzym A, das die Fettsäuresynthese einleitet), sowie der Glucosinolate (Senfölglykoside) und anderer Inhaltsstoffe. Durch Züchtung ist es bekanntlich gelungen (00-Sorten), den Gehalt an Glucosinolaten und der appetithemmenden und teils schädlichen Erucasäure in Preßrückständen zu minimie-

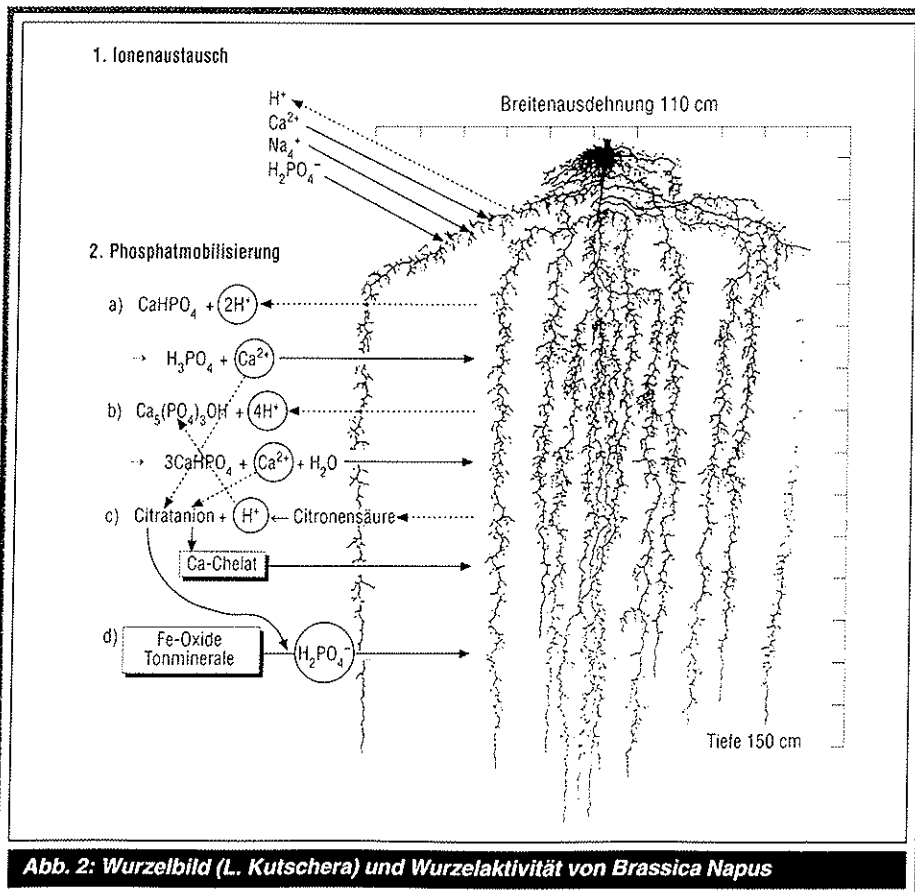


Abb. 2: Wurzelbild (*L. Kutschera*) und Wurzelaktivität von *Brassica napus*

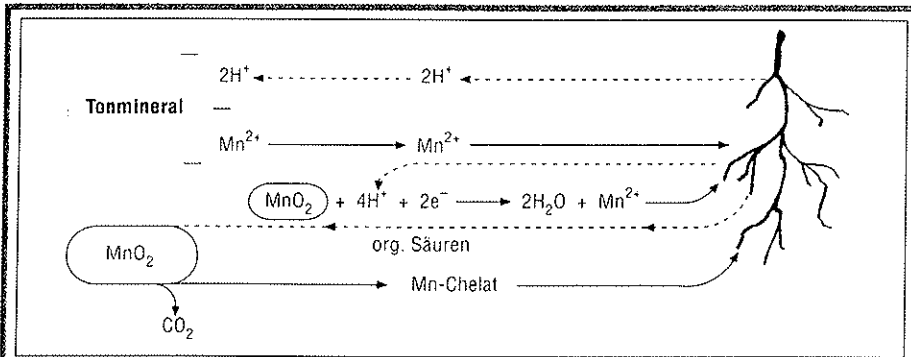


Abb. 3: Mn-Mobilisierung

ren und damit deren Verwertung in der Tierernährung zu verbessern. Was die Schwefelbilanz anlangt, so sind Humus und Rückstände der pflanzlichen und tierischen Produktion wichtige Schwefellieferanten. Der organische Schwefel wird durch Mineralisation in Sulfat-Schwefel überführt; dieser kann als Anion aber im Boden nicht sorbiert werden und unterliegt damit in hohem Maße der Auswaschung (Tab.).

Während in der Vergangenheit – regional unterschiedlich – noch eine beträchtliche Schwefellieferung als SO_2 aus der Luft (durch Verbrennung von Kohle und Erdöl) erfolgte, ist im Zuge wirksamer Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft die SO_2 -Emission auf etwa 1/10 zurückgegangen und kann mit 10–40 kg S bzw. 30–120 kg SO_4 (regional sehr verschieden) angesetzt werden. Es ist daher nicht überraschend, daß auf mehreren (vor allem durchlässigen) Standorten und besonders bei 00-Sorten Schwefelmangelerscheinungen auftreten (Chlorosen an den jüngeren Blättern, Hemmung des Sproßwachstums, auffälliges „weißes Abblühen“ der Infloreszenzen). **Die Schwefelbilanz ist also stets negativ.** Daraus ergibt sich die zwingende Konsequenz der Anwendung schwefelhaltiger Mineraldünger, wie schwefelsaures Ammoniak (24 % S), Ammonsulfatsalpeter (15 % S), Alizon, Basammon (16 % S), Kieserit (22 % S), Kalimagnesia (18 % S), Bittersalz (13 % S) oder entsprechender Mehrnährstoffdünger (5–8 % S). Wichtig ist, daß die Schwefeldüngung nicht im Herbst (Auswaschungsgefahr!), sondern im Frühjahr erfolgen muß. Aufgrund neuerer Untersu-

chungen wird der Glucosinolatgehalt der Körner durch Schwefeldüngung nicht wesentlich beeinflusst, sondern lediglich der Sulfat-Schwefel unbedeutend erhöht.

Kalium

Der Kaliumbedarf des Rapses ist hoch (ca. 200 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$; die K-Aufnahme eilt der Substanzbildung weit voraus (Abb. 1). Das Kalium ist notwendig für sehr viele Stoffwechselforgänge; es findet sich vor allem in den vegetativen Pflanzenteilen und Wurzeln. Das bedeutet, daß der K-Export relativ gering ist (ca. 50 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$), der weitaus größte Teil also mit dem Rapsstroh und den Wurzelrückständen auf dem Feld verbleibt und – da Kalium kaum ausgewaschen wird, – voll in die Düngerbilanz der folgenden Frucht eingesetzt werden kann.

Literatur

1. Amberger, A. (1991): Dicyandiamid als Nitrifikationshemmstoff. In: Stabilisierte Stickstoffdünger – ein Beitrag zur Verminderung des Nitratproblems. Fachtagung 15./ 16.10.1991, Würzburg, 71–76
2. Amberger, A. (1994): Mobilization of rock phosphate in soil by root exudates and fertilization techniques. In: Proc. of 4th Int. IMPHOS-Conf., Gent,
3. Bauschmid A. (1990): Einfluß verschiedener Düngungsmaßnahmen und Wurzeleigenschaften auf die Verfügbarkeit von weicherdigem Rohphosphat und Bodenphosphat. Diss. TU München-Weihenstephan.
4. Bekele T., Cino B.J., Ehler, A.J., Van der Maas, A.A., Van Diest A. (1983): An evaluation of plant-borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphate. Plant and Soil 75, 361–378
5. Hoffland E., Findenegg, G.R., Nelemans, J.A. (1989): Solubilization of rock phosphate by rape. Plant and Soil 113,155–160

Tab.: SO_4 -Auswaschung (kg/ha und Jahr) Lysimeterversuche Weihenstephan (SO_4 -Düngung \approx 300 kg/ha und Jahr)

	Sand pH 6,2		Kalklehm pH 7,2		Lößlehm pH 6,8	
	ohne SO_4 -Düngung	mit SO_4 -Düngung	ohne SO_4 -Düngung	mit SO_4 -Düngung	ohne SO_4 -Düngung	mit SO_4 -Düngung
Ø aus 17 Jahren	261	546	280	512	322	533
davon im Winterhalbjahr	53 %		75 %		76 %	
Sommerhalbjahr	47 %		25 %		24 %	