

Düngung der Kartoffel

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



Die Kartoffelanbaufläche in Deutschland betrug 1995 315.173 ha. Typische Anbaugelände zeichnen sich durch leichte, lockere (sandige, Schotter-) Böden, auf denen günstige Bedingungen für mechanische Anbau-, Pflege- und Ernteverfahren gegeben sind, aus. Auf solchen Standorten sind die Erträge aber sehr witterungsabhängig, verursacht durch zeitweilige Trockenperioden oder hohe Niederschläge mit nachfolgender Nährstoffauswaschung vor allem in frühen Entwicklungsstadien der Kartoffel.

Sehr überlegte Düngungsmaßnahmen sind daher erforderlich, nicht nur im Hinblick auf Sorten- und Standortunterschiede, sondern auch was die Verwertungsmöglichkeiten und damit zusammenhängende Qualitätskriterien anlangt.

Ertragsphysiologie und Nährstoffbedarf

Der Knollenertrag der Kartoffelpflanze wird sortenabhängig bestimmt durch die Anzahl der Stengel und Knollen/Stengel, das Gewicht der Einzelknolle dagegen vorwiegend durch Düngung und Anbautechnik (Sattelmacher, 1987). Entscheidend ist primär die Produktion an Assimilaten in den Blättern („source Kapazität“) und der damit zusammenhängende Blattflächen-Index (Verhältnis von Blattfläche zu überdeckter Bodenfläche), ferner die (sortenabhängige) phytohormonale Attraktionsstärke (Anziehungskraft) der Knolle für Assimilate und Mineralstoffe („sink Kapazität“). Nach Anlage der Knollen (Knolleninduktion) erfolgt die Ableitung der Assimilate aus den Blättern in Form von Saccharose (Zucker) in den Phloem (Sieb-)zellen der Leitbündel und schließlich nach enzymatischer Umwandlung die Speicherung als Stärke in den Knollen. Blattapparat und Knollenausbildung kompetieren im Verlaufe des Wachstums um die Assimilate.

Das Nährstoffangebot hat einen wesentlichen Einfluß auf den Blattflächen-Index und die Knollenanlage (Steigerung durch Stickstoff): zeitweilige Unterbrechungen der Stickstoffzufuhr fördern dagegen die Assimilateinlagerung in die Knolle. Ein gut und möglichst lang funktionierendes Transportsystem (Krankheiten?) ist die Voraussetzung für eine hohe Intensität der Speicherprozesse. Beide Vorgänge werden unterstützt durch eine hohe Konzentration an Kalium und Phosphat in der Pflanze. Kalium begünstigt den Wasserhaushalt (Quellungszustand und osmotischen Druck der Zellen), ferner aktiviert es wichtige Enzyme des Kohlenhydrat- (Einbau des CO_2 , Zucker- und Stärkesynthese) und Proteinstoffwechsels (Bindung der Aminosäuren zu Peptiden). Die zentrale Bedeutung des Phosphors liegt im Aufbau von Biomembranen, wichtigen Coenzymen und energiereichen Verbindungen (phosphorylierte Zucker, ATP-Energie = biologische Energie aller Lebewesen). Daraus folgt: Vom Auflaufen bis zum Schließen des Bestandes muß ausreichend Stickstoff vorhanden sein zur

Ausbildung eines großen Assimilationsapparates; bis zur Blüte werden etwa 80% des gesamten Stickstoffes aufgenommen. Ein darüber hinaus hohes und länger anhaltendes N-Angebot verzögert dagegen die Knollenausbildung und Abreife und erhöht die Anfälligkeit gegen Phytophthora. Die Kurve der Phosphor- und Magnesiumaufnahme verläuft ähnlich der des Stickstoffes, aber auf niedrigerem Niveau, dagegen eilt die K-Aufnahme der Substanzproduktion weit voraus (Abb. 1).

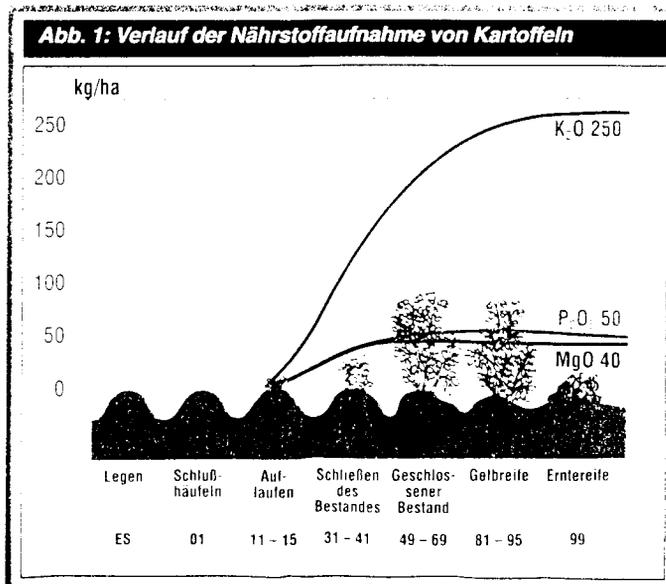
Aus Berechnungen über den durchschnittlichen Gehalt an Nährstoffen in Knollen und Blättern läßt sich die Grundformel ableiten für einen sorten- und reifezeitabhängigen Nährstoffbedarf (bzw. -entzug). Zur Erzeugung von 100 dt Knollen und Kraut sind notwendig (kg/ha):

$50 \text{ N} - 16 \text{ P}_2\text{O}_5 - 78 \text{ K}_2\text{O} - 12 \text{ MgO}$

Auf Böden in guter Kultur und mit ausreichenden Niederschlägen können Durchschnittserträge von 300–350 dt/ha Knollen erwartet werden; das entspricht (Stricker, 1985) rechnerisch Nährstoffentzügen (je nach Dauer der Vegetationszeit von kg/ha:

$(150-200 \text{ N}) - (48-56 \text{ P}_2\text{O}_5) - (234-272 \text{ K}_2\text{O}) - (36-42 \text{ MgO})$

Der tatsächliche Export an Nährstoffen verringert sich aber um die im Kraut auf dem Feld verbleibenden Nährstoffe von ca.: $50 \text{ N} - 10 \text{ P}_2\text{O}_5 - 80 \text{ K}_2\text{O} - 15 \text{ MgO}$ /ha. Dieser „Rücklauf“ kann daher (für den Stickstoff zumindest teilweise) in der Düngerkalkulation für die folgende Frucht berücksichtigt werden. Hinzu kommt ein nicht zu vernachlässigender Bedarf von etwa 500 g Mangan/ha, der gegebenenfalls mit einer 1,5%igen Mangansulfatlösung bzw. Mn-Chelaten oder auch mit e-





nem Magnesium-Mangan-Blattdünger (Basfoliar 36 Extra, Mantrilon FL, nach Knittel, 1985) befriedigt werden kann.

Düngerempfehlung

Für die **N-Düngung** sind folgende Überlegungen maßgebend: Welches ist das erwartete Ertragsziel? Wieviel aufnehmbarer Stickstoff liegt im Frühjahr im Boden vor und wieviel wird im Verlaufe der Vegetationszeit durch Mineralisation nachgeliefert? Mit welcher Ausnutzung (Verluste, Immobilisation) der Mineraldünger kann gerechnet werden?

Die **N_{min}-Methode**, durchgeführt in einer Tiefe bis zu 60 cm (entsprechend der späteren Durchwurzelung) im Frühjahr vor dem Legen der Kartoffel hat sich bewährt und liefert in der Regel Werte zwischen 30 und 60 kg N (Nitrat + Ammonium) je nach Bodenart und Vorfrucht. Bei gleichbleibender Fruchtfolge ändern sich diese (standortbedingten) Werte nur wenig und entsprechen auch mehrjährigen praktischen Erfahrungen. Die daraus abzuleitenden Richt- (Soll-) werte sind – verglichen mit anderen Kulturarten – sehr unterschiedlich

und liegen zwischen 150 und 200 kg N/ha (selten höher). Je nach Ertragserwartung, Bodenart und Witterung (N-Auswaschung und -Nachlieferung), Ausnutzung der Düngemittel und schließlich dem Qualitätsziel entsprechend dem Verwendungszweck der Kartoffel sind Korrekturen von ± 30 –40 kg N/ha angebracht. Die N-Nachlieferung aus dem Boden während der Vegetationszeit liegt durchschnittlich bei 40–70 kg N/ha; sie ist aber sehr abhängig von Standort und Fruchtfolge (auf sandigem Boden geringer, auf Schotterboden zwar höher, jedoch mit größerer Auswaschungsgefahr). Die Ausnutzung der N-Düngemittel ist etwa mit 70 % zu veranschlagen. In diese Berechnungen muß gegebenenfalls auch die Nährstoffzufuhr über Stallmist (100 dt enthalten je nach Reifegrad etwa 10 kg aufnehmbaren Stickstoff) oder Gülle (2 kg NH₄-N für Rinder- bzw. 4 kg NH₄-N für Schweinegülle/m³ im Frühjahr ausgebracht). Der Sollwert kann um etwa 30 kg N/ha im Pflanzkartoffelanbau bzw. bei Beregnung reduziert werden, während er für Frühkartoffel an der oberen Grenze liegt.

Durch die Mineraldüngung soll letztlich der Fehlbetrag in der Kalkulation (Entzug entsprechend Ertragserwartung und Anlieferung durch Boden und organische Düngung) abgedeckt werden, so daß eine optimale Entwicklung des Bestandes gewährleistet ist, aber nach der Ernte möglichst wenig Stickstoff im Boden zurückbleibt (Grundwasserbelastung durch Auswaschung im Winter!). Die Stickstoffdüngung richtet sich nach der Sorte und dem Verwendungszweck (siehe später). Durchschnittliche Pauschalempfehlungen liegen

bei 80–120 kg N/ha, auf sehr leichten Böden mit geringer Nachlieferung auch 160 kg N/ha und mehr. Da die **Hauptstickstoffaufnahme** bis etwa Anfang Juli erfolgt ist (Abb. 1), kann die ganze Stickstoffgabe im Frühjahr appliziert werden; eine Aufteilung hat sich nur auf sehr durchlässigen Böden und bei hohen N-Gaben als zweckmäßig erwiesen. Was die **Stickstoffform** anlangt, so bevorzugt die Kartoffel den Ammonium-Stickstoff. „Stabilisierte“ (DCD-haltige) Düngemittel (Alzon 25, Basammon 25, AHL-Lösung mit Didin flüssig) haben den großen Vorzug, daß nur höchstens 1/5 des Gesamt-N als (auswaschungsgefährdetes) Nitrat vorliegt, während der Rest durch den Nitrifikationshemmstoff Dicyandiamid (2 % DCD-N) über mehrere Wochen als

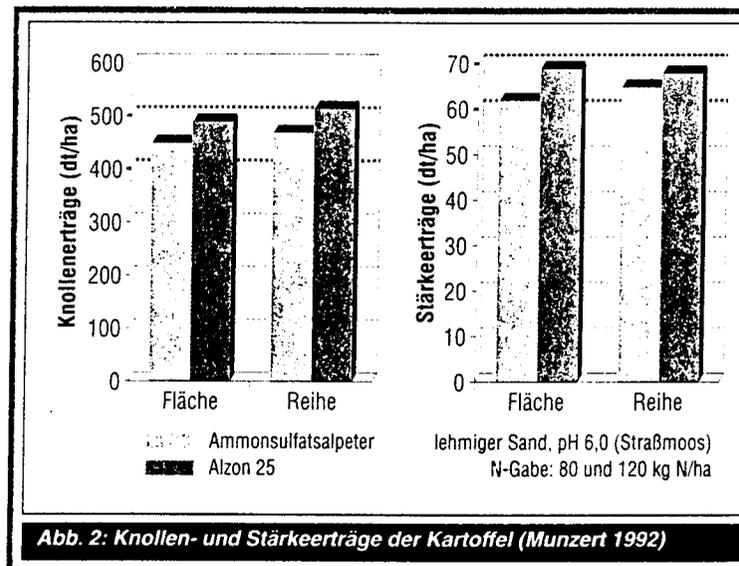


Abb. 2: Knollen- und Stärkeerträge der Kartoffel (Munzert 1992)

Ammonium stabilisiert ist. In der Reihe ausgebracht sind deutliche Mehrerträge an Knollen und Stärke übereinstimmend dokumentiert (Abb. 2) (Munzert, 1992; Zerulla, 1990; Hege und Munzert, 1991). Ein starkes Ammoniumangebot (Kation) an die Wurzel hat aber auch eine höhere Phosphataufnahme (Anion) zur Aufrechterhaltung des Kationen-Anionen Gleichgewichts in der Pflanze zur Folge. Dieser Me-

Düngung

chanismus wird wirksam bei der Anwendung von Ammonphosphatdünger (22/52) oder NP-Lösungen (10/34) als Reihen- oder Unterfußdüngung. Eine derartige Platzierung des Düngers (5 cm unterhalb, 8–10 cm seitlich der Knolle) verbessert die N- und P-Aufnahme (vor allem bei kühler Witterung) beträchtlich und erlaubt neben arbeitswirtschaftlichen Vorteilen auch eine Reduzierung der Gesamt-Nährstoffgaben (Timmermann, 1985; Neubaer, 1993; Wulf, 1994; Maidl, 1995).

Die **Hauptwurzelentwicklung** erfolgt standort- und sortenabhängig, wie das Wurzelbild der Kartoffel zeigt (Abb. 3), bis zu einer Tiefe von 60 cm aber mit geringer Breitenwirkung erst nach dem Schließen des Bestandes, also relativ spät. Bei breitwürfiger Ausbringung der Dünger und dem üblichen Reihenabstand der Kartoffel ist

eine gute Lagerfähigkeit das Qualitätsziel, das durch mäßige Stickstoffdüngung (60–80 kg N/ha) und optimale K- und P-Düngung erreicht werden kann unter Verzicht auf Höchstträge.

Für die **Qualität der Speisekartoffel** (Bergthaler, 1990) ist neben sortenabhängigen und organoleptischen (Geschmack) Kriterien sowie der Unterscheidung nach Kochtypen (z. B. fest, mehlig) ein ausgewogenes Verhältnis von Rohprotein zur Stärke und Ascorbinsäure entscheidend. Stickstoffdüngung erhöht den Gehalt an essentiellen (für den Menschen unentbehrlichen) Aminosäuren (z. B. Lysin, Methionin) und damit hochwertigem (dem Milcheiweiß vergleichbaren) Protein. Sehr hohe N-Gaben führen zu einem Rückgang an Trockensubstanz, Stärke und Ascorbinsäure.

deutenden) Melaninen führt. Ein hoher K- und Mg-Gehalt in der Knolle hemmt die Aktivität der Phenoloxidasen (Amberger, 1958; Sattelmacher, 1987; Nitsch, 1992).

Die **Blau- (oder Schwarz-) fleckigkeit** (Schaller und Amberger, 1974) ist ein Verfärbungsvorgang, der einsetzt, wenn (vor allem stark mit Stickstoff gedüngte) Kartoffeln durch mechanische Einflüsse (Stoßen, Quetschen) verletzt werden. Das dadurch freigesetzte pflanzeigene Enzym Phenylalaninammonium-Lysase (PAL) führt bei der Zubereitung in der Küche oder industriellen Verarbeitung zu blauschwarzen Flecken, als Ergebnis des Abbaus (Desaminierung) der Aminosäure Phenylalanin zu Phenolen, die mit ebenfalls freigesetzten Fe^{II} -Ionen blauschwarze (ernährungsphysiologisch unbedeutende) Komplexe bilden (Schaller, 1971; Rogozinska, 1991). Ähnlich verhält es sich mit der sogenannten „Kochdunklung“. Zwischen dem düngungsbedingten Gehalt der Knolle an Kalium und Citronensäure besteht eine positive Korrelation (im Sinne eines elektrischen Ladungsausgleichs); letztere bildet mit Eisen farblose (!) Fe-Citrat-Komplexe.

Ein sehr wichtiges Kriterium ist das **Farbverhalten beim Backen** (Rösten) von Chips. Durch hohe Gehalte an reduzierenden Zuckern (Glukose, Fruktose > 0,25 % i. FS) und freien Aminosäuren als Folge einer starken Stickstoffdüngung entstehen bei hohen Backtemperaturen über mehrere Zwischenprodukte letztlich dunkel gefärbte Aminosucker (Maillardreaktion); diese sind ernährungsphysiologisch zwar ebenfalls bedeutungslos, jedoch geschmacksbeeinflussend (bitter). Hohe N-Gaben (mangelnde Abreife) verstärken damit die Bräunung von Chips und führen zu Problemen bei der Lagerung; hohe K-Gaben wirken dem entgegen.

Die **Kaliumdüngung der Kartoffel** verlangt einige Grundtatsachen zu berücksichtigen: Ein großer Bedarf und eine hohe K-Aufnahme im frühen Wachstumsabschnitt erfordern ein hohes Düngerangebot zu einem Zeitpunkt, wo die Wurzelbildung noch sehr schwach ist und Trockenperioden auftreten können. Die K-Versorgung des Bodens wird normalerweise durch die übliche Bodenuntersuchung ermittelt (Unter-, ausreichende und Überversorgung); diese grobe Einteilung gibt aber keine Auskunft über die K-Nachlieferung auf dem jeweiligen Standort (ca. 40–80 kg K_2O /ha) während der Vegetationszeit (Abb. 4). Dafür empfiehlt sich die Anlage sogenannter „Düngerfenster“ (K-Mangelstreifen oder -parzellen).

Kalium fördert bekanntlich durch mehrere Enzyme die Bildung, Ableitung und Speicherung der Assimilate in der Kartoffel. K-Gehalte von > 1,8 % i. TS in der Knolle

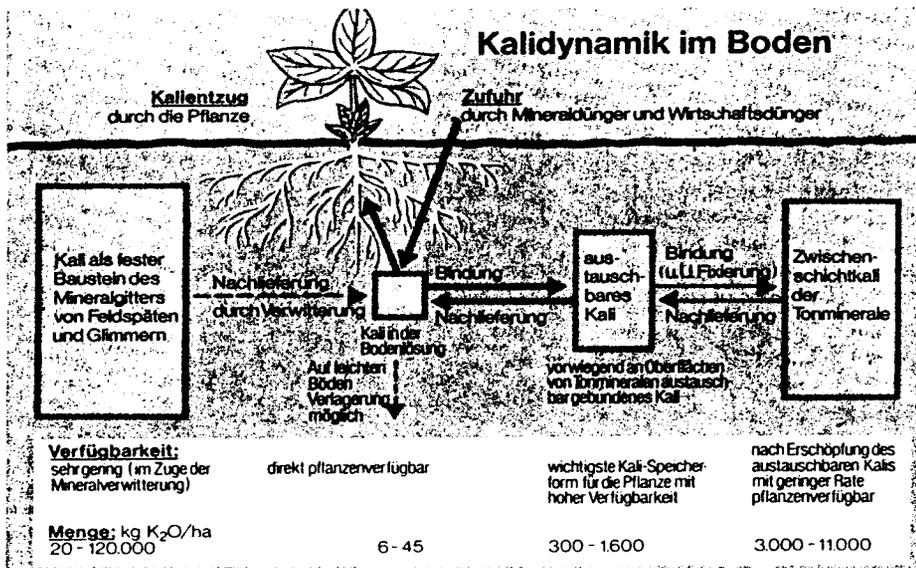


Abb. 4: Kalidynamik im Boden

sowohl die Gefahr der Auswaschung (als Nitrat nach starken Regenfällen) als auch der Festlegung von Phosphat aufgrund der großen Angriffsflächen des Bodens deutlich höher und damit die Effizienz der Düngung wesentlich geringer. Als positiver Nebeneffekt senkt Ammoniumdüngung den häufig unberechtigterweise hochstilisierten Nitratgehalt der Speisekartoffel, der nur bei sehr stark mit Nitrat gedüngten Frühkartoffeln problematisch sein kann, durch den Koch- und Schälungsvorgang aber um 50 % gesenkt wird (Kolbe, 1987).

Was den späteren **Verwendungszweck** der Kartoffel anlangt, so haben Stickstoff und Kalium zweifellos den größten Einfluß auf die Qualität und zwar was sowohl die Gesundheit (Infektionsrisiko) und Reife der Knolle als auch den Gehalt an Inhaltsstoffen anlangt.

In der **Pflanzkartoffelerzeugung** sind Gesundheit (frei von Virose), Vitalität und

Das eindeutige Ziel der Erzeugung von Kartoffeln für **Stärke- und Alkoholindustrie** (Brennerei) sind höchste **Stärkeerträge**; diese werden erreicht durch hohe Knollenerträge, mit sehr hoher N-Düngung aber mit rückläufigen Stärkegehalten.

Die Qualität der „**Veredelungsprodukte**“ (Chips, Pommes frites, Klöße, Suppen, etc.) wird bestimmt durch den Gehalt an Trockensubstanz (je höher, desto geringer ist der Ölverbrauch zur Chipsherstellung) und das Farbverhalten.

Die **Rohbreiverfärbung** (Amberger, 1958; Amberger und Schaller, 1975) ist ein sorten- und düngungs- (Stickstoff) bedingtes Merkmal, hervorgerufen durch die Reaktion freigesetzter pflanzeigener Enzyme (Phenoloxidasen) mit phenolischen Inhaltsstoffen (z. B. Tyrosin, Chlorogensäure, Kaffeesäure, etc.) beim Schneiden, Reiben, Pressen, usw., was letztlich zu dunkel gefärbten (ernährungsphysiologisch unbe-

Düngung

wirken aber insbesondere bei höherer Cl-Aufnahme erwiesenermaßen (Winkelmann, 1992) nachteilig auf den Stärkegehalt (sofern dieser als Qualitätsmerkmal gilt), während für Speisekartoffeln K-Gehalte bis zu 2,5 % i. TS unproblematisch sind. Beachtung verdient in diesem Zusammenhang die Frage der K-Form, nämlich sulfatisches (z. B. Patentkali) oder chloritisches (z. B. 40-er Kali). Der Sulfatbedarf der Kartoffel ist nicht sonderlich hoch; Patentkali hat aber noch den Vorzug der zusätzlichen Lieferung von Magnesium (10 % MgO), einem für die Kartoffel sehr wichtigen Nährstoff (Chlorophyll-, Kohlenhydrat-, Proteinsynthese, Energietransfer, u. a.), der allerdings auch durch andere Düngemittel (Bittersalz-Blattdüngung 10 % Mg; Magnesiakalke, u. a.) sichergestellt werden kann (Rogozinska, 1991; Orlovius, 1993). Der Chloridbedarf der Kartoffel ist denkbar gering (z. B. Photosynthese, osmotischer Druck). Hohe Chloridgaben – insbesondere zusammen mit hohen N-Gaben – drücken aber den Stärkegehalt

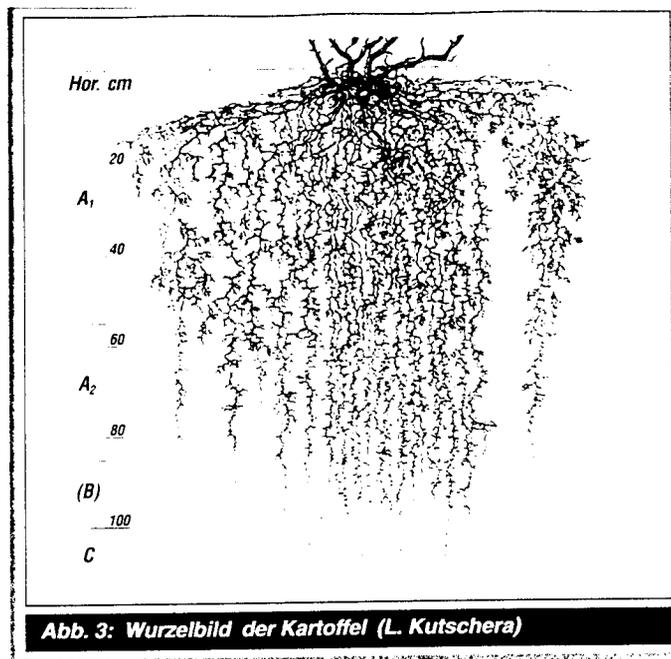


Abb. 3: Wurzelbild der Kartoffel (L. Kutschera)

beträchtlich. Dieser Nachteil läßt sich ausschalten, wenn die chloridhaltigen K-Dünger bereits im vorausgegangenen Herbst ausgebracht werden (Cl⁻ wird ausgewaschen, allerdings unter Belastung des Calciumhaushaltes in äquivalenten Mengen, während K⁺ sorbiert wird). Für Sulfat wie auch für Chlorid gilt gleichermaßen: Der von der Pflanze nicht aufgenommene, also im Boden verbliebene Rest wird in der folgenden vegetationsfreien Jahreszeit nahezu quantitativ ausgewaschen, da weder für Cl⁻ noch für SO₄²⁻ Sorptionsmöglichkeiten

im Boden bestehen. Auf die „Rücklieferung“ durch das auf dem Feld verbleibende K im Kartoffelkraut wurde bereits hingewiesen. Die Empfehlungen zur **Phosphatdüngung** sind einfach aber zwingend: Fachgerechte Applikation in die Rhizosphäre, am besten als Reihen- oder Unterfußdüngung, um die Effizienz der P-Düngung zu erhöhen und damit Dünger zu sparen.

Zusammenfassung

Die Düngung der Kartoffel wird bestimmt durch das Nährstoffangebot des Bodens und den sortenabhängigen Nährstoffbedarf (vor allem an Stickstoff und Kalium) im Hinblick auf den Verwendungszweck. Die Kaliform ist wesentlich für die Ausbildung der qualitativ wertvollen Inhaltsstoffe der Knolle. Eine plazierte (Reihen- oder Unterfuß-) Düngung erhöht die Effizienz der Stickstoff- und Phosphatdüngung.

Literatur bei der Redaktion erhältlich