

Wie können die Erträge im ökologischen Kartoffelbau gesichert werden?

Kurt Möller

Im ökologischen Kartoffelbau gilt die Kraut- und Knollenfäule als wichtigste Ursache für die starken Ertragschwankungen in der Praxis. Doch auf Grund der gefundenen Zusammenhänge zwischen Stickstoffernährung und Verlauf des Knollenwachstums ergeben sich neue Erkenntnisse und für die Praxis wichtige Konsequenzen.

Die Anbautechnik von Kartoffeln im ökologischen im Vergleich zum konventionellen Landbau unterscheidet sich im Wesentlichen durch zwei wichtige Faktoren:

1. Durch die unzureichenden Mittel für eine effektive direkte Krautfäulebekämpfung sowie
2. durch die sehr eingeschränkten Möglichkeiten einer gezielten Stickstoffdüngung (N-Düngung).

In der Praxis werden enorme Ertragschwankungen bei der Produktion von Biokartoffeln festgestellt, die in aller Regel mit einem mehr oder weniger starken Krautfäulebefall im Einzeljahr in Beziehung gebracht werden. Wie Erhebungen auf über 200 Einzelstandorten in vier Jahren (1995 bis 1998) auf 15 Praxisbetrieben in Südbayern sowie von ergänzenden Feldversuchen auf der Versuchsstation Klostersgut Scheyern zeigen, sind jedoch die Ursachen für die starken Ertragschwankungen in der Praxis sehr viel komplexer als bisher angenommen.

N-Versorgung der Ökokartoffeln

In den vegetationsbegleitenden Probenahmen konnte ermittelt werden, dass im Durchschnitt aller untersuchten Standorte die Kartoffeln bis Mitte Juli 97,5 kg N/ha aufgenommen hatten. Sie liegen damit deutlich unter den konventionellen N-Sollwerten für optimale Erträge (150 bis 220

kg N/ha). Neben diesen niedrigen durchschnittlichen N-Aufnahmen wurden auf den untersuchten Ökostandorten gleichzeitig enorme Unterschiede in den N-Aufnahmen zwischen 50 und 150 kg N/ha gemessen. Kartoffeln benötigen zur Produktion von 100 dt Knollen/ha etwa 30 bis 35 kg N/ha. Entsprechend den oben dargestellten N-Aufnahmen schwankt das Ertragspotenzial in der Praxis des ökologischen Kartoffelbaus damit zwischen 150 und 450 dt/ha.

N-Versorgung und Ertragsbildung

Von grundlegender Bedeutung für das Verständnis des Knollenwachstums sind die Auswirkungen der N-Ernährung auf das Knollenwachstum und dessen Verlauf. Dabei ist grundsätzlich zwischen der Knollenwachstumsrate (täglicher Knollenzuwachs) und der Knollenwachstumsdauer (Zeitraum zwischen Knollenanlage und Ende des Knollengrößenwachstums) zu unterscheiden.

Allgemein bekannt ist, dass die N-Ernährung das Blattwachstum maßgeblich beeinflusst und dass die Knollenwachstumsraten wiederum in enger Beziehung zur Blattmasse stehen. Dies gilt bis zu einem nahezu geschlossenen „Blätterdach“. Wird mehr Blattmasse gebildet (wie in aller Regel bei konventionell geführten Kartoffelbeständen), so führt das zu keiner weiteren Erhöhung des täglichen Knollen-

zuwachses. Im ökologischen Kartoffelbau bilden gut mit Stickstoff ernährte Bestände (N-Aufnahmen bis Mitte Juli von 110 bis 130 kg/ha) eine Blattfläche, die für maximal mögliche Knollenwachstumsraten ausreicht. Der Knollenzuwachs beträgt dann in der Hauptwachstumsphase unter optimalen Wachstumsbedingungen etwa 9 dt pro Hektar und Tag. Dies gilt z. B. in der Regel für Kartoffeln, die nach Klee gras stehen. Bei schwach mit Stickstoff versorgten Beständen (N-Aufnahmen zwischen 70 und 90 kg/ha) dagegen reicht die gebildete Blattmasse nicht aus, um maximale tägliche Ertragszuwächse zu erzielen. Hier betragen die Knollenwachstumsraten durchschnittlich knapp 7 dt/ha und Tag. Solche Bedingungen liegen häufig bei Getreidevorfrucht vor, selbst wenn ergänzend mit Stallmist gedüngt wird, nicht selten aber auch bei Erbsenvorfrucht.

Wenn N-Aufnahmen von 110 bis 130 kg/ha ausreichen, um optimale Wachstumsraten zu erzielen, stellt sich die Frage, wieso die Empfehlungen für die N-Versorgung (Boden-N + Dünger-N) im konventionellen Kartoffelbau mit 150 bis über 200 kg/ha deutlich höher ausfallen?

Hier kommt der zweite Effekt im Zusammenhang mit der N-Versorgung zum Tragen: Je höher der N-Vorrat, desto länger ist ein Kartoffelbestand in der Lage, die täglichen Knollenzuwächse aufrecht zu erhalten und desto später beginnt die Abreife. Die untersuchten Bestände mit niedri-

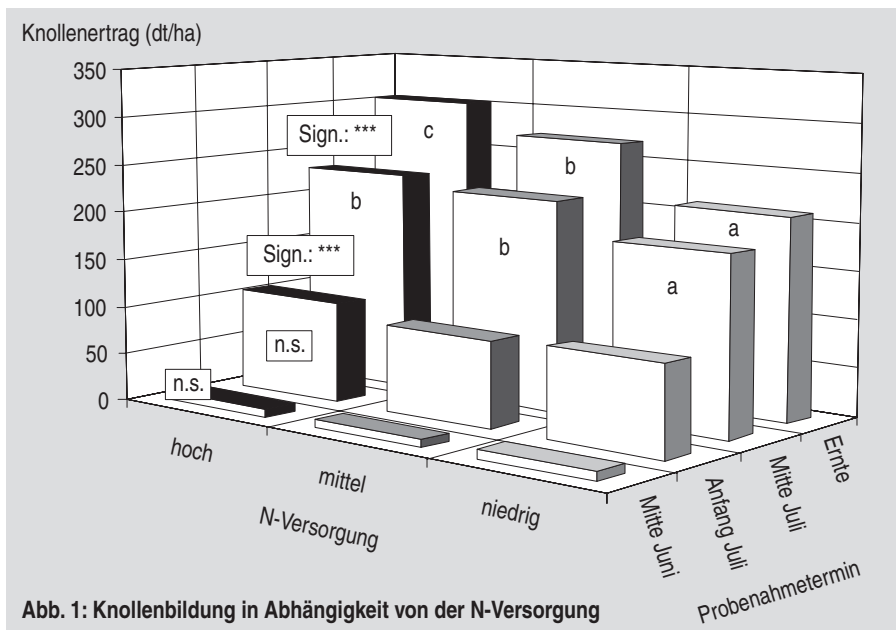


Abb. 1: Knollenbildung in Abhängigkeit von der N-Versorgung

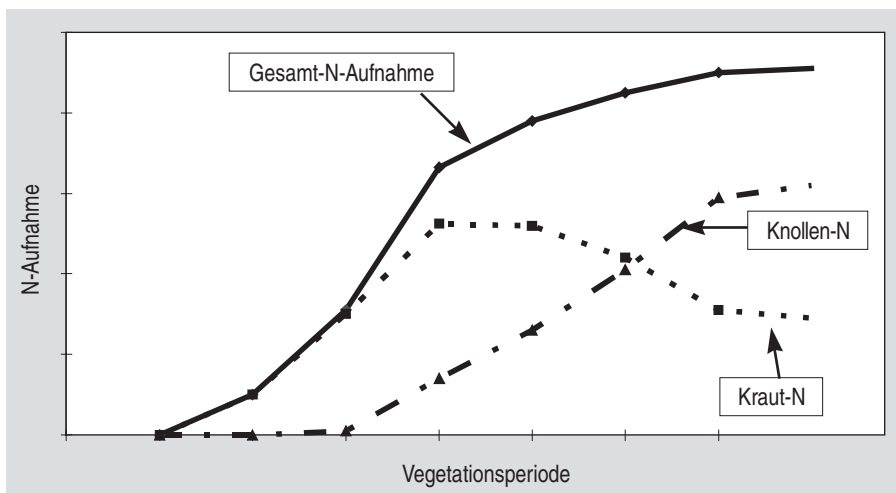


Abb. 2: N-Aufnahme und N-Verteilung innerhalb einer Kartoffelpflanze im Verlauf der Vegetationsperiode

er N-Versorgung hatten in allen vier Untersuchungsjahren bereits Mitte Juli die Knollenbildung nahezu abgeschlossen, nur bei vergleichsweise hoher N-Versorgung wurden nach Mitte Juli noch nennenswerte Ertragszuwächse festgestellt (Abb. 1). Dies obwohl der Krautfäulebefall in allen vier Jahren Mitte Juli noch vergleichsweise schwach war und sich zwischen den Standorten unterschiedlicher N-Versorgung nicht signifikant unterschied. Für die Ernteerträge waren somit

insbesondere die Unterschiede in der Wachstumsdauer nach Mitte Juli maßgeblich.

N-Vorrat bestimmt Knollenbildungsdauer

Kartoffeln nehmen den im Boden verfügbaren Stickstoff vornehmlich vor der Knollenbildung auf, er dient zunächst der Blattbildung. Nach Beginn der Knollenanlage kann die N-Aufnahme aus dem Boden nur eine kurze Zeit mit dem N-Bedarf für die Knollenbildung „mithalten“. Daher müssen die Kartoffelpflanzen mit fortlaufender Vegetationsperiode in zunehmendem Maße Stickstoff aus den Blättern in die Knollen umlagern, um das Knollenwachstum aufrecht erhalten zu können (Abb. 2). Je mehr Stickstoff in den Blättern

„zwischenlagert“ ist, desto länger kann eine Kartoffelpflanze das Knollenwachstum durch Umlagerung von Stickstoff von den Blättern in die Knollen aufrecht erhalten. Wenn etwa zwei Drittel des aufgenommenen Stickstoffs in die Knollen umverlagert sind, kommt das Knollengrößenwachstum zum Erliegen. Die Pflanzen bilden keine neuen Blätter mehr, der Bestand beginnt mit der Abreife und lagert noch einige Tage Stärke in die Knollen ein, bevor er vollständig abstirbt.

Die sehr starke Krautbildung in konventionell geführten Kartoffelbeständen dient daher nicht nur der optimalen Nutzung der Sonnenenergie, sondern hat zugleich die Funktion eines „StickstoffzwischenSpeichers“, der eine Verlängerung der Knollenbildungsdauer ermöglicht und den Beginn der Abreife der Kartoffeln entsprechend verzögert.

Ertragsphysiologisch unterscheidet sich ein ökologisch relativ gut mit Stickstoff versorgter Bestand von einem konventionellen Bestand im Wesentlichen durch eine verkürzte (potenzielle) Knollenbildungsdauer (Abb. 3). Ist die N-Versorgung selbst für Bedingungen des Ökoanbaus niedrig, tritt neben einer weiteren Verkürzung der (potenziellen) Knollenbildungsdauer eine Reduzierung des täglichen Knollenzuwachses ein.

Je höher das pflanzenbaulich angelegte Ertragspotenzial, desto mehr Zeit benötigt ein Bestand, dieses Potenzial auch in Ertrag umzusetzen und desto höher ist auch die Gefahr, dass z. B. Krankheitsbefall die Verwirklichung des angelegten Ertragspotenzials verhindert. Die immense ertragsbestimmende Bedeutung der N-Versorgung für die mögliche Knollenbildungsdauer wird häufig übersehen!

Was sagen die Trockenmassegehalte in den Knollen aus?

Dass das Ende des Knollenwachstums auf den Standorten mit niedriger N-Versorgung tatsächlich mit Abreifeerscheinungen im Zusammenhang steht, ist an den Trockenmassegehalten der Knollen zu erkennen. Allgemein steigen bei Kartoffeln die Trockenmassegehalte nach der Knollenanlage kontinuierlich an, und auch noch in den ersten zehn Tagen nach Beendigung des Knollengrößenwachstums ist ein deutlicher Anstieg festzustellen. Daraus folgt,

dass je besser ein Kartoffelbestand ausreifen konnte, bevor das Kraut durch Krautfäulebefall abgestorben ist, desto höher sind die Stärke- bzw. Trockenmassegehalte¹⁾ in den Knollen. Daher deuten sehr hohe Stärkegehalte stets darauf hin, dass das Knollenwachstum eines Kartoffelbestandes nicht nennenswert durch Krautfäule beeinträchtigt wurde.

Aus den in Abb. 4 dargestellten Ergebnissen aus den Praxisbetrieben kann entnommen werden, dass bei niedriger N-Versorgung die frühen sehr hohen TM-Gehalte eindeutig auf entsprechende Abreifeerscheinungen bereits Mitte Juli hindeuten.

Da mit steigender Stickstoffversorgung der Beginn der Abreife eines Bestandes (= Ende des Knollengrößenwachstums) zeitlich später stattfindet, wird auch der Anstieg der Trockenmassegehalte in den Knollen durch die Erhöhung der N-Versorgung verzögert. Auch dieser Effekt zeigt sich in Abb. 4 beim Vergleich zwischen den Standorten niedriger, mittlerer und hoher N-Versorgung.

Relative Bedeutung des Krautfäulebefalls und der N-Versorgung

Krautfäulebefall beeinträchtigt das Knollenwachstum durch die Zerstörung von Blattfläche. Aus Versuchsergebnissen ist jedoch bekannt, dass ein Kartoffelbestand bis zu einer Zerstörung von 50-60 Prozent der Blattfläche kaum im Wachstum beeinträchtigt wird. Erst bei noch höherem Befall kommt es zu einer sehr raschen Minderung der Wachstumsleistung und bei einer

¹⁾ Die Stärkegehalte erntereifer Knollen werden auch von einer Vielzahl anderer Wachstumsfaktoren bestimmt. Neben der genetischen Veranlagung der jeweiligen Sorte spielen z. B. die Kalium- und die Wasserversorgung eine wichtige Rolle.

²⁾ z. B. wöchentlich der Krankheitsbefall, die Gesamtwachstumsdauer vom Auflaufen bis zum Absterben der Bestände, zweiwöchentlich die Biomassebildung und die N-Aufnahme, im Mai und im Juni im zehntägigen Abstand die Nitrat-N-Gehalte im Boden, etc.

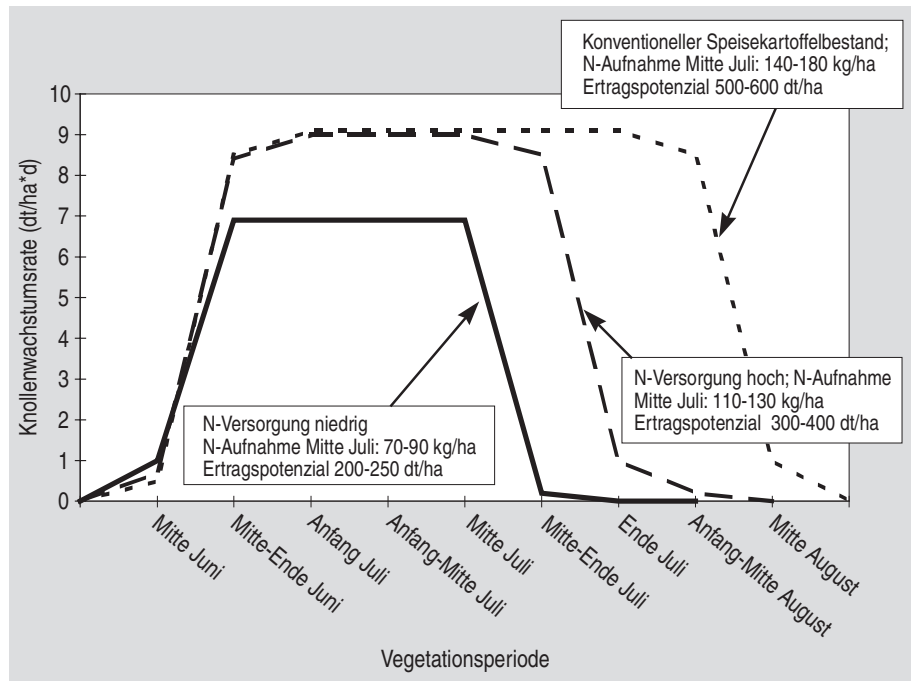


Abb. 3: Schematischer Vergleich der (potenziellen) Knollenbildung von konventionell, ökologisch „hoch“ und ökologisch „niedrig“ mit Stickstoff versorgten Kartoffeln

Krautzerstörung von 70 bis 80 Prozent kommt das Knollenwachstum zum Erliegen. Welche Bedeutung dem Krautfäulebefall in Relation zu den anderen Wachstumsfaktoren zukommt, kann mit Hilfe einer multiplen Regressionsanalyse untersucht werden. Bei den hier vorgestellten Ergebnissen wurden neben Standortfaktoren (z. B. Ackerzahlen) verschiedene Parameter berücksichtigt, die im Laufe der Vegetationsperiode erhoben wurden.²⁾ Aus den in Tab. 1 dargestellten Ergebnissen geht anhand der sogenannten Beta-Koeffizienten, einem statistischen Maß für die relative Bedeutung der berücksichtigten einzelnen Wachstumsfaktoren hervor, dass der N-Versorgung eine sehr viel stärkere Bedeutung für die Erklärung der Ertragschwankungen zukommt als der Gesamtwachstumsdauer der Bestände (und damit indirekt dem Krautfäulebefall). Aus dem ermittelten Bestimmtheitsmaß kann geschlossen werden, dass N-Versorgung und Krautfäulebefall gemeinsam 73 Prozent der ermittelten Ertragschwankungen erklären.

Bei niedriger N-Versorgung im ökologischen Landbau ist das Knollenwachstum in der Regel abgeschlossen, bevor Krautfäulebefall in einem nennenswerten Ausmaß auftritt. Krautfäulebefall wirkt in aller Regel dort ertragsbegrenzend, wo ein früher Befall in Beständen mit relativ hoher N-Versorgung zu einer vollständigen Krautzerstörung noch vor Ende Juli/Anfang August führt.

Konsequenzen für die Praxis

Die Kenntnis der Ertragsphysiologie und des Wachstumsverhaltens der Kartoffeln unter den Praxisbedingungen des ökologischen Kartoffelbaus ist die Voraussetzung, um die vorhandenen Optimierungsmöglichkeiten zu erkennen und zu nutzen. Aus den Ergebnissen der Erhebungen kann gefolgert werden, dass auf vielen Ökostandorten (vermutlich etwa der Hälfte) die Erhöhung der N-Versorgung eine Grundvoraussetzung zur Verbesserung der Ertragssituation darstellt. Zugleich muss jedoch berücksichtigt werden, dass, je höher

das pflanzenbaulich angelegte Ertragspotenzial eines Bestandes ist, desto größer die „Gefahr“ ist, dass auf Grund von Krautfäulebefall der pflanzenbaulich über die Düngung angelegte Ertrag nicht erzielt wird. Daraus folgt eine wichtige Anbauregel: Mit zunehmender N-Versorgung steigt die Bedeutung vorbeugender Maßnahmen (z. B. Vorkeimen, Auswahl von Sorten mit frühem Knollenansatz) bzw. direkter Maßnahmen (z. B. Kupferspritzungen) gegen Krautfäulebefall.

In der Praxis werden nach Ergebnissen einer eigenen Umfrage jedoch vorbeugende Maßnahmen viel häufiger von den Landwirten getroffen, die ihre Kartoffeln eher schlecht mit Stickstoff versorgen und deshalb die geringsten ertragssichernden

Nicht immer vorteilhaft ist der Einsatz von gegenüber Krautfäulebefall widerstandsfähigeren Sorten: Diese Sorten setzen meistens ihre Knollen relativ spät an, so dass in Jahren mit sehr starkem Krautfäulebefall der positive Ertragseffekt der hohen Widerstandsfähigkeit vom negativen Ertragseffekt des späten Knollenansatzes in aller Regel wettgemacht wird.

Eine Verbesserung der N-Versorgung lässt sich in der Praxis am sichersten durch die Veränderung der Vorfrucht erzielen, indem man Kartoffeln direkt nach Klee gras folgen lässt. Ferner ist der Anbau von Kartoffeln nach Erbsen und einer leguminosenbetonten Zwischenfrucht (z. B. Sommerwicke mit etwas Örtlich) erfolgversprechend.

liegt Kalium im Stallmist vorwiegend in mineralischer Form vor, so dass mit 50 bis 60 Prozent die relative Ausnutzung des Kaliums im Stallmist höher ist als die des Stickstoffs (ca. 20 Prozent). Da das Wachstum im ökologischen Landbau weitgehend durch das Stickstoffangebot beeinflusst wird und sich die zusätzliche Kaliumversorgung in aller Regel kaum auf das Knollenwachstum auswirkt, führt die verbesserte K-Versorgung bei Stallmistdüngung zu einer Zunahme der Kaliumgehalte in den Blättern und in den Knollen und dient somit der Qualitätssicherung (Schwarzfleckigkeit etc.), insbesondere auf Standorten, die Kaliummangel erwarten lassen.

Kupfer im ökologischen Kartoffelbau – ein Diskussionsanstoß

Als Folge von regional sehr begrenztem, ungewöhnlich frühen und zugleich extrem starken Befall mit Krautfäule in den letzten Jahren – so 1998 in Teilen von Niedersachsen und 1999 in Teilen Süddeutschlands – wurde die Verwendung von Kupfer (Cu) durch die Verbände wieder zugelassen. Diese Zulassung von Cu ist eine Entscheidung, die unter wirtschaftlichen und verbandspolitischen Erwägungen getroffen wurde. Aus ökologischer Sicht ist die heute übliche Verwendungspraxis problematisch, da häufig sehr viel mehr Cu zugeführt als über die Ernteprodukte (jährlich 30 bis 100 g Cu/ha) wieder abgefahren wird, so dass es zu einer Anreicherung im Boden kommt. Geht man von einem durchschnittlichen Entzug von 70 g Cu/ha aus – wobei außer Betracht gelassen wird, dass ein erheblicher Teil davon über den Stallmist wieder auf die Fläche zurückge-

führt wird – so dürften die 3 kg Rein-Cu/ha, die derzeit jährlich erlaubt sind, nur alle 40 bis 50 Jahre auf eine Fläche ausgebracht werden, um langfristig keine Anreicherung im Boden zu induzieren.

Aus diesen Gründen sollte die Mindestfor-

derung bestehen, dass Kupfer – wenn überhaupt – sehr gezielt nur dort eingesetzt wird, wo ein deutlicher Mehrertrag zu erwarten ist. Grundvoraussetzung für einen zielgerichteten Pflanzenschutz ist die sichere Erkennung der spezifischen Krank-

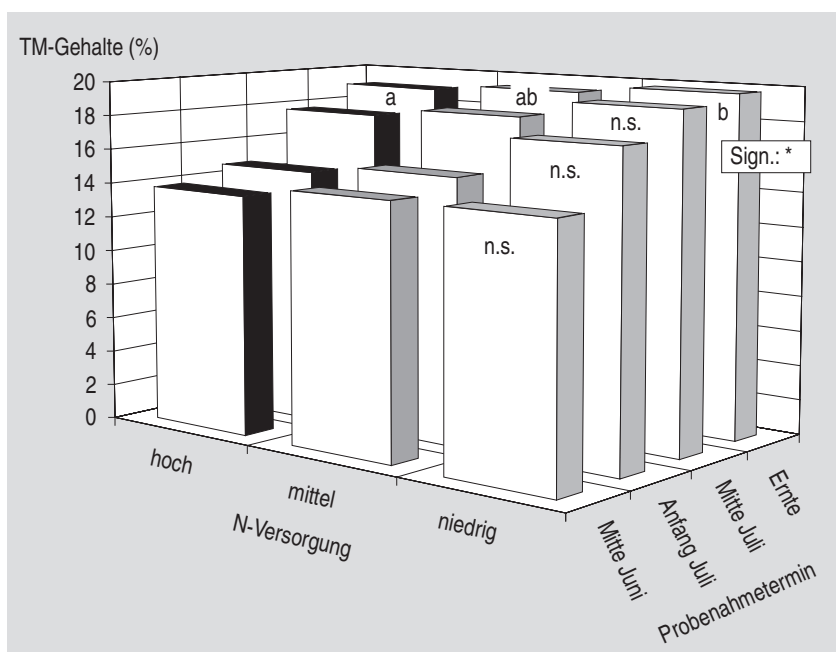


Abb. 4: Trockenmasse (TM)-Gehalte der Knollen in Abhängigkeit von der N-Versorgung im Verlauf der Vegetationsperiode

Effekte dieser Maßnahmen erwarten können.

Werden in einem Betrieb Kartoffeln auf verschiedenen Standorten angebaut, sollten vorgekeimte Partien bzw. Sorten mit früherer Knollenansatzzeit auf die Standorte gesetzt werden, die auf Grund von Vorfrucht, Düngung und sonstigen Standortfaktoren die höhere N-Versorgung erwarten lassen. Umgekehrt können vorgekeimte Partien bzw. Sorten mit frühem Knollenansatz stärker gedüngt werden als nicht vorgekeimte Partien bzw. Sorten mit spätem Knollenansatz.

Einflussvariablen	Beta-Koeffizient	(Bestimmtheitsmaß) r ²
Konstante		
ln (Gesamt-N-Gehalt _{Kraut} Mitte Juni)	1,10	0,55
Gesamt-Wachstumsdauer	0,42	0,67
Gesamt-N-Gehalt _{Kraut} Anfang Juli	-0,32	0,73

Eine weitere relativ sichere Möglichkeit zur Erhöhung des N-Angebotes besteht im Einsatz moderater Mengen an Gülle. Dagegen eignet sich Stallmist eher zur Verbesserung der Kaliumversorgung von Kartoffeln. Anders als der Stickstoff

Krautfäulebefall beeinträchtigt das Knollenwachstum durch Zerstörung von Blattfläche.

heitssymptome. Bereits hier bestehen in der Praxis und teilweise auch in der Beratung erhebliche Unsicherheiten. So werden die Symptome anderer Krankheiten sehr häufig mit Krautfäule verwechselt, selbst sortentypische Stängelverfärbungen werden vereinzelt für Krautfäulebefall gehalten und dienen als Begründung für einen Kupfereinsatz. Sehr häufig wird zudem Kupfer zu einem Zeitpunkt eingesetzt, bei dem die Bestände bereits in die Abreife übergegangen sind bzw. kurz davor stehen und daher keine nennenswerten Ertragseffekte mehr zu erwarten sind.

Der Einsatz von Kupfer sollte noch stärker beschränkt werden und sich nach einer hohen Effizienz richten:

Es sollte erstens eine zeitliche Beschränkung eingeführt werden, die den Einsatz von Kupfer bis spätestens zum 15. Juli erlaubt. Die meisten Ökobestände schließen zwischen Mitte Juli und Ende Juli/Anfang August das Knollengrößenwachstum ernährungsbedingt ab, und während der dann anschließenden Abreife lagern sie nur noch Stärke in die Knollen ein.

Wird zusätzlich noch bedacht, dass nach der letzten Cu-Behandlung in aller Regel die Bestände mindestens noch zwei Wochen „durchhalten“, ist jede Cu-Behandlung ab etwa dem 5. Juli auf ihre Sinnhaftigkeit zu hinterfragen und sollte nur bei sehr starker Krautbildung (= hohe N-Versorgung) erfolgen. Behandlungen nach dem 15. Juli dienen auch nicht zur Vorbeugung gegen Braunfäulebefall. Denn für Knolleninfektionen ist maßgeblich, ob Befall am Kraut überhaupt vorhanden ist, das Ausmaß des Krautbefalles ist zweitrangig. Kupferbehandlungen sind nicht dazu geeignet, den Krautbefall vollständig zu unterdrücken, sie führen lediglich zu einer Verzögerung der Epidemie und verlängern dadurch den Zeitraum, in dem Knollenin-



© FiBL, Foto: B. Speiser

fektionen möglich sind. Somit können sie eher zu einer Zunahme als zu einer Abnahme des Braunfäulebefalls führen.

Eine zeitliche Begrenzung würde darüber hinaus auch dazu führen, dass vorbeugende Maßnahmen wie das arbeitsaufwendige Vorkeimen wirtschaftlich interessanter werden.

Zweitens sollten die erlaubten Kupfermengen im Kartoffelbau auf etwa 1 kg Rein-Kupfer je ha und Jahr reduziert werden. Die Verwendung höherer Mengen sollte nur als wirkliche (!) Ausnahme genehmigung gestattet werden (z. B. bei einem ungewöhnlich frühen Erstbefall noch vor Mitte Juni).

Nach neueren Erkenntnissen wird mit etwa 125 bis 250 g Rein-Kupfer je Behandlung eine ausreichende Wirkung gegen Krautfäulebefall erreicht. Wird bedacht, dass ein Schutz gegen Krautfäule vor allem im Zeitraum nach Befallsbeginn (i. d. R. zwischen Mitte Juni und Ende Juni) bzw. Anfang bis Mitte Juli in Jahren mit hohem Befallsdruck zur Ertragssicherung notwendig ist, könnten mit zwei bis drei Spritzungen (und damit mit weniger als 1 kg Rein-Cu/ha und Jahr) die wesentlichen ertragssichernden Wirkungen erzielt werden.

Meiner Meinung nach kann nur durch die Kombination dieser Maßnahmen er-

reicht werden, dass der Kupfereinsatz in der Praxis zielgerichtet wird. In der Kupferdiskussion sollte außerdem Folgendes beachtet werden: Wenn in Versuchen auf einem Standort mit überdurchschnittlichem Ertragspotenzial mit Kupferbehandlungen eine Erhöhung der Erträge um 20 Prozent festgestellt wird, betragen die prozentualen Mehrerträge auf Standorten mit niedrigerem Ertragspotenzial mitnichten 20 Prozent (auf einem insgesamt niedrigeren Niveau), wie dies häufig unterstellt wird. Die Tatsache, dass die N-Ernährung nicht nur das Ertragspotenzial auf einem Standort maßgeblich bestimmt, sondern zugleich auch die Dauer der Knollenbildung beeinflusst, bewirkt, dass die prozentuale Ertragswirksamkeit von Kupferbehandlungen mit abnehmender N-Versorgung kontinuierlich abnimmt. □

Dr. Kurt Möller, Professur für Organischen Landbau der Justus Liebig-Universität Gießen, Karl-Glöckner-Str. 21c, D-35394 Gießen, E-Mail kurt.moeller@alumni.tum.de



Ein umfangreiches **Literaturverzeichnis** findet man in der Dissertation des Autors „Einfluss und Wechselwirkung von Krautfäulebefall (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary) und Stickstoffernährung auf Knollenwachstum und Ertrag von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) im ökologischen Landbau“, erschienen im Shaker-Verlag (ISBN 3-8265-9037-6).

Diese Arbeit ist unter Betreuung von Dr. Hans-Jürgen Reents, Dr. Johann Habermeyer und Prof. Dr. Volker Zinkernagel sowie unter der tatkräftigen Kooperation vieler Landwirte und von Max Kainz, Leiter der Versuchsstation Klostergut Scheyern entstanden. Mein Dank gebührt ihnen allen sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für die großzügige finanzielle Unterstützung.