

Ansätze zur Reduzierung der Kupferaufwandmengen im ökologischen Kartoffelbau

Dr. Kurt Möller, Professur für Organischen Landbau, Justus Liebig-Universität Gießen, Karl Glöckner Str. 21c, 35394 Gießen. Email: Kurt.Moeller@alumni.tum.de

1) Einleitung

Als Folge von regional sehr begrenztem, ungewöhnlich frühem und zugleich extrem starkem Befall mit Krautfäule in den letzten Jahren (z.B. 1998 in Teilen von Niedersachsen, 1999 in Teilen Süddeutschlands) wurde die Verwendung von Kupfer (Cu) durch die ökologischen Anbauverbände teilweise wieder zugelassen. Die Zulassung von Cu ist eine rein politische Entscheidung, die unter wirtschaftlichen und verbandspolitischen Erwägungen (u.a. Verhinderung von Aus- und Übertritten) getroffen wurde. Im Folgenden werden einige Aspekte im Zusammenhang mit dem Einsatz von Kupfer im ökologischen Kartoffelbau dargestellt und diskutiert sowie Ansätze zur Reduzierung der jährlichen Aufwandmengen aufgezeigt.

2) Nährstoffflüsse von Kupfer innerhalb einer Fruchtfolge bzw. innerhalb eines Betriebes

Die **Kupferentzüge** durch die Ernteprodukte betragen 20 bis 100 g Cu/ha*a. Sie variieren in Abhängigkeit der Erträge und vor allem in Abhängigkeit der Kulturpflanzen relativ stark: Bei Getreide liegen die Cu-Entzüge bei 20 bis 30 g/ha*a, bei Kartoffeln 30 bis 60 g/ha*a (ca. 2 g/Tonne Frischmasse), die Cu-Entzüge des Ackerfutterbaus sind am höchsten und betragen ca. 100 g Cu/ha*a. Gerade die Entzüge des Ackerfutterbaus verbleiben fast vollständig im Betriebskreislauf und werden über die organische Düngung zurückgeführt. In einer 7-feldrigen Fruchtfolge eines Gemischtbetriebes (2x Ackerfutterbau, 1x Kartoffeln, 4x Druschfrüchte einschließlich Körnerleguminosen) betragen die Gesamtentzüge der Rotation ca. 350 g Cu/ha*a. Über die organischen Dünger werden schätzungsweise etwa zwei Drittel der entzogenen Kupfermengen (ca. 250 g Cu/ha*a) wieder zurückgeführt, so dass der Gesamtentzug über die gesamte Rotation ca. 100 g Cu/ha*a beträgt. Dem stehen Kupferaufwandmengen von bis zu 3 kg bei verbandsgebundenen bzw. für sog. EU-Betriebe nach der neuen EU-Richtlinie von 8 bzw. 6 kg Rein-Cu gegenüber. Daher ist aus wissenschaftlicher Sicht die heute teilweise übliche Verwendungspraxis von kupferhaltigen Fungiziden nicht nachhaltig. Häufig wird sehr viel mehr Cu zugeführt als über die Ernteprodukte wieder abgefahren wird, so dass es langfristig zu einer deutlichen Anreicherung im Boden kommen kann. Aus diesen Gründen sollte die Mindestforderung bestehen, dass Kupfer - wenn überhaupt - mit möglichst niedrigen Aufwandmengen sehr gezielt nur dort eingesetzt wird, wo ein deutli-

cher Mehrertrag zu erwarten ist. In dem Zusammenhang ist besonders bedenklich, dass der Einsatz von Kupfer in der Praxis häufig nicht besonders zielgerichtet durchgeführt wird. Grundvoraussetzung für einen zielgerichteten Pflanzenschutz ist die sichere Erkennung der spezifischen Krankheitssymptome. Bereits hier bestehen in der Praxis und teilweise auch in der Beratung erhebliche Unsicherheiten. So werden gerade zum vermeintlichen Epidemiebeginn die Symptome anderer Krankheiten (z.B. *Alternaria* und *Botrytis*) sehr häufig mit denen der Krautfäule verwechselt. Selbst sortentypische Stängelverfärbungen (!) werden vereinzelt für Krautfäulebefall gehalten und dienen als Begründung für einen Kupfereinsatz.

Neben dem Problem der sicheren Erkennung eines Anfangbefalles zur Terminierung einer Erstbehandlung liegt im ökologischen Kartoffelbau häufig kein Konzept vor, wann die Behandlungen mit Cu gegen Krautfäulebefall abgeschlossen werden sollen. Sehr häufig wird Kupfer zu einem Zeitpunkt eingesetzt, an dem die Bestände bereits in die Abreife übergegangen sind (bzw. kurz davor stehen) und daher keine nennenswerten Ertragseffekte mehr erzielt werden können.

3) Ansätze und Möglichkeiten zur Reduzierung der Kupferaufwandmengen im ökologischen Kartoffelbau

Jeder Kupferbehandlungsstrategie sollte eine möglichst genaue Definition der wichtigsten Ziele des Kupfereinsatzes gegen Krautfäulebefall vorausgehen. Hierbei ergeben sich mehrere Fragen:

- 1) Sollen durch den Kupfereinsatz die jeweils maximal möglichen Erträge unter Ausreizung des Ertragspotenzials des Standortes erzielt werden oder sollen durch den Kupfereinsatz vor allem die schlimmsten Folgen eines frühzeitigen und sehr starken Krautfäulebefalls „abgefangen“ werden, möglicherweise unter Inkaufnahme gewisser Ertragseinbußen?
- 2) Soll durch den Kupfereinsatz „lediglich“ eine befallsverzögernde oder eine weitgehend befallsverhindernde Wirkung (d.h. jeglicher Befall soll soweit möglich zunächst unterbunden werden, wie dies z.B. von konventionell wirtschaftenden Anbauern verlangt wird) erzielt werden?

Bereits bei diesen Fragen dürften in Praxis und Beratung stark abweichende Meinungen und Abschätzungen vorliegen. Es sind jedoch sehr wichtige und grundsätzliche Fragen, die maßgeblich die Einsatzstrategie von Kupfer bestimmen. Im Hinblick auf die erste Frage muss z.B. darauf hingewiesen werden, dass mit zunehmender Kupferaufwendung der zusätzliche Mehrertrag zunehmend geringer wird (siehe u.a. die in Tab. 1 aufgeführten Ergebnisse).

Dieser Effekt betrifft sowohl die Anwendungsdauer (Anzahl an Spritzungen pro Vegetationsperiode) als auch – ab einer bestimmten Menge – die Aufwandmenge je Spritzung (g Rein-Cu/ha). Zur 2. Frage soll an dieser Stelle beispielhaft darauf hingewiesen werden, dass sich die Anwendungsempfehlungen der Hersteller von kupferhaltigen Fungiziden an dem Hauptmarkt (dem konventionellen Landbau) orientieren. Daher sind die Empfehlungen darauf ausgerichtet, einen Kartoffelbestand befallsfrei zu halten.

Meiner Meinung nach ist für den ökologischen Landbau Befallsfreiheit nicht das entscheidende Kriterium, vielmehr sollte beim Einsatz von Cu v.a. eine befallsverzögernde Wirkung angestrebt werden. Dies hängt mit zwei wichtigen ertragsphysiologischen Merkmalen der Kartoffel zusammen:

- 1) Ein Kartoffelbestand kann eine Krautzerstörung von bis zu 60-65 % ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Wachstumsraten durch eine erhöhte Photosyntheseleistung der noch gesunden Blätter kompensieren. Dies hängt damit zusammen, dass während des Kartoffelwachstums die Ableitung der gebildeten Kohlehydrate in die Knollen das Knollenwachstum sehr viel stärker begrenzt als die Bildung der Kohlehydrate in den Blättern durch die Photosynthese (siehe auch CRANSHAW und RADCLIFFE, 1980; DWELLE ET AL., 1983; JOHNSON, 1987; DWELLE, 1990; EWING ET AL., 1990; GAUNT, 1995; MÖLLER, 2001).
- 2) Kartoffeln auf reduzierte N-Versorgung an erster Stelle durch eine Verkürzung der Knollenbildungsdauer reagieren, Bestände mit niedriger N-Versorgung beenden die Knollenfrischmassebildung deutlich früher als Bestände mit hoher N-Versorgung (nähere Erläuterungen siehe unten).

Aus neueren wissenschaftlichen Untersuchungen lassen sich grundsätzlich zwei Ansätze ableiten, um die jährlichen Gesamtaufwandmengen von Kupfer zu reduzieren: a) durch Reduzierung der Aufwandmengen je Behandlung sowie b) durch eine zeitliche Beschränkung der Anwendungsdauer.

3.1) Reduzierung der Aufwandmengen

In den letzten Jahren wurden vereinzelt Versuche durchgeführt, mit dem Ziel die Möglichkeiten einer Reduzierung der Aufwandmengen zu untersuchen. In Südbayern führte KAINZ (persönliche Mitteilung) einen entsprechenden Versuch im Jahre 2000 durch, dessen Ergebnisse in Tab. 1 dargestellt sind. Der Versuch wurde auf einem Standort mit einem hohen Stickstoffversorgungsniveau durchgeführt. Neben einer unbehandelten Kontrolle wurden zwei

Varianten mit der empfohlenen Ausbringungsmenge und -rhythmus und vier Varianten mit reduzierten Aufwandmengen angelegt.

Mit einem vorbeugenden Einsatz reduzierter Cu-Aufwandmengen (0,5 kg je Behandlung bei insgesamt 6 Behandlungen) wurden tendenziell höhere Erträge erzielt als mit der Standardvariante mit 3 Behandlungen à 1 kg Rein-Cu. An dieser Stelle soll besonders darauf hingewiesen werden, dass in diesem Versuch mit dem vorbeugenden Einsatz von 0,25 kg Rein-Cu/ha und Behandlung (also einem Viertel der üblichen Aufwandmenge je Behandlung und der Hälfte der Gesamtaufwandmenge in der Vegetationsperiode) vergleichbare Ergebnisse erzielt wurden wie mit dem heute üblichen Einsatz von 3 kg Rein-Cu verteilt auf drei Spritzungen nach Befallsbeginn. Selbst mit der vorbeugenden Anwendung eines Achtels der üblichen Aufwandmenge (125 g Rein-Cu je Hektar und Behandlung) und eines Viertels (750 g Rein-Cu) der insgesamt zulässigen Aufwandmenge je Vegetationsperiode (3 kg Rein-Cu) wurde eine deutliche befallsverzögernde Wirkung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle sowie ein deutlicher Ertragseffekt erzielt. Besonders hervorzuheben ist, dass die Wirkung einer sechsmaligen vorbeugenden Unterblattapplikation von 125 g Rein-Cu je Hektar und Behandlung auf den Endertrag nur geringfügig geringer war als die übliche Einsatzstrategie von 3 x 1 kg Rein-Cu, bei einer Reduzierung der insgesamt ausgebrachten Cu-Mengen auf ein Viertel (siehe Tab. 1).

Tab. 1: *Phytophthora*-Regulierungsversuch Scheyern 2000, Sorte *Aurelia*, hohes N-Versorgungsniveau (KAINZ, persönliche Mitteilung)

Mittel	3.1 Einsatzstrategie	P.i.-Befall (%)	Gesamtertrag (dt/ha)	Relativerträge (%)		
				Gesamt	> 55 mm	35-55 mm
Unbehandelt		68	209	100	100 (= 22 dt/ha)	100 (= 173 dt/ha)
Cu-oxichlorid	3 x 1 kg, nach Befallsbeginn	17	291	139	305	121
Cu-hydroxid	3 x 1 kg, nach Befallsbeginn	15	282	135	267	120
Cu-hydroxid	6 mal 0,5 kg, vorbeugend	9	309	148	369	122
Cu-hydroxid	6 mal 0,25 kg, vorbeugend	11	286	137	199	127
Cu-hydroxid	6 mal 0,125 kg, vorbeugend	19	255	122	139	121
Cu-hydroxid	6 mal 0,125 kg, Unterblatt, vorbeugend	18	268	128	135	124

Im Jahre 2001 wurde auf der Versuchsstation in Scheyern ein weiterer Versuch zu Fungizidstrategien im Öko-Kartoffelanbau angelegt: Ähnlich wie im Vorjahr konnte durch den vorbeugenden Einsatz von reduzierten Aufwandmengen (5x 250 g Rein-Cu) vergleichba-

re Ergebnisse erzielt werden wie mit dem Einsatz von 3 kg Rein-Cu verteilt auf drei Ausbringtermine nach Befallsbeginn (KIMMELMANN und KAINZ, persönliche Mitteilung).

In der Schweiz wurden von Mitarbeitern des dortigen Forschungsinstitutes für Biologischen Landbau in Frick auch entsprechende Strategien zur Optimierung der Kupferapplikationen entwickelt und getestet (siehe Abb. 1). Das Hauptziel der Versuche bestand jedoch nicht in der Reduzierung der insgesamt ausgebrachten Cu-Mengen je Vegetationsperiode. Vielmehr wurde eine Strategie entwickelt, die einen möglichst langen Krautfäuleschutz mit den insgesamt zur Verfügung stehenden Kupfermengen (in der Schweiz sind 4 kg/ha*Vegetationsperiode erlaubt) ermöglicht. Dennoch lassen sich auch Aussagen im Hinblick auf eine

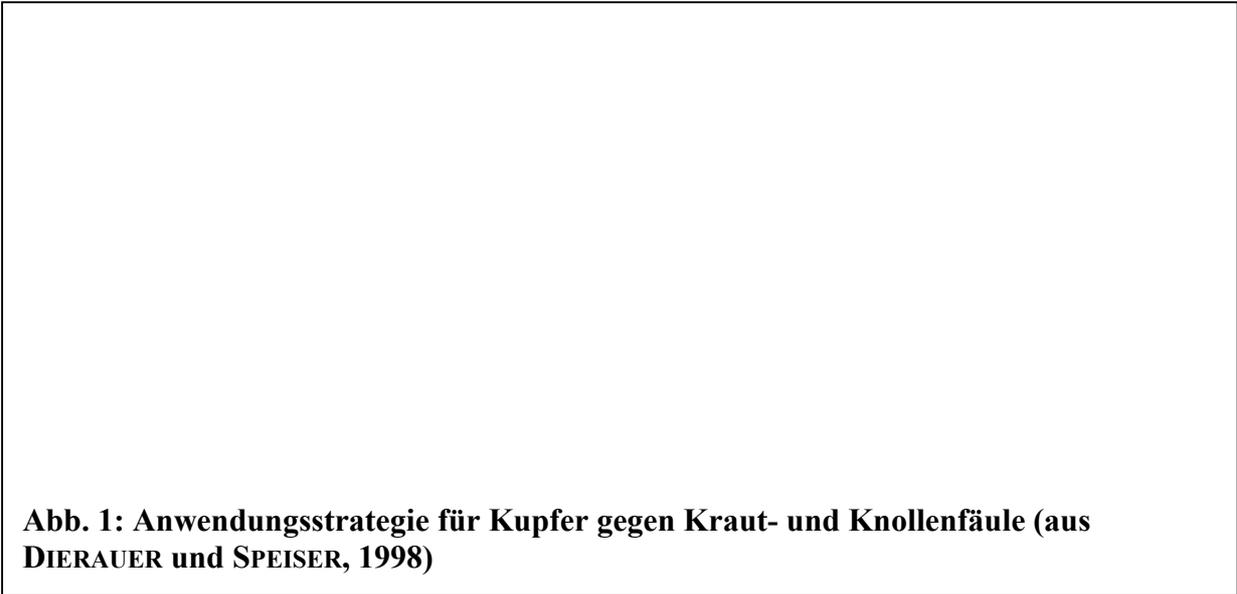


Abb. 1: Anwendungsstrategie für Kupfer gegen Kraut- und Knollenfäule (aus DIERAUER und SPEISER, 1998)

Reduzierung der Aufwandmengen je Behandlung ableiten. Nach den dortigen Erfahrungen werden mit 200 g Rein-Cu vor Epidemiebeginn ausreichende befallsvorbeugende bzw. befallsverzögernde Wirkungen erzielt (SPEISER, persönliche Mitteilung). Daher wird dort empfohlen, bis zu einem sichtbaren Befall auf dem eigenen Feld zunächst nur reduzierte Aufwandmengen auszubringen. Erst nach Befall auf dem eigenen Feld sollen gemäß der Empfehlung die ausgebrachten Cu-Mengen erhöht werden, um den Bestand möglichst vollständig vor einer weiteren Befallsausbreitung zu schützen. Es stellt sich jedoch aus ertragsphysiologischer Sicht die Frage, ob diese hohen Aufwandmengen zu einem relativ späten Zeitpunkt in jedem Fall wirklich notwendig sind. Bedauerlicherweise wurden von den schweizer Kollegen keine Strategien mit weiter abgestuften Aufwandmengen und Behandlungsstrategien untersucht, die eine Verminderung der jährlich aufgewendeten Cu-Mengen in den Mittelpunkt stellen.

Insgesamt deuten die vorliegenden Ergebnisse darauf hin, dass in der Reduzierung der Aufwandmengen ein deutliches Potenzial zur Verminderung der Gesamtaufwandmengen je Vegetationsperiode vorhanden ist.

3.2) Zeitliche Beschränkung der Anwendungsdauer

Ein weiterer Ansatz zur Reduzierung der Gesamtaufwandmengen je Vegetationsperiode liegt in der Kombination von reduzierter Aufwandmenge je Behandlung mit der Begrenzung der Anzahl der Behandlungen pro Vegetationsperiode. Auch dies ist aus ertragsphysiologischer Sicht zu begründen: In eigenen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass im Durchschnitt aller untersuchten ökologisch wirtschaftenden 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).

Bei Kartoffeln gilt generell, dass je höher die N-Ernährung ist, desto länger ist ein Kartoffelbestand in der Lage, die täglichen Knollenzuwächse aufrecht zu erhalten und desto später beginnt die Abreife (MILLARD und MACKERRON, 1986; HONEYCUTT ET AL., 1996; VOS, 1995, 1999; MÖLLER, 2001). Wie stark dieser Effekt ist, zeigen die Ergebnisse in Abb. 2: Die untersuchten Be-

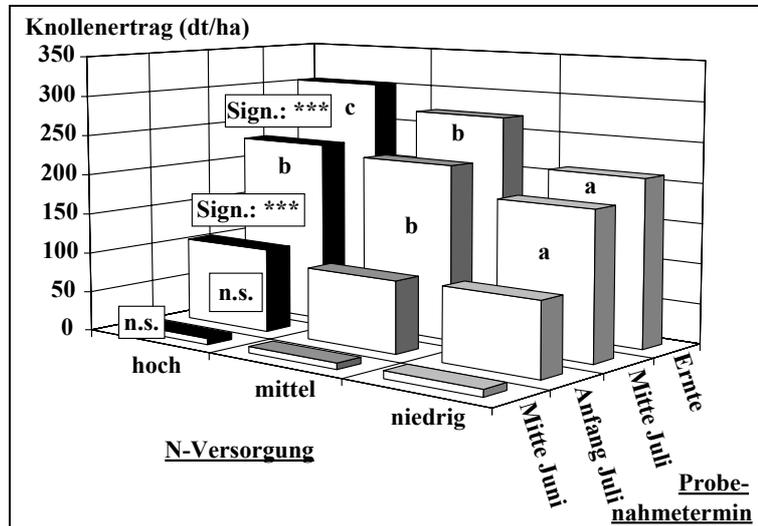


Abb. 2: Knollenbildung im Verlauf der Vegetationszeit in Abhängigkeit von der N-Versorgung – Erhebungen in Südbayern 1995 bis 1998 (MÖLLER, 2001)

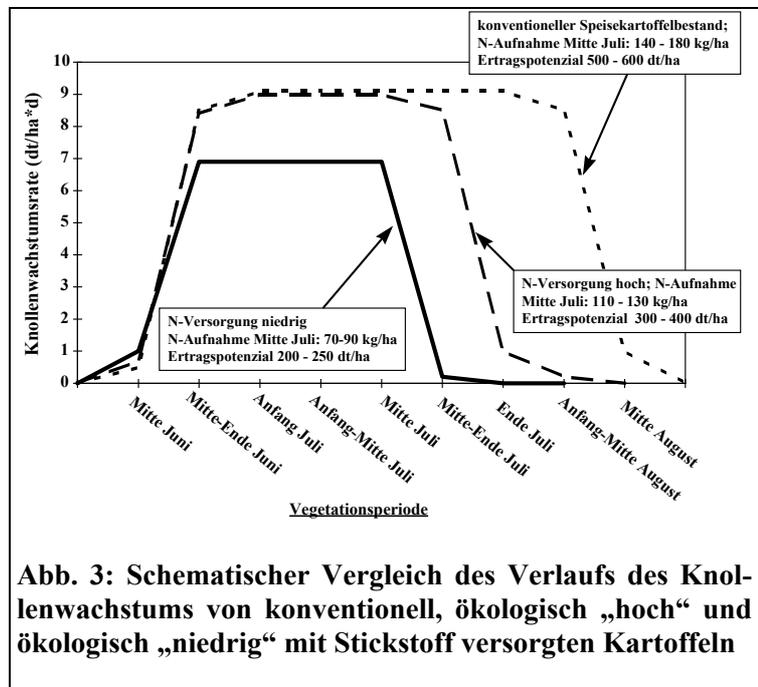


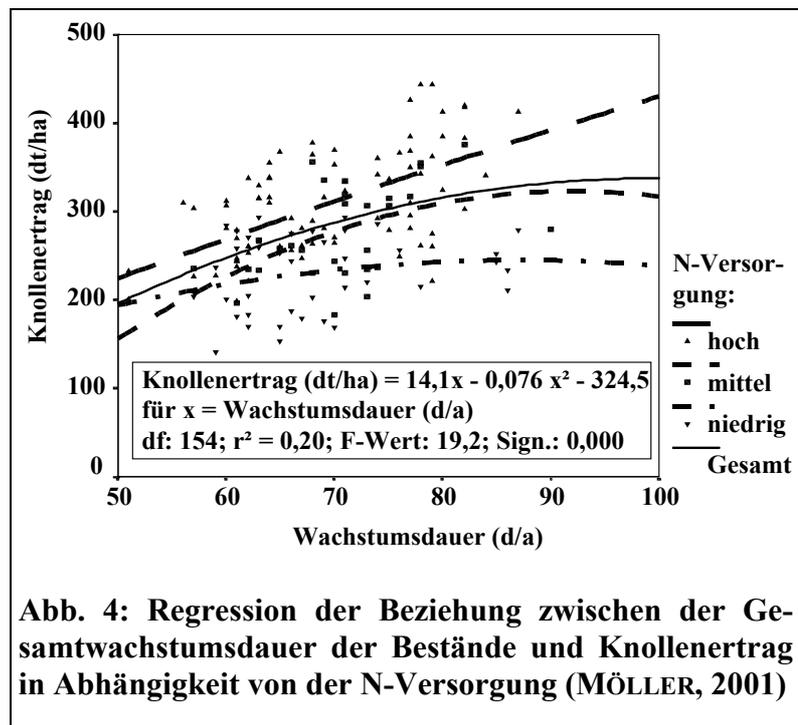
Abb. 3: Schematischer Vergleich des Verlaufs des Knollenzuwachstums von konventionell, ökologisch „hoch“ und ökologisch „niedrig“ mit Stickstoff versorgten Kartoffeln

stände mit niedriger N-Versorgung hatten in allen vier Untersuchungs Jahren bereits Mitte Juli (!) die Knollenbildung nahezu abgeschlossen, nur bei vergleichsweise hoher N-Versorgung wurden nach Mitte Juli noch nennenswerte Ertragszuwächse festgestellt. 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 Erträge zur Ernte waren damit insbesondere die Unterschiede in der Wachstumsdauer nach Mitte Juli maßgeblich. Schematisch lassen sich die Auswirkungen einer unterschiedlich hohen N-Versorgung anhand der Kurvenverläufe in Abb. 3 darstellen: Ein ökologisch bewirtschafteter Kartoffelbestand mit relativ guter N-Versorgung (z.B. nach Klee gras mit einer N-Aufnahme von 110 bis 130 kg N/ha) unterscheidet sich von einem konventionell gedüngten Bestand im Wesentlichen durch eine deutlich kürzere (potenzielle) Knollenwachstumsdauer, die täglichen Knollenzuwächse unterscheiden sich nicht. Bei einer selbst für Öko-Bedingungen niedrigen N-Versorgung (z.B. häufig nach Getreidevorfrucht, selbst bei einer gewissen Stallmistzudüngung) kommt es sowohl zu einer weiteren Verkürzung der Knollenbildungsdauer als auch zu einer Reduzierung der täglichen Knollenzuwächse. Diese sehr starken ertragsphysiologischen Auswirkungen einer unterschiedlich hohen N-Ernährung haben zur Folge, dass Biobestände in aller Regel sehr viel früher als konventionelle Bestände die Knollenfrischmassebildung beenden und in die Abreifephase übergehen. Darüber hinaus wirken sie sich dahingehend aus, dass je höher die N-Ernährung eines Bestandes ist, desto stärker ist dieser auf eine ausreichend lange

Wachstumsdauer angewiesen, um das über die Ernährung angelegte Ertragspotenzial auch in Ertrag umzusetzen.

Dass mit steigender N-Ernährung die relative Bedeutung des Krautfäulebefalls steigt, wird aus der in Abb. 4 dargelegten Beziehung zwischen der Anzahl der Wachstumstage (= Wachstumsdauer in Tagen) und den Knollenerträgen ersichtlich. Insgesamt ist gemäß dem errechneten Bestimmtheitsmaß



die Beziehung zwischen der Wachstumsdauer und den Knollenerträgen im ökologischen Kartoffelbau relativ schwach, jedoch muss in Abhängigkeit der N-Versorgung sehr stark differenziert werden: Bei hoher N-Versorgung besteht in der Praxis eine deutliche Beziehung zwischen Wachstumsdauer und Knollenerträgen, bei niedriger N-Versorgung besteht keine Be-

ziehung. Dies hängt damit zusammen, dass bei niedriger N-Versorgung die Bestände selbst in sog. „Krautfäulejahren“ (= Absterben der Bestände im Verlauf der letzten Julidekade) kaum bzw. gar nicht durch den Krautfäulebefall im Wachstum behindert werden und die Bestände bereits vor dem Absterben mit der Abreife beginnen. Bei hoher N-Versorgung dagegen kann sich ein Krautfäulebefall auf das Wachstum eines Bestandes sehr viel eher auswirken, da dieser in Anlehnung an Abb. 3 stärker auf eine entsprechend lange Wachstumsdauer angewiesen ist.

Zur **Einordnung des Krautfäulebefalls als ertragsbestimmender Faktor** im ökologischen Landbau ist zu ergänzen, dass in der Praxis - anders als bisher allgemein angenommen -, die Unterschiede in der N-Versorgung eine sehr viel stärkere Rolle zur Erklärung der starken Ertragsschwankungen als die Unterschiede im Auftreten von Krautfäulebefall spielen. Dies lässt sich aus den Betakoeffizienten als ein Maß für die relative Bedeutung des jeweiligen Faktors der „Gesamt-Wachstumsdauer“ (indirektes Maß für den Krautfäulebefall) im Vergleich zu den beiden anderen Faktoren, die in Zusammenhang mit der N-Ernährung des Bestandes stehen, in Tab. 2 ableiten.

Tab. 2: Haupteinflüsse auf die Variation der Knollenerträge zu Vegetationsende

Einflussvariablen	Beta-Koeffizient	(Bestimmtheitsmaß) r²
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

Neben Ertragseinbußen kann ein frühzeitiger Krautfäulebefall auch zu einer deutlichen Verminderung der Trockenmassegehalte der Knollen führen. Insbesondere bei Verarbeitungsware sind möglichst ausgereifte Knollen (meist mit hohen Stärkegehalten) notwendig, um die Qualitätsstandards der Verarbeitungsindustrie zu erfüllen. Bei Kartoffeln „geht die Knollenbildung der Trockenmasseeinlagerung voraus“, die Trockenmassegehalte steigen nach der Knollenanlage kontinuierlich an. Ein deutlicher Anstieg ist auch noch in den ersten (ca. zehn) Tagen nach Beendigung des Knollengrößenwachstums - während der beginnenden Abreifephase - festzustellen. Generell kann von der Regel ausgegangen werden, dass je besser ein Kartoffelbestand ausreifen konnte, bevor das Kraut durch Krautfäulebefall abgestorben ist, desto höher sind die Stärke- bzw. Trockenmassegehalte¹ in den Knollen. Dies hat zur Folge, dass die Trockenmassegehalte der Knollen sehr viel „empfindlicher“ auf einen Krautfäule-

¹ Wobei die Stärkegehalte erntereifer Knollen auch von einer Vielzahl anderer Wachstumsfaktoren bestimmt werden, neben der genetischen Veranlagung der jeweiligen Sorte spielen u.a. noch die Kalium- und die Wasserversorgung eine wichtige Rolle.

lebefall reagieren (durch Verminderung der Gehalte) als die Knollenerträge. Daher deuten sehr hohe Stärkegehalte stets darauf hin, dass das Knollenwachstum eines Kartoffelbestandes nicht nennenswert durch Krautfäule beeinträchtigt wurde. Daher können aus den Knollen-TM-Gehalten der Knollen Rückschlüsse auf die Wachstumsbedingungen der Kartoffeln gezogen werden. So lässt sich z.B. anhand des in Abb. 5 dargestellten Verlaufs der TM-Gehalte ableiten, dass das frühe Ende (Mitte Juli) des Knollenwachstums auf den Standorten mit niedriger N-Versorgung tatsächlich mit Abreifeerscheinungen im Zusammenhang steht. Dies ist an den hohen Trockenmassegehalten der Knollen Mitte Juli zu erkennen. Da mit steigender Stickstoffversorgung der Beginn der Abreife eines Bestandes (= Ende des Knollengrößenwachstums) zeitlich entsprechend verschoben wird, wird auch der Anstieg der Trockenmassegehalte in den Knollen durch Erhöhung der N-Versorgung zunehmend verzögert.

Dieser Effekt zeigt sich beim Vergleich zwischen den Standorten niedriger, mittlerer und hoher N-Versorgung in Abb. 5. Zugleich weist die deutliche Zunahme der TM-Gehalte in den Knollen zwischen Anfang und Mitte Juli für die Standorte mit einer für die Verhältnisse im ökologischen Landbau „hohen N-Versorgung“ auf den nahenden Beginn

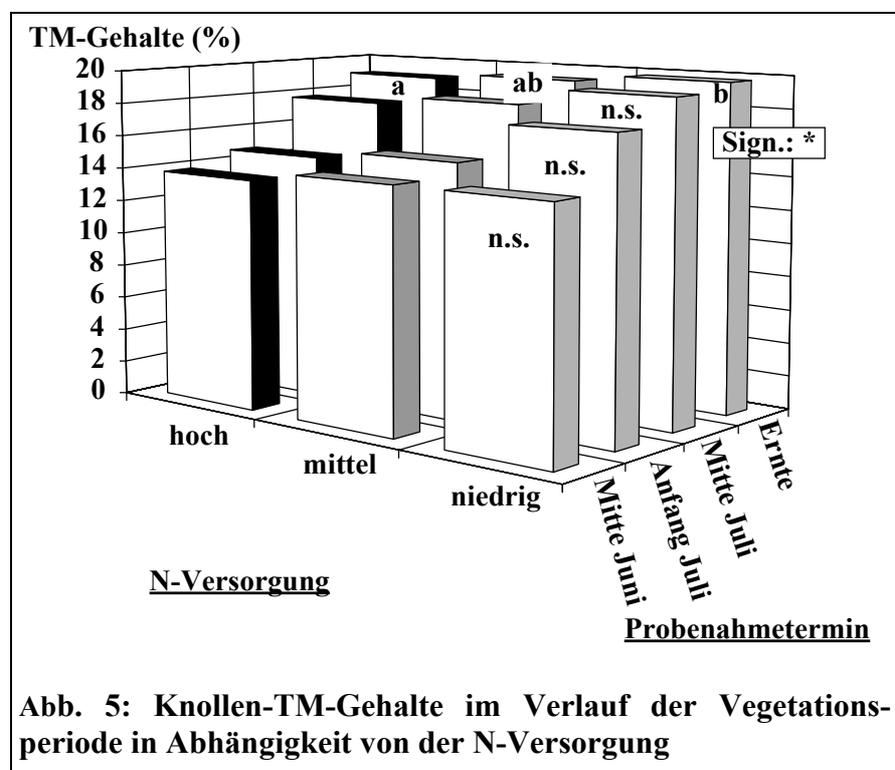


Abb. 5: Knollen-TM-Gehalte im Verlauf der Vegetationsperiode in Abhängigkeit von der N-Versorgung

der Abreifephase auch auf den insgesamt höher mit Stickstoff versorgten Standorten. Dieses Ergebnis ist wichtig auch im Hinblick auf die Produktion von Verarbeitungskartoffeln, die aufgrund der Qualitätsanforderungen auf ausreichend hohe Stärkegehalte und einer gewissen Ausreife der Kartoffeln angewiesen sind.

4) Diskussion

4.1) Konsequenzen für die Pflanzenschutzpraxis

Die Tatsache, dass bei Kartoffeln der Verlauf der Knollenbildung sehr stark auf die jeweilige Anbausituation, insbesondere jedoch auf Unterschiede in der N-Versorgung reagiert und Bio-Bestände im Vergleich zu konventionellen Beständen ein sehr viel niedrigeres N-Niveau aufweisen und sich zugleich untereinander stark unterscheiden, hat eine Reihe von Konsequenzen auf die Behandlungsstrategie und für die Einsatzdauer von Kupferfungiziden innerhalb einer Vegetationsperiode. Im Hinblick auf eine Reduzierung der ausgebrachten Kupfermengen pro Vegetationsperiode und mit dem Ziel einer Optimierung der Ausbringstrategie sind meiner Meinung nach folgende Maßnahmen zu ergreifen.

1) Es sollte eine **zeitliche Beschränkung** eingeführt werden, die den Einsatz von Kupfer bis spätestens zum 15. Juli erlaubt. Denn die meisten Öko-Bestände schließen zwischen Mitte Juli und Ende Juli/Anfang August das Knollengrößenwachstum ernährungsbedingt ab. Während der dann anschließenden relativ kurzen Abreifephase lagern sie „nur“ noch Stärke in die Knollen ein. Eine verbindliche zeitliche Begrenzung des Cu-Einsatzes würde einerseits die Bekämpfung von besonders frühen (und damit besonders ertragsrelevanten) Krautfäuleausbrüchen ermöglichen und andererseits die Reduzierung auf 2 bis 4 Behandlungen ermöglichen (in Extremjahren evtl. 6 Behandlungen). In Kombination mit reduzierten Aufwandmengen könnte auf diese Weise eine deutliche Reduzierung der Cu-Belastung der Böden auf unter 1 kg Cu/ha und Jahr erreicht werden.

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) bzw. beim Anbau von Verarbeitungskartoffeln erfolgen. Behandlungen nach dem 15. Juli dürften selbst bei hoher N-Versorgung im Wesentlichen der Gewissensberuhigung des Anwenders und nur in absoluten Ausnahmefällen nennenswert zur Ertragsbildung beitragen. Eine Krautfäulebekämpfung mit Cu dient auch nicht zur Vorbeugung gegen Braunfäulebefall, denn für Knolleninfektionen mit *Phytophthora infestans* ist maßgeblich, ob Befall am Kraut überhaupt vorhanden ist, das Ausmaß des Krautbefalles ist zweitrangig (LAPWOOD, 1977). Kupferbehandlungen sind nicht dazu geeignet, den Krautfäulebefall vollständig zu unterdrücken, sie führen lediglich zu einer Verzögerung der Epidemie und verlängern dadurch den Zeitraum, in dem Knolleninfektionen möglich sind und können daher eher zu einer Zunahme als zu einer Abnahme des Braunfäulebefalles führen. Eine zeitliche Begrenzung würde darüber hinaus dazu führen, dass vorbeugende Maßnahmen wie das arbeitsaufwändige Vorkeimen wirtschaftlich nicht vollkommen uninteressant werden (Näheres siehe unten).

2) Aus der Gesamtschau der Ergebnisse zu reduzierten Aufwandmengen und zur Ertragsphysiologie der Kartoffeln sollten die erlaubten **Kupfermengen im Öko-Kartoffelbau** auf 1 kg Rein-Kupfer je ha und Jahr reduziert werden. Die Verwendung höherer Mengen sollte - wenn überhaupt - nur als wirkliche (!) Ausnahmegenehmigung gestattet werden (z.B. bei einem ungewöhnlich frühen Erstbefall noch vor Mitte Juni). Wird bedacht, dass ein Schutz gegen Krautfäule vor allem im Zeitraum nach Befallsbeginn (i.d.R. zwischen Mitte Juni und Ende Juni) bis Mitte Juli in Jahren mit hohem Befallsdruck zur Ertragssicherung notwendig ist, so können mit zwei bis vier Spritzungen (und damit mit weniger als 1 kg Rein-Cu/ha und Jahr) die wesentlichen ertragssichernden Wirkungen erzielt werden.

Meiner Meinung nach können nur die Kombination dieser Maßnahmen die Verwendungspraxis von Kupfer so verändern, dass dessen praktischer Einsatz zielgerichteter (= hoher Nutzen bei geringer Ausbringungsmenge) wird und die Aufwandmengen insgesamt reduziert werden. Insgesamt besteht jedoch im Einzelnen noch ein gewisser Forschungsbedarf zur genaueren Abstufung der notwendigen Aufwandmengen und der Anpassung an den standort- und N-bedingten Wachstumsrhythmus der Kartoffeln.

4.2) Ertragsniveau vorliegender Versuche zum Einsatz von Kupfer und ihre Übertragung auf Praxisbedingungen

Im Zusammenhang mit den vorliegenden Versuchen zum Einsatz von Kupfer im ökologischen Kartoffelbau muss bedacht werden, dass das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrollen in den meisten Versuchen zum Einsatz von Fungiziden bei Öko-Kartoffeln im Vergleich zu den in der Praxis festgestellten Durchschnittserträgen sehr hoch ist (z.B. KAINZ, persönliche Mitteilung; BÖHM, 2001; SCHLIEPHAKE ET AL., 2001); sie liegen teilweise knapp doppelt so hoch wie die in der Praxis festgestellten Erträge. Die hohen Erträge hängen mit einer entsprechend „ausgefeilten“ Produktionstechnik (v.a. hohe Düngung) in den Versuchsgütern zusammen. Die Ergebnisse der unbehandelten Kontrollen vieler dieser Fungizidversuche belegen, dass auch ohne Einsatz von Kupfer durch eine Verbesserung der Produktionstechnik eine deutliche Steigerung der Praxiserträge möglich ist. Für viele Betriebe wäre das Erreichen des Ertragsniveaus dieser unbehandelten Kontrollen bereits ein großer Fortschritt. Da bei einem hohen Ertragspotenzial die Bestände sehr viel stärker auf eine lange Wachstumsdauer angewiesen sind als bei niedrigem Ertragspotenzial, sind meiner Meinung nach die Ergebnisse aus solchen Versuchen nur auf Standorte mit vergleichbarem Ertragspotenzial übertragbar. Wenn in Versuchen auf einem Standort mit überdurchschnittlichem Ertragspotenzial mit Kupferbehandlungen eine Erhöhung der Erträge um 20 % festgestellt wird, betra-

gen die prozentualen Mehrerträge auf Standorten mit niedrigerem Ertragspotenzial mitnichten 20 % (auf einem insgesamt niedrigeren Niveau), wie dies häufig unterstellt wird.

4.3) Bedeutung vorbeugender Maßnahmen wie das Vorkeimen des Pflanzgutes

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass in der „Öko-Szene“ sehr viel über die Krautfäuleproblematik und den Einsatz von Kupfer diskutiert wird. Kaum Erwähnung findet jedoch die Tatsache, dass nur eine Minderheit der Landwirte (ca. 20-25 %) die wichtigste vorbeugende Maßnahme ergreift, das Vorkeimen des Pflanzgutes. Das Vorkeimen des Pflanzgutes führt zu einem Wachstumsvorsprung von 7 bis 10 Tagen oder umgerechnet 50 bis 80 dt/ha (oder umgerechnet die Wirkung von ein bis zwei Cu-Behandlungen). Hier besteht ein Glaubwürdigkeitsproblem für den ökologischen Landbau, wird doch stets behauptet, dass im ökologischen Landbau vorbeugende Maßnahmen Vorrang gegenüber direkten Bekämpfungsmaßnahmen einnehmen. Eine verbindliche, scharfe zeitliche Begrenzung des Cu-Einsatzes im ökologischen Kartoffelbau würde dazu führen, dass das Vorkeimen für den Einzelbetrieb weiterhin eine wirtschaftlich sinnvolle Maßnahme bleibt. Bei der jetzigen rechtlichen Situation ist es ökonomisch in der Regel vorteilhafter, das Pflanzgut nicht vorzukeimen und dafür die Kartoffelbestände mit Kupfer zu behandeln.

Literatur:

BÖHM, H. (2001): Möglichkeiten der Regulierung von *Phytophthora infestans* an Kartoffeln im ökologischen Landbau. In: REENTS, H.J. (Hrsg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 6.-8. März 2001 in Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, S. 377-380.

CRANSHAW, W.S. & E.B. RADCLIFFE (1980): Effect of defoliation on yield of potatoes. *Journal of economic entomology* **73**, 131-134.

DIERAUER, H. & SPEISER, B. (1998): Merkblatt Kartoffeln. Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, Frick, Schweiz.

DWELLE, R.B., P.J. HURLEY & J.J. PAVEK (1983): Photosynthesis and stomatal conductance of potato clones (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Physiol.* **72**, 172-176.

DWELLE, R.B. (1990): Source/sink relationship during tuber growth. *Amer. Pot. J.* **67**, 829-833.

EWING, E.E., K.P. SANDLAN & A.G. NICHOLSON (1990): Improvements to the simulation model „POTATO“, including the ability to simulate compensatory growth resulting from pest defoliation. Proc. of 11. Triennial conference of EAPR, Edinburgh, Groß Britannien, 137-138.

GAUNT, R.E. (1995): The relationship between plant disease severity and yield. *Annu. Rev. Phytopathol.* **33**, 119-144.

HONEYCUTT C.W., W.M. CLAPHAM & S.S. LEACH (1996): Crop rotation and N fertilization effects on growth, yield and disease incidence in potato. *Amer. Pot. J.* **73**, 45-61.

JOHNSON, K.B. (1987): Defoliation, Disease and Growth: A Reply. *Phytopathology* **77**, 1495-1497.

KIMMELMANN, S. & M. KAINZ, TU München-Weihenstephan, persönliche Mitteilung.

KAINZ, M., Lehrstuhl für Ökologischen Landbau, TU München-Weihenstephan, persönliche Mitteilung.

LAPWOOD, D.H. (1977): Factors affecting the field infection of potato tubers of different cultivars by blight (*Phytophthora infestans*). *Ann. appl. Biol.* **85**, 23-45.

MEINCK, Sabine (1999): Speisekartoffelanbau im Ökologischen Landbau. Optimierung des Anbauverfahrens durch Sortenwahl und *Phytophthora*-Prophylaxe. Diss. an der Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Ökologischer Landbau.

MILLARD, P. & D.K.L. MACKERRON (1986): The effects of nitrogen application on growth and nitrogen distribution within the potato canopy. *Ann. Appl. Biol.* **109**, 427-437.

MÖLLER, K. (2001): Einfluss und Wechselwirkung von Krautfäulebefall (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) und Stickstoffernährung auf Knollenwachstum und Ertrag von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) im ökologischen Landbau. München, Techn. Univ., Dissertation.

SCHLIEPHAKE, U., D. TRAUTZ & J. GRIMM (2001): Einsatz verschiedener Mittel zur Regulierung der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) an Kartoffeln (Sorte Linda). In: REENTS, H.J. (Hrsg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 6.-8. März 2001 in Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, S. 381-384.

SPEISER, B., Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick, Schweiz: persönliche Mitteilung.

VOS, J. (1995): Nitrogen and the growth of potato crops. In: A.J. HAVERKORT und D.K.L. MACKERRON (Hrsg.): *Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth*. Kluwer A.P. Dordrecht. Kapitel 8, S. 115-128.

VOS, J. (1999): Potato. In: D.L. SMITH und C. HAMEL (Hrsg.): *Crop yield - Physiology and processes*, S. 333-354. Springer-Verlag, Berlin.

Bibliographische Angaben zu diesem Dokument:

Möller, Kurt; (2002): Ansätze zur Reduzierung der Kupferaufwandmengen im ökologischen Kartoffelbau [Attempts to reduce copper applications in organic potato production]. In: S. Kühne und B. Friedrich (Hrsg.): *Pflanzenschutz im ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze: Alternativen zur Anwendung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel - Forschungsstand und neue Lösungsansätze*. Berichte der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft(118):56-66.

Das Dokument ist in Internet unter www.orgprints.org/00001069/ abrufbar.