

Pflanzen

Kartoffeln: Sortenmischungen zur Krautfäulebekämpfung?

Hans-Rudolf Forrer, Andreas Hecker und Franz Gut, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholz, CH-8046 Zürich

Auskünfte: Hans-Rudolf Forrer, E-Mail: hans-rudolf.forrer@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 72 30

Zusammenfassung

Das Ziel der Europäischen Union, die Anwendung von Kupfer in der Landwirtschaft zu verbieten, hat die Suche nach neuen Strategien zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) der Kartoffel im biologischen Landbau intensiviert. Der Anbau von verschiedenen Kartoffelsorten mit unterschiedlicher Krautfäuleanfälligkeit in Mischungen könnte ein wertvolles Element des ökologischen Kartoffelbaus sein. In einem Feldversuch beobachteten wir mit den Sortenmischungen zwar nur eine geringe Reduktion des Krautfäulebefalls gegenüber den rechnerisch abgeleiteten Befalls-Erwartungswerten. Wir stellten aber fest, dass Mischungen zu einer erheblichen Reduktion des Knollenbefalls beitragen können. Zudem bewirkte der reihenweise alternierende Anbau verschiedener Sorten eine grössere Befallsreduktion als der Anbau mit totaler Durchmischung der Sorten.

Um im biologischen Landbau die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) der Kartoffel auch ohne Kupfer wirksam bekämpfen und einschränken zu können, sind grosse Anstrengungen nötig. In diesem Zusammenhang beteiligen sich die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholz, Zürich und das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick am Forschungsprojekt Blight-MOP (Blight Management in Organic Potatoes, QLRT 31065) der Europäischen Union, in welchem Partner von 13 Forschungsinstituten aus sieben Ländern mitarbeiten. In einer Blight-MOP Analyse wurde die Bedeutung der Kraut- und Knollenfäule eingeschätzt und die sozio-ökonomische Auswirkung eines Kupferverbots beurteilt. Aus dieser Studie geht hervor, dass neben dem Klima

■ der Pflanz- und Krautvernichtungstermin, der Kupfereinsatz

und die Sortenresistenz die Hauptfaktoren für die Stärke des Kraut- und Knollenfäulebefalls im biologischen Anbau sind.

■ 80 % der schweizerischen Bio-Kartoffelproduzenten Kupferfungizide zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule verwenden.

■ die Produzenten eine Abnahme der schweizerischen Bio-Kartoffelanbaufläche um 61 % erwarten, falls das Kupferverbot vor der Verfügbarkeit von wirkungsvollen Krautfäule-Regulierungssystemen umgesetzt wird (Tamm *et al.* 2003).

Wir gehen davon aus, dass Kupfer nicht allein durch die Einführung neuer alternativer Mittel oder resistenter Sorten ersetzt werden kann. Für eine wirksame Bekämpfung oder Regulierung der Kraut- und Knollenfäule ohne Kupfer bedarf es einer Kombination und Weiterentwicklung herkömmlicher und

neuer Kontrollmethoden und -strategien. Die Nutzung der genetischen Diversität ist eine Möglichkeit dazu.

Genetische Vielfalt dank Sortenmischungen

Die genetische Uniformität einer Kultur in Raum und Zeit (Monokultur) entsteht durch den Anbau einer bestimmten Sorte innerhalb eines Feldes oder einer ganzen Region. Sie ist ein Schlüsselfaktor bei der Entstehung von Krankheitsepidemien. Umgekehrt wird erwartet, dass sich Krankheitsprobleme über die Erhöhung der genetischen Diversität reduzieren lassen. Das bekannteste Beispiel dafür dürfte die Einhaltung einer geregelten Fruchtfolge sein, bei welcher der zeitliche Wechsel zwischen Kulturarten die Ausbreitung und die Übertragung von Krankheitserregern erschwert. In der Schweiz ist der Anbau von Arten- und Sortenmischungen von Gräsern und Kräutern gängige Praxis im Futterbau und das beste Beispiel für die räumliche Nutzung der genetischen Vielfalt, um Pflanzenkrankheiten einzuschränken. Auch im Getreidebau können Sortenmischungen Krankheiten regulieren und zu ertragsstabileren Anbausystemen beitragen (Fried und Streckeisen 1986). In Einzelfällen, zum Beispiel im chinesischen Reisanbau, wurden mit dem reihenweisen Anbau unterschiedlicher Sorten hervorragende Resultate erzielt: Wurde jeweils eine Reihe einer beliebigen aber hoch anfälligen Reissorte zwischen vier Reihen einer re-

sistenten Sorte angebaut, so reduzierte sich der Blattbefall durch die Pilzkrankheit «rice blast» (*Magnaporthe grisea*) auf der anfälligen Sorte um 94 % und der Ertrag wurde um 89 % erhöht (Zhu *et al.* 2000).

Verschiedene Mechanismen werden aufgeführt, die für die Unterdrückung der Krankheitsentwicklung bei Sortenmischungen verantwortlich sein können:

1. Verdünnungseffekt: Mit zunehmender Distanz zwischen den anfälligen Pflanzen wird die Verbreitungsrate reduziert.

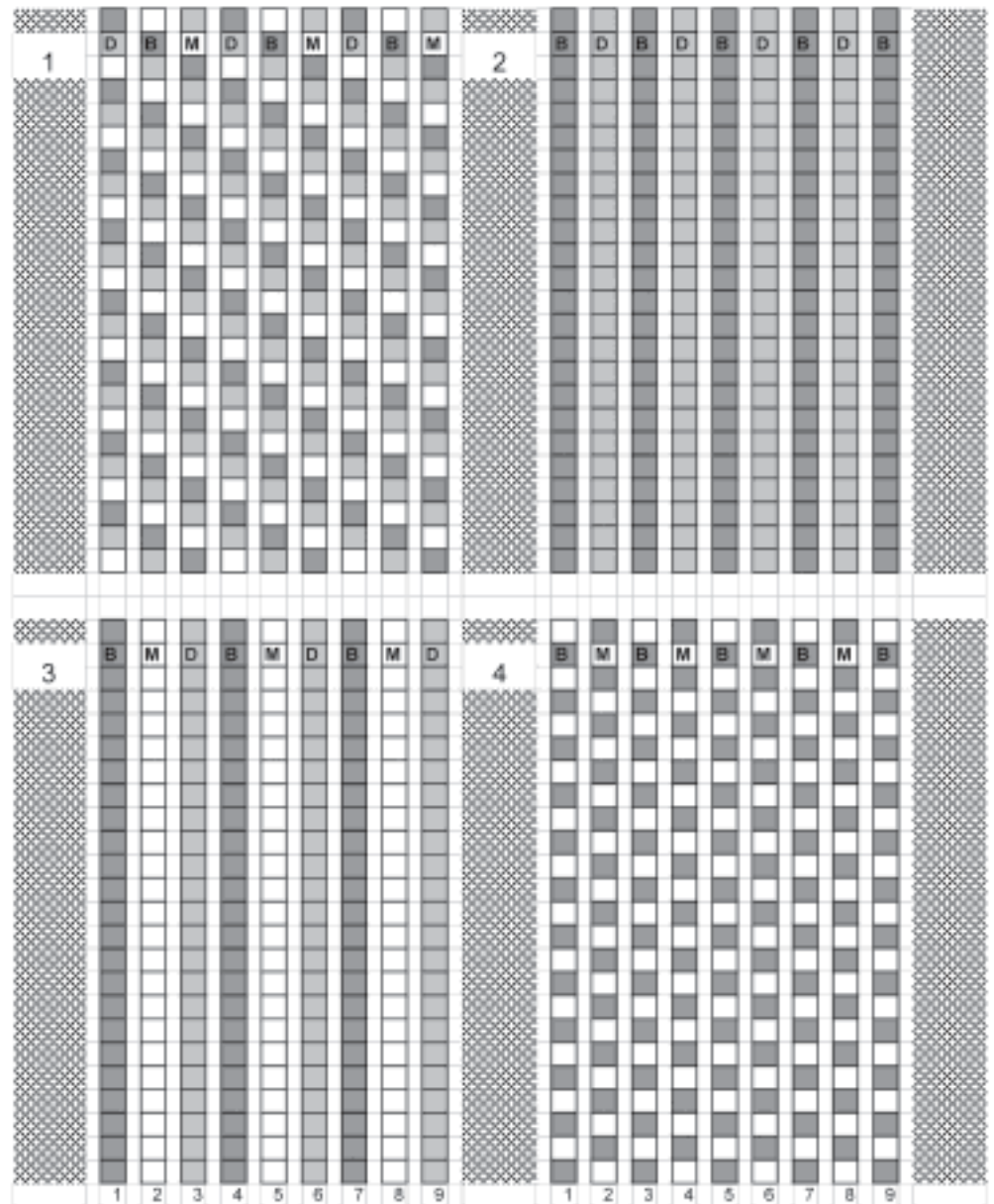
2. Barriereneffekt: Resistente Pflanzen sind physische Hindernisse für die Sporenverbreitung.

3. Induzierte Resistenz: Avirulente Pilzstämme lösen in der Pflanze biochemische Abwehrreaktionen aus, die nachher virulente Pilzstämme hemmen.

Je nach Wirt-Pathogen-System wirken sich die positiven Effekte von Sortenmischungen mehr oder weniger stark aus (Castro 2001).

Sortenmischversuch mit Kartoffeln

Als Vorbereitung auf das Blight-MOP-Projekt haben wir im Jahr 1999 einen Kartoffel-Sortenmischversuch auf dem Areal der FAL Reckenholz angelegt. Wir wählten folgende Kartoffelsorten aus, die sich in ihrer Anfälligkeit für die Kraut- und Knollenfäule unterschieden, in ihren agronomischen Eigenschaften wie Kochtyp, Reifegruppe und Lagerreife aber ähnlich waren: Bintje (Bi, hoch anfällig), Désirée (Dé, mittel anfällig) und Matilda (Ma, gering anfällig). Um die wirksamste Mischung und positive oder negative Mischungseffekte erkennen zu können, wurden die drei Sorten rein, als zweier (Bi+Dé und Bi+Ma) und als dreier Mischung



(Bi+Ma+Dé) angebaut. Die Sortenkombinationen wurden sowohl in totaler Durchmischung (Typ A) als auch in Reihenmischung (Typ B), das heisst mit reihenweise alternierendem Anbau der Sorten, angepflanzt (Abb. 1). Im Gegensatz zur totalen Durchmischung ist es mit diesem Vorgehen möglich, die Sorten rein zu ernten und zu vermarkten. Als Versuchsanlage wurde ein lateinisches Rechteck mit drei Wiederholungen gewählt. Die Einzel-Parzellen waren je 6,75 m breit und 8 m lang. Die Parzellen wurden seitlich durch je zwei Reihen der resistenten Sorte Ma-

tilda eingefasst. Um den Effekt der Sortenmischung unverfälscht messen zu können, setzten wir während der ganzen Anbauperiode keine Fungizide ein, obwohl die Krautfäuleepidemie im Versuchsjahr ausserordentlich stark war.

Vom 30. Juni bis zum 22. Juli wurde der *Phytophthora*-Blattbefall fünfmal bonitiert. Bei der Bonitur wurde die befallene Blattfläche in Prozent der gesamten Blattfläche geschätzt. Für die Auswertung des Krautfäulebefalls berechneten wir die AUDPC (area under the disease

Abb. 1. Beispiele für Einzelparzellen im Sortenmischungsversuch. Typ A: Anbau mit vollständiger Mischung der Sorten (1 und 4). Typ B: Anbau der Sorten in alternierenden Reihen (2 und 3). B: Bintje, D: Désirée, M: Matilda.

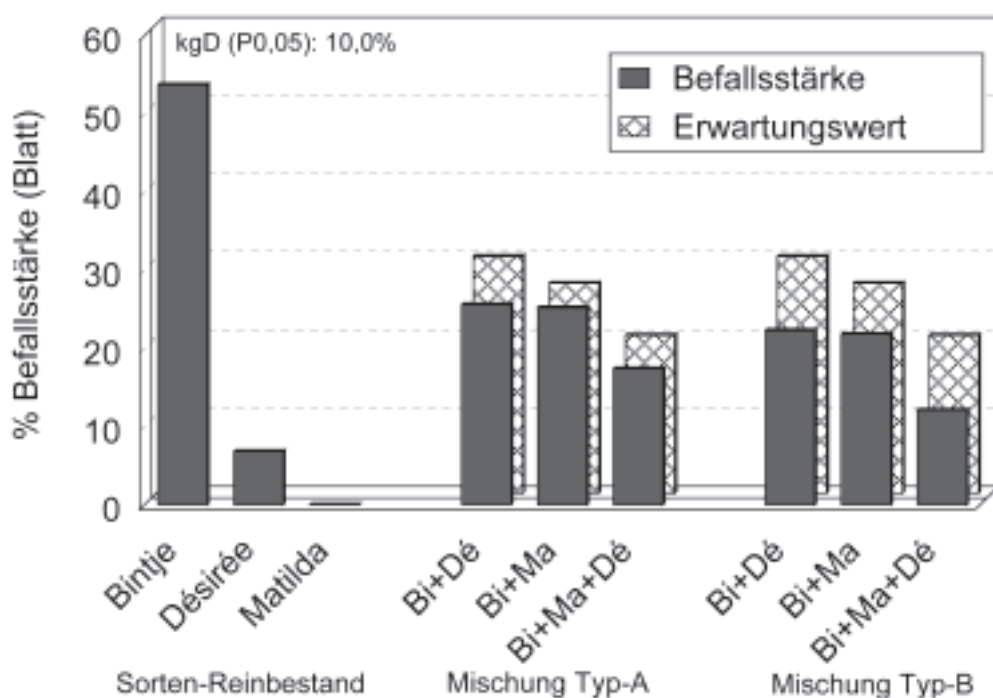


Abb. 2. Krautfäulebefall bei Bintje (Bi), Désirée (Dé) und Matilda (Ma) bei Anbau in Reinbestand und in Sortenmischungen. Typ A: vollständige Durchmischung der Sorten im Bestand; Typ B: in Reihen alternierender Anbau der Sorten. kgD = kleinste gesicherte Differenz.

progress curve) aus den fünf einzelnen Bonituren.

Am 27. August wurde der Versuch geerntet. Bei der Ernte und nach zweimonatiger Lagerung wurden die Zahl der Knollen mit Knollenfäule und der Knollertrag erhoben.

Auswirkungen der Sortenmischungen

Wie erwartet zeigten sich grosse Befallsunterschiede zwischen den drei rein angebauten Sorten (Abb. 2). Am 7. Juli waren bei Bintje bereits 54 % der Blattfläche befallen, während bei Dési-

rée und Matilda nur 7 % beziehungsweise 0 % Befall bonitiert wurde. Bei den Sortenmischun-

gen Typ A lagen die Befallswerte zwischen 17 % und 25 %. Der Krautfäulebefall der Sortenmischungen im Reihenanbau (Typ B) schwankte zwischen 12 % und 22 %. Die geringsten Befallswerte wurden bei beiden Sortenmischungsarten mit der Dreiermischung erzielt. In der Abbildung 2 sind zusätzlich zu den effektiv gemessenen Befallswerten die berechneten Werte, auch Erwartungswerte genannt, dargestellt. Dabei geht hervor, dass die effektiven Werte unterhalb des Erwartungswertes liegen. Dieser Effekt ist beim reinen Sortenanbau (Typ B) ausgeprägter als beim Anbau der Sorten mit vollständiger Durchmischung (Typ A), wenngleich er statistisch nicht gesichert ist.

Wird der gesamte Befallsverlauf beziehungsweise die AUDPC vom 30. Juni bis zum 22. Juli

Sortenmischungen und Erwartungswert

Mischungen verschiedener Sorten von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sind ein Mittel, um Nachteilen der Monokultur wie erhöhte Krankheitsanfälligkeit entgegenzuwirken. Sortenmischungen sind somit eine Möglichkeit zur Regulierung von Pflanzenkrankheiten. Um positive oder negative Effekte beurteilen zu können, vergleicht man Eigenschaften einer Sortenmischung, zum Beispiel den Ertrag oder einen Befallswert, mit dem berechneten Mittelwert der rein angebauten Sorten der Mischung. Diesen Wert nennt man den Erwartungswert. Liegt der Ertrag der Mischung über beziehungsweise der Befallswert unter dem Erwartungswert, so ist der Anbau der Sortenmischung vorteilhaft.

Tab.1. Einfluss der Sortenmischungsart auf den *Phytophthora*-Blattbefall, den Anteil fauler Knollen und den Knollenertrag

Typ der Sortenmischung	Blattbefall			Knollenbefall			Knollenertrag		
	AUDPC	D	%E	Anz.	z	%E	t/ha	z	%E
E Erwartungswert	1316	-	100	20,2	-	100	16,6	-	100
Typ A vollständig	1322,04	ns	100	14,1	ns	70	16,3	ns	98
Typ B reihenweise	1228,01	*	93	9,1	*	45	17,5	*	106

E: Erwartungswert, d.h. arithmetisches Mittel der Werte bei Reinanbau der Sorten
 Typ A: vollständige Durchmischung der Sorten
 Typ B: reihenweise alternierender Anbau der Sorten
 D: Duncan-Test $P < 0,05$; z: z-Test für paarweise verbundene Stichproben, $P < 0,05$
 %E: Wert in Prozent des Erwartungswertes
 * signifikant bei $P < 0,05$, ns: kein signifikanter Unterschied zu E



Abb. 3. Sortenmischungsversuch am Reckenholz in Zürich, 20. Juli 1999. (Foto: Roger Wüthrich, FAL)

berücksichtigt, ergibt sich keine gesicherte Befallsreduktion bei den Sortenmischungen Typ A. Hingegen resultierte für die Sortenmischungen Typ B eine gesicherte befallsreduzierende Wirkung von 7 % (Tab. 1). Die Abbildungen 3 und 4 zeigen das Versuchsfeld am 20. Juli und den unterschiedlichen Befall im Sortenreinanbau und den Sortenmischungen.

Mit Sortenmischungen Knollenbefall vorbeugen

Aufgrund der ausserordentlich heftigen Krautfäuleepidemie des Jahres 1999 gab es neben einem

massiven Krautfall auch einen erheblichen Knollenbefall. Pro Ernteprobe und Verfahren wurden im Mittel zwischen acht und 29 faule Knollen gezählt, was einem Wert von 0,4 bis 1,2 faulen Knollen pro m² entspricht (Abb. 5). Die Reduktion des Knollenbefalls in den Sortenmischungen war sogar noch ausgeprägter als die Befallsreduktion auf den Blättern. Wiederum erzielten die Sortenmischungen vom Typ B bessere Resultate als Typ A. Der Knollenbefall in Typ B (reihenweise alternierender Anbau) war gegenüber dem Erwartungswert um 55 % geringer.

Einfluss auf den Ertrag

Um den Einfluss der Krautfäule auf den Ertrag zu beurteilen, wurden Blattbefall und Knollertrag miteinander verglichen. Die Sorte Bintje wies im Reinanbau den höchsten Blattbefall auf und erzielte die geringsten Erträge. Im Gegensatz dazu erzielte die resistenste Sorte die höchsten Erträge (Abb. 2 und 6). Auch bei den Sortenmischungen scheint dieses Prinzip zuzutreffen, da die Bintje/Désirée Mischungen bei leicht höherem Befall einen niedrigeren Ertrag als die anderen Mischungen zeigten. Zudem bestand zwi-

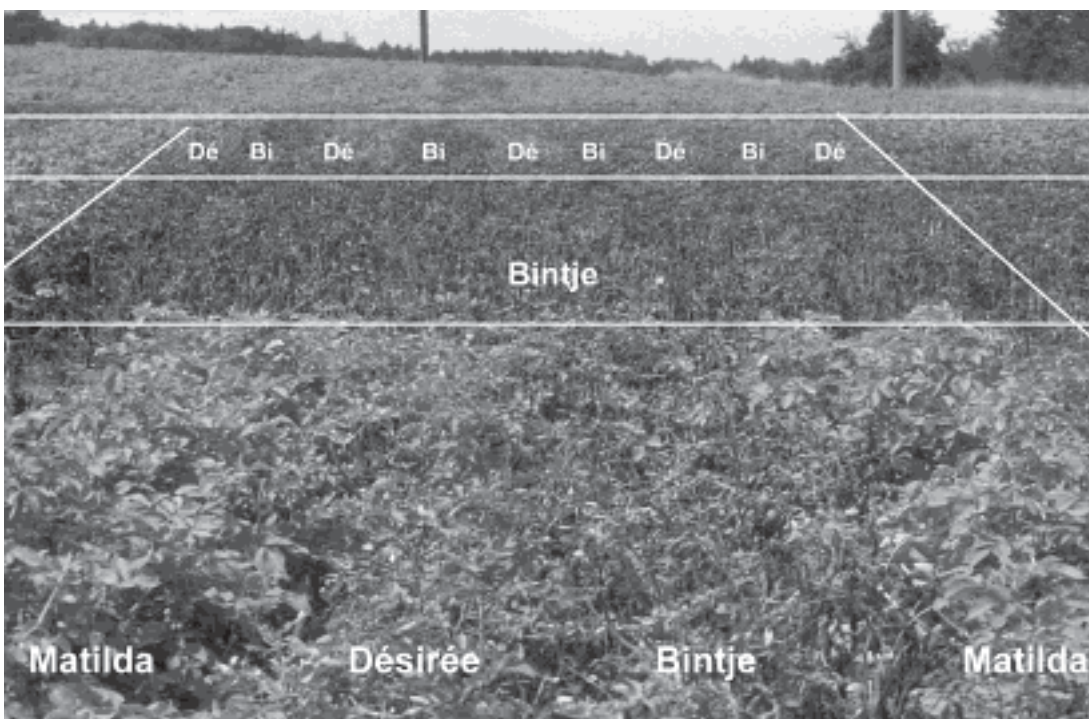
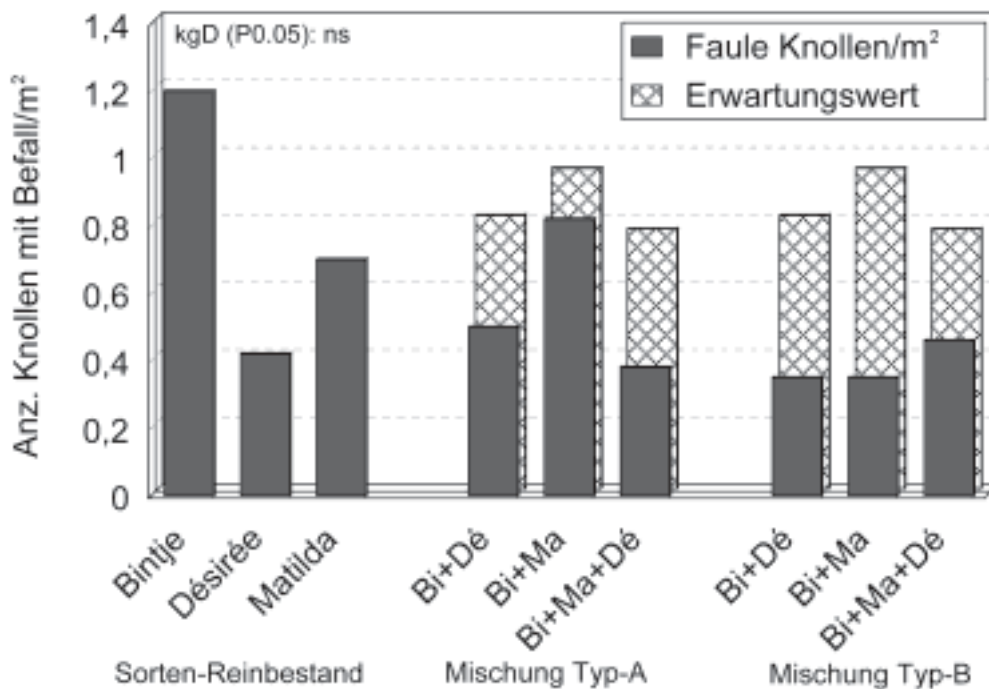
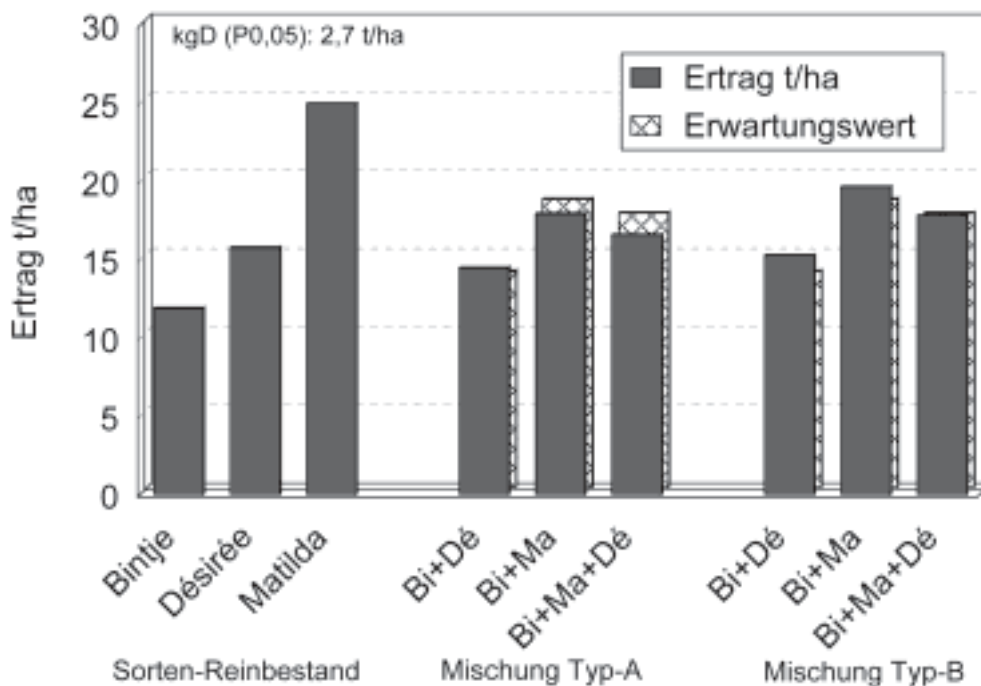


Abb. 4. Ausschnitt aus dem Sortenmischungsversuch. Im Vordergrund reihenweiser Anbau (Typ A) von Matilda, Désirée und Bintje. Dahinter Bintje-Parzelle im Reinanbau und Reihenmischung Bintje/Désirée. (Foto: Roger Wüthrich, FAL)



Der Erwartungswert entspricht dem arithmetischen Mittel der Sorten im Reinbestand.

Abb. 5. Knollenbefall bei Bintje (Bi), Désirée (Dé) und Matilda (Ma) bei Anbau in Reinbestand und in Sortenmischungen. Typ A: vollständige Durchmischung der Sorten im Bestand; Typ B: in Reihen alternierender Anbau der Sorten. kgD = kleinste gesicherte Differenz; ns = nicht signifikant.



Der Erwartungswert entspricht dem arithmetischen Mittel der Sorten im Reinbestand.

Abb. 6. Knollenertrag bei Bintje (Bi), Désirée (Dé) und Matilda (Ma) bei Anbau in Reinbestand und in Sortenmischungen. Typ A: vollständige Durchmischung der Sorten im Bestand; Typ B: in Reihen alternierender Anbau der Sorten. kgD = kleinste gesicherte Differenz.

schen den Krautfäule-Befallsdaten der fünf Bonituren vom 30. Juni bis zum 22. Juli und dem Ertrag eine sehr enge Beziehung: Der multiple Korrelationskoeffizient betrug 0,95 (Irrtumswahrscheinlichkeit Varianzanalyse <0,01 %). Sortenmischungen im Reihenanbau (Typ B) bewirkten eine Ertragsverbesserung von 6 % oder 1,2 t/ha, während mit den Sortenmischungen des Typs A keine ertragssteigernden Effekte erzielt wurden (Tab. 1 und Abb. 6).

Potenzial der Sortenmischungen

Das faszinierendste am Sortenversuch ist das gute Abschneiden der reihenweise alternierend angebauten Sortenmischungen (Typ B). Eigentlich wurde das bessere Resultat mit den Typ-A-Mischungen erwartet, weil der Durchmischungsgrad in diesem Verfahren höher war. Der Sortenmischungstyp B wurde «nur» deshalb geprüft, weil er praxistauglicher ist und eine sortenreine Ernte ermöglicht. Wieso aber war die B-Strategie besser als die A-Strategie? Der Versuchstandort befand sich an einer windoffenen Lage und der Wind traf fast rechtwinklig auf die Kartoffelfurchen. Wir gehen davon aus, dass Sporen von *Phytophthora* durch den Wind von Reihen der anfälligen Sorte Bintje auf die benachbart angebaute, resistente Sorte Matilda getragen und so zu einem grossen Teil einer weiteren Verbreitung entzogen wurden (Filter- und Barriereeffekt). Da Matilda eine frohwüchsige Kartoffelsorte ist, dürfte dieser Effekt noch ausgeprägter sein als bei anderen Kartoffelsorten. Ähnliche Beobachtungen wurden in Sortenmischversuchen in Dänemark gemacht. Dagegen wurde in einem französischen Blight-MOP-Versuch mit dem alternierenden, reihenweisen Anbau der Sorten Bintje, Désirée und Naturrella nur wenige Veränderungen

im Befall im Vergleich zu Reinbeständen der einzelnen Sorten verzeichnet. Unterschiedliche Windexposition und Sortenwahl könnten für Erfolg oder Misserfolg verantwortlich sein. Dass die Windverhältnisse, die Ausrichtung der Kartoffeln und die Art der Nachbarkulturen den Krautfäulebefall beeinflussen, geht aus Blight-MOP-Versuchen in Deutschland hervor (Finckh *et al.* 2003).

Unsere Resultate zeigen, dass erhöhter Krautfäulebefall verminderte Erträge zu Folge hatte. Sortenmischungen im Reihenanbau können jedoch zu einer erheblichen Reduktion des Knollenbefalls und so auch zu höheren Erträgen führen. Die Erhöhung der genetischen Vielfalt kann somit einen Beitrag zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule im biologischen Landbau leisten. Unser Versuch und andere Versuche zeigen aber auch, dass ein erheblicher Forschungsbedarf zur Optimierung der Sortenwahl und Strategien besteht. Wir teilen jedoch

die Ansicht von Mundt (2002), dass mit dem zunehmenden Bedürfnis für eine nachhaltige Landwirtschaft der Anbau von Sorten- und Artenmischungen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in den nächsten 50 Jahren eine viel grössere Rolle spielen sollte als in den vergangenen 50 Jahren.

Literatur

- Castro A., 2001. Cultivar mixtures. The Plant Health Instructor, DOI: 101094/PHI-A-2001-1230-01. St. Paul: Am. Phytopathol. Soc. (www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/top.html)
- Finckh M.R., Andrivon D., Bodker L., Bouws-Beuermann H., Corbiere R., Elliseche D., Philipps S. and Wolfe M.S., 2003. Diversifikationsstrategien für das Management der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau - Ökologischer Landbau der Zukunft. 24. bis 26. Februar 2003, Wien, 141-144.
- Fried P.M. und Streckeisen Ph., 1986. Erfahrungen mit Sortenmischungen in Getreide im Ausland

und Ergebnisse der Mischungsversuche mit den Winterweizensorten Arina, Eiger, Sardona und Zenta in der Schweiz, 1982 bis 1985. *Mitt. Schweiz. Landwirtschaft* **34** (5), 117-123.

- Mundt C.C., 2002. Use of Multi-line Cultivars and Cultivar Mixtures for Disease Management. *Annu. Rev. Phytopathol.* **40**, 381-410.
- Tamm L., Smit B., Hospers M., Janssens B., Buurma J., Molgaard J.P., Laerke P.E., Hansen H.H., Bertrand C., Lanbion J., Finckh M., Schüler Chr., Lammerts van Bueren E., Ruissen T., Solberg S., Speiser B., Wolfe M., Philipps S., und Leifert C., 2003. Abschätzung der Auswirkungen der Krautfäule auf den Bio-Kartoffelbau in verschiedenen Europäischen Ländern, sowie Inventar der angewendeten Anbau- und Pflanzenschutzstrategien. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau - Ökologischer Landbau der Zukunft. 24. bis 26. Februar 2003, Wien, 149-152.
- Zhu Y, Chen H, Fan J, Wang Y, Li Y *et al.*, 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* **406**, 718-32.

RÉSUMÉ

Lutte contre le mildiou de la pomme de terre avec des mélanges de variétés?

L'intention de l'Union Européenne d'interdire l'utilisation du cuivre dans l'agriculture a intensifié les recherches pour de nouvelles stratégies de contrôle du mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) dans l'agriculture biologique. Le mélange de différentes variétés de pommes de terre de sensibilités diverses au mildiou pourrait être un système valable. Dans un essai en plein champ, les mélanges de différentes variétés n'ont que légèrement réduit l'infestation de *Phytophthora* sur les feuilles par rapport aux valeurs calculées. Néanmoins, l'essai a bien montré que les mélanges de variétés peuvent contribuer à une réduction substantielle de l'infestation des tubercules de pommes de terre. En outre la plantation de différentes variétés en lignes alternantes a engendré une plus forte réduction de l'infestation que la culture avec un mélange total de variétés.

SUMMARY

Variety mixtures as a mean to control tuber blight in potatoes?

The aim of the European Union to prohibit the use of copper in agriculture promoted the research for new strategies to control potato late blight (*Phytophthora infestans*) in organic farming. The cultivation of mixtures of different potato varieties could be a promising mean to control late blight. In a field trial at Reckenholz in Zurich, complete mixtures of different varieties only slightly reduced *Phytophthora* infestations on the potato leaves. Better results were observed, when the varieties of the mixtures were grown in alternating rows. In contrast to the effect on leaf blight, tuber blight was reduced by up to 50 %. Again the cultivation of the different varieties in alternating rows was more effective than the procedure with a total mix of the varieties.

Key words: *Phytophthora infestans*, variety mixtures, cultivars, potatoes, organic farming