

INFLUENCE OF FARMING SYSTEM, SPECIFIC CULTIVATION METHODS AND SITE PARAMETERS ON POTATO QUALITY

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH

for the degree of
DOCTOR OF SCIENCES

presented by

ANDREAS C. KEISER

Dipl. Ing. Agr. ETH-Zürich

born October 13, 1962

citizen of Emmen (LU)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. P. Stamp, examiner

Dr. J.H.M. Schneider, co-examiner

Dr. P. Ceresini, co-examiner

Zürich, 2007

Zusammenfassung

Qualitätsmängel gehören zu den wichtigsten Ursachen für eine ungenügende Rentabilität im schweizerischen Kartoffelbau. Seit einigen Jahren wird die Kartoffelqualität von Seiten des Handels und der verarbeitenden Industrie zunehmend kritisiert. Heute werden über 90% der Kartoffeln gewaschen verkauft und in den Supermärkten gewinnen Selbstbedienungsangebote an Bedeutung. Als Folge davon werden auch kleine äussere Qualitätsmängel von den Konsumenten als störend empfunden. Die Qualitätskontrolle im Handel erfolgt hauptsächlich an sortierten aber ungewaschenen Kartoffelproben. Von Drahtwürmern (*Agriotes ssp.*), drycore (*R. solani*) oder Schnecken (*Deroceras reticulatum*, *Arion ssp.*) verursachte Qualitätsmängel werden nicht klar unterschieden und unter dem allgemeinen Begriff „Äussere Mängel“ zusammengefasst. Wegen fehlender Information zur Anbautechnik und zu den Standortfaktoren der Kartoffelfelder sind keine Rückschlüsse über die Ursachen der auftretenden Mängel möglich. Das Ziel dieser Dissertation war die Erforschung der relativen Bedeutung der verschiedenen Qualitätsmängel sowie deren Beeinflussung durch das Anbausystem (Biolandbau, Integrierte Produktion, Konventioneller Anbau), die Anbautechnik und die Standortfaktoren. In der vorliegenden Arbeit werden Resultate zu den äusseren Qualitätsmängeln verursacht durch Drahtwürmer, Schnecken, drycore und Rhizoctonia-Pocken präsentiert.

Im ersten Teil (2000) der Arbeit wurde auf fünf kommerziellen Kartoffelfeldern von 0.8 ha Grösse die räumliche Verteilung verschiedener Qualitätsmängel und deren Beziehung zueinander untersucht. Alle Knollen von 400 Pflanzen pro Feld wurden für die Qualitätsbeurteilung geerntet und die Koordinaten der Pflanzen wurden festgehalten. Die Daten wurden auch zur Bestimmung eines Stichprobenplans genutzt, der sich für eine grosse Anzahl Kartoffelfelder eignet und zuverlässige Qualitätsbestimmungen (% befallene Knollen) mit einer Präzision von +/- 2%-4% befallener Knollen ermöglicht.

In einem zweiten Teil wurde die Qualität von 278 Kartoffelfeldern aus verschiedenen Anbausystemen (Bio 58, Integriert 69 and Konventionell 151) aus den wichtigsten Kartoffelanbaugebieten der Schweiz beurteilt und alle relevanten Daten zur Anbautechnik und zum Standort erhoben. Unmittelbar vor der Ernte wurden auf jedem Feld nach einem genau definierten Stichprobenplan 810 Knollen von 270 Pflanzen geerntet. Die Qualitätsbeurteilung erfolgte nach einem speziell erarbeiteten Evaluationssystem welches sowohl wissenschaftliche Kriterien als auch die Anforderungen des Handels berücksichtigte.

Im dritten Teil wurde die Anastomosegruppe von 60 Isolaten des Pilzes *Rhizoctonia solani* bestimmt, welche von Sklerotien und drycore auf Knollen aus den verschiedenen Anbausystemen gewonnen wurden. Die Analyse erfolgte mittels Pektin-Zymogram, AG 3 spezifischen Primern und der Hyphenfusion mit Tester-Isolaten. Die Bestimmung der genetischen Variabilität innerhalb der Isolate von *R. solani* erfolgte durch die Sequenzierung der ITS-Region der rDNA und mit Hilfe der ERIC und REP-PCR-Methode.

Im letzten Teil der Arbeit (2005 und 2006) wurden randomisierte Feldversuche und Topfversuche unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer durchgeführt, um die Hypothese zu prüfen, dass Verletzungen an den Knollen durch Drahtwürmer oder andere Mittel das Eindringen von *R. solani* in die Knollen erleichtern und damit die Bildung von drycore-Symptomen fördern. Diese Hypothese basierte auf den Resultaten der ersten drei Teile der Arbeit. Die in den Versuchen gewonnenen Isolate von *Rhizoctonia solani* wurden mittels ISSR-PCR analysiert.

Die räumliche Verteilung der untersuchten Qualitätsmängel im Feld war meist nicht-binomial. Folglich war die Variabilität der Qualitätsmängel zwischen Knollen von verschiedenen Pflanzen oft höher als zwischen Knollen der gleichen Pflanze. Als Konsequenz wurden die Vertrauensintervalle für die geschätzten Mittel von befallenen Knollen reduziert, wenn eine definierte Anzahl Knollen pro Feld von einer zunehmenden Anzahl Pflanzen geerntet wurde. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde für eine zuverlässige Qualitätsbestimmung im „on-farm“-Programm in Teil 2 eine optimale Stichprobe von 810 Knollen pro Feld (drei zufällig gezogene Knollen von 270 Pflanzen) bestimmt, mit welcher der Prozentsatz befallener Knollen mit einer Genauigkeit von +/- 2-4% geschätzt werden kann.

Schäden durch Drahtwürmer, Schnecken und drycore waren in allen Anbausystemen für bedeutende ökonomische Verluste verantwortlich. Als Folge erreichten 36% (Bio), 13% (Integriert) respektive 12% (Konventionell) der Kartoffelfelder den geforderten Qualitätsstandard nicht ohne Aussortieren von beschädigten Knollen (Toleranzgrenze = 18% beschädigte Knollen, bei Qualitätsbeurteilung an gewaschenen Knollen). Im biologischen Anbausystem lag der Anteil beschädigter Knollen für alle drei Qualitätsmängel am höchsten. Die Bedeutung von Schneckenschäden war höher als erwartet. Schneckenschäden allein führten zu Preisreduktionen bei 14% der untersuchten Felder. Schneckenschäden wurden vermutlich in Qualitätsbestimmungen des Handels oft mit Drahtwurmschäden verwechselt. Ein bedeutender Einfluss der Witterungsbedingungen wurde beobachtet. Im sehr heißen und trockenen Jahr 2003 (75% des Mittels der langjährigen Niederschlagsmenge) traten in allen Anbausystemen weniger Schneckenschäden auf. Im nassen Jahr 2001 (140% des Mittels der

langjährigen Niederschlagsmenge) wurden die Schneckenschäden signifikant durch die Fruchtfolge beeinflusst. Die Schneckenschäden wurden mit zunehmender Bodenbedeckung (Klee gras, Gründüngung) und einem erhöhten Anteil an günstigen Kulturen für Schnecken (z.B. Gemüse, Raps, Sonnenblumen) in den drei Jahren vor Kartoffeln verstärkt. Bemerkenswert sind die deutlich erhöhten Schneckenschäden auf Feldern mit regelmässigem Gemüseanbau (z.B. Spinat, Salat, Karotten). Bedeutende Schneckenschäden wurden auf allen Bodentypen unabhängig vom Ton- und Humusgehalt beobachtet, auch auf Böden mit weniger als 15% Ton.

Die Tatsache, dass Drahtwurmschäden allein bei 12% aller Felder zu Preisreduktionen führten unterstreicht die Bedeutung dieses Schädling s. Im biologischen Anbausystem war der Anteil Felder mit bedeutenden Schäden höher als in den anderen Anbausystemen, aber nur 2001 und nur im Vergleich zum integrierten Anbausystem war der Unterschied signifikant ($p=0.05$). 2001 waren die Drahtwurmschäden in allen Anbausystemen leicht höher als in den Jahren 2002 und 2003. Mit zunehmender Anzahl Jahre Anbaupause nach Klee gras und mit abnehmendem Anteil Klee gras in der Fruchtfolge wurde das Risiko für Drahtwurmschäden deutlich verringert. Während bei circa 50% der Kartoffelfelder im ersten Jahr nach Klee gras deutliche Drahtwurmschäden auftraten, lag dieser Anteil signifikant tiefer, wenn die Kartoffeln erst im vierten oder fünften Jahr nach Klee gras angebaut wurden (weniger als 10% der Felder mit deutlichen Schäden).

Der Befall durch Rhizoctonia-Pocken war im biologischen Anbausystem am höchsten, aber der Unterschied zu den anderen Anbausystemen war nicht signifikant. Bei 50% der biologischen Felder lag der Anteil befallener Knollen über 20%, im Vergleich zu 29% bei integrierten und konventionellen Feldern ohne chemische Pflanzgutbehandlung und 11% mit chemischer Pflanzgutbehandlung. Die Varianzanalyse mit den Daten der integrierten und konventionellen Felder ergab einen signifikanten Einfluss der Pflanzgutqualität (% befallene Knollen) und des Erntejahres sowie einen signifikanten Einfluss einer chemischen Pflanzgutbehandlung bei einem höheren Pflanzgutbefall (mehr als 20% der Knollen mit Befall). Nicht signifikant war der Einfluss der Sorte, des Anbausystems, des Misteinsatzes und der Vorkultur.

Drycore war der wichtigste äussere Mangel im biologischen Anbausystem und trat in allen drei Jahren signifikant häufiger und stärker auf als in den übrigen Anbausystemen. Auf 29% der biologischen Felder führte drycore allein zu Preisreduktionen, im Vergleich zu 3% in integrierten und konventionellen Feldern. Der drycore-Befall wurde signifikant beeinflusst durch Drahtwurmschäden, den Pflanzgutbefall mit Rhizoctonia-Pocken und Klee gras als

Vorkultur. Im Gegensatz zum Schneckenbefall wurde das Auftreten von drycore durch die Jahreswitterung nicht beeinflusst und lag in allen drei Jahren auf dem gleich hohen Niveau. Starke drycore-Schäden wurden sowohl auf leichten als auch schweren Böden gefunden, unabhängig vom pH, Ton-, und Humusgehalt. In allen drei Anbausystemen wurde nie bedeutender drycore-Befall beobachtet, wenn nur ein geringer Drahtwurmbefall auftrat und Pflanzgut mit geringem Pockenbefall gepflanzt wurde. Zudem trat drycore auch bei sehr starkem Befall der Ernteknollen mit Rhizoctonia-Pocken nur sehr selten auf, wenn die Knollen keine Drahtwurmschäden aufwiesen. Diese Resultate wurden durch die Berechnung des relativen Befallsrisikos basierend auf den Daten von 32'000 kontrollierten Knollen von 40 Feldern mit einem erhöhten Drycorebefall bestätigt. Das Befallsrisiko für drycore war signifikant erhöht, wenn Rhizoctonia-Pocken oder Drahtwurmschäden auf der gleichen Knolle auftraten. Im Gegensatz dazu erhöhte sich das Risiko für drycore nicht, wenn Schneckenschäden auf der gleichen Knolle auftraten.

AG 3 ist die häufigste Anastomosegruppe von *R. solani* im schweizerischen Kartoffelbau unabhängig vom Anbausystem. Neunundfünfzig von 60 Isolaten von Rhizoctonia-Pocken und drycore gehörten zur AG 3 und nur eine einzige zur AG 5. Die Untersuchungen mit ERIC und REP-PCR zeigten einen hohen Grad an Heterogenität innerhalb der AG 3 Isolate mit einer genetischen Ähnlichkeit zwischen 20% und 87%. Keine höhere genetische Übereinstimmung konnte bei den Isolaten aus der gleichen Region oder der gleichen Kartoffelsorte beobachtet werden. Die genetischen Unterschiede zwischen den Isolaten des biologischen Anbausystems waren tendenziell geringer als zu den Isolaten der anderen Anbausysteme.

Die Resultate der Feldversuche und Topfversuche unter kontrollierten Bedingungen mit Isolaten der AG 3 bestätigen die Hypothese aus dem „On-farm“-Forschungsprogramm auf 278 Kartoffelfeldern. Drycore Symptome auf den Ernteknollen wurden nur in den Verfahren mit *R. solani* beobachtet und in den meisten Fällen nur, wenn die Knollen entweder natürlich durch Drahtwürmer oder künstlich mit Nadeln verletzt waren. Unverletzte Knollen wiesen nur sehr selten drycore auf, auch wenn die Knollen von Rhizoctonia-Pocken befallen waren. In den Verfahren ohne Infektion mit *R. solani* wurden nie Pocken oder drycore gefunden. Alle Isolate von *R. solani* von Pocken und drycore in den Feld- und Topfexperimenten gehörten zur AG 3. Zudem wiesen alle in den Topfexperimenten gewonnenen Isolate einen identischen ISSR-PCR Fingerprint auf wie das Isolat, welches für die Inokulation der sterilisierten Erde verwendet wurde. Damit wurde bewiesen, dass drycore durch *R. solani* AG 3 verursacht wird und dass natürliche (Drahtwürmer) oder künstliche (Nadeln) Verletzungen der Knollen die Bildung von drycore fördern. Demnach kann das im „On-farm“-Programm beobachtete,

deutlich stärkere Auftreten von drycore im biologischen Anbausystem durch den häufigen Anbau von Kartoffeln nach mehrjährigem Klee gras erklärt werden, da dadurch das Risiko für Drahtwurmschäden deutlich erhöht wird. Weitere fördernde Faktoren sind der höhere Anteil von Pflanzgutposten, welche die Bekämpfungsschwelle für *Rhizoctonia*-Pocken überschreiten und das Fehlen einer wirksamen Pflanzgutbehandlung im biologischen Anbausystem.

Die Fruchtfolge hat einen grossen Einfluss auf das Auftreten von Qualitätsmängeln verursacht von drycore, Schnecken und Drahtwürmern. Zur Verbesserung der Kartoffelqualität müssen die Fruchtfolgen optimiert werden. Dies gilt im speziellen für das biologische Anbausystem, wo Klee gras als Vorkultur zu Kartoffeln als wichtige Stickstoffquelle betrachtet wird. Die Zunahme von Schneckenschäden in Fruchtfolgen mit erhöhter Bodenbedeckung im Winterhalbjahr (Klee gras, Zwischenkulturen) zeigt, dass Zielkonflikte zwischen den Qualitätsanforderungen des Handels und den ökologischen Zielen einer umweltschonenden Produktion bestehen. Forschung ist nötig, um Pflanzen mit einer geringen Akzeptanz durch Schnecken zu finden, die sich als Zwischenfutter oder Gründüngung eignen. Der hohe Anteil an Pflanzgutposten, welche die Bekämpfungsschwelle für *Rhizoctonia solani* überschreiten und damit das Risiko für Pocken und drycore erhöhen, unterstreicht die Wichtigkeit einer Verbesserung der Pflanzgutqualität. Zielsetzungen für zukünftige Forschung könnte die Entwicklung von Methoden zur Produktion von befallsfreiem Pflanzgut und zur biologischen Bekämpfung von Drahtwürmern sein.

Summary

Quality deficiencies are one of the main reasons for insufficient economy in Swiss potato production. Potato quality has been increasingly criticized by traders and the potato industry in recent years. Today over 90% of the sold potatoes are washed and self pick service increases in the supermarkets. As a result consumers notice even minor outer quality deficiencies. The quality assessment in the potato industry is mainly conducted with graded but unwashed samples. Quality deficiencies caused by wireworms (*Agriotes ssp.*), drycore (*R. solani*) or slugs (*Deroceras reticulatum*, *Arion ssp.*) are not distinguished in detail but subsumed under the generic term “outer quality deficiencies”. Because information on management (e.g. crop rotation) and site parameters (e.g. soil characteristics) are largely unknown a conclusive appraisal of the factors responsible for the quality deficiencies is not possible. The aim of this thesis was to investigate the relative importance of quality deficiencies and the influence of farming systems (organic, integrated, and conventional), cultivation methods and site parameters. Data is presented on quality deficiencies caused by wireworm (*Agriotes ssp.*), slugs (*Deroceras reticulatum*, *Arion ssp.*), drycore and black scurf (*Rhizoctonia solani*).

In the first part (2000) the spatial distribution of the different quality deficiencies and possible relations between them were studied on five commercial potato fields of 0.8 ha. All tubers of 400 plants per field were sampled for quality assessment and the coordinates of the plants were recorded. The resulting data was also used to determine the sampling plan for reliable quality assessments of potatoes with a precision of +/- 2% to 4% for the estimated mean of damaged tubers on a large number of potato fields.

In a second part potato quality of 278 potato fields of different farming systems (organic 58, integrated 69 and conventional 151) across the major potato growing regions of Switzerland was assessed and all relevant data concerning cultivation methods and site parameters were recorded. Immediately before harvest a sample consisting of 810 tubers from 270 plants was collected on each field according to a specified sampling plan. The quality assessment was done with a specifically designed evaluation system which contained both scientific criteria and requirements set by the trade.

In a third part the anastomosis groups of 60 isolates of *Rhizoctonia solani* obtained from black scurf and drycore on potatoes of different farming systems in Switzerland were analysed with Pectic zymograms, AG 3 specific primers and anastomosis typing. ITS sequencing, ERIC and

REP-PCR was used to determine the degree of genetic variability between Swiss isolates of *R. solani*.

In the last part randomized open-air experiments and pot experiments under controlled conditions in the climate chamber were conducted to check the hypothesis that injuries on the tubers caused by wireworms or other means facilitate the penetration of *Rhizoctonia solani* into the tuber and favour the formation of drycore. This hypothesis was based on the results of the first three parts of the thesis. The isolates obtained in these experiments were analysed with ISSR-PCR.

The spatial distribution of quality deficiencies in the field was mainly non-binomial and therefore the variability of quality deficiencies was often higher between tubers of different plants than between tubers of the same plant. As a consequence the confidence intervals for the estimated means of damaged tubers were reduced when a defined number of tubers per field were sampled from an increasing number of plants. In conclusion a sampling procedure of three tubers of 270 plants per fields (810 tubers) was determined for the on-farm program in the second part of this work to get reliable quality assessments with a precision of +/- 2% to 4% for the estimated mean of damaged tubers.

Wireworms, slugs and drycore were responsible for important economic losses in all farming systems. Due to these deficiencies 36% (organic), 13% (integrated) and 12% (conventional) of the fields did not meet the quality standard without sorting out damaged tubers (limit = 18% of damaged tubers for washed potatoes). In the organic farming system the quality damage was higher for all three deficiencies. The relative importance of slugs as a potato pest was higher than expected. Slug damage alone led to price reductions for 14% of the fields. Damage caused by slugs was probably often confused with wireworm damage in quality assessments of the traders. An important influence of the meteorological conditions was observed. In the very hot and dry year 2003 (75% of the precipitation of the long term annual mean) less slug damage occurred in all farming systems. In the wet year 2001 (140% of mean precipitation) slug damage was significantly influenced by the crop rotation. With increasing soil cover (grass clover ley, catch crops) and crops favourable for slugs (e.g. oilseed rape, sunflower, vegetables) in the three years preceding potatoes slug damage increased. The higher slug damage on fields with regular vegetable production (spinach, salad, carrots) was especially remarkable. Important slug damage was observed in all soil types independently from their content of clay and organic matter, even on sandy loams with less than 15% clay content.

The fact that wireworm damage alone led to price reductions for 12% of the fields underlines the importance of this pest. In the organic farming system the proportion of fields with important wireworm damage was higher than in the other farming systems, but only in 2001 the difference was significant between the integrated and organic fields. In 2001 wireworm damage was slightly higher in all three farming systems than in 2002 and 2003. The risk of wireworm damage was clearly decreased with increasing number of years between grass clover leys and potatoes and with decreasing proportion of grass clover leys in the crop rotation. About 50% of all fields in the first year after grass clover leys had important wireworm damage. Potatoes in the fourth and fifth year after grass clover leys showed significantly lower occurrence of wireworm damage than in the first year after grass clover leys (less than 10 % of all fields with important wireworm damage).

Black scurf attack was highest in the organic system, but the difference to the other farming systems was not significant. Fifty percent of the organic fields showed black scurf levels of harvested tubers of more than 20% infested tubers, compared to 29% of the conventional and integrated fields without seed treatment and 11% of the conventional and integrated fields with fungicide treatment. Analysis of variance for black scurf with the data of integrated and conventional fields showed a significant influence of seed quality (% seed tubers with black scurf) and the year as well as a significant influence of a fungicide seed treatment at higher seed infestation level (more than 20% tubers with black scurf). No significant influence was found for the factors variety, farming system, manure application and preceding crop.

Drycore was the most important outer quality deficiency in the organic farming system and the occurrence was significantly more frequent and higher on organic fields than in the other farming systems in all three years. On 29% of the organic fields drycore damage alone led to price reduction, compared to 3% in the integrated and conventional farming system. The infestation level of drycore was significantly influenced by wireworm damage, black scurf level on seed tubers and grass clover ley as preceding crop. In contrast to slug damage occurrence of drycore was not influenced by the meteorological conditions and was on a similar level in all three years. Heavy drycore damage was found on fields with light and heavy soils independently from pH and clay and organic matter content. In all three farming systems important drycore damage was never observed on fields with both a low occurrence of black scurf on the seed tubers and a low occurrence of wireworm damage. Even on fields with heavy black scurf infestation on progeny tubers, drycore occurred very rarely without injuries by wireworms. These results were confirmed by the relative risk for drycore calculated with the data of 32'000 assessed tubers from 40 fields with important drycore

damage. Progeny tubers had a higher risk for drycore if black scurf or wireworm damage were on the same tuber. In contrast, no higher risk for drycore was observed on tubers with slug damage.

AG 3 is the most frequent anastomosis group of *R. solani* in Swiss potato production independently from the farming systems. Fifty-nine of sixty isolates of *Rhizoctonia solani* obtained from black scurf and drycore belonged to AG 3 and only one to AG 5. Analysis with ERIC and REP-PCR showed a high level of heterogeneity among the isolates of AG 3 with a genetic similarity ranging from 20% to 87%. No higher genetic similarity could be observed among isolates of the same region or the same variety, but genetic differences between isolates of the organic system tended to be fewer than between isolates of different farming systems.

The results of the additional open-air experiments and pot experiments under controlled conditions with isolates of AG 3 strongly support the hypothesis of the on-farm program. Drycore symptoms on harvested tubers were only observed in treatments where *R. solani* was present and potato tubers were injured either naturally by wireworm or artificially with needles. Non-wounded tubers very rarely had drycore symptoms even when tubers were infested with black scurf. In the treatments without *R. solani* infection black scurf or drycore was never observed. All isolates of *R. solani* obtained from black scurf or drycore symptoms belonged to AG 3. Furthermore, all isolates obtained from black scurf and drycore in the experiments under controlled conditions presented an identical ISSR-PCR fingerprinting genotype to the isolate used to inoculate the sterilized soil. Thus, it was proven that *R. solani* AG 3 is the causal agent of drycore and that injury on tubers caused by wireworm or artificially by needles favour the formation of drycore. Therefore the higher occurrence of drycore in the organic farming system found in the on-farm program can be explained by the fact that potatoes are often grown after several years of grass clover leys, which enhances the risk for wireworm damage. Other favouring factors are the higher proportion of seed lots which exceeded the threshold for black scurf and the lack of an effective seed treatment in the organic farming system.

Crop rotation has a large influence on the occurrence of drycore, slugs and wireworm. To improve potato quality the crop rotation has to be optimized especially in the organic farming system, where grass-clover leys preceding the potato crop are regarded as an important source of nitrogen. The increasing risk for slug damage with increasing soil cover over winter (catch crops, grass-clover leys) indicates that conflicting aims exist between the quality standards set by the trade and ecological aims of an environmentally friendly production. Research is

needed to find plants with a low acceptability for slugs which are suitable for catch crops or green manure. Seed tuber infestation with black scurf often exceeds the threshold and increases the risk for black scurf and drycore especially in organic farming system. This underlines the importance to improve seed quality. Our results suggest that a promising issue for future research might be to develop methods to produce seed free of black scurf in organic production and to find biological control methods against wireworm.