

Kartoffelzüchtung – Bedeutung für die gesamte Landwirtschaft

Dr. Rolf Peters
PotatoConsult UG

November 2019

Inhalt

1. Resistenzen	4
1.1 Kraut- und Knollenfäule	4
1.2 Zystenbildende Nematoden	5
1.3 Virosen	7
2. Ertragszuwachs	8
3. Zukünftige Herausforderungen	10
3.1 Hohe Temperaturen	11
3.2 Wassermangel	11
3.3 Nährstoffeffizienz	12
3.4 Lagerfähigkeit	12
3.5 Veränderungen des Schad- und Krankheitserregerpotenzials	13
4. Neue Züchtungstechniken	14
5. Literatur	15

Kartoffelzüchtung – Bedeutung für die gesamte Landwirtschaft

Die Kartoffel ist ein besonders prädestiniertes Beispiel für die Erfolge, aber auch die Notwendigkeiten einer vielschichtigen Züchtungsarbeit. So war die Verbreitung der Kartoffel als Ackerbaukultur mit einer deutlich höheren Ernährungsleistung pro Hektar als Getreide im Europa des 19. Jahrhunderts neben der Etablierung des Fruchtfolgedenkens und den wachsenden Kenntnissen über die Düngung eine wesentliche Voraussetzung für den rasanten Wandel von der Agrar- zur Industriegesellschaft. Gleichzeitig führte aber eine große Krautfäuleepidemie auf den Kartoffelfeldern Europas in der Mitte des 19. Jahrhunderts zu schweren Hungersnöten, die eine große Zahl von Toten sowie eine gesellschaftsbeeinflussende Auswanderungswelle vor allem nach Nordamerika nach sich zogen.

1. Resistenzen

1.1 Kraut- und Knollenfäule

Der pilzliche Erreger *Phytophthora infestans* der Kraut- und Knollenfäule zeichnet sich bis heute durch eine hohe genetische Variabilität aus, die sowohl immer wieder zu einem Sensitivitätsverlust gegenüber verschiedensten Fungiziden führt als auch mehr oder weniger schnell die züchterisch verankerte *Phytophthora*-Resistenz neuer Sorten bricht. Letzteres ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die Resistenz dieser Sorten vorrangig nur auf einem genetischen Resistenzmechanismus (R-Gen) beruhte. Aufgrund neuer Untersuchungsmethoden sind heute mehrere spezifische Resistenzorte auf den Chromosomen bekannt, die durch gezielte Kreuzung von zumeist Wildarten zusammengeführt werden können, um gegen die Kraut- und Knollenfäule multiresistente Sorten zu entwickeln. Der Erfolg dieser Kombination mehrerer Resistenzgene (Pyramidisierung) kann entweder in mehrjährigen Feldversuchen oder beim Vorhandensein spezifischer Marker bereits über Blattproben in der ersten Kreuzungsgeneration überprüft werden. Die praktische Umsetzung multipler Resistenzen in der Sortenentwicklung ist aber grundsätzlich mit einem exponentiellen Mehraufwand vor allem im Labor verbunden und zieht entsprechend höhere finanzielle Ausgaben nach sich.

Am Beispiel der Sortenwahl im ökologischen Anbau zeigt sich jedoch, dass eine hohe Resistenz gegenüber der Kraut- und Knollenfäule zwar ein wünschenswertes Merkmal ist, die Auswahl der angebauten Sorten aber prioritär auf vermarktungsbasierten Kriterien, wie Geschmack, Knollenform und Fleischfarbe, beruht. Dies dokumentiert z. B. die geringe Anbaubedeutung der gegenüber *Phytophthora* hochresistenten ungarischen Sorte Sarpo Mira, deren Pflanzgutbedarf für Deutschland auch über 15 Jahre nach der Markteinführung noch immer vorrangig über Importe gedeckt wird. In den deutschen Zuchtunternehmen befinden sich jedoch gegenwärtig erste Stämme kurz vor der Markteinführung, die das Anforderungsprofil einer modernen Speisesorte mit einer Mehrfachresistenz (MR) gegenüber *Phytophthora infestans* kombinieren.

Bei einer erfolgreichen Markteinführung dieser neuen Sorten mit einer Mehrfachresistenz gegenüber *Phytophthora infestans* ist eine nachhaltige Reduktion der Fungizidspritzungen zu erwarten. Ausgehend von einer durchschnittlichen Behandlungshäufigkeit der Kartoffeln mit aktuell rund 7,2 Fungizidspritzungen pro Jahr (JKI, 2019) würde jede eingesparte Applikation sowohl die bundesweit ausgebrachte Wirkstoffmenge um etwa 210 t (Basis 2016) (JKI, 2019b) verringern als auch zu einer Reduktion der Produktionskosten um durchschnittlich gut 50 €/ha (LFL, 2019) beitragen (Tab. 1). Auf die deutsche Kartoffelanbaufläche von gegenwärtig ca. 250.000 ha bezogen ergibt sich daraus ein Einsparungspotenzial von etwa 12,5 Millionen €/Anwendung.

Tab. 1: Betriebliche Kosteneinsparungen durch eine reduzierte Fungizidbehandlungshäufigkeit aufgrund einer verbesserten Resistenz von Kartoffelsorten gegenüber *Phytophthora infestans*

Kartoffelanbaufläche (ha/Betrieb)	Kosten/Behandlung (MR) (€/ha)	Kostensparnis (€/Betrieb) bei reduzierten Behandlungen/Jahr		
		1	2	3
25	50	1.250	2.500	3.750
50	50	2.500	5.000	7.500
100	50	5.000	10.000	15.000
150	50	7.500	15.000	22.500
200	50	10.000	20.000	30.000
500	50	25.000	50.000	75.000

Eine wesentliche Quelle für die Einkreuzung von Resistenzen sind Wildarten, die jedoch auch immer eine Vielzahl unerwünschter Eigenschaften bezüglich Geschmack, Knollenform oder Verwertungseignung mit sich bringen. Diese müssen dann in einem mehrjährigen Rückkreuzungsprozess stufenweise eliminiert werden (Pre-Breeding), bevor die Stämme als Kreuzungseltern in der eigentlichen Sortenentwicklung nutzbar sind. Der zusätzliche Zeit- und Kostenaufwand ist nur schwer zu kalkulieren, da die Rückkreuzungsergebnisse nicht immer vollumfänglich zufriedenstellen und z. T. weitere, unvorhergesehene Kreuzungsschritte erforderlich machen können.

1.2 Zystenbildende Nematoden

Die Kompromissfähigkeit des Marktes gegenüber resistenten Sorten hängt sowohl von der Tragweite des Anbauproblems als auch von der Verwertungsrichtung der Kartoffeln ab. Das vermehrte Auftreten des zystenbildenden gelben Nematoden (*Globodera rostochiensis*) hatte im Laufe der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den angestammten Kartoffelanbauregionen zu erheblichen Ertragsverlusten geführt und konnte nur mit der Einkreuzung von resistenten Wildarten aktiv begegnet werden. Die erste in Deutschland als resistent anerkannte Kartoffelsorte „Antinema“ hatte jedoch noch so starke geschmackliche Mängel, dass sie sowohl im Speise- als auch im Futterbereich keine Marktbedeutung erlangen konnte. In den nachfolgenden Speisesorten wurde dieses negative Merkmal sukzessive zurückgedrängt, was dann zu einem rasanten Anstieg des Markt-

anteils nematodenresistenter Sorten in allen Verwertungsrichtungen führte. Damit einher ging neben einer langfristigen Reduktion der Nematodenpopulation auf den Befallsflächen auch eine Begrenzung des Neubefalls weiterer Felder, die sonst ebenfalls nicht mehr für den Kartoffelanbau zur Verfügung gestanden hätten.

Gleichzeitig konnte mit der Nutzung resistenter Sorten auch der regelmäßige Einsatz von Nematiziden auf den befallenen Kartoffelflächen deutlich zurückgefahren werden. Dies führte vor allem zu einer geringeren Umweltbelastung durch diese sehr breit wirkenden Pflanzenschutzmittel. Darüber hinaus ließen sich für die Bodenbehandlung Kosten von 600 bis 800 DM pro Hektar einsparen, die auch unter den damaligen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich vertretbar waren (RUMPENHORST, 1980). Für das einzige aktuell in Deutschland zugelassene Nematizid mit dem Wirkstoff Fosthiazate sind ebenfalls Kosten von etwa 750 € pro Hektar zu veranschlagen (PROPLANTA, 2019), wobei lt. Herstellerangaben zudem „in der Regel keine vollständige Entseuchung des Bodens von *Globodera spp.* im Sinne der „Verordnung zur Bekämpfung des Kartoffelkrebses und der Kartoffelnematoden“ vom 5. Juni 2001 (BGBl. I S. 1006) erreicht“ wird (SYNGENTA AGRO, 2019). Diese kostenintensive Maßnahme kann daher nur zum Teil die Ertragsausfälle kompensieren, die auf eine unzureichende Toleranz der Sorten zurückzuführen sind. Das Grundproblem des Befalls der Fläche mit zystenbildenden Nematoden ist damit jedoch nicht lösbar.

Eine parallele Entwicklung der resistenten Sorten zeigte sich auch nach dem ersten Auftreten des zystenbildenden weißen Nematoden (*Globodera pallida*) in den Stärkekartoffelregionen Nord-West-Deutschlands. Hier war die Einkreuzung resistenter Wildarten vordergründig einfacher, da bei den Stärkekartoffeln die Ertragsleistung im Vordergrund steht, während die vermarktungsgetriebenen Eigenschaften weitgehend unberücksichtigt bleiben konnten. Mit dem Beginn des EU-weiten Nematodenmonitorings auf 0,5 % der nicht zur Erzeugung von Pflanzkartoffeln bestimmten Kartoffelanbauflächen wurde aber in einigen Hauptanbauregionen eine sehr deutliche Artenverschiebung in Richtung des weißen Nematoden offensichtlich. Hinzu kam eine für Deutschland überraschend hohe Befallsrate mit zystenbildenden Nematoden von in den letzten Jahren durchschnittlich etwa 20 % der Monitoringfläche mit ausgeprägten regionalen Differenzen (EU-KOMMISSION, 2018).

Auf Grundlage dieser amtlichen Datenerhebung ist zu vermuten, dass bis zu 47.000 ha von derzeit ca. 235.000 ha Konsumkartoffelanbaufläche in Deutschland einen Besatz an zystenbildenden Nematoden aufweisen. Diese Flächen sind unter Berücksichtigung der Vorgaben der aktuellen Krebs- und Nematodenverordnung (2012) bei einem nachweislichen Befall nur noch mit entsprechend resistenten Sorten zu bestellen. Darüber hinaus sollte vor allem in den spezialisierten Anbauregionen ein möglichst umfassender Anbau von multiresistenten Sorten angestrebt werden, um die Betriebshygiene über diesen wichtigen Baustein nachhaltig abzusichern.

Sorten mit einer ausreichenden Resistenz gegen den weißen, zystenbildenden Nematoden stehen im Speise- und Veredelungskartoffelbereich aber bisher nur in einem viel zu geringen Umfang zur Verfügung, sodass auch der Einsatz resistenter Sorten einer anderen Verwertungsrichtung auf diesen Flächen in Betracht zu ziehen ist, wenn deren Vermarktung sichergestellt ist. Alternativ muss der Kartoffelanbau auf amtlich festgestellten Befallsflächen über einen längeren Zeitraum komplett eingestellt werden. Die sich dabei z. B. aus dem alternativen Anbau von Winterweizen anstatt Speisekartoffeln ergebenden Minderungen im Unternehmergewinn können auf der Basis exemplarischer Vollkostenrechnungen (LFL, 2019 u. 2019b) mit ca. 1.580 €/ha veranschlagt werden. Würde diese Situation für die Hälfte der hochgerechneten Befallsfläche aus dem bundesweiten Nematodenmonitoring unterstellt, ergäbe sich daraus allein für Deutschland ein entgangener Unternehmergewinn von jährlich etwa 37 Mio. €. Dieser Betrag ist damit quasi ein Mehrwert, den die kartoffelbauenden Betriebe durch den Einsatz neuer nematodenresistenter Sorten aufwendungsneutral erhalten.

Durch das Fehlen populationsreduzierender und damit als Bekämpfungsmaßnahme amtlich anerkannter Nematizide ist der gesamte Bekämpfungserfolg auf Flächen mit Nematodenbefall über den Anbau resistenter Sorten zu realisieren. Dem damit besonders hohen Selektionsdruck steht aktuell jedoch nur eine enge genetische Basis der Pallida-Resistenz gegenüber, die nur langsam und unter hohem zeitlichem sowie monetärem Aufwand durch die Zuchtunternehmen verbreitert werden kann. Wie fragil diese Pallida-Nematodenresistenz sein kann, spiegelt sich in dem Auftreten von neuen Virulenztypen in der niederländisch-deutschen Stärkekartoffelregion wider, deren Vermehrung auch von den gegenwärtigen Sorten mit einer hohen Pallida-Resistenz nicht verhindert werden kann. Veränderungen in der Anbauintensität sind daher unumgänglich, um diese Region auch weiterhin für den Stärkekartoffelanbau zu erhalten. Der Nachweis des Virulenztyps kommt rechtlich einem praktischen Anbauverbot auf der Fläche gleich, da ein breit angelegtes Sortenscreening bisher zu keiner resistenten Sorte geführt hat, die die Vorgaben der Nematoden- und Krebsverordnung erfüllen kann (KIEWNICK, 2019).

1.3 Virose

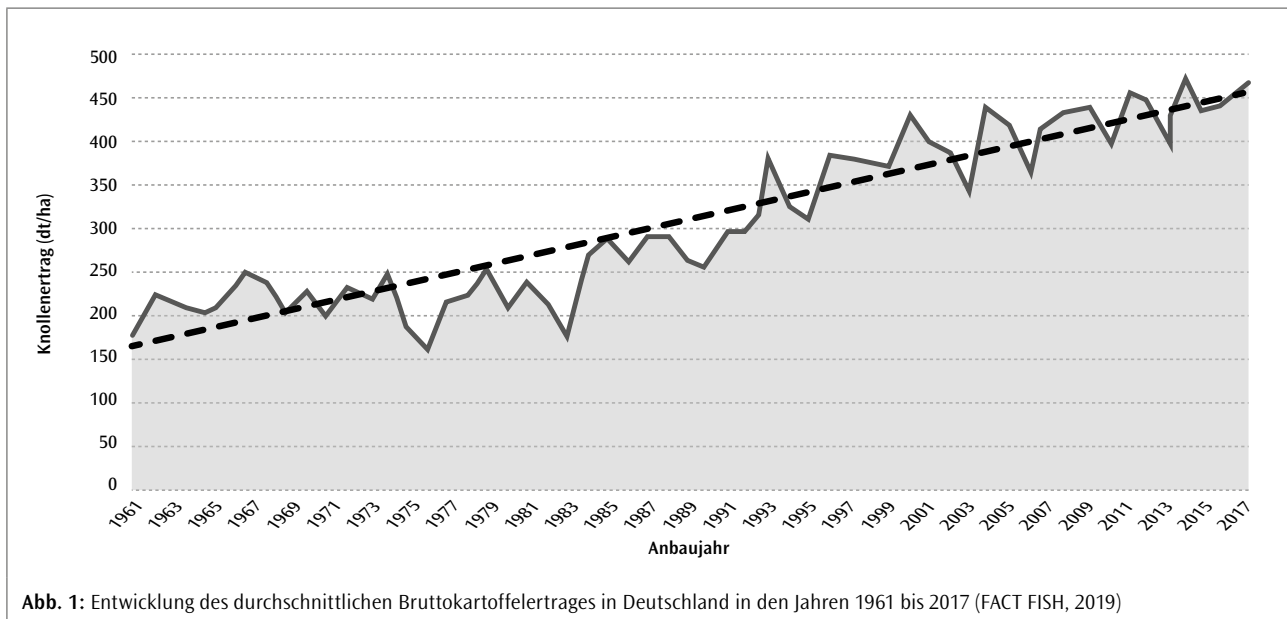
Bei der Züchtung neuer Sorten kommt grundlegend erschwerend hinzu, dass hier nicht nur verschiedene Resistenzquellen für ein Merkmal, sondern auch Resistenzen unterschiedlichster abiotischer und biotischer Eigenschaften miteinander zu kombinieren sind. Ein weiteres wichtiges Ziel ist z. B. eine möglichst geringe Virusempfindlichkeit der Sorten, da zum einen Pflanzgut durch das auf EU-Regeln basierende Anerkennungsverfahren im Z-Bereich nur eine maximale Virusbelastung von aktuell 8 bzw. 10 % aufweisen darf (PFLANZKARTOFFELVERORDNUNG, 2017). Höhere Befallswerte führen zu einem Ausschluss der Partie, um im nachfolgenden Konsumanbau Ertragsrückgänge und Qualitätsprobleme auf einem zu vernachlässigenden Niveau zu halten. Wiederholte Untersuchungen (KHURANA a. SINGH, 1988; NOLTE et al., 2004; VAN DER ZAAG, 1987)

haben zum anderen bestätigt, dass ein höherer Virusbesatz zwar sortenabhängige, aber in der Grundtendenz deutliche Ertragsrückgänge nach sich zieht, die zwischen 10 und 80 % betragen können (DE BOKX a. HUNTER, 1981) Darüber hinaus kann ein erhöhter Virusbefall bei einzelnen Sorten zu deformierten oder rissigen Knollen sowie zu z. T. deutlichen inneren Gewebeverbräunungen führen, die die Vermarktungsfähigkeit beeinträchtigen oder sogar ausschließen können.

Eine bisher erfolgreiche Gegenmaßnahme, die gezielte, schadschwellenorientierte Virusvektoren-bekämpfung, ist in Deutschland nach dem regulatorischen Verlust einer Reihe von insektiziden Wirkstoffen in naher Zukunft erheblich gefährdet. Diese überaus kritische Situation mit nur noch wenigen unterschiedlichen Wirkstoffen wird vor dem Hintergrund eines nachhaltigen Resistenz-managements auch von dem „JKI Fachausschuss Pflanzenschutzmittelresistenz – Insektizide, Akarizide“ in einer offiziellen Stellungnahme bestätigt (JKI, 2019c). Vor allem für Vermehrungs-betriebe ergeben sich daraus besondere Herausforderungen, die bei virusanfälligeren Sorten zunehmend unbeherrschbar werden. Die Anzahl Y-Virus-resistenter Sorten ist in den letzten 10 Jahren in Deutschland zwar gleichgeblieben, aber deren Vermehrungsfläche hat sich um drei Viertel reduziert. Gleichzeitig hat sich der Anteil von Sorten mit hoher bis sehr hoher Y-Virus-Anfälligkeit mehr als verdoppelt und entsprechend auch deren Vermehrungsfläche entwickelt (BSA, 1998 u. 2018), sodass Versorgungsengpässe beim Pflanzgut einzelner Sorten in Zukunft wahrscheinlicher werden könnten. Einer erfolgreichen Resistenzzüchtung stehen aber sehr anpassungsfähige Erre-ger und durch den Klimawandel begünstigte Verbreitungswege gegenüber, die die Zeithorizonte für neue, widerstandsfähige Sorten deutlich nach hinten verschieben lassen.

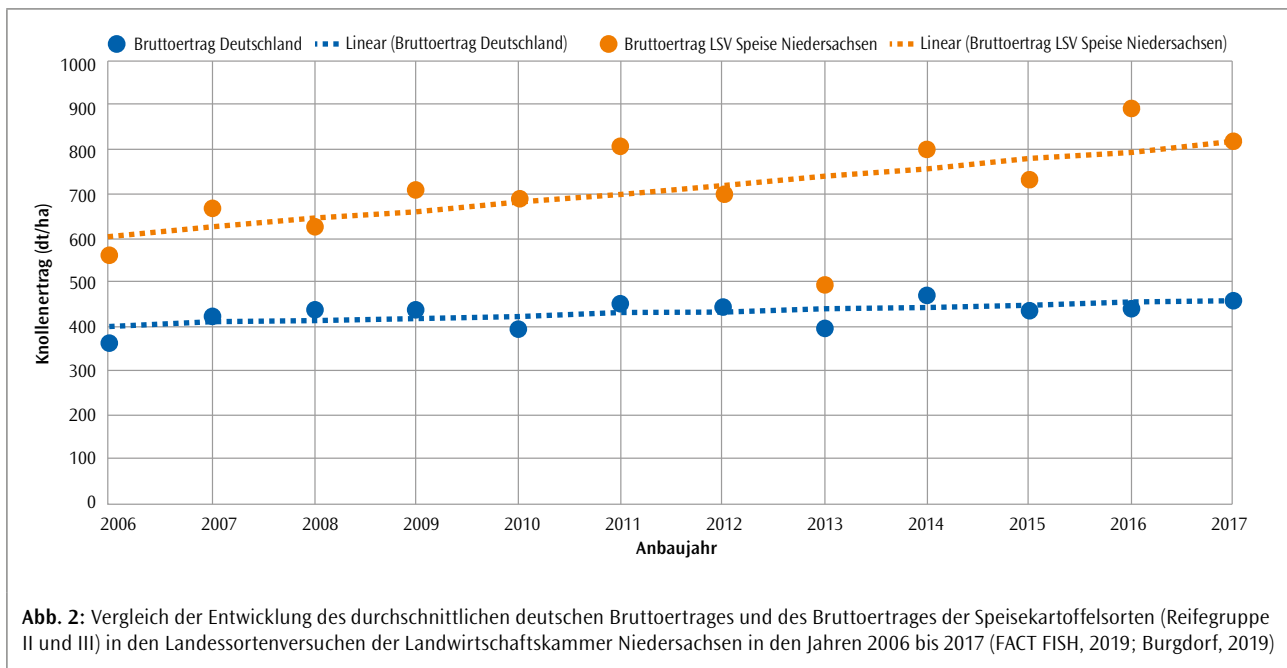
2. Ertragszuwachs

Innerhalb der einzelnen Verwertungsrichtungen stellt die Ertragsfähigkeit einer Sorte zumeist ein vorrangiges Entscheidungskriterium dar, weil hierüber in wesentlichem Maße die Wirtschaftlich-keit des Anbaus bestimmt wird. Grundlagen eines Ertragszuwachses sind sowohl der mit neuen Sorten verbundene züchterische Fortschritt als auch die stetige Optimierung des Anbaus. So ist z. B. der amtlich festgestellte, durchschnittliche Kartoffelertrag in Deutschland in den letzten 20 Jahren von 38,14 t/ha (1998) auf 46,79 t/ha (2017) angestiegen (FACT FISH, 2019), woraus sich im Mittel ein Ertragszuwachs von 0,38 t/Jahr ergibt. Die jährlichen Schwankungen des mittleren Knollenertrags sind dabei vor allem auf den Einfluss der Umwelt am jeweiligen Standort zurück-zuführen (LAIDIG et al., 2008). Unter Einbeziehung der deutschen Durchschnittserträge über den Zeitraum von 1961 bis 2017 (Abb. 1) ergibt sich ein noch ausgeprägter jährlicher Ertragszu-wachs von 0,52 t/ha (FACT FISH, 2019), dessen linearer Trend zudem deutlich stärker abgesichert ist ($R^2 = 0,85$). Bei Kartoffeln lässt sich ebenso wie bei den Futterpflanzen im Vergleich zu insge-samt 30 vom Bundessortenamt untersuchten Kulturen ein wesentlich ausgeprägterer Sorteneinfluss feststellen (LAIDIG et al., 2008).



In einer britischen Untersuchung zur Entwicklung des Knollenertrages im Zeitraum von 1964 bis 1976 ergab sich ein Ertragszuwachs von insgesamt 8,9 t/ha (0,74 t/Jahr), der zu mehr als 60 % auf den züchterischen Fortschritt in Form damals neu auf den Markt gekommener, leistungstärkerer Sorten zurückgeführt wurde (SIMMONDS, 1981; BRADSHAW, 2009). Einen überwiegenden Einfluss der Züchtung auf den linearen jährlichen Ertragszuwachs stellten RIJK et al. (2013) ebenfalls für den niederländischen Stärkekartoffelanbau in den letzten 20 Jahren fest, der auch durch den parallel laufenden Übergang zu mehrfachresistenten Stärkesorten gegen zystenbildende Kartoffelnematoden und *Synchytrium endobioticum* nicht abgeschwächt wurde. Für Speisekartoffeln ergaben sich in der niederländischen Untersuchung hingegen deutlich geringere Ertragszuwächse, da hier vermutlich Qualitätsaspekte in der Züchtung eine wachsende Bedeutung bekamen (RIJK et al., 2013).

In eine ganzheitliche Bewertung des Einflusses des züchterischen Fortschrittes auf den Ertragszuwachs ist jedoch auch der Unterschied zwischen dem genetischen Potenzial einer Sorte und deren realer Ertragsleistung in der Praxis einzubeziehen. So wurde bei der Einführung der Sorte Pentland Crown in Großbritannien in speziellen Anbauversuchen ein maximales Ertragsniveau von 90 t/ha erreicht, während die besten Praxiserträge bei 60 t/ha bzw. der landesweite Durchschnittsertrag bei 34 t/ha lag (HOLDEN, 1977). Eine ähnlich differenzierte Entwicklung ist beim Vergleich des deutschen Durchschnittsbruttoertrages für Kartoffeln mit dem Bruttoertrag der frühen und mittelfrühen Speisekartoffelsorten in den Landessortenversuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen festzustellen (Abb. 2), der für den Zeitraum 2006 bis 2017 einen jährlichen Ertragszuwachs von 0,51 bzw. 1,91 t/ha ergab (FACT FISH, 2019; BURGDORF, 2019). Wesentliche Ursache hierfür ist zum einen das optimale Düngungs- und Pflanzenschutzregime in Versuchsbetrieben, das auf größeren Praxisflächen nicht immer zu den erforderlichen Terminen realisierbar ist. Zum anderen bestehen zwischen den kartoffelbauenden Betrieben eines Landes z. T. erhebliche Standortunterschiede, die das Ertragspotenzial der einzelnen Sorten zusätzlich in verschiedenem Maße limitieren können.



In den meisten ökologischen Anbauverbänden wird bei Kartoffeln bis auf den Einsatz von kupferbasierten Produkten zur mehrmaligen Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule auf die Verwendung chemischer Pflanzenschutzmittel verzichtet. Diese Nutzungsbeschränkung spiegelt sich in einer stärkeren Umweltabhängigkeit wider, da bei einem witterungsbedingten frühen und intensiven Auftreten des Erregers *Phytophthora infestans* z. B. Anfang bis Mitte Juni die Kartoffelbestände absterben, bevor die Knollen eine ausreichende Größe erreicht haben. Gleichzeitig besteht ein ausgeprägteres Infektionsrisiko für die Knollen im Boden, was zu weiteren Ertrags- und Qualitätsverlusten während der Lagerung führen kann. Die Folge sind zunehmende Vermarktungsschwierigkeiten, da heute auch Ökokerntkartoffeln zumeist über den Lebensmittelhandel und dessen relativ standardisierte Liefervorgaben abgesetzt werden. Hier könnten zukünftig moderne Sorten mit einer breit angelegten Phytophthora-Resistenz sowohl zu einer Stabilisierung des deutschen Ökokerntkartoffelabsatzes als auch zur Sicherung der betrieblichen Einkommen der Ökobetriebe beitragen.

3. Zukünftige Herausforderungen

Die Landwirtschaft in Deutschland steht aktuell vor besonderen Herausforderungen, die sich beispielsweise in der Zukunftsstrategie Ackerbau der führenden deutschen landwirtschaftlichen Verbände und der sich in der Ausgestaltung befindlichen Ackerbaustrategie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft widerspiegeln. Wesentliche Triebfedern dieser neuen Konzepte landwirtschaftlichen Handelns sind sowohl der immer deutlicher spürbare Klimawandel als auch die sich verändernde gesellschaftliche Einstellung zu den Methoden der Erzeugung heimischer Lebensmittel.

3.1 Hohe Temperaturen

Die Kartoffel weist innerhalb eines weiten Temperaturfensters von 5 bis 35 °C eine hohe Anpassungsfähigkeit auf, die auch durch ihren stetig zunehmenden Anbau in vielen Regionen der Erde dokumentiert wird. Ihre höchste Produktivität erreicht die Kartoffel jedoch in gemäßigten Klimaten mit Temperaturen zwischen 20 und 25 °C. Insbesondere höhere Temperaturen führen zu einem steilen Abfall der Nettoassimilationsrate und bei über 30 °C ist kaum noch ein Ertragszuwachs zu verzeichnen. Mit dem kontinuierlichen Anstieg der Jahresmitteltemperatur vor allem in der letzten Dekade kommt es vielfach auch zu einem vermehrten Auftreten von Sommer- und Hitzetagen, bei denen die Tageshöchsttemperatur über 25 bzw. 30 °C steigt. Die langjährigen Vergleichswerte für Sommer- und Hitzetage wurden 2018 deutschlandweit deutlich überschritten, z. B. in Uelzen mit 77 Sommer- und 25 Hitzetagen gegenüber 35 und 6 Tagen im 10-jährigen Mittel (WETTERZENTRALE, 2019). Diese Konzentration hoher Temperaturen auch schon zu Beginn der Wachstumsphase war 2018 ein wesentlicher Auslöser für ein früheres Zusammenbrechen der Kartoffelbestände und den damit verbundenen Ertragsrückgängen. Pflanzenbauliche Möglichkeiten gegen hohe Temperaturen sind nur begrenzt verfügbar, sodass hier vor allem eine züchterische Selektion auf hitzetolerantere Sorten einen erfolgversprechenden Ansatz bietet.

Insbesondere die Aufeinanderfolge mehrerer Hitzetage trägt auch zu einer deutlich verstärkten Neigung der Kartoffelpflanzen zur Kindelbildung, Puppigkeit und einem stolonenbürtigen Neuaustrieb bei. Ein mit diesen Zweitwachstumssymptomen belastetes Erntegut unterliegt starken Qualitätsschwankungen und weist häufig eine geringere Lagerfähigkeit auf, wodurch die Vermarktungsfähigkeit stark eingeschränkt bzw. nur mit einem erheblichen Mehraufwand, z. B. durch den Einsatz von Salzbadern vor der Verarbeitung, sichergestellt werden kann. Grundlegende Erfolgsaussichten verspricht nur die Züchtung widerstandsfähigerer Sorten, die jedoch äußerst zeitaufwendig ist, da sich praxistaugliche Marker für dieses Merkmal noch in der forschungsbegleitenden Entwicklung befinden (SONNEWALD et al., 2014).

3.2 Wassermangel

Zeitgleich kommt es mit den hohen Temperaturen häufig auch zu einem Wassermangel durch ausbleibende Niederschläge, der sich beim Unterschreiten standortspezifischer nutzbarer Feldkapazitäten ebenfalls in merklichen Ertragsrückgängen dokumentiert. Eine Berechnungsmöglichkeit zum Ausgleich der aktuellen Bodenwasserdefizite steht bisher nur für einen Teil der Kartoffelanbaufläche zur Verfügung und wird sowohl durch die hohen Investitionskosten als auch durch die regional sehr unterschiedlichen, aber insgesamt deutlich begrenzten Wasserressourcen den zukünftigen Ausbau determinieren. Die züchterische Bearbeitung trockentoleranterer Kartoffelsorten wurde zwar bereits in mehreren Forschungsprojekten aufgegriffen, doch wird die Entwicklung breit einsetzbarer, praxistauglicher Marker durch die enge Verbindung zwischen Trockentoleranz und Ertragsrückgängen (yield penalty) erheblich erschwert (SPRENGER et al.,

2015). Hier könnten neue, in der EU aber aufgrund ihrer gentechnikrechtlichen Einordnung in der Praxis kaum anwendbare Pflanzenzüchtungstechniken zu einer spürbaren Verkürzung der Züchtungsarbeit beitragen, zumal neue Sorten sowohl eine hohe Hitze- als auch eine ausgeprägte Trockentoleranz aufweisen sollten.

3.3 Nährstoffeffizienz

In Verbindung mit den teilweise zu hohen Nitratgehalten im Grundwasser besteht seit Langem ein verstärktes gesellschaftspolitisches Interesse an den Düngungspraktiken der Landwirtschaft. Neben der wieder aktuell diskutierten Reduktion der Düngeraufwandmengen wird vor allem in einer Verbesserung der Nährstoffeffizienz ein wesentlicher Lösungsansatz gesehen. Dabei geht es zum einem um optimierte Ausbringungsverfahren z. B. in Form von weiterentwickelten Applikationstechniken und noch stärker bedarfsorientierten Ausbringungsterminen, die die unerwünschten Nährstoffverluste weiter reduzieren. Zum anderen steht die Aufnahme- und Verwertungseffizienz der Pflanzen im Fokus, da auch bei Kartoffeln immer wieder sortenspezifische Unterschiede feststellbar sind (DUPUIS et al., 2009).

Eine zentrale Rolle kommt dabei neben den standort- und produktionstechnischen Wachstumsfaktoren dem Wurzelwerk der Kartoffelpflanzen zu. Züchtungsarbeiten im Wurzelbereich sind jedoch durch einen hohen Arbeitsaufwand gekennzeichnet und lassen sich im Gegensatz zu Kulturen mit einem oberirdischen Erntegut bisher nur sehr schwierig durch automatische Phänotypisierungstechniken beschleunigen. Die genetische Vielfalt der Wildarten bietet ein erfolgversprechendes Potenzial, um die Nährstoffeffizienz neuer Sorten zu verbessern. Es sind jedoch erfahrungsgemäß lange Rückkreuzungsphasen einzuplanen, bis erste Kreuzungspartner zur Verfügung stehen, die auch den weiteren vielschichtigen Anforderungen neuer Sorten entsprechen.

3.4 Lagerfähigkeit

Die zunehmenden Witterungsextreme während des Anbaus wirken sich auch auf unterschiedliche Ebenen der Lagerfähigkeit des Erntegutes aus. Dabei gewinnt eine möglichst lang anhaltende Keimruhe auch vor dem Hintergrund der aktuell bevorstehenden Nichtwiederzulassung des bisher dominierenden Keimhemmungsmittels Chlorpropham eine besondere Bedeutung. Es stehen zwar Alternativprodukte zur Verfügung, deren Kosten aber um ein Vielfaches über dem bisherigen Wert liegen, sodass keimruhigere Sorten eine effektive Lösung zur Reduktion der Aufwandmenge und damit der Wirkstoffkosten für die landwirtschaftlichen Betriebe darstellen. Die Züchtung von Sorten mit einer ausgeprägteren Dormanz trägt auch im Speisekartoffelbereich zu einer wesentlichen Qualitätsabsicherung bei, denn trotz der Einhaltung einer optimalen, durch die maschinelle Kühlung abgesicherten Lagertemperatur ist die Keimung bei vielen Sorten ab dem Frühjahr nicht mehr vollständig zu unterdrücken. Dies zieht weitere Qualitätsrisiken, wie das

vermehrte Auftreten von Silberschorf oder Fusariosen, nach sich, die die Vermarktungsfähigkeit zunehmend beeinträchtigen. Stressphasen während des Feldanbaus können diese Problematik noch erheblich verstärken, wie die Erfahrungen aus dem Anbaujahr 2018 gezeigt haben.

Bei der Züchtung keimruhigerer Sorten ist jedoch auch ein gesichertes Auflaufverhalten der Bestände als Voraussetzung für eine konkurrenzfähige Ertragsbildung zu berücksichtigen. Diese widerstreitenden Ansprüche sind nur mit entsprechenden Kenntnissen über die Vererbungsmechanismen der einzelnen Eigenschaften zu realisieren. Für eine rasche Umsetzung dieser in kostenintensiven Forschungen gewonnenen Erkenntnisse in neue Sorten fehlen den deutschen bzw. europäischen Unternehmen aber die modernen, durch ihre Einstufung als Gentechnik praktisch nicht nutzbaren neuen Züchtungstechniken. Dies zieht nicht nur weitreichende Wettbewerbsnachteile für die Züchtungsunternehmen, sondern auch für die heimischen kartoffelbauenden und -verarbeitenden Betriebe nach sich.

3.5 Veränderungen des Schad- und Krankheitserregerpotenzials

Eine weitere Herausforderung der Züchtungsarbeit sind die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen hinsichtlich des Schad- und Krankheitserregerpotenzials. So können höhere Temperaturen, aber auch vermehrte Starkniederschläge zu schnelleren Vermehrungsraten der Erreger führen, die in kritischen Situationen eine deutliche Intensivierung der Pflanzenschutzmaßnahmen nach sich ziehen. Dies wurde z. B. im niederschlagsreichen Jahr 2017 an der Fungizidbehandlungsintensität gegen *Phytophthora infestans* und im Trockenjahr 2018 durch den regional stark vermehrten Knollenbefall mit Drahtwürmern (*Agriotes spp.*) deutlich.

Eine weitere Folge der Klimaveränderung ist das Auftreten neuer Schaderreger, wie z. B. der amerikanischen Kartoffelerdföhe (*Epitrix spp.*) in Europa, die nach ihrer wahrscheinlichen Einschleppung aus Nordamerika bereits in Portugal und Spanien gefunden wurden und aufgrund der veränderten klimatischen Bedingungen auch in Deutschland heimisch werden könnten (PFEILSTETTER u. BAUFELD, 2012). Eine große Bedrohung für den Kartoffelanbau stellt auch das als „Zebra-Chip“ bezeichnete Schadbild dar, dessen bakterieller Erreger und psyllider Vektor zuerst in Mexiko auftraten, aber jetzt auch in den USA, Neuseeland und 2016 erstmals in Europa (Spanien) nachgewiesen wurden (MÜHLEISEN u. ZIMMERMANN, 2017). Das Bakterium fördert die Umwandlung von Stärke in reduzierende Zucker, die beim Erhitzen als dunkle Streifen im Kartoffelgewebe sichtbar werden und damit eine Vermarktung entsprechend befallener Partien unmöglich machen. Aufgrund einer amtlichen Risikoanalyse kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich das Bakterium auch in Deutschland ansiedeln und nicht unerhebliche Schäden hervorrufen kann (SCHRADER et al., 2014).

Im Rahmen grundlegender Forschungsprojekte sind in den USA erste tolerante Sorten/Stämme gefunden worden, die in Zukunft für die weitere züchterische Arbeit genutzt werden können

(RASHIDI et al., 2017). Bisher steht aber die Entwicklung vektorenspezifischer Bekämpfungsprogramme im Vordergrund, um den weitreichenden wirtschaftlichen Schaden in den bestehenden Befallsgebieten zu begrenzen (ANDERSON et al., 2018). Diese Strategie ist jedoch in Deutschland wegen fehlender Insektizide zur Vektorenbekämpfung nur äußerst rudimentär umsetzbar und beinhaltet zudem aufgrund des eingeschränkten Wirkstoffwechsels eine hohe Resistenzgefahr, die sich bereits innerhalb weniger Jahre entwickeln kann.

Diese an der „Zebra-Chip-Krankheit“ beispielhaft aufgezeigte Entwicklung wird sich unter den veränderten gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen mit einem besonderen Fokus auf die Produktionsmethoden in der deutschen Landwirtschaft noch grundlegend verschärfen. Die absehbare direkte und indirekte Einschränkung rein chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen wird nur zum Teil durch physikalische Bekämpfungs- und veränderte Anbaumaßnahmen auszugleichen sein. Damit kommt dem Einsatz weniger krankheitsanfälliger und umwelttoleranterer Sorten eine weiter steigende Bedeutung zu (ZENTRALAUSSCHUSS DER DEUTSCHEN LANDWIRTSCHAFT, 2018), die von den deutschen und europäischen Kartoffelzuchtunternehmen nur mittel- bis langfristig zu realisieren ist. Dies liegt zum einen an den komplexen Ansprüchen, insbesondere an moderne Speise- und Veredelungssorten, die sich mittlerweile in über 50 Qualitäts-, Resistenz- und Ertragskriterien widerspiegeln. Zum anderen bedingt die Züchtung multiresistenter Sorten eine Nutzung unterschiedlicher Wildarten, deren eingekreuzter Pool an Eigenschaften zunächst in einer zeit- und kostenaufwendigen Pre-Breeding-Phase von den unerwünschten Merkmalen, wie z. B. hohe Virusanfälligkeit, verwachsene Knollenformen oder bitterer Geschmack, zu befreien ist, bevor diese Akzessionen dann als Kreuzungseltern nutzbar sind.

4. Neue Züchtungstechniken

Mit der vom Gerichtshof der Europäischen Union im Jahr 2018 vorgenommenen gentechnikrechtlichen Einordnung neuer Pflanzenzüchtungstechniken und den damit verbundenen Auflagen sind den europäischen und vor allem auch den mittelständischen deutschen Kartoffelzüchtern wichtige Werkzeuge verloren gegangen, die eine gezielte und zeitnahe Resistenzzüchtung nachhaltig unterstützt hätten. Demgegenüber sind diese Techniken in vielen anderen Staaten als unbedenklich und nicht den Gentechnikregelungen unterliegend eingestuft worden (DUENSING et al., 2018). Dies führt zu einer erheblichen Wettbewerbsverzerrung, die sich nicht nur im internationalen Vergleich, sondern auch bei der innereuropäischen Entwicklung resistenter und zugleich leistungsfähiger Kartoffelsorten negativ auswirken wird. Die damit verbundenen wirtschaftlichen Verluste werden sowohl die Zuchtunternehmen direkt über ein eingeschränktes Sortenportfolio als auch die deutschen kartoffelbauenden Betriebe indirekt über stärkere Ertragsschwankungen und unkalkulierbarere Knollenqualitäten zu tragen haben.

5. Literatur

- ANDERSON, J. A. D., P. J. WRIGHT, P. JAKSONS, A. J. PUKETAPU and G. P. WALKER, 2018. Assessment of tolerance to Zebra Chip in potato breeding lines under different insecticide regimes in New Zealand. In: American Journal of Potato Research. 95, S. 504–512.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2019. LFL-Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten – Speisekartoffeln [online]. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [Zugriff am: 23.04.2019]. Verfügbar unter: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/speisekartoffeln.html>
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2019b. LFL-Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten – Winterweizen [online]. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [Zugriff am: 23.04.2019]. Verfügbar unter: <https://www.stmelf.bayern.de/idb/winterweizen.html>
- BRADSHAW, J. E., 2009. Potato Breeding at the Scottish Plant Breeding Station and the Scottish Crop Research Institute: 1920-2008. In: Potato Research. 52, S. 141–172.
- BUNDESSORTENAMT, Hrsg., 2008. Beschreibende Sortenliste Kartoffel. Hannover: Selbstverlag. ISSN 1430–9777.
- BUNDESSORTENAMT, Hrsg., 2018. Beschreibende Sortenliste Kartoffel. Hannover: Selbstverlag. ISSN 1430–9777.
- BURGDORF, G., 2019. AW: LSV Speise [E-Mail]. 12.03.2019, 07:17.
- DE BOKX, J. A. and H. HUTTINGA, 1981. Potato virus Y. In: CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses, no. 242. Kew, UK: Commonwealth Microbiology Institute and Association of Applied Biology.
- DUENSING, N., T. SPRINK, W. A. PARROTT, M. FEDOROVA, M. A. LEMA, J. D. WOLT and D. BARTSCH, 2018. Novel features and considerations for ERA and Regulation of Crops produced by genome editing. In: Front. Bioeng. Biotechnol. 6 (79), S. 1–16.
- DUPUIS, B., W. REUST, T. HEBEISEN und T. BALLMER, 2009. Stickstoffdüngung bei neuen Kartoffelsorten: Ertrag und Qualität. In: AGRARForschung 16 (11–12), S. 484–489.
- EU-KOMMISSION, 2018. Survey Report Globodera spp. 2017. Brüssel: EU Kommission – Direction Générale (DG) Sante.
- FACT FISH, 2019. Deutschland: Kartoffeln, Ertrag [online]. München: CBI-Genios Deutsche Wirtschaftsdatenbank GmbH [Zugriff am: 18.03.2019]. Verfügbar unter: <http://www.factfish.com/de/statistik-land/deutschland/kartoffeln%2C%20ertrag>
- GERICHTSHOF DER EUROPÄISCHEN UNION. Urteil in der Rechtssache C-528/16 – Confédération paysanne u. a. / Premier ministre und Ministre de l’Agriculture, de l’Agroalimentaire et de la Forêt [online]. Luxemburg: Gerichtshof der Europäischen Union. [Zugriff am: 18.03.2019]. Verfügbar unter: <http://curia.europa.eu/juris/documents.jsf?num=C-528/16>

- HOLDEN, J. W. H., 1977. Potato breeding at Pentlandfield. In: Scottish Plant Breeding Station fifty-sixth annual report 1976–77. Scottish Plant Breeding Station, Pentlandfield. S. 66–97.
- JULIUS KÜHN-INSTITUT, 2019. Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis PAPA. Behandlungshäufigkeit [online]. Braunschweig: Julius Kühn-Institut. [Zugriff am: 23.04.2019]. Verfügbar unter: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46>
- JULIUS KÜHN-INSTITUT, 2019b. Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis PAPA. Wirkstoffmengen [online]. Braunschweig: Julius Kühn-Institut. [Zugriff am: 23.04.2019]. Verfügbar unter: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=33>
- JULIUS KÜHN-INSTITUT, 2019c. Fachausschuss Insektizide / Akarizide, Archiv, Resistenzstrategien Kartoffeln 2018 [online]. Braunschweig: Julius Kühn-Institut. [Zugriff am: 18.03.2019]. Verfügbar unter: <https://www.julius-kuehn.de/pflanzenschutz/fachausschuesse-pflanzenschutzmittelresistenz/>
- KHURAN, S. M. and M. N. SINGH, 1988. Yield loss potential of potato viruses X and Y in Indian potatoes. In: J. Indian Potato Assoc. 15 (1–2), S. 27–29.
- KIEWNICK, S., 2019. Charakterisierung von Kartoffelzystennematoden (*Globodera pallida*) mit veränderter Virulenz gegenüber Sorten mit Pa2/3 Resistenz [PowerPoint-Präsentation]. Braunschweig: Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft e. V., 07.03.2019.
- LADIG, F., T. DROBEK und U. MEYER, 2008. Genotypic and environmental variability of yield for cultivars from 30 different crops in German official variety trials. In: Plant Breeding. 127, S. 541–547.
- MÜHLEISEN, J. und C. ZIMMERMANN, 2017. Zebra-Chips-Krankheit der Kartoffel. Hinweise zur Pflanzengesundheit – Neue Schaderreger. Hrsg. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe.
- NOLTE, P., J. L. WHITWORTH, M. K. THORNTON and C. S. MCINTOSH, 2004. Effect of Seedborne Potato virus Y on Performance of Russet Burbank, Russet Norkotah, and Shepody Potato. In: Plant Disease. 88 (3), S. 248–252.
- PFEILSTETTER, E. und P. BAUFELD, 2012. *Epitrix* sp., ein kommendes Problem an Kartoffeln in der EU? In: Julius-Kühn-Archiv – 58. Deutsche Pflanzenschutztagung. 438, S. 165.
- PFLANZKARTOFFELVERORDNUNG in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.11.2004 (BGBl. I S. 2918), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 09.06.2017 (BGBl. I S. 1614) geändert worden ist.

- PROPLANTA GmbH & Co. KG, 2019. Pflanzenschutzmittel: NEMATHORIN 10G (005005-00) [online] Angebote-Preise. Stuttgart: Proplanta GmbH & Co. KG [Zugriff am: 10.03.2019]. Verfügbar unter: https://www.proplanta.de/Pflanzenschutzmittel/Angebote-Preise-NEMATHORIN-10G_psm_Mittel_preise_005005-00.html
- RASHIDI, M., R. G. NOVY, C. M. WALLIS and A. RASHED, 2017. Characterization of host plant resistance to zebra chip disease from species-derived potato genotypes and the identification of new sources of zebra chip resistance. In: PLoS ONE. 12 (8). S. 1–17.
- RIJK, B., M. VAN ITTERSUM and J. WITHAGEN, 2013. Genetic progress in Dutch crop yields. In: Field Crops Research. 149, S. 262–268.
- RUMPENHORST, H. J., 1980. Nematoden – eine stetige Herausforderung. In: Kartoffelbau. 31 (10), S. 345–348.
- SCHRADER, G., P. MÜLLER und E. STEFANI, 2014. Candidatus Liberibacter solanacearum – eine neue Gefahr für den Kartoffel- und Tomatenanbau? In: Journal für Kulturpflanzen. 66 (5), S. 169–174.
- SIMMONDS, N. W., 1981. Genotype (G), environment (E) and GE components of crop yields. In: Experimental Agriculture. 17, S. 355–362.
- SONNEWALD, U., J. VAN HARSELAAR, J. LÜBECK, S. GERTH und F. BÖRNKE, 2014. Markerentwicklung zur gezielten Züchtung hitzetoleranter Industrie-Kartoffelsorten. In: Gülzower Fachgespräche, 48, S. 31–46.
- SPRENGER, H., K. RUDACK, C. SCHUDOMA, A. NEUMANN, S. SEDDIG, R. PETERS, E. ZUTHER, J. KOPKA, D. K. HINCHA, D. WALTHER and K. KÖHL, 2015. Assessment of drought tolerance and its potential yield penalty in potato. In: Functional Plant Biology. 42, S. 655–667.
- SYNGENTA AGRO GmbH, 2019. Nemathorin Produktinformation [online]. Maintal: Syngenta Agro GmbH [Zugriff am: 10.03.2019]. Verfügbar unter: <https://www.syngenta.de/sites/g/files/zhg146/f/produktinformation-nemathorin-10g.pdf?token=1543993942>
- VAN DER ZAAG, D.E., 1987. Yield reduction in relation to virus infection. In: DE BOKX, J.A., J.P.H. VAN DER WANT (ed.): Viruses of potatoes and seed-potato production, 2. ed., Wageningen, Pudoc, pp. 146–149.
- VERORDNUNG ZUR BEKÄMPFUNG DES KARTOFFELKREBSSES UND DER KARTOFFELZYSTENNE-MATODEN vom 6.10.2010 (BGBl. I S. 1383), die zuletzt durch Artikel 7 der Verordnung vom 10.10.2012 (BGBl. I S. 2113) geändert worden ist.

WETTERZENTRALE, 2019. Wetterdaten dieser 365 Tage in Uelzen [online]. Bad Herrenalb: Wetterzentrale GmbH [Zugriff am: 18.03.2019]. Verfügbar unter: http://www.wetterzentrale.de/averages_de.php?station=5146&jaar=2018&maand=1&dag=1&jaar2=2018&maand2=12&dag2=31

ZENTRALAUSSCHUSS DER DEUTSCHEN LANDWIRTSCHAFT, 2018. Ackerbaustrategie der Deutschen Landwirtschaft [online]. Berlin: Zentrallausschuss der Deutschen Landwirtschaft [Zugriff am: 20.03.2019]. Verfügbar unter: <https://www.bauernverband.de/ackerbaustrategie>

