

Potenzial der Tröpfchenbewässerung im Kartoffelbau bei veränderten Klimabedingungen

Theodor Ballmer, Thomas Hebeisen, Roger Wüthrich und Franz Gut
Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

Auskünfte: Theodor Ballmer, E-Mail: theodor.ballmer@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 72 16



Versuch Tröpfchenbewässerung, Bewässerung zwischen den Reihen, Reckenholz 2010. (Foto: ART)

Einleitung

Im 2009 wurden weltweit auf einer Fläche von 18,7 Millionen Hektaren rund 330 Millionen Tonnen Kartoffeln (\varnothing 176 dt/ha) geerntet (FAOSTAT 2009). Die Anbaueignung in Höhenlagen, der hohe Energiewert pro Flächeneinheit, der hohe Nährwert und vielseitige Verwertungsmöglichkeiten werden ihr in der zukünftigen Versorgung der Weltbevölkerung eine wichtige Rolle zugestehen (Scott 2002). Heute werden bereits mehr als zehn Prozent der Erntemengen industriell verarbeitet. Der Bedarf an vielseitigen Convenience-Produkten aus Kartoffeln ist vor allem in Schwellenländern stark zunehmend (Keijbets 2008). Im Vergleich zu anderen Kulturen sind die Ertragschwankungen bei der Kartoffel grösser. Ungünstige Witterungs- und Bodenbedingungen, ungenügender Pflanzenschutz und zu geringe Nährstoffversorgung sind die wichtigsten Gründe. Trockenheit und hohe Luft- und Dammtemperaturen beeinflussen den Ertrag und die Qualität sehr empfindlich (Bodlaender *et al.* 1964; Reust 1990). So lagen zum Beispiel die durchschnittlichen Kar-

toffelerträge in der Schweiz im Trockenjahr 2003 bei 336 dt/ha und nach dem sehr warmen Sommer 2006 bei nur 324 dt/ha. Kartoffelknollen reagieren auf hohe Temperaturen und abrupten Wechsel in der Wasserversorgung, was häufig auch mit verspäteter Nachlieferung von Stickstoff kombiniert ist, oft mit Knollenmissbildungen wie Zwiewuchs, Wachstumsrissen und Hohlherzigkeit. Nicht selten treiben die Tochterknollen im Boden wieder aus (Kettenbildung) und bilden als Reaktion auf die Stärkeauslagerung ein glasiges Knollenfleisch, was zu ihrer vollständigen Entwertung und hohen Einkommensverlusten bei den Produzenten führt. Bedeutende Mengen von Bintje, Eba und Agria mussten 2003 und 2006 der Futterverwertung zugeführt werden. Fehlmengen mussten zu hohen Preisen importiert werden. Der schweizerische Bauernverband schätzte die Einkommensverluste im Trockenjahr 2003 auf über 500 Millionen Franken, obwohl zahlreiche Massnahmen für die Schadensbegrenzung eingeführt wurden (Keller und Fuhrer 2004). Bewässerungseinrichtungen können den Ertrag und Qualität verbessern und die inländische Wertschöpfung längerfristig sicherstellen. In der Klimastrategie Landwirtschaft sind wassersparende Feinverteilungssysteme als Anpassungsmassnahme bei veränderten Witterungsbedingungen aufgeführt (Anonymus 2011).

Weltweite Ausdehnung der Bewässerungsflächen

Weltweit beträgt der Entzug an Frischwasser für die landwirtschaftliche Produktion 69 Prozent (FAO 2002). Ausser in Europa und in Nordamerika ist der Frischwasserentzug der Landwirtschaft um ein Mehrfaches grösser als der Bedarf der industriellen Produktion sowie der Privathaushalte. Ende der 1990-er-Jahre wurden in den Entwicklungsländern 20 Prozent der Ackerfläche bewässert. Diese Fläche lieferte 40 Prozent aller Lebensmittel und fast 60 Prozent der weltweiten Getreideproduktion. Experten der FAO schätzen, dass sich die bewässerte Fläche bis 2050 auf über 300 Millionen Hektaren ausdehnen wird. Vor allem in den Ländern mit sehr knappen Landflächen und hoher Bevölkerungsdichte wie Indien und China wird immer mehr Grundwasser für die Bewässerung verbraucht. In den entwickelten Ländern werden

die verfügbaren Ackerbauflächen wegen Überbauung weiter abnehmen. Bei mindestens gleichbleibendem Versorgungsgrad wird auf den noch bewirtschafteten Flächen die Bewirtschaftungsintensität zunehmen. In den trockenheitsempfindlichen Gemüsekulturen und Kartoffeln wird der Einsatz von Bewässerung zunehmend bedeutender. Expertinnen und Experten schätzen, dass der Wasserbedarf der Schweizer Landwirtschaft in den nächsten Jahren auf 15 Prozent des Trinkwasserverbrauchs ansteigen wird (Weber und Schild 2007).

Bewässerungsbedürftigkeit in der Schweiz nimmt zu

Fuhrer und Jasper (2009) zeigten, dass basierend auf den Klimaszenarien in der Schweiz die Bewässerungsbedürftigkeit in der Westschweiz, im Unterwallis sowie in kleineren inneralpinen Tälern auf 41 Prozent der Ackerflächen zunehmen wird. Insgesamt müssten 26 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Ackerbau- und Futterbauflächen zukünftig bewässert werden. Für die Gebiete in der Ostschweiz werden länger andauernde Trockenheitsperioden prognostiziert. Leichtere, flachgründige Böden mit geringem Wasserspeichervermögen sind besonders gefährdet. Für die Inlandversorgung von Gemüse und Kartoffeln sind diese spezialisierten Produzenten im zentralen Mittelland und in der Ostschweiz zunehmend wichtiger. Ihre Anbaugelände liegen günstiger zu den Verarbeitungsbetrieben und den grösseren Absatzmärkten. Auftrag der Land- und Ernährungswirtschaft ist es, eine gesicherte Inlandversorgung der Konsumentenschaft auch bei schwierigen Produktionsbedingungen sicherzustellen. Der stetig zunehmende Frischwasserbedarf von Industrie und Privathaushalten wird aber in diesen Gegenden, die Verfügbarkeit des Wassers für die Landwirtschaft vor allem in den Sommermonaten zunehmend einschränken. Wassersparende Techniken könnten sich gegenüber der bisher eingesetzten Überkopfbewässerung durchsetzen und Nutzungskonflikte um die Ressource Wasser mindern.

Geringer Wasserverbrauch, reduzierter Energieaufwand für das Ausbringen sowie die geringere Gefährdung für Sickerwasserbildung mit verbundener Nährstoffauswaschung stehen höheren Investitionskosten der Tröpfchenbewässerung gegenüber. Aus Sicht des Ressourcenschutzes ist dies eine interessante Technik für die Verbesserung der Ertrags- und Qualitätssicherung im Kartoffelanbau.

Vor- und Nachteile der Tröpfchenbewässerung

Tröpfchenbewässerung bietet verschiedene Vorteile. Vermutlich früherer Bewässerungsbeginn bereits beim Knollenansatz mit der Möglichkeit einer Einspeisung von Flüssigdüngern, da die Tropfrohre bereits bei der Pflanzung eingezogen werden. Bedarfsgerechte und

Zusammenfassung

Von 2008 bis 2010 untersuchte die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART die Wirksamkeit einer Tröpfchenbewässerung bei den Sorten Agria und Charlotte. Bewässerungsschläuche waren bei identischer Wasserzufuhr zwischen den Reihen oder in jeder Dammkrone ausgelegt. Nur im 2008 waren die Rohwarenerträge der bewässerten Verfahren tendenziell höher. Im 2008 und 2009 erbrachte die Sorte Agria 12 bis 16 Prozent höhere Marktwarenerträge in den bewässerten Verfahren. Der Ertragsanteil übergrosser Knollen (> 70 mm) war in allen drei Versuchsjahren bei der Dammbewässerung am niedrigsten. Bei Bewässerung steigerte Agria in allen Versuchsjahren ihren Ertragsanteil in der Speisesortierung um 2 bis 9 Absolutprozent. Bei der Sorte Charlotte waren keine Bewässerungseffekte im Speiseanteil zu erkennen. In zwei von drei Jahren wiesen die bewässerten Knollen beider Sorten höhere Stärkegehalte auf. Bewässerte Knollen zeigten einen höheren Befall mit Pulverschorf, aber einen niedrigeren Befall mit Flach-, Netz- und Buckelschorf als unbewässerte Knollen. Tröpfchenbewässerung ist ein wasser- und energiesparendes Verfahren zur zukünftigen Ertrags- und Qualitätssicherung im Kartoffelbau.

genau verteilte Gaben direkt in den Hauptwurzel- und Knollenbildungshorizont vermindern Verdunstung sowie den Oberflächenabfluss. Eine korrekt installierte Anlage ist ohne Arbeitsaufwand sofort einsetzbar. Keine Benetzung der Pflanzen, so dass sich das Mikroklima nicht verändert. Kleine Gaben bewirken seltener Stau-nässe im Wurzel- und Knollenbereich, auch wenn ein Starkgewitter nachfolgt. Beides ist für die Ausbreitung von Kraut- und Knollenfäule sowie von bakteriellen Krankheiten wie *Pectobacterium* und *Dickeya* hemmend. Die Nährstoffausnutzung wird verbessert, da die Nährstoffe wegen der günstigen Bodenfeuchtigkeit gut verfügbar sind. Das Risiko der Nährstoffauswaschung mit dem Sickerwasser aus dem Wurzelhorizont ist vermindert. Kleine Wassergaben können überhitzte Böden kühlen und so Folgeschäden mindern. Die hohen Investitionskosten und die Entsorgung der Tropfschläuche sind nachteilig. Mehrmalige Verwendung, aber vor allem höhere Wasserpreise können dies ausgleichen. Über >

Wassereinsparungen von bis zu 30 Prozent wird aus der Praxis berichtet. Zudem wird auch Energie eingespart, da bei niedrigerem Druck bewässert wird (Grünig 2009; Müller *et al.* 2010).

Material und Methoden

Von 2008 bis 2010 wurden auf dem Versuchsbetrieb in Zürich-Reckenholz (440 m ü. M., ZH) Tröpfchenbewässerungsversuche durchgeführt. Die schwach humosen und leicht alkalischen Versuchsböden wiesen 17 bis 25 Prozent Ton, 36 Prozent Schluff sowie 35 Prozent Sand auf. Die Böden waren mit Phosphor und Kalium gut versorgt. Die in drei Gaben applizierte N-Menge schwankte zwischen 110 und 130 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr. Diese Böden sind bezüglich Wasser Speichervermögen und Nachlieferung in den meisten Jahren günstig.

Vorgekeimtes Pflanzgut der Sorten Agria und Charlotte wurden im 2008 am 19. April; 2009 am 7. April und im 2010 am 19. April von Hand in einem Abstand von 33 cm gepflanzt. Die Versuchsfläche pro Sorte und Verfahren betrug eine Are (4 Wiederholungen à 25 m²). Die chemische Unkrautkontrolle erfolgte nach dem Häufeln. Als Bewässerungsverfahren wurden Tropfschläuche zwischen den Reihen (Reihe) beziehungsweise im Damm ausgelegt (Damm). Die Schläuche Typ Dripnet PC 16 mm, 0,31 mm Wandstärke waren 5 cm unter der Dammkrone eingelegt oder lagen auf dem Furchenboden. Sie wiesen einen Tropflochabstand von 50 cm auf. Beide Verfahren erhielten die gleiche Wassermenge, da nur eine Kopfstation zur Verfügung stand. Die unbewässerte Kontrolle wurde nie bewässert. Der Bewässerungsbedarf wurde mit der Wasserbilanzmethode (Nievergelt 1988) abgeschätzt. Dabei wird mit Zusatzberechnung der Vorrat an leicht verfügbarem Bodenwasser ausgeglichen. Aufgrund der Gründigkeit der Böden wurden für das maximal pflanzenverfügbare, gespeicherte Wasser 40 mm angenommen. Im 2009 und 2010 wurden mit Tensiometern die Bodenwasserspannungen in einer Tiefe von 30 cm, 50 cm sowie im 2010 auch auf 70 cm (gemessen ab Mitte des geöffneten

Dammes) in allen Verfahren und drei Wiederholungen gemessen. Im Knollennest wurde die Bodentemperatur mit ELPRO-Loggern gemessen (eine Wiederholung). Wasser wurde via Hydrant zu einer Kopfstation mit einem Reduzierventil den Tropfschläuchen zugeführt.

Von jedem Verfahren wurden nach Sortierung und Zwischenlagerung 100 Knollen auf den Befall mit verschiedenen Krankheitserregern und andere Mängel untersucht.

Resultate

Niederschlagsverteilung im 2009 und 2010 sehr günstig

Die langjährigen Witterungsdaten (1961–1991) des Standortes Reckenholz der Monate Mai bis Juli zeigen durchschnittliche Niederschläge von 322 mm sowie eine durchschnittliche Lufttemperatur von 15,6 °C. Im Vergleich war das 2008 mit 249 mm weniger niederschlagsreich und mit 17,3 °C deutlich wärmer. 2009 war mit 386 mm Regen etwas niederschlagsreicher als das langjährige Mittel und mit 17,0 °C ebenfalls sehr warm. 2010 fielen überdurchschnittlich hohe Niederschläge von 444 mm bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 16,6 °C (Abb. 1, Tab. 1). Mit höheren Lufttemperaturen in den Sommermonaten ist zukünftig zu rechnen. Die für die Wasserbilanz nach Penman-Monteith berechnete Verdunstung (Referenz Verdunstung Grasbestand) schwankte zwischen 203 mm (2010) bis 242 mm (2008). Nur gerade im Mai 2008 resultierte ein Regendefizit von 30 mm (Tab. 1). Von Mai bis Juli wurden 75 mm (2009) bis 155 mm (2010) mit Tropfbewässerung ausgebracht. Zeitliche Verteilung und Wassermenge sind für die Jahre 2009 und 2010 in Abbildung 3 aufgezeichnet.

Deutlich tiefere Bodentemperaturen in den bewässerten Verfahren im 2008

Im 2008 stiegen die durchschnittlichen Bodentemperaturen in den unbewässerten Dämmen gegen Ende Juni auf 24 °C an (Abb. 2). Im Vergleich lagen die mittleren Temperaturen bei der Dammbewässerung bei 22 °C. Die

Tab. 1 | Monatliche Bilanz der Niederschläge, der Verdunstung (Penman-Monteith) und der Bewässerungsgaben in den Monaten Mai bis Juli der Versuchsjahre 2008 bis 2010

Jahre	2008			2009			2010		
	Niederschlag	Verdunstung	Bewässerung	Niederschlag	Verdunstung	Bewässerung	Niederschlag	Verdunstung	Bewässerung
Mai	51	82	50	101	66	35	144	39	0
Juni	84	70	50	114	78	15	131	73	50
Juli	114	90	48	171	68	25	170	91	105
Summe	249	242	148	384	212	75	444	203	155

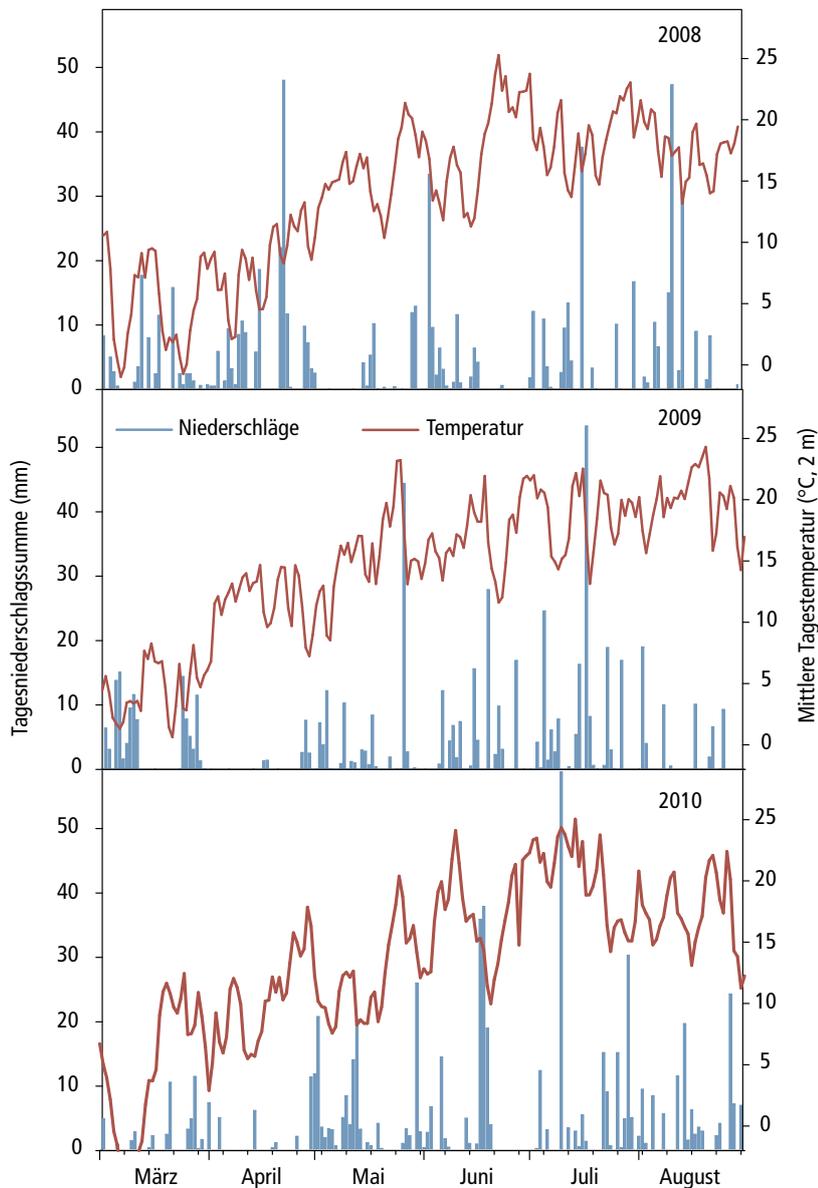


Abb. 1 | Vergleich der täglichen Niederschlagssummen sowie der durchschnittlichen Tagestemperaturen (2 m) am Standort Zürich-Reckenholz in den Monaten März bis August der Jahre 2008 bis 2010; Meteostation Zürich-Reckenholz, 440 m ü. M.

Dammtemperaturen bei der Reihenbewässerung lagen dazwischen. Die Wasserabgabe direkt in den Damm wirkt stärker abkühlend. Die Dammtemperaturen waren bei Charlotte in allen Verfahren höher als in den Dämmen von Agria. Üppigere Blattentwicklung und die grossen Blätter von Agria könnten dies bewirkt haben. An sehr heissen Tagen verbessert die Bewässerung die Schutzfunktion der Blätter und trägt damit zur Verhinderung von mehrtägig hohen Dammtemperaturen bei. Dies wirkt dem Wiederaustrieb der Knollen entgegen (Peters 2007). Im 2009 und 2010 wurde an heissen Tagen in kleinen Mengen zur Kühlung bewässert, obwohl die Wasserbilanzen immer günstig waren. Im 2009 traten

Dammtemperaturen von mehr als 20 °C bereits während drei Tagen in der letzten Maiwoche, aber dann erst wieder in der zweiten Augustwoche auf. Im 2010 traten sie erst gegen Mitte Juli auf. 2009 und 2010 waren temperaturmässig deutlich ausgeglichener als 2008.

Niedrige Saugspannung des Bodenwassers

Nievergelt (1989) zeigte, dass produktionswirksames Wasser in den Mittelporen vom Boden mit einer Saugspannung von minus 100 bis 1000 Hectopascal (hPa) festgehalten wird. Als idealer Saugspannungsbereich für Kartoffelwurzeln werden minus 200 bis 500 hPa genannt. Unsere Messungen zeigten, dass im 2009 im unbewässert

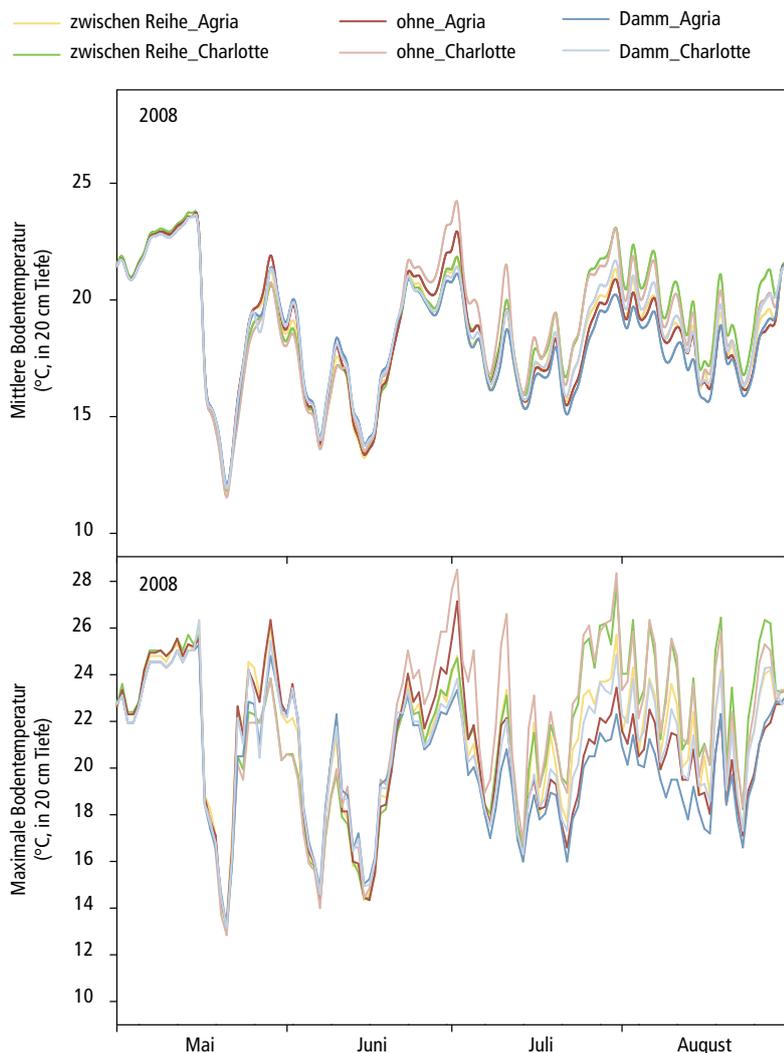


Abb. 2 | Vergleich der durchschnittlichen Tagestemperaturen und Tagesmaxima, gemessen auf der Höhe des Knollennestes in Abhängigkeit verschiedener Bewässerungsverfahren bei den Sorten Agria und Charlotte.

ten Verfahren maximale Saugspannungen von minus 500 hPa in der ersten und zweiten Dekade Juni aufgetreten sind. Im 2010 sank die Saugspannung gegen Ende Juni kurzfristig auf minus 800 hPa an (Abb. 3). Eine leicht erschwerte Wasseraufnahme trat also nur gerade zu Beginn Juli in einer kurzen Periode auf. Verminderte Transpiration und Photosynthese beschränkten das Wachstum vermutlich nicht. Das Blattwachstum kann ab minus 150 hPa aber bereits leicht vermindert sein (Dalla Costa und MacKerron 2000). Die zeitlichen Schwankungen in der Saugspannung waren bei der Dammbewässerung deutlich geringer als bei der Reihenbewässerung. Die tieferen Saugspannungswerte im 2009 im Verfahren «Reihenbewässerung» sind gemäss unserer Bodenkartierung auf Auffüllungen in dieser Teilfläche (2 von 3 Messpunkten der Tensiometer) zurückzuführen.

Bewässerung bewirkte höheren Marktertrag

Die Rohertäge in den bewässerten Verfahren waren nur gerade im 2008 tendenziell (\varnothing 6 %) höher als im unbewässerten Verfahren (Abb. 4). Die Markterträge des Kalibers (42,5–70 mm) waren im 2008 bei der Sorte Agria bei Dammbewässerung um 14 Prozent respektive bei der Reihenbewässerung um 16 Prozent höher als die unbewässerte Kontrolle. Bei der Sorte Charlotte betrug die Unterschiede 16 Prozent bei Dammbewässerung respektive 2 Prozent bei Reihenbewässerung. Im 2009 waren die Markterträge bei Agria 13 (Damm) respektive 12 Prozent (Reihe) höher. Bei der Sorte Charlotte erzielte das unbewässerte Verfahren 5 Prozent (Damm) respektive 4 Prozent (Reihe) höhere Markterträge. Im 2010 resultierten bei Agria keine Unterschiede im Marktertrag. Bei Charlotte übertraf die unbewäs-

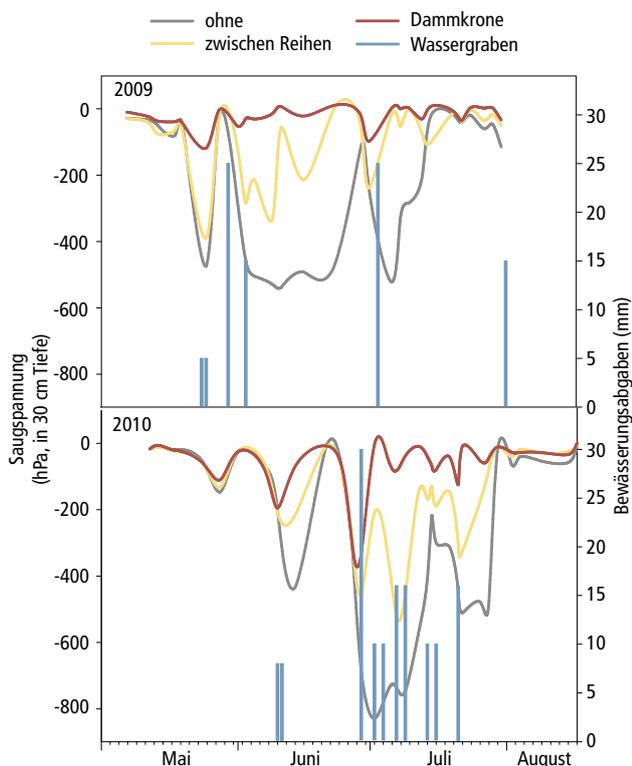


Abb. 3 | Verlauf der mittleren Saugspannung des Bodenwassers von Mai bis Juli im 2009 und 2010 in Abhängigkeit zu den Bewässerungsverfahren, gemessen mit Tensiometern auf einer Bodentiefe von 30 cm.

serte Kontrolle die beiden bewässerten Verfahren um durchschnittlich 10 Prozent. Im 2008 und 2009 produzierte die Sorte Agria hohe Ertragsanteile an übergroßen Knollen (> 70 mm, Abb. 4). In den bewässerten Verfahren waren die Ertragsanteile dieser Übergrößen am Rohertrag um 12 Prozent (2008) respektive um 25 Prozent (2009) niedriger. Im 2008 war bei der Sorte Agria der Ertragsanteil in Speisesortierung in den bewässerten Verfahren um 6 Absolutprozent (58 %), im 2009 um 9 (67 %) respektive im 2010 um 2 Absolutprozent (87 %) höher als im unbewässerten Verfahren. Bei der Sorte Charlotte waren keine solchen Effekte im Anteil der Speisesortierung zu erkennen.

Höhere Stärkegehalte bei der Sorte Agria

Die beiden Sorten reagierten im Stärkegehalt ihrer Knollen im 2008 und 2009 unterschiedlich auf die Bewässerungsverfahren. Knollen der Sorte Agria bildeten höhere Stärkegehalte in den bewässerten Verfahren als in den Knollen der unbewässerten Kontrollen. Im 2010 beein-

flussten die Bewässerungsverfahren den Stärkegehalt von Agria nicht. Knollen der Sorte Charlotte reagierten in keinem Versuchsjahr mit einem veränderten Stärkegehalt auf die Bewässerung. Agria erreichte immer höhere Stärkegehalte als Charlotte.

Fricke (2005) berichtete über mehrjährig positive Erfahrungen der Zusatzberegnung in der Stärkekartoffelproduktion in den trockenheitsgefährdeten Anbaugebieten in Niedersachsen (235000 Hektaren). Dank Bewässerung konnten je nach Standort 30 Prozent höhere Knollen- und Stärkeerträge erzielt werden. Höhere Nährstoffentzüge verminderten den mineralisierten Stickstoff im Boden, so dass im Kulturübergang die Gefährdung von Nährstoffauswaschung ins Grundwasser geringer war.

Müller et al. (2010) berichteten über Ertragssteigerungen von über 40 Prozent bei Tröpfchenbewässerung auf verschiedenen Standorten und Böden in Bayern im 2010. Andreas Ruesch vom Beratungsdienst des Strickhofs Lindau erzielte im 2010 in Benken (Zürcher Weinland) mit verschiedenen Bewässerungsverfahren Mehrerträge von über 40 Prozent, wobei er keine Unterschiede zwischen Überkopf- und Tröpfchenbewässerung feststellte (pers. Mitteilung). Diese positiven Erfahrungen verdeutlichen, dass auch bei räumlich kurzen Abständen bedeutende Unterschiede in den Witterungs- und Standortseigenschaften die Wirkung der Bewässerung stark beeinflussen.

Knollen mit Fäulnis – eher auf Bodenunterschiede zurückzuführen

In allen drei Versuchsjahren war die Krautfäulebekämpfung wirksam, so dass Blattinfektionen verhindert werden konnten. Bei den Ernten mussten sehr wenige Knollen mit Fäulnis (\emptyset 3 dt/ha) herausgelesen werden. Bei der Sorte Agria wurden im 2008 etwas mehr Knollen mit Fäulnis herausgelesen (\emptyset 6 dt/ha) als bei der Sorte Charlotte (\emptyset 2 dt/ha). Es bestanden keine gesicherten Unterschiede zwischen den Bewässerungsverfahren und der unbewässerten Kontrolle. Im 2009 wies die Sorte Charlotte mehr Knollen mit Fäulnis auf (4 dt/ha gegenüber 2 dt/ha). Im 2010 wurden im Reihenbewässerungsverfahren bei beiden Sorten mehr Knollen mit Fäulnis als in der unbewässerten Kontrolle ausgezählt. Vermutlich sind eher Bodenunterschiede als die beiden Bewässerungsverfahren für diese insgesamt kleinen Unterschiede im Auftreten von Knollenfäulnis verantwortlich.

Mehr Pulverschorfbefall bei Dammbewässerung, aber weniger Schorf

Im dreijährigen Durchschnitt wiesen vor allem die Knollen von Agria der Dammbewässerung mit einem Befall von 16,7 Prozent mit Pulverschorfsymptomen deutlich

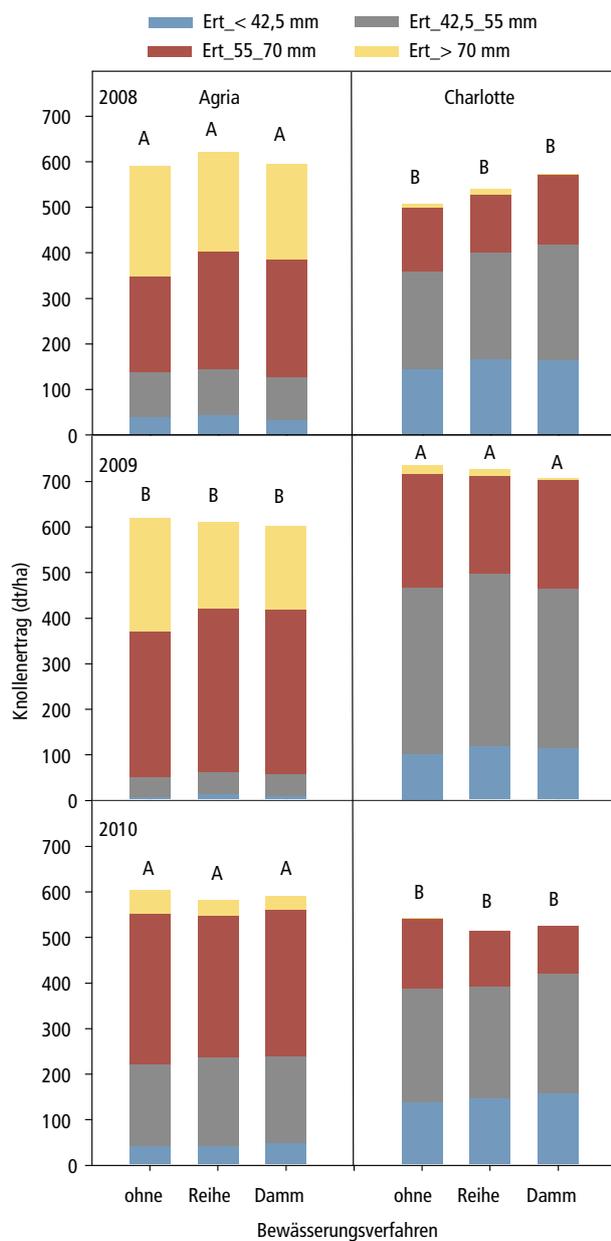


Abb. 4 | Vergleich der durchschnittlichen Rotherträge von Agria und Charlotte in wiederholten Kleinparzellenversuchen verschiedener Bewässerungsverfahren der Versuchsjahre 2008 bis 2010. Gleiche Buchstaben der Verfahren bedeuten, dass sich die Erträge statistisch nicht unterscheiden.

mehr Befall auf als die Knollen der Reihenbewässerung (9,2%) respektive der nicht bewässerten Kontrolle (6,3%). Eine Befallsförderung ist in vielen Bewässerungsgebieten weltweit anzutreffen (Merz *et al.* 2009). Der Befall mit Flach- und Netzschorf (*Streptomyces scabies*) der Sorte Agria war im Dammbewässerungsverfahren niedriger (Ø 2,9%) als auf den Knollen aus der Reihenbewässerung (Ø 9%) respektive der unbewässerten Verfahren (Ø 11%). Beim Buckelschorf sind gleichgerichtete

Unterschiede nur im 2009 und 2010 aufgetreten. Die äussere Knollenqualität von Charlotte ist wegen geringer Anfälligkeit gegenüber den Schorfkrankheiten deutlich besser als bei Agria. Einzig bei den Eisenflecken traten in zwei von drei Jahren etwas mehr befallene Knollen in den unbewässerten Verfahren auf. Geringerer Schorfbefall im Dammbewässerungsverfahren könnte durch einen geringeren Sauerstoffgehalt im Damm und tiefere Dammtemperaturen bewirkt worden sein. Im Reihenbewässerungsverfahren ist die Sauerstoffverdrängung im Damm nicht vorhanden, so dass höherer Schorfbefall möglich ist. Knollenmissbildungen wie Wachstumsrisse, Hohlherzigkeit und Kettenbildung sind in diesen Versuchen nie verstärkt aufgetreten. Im Sommer 2006, einem Jahr mit starkem Wiederaustrieb der Knollen bei den Hitze empfindlichen Sorten wie Agria und Bintje, schwankten die durchschnittlichen Bodentemperaturen (5 cm Tiefe im Reckenholz) ab Mitte Juni während mehr als sechs Wochen zwischen 23 und 25 °C. Diese Temperatureinwirkung war damit ausgeprägter als in den Versuchsjahren 2008 bis 2010.

Schlussfolgerungen

Sofern Bewässerung möglich ist, werden die Auswirkungen des Klimawandels in Mitteleuropa eher positive Auswirkungen auf die Knollenerträge haben. Der erhöhte CO₂-Gehalt in der Atmosphäre wird zu einer verbesserten Wassernutzungseffizienz führen, da die Stomata weniger weit geöffnet sein müssen. Eher später abreifende Sorten mit hohem Ertragspotenzial sollten wegen der längeren Vegetationsperiode im Anbau an Bedeutung gewinnen. Krankheitserreger wie der Kraut- und Knollenfäulepilz werden wegen günstigeren Temperaturverhältnissen mehr Generationen ausbilden können. In Nordeuropa werden sich die Anbauggebiete weiter nach Norden verschieben. Die Bedeutung von Tröpfchenbewässerung als wasser- und energiesparendes Verfahren wird an trockenheitsgefährdeten Standorten zunehmen. Mit ihr kann die Ertragssicherheit und Qualität der Kartoffeln gezielt verbessert werden. ■

Riassunto**Potenziale dell'irrigazione a goccia nelle colture di patate in condizioni climatiche modificate**

Tra il 2008 e il 2010 la Stazione di ricerca Agroscope Reckenholz ART ha analizzato l'efficacia dell'irrigazione a goccia per le varietà Agria e Charlotte. I tubi di irrigazione sono stati collocati, in condizioni di apporto idrico identiche, tra le file o all'apice di ogni rincalzatura. Solo nel 2008 la resa di materia prima delle superfici irrigate era tendenzialmente più elevata. Nel 2008 e nel 2009 la varietà Agria ha fornito il 12–16 per cento in più di resa di merce commercializzabile sulle superfici irrigate. Nel corso di tutti e tre gli anni di prova la quota più bassa di tuberi di dimensione maggiore (> 70 mm) è stata rilevata sulle superfici irrigate con l'irrigazione della rincalzatura. Sulle superfici irrigate la resa di Agria nella gamma di patate da tavola è aumentata in tutti gli anni della prova del 2 fino al 9 per cento in valore assoluto. Per la varietà Charlotte non si sono riscontrati effetti dell'irrigazione sulla quota di patate da tavola. In due dei tre anni, i tuberi irrigati di entrambe le varietà hanno presentato tenori di amido più elevati. Tali tuberi hanno mostrato un più elevato tasso di infestazione da scabbia polverulenta della patata, ma inferiore per quanto riguarda la scabbia superficiale, sporgente e incavata rispetto ai tuberi non irrigati. L'irrigazione a goccia nelle colture di patate è una procedura a risparmio idrico ed energetico per la futura garanzia della resa e della qualità.

Literatur

- Anonymus, 2011. Klimastrategie Landwirtschaft: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft. Bericht des Bundesamtes für Landwirtschaft, Referenz/Aktenzeichen: 2011.05.26 / fed; Zugang: www.blw.admin.ch > Themen > Nachhaltigkeit > Ökologie > Klima, 46 S.
- Bodlaender K. B. A., Lugt C. & Marinus J., 1964. The induction of second-growth in potato tubers. *European Journal of Potato* 7 (1), 57–71.
- Dalla Costa L. & MacKerron D. K. L., 2000. Plant and soil water status: what is their role and what can we do with their values? In: Management of nitrogen and water in potato production (eds. Haverkort A. J. & MacKerron D. K. L.), 175–218. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, p. 353.
- Fricke E., 2005. Kein Kartoffelanbau ohne gesicherte Wasserversorgung! *Kartoffelbau* 56 (3), 86–9.
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* 16 (10), 396–401.
- Grünig K., 2007. Kartoffeln hängen am Tropf. Praxiserfahrungen aus der Schweiz. *Kartoffelbau* 58 (11), 426–9.
- Keijbets M. J. H., 2008. Potato processing for the consumer: developments and future challenges. *Potato Research* 51, 271–81.

Summary**Potential for drip irrigation in potato production under changing climatic conditions**

From 2008 to 2010 Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART examined the effectiveness of drip irrigation with the potato varieties Agria and Charlotte. Irrigation hoses were laid out between the rows or in each ridge of the furrow with an identical water supply. Only in 2008 there was a tendency for the gross yields produced by the irrigated methods to be higher. In 2008 and 2009, the Agria variety produced 12 to 16 per cent higher marketable yields with the irrigated methods. The percentage yield of oversized tubers (> 70 mm) was the lowest in all three years of the trial with ridge irrigation. With irrigation, Agria's yield share in ware size rose by 2 to 9 absolute per cent in all the years of the trial. With the Charlotte variety, no effects of irrigation were noted on the percentage of ware size tubers. In two of the three years, the irrigated tubers of both varieties displayed a higher starch content. Irrigated tubers showed a higher infestation rate with powdery scab, but a lower infestation rate with common scab in netted, deep pitted and raised form respectively than non-irrigated tubers. Drip irrigation is a water- and energy-saving method for future yield and quality assurance in potato production.

Key words: potato, drip irrigation, marketable yield, tuber diseases.

- Keller F. & Fuhrer J., 2004. Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. *Agrarforschung* 11 (9), 396–401.
- Merz U., Schwaerzel R. & Keiser A., 2009. Der Pulverschorf der Kartoffel. *Kartoffelbau* 60 (8), 1–6.
- Müller M. R., Demmel M., Marx M., Brandhuber R. & Kellermann A., 2011. Tropfbewässerung von Speisekartoffeln. Aktuelle Versuchsergebnisse aus Bayern. *Kartoffelbau* 62 (4), 36–41.
- Nievergelt J., 1988. Beregnungssteuerung im Kartoffelbau. Praxisversuche mit Wasserbilanzen und Tensiometern. *Landwirtschaft Schweiz* 1 (1), 57–62.
- Nievergelt J., 1989. Beregnungssteuerung im Kartoffelbau. Erfahrungen aus dreijährigen Praxisversuchen. *Schweizerische Landtechnik* 51 (7), 10–3.
- Peters R., 2007. Qualitätsprobleme der Kartoffelernte 2006 – Analyse und Schlussfolgerungen. *Kartoffelbau* 56 (1–2), 4–8.
- Reust W., 1989. Conditions météorologiques et tubérisation des pommes de terre. *Revue Suisse d'Agriculture* 22 (1), 31–4.
- Scott G. J., 2002. Maps, models, and muddles: world trends and patterns in potatoes revisited. *Potato Research* 45, 45–77.
- Weber M. & Schild A., 2007. Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern, 17 S.