

Gut für Qualität und Umwelt

Bewässerung von Kartoffeln



www.alb-bayern.de/bef4

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Michaela Kaspar
Adolf Kellermann
Bayer. Landesanstalt
für Landwirtschaft



Christian Landzettel
Bioland e.V.



Franz Steppich
AELF Augsburg



Dr. Rolf Peters
PotatoConsult UG



Hans Dennert
Beratung priv.

Dr. Martin Müller
ALB Bayern e.V.



Die Foren, denen Fachleute der jeweiligen Sachgebiete angehören, sind Expertenausschüsse zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung.

Foren der ALB Bayern e.V.:

- ▶ Bau Forum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum Bayern (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL

Partner



Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Impressum

Herausgeber Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
 (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 71-3460

Telefax: 08161 / 71-5307

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de

1. Auflage April 2020
© ALB Alle Rechte vorbehalten
Titelfoto Rolf Peters, PotatoConsult UG

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Rahmenbedingungen	4
2. Bewässerungsmanagement	5
3. Wachstum, Qualität und Nährstoffaufnahme	6
4. Bewässerung frühzeitig starten	7
5. Bewässerung während der Hauptvegetation	8
6. Äußere Qualität	10
7. Innere Qualität	12
8. Wiederbefeuchtung gestresster Bestände	14
9. Auswirkungen auf die Krautminderung	17
10. Rodebedingungen	17
11. Zusammenfassung	18
12. Literatur	19

1. Rahmenbedingungen

An vielen Standorten mussten Kartoffelerzeuger in den Dürrejahre 2015, 2018 und 2019 ohne Bewässerung erhebliche Ertrags- und Qualitäts-einbußen hinnehmen. Klimamodellen zufolge werden Wetterextreme mit langen Trockenperioden und intensiven Hitzewellen in Zukunft häufiger auftreten. Zudem wird sich in vielen Regionen Deutschlands die Niederschlagsverteilung hin zu Winterniederschlägen mit vermehrter Frühsommertrockenheit verschieben. Weil Kartoffeln über ein - im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen - nur schwaches Wurzelsystem mit geringen Wurzeltiefen verfügen (Dahal et al. 2019), wird eine Zusatzbewässerung selbst auf besseren Standorten zur Sicherung der Erträge und vor allem der Qualitäten daher immer wichtiger werden.

Die vergangenen Trockenjahre haben jedoch auch einen deutlichen Rückgang der Grundwasserneubildung bewirkt. Dies hat insofern eine weitreichendere Bedeutung, da sich die Bemessung erlaubnispflichtiger Grundwasserentnahmen für Bewässerungszwecke maßgeblich an der Grundwasserneubildung vorangegangener Jahre orientiert. Vor diesem Hintergrund wirken sich auch ackerbauliche Maßnahmen, wie ein standortgerechter Zwischenfruchtanbau, sehr positiv aus. Gerade gut entwickelte Zwischenfruchtbestände können auch im Herbst bzw. Winter häufiger zu erwartende Starkregenereignisse vollständig aufnehmen und damit einem unproduktiven Wasserablauf effektiv entgegenwirken.

Dennoch ist in den nächsten Jahren eine teilweise Einschränkung der Grundwassernutzung für Bewässerungszwecke zu erwarten, sodass alternative Wasservorkommen, wie die Entnahme aus Oberflächengewässern, in der Regel als Uferfiltrat, oder Speicherkonzepte, an Bedeutung gewinnen werden. Gleichzeitig sind die Untersuchungen im Bereich der praktischen Bewässerung zu intensivieren, um sowohl den Bewässerungsbedarf noch standort- und pflanzenbezogener zu definieren als auch die unproduktiven Wasserverluste weiter zu minimieren. Ergänzend wird verstärkt nach trocken-toleranten Sorten gesucht, deren Bedeutung in der gesam-

BEWÄSSERUNG SENKT ANBAURISIKEN

Pflanzenbauliche Effekte:

- ▶ Stabilisierung der Bodengesundheit
- ▶ Bessere und gleichmäßigere Mineralisation von Bodennährstoffen
- ▶ Höhere Nährstoffeffizienz und geringere Nitratauswaschung
- ▶ Sinkende Auswaschungsgefahr von Nährstoffen während der Bewässerungsperiode
- ▶ Sinkende (Rest-)Nitratwerte zu Vegetationsende
- ▶ Förderung der pflanzeigenen Abwehrmechanismen
- ▶ Qualitätssicherung
- ▶ Ertragssicherung
- ▶ Reduktion von Knollenverlusten bei der Ernte (Durchwuchskartoffeln)

Betriebswirtschaftliche Effekte:

- ▶ Bessere Planbarkeit der Düngung und gezieltere Dosierbarkeit nach Bedarf
- ▶ Optimierung der Bestandesführung
- ▶ Gesicherte Absatzmöglichkeiten der Ernte
- ▶ Geringere Risiken bzgl. Preisabschlägen / Ablehnung der Ware wegen Nichterfüllung der geforderten Qualitätskriterien
- ▶ Bessere Planbarkeit von Ernte- und Absatzmengen zur Vermeidung von Vertragsstrafen
- ▶ Höhere Erlöse aus der Kartoffelproduktion

ten Wertschöpfungskette aber noch deutlicher herausgesellt werden muss.

Trotz aller Maßnahmen wird jedoch, insbesondere in Regionen mit wenig Niederschlägen, nicht immer ein ausreichendes Wasserdargebot für alle Flächen und alle Kulturen zur Verfügung stehen. Dies erfordert von allen Beteiligten in Forschung, Beratung, Verwaltung und Landwirtschaft ein transparentes sowie nachhaltiges Wassermanagement.

2. Bewässerungsmanagement

Während seiner rund viermonatigen Wachstumsperiode verbraucht ein leistungsfähiger Kartoffelbestand (Speisekartoffeln) im Mittel der Jahre rund 430 mm Wasser. Der Verbrauch entsteht praktisch ausschließlich durch Verdunstung. Das Wasser muss aus dem pflanzenverfügbaren Bodenvorrat und Niederschlägen stammen. An vielen Standorten reicht dieses natürliche Wasserangebot allerdings nicht aus oder die Verteilung der Niederschläge ist zu ungleichmäßig. Zusätzliche Bewässerungsgaben sind dann erforderlich.

Mit zunehmender Austrocknung der Böden sinkt die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser. Ab einem gewissen Grad der Austrocknung steigen die Saugkräfte sehr stark an, die das restliche Wasser im Boden festhalten. Diese Kräfte müssen die Kartoffelpflanzen überwinden, um sich das Restwasser anzueignen. Das kostet Energie, die eigentlich für die Ertragsbildung gebraucht wird. Die Folgen sind geringere Wasser- und Nährstoffaufnahmen, ein Rückgang der Verdunstung mit reduziertem Stoffumsatz sowie am Ende auch ein vermindertes Pflanzen- und Knollenwachstum.

Je trockener die Böden durch fehlende Niederschläge oder eine zu geringe Speicherfähigkeit sind, desto dringender ist die Bewässerung. Auch Niederschlagsereignisse mit 10 - 15 mm dringen unter bereits trockenen Bedingungen nur wenige Zentimeter in den Damm ein.

Ein objektives Maß für die Dringlichkeit der Bewässerung ist die Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Diese lässt sich mit Hilfe von Modellen, wie z. B. der kostenlosen und frei zugänglichen Bewässerungs-App der ALB (www.alb-bayern.de/app, www.alb-bayern.de/bef1, www.alb-bayern.de/bef2, www.alb-bayern.de/bef3), schlagspezifisch auf Tagesbasis ermitteln. Der Nutzer kann dabei den gerade noch tolerierbaren Bodenfeuchtegrenzwert, also die Bewässerungsschwelle, im Verlauf der Wachstumsperiode nach individuellem Ermessen für jeden Schlag getrennt festlegen.



Bild 1: Trockener Damm nach einem Niederschlagsereignis. Aufgrund der trockenen Bedingungen kann das Wasser den Damm nicht bis an die Wurzeln durchdringen und den Trockenstress der Kartoffelpflanzen merklich verringern (Foto: M. Müller)

Als geeignete Orientierungswerte für die einzelnen Verwertungsrichtungen im Kartoffelanbau haben sich folgende Bewässerungsschwellen erwiesen:

- ▶ 60 % nFK bei Frühkartoffeln (ab Auflaufen)
- ▶ 50 % nFK bei Speise-, Stärke- und Veredelungskartoffeln

Sobald die nutzbare Feldkapazität unter die jeweilige Schwelle sinkt, sollten die Kartoffeln mit maximal 30 mm beregnet werden (Einzelgabenhöhe bei Tropfbewässerung maximal 10 mm). Die Höhe der Einzelgaben ist standortabhängig so zu bemessen, dass das Zusatzwasser Tiefenwirkung hat, um das gesamte Wurzelsystem bis in die Tiefe auch bei lange anhaltenden Trockenphasen leistungsfähig zu halten. Allerdings dürfen die Gaben nicht tiefer sickern als die Wurzeln reichen. Der tiefer sickernde Gabenanteil wäre für die Pflanzen nicht verfügbar und würde zudem wertvolle Nährstoffe wie Stickstoff auswaschen. Optimale Gabenhöhen können schlagspezifisch beispielsweise durch die ALB Bewässerungs-App modelliert werden.

Die Böden sollten, besonders bei wechselhafter Witterung oder Gewitterneigung, nur auf maximal 80 % der nutzbaren Feldkapazität aufgefüllt werden. So verringert sich die Gefahr von Sickerwasserbildung und der damit verbundenen Nährstoffauswaschung, da dann auf eine Bewässerungsmaßnahme folgende Niederschläge vom Boden in begrenztem Umfang pflanzenverfügbar aufgenommen werden können (Tabelle 1). Zudem wurde beobachtet, dass auf Flächen vermehrt Krautfäule (*Phytophthora infestans*) auftrat, wenn die Niederschläge nach Bewässerungsmaßnahmen nicht mehr aufgenommen werden konnten.

Den genauen Rechenweg zur Ableitung der freien pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität verschiedener Böden nach Beregnungs- bzw. Tropfbewässerungsmaßnahmen entneh-

men Sie bitte dem Beratungsblatt „Fachliche Grundlagen zur Bewässerungs-App, Teil 2 - Bodenart und Verteiltechnik bezogene Kennzahlen; www.alb-bayern.de/bef3“.

Ein gezieltes Bewässerungsmanagement ist entscheidend für den schlagspezifischen Erfolg, da fehlerhafte Maßnahmen zu negativen Auswirkungen, wie Bodenverschlammung (bei zu hoher Einzelgabenmenge / zu hoher Beregnungsintensität, zu großer Düse), Nitratauswaschung (bei zu hoher Einzelgabenhöhe), erhöhtem Krankheitsdruck (zu häufige Überkopfbewässerung mit zu geringen Gaben), Qualitätseinbußen (offene Lentizellen) und Wachstumsdepressionen (Sauerstoffmangel im Wurzelraum durch zu hohe Bodenfeuchte über längeren Zeitraum) führen können.

Tabelle 1: Pflanzenverfügbare Wasseraufnahmekapazität verschiedener Böden bis 60 cm Tiefe im direkten Anschluss an Beregnung bzw. Tropfbewässerung nach Unterschreiten der Beregnungsschwelle (50% nFK) und Auffüllen der Böden auf maximal 80 % nFK mit Einzelgaben von maximal 30 mm (Beregnung) bzw. 10 mm (Tropfbewässerung)

Bodenart	Wasseraufnahmekapazität der Böden	
	Beregnung	Tropfbewässerung
Sandböden	11 mm	23 mm
Tonböden	13 mm	56 mm
Lehmböden	36 mm	23 mm

3. Wachstum, Qualität und Nährstoffaufnahme

Für ein physiologisch gesehen günstiges Wachstum der Kartoffelpflanzen und damit einhergehende stabile Erträge und gute Qualität ist einerseits eine kontinuierliche Wasserversorgung sowie andererseits eine angepasste Nährstoffverfügbarkeit entscheidend (Ojala et al. 1990). Diese beiden Faktoren gehen Hand in Hand, da die meisten Nährstoffe, wie Stickstoff, Kalium und Magnesium mit dem Wasser- und Saftstrom in die Pflanze aufgenommen werden.

Unter trockenen Bedingungen ist zum einen das Wurzelwachstum vermindert, wodurch weniger Nährstoffe aufgenommen werden können, zum anderen werden aus organischen Quellen stammende Nährstoffe nur pflanzenverfügbar, wenn sie im Zuge Feuchtigkeit erfordernder Rotteprozesse mineralisiert werden können. Dieser grundsätzlich gültige Zusammenhang ist im öko-

logischen Landbau von besonderer Bedeutung, da die Nährstoffversorgung hier sehr stark auf organischen Düngequellen fußt. Durch fehlendes Wasser während der Hauptwachstumsphase bleibt die Mineralisation der Nährstoffe aber nicht nachhaltig aus. Diese setzt dann später, womöglich zu ungünstigen Zeiten, wie etwa im Herbst, in denen die Vegetation keine oder nur wenig Nährstoffe aufnehmen kann, ein.

Hohe, auswaschungsgefährdete Restnährstoffgehalte im Herbst resultieren also zum einen aus einer schlechteren Nährstoffaufnahme und geringer Ertragsbildung durch Trockenheit, zum anderen aus unkontrollierbarer Mineralisation. Exaktversuche im Feld zeigten, dass der Reststickstoff nach der Ernte in einem trockenen Jahr durch Bewässerung signifikant reduziert werden konnte.

4. Bewässerung frühzeitig starten

Nach dem Legen kommen die Kartoffeln zunächst vergleichsweise gut mit einer geringen Bodenfeuchte zurecht (Shock et al. 1992). Moderater Trockenstress fördert sogar deren Unempfindlichkeit, weil dadurch die Wurzelentwicklung der jungen Pflanzen, insbesondere das Tiefenwachstum gefördert wird. Nur bei anhaltender Frühsommertrockenheit und Bodenfeuchten $<30\%$ nFK, bezogen auf 30 cm Wurzeltiefe, sollte bereits vor der Ausbildung der Knollenanlagen in verhaltenem Umfang bewässert werden, z.B. mit einer Beregnungsgabe in Höhe von 20 mm oder dreimal 5 mm Tropfbewässerung in mehrtägigem Abstand. Das unter solch trockenen Verhältnissen verabreichte Zusatzwasserangebot sichert das ansonsten stark gebremste oder gänzlich ausbleibende Wurzelwachstum und die Frühentwicklung der Stauden, deren Physiologie anderenfalls von Anfang an auf Trockenstress mit negativen Auswirkungen auf Ertrag und Qualität ausgelegt wäre.



BEWÄSSERUNG ZUM KNOLLENANSATZ

- ▶ Wasserverfügbarkeit und Nährstoffaufnahme werden positiv beeinflusst
- ▶ Wachstumsverhältnisse während der Knollenbildung entscheiden über die Anzahl angesetzter Knollen und damit auch über die spätere Sortierung des Erntegutes
- ▶ Stressgedächtnis der Kartoffel kann zur späteren Ausprägung von Qualitätsmängeln führen
- ▶ Ausreichende Bodenfeuchtigkeit schwächt die Konkurrenzfähigkeit der für die Schorfbildung verantwortlichen Bakterien (*Streptomyces* spp.) und reduziert damit einen möglichen Befall der Knollen

Spätestens ab dem Zeitpunkt des Knollenansatzes (BBCH 41; beginnende Stolonverdickeung, oft bereits bei ca. 10 - 15 cm Wuchshöhe) beeinflusst der Grad der Wasserversorgung die Knollenqualität der späteren Ernte maßgeblich. Die Kartoffelpflanze verfügt über ein „Stressgedächtnis“, wodurch auch Wassermangel während früher Entwicklungsstadien die Qualitätsbildung bereits bedeutend beeinflussen kann. Dies zeigt sich beispielsweise in einem vermehrten Auftreten unförmiger oder hohlherziger Knollen sowie in einer erhöhten Anreicherung von reduzierenden Zuckern bei Verarbeitungssorten. Zu beachten ist, dass diese Qualitätsmängel häufig erst im späteren Verlauf der Vegetation oder bei Laboruntersuchungen sichtbar werden (Eldredge et al. 1996).

Bild 2: Bei ausgeprägter Frühsommertrockenheit (keine Bewässerung) beschränkt sich das Wurzelwachstum auf oberflächennahe Bereiche, in die zuvor (geringe) Niederschläge eingedrungen sind (Foto: M. Müller)

Grundsätzlich bedingen das Wasser- und Nährstoffangebot sowie das Temperaturniveau die Ausprägung des Knollenansatzes. Dieser wiederum beeinflusst die spätere Sortierung des Erntegutes. Wasser- und Nährstoffmangel haben einen verminderten Ansatz oder dessen spätere Reduktion zur Folge. Bei geringem Knollenansatz werden die Einzelknollen entsprechend größer und wachsen dann später schnell aus der gewünschten Sortierung heraus.



Bild 3: Ungleichmäßige Sortierung des Erntegutes aufgrund von Trockenstress (Foto: R. Peters)



Bild 4: Knollen mit unterschiedlichen Schadbildern des Kartoffelschorfs (Foto: R. Peters)

Bedeutend ist zudem ein gewisser Einfluss der Wasserversorgung auf die Entstehung von gewöhnlichem Schorf. Mit der Bodenfeuchtigkeit verändert sich die Zusammensetzung der Bakterien und Pilze im Boden, sodass in vielen Fällen die Konkurrenzfähigkeit der für die Schorfbildung hauptverantwortlichen Bakterien *Streptomyces* ssp. und damit auch der Befallsdruck deutlich abnehmen. Dies ist ein weiterer wesentlicher Grund für die Bewässerung der Kartoffelfelder bereits in der Phase des Knollenansatzes.

5. Bewässerung während der Hauptvegetation

An heißen Sommertagen verbrauchen leistungsfähige Kartoffelbestände mit vollständig entwickeltem Blattapparat bis zu 7,5 mm Wasser. Für gute Erträge und hohe Qualitäten ist es erforderlich, während dieser Hauptwachstumsphase ein kontinuierliches und stressfreies Knollenwachstum zu gewährleisten. Hierzu ist der Kern der Kartoffeldämme durch ergänzende Bewässerungsgaben dauerhaft feucht zu halten. Die Krautentwicklung ist dann beschleunigt, der Knollenansatz gut und das Knollenwachstum frühzeitig intensiv. Für einen nachhaltigen Erfolg muss die gleichmäßige Wasserversorgung bis zum Beginn der Abreife bestehen bleiben.



Bild 4: Tropfbewässerung im Dammkronenverfahren gewährleistet auch bei Frühsommertrockenheit günstige Dammfeuchte. Gleichmäßige Durchwurzelung, rasches Jugendwachstum, ein guter Ansatz sind sicher (Foto: M. Müller)

Tritt während der Hauptvegetationszeit Trockenstress auf, werden zunächst die Photosyntheseleistung und das Wachstum der Kartoffelpflanzen reduziert, indem die Zellteilung und -streckung zurückgehen. Bei weiter ausbleibender Wasserversorgung kommt das Wachstum schließlich vollständig zum Erliegen. Vor diesem Hintergrund ist eine möglichst gleichmäßige Wasserversorgung der Bestände durch eine bedarfsgerechte Bewässerung sicherzustellen. Dazu sind entsprechende Bewässerungsmodelle unerlässlich und haben sich durch die z. T. freie Verfügbarkeit im Internet bereits im praktischen Alltag vieler landwirtschaftlicher Betriebe bewährt.

Mit längeren Trockenphasen sind im Sommer auch häufig höhere Temperaturen verbunden, die einen Hitzestress bei den Pflanzen auslösen können. Außentemperaturen zwischen 20 und 25 °C bieten den Kartoffelpflanzen die besten Voraussetzungen für eine hohe Ertragsbildung. Temperaturen von über 30 °C führen dagegen zu einem drastischen Abfall der Photosyntheseleistung und des daraus resultierenden Pflanzen- - bzw. Knollenwachstums (Rykaczewska 2013).

Mehrtägige Hitze mit Knollentemperaturen im Damm von >27 °C erhöht aber auch das Risiko des Zweitwachstums der Knollen in Form von Kindel- und Kettenbildung oder Puppigkeit. Gefährdet sind dabei vor allem Flächen, auf denen es keinen Bestandesschluss gegeben hat oder das schützende Blätterdach bereits wieder mehr oder weniger fehlt.

KÜHLEFFEKTE DURCH VERDUNSTUNG UND BESCHATTUNG

Kühlen des Blattapparates durch Verdunstung:

- ▶ Es verdunstet vor allem Wasser, das die Pflanzen zuvor über die Wurzeln aufgenommen haben. Die Abgabe des Wassers geschieht vorrangig über Spaltöffnungen an der Unterseite der Blätter (Transpiration). Bei der Verdunstung des Wassers wird der Umgebung Wärme entzogen, die die Pflanzen kühlt.
- ▶ Zum Vergleich: Bei der Verdunstung entspricht der erforderliche Wärmebedarf (= Energiebedarf) demselben Energiebedarf, der für ein fünfeinhalbmaliges Aufheizen von Wasser von jeweils 0 auf 100 Grad Celsius benötigt werden würde (eigene Ableitung nach Wikipedia). In diesem Ausmaß entsteht unmittelbar auf den Blattoberflächen Verdunstungskälte. An heißen Sommertagen kühlt das einen ausreichend mit Wasser versorgten Bestand um bis zu mehrere Grad ab.

Kühlen des Kartoffeldamms durch Beschattung:

- ▶ Durch die Sonneneinstrahlung wird einem Kartoffelbestand an heißen Sommertagen in bedeutendem Umfang Energie zugeführt. Nur ein sehr geringer Teil dieser Strahlungsenergie lässt sich jedoch über die Photosynthese in Form von Assimilaten speichern (Larcher 2001). Etwa 20 % der Strahlung werden direkt an der Blattoberfläche wieder reflektiert (Heckel 2012). Der überwiegende Teil der Strahlung verbleibt jedoch in Form von Wärme im Kartoffelbestand. Über ein geschlossenes Blätterdach und eine kontinuierliche Verdunstung lässt sich aber ein Großteil dieser Wärme neutralisieren. Gleichzeitig gelangt nur noch wenig einfallende Strahlung bis auf die Dammoberfläche. Beides verhindert eine übermäßige Erwärmung der Knollen im Damm und reduziert somit nachhaltig die Gefahr eines Auftretens von Zweitwachstumssymptomen.



Bild 6a, 6b: Trockenheit lässt die Bestände früher zusammenbrechen und das schattenspendende Blätterdach geht verloren (Foto links: R. Peters); die Temperaturen im Damm steigen dann schnell über den kritischen Bereich (Foto rechts: F. Steppich)

Beide Stressfaktoren beschleunigen weiterhin die Alterung der gesamten Pflanze, wodurch sowohl die Regenerationsfähigkeit der Bestände abnimmt als auch die Abreife früher einsetzt. Gleichzeitig gewinnen Schwächeparasiten an Konkurrenzfähigkeit und setzen den Kartoffelpflanzen weiter zu. Mit einer bedarfsgerechten Bewässerung lässt sich die Widerstandsfähigkeit der Bestände auf vielfache Weise verbessern

und leichte Stressphasen relativ unbeschadet überstehen. Dabei kommt dem Aufbau und Erhalt eines geschlossenen Blätterdaches eine zentrale Stellung zu, die auch durch anbautechnische Maßnahmen, wie die Vermeidung von Bodenverdichtungen, eine an die Pflanzgutgröße angepasste Legetiefe und eine bedarfsgerechte Düngung, unterstützt werden können.

6. Äußere Qualität

Stark ausgetrocknete und dadurch verhärtete Böden erschweren über ihren größeren mechanischen Widerstand ein gleichmäßiges Dickenwachstum der Knollen und führen zu einem vermehrten Auftreten unförmiger Kartoffeln. Gleichzeitig steigt das Risiko von Knollenbeschädigungen bei der späteren Ernte.

Bei stärkerer Trockenheit reagieren einzelne Sorten auch mit der Ausbildung einer rauen oder genetzten Schale, die die spätere Vermarktung deutlich beeinträchtigen kann. Dies tritt auf Böden mit einer groben Struktur und damit auch einer geringeren natürlichen Wasserhaltefähigkeit wesentlich häufiger auf als auf besseren Standorten.



Bild 7: Trockenheit und hohe Temperaturen sind häufige Auslöser einer rauen Knollenschale (Foto: R. Peters)

Eine raue Schale kann jedoch auch durch sehr hohe Temperaturen von über 30 °C im Damm hervorgerufen werden. Die Kartoffeln bilden dann zu ihrem Schutz eine dickere Schale aus, die jedoch nicht mit dem Größenwachstum der Knollen Schritt halten kann und immer wieder reißt. Dies führt zu einer rauen und genetzten Oberfläche, wodurch die äußere Qualität der Kartoffeln leidet. Zudem bilden alle Schalenrisse eine leichter zu überwindende Eintrittspforte für unterschiedliche pilzliche und bakterielle Schaderreger.

Ein schneller Wechsel zwischen ausgeprägten Trockenphasen und einer intensiven Wiederbefeuchtung des Bodens führt bei anfälligen Sorten leicht zu Entstehung von deutlichen Wachstumsrissen an den Knollen. Mit der Wasseraufnahme kommt es zu einer raschen Veränderung des Zellwachstums in den unterschiedlichen Gewebeteilen und damit zu Spannungen, die sich vor allem im Schalen- und Randbereich entladen. Zumeist sind Längsrisse, die häufig im Kronenbereich der Knollen beginnen, die Folge (Hiller et al. 1985).

Bei ausreichender Sauerstoffverfügbarkeit im Boden erfolgt eine schnelle Wundheilung des Gewebespaltes und der Aufbau einer vollständigen Schale. Verzögert sich die Wundheilung jedoch, steigt das Risiko der Einwanderung von Fäulnisregenern, deren schädigende Wirkung z. T. erst im Lager sichtbar wird. Wachstumsrisse können aber auch beim Befall der Pflanzen mit unterschiedlichen Schaderregern, z. B. dem Mop-Top-Virus (MTVV) und *Rhizoctonia solani*, sowie einer Abdrift einzelner kulturfremder Herbizide entstehen.



Bild 8: Wachstumsrisse sind eine Folge schnellen Wachstums der Knollen nach einer intensiveren Trockenphase (Foto: R. Peters)

Ein weiterer Effekt zu hohen Temperaturen im Damm, und damit eine indirekte Folge einer unzureichenden Wasserversorgung der Bestände, ist die Verkürzung der Keimruhe der noch nicht geernteten Knollen. Dies kann bei einigen Sorten dazu führen, dass diese bereits im Damm oder direkt nach der Einlagerung zu keimen beginnen. Solche Partien liegen zumeist unruhiger im Lager und sollten möglichst zeitnah vermarktet werden, um weitere Gewichts- und Qualitätsverluste zu vermeiden. Bei Pflanzkartoffeln wirkt sich das höhere physiologische Alter dieser Partien auch auf das Keim- und Wachstumsverhalten in der nachfolgenden Vegetationsperiode aus.



Bild 9: Bei einem ausgeprägten Wechsel von Trockenheit und Wiederbefeuchtung des Bodens können die Wachstumsrisse die gesamte Knolle überziehen; hier: Schadausprägung in Kombination mit *Rhizoctonia solani* (Foto: F. Steppich)

Ergrünte Knollen sind in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem immer wichtigeren Qualitätsmangel bei Speise- und Veredelungskartoffeln geworden. Ein Großteil dieser grünen Stellen entsteht bereits auf dem Feld, indem Sonnenlicht vorrangig über Risse in den Dämmen tiefer in den Boden eindringen kann. Durch die Belichtung bilden sich in den Zellen Chloroplasten aus, die zumeist nur die äußeren Gewebeschichten grün färben. Gleichzeitig wächst durch die Belichtung aber auch die Gefahr der Anreicherung von Glykoalkaloiden (z.B. Solanin), deren übermäßiger Verzehr gesundheitliche Schäden nach sich ziehen kann.

Die Gefahr der Rissbildung in den Dämmen kann im Vorfeld durch eine gute Bodenstruktur und das nicht zu starke Anpressen der Oberfläche beim Dammaufbau reduziert werden. Im weiteren Verlauf der Vegetation entstehen Risse aber auch durch wechselnde Bodenfeuchten, denen in Trockenphasen durch eine vorausschauende Bewässerung begegnet werden kann. Zudem schützt ein geschlossenes Blätterdach vor einem direkten Eintritt der Sonnenstrahlen in die Dämme.

Bild 10: Risse in den Dämmen führen zu einem Ergrünen auch tieferliegender Knollen (Foto: R. Peters)

7. Innere Qualität

Bei einem kontinuierlichen Pflanzenwachstum nimmt der Stärkegehalt in den Knollen etwa gleichlaufend mit der Knollengröße zu, um dann am Ende der Vegetationsperiode wieder etwas abzufallen. Bei merklichen Trockenphasen nach der Blüte liegt der Stärkegehalt dieser Knollen bei der Ernte deutlich höher als bei den ausreichend mit Wasser versorgten Pflanzen. Ein sortenspezifisch zu hoher Stärkegehalt kann den Speisewert bzw. die Verarbeitungseignung der Knollen beeinträchtigen und bei der Aufbereitung nach der Auslagerung zu einem größeren Schwarzfleckigkeitsrisiko führen.

Demgegenüber ziehen früh in der Vegetationsperiode auftretende Trockenperioden einen Anstieg des Gehaltes an reduzierenden Zuckern im Erntegut nach sich (Bethke et al. 2009). Das beeinträchtigt bei Veredelungskartoffeln (Chips, Pommes) sowohl die Backfarbe als auch den Gehalt an unerwünschtem Acrylamid. Gleichzeitig weisen die unter frühem Wassermangel aufgewachsenen Knollen einen geringeren Zell- druck auf (Bethke et al. 2009), der im Lager die Empfindlichkeit gegenüber Lagerdruckstellen, aber auch der Schwarzfleckigkeit deutlich erhöht. Dies unterstreicht die Bedeutung einer ausreichenden Wasserversorgung auch im Anbau von Veredelungskartoffeln, die trotz der



Bild 11: Wachstumsrisse sind eine Folge schnellen Wachstums der Knollen nach einer intensiveren Trockenphase (Foto: R. Peters)

zumeist besseren Anbaustandorte und dem höheren Wasserspeichungsvermögen vielfach nur noch durch eine zusätzliche Bewässerung sicherzustellen ist.



Bild 12: Trockenstress kann auch die Farbe der späteren Chips negativ beeinflussen (Foto R. Peters)

Starke Schwankungen des Wasserangebotes während der Vegetationsperiode können auch zu einer Ausbildung brauner, nekrotischer Flecken im Knollengewebe führen. Dieses, auch als physiologische Eisenfleckigkeit bezeichnete Schadbild, ist von der virösen Eisenfleckigkeit (Tabak Rattle Virus) nur im Labor zu unterscheiden. In beiden Fällen handelt es sich aber um einen Qualitätsmangel, der die Vermarktungsfähigkeit der Kartoffeln einschränkt oder sogar unmöglich macht. Die physiologische Eisenfleckigkeit zeigt sich vor allem auf leichten Böden, wo ein Trockenstress auch immer mit einer verminderten Verfügbarkeit von Nährstoffen einhergeht. Hier soll vor allem eine eingeschränkte Calcium-Verfügbarkeit das Auftreten der braunen Flecken im Knollenfleisch begünstigen.

Unter Wasser- und Nährstoffstress kann es auch zum Auftreten geschädigter Zellen im Kernbereich des Knollenmarks kommen. Diese Braunmarkigkeit wird als Vorstufe bzw. abgeschwächte Form der Hohlherzigkeit angesehen, bei der sich im Markbereich unregelmäßig oder sternförmig ausgebildete Hohlräume ausbilden. Anhand der Lage der Hohlräume kann auf den Zeitpunkt der Stresssituation im Wachstumsverlauf geschlossen werden. Die frühe Hohlherzigkeit entwickelt sich, wie die Braunmarkigkeit, bereits kurz nach dem Knollenansatz und ist daher im Erntegut vorrangig am Nabelende zu finden. Während dieser Zeit führen vor allem kühlere Temperaturen gemeinsam mit einer längeren Phase hoher Bodenfeuchte zu einer unzureichenden Nährstoffversorgung der Zellen im Kernbereich des Marks, sodass diese geschädigt werden oder absterben (Hiller et al. 1985). Bei sich wieder verbessernden Wachstumsbedingungen erreichen die geschädigten Zellen nicht mehr die hohen Zellteilungs- und Wachstumsraten des umliegenden Gewebes. Sie werden dann von diesen abgestoßen oder zerrissen und bilden so den Ausgangspunkt für die im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode entstehenden Hohlräume, die jedoch nur selten Sekundärinfektionen nach sich ziehen.

Bei der späten Hohlherzigkeit folgen auf zu meist trockenheitsbedingtem Wasser- und Nährstoffstress Phasen mit sehr günstigen Wachstumsbedingungen, in denen dann die Zellen des mittigen Markbereichs nicht mit dem



Bild 13: Tritt Trockenstress auf, kann es durch eine temporäre Unterversorgung einzelner Bereiche im Knollengewebe zu physiologischer Eisenflecken kommen (Foto: F. Steppich)

Größenwachstum des umgebenden Gewebes mithalten können (Hiller et al. 1985). Neben der Hohlherzigkeit sind dann jedoch nur selten braunmarkige Stellen im Knollengewebe zu finden. Durch eine gleichmäßige Bestandesentwicklung lässt sich das Risiko hohlherziger Knollen deutlich mindern. Hier kommt insbesondere in der späten Wachstumsphase der bedarfsge rechten Bewässerung eine Schlüsselrolle zu.



Bild 14: Hohlherzigkeit beruht auf einer Schädigung der Zellen im Markgewebe durch ungleichmäßige Wasser- und Nährstoffversorgung, die bei wieder einsetzendem Wachstum nicht Schritt halten können und zerreißen (Foto: R. Peters)

8. Wiederbefeuchtung gestresster Bestände



Bild 15: Liegen die Temperaturen in den Dämmen für mehrere Tage über 27 °C, steigt das Risiko von Zweitwachstum bei den Knollen (Foto R. Peters)

In extremen Jahren kann es neben den schon beschriebenen Wachstumsrisiken oder der Hohlherzigkeit von Knollen auch zu einem erneuten Wachstumsstart der Pflanzen und Knollen kommen. Dabei hat sich der Hormonhaushalt der Pflanzen so weit verändert, dass sie sich schon wie zu Beginn einer neuen Vegetationsperiode fühlen. Die Folge kann entweder der Ansatz weiterer Knollen an neu gebildeten Stolonen sein oder aber die bereits gebildeten Knollen starten ein Zweitwachstum in Form von Puppigkeit, Kindel- oder Kettenbildung und z. T. sogar der Entwicklung neuer Blatttriebe.

Beobachtet wird dieses unerwünschte Zweitwachstum der Knollen, landläufig auch als Zwie- wuchs, Durchwuchs oder Durchtrieb bezeichnet, vor allem nach einer Wiederbefeuchtung der Bestände durch ergiebige Niederschläge oder einer sehr weit gestellten Bewässerung. Die eigentliche Ursache für diese Veränderungen im Hormonhaushalt der Pflanzen liegt jedoch davor in einer Hitzeperiode begründet, bei der die Knollentemperaturen im Damm für mehrere Tagen 27 °C überschritten haben müssen (Bodlaender et Marinus 1964). Gefährdet sind daher vor allem Bestände, denen das schützende Blätterdach mehr oder weniger fehlt. Sei es durch vergrößerte Reihenweiten, eine ungleichmäßige bzw. unzureichende Bestandesentwicklung oder das frühzeitige Zusammenbrechen der Pflanzen. Hinzu kommt, dass sich dunkle Böden sehr viel schneller und stärker

aufheizen als hellere Standorte. Durch eine regelmäßige Bewässerung der Bestände kann das Risiko zwar verringert, aber nicht vollständig aufgehoben werden. Das in der Regel kältere Beregnungswasser kühlt zunächst den Boden ab. Nach 2-3 Tagen ist dieser Kühleffekt jedoch aufgebraucht und es erfolgt ein Temperaturanstieg, der durch die bessere Wärmeleitfähigkeit des noch feuchten Bodens über die Werte der unberegneten Dämme hinausgeht.



Bild 16: Eine bedarfsgerechte Bewässerung wirkt über das schützende Blätterdach einer Überhitzung der Kartoffeldämme entgegen (Foto: M. Müller)

Auslöser des Zweitwachstums der Knollen sind also die hohen Temperaturen im Damm, während die nachfolgende Feuchtigkeit die Ausprägung der unerwünschten Symptome verstärkt, indem Wasser und Nährstoffe für den neuerlichen Wachstumsstart leichter verfügbar werden. Bis dahin lagern die Knollen erst einmal Stärke aus älteren Teilen des Knollengewebes in die sich neu teilenden Zellen um. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die Knollenentwicklung auch in berechneten Beständen nach extremen Hitzeperioden frühzeitig und regelmäßig zu kontrollieren. Beim Auftreten erster Anzeichen sind im Sinne der Qualitätssicherung direkte, schlagbezogene Maßnahmen erforderlich. Das kann bei schon ausreichend entwickelten Beständen eine umgehende Krautminderung sein, während bei noch grünen Speise- und Veredelungskartoffelbeständen auch ein Einsatz von Maleinsäurehydrazid in Erwägung gezogen werden kann. Hier ist jedoch eine vorherige Absprache mit den Vermarktungspartnern zu empfehlen, um die Akzeptanz der Ware sicherzustellen.

Die geringsten Schäden durch das Zweitwachstum entstehen, wenn neue Stolonen gebildet werden, an denen dann weitere Knollen wachsen. Geschieht dies relativ früh in der Wachstumsperiode und herrscht anschließend eine ausreichende Wasser- und Nährstoffversorgung, können diese neuen Knollen auch noch zu einer vermarktungsfähigen Größe heranwachsen. Ist dies jedoch aufgrund der bereits stärker geschädigten Kartoffelpflanzen nicht mehr zu erwarten, sollte der Bestand möglichst schnell krautgemindert werden. So bleiben die neuen Knollen klein und auch als Quelle für Durchwuchskartoffeln im nächsten Jahr von geringerer Bedeutung.

Wird das teilungsfähige Gewebe an den Augen der Tochterknollen durch die Hitze reaktiviert, kommt es zur Ausbildung unförmiger Knollen, indem seitlich „aufgesetzte Knubbeln“ herauswachsen (Kindelbildung) oder sich aber direkt am Kronenende eine neue Knolle entwickelt und die gesamte Kartoffel eine mehr puppige oder hantelartige Form annimmt. Letzteres bedeutet, dass sich unter einer Schale ein älterer und ein jüngerer Teil befinden, die eine unterschiedliche Nährstoffzusammensetzung und



Bild 17: Zweitwachstum in Form neu gebildeter Stolonen und Knollen (Foto: R. Peters)



Bild 18: Knolle mit starker Kindelbildung (Foto: R. Peters)

häufig auch verschiedene Koch- bzw. Verarbeitungseignungen aufweisen. Das ältere Gewebe am Nabelende baut zu Beginn des Zweitwachstums Stärke für die Entwicklung der neuen Zellen ab, was an der sog. Glasigkeit des Gewebes sichtbar wird. Gleichzeitig nimmt die Stabilität der verarmten Zellen und damit die längerfristige Lagerfähigkeit der gesamten Knolle ab. Die von den Pflanzen nach der Wiederbefeuchtung des Bodens gebildeten Assimilate gehen vorrangig in das neue Knollengewebe, während sich die älteren, verarmten Zellen kaum noch regenerieren können.



Bild 19: Knollen mit zwei Gewebegenerationen unter einer Schale, die häufig unterschiedlich schmecken, kochen und backen (Foto: R. Peters)



Bild 20: Glasige Knollen haben einen Großteil ihrer Stärke und damit auch ihrer Lagerfähigkeit verloren (Foto: C. Landzettel)

Einige Sorten neigen unter diesem hitzebedingten Stress auch zur Kettenbildung, indem neue Stolonen direkt aus den Tochterknollen wachsen und sich daran nacheinander eine bis mehrere neue Knollen bilden. Hier sind die Tochterknollen der ersten Generation ebenfalls der frühzeitige Nährstofflieferant für die sich neu bildenden Knollen und werden dabei auch glasig. Bleibt es bei einer neuen Tochterknolle der zweiten Generation können diese unter günstigen Bedingungen zu einer weiteren vollwertigen Knollengeneration heranwachsen und zeichnen sich zumeist durch eine deutlich glattere Schale als die Tochterknollen der ersten



Bild 21: Aus den Augen am Kronenende der hitzgeschädigten Knolle kommen neue Stolonen an den sich wiederum Tochterknollen bilden (Foto: C. Landzettel)

Generation aus. Die Vermarktung solcher „Zwei-Generationen-Partien“ gestaltet sich jedoch schwierig, da die alten und jungen Knollen verschiedene Stärkegehalte aufweisen und von daher unterschiedlich kochen bzw. backen.

Die mit den Zweitwachstumssymptomen verbundenen Qualitätsmängel sind am ehesten über eine bedarfsgerechte Bewässerung abzumildern. Dabei bedingen die hohen Lufttemperaturen sowie die entsprechend höheren Verdunstungsraten zumeist deutlich verkürzte Beregnungsintervalle. Diese lassen sich auf den Betrieben aufgrund begrenzter Technik- und Wasserkontingente aber nur selten vollständig umsetzen, sodass es dann sinnvoller ist die vitalsten Flächen optimal zu versorgen und einige schwächere Flächen von der aktuellen Bewässerung auszuklammern. Dies hilft den Ertrag und die Qualität des Erntegutes nachhaltig abzusichern.

9. Auswirkungen auf die Krautminderung

Eine bedarfsgerechte Wasserversorgung stellt eine zügige und einheitliche Entwicklung der Kartoffelbestände sicher, die nach einer langen Phase höchster Produktivität gleichmäßig in die Abreife übergehen. Diese gelb werdenden Bestände ermöglichen in ein bis zwei Arbeitsschritten eine vollständige und dauerhafte Krautminderung.

Trockenheitsbedingte Stressphasen führen dagegen von Wachstumsdepressionen bis hin zu einem weitgehenden Absterben der Bestände. Nach ergiebigeren Niederschlägen beginnen die Pflanzen jedoch häufig wieder neu auszutreiben

und grüne Blätter zu bilden. Dies wird durch einen höheren Nährstoffvorrat im Boden noch befeuert, sodass die zu neuer Vitalität erweckten Bestände nur über eine mehrmalige und kostenintensivere Behandlung krautgemindert werden können. Gleichzeitig steigt die Wahrscheinlichkeit des Wiederaustriebs einzelner Pflanzen, was vor allem bei Pflanzkartoffeln die Gefahr später Virusinfektionen deutlich erhöht. Damit einhergehend kommt es zu einer verzögerten oder z. T. nur unvollständigen Schalenfestigkeit der Knollen, die sowohl bei der Ernte als auch der späteren Lagerung das Qualitätsrisiko verstärkt.

10. Rodebedingungen

Liegen die vollständig schalenfesten Knollen in einem ausgetrockneten Boden, kann eine Vorernte-Bewässerung erheblich zum Erhalt der Knollenqualität beitragen. Dabei muss die Gabenhöhe reduziert werden, um ein Freispülen der Knollen im ungeschützten Damm zu vermeiden. Anschließend sind mindestens ein, besser zwei Tage zu warten, um sowohl den Boden ausreichend zu durchfeuchten als auch den Wasserhaushalt der Knollen in ein neues Gleichgewicht zu bringen.

Auf leichteren Standorten wird durch die Vorernte-Bewässerung der Aufbau eines geschlossenen Erdpolsters bis zum Ende des Siebkanals unterstützt und damit eine wesentliche Voraussetzung für eine knollenschonende Ernte geschaffen. Auf schwereren Flächen kann eine ausgeprägte Trockenphase den Boden derart verfestigen, dass sich bei der Ernte z. T. sehr feste und scharfkantige Erdschollen bzw. Kluten bilden, die bis zum Verlesebereich der Erntemaschinen gelangen und dort manuell ausgelesen werden müssen.



Bild 22: Scharfkantige Kluten erhöhen die Beschädigungsgefahr der Kartoffeln bereits im Siebkanal der Erntemaschine und lassen sich am besten durch eine gezielte Vorerntebewässerung entschärfen (Foto: R. Peters)

Das Beschädigungsrisiko für die Knollen sowie das anschließende Auftreten von Nass- und Trockenfäulen im Lager ist unter diesen Umständen extrem hoch, sodass die Ernte von Qualitätskartoffeln nur nach einer Vorernte-Bewässerung oder dem Fallen ergiebiger Niederschläge fortgesetzt werden kann.

Ohne Beregnung kommt es daher vielfach zu einer deutlichen Verzögerung der Ernte, mit der nicht selten ein höheres Qualitätsrisiko durch Wetterumschwünge in Form von stärkeren Nie-

derschlägen oder ersten Frosteinbrüchen einhergeht. Gleichzeitig steigt mit der längeren Verweilzeit des Erntegutes im Boden die Gefahr des Befalls der Knollen mit *Rhizoctonia Sklerotien*, Silberschorf und Drahtwürmern überproportional an. Bei hohen Temperaturen im Damm kommt noch ein verstärkter Abbau der natürlichen Keimruhe hinzu, wodurch die Knollen im Lager deutlich früher zu keimen beginnen und schneller ihre Lagerstabilität verlieren.

11. Zusammenfassung

Eine gleichmäßige und bedarfsgerechte Wasserversorgung ist für die Ertragsbildung sowie eine gute äußere und innere Qualität bei Kartoffeln unabdingbar. Unter trockenen Wachstumsbedingungen kann eine konstante Wasserversorgung mit Hilfe von Zusatzwassergaben, welche

die Frühjahrsbodenfeuchte und natürliche Niederschläge ergänzen sollen, erreicht werden. Damit dies ressourcenschonend geschieht, ist die Nutzung von Entscheidungssystemen eine sinnvolle Ergänzung zu vorhandenen Erfahrungen im Betrieb.

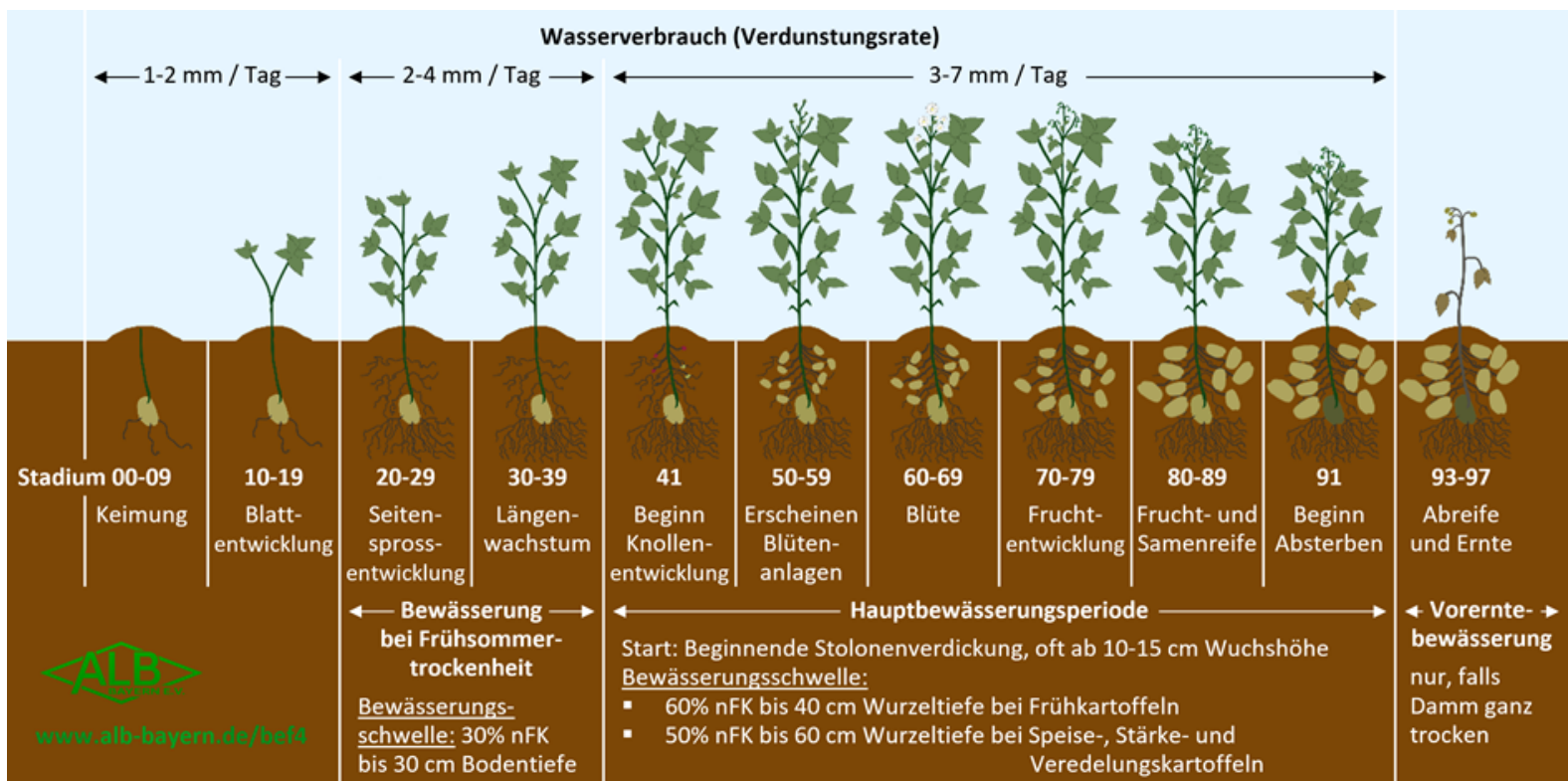


Abb. 1: Bewässerungsmanagement zu Kartoffeln (Grafik: M. Müller)

Neben stabilen Erträgen und hoher Qualität sorgt eine gute Wasserversorgung während der Wachstumsphase für eine bessere Lagerfähigkeit des Erntegutes. Außerdem fördert ein bedarfsgerechtes Wasserangebot eine hohe Nährstoffeffizienz des Anbausystems. Das macht den Nährstoffbedarf des Bestandes und damit den Düngbedarf besser planbar.

Gleichzeitig verringern sich so die Restnährstoffgehalte in den Ernteresten sowie im Boden und in der Folge die Gefahr von umweltsensiblen Nährstoffeinträgen in den Wasserkreislauf. Die Bewässerung stellt somit einen elementaren Baustein eines zukunftsorientierten und nachhaltigen Kartoffelanbaus dar.

12. Literatur

- ▶ Bethke, Paul C.; Sabha, Robert; Bussan, Alvin J.: Tuber Water and Pressure Potential Decrease and Sucrose Contents Increase in Response to Moderate Drought and Heat Stress. In: American Journal of Potato Research (2009) 86:519-532
- ▶ Bodlaender, K. B. A.; Lugt, C.; Marinus, J: The induction of second-growth in potato tubers. In: European Potato Journal (1964) 7:57-71
- ▶ Dahal, Keshav; Li, Xiu-Qing; Tai, Helen; Creelman, Alexa; Bizimungu, Benoit: Improving Potato Stress Tolerance and Tuber Yield Under a Climate Change Scenario – A Current Overview. In: Frontiers in Plant Science (2019) 10: Article 563
- ▶ Eldredge, E. P.; Holmes, Z. A.; Mosley, A. R.; Shock, C. C.; Stieber, T. D.: Effects of Transitory Water Stress on Potato Tuber Stem-End Reducing Sugar and Fry Color. In: American Potato Journal (1996) 73:517-530
- ▶ Heckel, H.: Meteorologie. In: Ulmer, Stuttgart (2012), 7. Auflage
- ▶ Hiller, Larry K.; Koller, David C.; Thornton, Robert E.: Physiological Disorders of Potato Tubers. In: Li, Paul H. (Hrsg): Potato Physiology Orlando, Florida: Academic Press, Inc. 1985
- ▶ Larcher, W.: Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. In: Ulmer, Stuttgart (2001)
- ▶ Ojala, J. C.; Stark, J. C.; Kleinkopf, G. E.: Influence of Irrigation and Nitrogen Management on Potato Yield and Quality. In: American Potato Journal (1990) 67:29-43
- ▶ Rykaszewska, Krystyna: The Impact of High Temperature during Growing Season on Potato Cultivars with Different Response to Environmental Stresses. In: American Journal of Plant Science (2013) 4: 2386-2393
- ▶ Shock, Clinton C.; Zalewski, James C.; Stieber, Timothy D.; Burnett, Denise S.: Impact of Early-Season Water Deficit on Russet Burbank Plant Development, Tuber Yield and Quality. In: American Potato Journal (1992) 69:793-803

Zitiervorlage: Kaspar, M., Kellermann, A., Landzettl, C., Steppich, F., Peters, R., Dennert, H., Müller, M., (2020): Bewässerung von Kartoffeln - Gut für Qualität und Umwelt. In: Bewässerungsforum Bayern, Ausgabe 1-4/2020, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/bef4, Stand: [Abrufdatum].

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 71-3460

Telefax: 08161 / 71-5307

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de