

# Ermittlung des kultur- und standort-angepassten Wasserbedarfs unter Berücksichtigung der Fruchtentwicklungsphasen bei Kulturheidelbeere (*Vaccinium corymbosum* L.)

Nicole Brandes, Nikolaos Tsoulas, Manuela Zude-Sasse

Die standort- und kulturspezifische Berechnung der täglichen Wasserbilanzierung in der Heidelbeerproduktion ist entscheidend für eine ressourceneffiziente Bewirtschaftung, auch in semi-humiden Regionen wie Brandenburg. Insbesondere in trockenstress-sensiblen Entwicklungsphasen der Früchte erhöht ein Wasserdefizit das Risiko einer verminderten, nicht vermarktungsfähigen Fruchtgröße. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Evapotranspiration bei Heidelbeere mithilfe des angepassten FAO-Ansatzes, der die Boden- und Pflanzeigenschaften auf dem Feld berücksichtigt, berechnet. Darüber hinaus wurden der Zeitpunkt und die Dauer des kulturspezifischen Pflanzenkoeffizienten ( $K_C$ ) an den Standort angepasst. Die Anpassung des Modells erfolgte unter Berücksichtigung des primären Eintritts der Früchte in die Zellstreckungsphase sowie dem Erntefenster der selektiven Ernte. Die Fruchtgrößenanalyse war geeignet, den Beginn der Zellstreckung und somit den  $K_C$ -Übergang zu charakterisieren. Die Berücksichtigung des fruchtangepassten  $K_C$ -Übergangs zeigt Potenzial zur Erhöhung der Wassernutzungseffizienz auf.

## Keywords

Präzisionsgartenbau, Bewässerungsmanagement, Trockenstress, Fruchtqualität, Beerenfrüchte

Von 2008 bis 2017 stieg die jährliche Erntemenge bei Kulturheidelbeere (*Vaccinium corymbosum* L.) in Deutschland um 70 %; mit einer Anbaufläche von 2.844 ha ist die Kulturheidelbeere damit die wirtschaftlich bedeutendste Strauchbeere (STATISTISCHES BUNDESAMT 2018). Sie ist eine echte Beerenfrucht und durchläuft drei spezifische Wachstumsstadien (COOMBE 1976). Eine Zunahme der Größe kann in der Fruchtentwicklungsphase I, bei hoher Zellteilungsaktivität, gemessen werden, gefolgt von einer größenstabilen Phase (Entwicklungsphase II), die durch eine ausgeprägte Entwicklung des Embryos gekennzeichnet ist. Die Entwicklungsphase III wiederum kennzeichnet eine deutliche Zunahme der Fruchtgröße aufgrund der Zellstreckung (COOMBE 1976). Bei der Fruchtgröße der Heidelbeere handelt es sich um ein wichtiges Qualitätskriterium sowohl im Handel als auch bei Verbrauchern (EHRET et al. 2012).

Das Wachstum wird hauptsächlich durch die Wasserversorgung bestimmt, der tatsächliche Wasserbedarf variiert jedoch innerhalb der Entwicklungsphasen (JORQUERA-FONTENA et al. 2017). In früheren Arbeiten wurde gezeigt, dass die Zellzahl ein wichtiger Faktor für die endgültige Größe der Heidelbeere ist (JOHNSON und MALLADI 2011). Daher ist die Vermeidung von Trockenstress bei der Frucht sowohl bei der Zellteilung als auch bei der Zellstreckung entscheidend, um die sortentypische, hohe

Fruchtqualität zu erreichen. Eine intensive Bewässerung zu Beginn der Fruchtentwicklung kann jedoch zu Rissen in den verholzten Bereichen der Pflanze führen. Für Phase II ist eine reduzierte Wasserversorgung ausreichend, wobei dieses größenstabile Stadium jedoch derzeit nicht für die tägliche Wasserbilanzierung genutzt wird. Besonders der Übergang von Phase II zu Phase III weist ein Potenzial auf, präzise den erhöhten  $K_C$ -Wert einzusetzen. Weiterhin zeigen die kommerziell verwendeten Sorten eine hohe Variabilität innerhalb der Infloreszenz, wodurch eine selektive Ernte bei Heidelbeere wirtschaftlich sinnvoll ist. Insbesondere in diesem späten Stadium der Fruchtentwicklung kann Wassermangel zu Ertragseinbußen führen.

Der Schwellenwert, der den Beginn von Trockenstress anzeigt, wird üblicherweise durch den pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt (*readily available water*, RAW) angezeigt (JENSEN et al. 1990, ALLEN et al. 1998). Eine Standardmethode zur Ermittlung des Bewässerungsbedarfs der Kultur ist die Berechnung der im Feld vorliegenden, an die Pflanzenentwicklung angepassten, aktuellen Evapotranspiration ( $ET_C$ ). Die Berücksichtigung der  $ET_C$  ermöglicht eine präzise Wasserbedarfsberechnung und Reduzierung der Bewässerung während Wachstumsperioden, die von weniger ausgeprägten Wasserbedarf gekennzeichnet sind. Die Ermittlung der  $ET_C$  erfolgt unter Verwendung von Richtlinien der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) (ALLEN et al. 1998), wobei die potenzielle Evapotranspiration ( $ET_0$ ) mit einem kultur- und entwicklungsphasenspezifischen Faktor ( $K_C$ ) gewichtet wird. Bei Anwendung dieser Methode wurde eine erhöhte Wassernutzungseffizienz und ein verringerter Bewässerungsbedarf in Heidelbeeren der Sorte 'Star' festgestellt (KEEN und SLAVICH 2012).

Der  $K_C$ -Wert wird derzeit beim Aufbrechen der Knospen, bei Vollblüte und zu Beginn der Ernte verändert. Der genaue Zeitpunkt der Umstellung des  $K_C$  ist für Heidelbeere noch wenig untersucht, obwohl die exakte Terminierung des  $K_C$  auf Grundlage der Fruchtentwicklungsphasen potentiell einen Vorteil darstellt (PEREIRA et al. 2015).

Ziel dieser Untersuchung war es, den Effekt der Terminierung vom feldangepassten  $K_C$ -Wert basierend auf (i) FAO-Tabellen und Feldparametern mit dem (ii) an Feldparameter und zusätzlich auch Fruchtentwicklungsphasen berücksichtigenden  $K_C$ -Wert zu vergleichen. In beiden Fällen wurde die Wasserbilanzierung während der Vegetationsperiode über zwei Jahre vorgenommen.

## Material und Methoden

### Versuchsfelder

Die Heidelbeersorte 'O'Neal' wurde im Jahr 2017 am ATB-Forschungsstandort im „FieldLab für digital Agriculture“, im semi-humiden Klima in Potsdam-Marquardt beprobt. Außerdem wurde die Sorte 'Bluecrop', die in einer kommerziell genutzten Obstanlage der gleichen Anbauregion angebaut wurde, analysiert. Im Jahr 2018 erfolgte die Beprobung der wirtschaftlich bedeutenden Sorten 'Duke' und 'Bluecrop' wiederum in der kommerziellen Obstanlage. Alle in der Studie verwendeten Pflanzen wurden durch Tropfbewässerung versorgt. Die Bodentextur entspricht sandigem Lehm mit einer Feldkapazität ( $\Theta_{FC}$ ) von  $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  und einem permanenten Welkepunkt ( $\Theta_{WP}$ ) von  $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

### Pflanzen- und Fruchtentwicklung

Das phänologische Stadium der Vollblüte wurde visuell bei 50 % offener Blüten festgelegt. Es fand zweimal wöchentlich eine Fruchtbeobachtung ( $n = 45$ ) statt. Veränderungen der Fruchtentwicklungsphasen wurden durch Größenanalyse des Fruchtdurchmessers mit dem Messschieber ermittelt. Der Übergang von Phase II zu Phase III wurde durch einen statistischen t-Test bestimmt. Unterschiede zwischen dem Messintervall der berechneten Wachstumsrate wurden bei  $\alpha \leq 0,05$  als signifikant angesehen.

### Wasserbilanzierung

Die Parameter Lufttemperatur ( $T$  in  $^{\circ}\text{C}$ ), relative Luftfeuchtigkeit ( $RH$  in %), Windgeschwindigkeit ( $u$  in  $\text{m s}^{-1}$ ), Globalstrahlung ( $R_n$  in  $\text{W m}^{-2}$ ) und Niederschlag ( $P$  in  $\text{mm}$ ) wurden alle 15 Minuten von Wetterstationen (IMT, Pessl, Österreich) aufgezeichnet, welche sich jeweils im Bestand befinden. Zur Berechnung der aktuellen Evapotranspiration ( $ET_C$  in  $\text{mm d}^{-1}$ ) wird eine Schätzung des kulturspezifischen Pflanzenkoeffizienten ( $K_C$ ) anhand des Basisbestandskoeffizienten ( $K_{cb}$ ), des Bodenoberflächenverdampfungskoeffizienten ( $K_e$ ), des Bodenwasserstresskoeffizienten ( $K_s$ ) und der potenziellen Evapotranspiration ( $ET_0$ ) benötigt (Gl. 1). Die  $ET_0$  wurde täglich unter Verwendung der FAO-Penman-Monteith-Gleichung berechnet (ALLEN et al. 1998) und die Koeffizienten den Standortbedingungen entsprechend angepasst (JENSEN et al. 1990; ALLEN et al. 1998).

$$ET_C = (K_s K_{cb} + K_e) ET_0 \quad (\text{Gl. 1})$$

Die Basisbestandskoeffizienten wurden über die täglich gemessenen Wetterdaten berechnet, unter Berücksichtigung der gemessenen, mittleren Pflanzenhöhe von  $h = 1,8$  m für 'O'Neal',  $h = 1,5$  m für 'Duke' und  $h = 1,2$  m für 'Bluecrop'. Der tabellarisch erfasste Basisbestands- $K_{cb}$  (tab) wurde wie folgt verwendet: Knospenaufbruch bis zur Vollblüte ( $K_{cb,ini}$ ) 0,30, Vollblüte bis Ernte ( $K_{cb,mid}$ ) auf 1,05 und von Beginn der Ernte bis Blattfall ( $K_{cb,end}$ ) 0,50 (ALLEN et al. 1998, Tabelle 12). Die Koeffizienten wurden an die Feldbedingungen angepasst (Gl. 2, 3, 4).

$$K_{cb,ini} = K_{cb,ini(tab)} + [0,04 (u-2) - 0,004(RH-45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (\text{Gl. 2})$$

$$K_{cb,mid} = K_{cb,mid(tab)} + [0,04 (u-2) - 0,004(RH-45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (\text{Gl. 3})$$

$$K_{cb,end} = K_{cb,end(tab)} + [0,04 (u-2) - 0,004(RH-45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (\text{Gl. 4})$$

Die Bodenparameter wurden basierend auf dem gesamten verfügbaren Bodenwasser in der Wurzelzone (*total available water*, TAW), unter Berücksichtigung der gemessenen mittleren Wurzeltiefe ( $z$ ) von 0,25 m (Gleichung 5), berechnet. Hierbei ist das gesamte verdampfbare Wasser (*total evaporated water*, TEW) die Wassermenge, die in Abhängigkeit von der Bodentextur als Differenz aus volumetrischen Wassergehalt bei Feldkapazität und permanenten Welkepunkt berechnet wird (Gl. 5, 6). Die  $Z_e$  ist die betrachtete Bodentiefe. Das pflanzenverfügbare Bodenwasser (RAW) wurde berechnet und als Schwellenwert für den Trockenstress verwendet (Gl. 7, 8). Das leicht verdampfbare Wasser (*readily evaporable water*, REW) lag bei 6 mm (ALLEN et al. 1998, Tabelle 19). Nur wenn die Wasserre-

duzierung,  $D_r$  (in mm), in der Wurzelzone den am Ende des Tages pflanzenverfügbaren Wassergehalt überschritt, wurde der  $K_S$  geschätzt.

$$TAW = 1.000 (\Theta_{FC} - \Theta_{WP}) Z \quad (Gl. 5)$$

$$TEW = 1.000 (\Theta_{FC} - \Theta_{WP}) Z_e \quad (Gl. 6)$$

$$RAW = p TAW \quad (Gl. 7)$$

$$p = p_{tab} + 0,04 (5-ET_c) \quad (Gl. 8)$$

Um die Evaporation im Wasserhaushaltsmodell weiter zu untersuchen, wurde der  $K_e$  für die mittlere und letzte Wachstumsphase gemäß früheren Experimenten berechnet (ALLEN et al. 2005) (Gl. 9), wobei  $K_{C,max}$  den Maximalwert von  $K_C$  während der Vegetationsperiode darstellt. Die Schätzung von  $K_e$  findet statt, wenn der Boden zu trocknen beginnt, d.h. wenn die tägliche, kumulative Wassermenge, die von der Oberfläche verdunstet ist ( $D_{e,i}$ ), das leicht verdampfbare Wasser (REW) übersteigt. Dies wurde durch den Bodenevaporationskoeffizienten ( $K_r$ ) definiert (Gl. 10).

$$K_e = K_r (K_{cb,max} - K_{cb,mid,end}) \quad (Gl. 9)$$

$$K_r = \frac{TEW - D_{e,i}}{TEW - REW} \quad (Gl. 10)$$

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei Fälle verglichen, in denen die Terminierung von  $K_C$  ( $K_C = K_{cb} + K_e$ ) gemäß den in FAO-56 tabellierten, feldangepassten phänologischen Stadien eingestellt oder an die bei Heidelbeeren relevanten Wachstumsstadien angepasst wurde. Unter Verwendung dieser beiden Terminierungen wurden die resultierenden zwei  $ET_C$ -Fälle, die auf Referenz-FAO-Daten ( $ET_{C,RF}$ ) und  $K_C$ -Terminierung gemäß der tatsächlichen Fruchtentwicklungsphase der Heidelbeeren ( $ET_{C,FE}$ ) berechnet. Unter Nutzung von  $ET_{C,RF}$  und  $ET_{C,FE}$  wurden die entsprechenden täglichen Wasserbilanzierungen ( $WB_{RF}$ ) und ( $WB_{FE}$ ) durchgeführt. In beiden Fällen (Gl. 11, 12) wurde der tägliche Niederschlag ( $P$ ) in der Bilanz verwendet.

$$WB_{RF} = ET_{C,RF} - P \quad (Gl. 11)$$

$$WB_{FE} = ET_{C,FE} - P \quad (Gl. 12)$$

## Datenverarbeitung

Die Analysen wurden in Matlab (Version R2017a, Mathworks) durchgeführt. Die Analyse der Fruchtentwicklungsphasen und Erstellung der Abbildungen erfolgte in R (R-Coreteam 2018).

## Ergebnisse und Diskussion

### Bestimmung der Terminierung des $K_C$

Die Ergebnisse der Messungen des Durchmessers im Verlauf der Fruchtentwicklung zeigen die typische doppelsigmoide Wachstumskurve bei Heidelbeere (RETAMALES und HANCOCK 2012). Die Entwicklungsphase I, Zellteilung, ist gekennzeichnet durch eine schnelle Zunahme des Fruchtdurchmessers, gefolgt von einer größenstabilen Periode, der Embryonalentwicklung in Entwicklungsphase II. Den Abschluss bildet die Entwicklungsphase III mit deutlicher Zunahme des Fruchtdurchmessers, der Zellstreckung. Die berechnete Wachstumsrate lässt einen Rückgang des ersten Anstiegs bereits zu

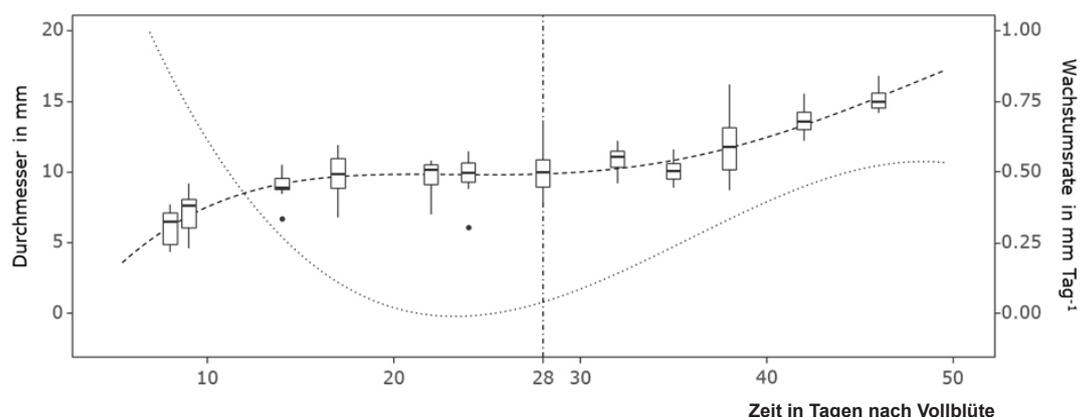


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf des Durchmessers (in mm; gestrichelte Linie) und die Wachstumsrate (in mm Tag<sup>-1</sup>; gepunktete Linie) von Heidelbeere 'O'Neal' im Jahr 2017 während der Fruchtentwicklung in Tagen nach der Vollblüte (TnVb). Die strichpunktierete vertikale Linie zeigt den Übergang von Entwicklungsphase II (Entwicklung Embryo) zur Phase III (Zellstreckung).

Beginn der Messungen erkennen. Für die Ermittlung des Übergangs von  $K_{C,ini}$  zu  $K_{C,mid}$  wurde die Änderung von Phase II zu Phase III gewählt. Im Jahr 2017 änderte sich das Wachstumsverhalten von Phase II zu Phase III für 'O'Neal' (Abbildung 1) 28 Tage nach der Vollblüte (TnVb) und für 'Bluecrop' 43 TnVb, gefolgt von einem Anstieg des Fruchtdurchmessers. Im Jahr 2018 erfolgte dieser Übergang

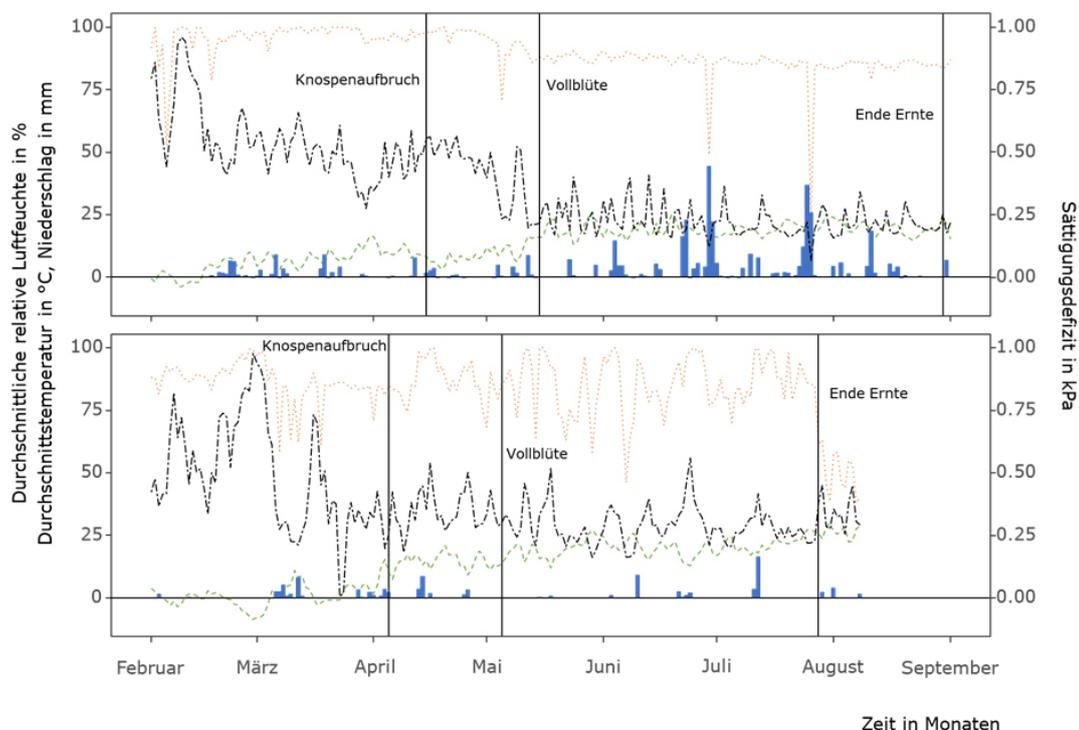


Abbildung 2: Tägliche Wetterdaten während der Vegetationszeit 2017 (oben) und 2018 (unten). Dargestellt sind die Durchschnittstemperatur (in °C; gestrichelte grüne Linie), die mittlere relative Feuchtigkeit (in %; gepunktete orangefarbene Linie), Niederschlag (mm; blaue Säulen) und das Wasserdampfdrucksättigungsdefizit der Luft (kPa; zweistrichige schwarze Linie). Die durchgezogenen Linien weisen auf die phänologischen Stadien von Heidelbeeren 'Bluecrop' nach dem tabellierten, feldangepassten FAO-Ansatz hin.

für beide Sorten, 'Bluecrop' und 'Duke', bei 30 TnVb. Der relativ frühe Termin ergab sich aufgrund der hohen Temperaturen im Jahr 2018 (Abbildung 2).

### Fruchtentwicklung und Wetterdaten

Das Jahr 2017 war während der gesamten Fruchtentwicklung geprägt von außergewöhnlich hohen Niederschlägen im Vergleich zur mittleren Niederschlagsmenge der letzten 30 Jahre (DEUTSCHER WETTERDIENST 2018) (Abbildung 2). Zwischen dem Beginn des Knospenaufbruchs im April und dem Ende der Ernte im August wurden Niederschläge von 357 mm gemessen. Frostereignisse traten bis Ende April auf. Im Gegensatz dazu war die Vegetationsperiode im Jahr 2018 durch hohe Temperaturen und geringe Niederschlagsmengen gekennzeichnet. Während der Fruchtentwicklung wurden nur 87 mm Niederschlag gemessen. Das letzte Frostereignis wurde am 3. April registriert. Aufgrund der Witterungsbedingungen war die Fruchtentwicklung beschleunigt und die Ernte außergewöhnlich früh.

### Wasserbilanzierung

Der an das Feld angepasste  $ET_{C,RF}$  berücksichtigte die Pflanzenhöhe und den volumetrischen Bodenwassergehalt bei Feldkapazität und Welkepunkt. Die Terminierung nach FAO bestimmt den Zeitpunkt des Knospenaufbruchs als Startpunkt für  $K_{C,ini}$ . Der Wechsel zu  $K_{C,mid}$  erfolgt bei Vollblüte, der Wechsel zu  $K_{C,end}$  am ersten Tag der Ernte (Abbildung 3). Variable kulturheidelbeerspezifische Anforderungen an die Bewässerung werden bei dem FAO-Ansatz im Verlauf der gesamten Fruchtentwicklung nicht berücksichtigt. Um die Terminierung des  $K_C$  an die fruchtentwicklungsphasenspezifischen Bedürfnisse anzupassen, wurde der  $K_{C,ini}$  ebenfalls auf den Zeitpunkt des Aufbrechens der Knospen gelegt. Im Verlauf der Zellstreckungsphase ist die Wasserversorgung der Früchte für die Ertragsbildung und die Erzeugung hoher Fruchtqualität relevant, während zuvor eine übermäßige Wasserversorgung die Qualität des Holzes beeinträchtigen kann. Daher wurde der Übergang von  $K_{C,ini}$  zu  $K_{C,mid}$  in der vorliegenden Studie von Vollblüte auf den Übergang von Phase II auf Phase III verschoben (Abbildung 3).

Aufgrund der hohen Variabilität der Fruchtreifeentwicklung innerhalb eines Frucht-Clusters wird bei Heidelbeere üblicherweise eine selektive Ernte durchgeführt. Da die Phase der Zellstreckung während des gesamten Erntefensters anhält, wurde der Wechsel von  $K_{C,mid}$  zu  $K_{C,end}$  statt am Anfang, wie in der FAO-56 allgemein vorgeschlagen, auf das Ende der Ernte terminiert. In 2017 dauerte für 'O'Neal' die Phase  $K_{C,ini}$  59 Tage und  $K_{C,mid}$  72 Tage, gefolgt von  $K_{C,end}$ . Für 'Bluecrop' entfielen 73 Tage auf  $K_{C,ini}$  und 64 Tage auf  $K_{C,mid}$ . Im Jahr 2018 waren es für 'Bluecrop'  $K_{C,ini}$  62 Tage und  $K_{C,mid}$  61 Tage beziehungsweise für 'Duke'  $K_{C,ini}$  62 Tage und  $K_{C,mid}$  54 Tage.

Im Jahr 2017 stieg der mittels  $WB_{RF}$  berechnete Wasserbedarf im Juni bis auf  $69,6 \pm 14,5$  mm (Abbildung 3, oben). Im Anschluss erfolgte, bedingt durch erhöhte Niederschlagsmengen, ein deutliches Abfallen des Wasserbedarfs. Es folgte ein erneutes Ansteigen des Wasserbedarfs beim Übergang von  $K_{C,mid}$  zu  $K_{C,end}$  dem Zeitpunkt des kommerziellen Erntetermins Anfang Juni. Auf Grundlage der Fruchtentwicklungsphasenbestimmung (Abbildung 1) wurde der Übergang von  $K_{C,ini}$  zu  $K_{C,mid}$  erst Ende Juni zum Beginn der Zellstreckung eingeleitet (Abbildung 3). Durch die Terminierung des  $K_C$ -Übergangs unter Berücksichtigung der Fruchtentwicklungsphasen, ergab sich eine Verlängerung von  $K_{C,mid}$  bis zum Ende des Erntefensters. Dies führt in der  $WB_{FE}$  zu einem Anstieg des Wasserbedarfs im Zeitraum April bis Juli, jedoch zu einer Reduzierung des kumulierten Wasserbedarfs während des Erntefensters.

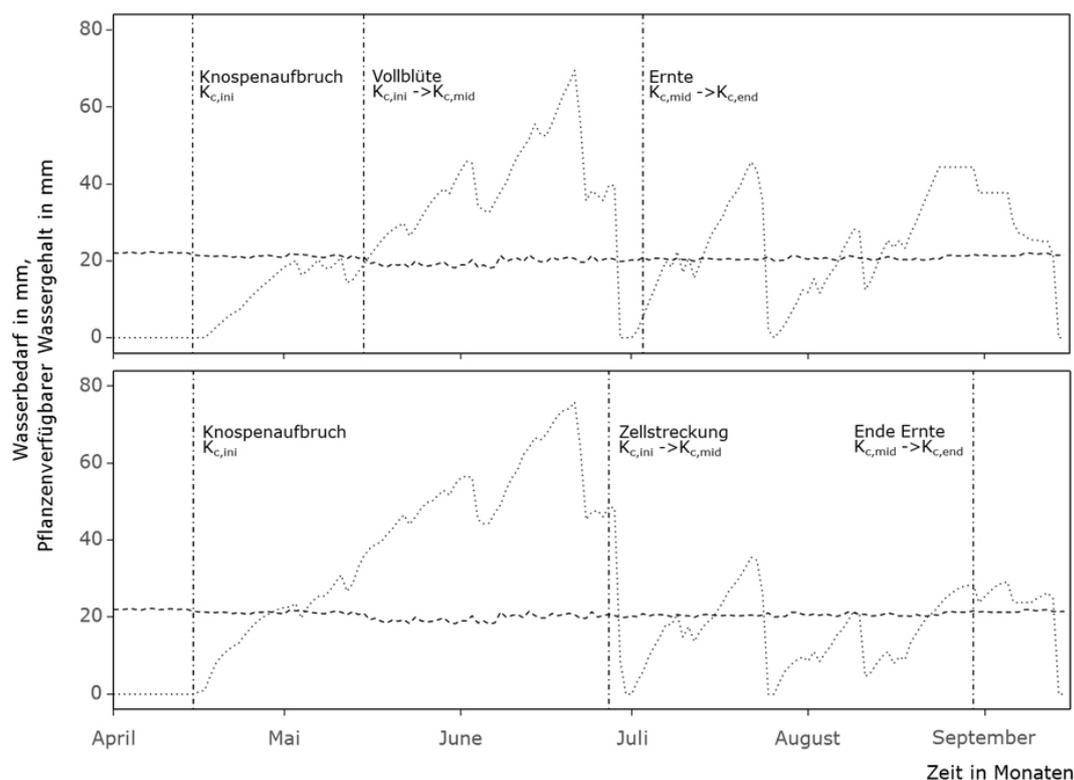


Abbildung 3: Feldangepasste Wasserbilanz (in mm; gepunktete Linie) nach FAO ( $WB_{RF}$ ; oben) und zusätzlich an die Fruchtstadiums adaptierte Terminierung der Pflanzenkoeffizienten ( $K_C$ ) ( $WB_{FE}$ ; unten) sowie pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt (in mm; gestrichelte Linie) im Jahr 2017. Die Übergänge des  $K_C$  sind zur Orientierung (vertikale strichpunktierte Linien) eingetragen.

In dem vergleichsweise trockenen Jahr 2018 wurden die Messungen in einer kommerziellen Anlage an den wirtschaftlich bedeutenden Sorten 'Duke' und 'Bluecrop' fortgeführt. Auch hier wurden ähnliche Wasserbedarfsmuster festgestellt (Tabelle 1). Es kann angenommen werden, dass die Berücksichtigung der Fruchtentwicklung und Verschiebung des  $K_C$ -Übergangs zum Ende des Erntefensters ein Optimierungspotenzial zur bedarfsgerechten Wasserbilanzierung und Erhöhung der Wassernutzungseffizienz bei Erzeugung von marktfähigen Früchten aufweist.

Tabelle 1: Monatlicher Wasserbedarf von 'Bluecrop' und 'Duke' im Jahr 2018 (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) basierend auf FAO-feldangepasstem täglichen Wasserbedarf ( $WB_{RF}$ ) und zusätzlich angepasst an die gemessene Fruchtentwicklung und Erntefenster bei Heidelbeere ( $WB_{FE}$ ).

Fall	Wasserbedarf in mm				
	April	Mai	Juni	Juli	August
$WB_{RF}$	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0	0,8 $\pm$ 0,1	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0
$WB_{FE}$	0,0 $\pm$ 0,0	29,8 $\pm$ 1,3	84,2 $\pm$ 2,7	73,2 $\pm$ 1,3	0,0 $\pm$ 0,0

Im Bewässerungsmanagement wird der tägliche Wasserbedarf über dem Schwellenwert für Trockenstress berechnet, welcher als pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt (RAW) berücksichtigt wird. Der Wasserbedarf überstieg in beiden Jahren und in beiden Ansätzen den RAW. An wenigen Tagen (Abbildung 3) ergab die  $WB_{RF}$  einen erhöhten Wasserbedarf, an den deutlich überwiegenden

Tagen war der Wasserbedarf bei Berücksichtigung des fruchtspezifischen Ansatz jedoch erhöht. Die Terminierung des  $K_C$  beeinflusst die  $ET_C$ , welche ein Faktor bei der Berechnung des RAW ist (Gleichung 8). Obwohl das Modell in beiden Fällen auf vergleichbaren Feldbedingungen bei Heidelbeere basiert, unterscheiden sich die Bewässerungsbedürfnisse in den einzelnen Fällen. Die Anpassung der Wasserbilanzierung an die Bedürfnisse der Frucht in den jeweiligen Fruchtentwicklungsphasen (Abbildung 3, unten) ergab einen Bewässerungsbedarf von 186 mm im Jahr 2018 im Vergleich zur FAO-basierten Wasserbilanzierung im Zeitraum zwischen Knospenaufbruch und Ernte. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung ermöglicht die zeitliche Anpassung des  $K_C$ -Übergangs, unter Berücksichtigung der Fruchtentwicklungsphasen, die Beachtung des Trockenstresses der Frucht selbst, nicht nur der Pflanze. Die Auswirkung der fruchtangepassten Wasserbilanzierung auf den Ertrag wurde in dieser Untersuchung nicht betrachtet, sollte aber in zukünftigen Studien berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum kultur- und standortangepassten Wasserbedarf von wirtschaftlich bedeutenden Sorten zeigen, dass durch die Berücksichtigung von Boden- und Pflanzeigenschaften eine bessere Anpassung des  $K_C$ -Werts erfolgt. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich sind jedoch notwendig. Insbesondere sollte die im Feld vorliegende räumliche Variabilität der Bodentextur, der Anteil organischer Substanz und die resultierende nutzbare Feldkapazität berücksichtigt werden. Außerdem könnten alternative Verfahren wie Temperatursummen zur Charakterisierung von Fruchtentwicklungsphasen angewendet werden.

## Schlussfolgerung

Der tägliche Schwellenwert für die Bewässerung wurde unter Verwendung des pflanzenverfügbaren Wassergehalts des Bodens bei 'O'Neal', 'Duke' und 'Bluecrop' feldangepasst festgelegt. Die Bestimmung des  $K_C$ -Übergangs auf Basis der Fruchtentwicklungsphasen ermöglicht die Vermeidung von Trockenstress in stress-sensitiven Wachstumsstadien. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass eine Anpassung des auf FAO-Werten basierenden Feldmanagementsystems entsprechend der Fruchtentwicklungsphasen die Wassernutzungseffizienz optimieren kann.

## Literatur

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Irrigation Drain
- Coombe, B. G. (1976): The development of fleshy fruits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27, pp. 207-228
- Deutscher Wetterdienst (2018): Deutscher Klimaatlas. URL: [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html), Zugriff am 07.08.2018
- Ehret, D. L.; Frey, B.; Forge, T.; Helmer, T. (2012): Effects of drip irrigation configuration and rate on yield and fruit quality of young highbush blueberry plants. *HortScience* 47, pp. 414-421
- Jensen, M. E.; Burman, R. D.; Allen, R. G. (1990): Evapotranspiration and irrigation water requirements, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 70
- Johnson, L. K.; Malladi, A. (2011): Differences in cell number facilitate fruit size variation in rabbiteye blueberry genotypes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 136, pp. 10-15
- Jorquera-Fontena, E.; Génard, M.; Franck, N. (2017): Analysis of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit water dynamics during growth using an ecophysiological model. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 92, pp. 646-659

- Keen, B.; Slavich, P. (2012): Comparison of irrigation scheduling strategies for achieving water use efficiency in high-bush blueberry. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 40, pp. 3-20
- Pereira, L. S.; Allen, R. G.; Smith, M.; Raes, D. (2015): Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, pp. 4-20
- R Core Team (2018): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>
- Retamales, J. B.; Hancock, J. F. (2012): Blueberries. *Crop production science in horticulture series* 21, p. 58
- Statistisches Bundesamt (2018): Anbaufläche von Heidelbeeren in Deutschland in den Jahren 2008 bis 2017 (in Hektar). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/>, Zugriff am 07.08.2018

## Autoren

**Nicole Brandes M.Sc.** und **Nikolaos Tsoulas M.Sc.** und **Dr. habil. Manuela Zude-Sasse** sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Technik im Gartenbau am Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: [mzude@atb-potsdam.de](mailto:mzude@atb-potsdam.de).

## Danksagung

Die Forschung wurde im Rahmen der operationellen Gruppe AquaC+ mit finanzieller Unterstützung von EIP-AGRI durchgeführt. Die Autoren danken Josef und Jürgen Jakobs für die Bereitstellung der Heidelbeeren und Wetterdaten.