

Zwiebelsorten reagierten gleichermaßen positiv auf Zusatzwasser; Prognose der Bodenwassergehalte durch Modelle zum Teil ungenau	Zwiebeln Bewässerung Sorte
--	-----------------------------------

Zusammenfassung

Bei einem erneuten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Sommerzwiebeln am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz zeigten sich 2011 wiederum deutliche Ertragseffekte einer Beregnung von 104 mm. Mit einem Ertragszuwachs von 172 kg/ha pro mm Wassergabe wurde eine nahezu identische Wassereffizienz wie im Vorjahresversuch ermittelt. Eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung konnte wiederum nicht beobachtet werden.

Die mit Hilfe des 'Geisenheimer Modells' prognostizierten Bodenwassergehalte stimmen mit den tatsächlichen vorgefundenen Werten gut überein, wenn die Berechnung auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerte mit entsprechenden K_{PENMAN} -Faktoren erfolgte.

Versuchshintergrund u. -frage

Im mitteldeutschen Anbaugebiet mit seinen Lössböden werden Sommerzwiebeln zumeist ohne Beregnung angebaut. Der Klimawandel und dabei insbesondere die prognostizierte Frühsommertrockenheit stellen aber langfristig einen unberegneten Anbau in Frage.

Neben der Überprüfung von vorhandenen Beregnungsmodellen sollen im Rahmen eines 4-jährigen Projektes spezielle Sorten mit einer ggf. besseren Toleranz gegenüber Trockenstress getestet werden. Im ersten Versuchsjahr 2010 konnte bei deutlicher Bewässerungswirkung allerdings keine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung beobachtet werden (LABER & BRENNER 2010).

Material und Methoden

Im Versuch konnten 4 mittelfrühe Sorten geprüft werden, wovon jeweils 2 seitens der Züchter als 'eher trockenstresstolerant', die anderen beiden als 'eher wasser- bzw. beregnungsbedürftig' eingeschätzt wurden (Tab. 1).

Tab. 1: Einbezogene Sorten; erreichte Bestandesdichte

Sorte	Hyfort	Summit	Barito	Sunnito
Züchter	Bejo		Seminis	
Trockenstresstoleranz ¹⁾	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein
Bestandesdichte [Pfl./m ²] ²⁾	107	101	92	95

¹⁾: Einschätzung/Angabe des Züchters; ²⁾: Pfl./Netto-m², Auszählung am 13.7., 6 lfdm pro Sorte pro Wiederholung, (Unterschiede zwischen den Sorten nicht statistisch abgesichert)

Die Aussaat der Zwiebeln erfolgte am 15. März. Die günstigeren Frühjahrsbedingungen führten gegenüber dem Vorjahr zu einer bis drei Wochen früheren Entwicklung der Zwiebeln. Die erst zur Zeit der Bulbenentwicklung ausgezählte Bestandesdichte war (vermutlich auf Grund von Doppelablagen) mit durchschnittlich 99 Pfl./Netto-m² relativ hoch (Tab. 1). Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen war der Zwiebelbestand bis zur Ernte praktisch unkraut- und befallsfrei.

Die Rodung der Zwiebeln erfolgte nach Abschlegen des Laubes mit einem Siebkettenroder. Nach Trocknung im Schwad wurde in Kisten 'unter Dach' nachgetrocknet. Sortiert wurden die 'raschel-trockenen' Zwiebeln mit einer Zwiebelsortiermaschine mit 40 und 70 mm Maschensieb. Die ermittelten Erträge wurden auf die Brutto-Fläche (inklusive Fahrspuren) bezogen.

Versuche im deutschen Gartenbau Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Gartenbau, Dresden-Pillnitz Bearbeiter: Hermann Laber und Sonja Brenner	2 0 1 1
--	----------------

Kultur- und Versuchsdaten:

15. März 2011: Einzelkornaussaat der Sorten, Beetanbau (1,5 m) mit 5 Reihen, Reihenabstand 22,5 cm, Kornablageabstand 4,8 cm (92,6 Korn/Netto-m²),
7. April: Auflauf (BBCH 09), Bodenwasserprobe, Beginn der Bilanzierung
6. Juni: Aufdüngung auf 130 kg N_{min}/ha in 0-60 cm
1. Juni: 5-Blatt-Stadium (BBCH 15)
21. Juni: 8-Blatt-Stadium (BBCH 18)
2. Aug.: Beginn Schlottenknick (BBCH 47, bei allen Sorten relativ einheitlich)
Bodenart: s. Tab. 2, nach Bodenschätzung: L 3 Al 73/74
Versuchsanlage: Zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 3 Wiederholungen
Parzellengröße: 9,0 Brutto-m² (6 lfdm Beet)
Beregnung: Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen (Gierhake Maschinenbau)

Neben einer '**Kontrolle**', in der keine Beregnung durchgeführt wurde, sollten in einer '**Praxis**'-Variante nur bei extremer Trockenheit 1 bis 2 Regengaben erfolgen, so dass der Bodenwassergehalt 40 % nFK nicht unterschreitet. In der Variante '**Intensiv**' wurde nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010) eine Wasserbilanz erstellt und entsprechend beregnet. Allerdings sollte abweichend vom Modell (bei dem der Boden durch die Beregnungsgaben immer wieder auf den Ausgangswassergehalt von rund 100 % nutzbare Feldkapazität (nFK) aufgefüllt werden soll) erst bei ca. 60 % nFK eine Beregnung durchgeführt werden, die den Boden auf ca. 80 % nFK auffüllt. Dabei wurde zunächst bis zum 5-Blatt-Stadium (BBCH 15) nur die Bodenschicht 0-30 cm einbezogen, danach wurde entsprechend mit 0-60 cm Tiefe kalkuliert.

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration des Zwiebelbestandes (ET_c) und damit der Wasserbilanz erfolgte nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010). Dabei wurde mit den entsprechenden k_c -Werten für Sommerzwiebeln gerechnet (vgl. Abb. 1), die entweder auf die potentielle Verdunstung nach der modifizierter PENMAN-Gleichung (ET_{PENMAN}) ausgelegt sind ($k_{CPENMAN}$, FA-GM 2011a), oder sich aber auf die um 25-35 % geringere (PASCHOLD et al. 2011) FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) beziehen (k_{CFAO} , FA-GM 2011b). Allerdings wurde (wie auch bei der 'Agrowetter'-Beregnungsberatung [s. u.] und im Vorjahresversuch) in einer Berechnungsvariante auch bei Verwendung von ET_0 mit den $k_{CPENMAN}$ -Werten gerechnet.

Abweichend vom 'Geisenheimer Modell', das "nach starken Niederschlägen" mit einer Überschreitung der Feldkapazität (FK) die Bilanzierung für 2 Tage aussetzt und danach wieder mit FK 'startet', wurde bei der eigenen Kalkulation die Nutzung der über die FK hinausgehende Wassermenge (langsam bewegliches Sickerwasser) dadurch eingerechnet, dass sich der Boden auf bis zu 105 % nFK auffüllen konnte und nur die darüber hinausgegangene Niederschlagsmenge als versickert angenommen wurde.

Parallel wurde die Verdunstung/Wasserbilanz mit dem vom Deutschen Wetterdienst angebotenen Modul 'Agrowetter Beregnungsberatung' berechnet, dass sich ebenfalls weitestgehend am 'Geisenheimer Modell' orientiert. Allerdings wird hier trotz der zugrunde gelegten FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) generell mit den $k_{CPENMAN}$ -Werten gerechnet.

Im Falle einer Überschreitung der FK wird bei diesem Modell die Bilanzierung nicht ausgesetzt, sondern die Versickerung in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften kalkuliert (AGROWETTER 2009). Eine Besonderheit von 'Agrowetter' ist die Berechnung einer aktuellen Verdunstung ($ET_{c,adj}$), die im Falle einer nicht ausreichenden Wasserversorgung des Bestandes unter ET_c liegt (JANSSEN 2010).

Bei der Berechnung mit 'Agrowetter' wurden die Voreinstellungen bezüglich der Schwellenwerte für den Beregnungsbeginn (70 % bis BBCH 15, 60 % bis BBCH 18, danach 50 %) einheitlich auf 60 % geändert, die maximale Durchwurzelungstiefe wurde von 55 cm (Voreinstellung) auf 60 cm erhöht.

Bei der Berechnung greift 'Agrowetter' automatisch auf die ET_0 -Werte der nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurück (in diesen Falle Dresden-Hosterwitz, ca. 3 km von Versuchsstandort entfernt, ähnliche Topographie etc.). Auch die eigene Berechnung nach 'Geisenheim' wurde auf Basis dieser seitens des DWD freundlicher Weise zur Verfügung gestellten ET_0 -, aber auch $ET_{pPENMAN}$ -Verdunstungswerten durchgeführt. Die Niederschläge wurden 'vor Ort' mit einer Wetterstation des Versuchsbetriebes erfasst. Die so ermittelten Niederschlagswerte wurden auch bei der 'Agrowetter'-Berechnung zugrunde gelegt. Generell geben die dargestellten Niederschlags- und Verdunstungswerte sowie Bodenwassergehalte den Wert bzw. Zustand am Ende des angegebenen Tages (24:00 Uhr) wieder.

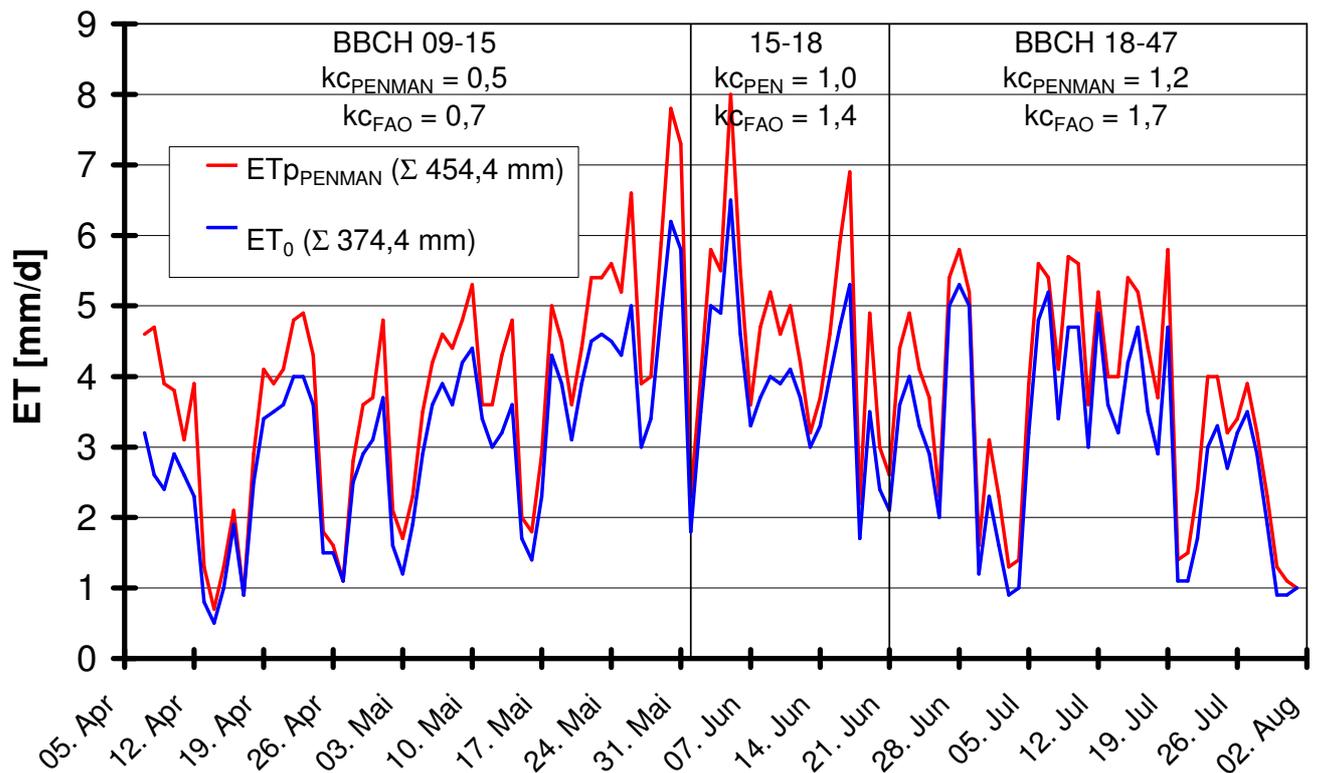


Abb. 1: Evapotranspiration nach der modifizierten PENMAN-Gleichung ($ET_{pPENMAN}$) und FAO Gras-Referenzverdunstung (ET_0) für den Standort Dresden-Hosterwitz

Die Beregnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt zunächst nur 2 mm ausgebracht. Später konnten dann bei den ersten beiden Überfahrten bis zu 6 mm ausgebracht werden, die restlichen Überfahrten erfolgen dann wieder mit 2 mm, so dass bis zu 8 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren. Die ausgebrachte Beregnungsmenge wurde jeweils mit Hilfe von bodennah aufgestellten Regenmessern überwacht.

In ca. 14-tägigen Abstand wurden, möglichst an Terminen ohne direkte vorherige Niederschläge, Bodenproben im Raster von 30 cm bis 60 bzw. 90 cm Tiefe entnommen. Dazu wurden in jeder Haupteinheit in 3 der 4 Sorten je eine Bodenprobe mit einem 'Pürckhauer Bohrstock' (0-60 cm) bzw. mehrteiligen Bohrsatz (0-30, 30-60, 60-90 cm) gezogen, so dass je Variante und Tiefe eine Mischprobe über die 3 Wiederholungen mit insgesamt 9 Einstichen vorlag. Am jeweils gesamten Probenmaterial (ca. 500 bis 1500 g, je nach Bohrstock bzw. Tiefe) wurde durch Trocknen bei 105 °C der gravimetrische Bodenwassergehalt bestimmt. Die Umrechnung in einem volumetrischen Bodenwassergehalt erfolgte mit einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³.

Ergebnisse

Nach einem niederschlagsreichen Winter (190 mm Niederschlag vom 1. Nov. bis 15. März.) wurde am 21. März die FK der Versuchsfläche durch Ziehen einer Bodenprobe bestimmt. Bei einer angenommenen Bodendichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ wurde eine FK von 27,6 Vol.-% (0-60 cm) ermittelt (Tab. 3). Die Kartieranleitung (BGR 2005) weist dagegen für einen stark lehmigen Sand (SI4) bei einer Rohdichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ mit 30 Vol.-% eine etwas höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK zugrunde gelegte Todwassergehalt (PWP) gegenüber der KA 5 (SI4: 12 Vol.-%) mit 11,6 Vol.-% ebenfalls leicht reduziert. Die sich so errechnende nFK von 16 Vol.-% wurde auch in das Agrowetter-Berechnungs-Modul mit einer FK von 27 Vol.-% und einem PWP von 11 Vol.-% übertragen.

Zum Auflauftermin der Zwiebeln Anfang April wurde ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-30 cm Tiefe von 87 % nFK ermittelt. Im weiteren Verlauf fielen dann bis Anfang Mai ausreichend Niederschläge, um nach 'Agrowetter' und den eigenen Berechnungen ($ET_0 \times k_{CPENMAN}$) den Boden in 0-30 cm Tiefe im Bereich von 80 % nFK zu halten (Abb. 2).

Der Mai war mit einer **FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0)** von 111 mm recht trocken, die Zwiebeln verbrauchten aber nur 56,8 mm (ET_c nach 'Agrowetter'), so dass sich bei 55,4 mm Niederschlag über den Monat hinweg eine nahezu ausgeglichene Bilanz ergibt. Mitte Mai kam es nach 'Agrowetter' und eigener Berechnung mit ($ET_0 \times k_{CPENMAN}$) aber dennoch zu einem ersten Absinken der Bodenfeuchte auf (rechnerisch) ca. 60 % nFK, so dass eine Berechnungsgabe von 8 mm in der 'Intensiv'-Variante gegeben wurde. Am 26. Mai war der Schwellenwert von 60 % nFK abermals fast erreicht, worauf hin 16 mm beregnet wurden. Allerdings fielen an diesem Tag entgegen der Wettervorhersage später noch 13 mm Niederschlag, so dass es rechnerisch, bezogen auf die Bodenschicht 0-60 cm zu einer Sickerwasserbildung von 6,8 ('Agrowetter') bzw. 8,3 mm kam (Abb. 3).

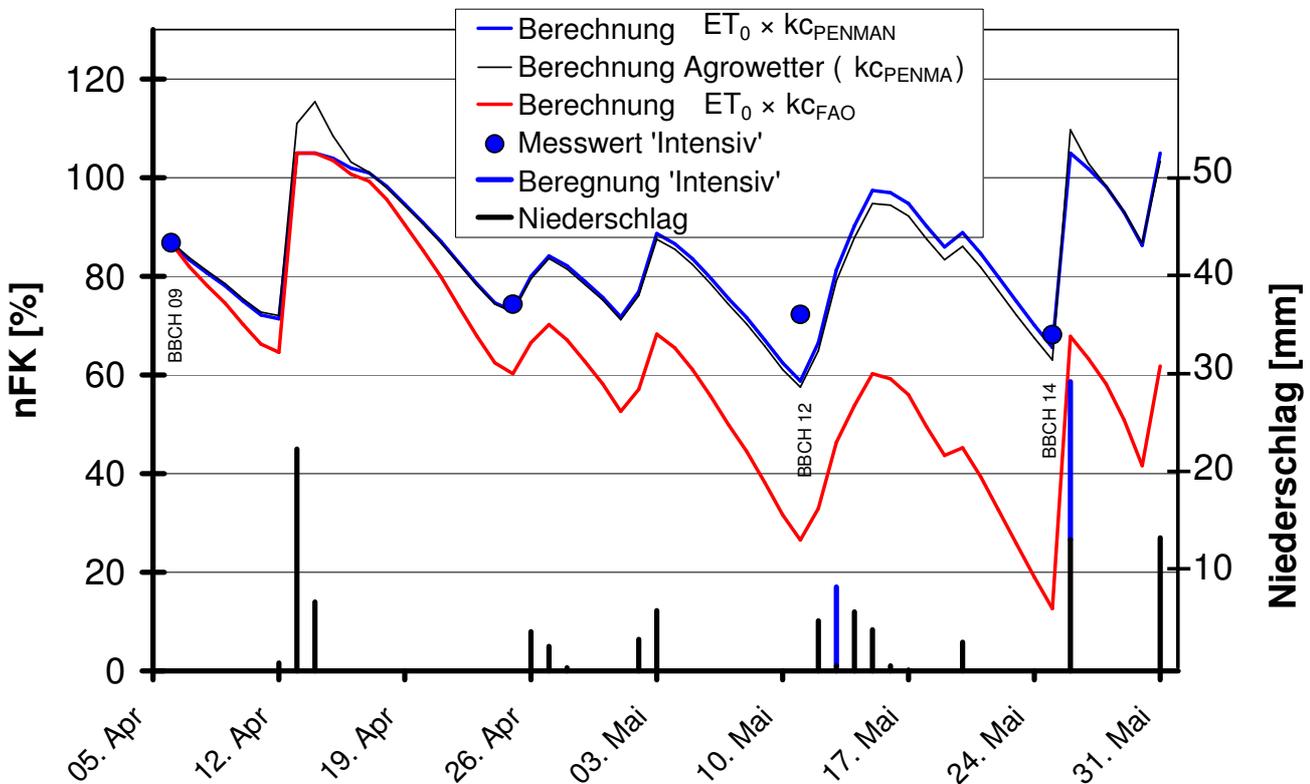


Abb. 2: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Berechnung - ($ET_0 \times k_c$); bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-30 cm bei der Variante 'Intensiv'**

Auch im Juni lag die ET_0 bei 111,3 mm. Bei einer ET_c von 120,7 mm ('Agrowetter') und nur 45,8 mm Niederschlag wurde insgesamt eine Bewässerung von 60 mm in der Variante 'Intensiv' notwendig. Ende des Monats war auch der Schwellenwert der 'Praxis'-Variante von 40 % nFK erreicht, so dass 20 mm beregnet werden mussten (Abb. 3).

Der Juli war mit einer ET_0 von 92,7 mm bzw. ET_c von 113,5 mm ('Agrowetter') und 186,6 mm Niederschlag sehr feucht. Da zwischenzeitlich deutlich geworden war, dass die realen Bodenwassergehalte deutlich geringer waren als mit 'Agrowetter' bzw. der eigenen Berechnung ($ET_0 \times k_{CPENMAN}$) kalkuliert (siehe hierzu unten) wurden am 15. Juli ein letztes mal 20 mm in der 'Intensiv'-Variante gegeben.

Die auf Basis der ET_0 -Werte mit $k_{CPENMAN}$ berechneten täglichen Verdunstungswerte stimmten weitgehend mit dem 'Agrowetter'-Ansatz überein (da rechnerisch praktisch nie eine Bodenfeuchte von 60 % nFK unterschritten wurde, war hier die berechnete $ET_{c,adj} \approx ET_c$). Mit einer berechneten Verdunstung von 321,9 mm wies 'Agrowetter' aber einen geringfügig höheren Wert für die Kulturzeit aus als die eigene Berechnung, die auf 315,3 mm kam (Tab. 4a). Auf Grund der eingeschränkten Wasserversorgung wurde seitens 'Agrowetter' für die Variante 'Praxis' nur eine $ET_{c,adj}$ von 303,8 mm, für die 'Kontrolle' von 290,4 mm berechnet.

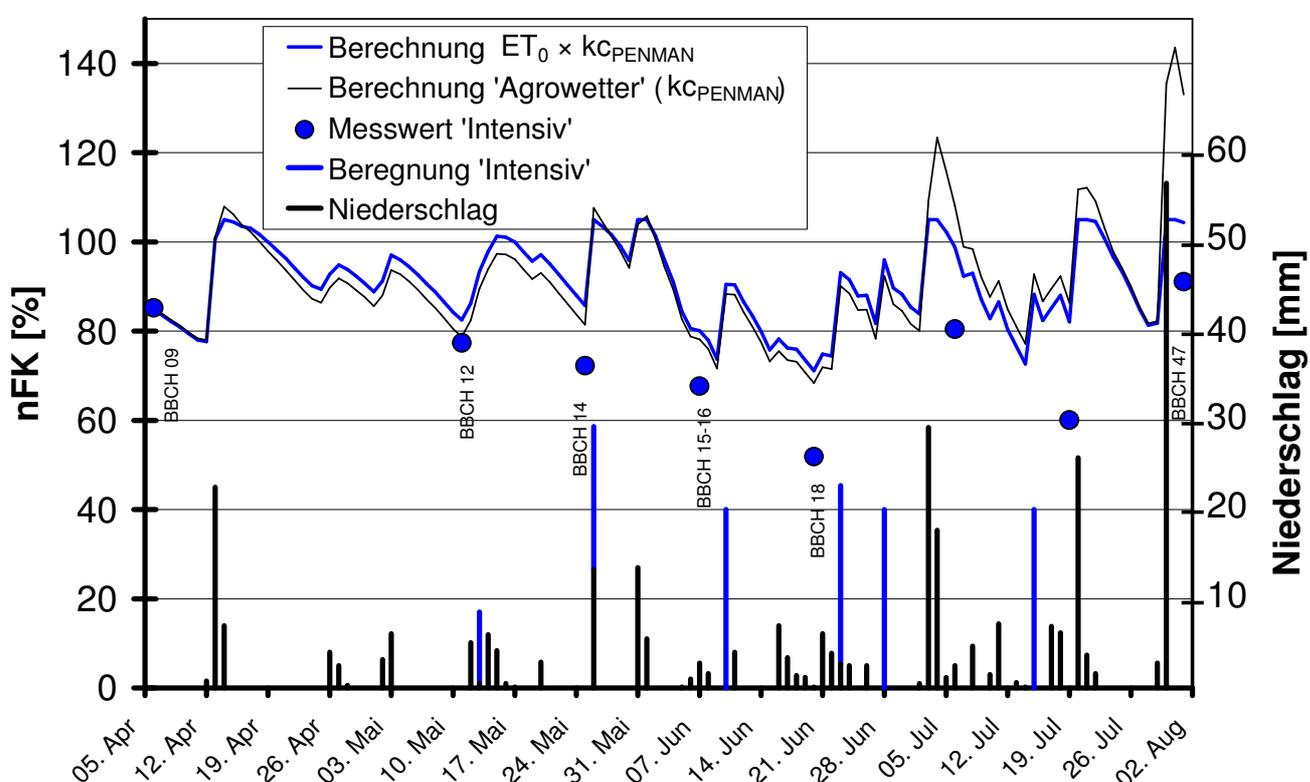


Abb. 3: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Beregnung - ($ET_0 \times k_{CPENMAN}$); bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv'** ('Agrowetter' = Mittelwert der berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Entsprechend den nahezu identischen Verdunstungswerten verliefen die berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante 'Intensiv' ebenfalls sehr ähnlich (Abb. 2 und 3). Nur die unterschiedlichen Modellansätze für die Versickerung führten zu einem etwas unterschiedlichen Verlauf: Während sich nach dem modifizierten 'Geisenheimer Modell' der Boden auf maximal 105 % nFK auffüllte (und die darüber hinaus gehende Menge von insgesamt 95,8 mm als versickert angenommen wurde) und danach nur noch die Verdunstung zu einer Abnahme der Bodenfeuchte beitrug, kann sich nach dem 'Agrowetter-Ansatz' der Boden auch höher auffüllen, dann aber durch Verdunstung und Versickerung schneller das Wasser

wieder verlieren. Insgesamt berechnete 'Agrowetter' eine Versickerung von nur 62,0 mm (Tab. 4b). Diese große Diskrepanz beruht aber vor allem darauf, dass das Starkregenereignis vom 30./31. Juli (74,4 mm) bei der eigenen Berechnung unmittelbar zu einer Versickerung von 50,0 mm führte, während 'Agrowetter' bis zum 1. August (= Ende der Bilanzierung) nur 22,8 mm als versickert angenommen hat. Bis zum 29. Juli wiesen 'Agrowetter' (39,2 mm) und die eigene Berechnung (45,8 mm) eine ähnlich hohe Versickerung aus.

Berechnet man auf Basis ET_0 die Evapotranspiration der Zwiebeln mit den dafür vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehenen k_{CFAO} -Werten, so ergibt sich insgesamt eine ET_c von 443,9 mm. Schon im Lauf der ersten Kulturphase errechnet sich so ein Absinken der Bodenfeuchte in 0-30 cm auf unter 20 % nFK (Abb. 2), das sich im weiteren Kulturverlauf selbst für die Schicht 0-60 cm bis zum permanenten Welkepunkt (0 % nFK) ausweitet (Abb. 4). Im Vergleich mit den in rund 14-tägigem Abstand gravimetrisch ermittelten Bodenwassergehalten ist allerdings eine deutliche Überschätzung der ET_c durch den Ansatz $ET_0 \times k_{CFAO}$ zu erkennen.

Im Gegensatz zum Ansatz $ET_0 \times k_{CFAO}$ führte der Ansatz $ET_0 \times k_{PENMAN}$ (auch 'Agrowetter') ab BBCH 12 zu einer deutlichen Unterschätzung der ET_c , so dass der Boden häufig 20 %-Punkte und mehr trockener war als kalkuliert. Auch im Vorjahresversuch wurde zwischenzeitlich eine leichte Unterschätzung bei einer entsprechenden ET_c -Berechnung festgestellt, doch stellte sich der Ansatz insgesamt als recht gut dar (LABER & BRENNER 2010).

Die für die **PENMAN-Verdunstungswerte** vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehene Berechnung $ET_{PENMAN} \times k_{PENMAN}$ führte zu einer sehr guten Übereinstimmung zwischen berechnetem und tatsächlichem Bodenwassergehalt (Abb. 4). Im Vorjahresversuch ergab dieser Ansatz allerdings eine ähnlich 'dramatische' Überschätzung der Verdunstung wie im aktuellen Versuch $ET_0 \times k_{CFAO}$.

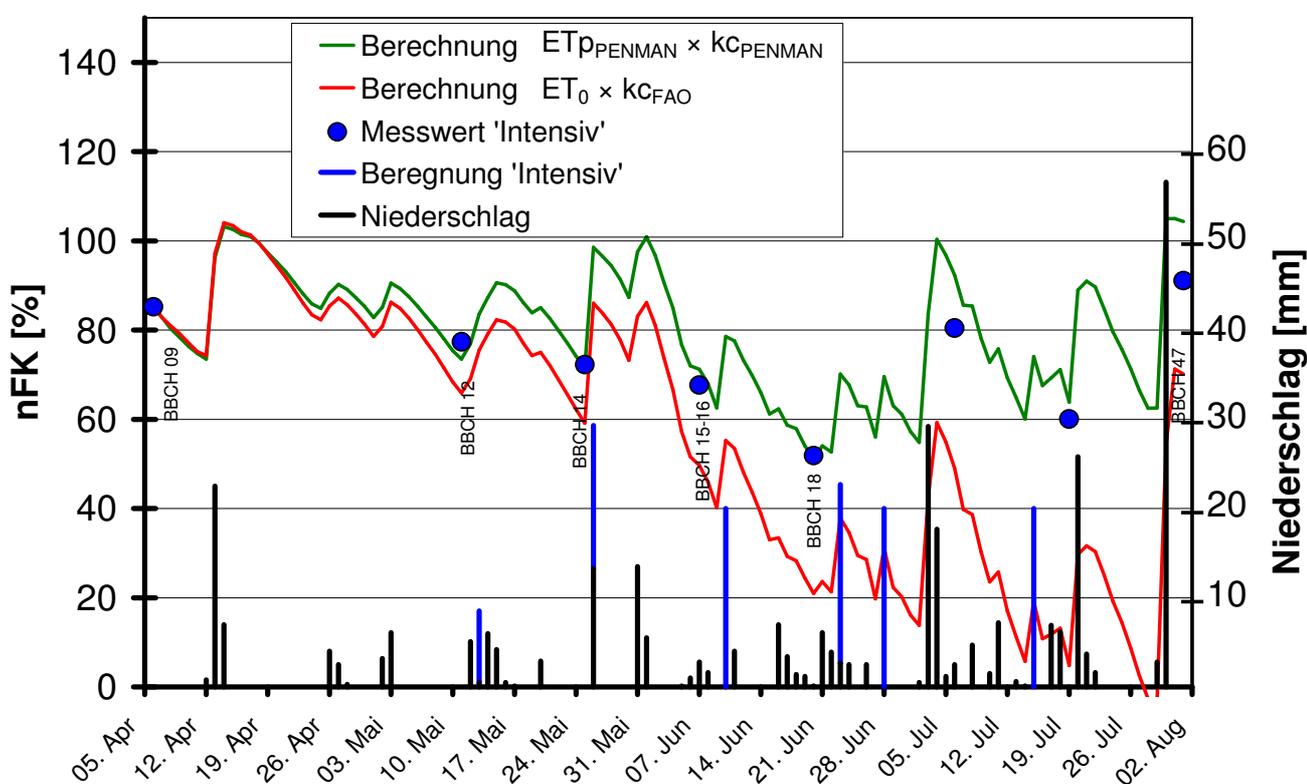


Abb. 4: Niederschlags- und Beregnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Beregnung - ($ET \times kc$); bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv'**

Die relativ gute Anpassung von berechneter zu tatsächlicher Bodenfeuchte im Versuchsjahr 2010 bei Berechnung auf Basis $ET_0 \times k_{CPENMAN}$ bei gleichzeitiger Überschätzung der Verdunstung durch $ET_{pPENMAN} \times k_{CPENMAN}$ (LABER & BRENNER 2010) und der im aktuellen Versuch gefundenen 'Güte' der verschiedenen Modellansätze macht deutlich, dass das Verhältnis von $ET_{pPENMAN}$ zu ET_0 -Verdunstung nicht statisch sondern 'dynamisch' ist. So fließt in die ET_0 -Berechnung neben dem konstanten Bestandes(Stomata)widerstand auch der aerodynamische Widerstand ein, der wiederum von der Windgeschwindigkeit abhängig ist (ALLEN et al. 1998). Im aktuellen Versuch schwankte das Verhältnis von $ET_{pPENMAN}$ zu ET_0 -Tageswerten zwischen 1,00 und 1,81 mit einem Mittelwert von 1,23 (vgl. Abb. 1), während Im Versuch 2010 im Mittel ein Faktor von 1,32 festgestellt wurde. PASCHOLD et al. (2011) berichten von mittleren Werten über die 10 Versuchsjahre hinweg von 1,33 (Sommer) bzw. 1,54 (Frühjahr und Herbst) und setzen dementsprechend die k_{FAO} -Werte um Faktor 1,4 höher an als die $k_{CPENMAN}$ -Werte.

Der Bodenfeuchtigkeitsgehalt der 'Praxis'-Variante wurde vom 'Agrowetter'-Modul im Gegensatz zur 'Intensiv'-Variante relativ gut prognostiziert (Abb. 5). Die 'Kontrolle', die die Beregnungsgabe in Höhe von 20 mm am 28. Juni nicht erhielt, wurde entsprechend trockener eingeschätzt. Später wurden in dieser Variante aber jeweils sogar etwas höhere Bodenwassergehalte als in der 'Praxis'-Variante festgestellt.

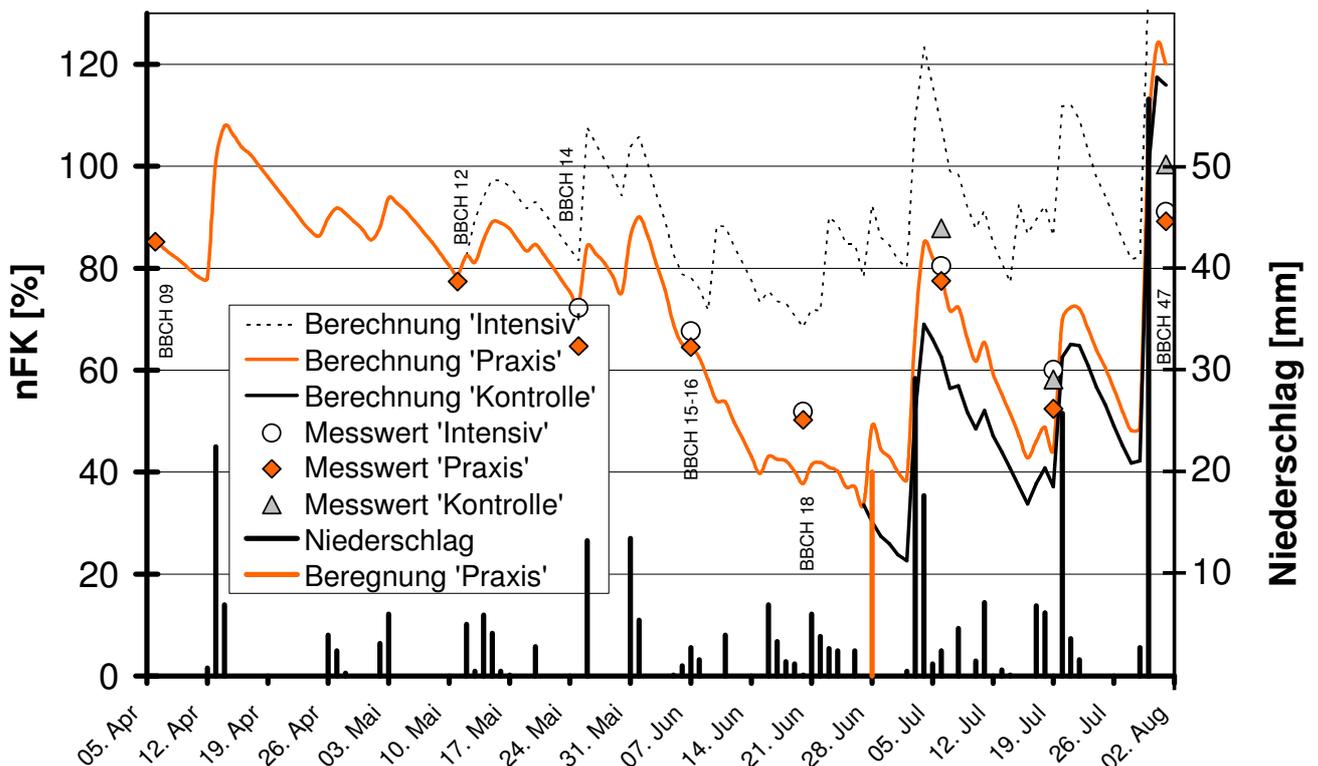


Abb. 5: Niederschlags- und Beregnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert, gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Praxis' und 'Kontrolle' laut 'Agrowetter'

Erstaunlicher Weise lagen die gemessenen Bodenfeuchtegehalte der 'Intensiv'- und der 'Praxis'-Variante (bzw. 'Kontrolle') an 4 der 6 Untersuchungstermine auf vergleichbarem Niveau. Daraus ist zu schließen, dass die ET der 'Intensiv'-Variante bis zum 20. Juni (= letzter Beprobungstermin vor dem 'nivellierendem' Starkregenereignis am 3./4. Juli, BBCH 18) um ca. 44 mm (= Beregnungsmenge bis zu diesem Termin) höher lag als bei den bis dato nicht bewässerten Varianten. 'Agrowetter' weist dagegen bis zu diesem Termin nur eine ET-Differenz von 3,7 mm aus (vgl. Tab. 4a).

Trotz der an den Beprobungsterminen festgestellten ähnlichen Bodenfeuchtegehalte (aber zweifellos unterschiedlichen Mengen an transpiriertem Wasser) zeigte sich beim **Gesamtertrag** ein signifikanter Bewässerungseffekt, wobei zwischen der 'Kontrolle' und der 'Praxis'-Variante kein signifikanter Ertragsunterschied festzustellen war (Abb. 6, Tab. 5). Tendenziell war ein, wenn auch unbedeutender, Sorteneffekt zu erkennen, eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung bestand nicht ($p = 0,66$).

Der Mehrertrag der 'Intensiv'-Variante gegenüber der 'Kontrolle' betrug 179 dt/ha, was bei einer Wassergabe von 104 mm einem Ertragszuwachs von 172 kg/ha pro mm Wassergabe entspricht. Im Versuchsjahr 2010 wurde ein nahezu identischer Wert gefunden und auch PFLEGER & RÖBLER (2010) fanden in einer 7-jährigen Versuchsserie auf einem Schwarzerdestandort im Mittel einen Ertragszuwachs von 195 kg/ha pro mm Wassergabe.

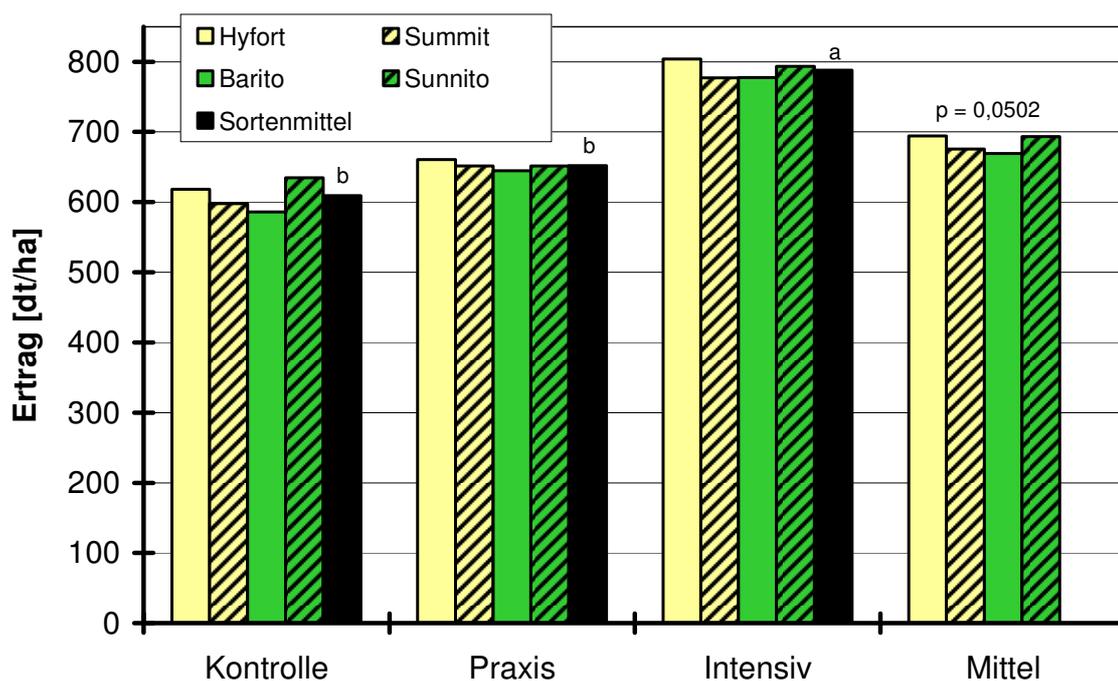


Abb. 6: Marktfähiger Ertrag an Zwiebeln > 40 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 83,1 dt/ha)

Auch der Ertrag an Zwiebel der (Frischmarkt-)Sortierung 40-70 mm wurde durch die intensive Bewässerung um 109 dt/ha (Sortenmittel) signifikant erhöht (Abb. 7). Eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung bestand auch hier nicht ($p = 0,66$).

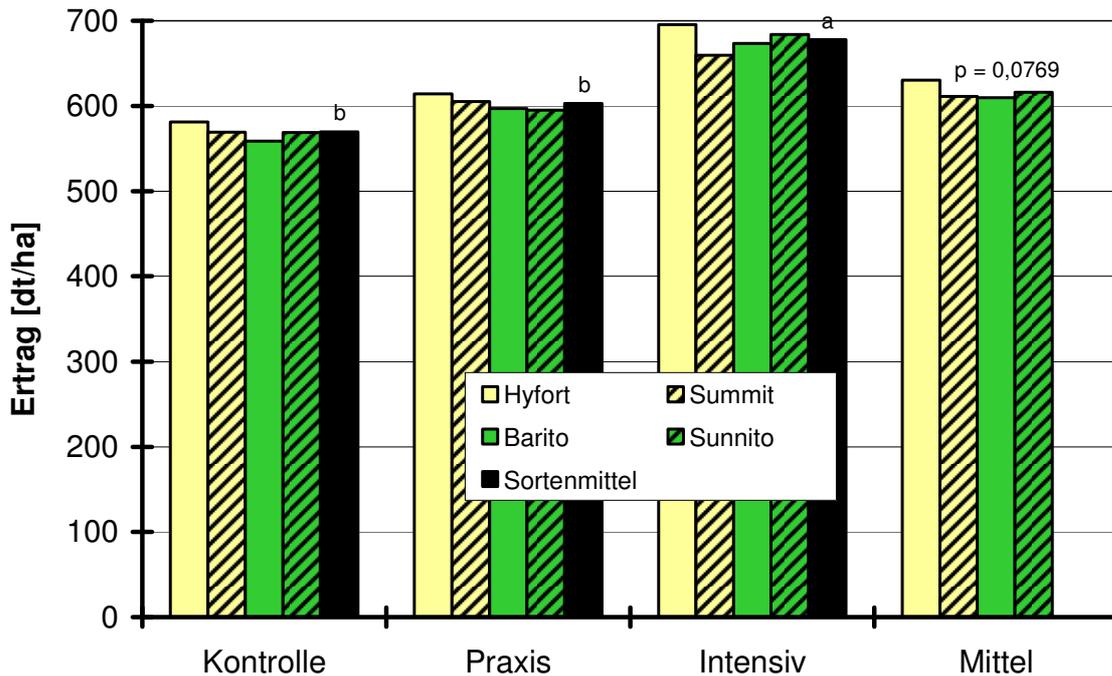


Abb. 7: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung 40-70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 54,6 dt/ha)

Neben einer höheren Menge an Zwiebeln der Sortierung 40-70 mm beruhte der Mehrertrag der intensiv bewässerten Variante auch auf einen um 70 dt/ha höheren Ertrag an Zwiebeln der Größenklasse > 70 mm (Abb. 8). Aber auch hier war keine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung zu beobachten ($p = 0,58$). Zwiebeln < 40 mm waren kaum vorhanden, die unberechnete 'Kontrolle' wies hier aber etwas größere Mengen auf als die 'Intensiv'-Variante (Tab. 5).

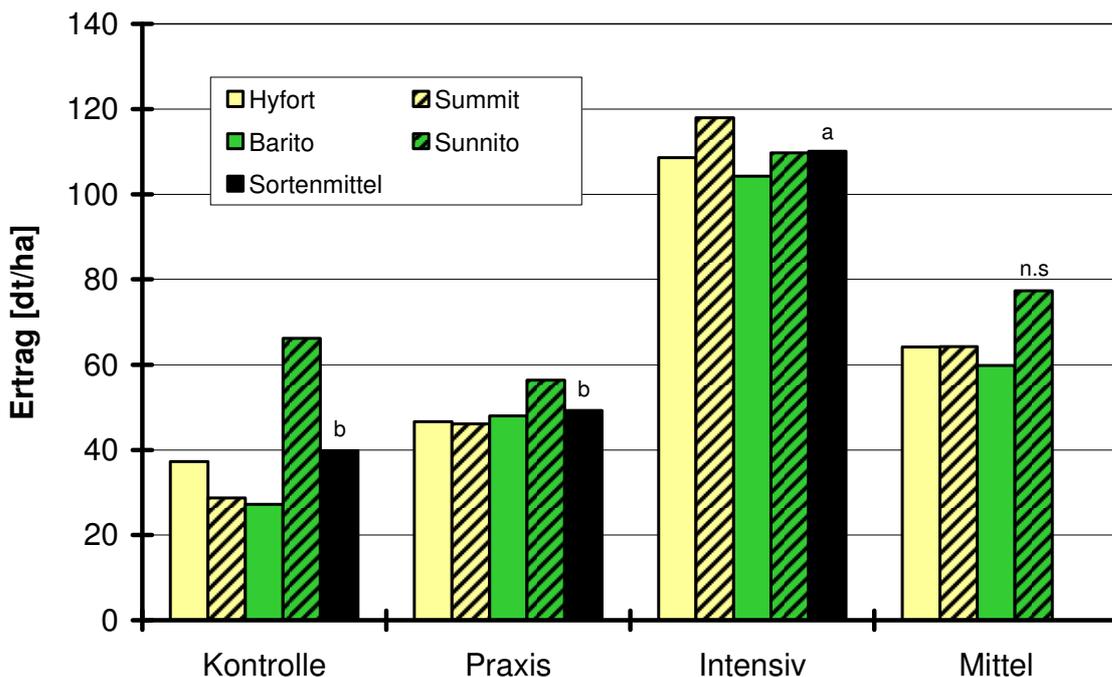


Abb. 8: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung > 70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 29,2 dt/ha)

Fazit

Die Berechnung von 104 mm führte zu einem Mehrertrag gegenüber der unberechneten 'Kontrolle' von 179 dt/ha (+ 29 %), wovon 109 dt/ha auf die Sortierung 40-70 mm entfielen. Eine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte bestand nicht. Damit konnte unter den herrschenden Boden- und zwischenzeitlich 'moderat' trockenen Witterungsbedingungen, keine 'besondere' Trockenstresstoleranz bestimmter Sorten beobachtet werden.

Die mit Hilfe des 'Geisenheimer Modells' prognostizierten Bodenwassergehalte stimmten im aktuellen Versuch mit den tatsächlichen vorgefundenen Werten dann gut überein, wenn die Berechnung auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerten mit entsprechenden $k_{C_{PENMAN}}$ -Faktoren erfolgte. Die Diskrepanz zur Berechnung auf Basis der FAO-Gras-Referenzverdunstung mit $k_{C_{FAO}}$ macht deutlich, dass das Verhältnis von PENMAN- zu FAO-Gras-Verdunstung nicht statisch sondern 'dynamisch' ist.

Tab. 2: Textur und Bodenart des Versuchsstandortes

Schicht	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Bodenart n. Kartieranleitung (BGR 2005)
0-30 cm	16,4	34,3	49,3	stark lehmiger Sand (SI4)
30-60 cm	17,4	38,3	44,3	mittel sandiger Lehm (Ls3)
60-90 cm	18,1	35,1	46,8	mittel sandiger Lehm (Ls3)
0-60 cm	46,8	36,3	16,9	stark lehmiger Sand (SI4)

Tab. 3: Gravimetrisch bestimmte Bodenwassergehalte und % nutzbare Feldkapazität

Datum	BBCH	Variante	Bodenwassergehalt [mm] ²⁾			% nFK ³⁾		
			0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
21. Mrz ¹⁾		alle	82	84	87	100	100	100
06. Apr ⁴⁾	09	alle	75	76	85	87	84	97
25. Apr ⁴⁾		alle	70			74		
11. Mai ⁴⁾	12	alle	69	75		72	83	
25. Mai ⁴⁾	14	Kon. + Prax.	62	70		58	71	
		Intensiv	67	72		68	76	
07. Jun ⁴⁾	15-16	Kon. + Prax.	62	69	78	59	70	84
		Intensiv	64	71	80	63	73	88
20. Jun ⁴⁾	18	Kon. + Prax.	54	64	77	41	60	82
		Intensiv	56	63	76	45	58	79
06. Jul ⁴⁾		Kontrolle	76	77		89	87	
		Praxis	73	70		83	72	
		Intensiv	74	72		84	76	
19. Jul ⁴⁾		Kontrolle	56	69		46	70	
		Praxis	57	63		47	58	
		Intensiv	59	68		53	68	
01. Aug ⁴⁾	47	Kontrolle	81	85	91	99	101	108
		Praxis	79	77	82	94	85	90
		Intensiv	81	76	87	98	84	101

¹⁾: Bestimmung der FK. Wasserbilanz der Vortage (Niederschlag - ET_0): 18.3.: +13,6; 19.3.: -0,9; 20.3.: -0,9;

²⁾: Bodenwassergehalt der Schicht bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³;

³⁾: zugrunde gelegter Totwassergehalt: 11,6 Vol.-%;

⁴⁾: Die Proben wurden jeweils am frühen Morgen des Folgetages gezogen und geben somit den Bodenwassergehalt am Ende des angegebenen Tages wieder

Tab. 4a: Kalkulierte Verdunstung während der verschiedenen Entwicklungsphasen

Phase BBCH	Referenzverdunstung			Verdunstung des Erbsenbestandes [mm]					
	ET ₀ ¹⁾ [mm]	ETp _{PEN} ²⁾ [mm]	ETp _{PEN} /ET ₀ ³⁾	Geisenheim: ET _c ⁴⁾			Agrowetter: ET _{c adj} ⁵⁾		
				ET ₀ × kc _{PENMAN}	ET ₀ × kc _{FAO}	ETp _{PEN} × kc _{PENMAN}	ET ₀ × kc _{PENMAN}	Intensiv	Praxis
09-15	169,3	209,2	1,25	84,7	118,5	104,6	86,5		
15-18	76,9	92,8	1,21	76,9	107,7	92,8	78,3	74,6	
18-47	128,1	152,4	1,22	153,7	217,8	182,9	157,1	142,7	129,3
09-47	374,3	454,4	1,23	315,3	443,9	380,3	321,9	303,8	290,4

Tab. 4b: Niederschläge, Beregnung und berechnete Versickerung während der verschiedenen Entwicklungsphasen

Phase	Niederschlag [mm]	Beregnung [mm]		Versickerung [mm]					
		Intensiv	Praxis	Geisenheim			Agrowetter		
				ET ₀ × kc _{PENMAN}	ET ₀ × kc _{FAO}	ETp _{PEN} × kc _{PENMAN}	ET ₀ × kc _{PENMAN}	Intensiv	Praxis
09-15	92,5	24	0	12,8	0,0	0,0	12,4	5,3	
15-18	28,1	20	0	3,7	0,0	0,0	3,9	0,0	
18-47	204,9	60	20	79,3	0,0	30,8	45,7	3,2	0,9
09-47	325,5	104	20	95,8	0,0	30,8	62,0	8,5	6,2

- 1): FAO Gras-Referenzverdunstung; 2): Verdunstung nach modifizierter PENMAN-Gleichung (über Wasser);
 3): Mittelwerte der täglichen Quotienten;
 4): potentielle Evapotranspiration der Variante 'Intensiv' berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell';
 5): aktuelle Evapotranspiration des Zwiebelbestandes laut 'Agrowetter', bei Variante 'Intensiv' ≈ ET_c;

Tab. 5: Brutto-Erträge und -Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten

Bewässerung Sorte ¹⁾	Kontrolle				Praxis				Intensiv			
	Hyfo	Sum	Bari	Sun	Hyfo	Sum	Bari	Sun	Hyfo	Sum	Bari	Sun
Ertrag <40 mm [dt/ha] ²⁾	11	11	9	7	8	7	5	9	5	3	4	3
Ertrag 40-70 mm [dt/ha]	581	569	559	569	614	605	597	595	696	659	673	684
Ertrag >70 mm [dt/ha]	37	29	27	66	47	46	48	56	109	118	104	110
Ertrag >40 mm [dt/ha]	618	598	586	635	661	651	645	652	804	777	778	794

- 1): Hyfort, Summit, Barito, Sunnito; 2): GD_(α<0,05) Bewässerungseffekt: 4,1 dt/ha (Sortenmittel)

Literatur:

- AGROWETTER 2009: Modellbeschreibung. Online-Hilfe zur Agrowetter Berechnungsberatung. auch www.dwd.de (Stand 30.01.2009)
- ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES, D., und M. SMITH. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Rom (I)
- BGR 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Schweizerbart, Stuttgart, 5. Aufl.
- FA-GM 2011a: Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2011 - für Penman-Verdunstung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 27.06.2011)
- FA-GM 2011b: Geisenheimer Bewässerungssteuerung - für FAO-Grasverdunstung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 27.06.2011)
- JANSSEN, W. 2010: Persönliche Mitteilung zur Berechnung der Sickerwassermenge und der Verdunstungsberechnung bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- LABER H. und S. BRENNER 2010: Deutlich mehr großfallende Zwiebeln bei Bewässerung; Bodenwassergehalte durch Modelle recht gut prognostiziert. www.hortigate.de
- PASCHOLD, P.-J., C. FRÜHAUF, J. SCHALLER, J. KLEBER und N. MAYER 2011: "Geisenheimer Bewässerungssteuerung" für Penman- und FAO-Grasverdunstung - Unterschiedliche Wetterstationen sind für die Geisenheimer Methode nutzbar. Gemüse 47 (6), S. 28-29
- PASCHOLD, P.-J., J. KLEBER und N. MAYER 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 4.5.2010)
- PFLEGER, I. und U. RÖBLER 2010: Wie viel Zwiebel-Mehrertrag durch Beregnung? Gemüse 46 (3), S. 18-20