

**Hohe Wassergaben führten nur zu einem vergleichsweise geringen Mehrertrag; Sorten reagierten wiederum nahezu gleich**

**Zwiebeln  
Bewässerung  
Sorte**

## Zusammenfassung

Bei einem erneuten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Sommerzwiebelsorten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz zeigten sich 2012 wie in den Vorversuchen deutliche Ertragseffekte einer Beregnung. In Relation zu der nach dem 'Geisenheimer Modell' berechneten Beregnungsgabe von 244 mm fiel der Mehrertrag gegenüber der unbewässerten Kontrolle mit 20 % aber vergleichsweise gering aus und betrug nur 55 kg/ha pro mm Wassergabe.

Eine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte wurde beim Gesamtertrag wiederum nicht festgestellt. Damit ist zu konstatieren, dass unter den herrschenden Boden- und Witterungsbedingungen der drei Versuchsjahre keine der getesteten Sorten eine 'besondere' Trockenstresstoleranz bzw. 'Wasserbedürftigkeit' zeigte.

## 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 sollten im Rahmen eines Projektes spezielle Sorten mit einer ggf. besseren Toleranz gegenüber Trockenstress getestet werden. In den Versuchsjahren 2010 und 2011 konnte bei deutlicher Bewässerungswirkung allerdings keine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung beobachtet werden (LABER & BRENNER 2010 und 2011).

## Material und Methoden

In dem Versuch konnten 4 Sorten mit ähnlicher Reifezeit geprüft werden, wovon jeweils 2 seitens der Züchter als 'eher trockenstresstolerant', die anderen beiden als 'eher wasser- bzw. beregnungsbedürftig' eingeschätzt wurden (Tab. 1). Die gleichen Sorten wurden bereits im Versuch 2011 und teilweise auch im Versuch 2010 getestet.

**Tab. 1: Einbezogene Sorten**

Sorte	Hyfort	Summit	Barito	Sunnito
Herkunft	Bejo		Seminis	
Trockenstresstoleranz <sup>1)</sup>	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein

<sup>1)</sup>: Einschätzung/Angabe des Züchters

Die Aussaat erfolgte am 23. März. Nach dem Auflaufen wurde am 23. April der Ausgangsbodenwassergehalt bestimmt und mit der Verdunstungsbilanzierung (s. u.) begonnen.

Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen war der Zwiebelbestand bis zur Ernte unkraut- und befallsfrei.

Die Rodung der Zwiebeln erfolgte nach Abschlegeln 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 Maschen-sieb. Die ermittelten Erträge wurden auf die Brutto-Fläche (inklusive Fahrspuren) bezogen.

An einer Mischprobe von Zwiebeln der Größenklasse 40-70 mm wurde der Trockensubstanz-gehalt durch Trocknung bei 105°C ermittelt (Einwaage ca. 600 g).

**Versuche im deutschen Gartenbau  
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,  
Abteilung Gartenbau, Dresden-Pillnitz  
Bearbeiter: Hermann Laber und Silvan Liebsch**

**2 0 1 2**

## Kultur- und Versuchsdaten:

23. März 2012: Einzelkornaussaat der Sorten, Beetanbau (1,5 m) mit 5 Reihen, Reihenabstand 22,5 cm, Kornablageabstand 4,1 cm (108 Korn/Netto-m<sup>2</sup>)
23. April: Auflauf (BBCH 09), Bodenprobe: Ausgangs-Bodenwassergehalt (Tab. 4)
18. Mai Bodenprobe: N<sub>min</sub>-Vorrat (0-60 cm): 145 kg/ha ⇒ keine N-Düngung
13. Juni: 5-Blatt-Stadium (BBCH 15)
27. Juni: 8-Batt-Stadium (BBCH 18)
- 7./9./10. Aug.: Beginn Schlottenknick bei Kontrolle/Minimiert/Intensiv (BBCH 47)
6. Sept. Rodung aller Varianten
- Bodenart: s. Tab. 3, n. Bodenschätzung: L 3 Al 73/74
- Versuchsanlage: Zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 3 Wiederholungen (Blöcken)
- Parzellengröße: Ernteparzelle: 9,0 Brutto-m<sup>2</sup> (6 lfdm Beet)
- Beregnung: Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen (Gierhake Maschinenbau)

Neben einer '**Kontrolle**' (keine Beregnung) wurde in der Variante '**Intensiv**' nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010, FA-GM 2011) eine Klimatische Wasserbilanz erstellt und damit der Bodenwassergehalt bzw. dessen Änderung über die Zeit berechnet. Allerdings sollte abweichend vom 'einfachen' Modellansatz (bei dem der Boden durch die Beregnungsgaben nach Absinken auf ca. 60 % nutzbare Feldkapazität (nFK) theoretisch immer wieder auf den Ausgangswassergehalt von rund 100 % nFK aufgefüllt werden soll) der Boden nur bis ca. 90 % nFK auffüllt werden (auch PASCHOLD et al. empfehlen eine ähnliche Vorgehensweise, um einen Puffer für Niederschläge zu haben). 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<sub>c</sub>) und damit der Klimatischen Wasserbilanz erfolgte nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010). Dabei wurde mit den entsprechenden kc-Werten für Sommerzwiebeln gerechnet (vgl. Abb. 1), die auf die potentielle Verdunstung nach der modifizierten PENMAN-Gleichung (ET<sub>pPENMAN</sub>) ausgelegt sind (kc<sub>PENMAN</sub>, FA-GM 2011).

In der Variante '**Minimiert**' wurde in Absprache mit den Geisenheimer Kollegen mit um 0,2- bis 0,4-Punkte geringeren kc-Werten gerechnet (vgl. Abb. 1).

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' (PASCHOLD et al. 2010), wurde bei der eigenen Kalkulation die Nutzung der über die FK hinausgehenden 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.

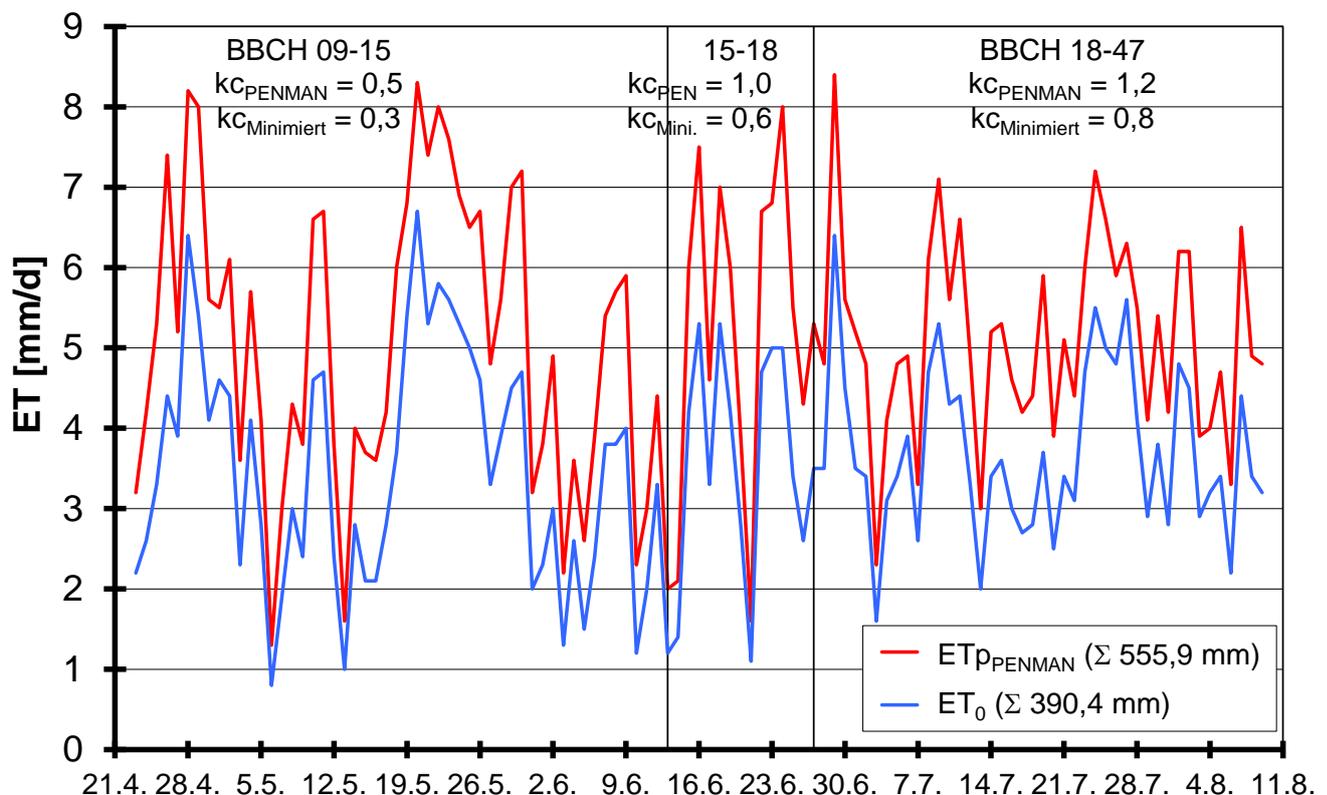
Parallel wurde die Verdunstung/Wasserbilanz mit dem vom Deutschen Wetterdienst angebotenen Modul 'Agrowetter Beregnungsberatung' berechnet, dass sich ebenfalls weitestgehend am 'Geisenheimer Modell' orientiert. Allerdings wird hier mit der gegenüber der ET<sub>pPENMAN</sub> deutlich niedrigeren FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET<sub>0</sub>) gerechnet. Seit Beginn der Saison 2012 wird diese ET<sub>0</sub> allerdings mit einem windabhängigen Faktor 'korrigiert' (JANSSEN 2012), so dass sie weniger stark von ET<sub>pPENMAN</sub> abweicht.

Im Falle einer Überschreitung der FK wird bei diesem Modell die Bilanzierung ebenfalls nicht ausgesetzt, sondern die Versickerung in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften kalkuliert (AGROWETTER 2009). Eine Besonderheit von 'Agrowetter' ist die Berechnung einer aktuellen Verdunstung (ET<sub>c adj</sub>), die im Falle einer nicht ausreichenden Wasserversorgung des Bestandes unter ET<sub>c</sub> liegt (JANSSEN 2010). Damit kann mit 'Agrowetter' auch für die Varianten 'Minimiert' und 'Kontrolle' eine Abschätzung der Bodenwassergehalte vorgenommen werden.

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

Bei der Berechnung greift 'Agrowetter' auf die  $ET_0$ -Werte der auszuwählenden nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurück, in diesen Falle Dresden-Hosterwitz (ca. 3 km vom Versuchsstandort entfernt, ähnliche Topographie etc.). Für die eigene Berechnung nach 'Geisenheim' wurden seitens des DWD freundlicher Weise die  $ET_{PENMAN}$ -Verdunstungswerte dieser Station zur Verfügung gestellt.

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 ( $ET_{PENMAN}$ ) 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, so dass bis zu 6 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren. Mit zunehmender Blattentwicklung konnte später die Einzelgabe auf 4 mm erhöht werden. Die ausgebrachte Beregnungsmenge wurde jeweils mit Hilfe von bodennah aufgestellten Regenmessern überwacht.

Während der Kulturzeit wurden Bodenproben im 30 cm-Raster bis 60 bzw. 90 cm Tiefe entnommen. Dazu wurden in jeder Haupteinheit in 3 der 4 Sorten je eine Bodenprobe mit einem mehrteiligen Bohrsatz (0-30, 30-60, ggf. 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. 1000 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/cm<sup>3</sup>.

## Ergebnisse

Nach einem Winter mit ausreichenden Niederschlägen (117 mm Niederschlag vom 1. November bis 4. Februar) wurde am 5. Februar die FK der Versuchsfläche durch Ziehen einer Bodenprobe bestimmt. Bei einer angenommenen Bodendichte von  $1,5 \text{ g/cm}^3$  wurde als Mittel der mittlerweile vorliegenden 3 Untersuchungen eine FK von 27,3 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 28,1 Vol.-% (30-60 cm), im Mittel 27,7 Vol.-% errechnet (Tab. 4).

Die Kartieranleitung (BGR 2005) weist dagegen mit 33 Vol.-% (Slu, Rohdichte  $1,5 \text{ g/cm}^3$ ) bzw. 34 Vol.-% (Ls2) eine höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK (0-60 cm) zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der Kartieranleitung (Slu: 12 Vol.-%, Ls2: 18 Vol.-%) mit 9,9 Vol.-% bzw. 14,9 Vol.-% jeweils analog reduziert, so dass sich für die Schicht 0-60 cm eine mittlere nFK von 15,3 Vol.-% errechnet.

Zum Auflauftermin der Zwiebeln (BBCH 09) wurde am 23. April ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von 78 % nFK ermittelt. Ende April und um den 20. Mai herrschten mit  $ET_{PENMAN}$ -Werten von bis zu 8 mm/d (vgl. Abb. 1) und nur geringen Niederschlägen trockene Bedingungen, so dass die Variante 'Intensiv' nach dem 'Geisenheimer Modell' bis zum 5-Blatt-Stadium mit insgesamt 76 mm berechnet werden musste (Abb. 2 u. 3, Tab. 5a u. b). Anfang Juni füllten Niederschläge dann den Boden bis auf FK auf, nach 'Agrowetter' (mit einer etwas geringeren  $ET_c$ ) kam es hier zu einer Sickerwasserbildung von rund 9 mm.

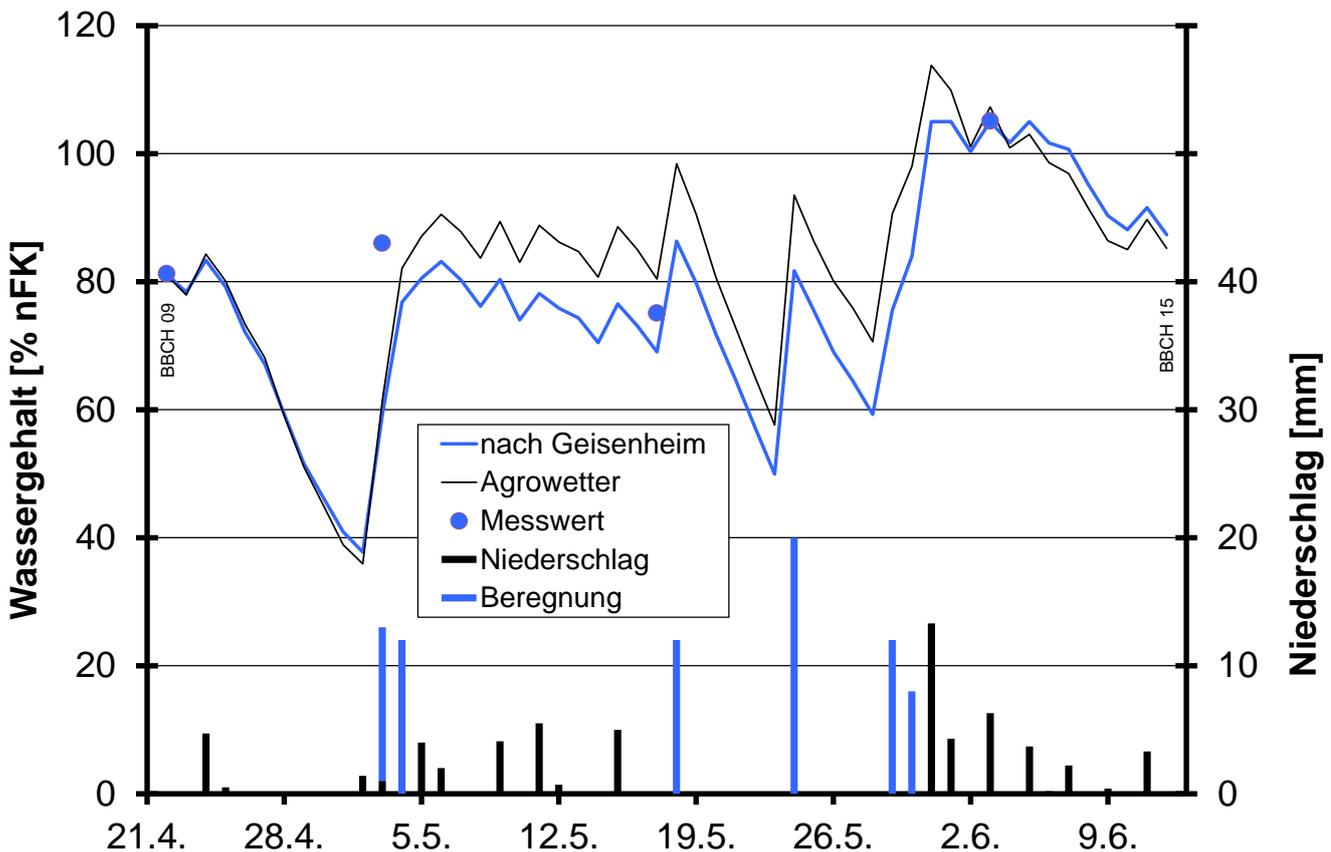
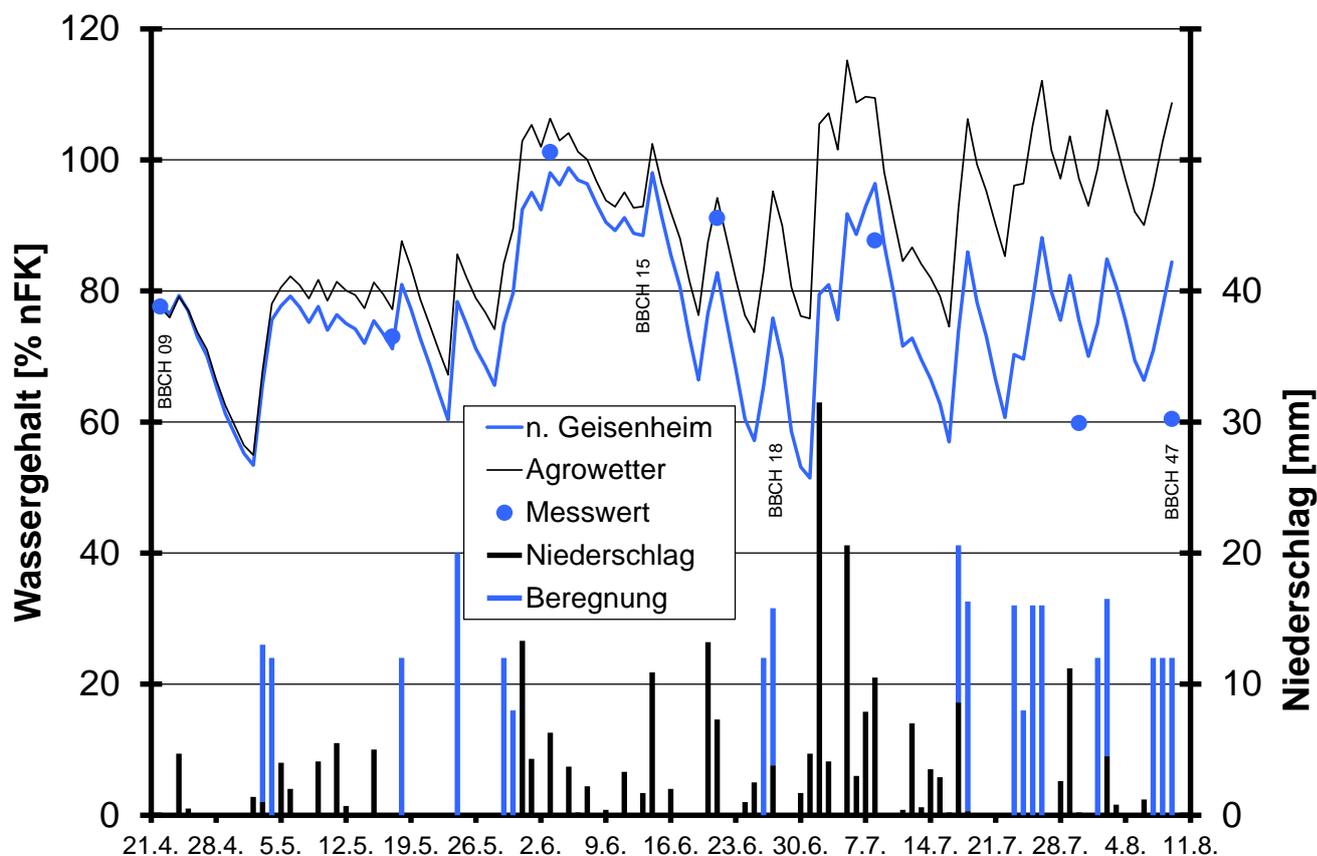


Abb. 2: Niederschlags- und Beregnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-30 cm der Variante 'Intensiv' bis zum 5-Blatt-Stadium nach 'Geisenheim' ( $ET_{PENMAN} \times k_{CPENMAN}$ ) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

Ab dem 5-Blatt-Stadium (13. Juni) fielen bis Mitte Juli rund 140 mm Niederschlag, so dass bei einer berechneten  $ET_c$  von knapp 190 mm nur 24 mm berechnet werden mussten. In der Zeit von Mitte Juli bis zum Schlottenknick (BBCH 47) um den 10. August fiel dann mit 29,7 mm nur wenig Niederschlag. Bei einer  $ET_c$  von 153,8 mm mussten so nach dem 'Geisenheimer Modell' 144 mm berechnet werden. Insgesamt wurde die Variante 'Intensiv' mit 244 mm berechnet.

‘Agrowetter’ berechnete für Zeitraum BBCH 18 bis 47 eine  $ET_c$  von 223 mm (‘Geisenheim’: 271 mm) und errechnete bei den gegebenen Niederschlags- und Berechnungsmengen eine Bodenfeuchte, die häufig die FK überschritt, so dass rund 43 mm als versickert angenommen wurden.



**Abb. 3: Niederschlags- und Berechnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante ‘Intensiv’ nach ‘Geisenheim’ ( $ET_{PPENMAN} \times K_{CPENMAN}$ ) bzw. ‘Agrowetter’ sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt**

Für die gesamte Kulturzeit errechnete sich für die Variante ‘Intensiv’ nach ‘Geisenheim’ eine  $ET_c$  von 471,8 mm. Obgleich ‘Agrowetter’  $ET_c$  auf Basis der hier um Faktor 1,46 (vgl. Tab. 5a) geringeren FAO-Gras-Referenzverdunstung ( $ET_0$ ) berechnet, kam das Modell mit 397,0 mm zu einer nur um Faktor 1,19 geringeren  $ET_c$ , was auf die ‘Windkorrektur’ zurückzuführen ist.

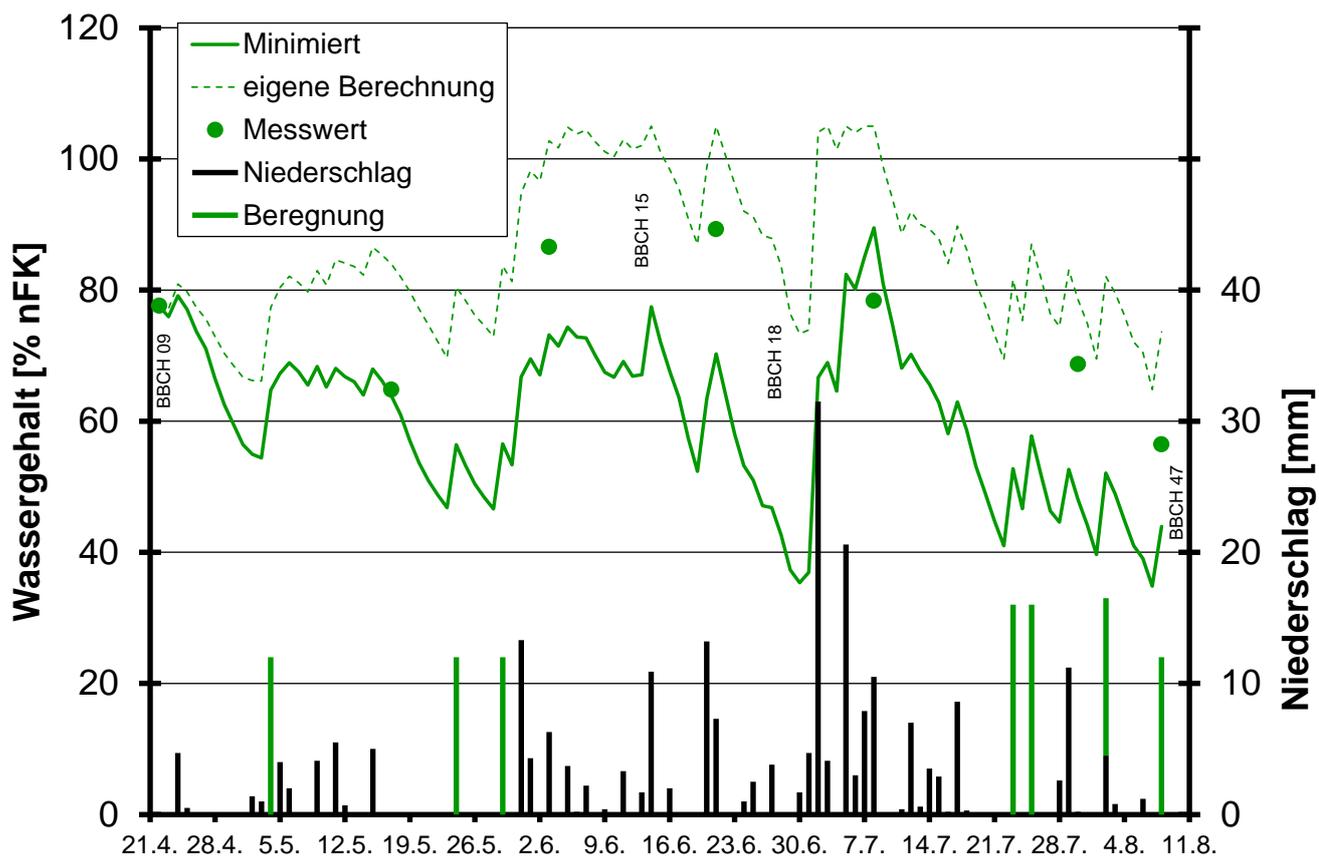
Entsprechend der  $ET_c$ -Differenz von 74,8 mm drifteten die berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante ‘Intensiv’ bei den beiden Modellen zunehmend auseinander. Nur zum Ende des Berechnungszeitraumes ‘pendelte’ sich die Differenz auf einen Wert von knapp 25 %-Punkte nFK ein, da die sich nach ‘Agrowetter’ ergebende Sickerung ( $\Sigma 52,1$  mm) als weitere Verlustgröße für das Bodenwasser größere Bedeutung gewann. Gegen eine Versickerung zu Kulturende spricht allerdings, dass der Bodenfeuchtegehalt der Schicht 30-60 cm zu diesem Zeitpunkt nur 55 % der nFK betrug (Tab. 4).

Im Vergleich mit den tatsächlich ermittelten Bodenwassergehalten wurde der Bodenwassergehalt vom ‘Geisenheimer Modell’ über einen langen Zeitraum recht gut abgebildet. Lediglich zu Kulturende hin stieg die Differenz zwischen berechnetem und tatsächlichem Bodenwassergehalt auf über 20 %-Punkte nFK an.

Im Versuchsjahr 2011 konnte mit dem ‘Geisenheimer Modell’ über die gesamte Kulturzeit hinweg eine sehr gute Übereinstimmung beobachtet werden (LABER & BRENNER 2011), wo hingegen 2010 der Bodenwassergehalt zwischenzeitlich extrem unterschätzt wurde (LABER & BRENNER 2010).

Hierbei muss man allerdings berücksichtigen, dass die  $k_c$ -Werte beim 'Geisenheimer Modell', die ursprünglich aus der Relation zwischen der im Lysimeter-Versuch gemessenen  $ET_c$  und der  $ET_p$  errechnet wurden, im Laufe des 'Evaluierungsprozesses' häufig gesenkt wurden, wenn in Feldversuchen mit entsprechend geringeren Beregnungsgaben gleich hohe oder sogar höhere Erträge erzielt wurden (KLEBER 2012; vgl. auch PASCHOLD & KLEBER 2008 u. 2009).

Für die nur moderat mit 92 mm beregnete Variante 'Minimiert' berechnete 'Agrowetter' Bodenwassergehalte von kurzzeitig unter 40 % nFK (Abb. 4). (Die Bemessung der Beregnung erfolgte aber nach der eigenen Berechnung mit den 'minimierten'  $k_c$ -Werten, nach der es zu keiner Unterschreitung von 60 % nFK kam.) Die tatsächlichen Bodenwassergehalte lagen um bis zu 20 %-Punkten über den von 'Agrowetter' berechneten Werten.



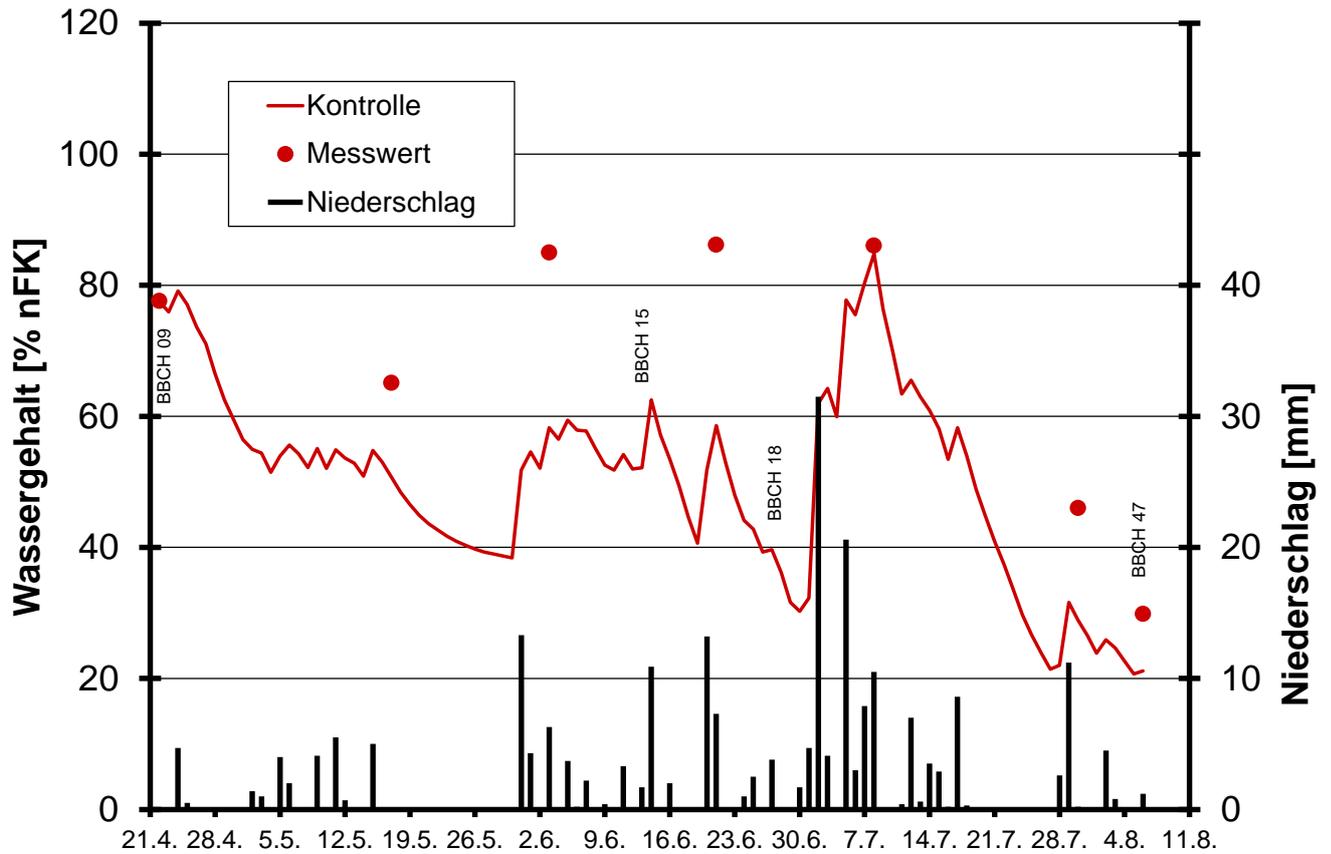
**Abb. 4: Niederschlags- und Beregnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante 'Minimiert' nach 'Agrowetter' und eigener Berechnung ( $ET_{pPENMAN} \times k_{cMinimiert}$ ) sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt**

In der 'Kontrolle' trocknete der Boden nach dem Modell zu Kulturende bis auf annähernd 20 % nFK aus. Tatsächlich wurde hier auch ein Bodenwassergehalt von 30 % nFK ermittelt (Abb. 5). Allerdings wurde insbesondere in der Kulturmitte der Bodenwassergehalt durch das Modell massiv unterschätzt. Damit bildete 'Agrowetter' den Bodenwassergehalt in den nur mäßig oder gar nicht bewässerten Varianten deutlich schlechter ab als in den Vorversuchen.

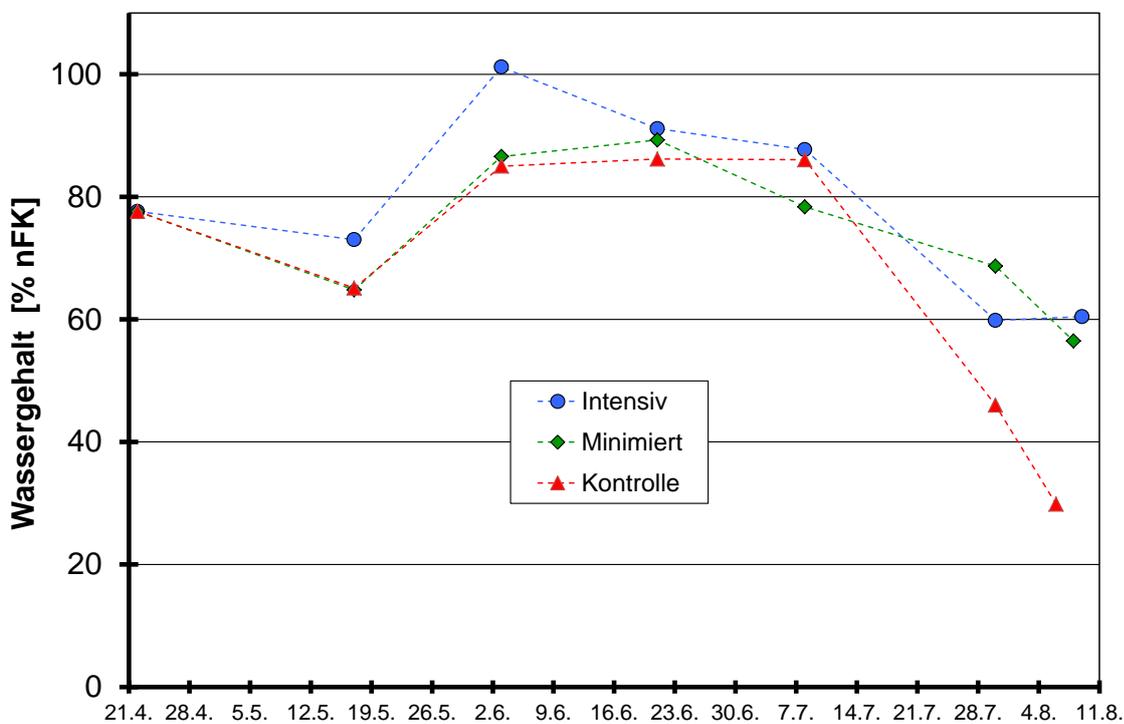
Wie schon im Vorjahresversuch lagen die gemessenen Bodenwassergehalte der drei Varianten lange Zeit auf vergleichbarem Niveau (Abb. 6). Nur die 'Kontrolle' fiel zu Kulturende hin deutlich ab und wies auch in der Schicht 60-90 cm mit 42 % nFK einen geringeren Wassergehalt als die beiden bewässerten Varianten auf, bei denen diese Schicht auf Ausgangsniveau lag (Tab. 4).

Die nahezu identischen Wassergehalte am 21. Juni deuten darauf hin, dass die bis dato in der Variante 'Intensiv' verabreichten 76 mm Beregnung ('Minimiert': 36 mm) in erster Linie durch eine verstärkte Evaporation (Bodenoberfläche durch Beregnung häufiger/länger

feucht) und evtl. auch Versickerung 'verloren' gegangen sind. (In wie weit die feuchtere Bodenoberfläche und die damit verbundene höhere Luftfeuchtigkeit und Kühlung ertragswirksam wurden bleibt offen.)



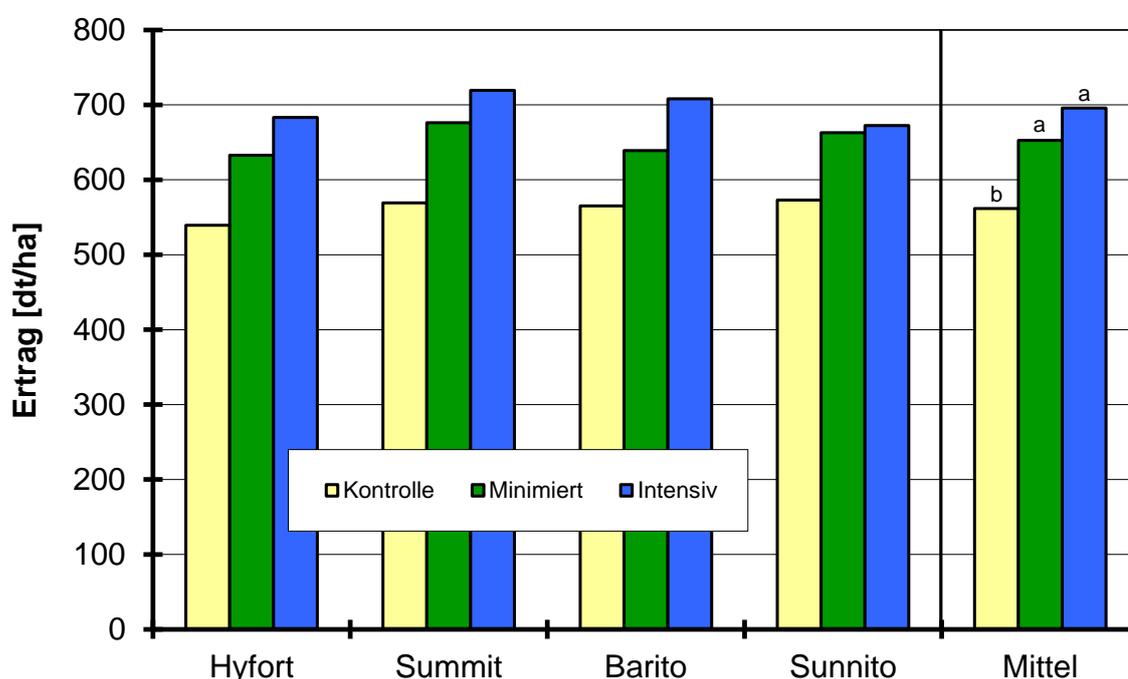
**Abb. 5: Niederschlagsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante 'Kontrolle' nach 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt**



**Abb. 6: Gravimetrisch bestimmte Bodenwassergehalte der Schicht 0-60 cm (die Verbindungslinien dienen nur der Anschaulichkeit und geben nicht zwischenzeitliche Wassergehalte wieder)**

Entsprechend der zu Kulturende hin abfallenden Bodenfeuchtegehalte zeigte die 'Kontrolle' den geringsten **Gesamtertrag** (Zwiebeln > 40 mm). Zwischen den Varianten 'Intensiv'- und 'Minimiert' konnte kein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt werden (Abb. 7, Tab. 6). Eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung konnte beim Gesamtertrag nicht festgestellt werden ( $p = 0,26$ ). (Bei allen untersuchten Parametern wurden auch signifikante Sorteneffekte festgestellt, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.) Auch bei einer gemeinsamen Auswertung der Versuche 2012 und 2011 (einheitliche Sorten) war beim Gesamtertrag keine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung abzusichern ( $p = 0,29$ ).

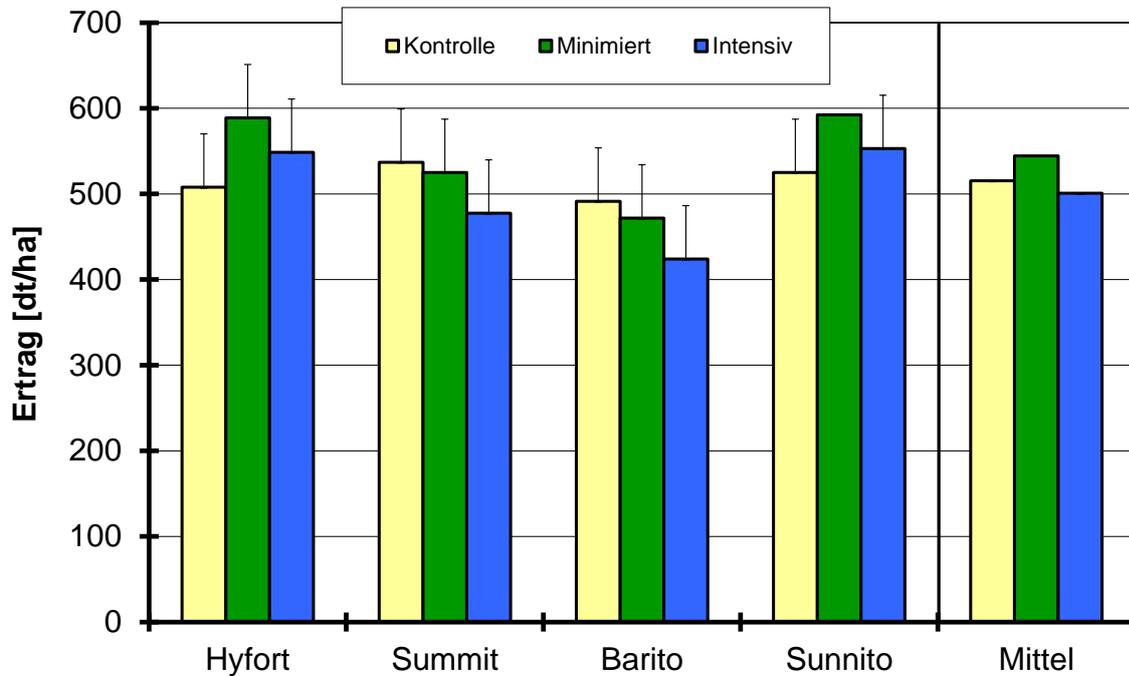
Der Mehrertrag der 'Intensiv'-Variante gegenüber der 'Kontrolle' betrug 134 dt/ha, was bei einer Wassergabe von 244 mm einem Ertragszuwachs von 55 kg/ha pro mm Wassergabe entspricht. Für die Variante 'Minimiert' errechnet sich ein Ertragszuwachs von 99 kg/ha pro mm, aber auch dieser Wert liegt noch unter den Werten, die in den Vorversuchen (110-214 kg/ha pro mm) oder von PFLEGER & RÖBLER (2010) in einer 7-jährigen Versuchsserie auf einem Schwarzerdestandort (149-295 kg/ha pro mm) gefunden wurden.



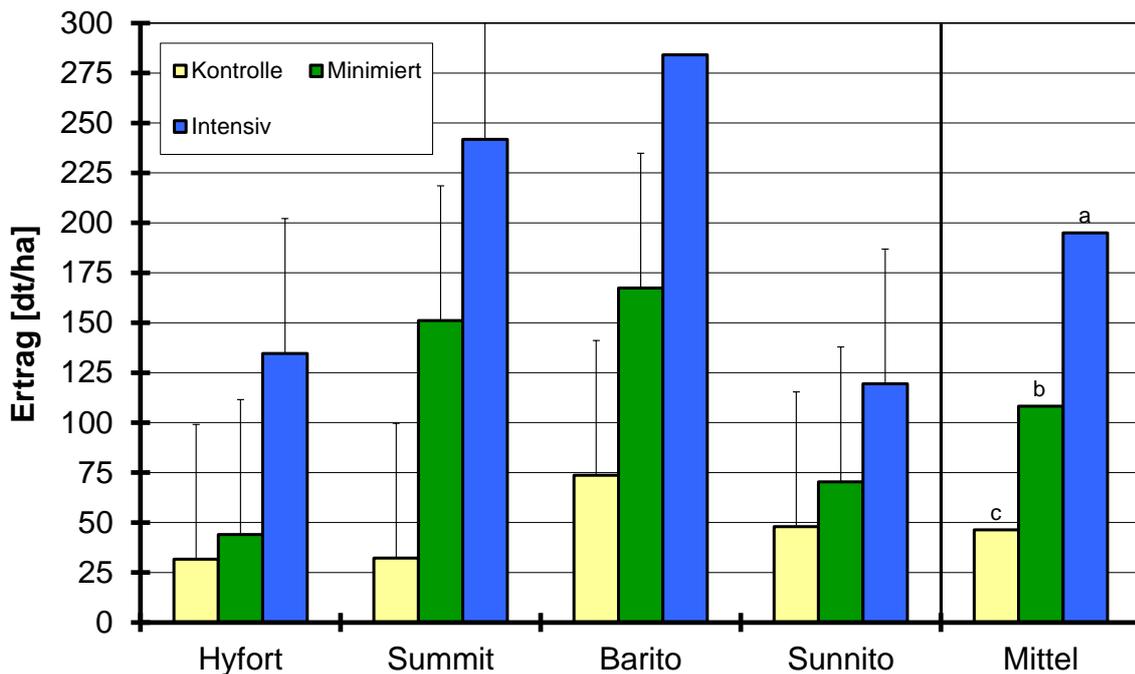
**Abb. 7: Ertrag an Zwiebeln > 40 mm der verschiedenen Sorten in Abhängigkeit von der Bewässerungsintensität ( $GD_{(\alpha < 0,05)}$  Bewässerungseffekt: 74,2 dt/ha)**

Der Ertrag an Zwiebel der (Frischmarkt-)Sortierung **40-70 mm** wurde durch die Beregnung im Mittel über die Sorten nicht deutlich beeinflusst (Abb. 8). Es bestand allerdings eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung, wobei 'Hyfort' und 'Sunnito' einen signifikanten Mehrertrag durch die 'Minimiert'-Beregnung gegenüber der 'Kontrolle' zeigten. Bei 'Barito' war durch die 'Intensiv'-Beregnung eine Abnahme an Zwiebeln dieser Größenklasse zu verzeichnen.

Diese, tendenziell auch bei den anderen Sorten feststellbare Abnahme an Zwiebeln der Klasse 40-70 mm ging einher mit einer sehr starken Zunahme an Zwiebel > 70 mm (Abb. 9), wobei hier 'Summit' und 'Barito' die stärkste Zunahme zeigten (signifikante Wechselwirkung). Diese Wechselwirkungen beruhen aber vermutlich 'nur' auf eine bei den Sorten unterschiedliche Sortierung innerhalb der Größenklasse 40-70 mm, so dass bei einer Zusatzbewässerung und der damit verbundenen Massezunahme die Zwiebeln je nach Sorte zu unterschiedlichen Anteilen in die nächst höhere Größenklasse > 70 mm fielen und sich damit entsprechend geringere Mengen in der Klasse 40-70 mm befanden.



**Abb. 8: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung 40-70 mm der verschiedenen Sorten in Abhängigkeit von Bewässerungsintensität**  
 ( $GD_{(\alpha<0,05)}$  Bewässerung  $\times$  Sorte: 62,3 dt/ha = I)



**Abb. 9: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung > 70 mm der verschiedenen Sorten in Abhängigkeit von der Bewässerungsintensität**  
 ( $GD_{(\alpha<0,05)}$  Bewässerungseffekt: 49,9 dt/ha; Bewässerung  $\times$  Sorte: 67,5 dt/ha = I)

Insgesamt wurden nur relativ geringe Mengen an Zwiebeln < 40 mm Durchmesser geerntet, wobei diese Menge durch eine Beregnung signifikant von 14 dt/ha ('Kontrolle') auf 9 dt/ha ('Minimiert') bzw. 8 dt/ha ('Intensiv') vermindert wurde (Tab. 6).

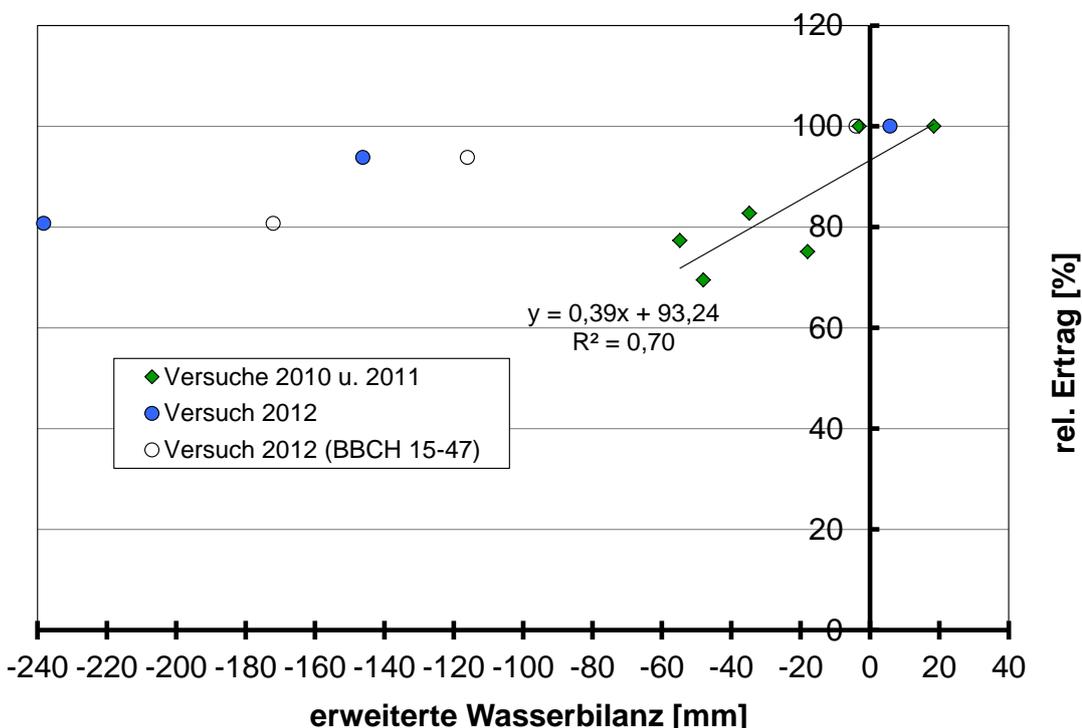
Bei dem an der Größenklasse 40-70 mm ermitteltem **Trockensubstanzgehalt** zeigte sich kein auffälliger Bewässerungseinfluss (Tab. 6).

## Fazit

In allen drei Versuchsjahren brachte die nach dem 'Geisenheimer Modell' mit  $k_c$ -Werten von 0,5 (bis BBCH 15), 1,5 (BBCH 15-18) und 1,2 (BBCH 18-47) gesteuerte 'Intensiv'-Variante (2010 und 2011 allerdings auf Basis  $ET_0$ , 2012 auf Basis  $ET_{p_{PENMAN}}$ ) die höchsten Erträge an Zwiebeln > 40 mm, wobei der Ertragszuwachs jeweils vor allem auf die größeren Mengen an Zwiebel der Größenklasse >70 mm beruhte. Eine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte wurde beim Gesamtertrag nicht festgestellt. Damit ist zu konstatieren, dass unter den herrschenden Boden- und Witterungsbedingungen der drei Versuchsjahre keine der getesteten Sorten eine 'besondere' Trockenstresstoleranz bzw. Wasserbedürftigkeit zeigte.

Die mit Hilfe des 'Geisenheimer Modells' prognostizierten Bodenwassergehalte stimmten im Versuchsjahr 2011 und im aktuellen Versuch mit den tatsächlichen vorgefundenen Werten dann gut überein, wenn die Berechnung auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerte mit entsprechenden  $k_{c_{PENMAN}}$ -Faktoren (s.o.) erfolgte. Im Versuchsjahr 2010 kam es mit diesem Ansatz allerdings zu einer Unterschätzung der Bodenwassergehalte (= Überschätzung der  $ET_c$ ).

Unklar ist, warum im aktuellen Versuch die nach dem Modell notwendige Bewässerung von 244 mm ('Intensiv') nur zu einem relativ geringen Ertragszuwachs führte bzw. ein berechnetes Wasserdefizit in dieser Größenordnung ('Kontrolle') nur mit einem Ertragsrückgang von rund 20 % verbunden war, während derartige Ertragsverluste in den Vorversuchen schon bei deutlich geringeren Wasserdefiziten zu verzeichnen waren (Abb. 10). Auch bei Außerachtlassung der Phase BBCH 09-15 mit möglicherweise 'unproduktiver Evaporation' lässt sich der relative geringe Ertragsverlust nicht mit dem berechneten Wasserdefizit erklären.



**Abb. 10: Relativer Ertrag an Zwiebeln > 40 mm ('Intensiv' = 100 %) in Abhängigkeit von der Wasserbilanz des Zeitraumes BBCH 09-47 bzw. BBCH 15-47 (erweiterte Wasserbilanz = Niederschlag + Beregnung -  $ET_c$  - Sickerwasser;  $ET_c$  und Sickerwasser einheitlich berechnet auf Basis  $ET_{p_{PENMAN}} \times k_{c_{PENMAN}}$ )**

## Literatur:

- AGROWETTER 2009: Modellbeschreibung. Online-Hilfe zur Agrowetter Berechnungsberatung. auch [www.dwd.de](http://www.dwd.de) (Stand 30.01.2009)
- BGR 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Schweizerbart, Stuttgart, 5. Aufl.
- FA-GM 2011: Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2011 - für Penmann-Verdunstung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. [www.fa-gm.de](http://www.fa-gm.de) (Stand 27.06.2011)
- JANSSEN, W. 2012: Mündliche/schriftliche Mitteilungen zum aktuellen Berechnungsmodus bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- JANSSEN, W. 2010: Schriftliche Mitteilung zur Berechnung der Sickerwassermenge und der Verdunstungsberechnung bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- KLEBER, J. 2012: Mündliche Erläuterungen zur Bestimmung der kc-Werte beim 'Geisenheimer Modell'. Versuchsansteller-Besprechung zur "Klimatischen Wasserbilanz", Erfurt, 24.01.2012
- LABER, H. und S. BRENNER 2011: Zwiebelsorten reagierten gleichermaßen positiv auf Zusatzwasser; Prognose der Bodenwassergehalte durch Modelle zum Teil ungenau. [www.hortigate.de](http://www.hortigate.de)
- LABER, H. und S. BRENNER 2010: Deutlich mehr großfallende Zwiebeln bei Bewässerung; Bodenwassergehalte durch Modelle recht gut prognostiziert. nur [www.hortigate.de](http://www.hortigate.de)
- PASCHOLD, P.-J. und J. KLEBER 2009: Reduziertes Wasserangebot vermindert Ertrag. [www.hortigate.de](http://www.hortigate.de)
- PASCHOLD, P.-J. und J. KLEBER 2008: Reduziertes Wasserangebot erhöht den Ertrag der Größensortierung 45-60 mm. [www.hortigate.de](http://www.hortigate.de)
- PASCHOLD, P.-J., J. KLEBER und N. MAYER 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. [www.fa-gm.de](http://www.fa-gm.de) (Stand 4.5.2010)
- PFLEGER, I. und U. RÖSLER 2010: Wie viel Zwiebel-Mehrertrag durch Beregnung? Gemüse **46** (3), S. 18-20

**Tab. 3: Textur und Bodenart des Versuchsstandortes**

Schicht	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Bodenart n. Kartieranleitung (BGR 2005)
0-30 cm	15,2	42,6	42,2	schluffig-lehmiger Sand (Slu)
30-60 cm	20,5	41,8	37,7	schwach sandiger Lehm (Ls2)
60-90 cm	19,1	28,0	52,9	stark sandiger Lehm (Ls4)
<b>0-60 cm</b>	<b>17,9</b>	<b>42,2</b>	<b>40,0</b>	<b>schwach sandiger Lehm (Ls2)</b>

**Tab. 6: Brutto-Erträge und -Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten**

Bewässerung Sorte <sup>1)</sup>	Kontrolle				Minimiert				Intensiv			
	Hyfo	Sum	Bari	Sun	Hyfo	Sum	Bari	Sun	Hyfo	Sum	Bari	Sun
Ertrag <40 mm [dt/ha]	19	12	11	14	13	7	5	12	10	5	6	10
Mittel	14 (a) <sup>2)</sup>				9 (b)				8 (b)			
Ertrag 40-70 mm [dt/ha]	508	537	491	525	589	525	472	592	549	478	424	553
Mittel	515				544				501			
Trockensubstanz- gehalt <sup>3)</sup> [%]	11,1	11,3	10,4	11,1	11,3	11,9	10,5	10,9	11,4	11,6	10,4	10,9
Mittel	11,0				11,2				11,1			
Ertrag >70 mm [dt/ha]	32	32	74	48	44	151	167	70	135	242	284	119
Mittel	46				108				195			
Ertrag >40 mm [dt/ha]	539	569	565	573	633	676	639	663	683	719	708	672
Mittel	562				653				696			
Wassernutzung <sup>4)</sup>					99 kg/(ha x mm)				55 kg/(ha x mm)			

<sup>1)</sup>: Hyfort, Summit, Barito, Sunnito; <sup>2)</sup>:  $GD_{(\alpha<0,05)}$  Bewässerungseffekt: 3,8 dt/ha (keine Wechselwirkung);  
<sup>3)</sup>: Mischproben über die Wiederholungen; <sup>4)</sup>: Mehrertrag je mm Bewässerung

**Tab. 4: Gravimetrisch bestimmte Bodenwassergehalte und % nutzbare Feldkapazität**

Datum	BBCH	Variante	Bodenwassergehalt [mm] <sup>1)</sup>			% nFK <sup>2)</sup>		
			0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
5. Febr. <sup>3)</sup>		alle	78	85	84			
Mittel <sup>4)</sup>		alle	82	84	86	100	100	100
22. April <sup>5)</sup>	09	alle	72	74	74	81	74	73
3. Mai		Intensiv	75			86		
		Mini.+ Kon.	62			62		
17. Mai <sup>5)</sup>		Intensiv	69	73		75	71	
		Minimiert	65	69		68	61	
		Kontrolle	64	70		65	65	
03. Jun		Intensiv	85	83		105	97	
		Minimiert	82	73		101	73	
		Kontrolle	77	76		90	80	
21. Jun	15 (13.6.)	Intensiv	80	79		96	87	
		Minimiert	79	78		95	84	
		Kontrolle	76	78		88	84	
08. Jul	18 (27.6.)	Intensiv	76	79		89	87	
		Minimiert	75	72		88	69	
		Kontrolle	75	78		87	85	
30. Jul		Intensiv	61	68		60	60	
		Minimiert	67	71		71	66	
		Kontrolle	66	53		70	22	
06. Aug	47	Kontrolle	48	54	61	35	25	42
08. Aug		Minimiert	60	67	81	58	55	88
09. Aug		Intensiv	64	67	73	65	55	70

<sup>1)</sup>: Bodenwassergehalt der Schicht bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm<sup>3</sup>;

<sup>2)</sup>: zugrunde gelegter Totwassergehalt: 9,9 Vol.-% (0-30 cm), 14,9 Vol.-% (30-60 cm), 14,3 Vol.-% (60-90 cm)

<sup>3)</sup>: aktuelle Bestimmung der FK; <sup>4)</sup>: Mittelwert der jährlich bestimmten FK (Versuchsjahre 2010-2012);

<sup>5)</sup>: Die Proben wurden jeweils am frühen Morgen des Folgetages gezogen und geben somit den Bodenwassergehalt am Ende des angegebenen Tages wieder

**Tab. 5a: Kalkulierte Verdunstung während der verschiedenen Entwicklungsphasen**

Phase BBCH	Referenzverdunstung			Verdunstung des Bestandes [mm]			
	ET <sub>0</sub> <sup>1)</sup> [mm]	ETp <sub>PEN</sub> <sup>2)</sup> [mm]	ETp <sub>PEN</sub> /ET <sub>0</sub> <sup>3)</sup>	Geisenheim: ET <sub>c</sub> <sup>4)</sup> ETp <sub>PEN</sub> × kc <sub>PENMAN</sub> Intensiv	Agrowetter: ET <sub>c adj</sub> <sup>5)</sup> (ET <sub>0</sub> × w <sub>fak</sub> <sup>6)</sup> ) × kc <sub>PENMAN</sub> Intensiv   Minimiert   Kontrolle		
09-15	178,1	258,4	1,50	129,2	115,8	108,5	86,0
15-18	49,5	72,0	1,48	72,0	58,1	56,4	49,9
18-47	162,8	225,5	1,40	270,6	223,1	190,4	147,9
09-47	390,4	555,9	1,46	471,8	397,0	355,3	283,8

**Tab. 5b: Niederschläge, Beregnung und berechnete Versickerung während der verschiedenen Entwicklungsphasen**

Phase BBCH	Nieder- schlag [mm]	Beregnung [mm]		Versickerung [mm] <sup>7)</sup>			
		Intensiv	Minimiert	Geisenheim ETp <sub>PEN</sub> × kc <sub>PENMAN</sub> Intensiv	Agrowetter (ET <sub>0</sub> × w <sub>fak</sub> ) × kc <sub>PENMAN</sub> Intensiv   Minimiert   Kontrolle		
09-15	63,0	76	36	0,0	9,3	0,0	0,0
15-18	38,7	12	0	0,0	1,2	0,0	0,0
18-47	131,9	156	56	0,0	41,6	0,0	0,0
09-47	233,6	244	92	0,0	52,1	0,0	0,0

<sup>1)</sup>: FAO Gras-Referenzverdunstung; <sup>2)</sup>: Verdunstung nach modifizierter PENMAN-Gleichung (nasses Gras);

<sup>3)</sup>: Mittelwerte der täglichen Quotienten;

<sup>4)</sup>: potentielle Evapotranspiration des Bestandes berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell';

<sup>5)</sup>: aktuelle Evapotranspiration des Bestandes laut 'Agrowetter';

<sup>6)</sup>: windabhängiger Faktor (JANSSEN 2012); <sup>7)</sup>: aus der Bodenschicht 0-60 cm