

Deutlich mehr großfallende Zwiebeln bei Bewässerung; Bodenwassergehalte durch Modelle recht gut prognostiziert

**Zwiebeln
Bewässerung
Sorte**

Zusammenfassung

Bei einem ersten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Sommerzwiebelsorten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz zeigten sich 2010 deutliche Ertragseffekte einer Beregnung von 105 mm während einer rund einmonatigen Trockenperiode in der Hauptwachstumszeit. Dabei beruhte der Ertragszuwachs vor allen auf größere Mengen an Zwiebeln > 70 mm. Eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung konnte 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 FAO-Gras-Referenzverdunstung 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 der Untersuchungen spezielle Sorten mit einer ggf. besseren Toleranz gegenüber Trockenstress getestet werden.

Material und Methoden

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

Tab. 1: Einbezogene Sorten; erreichte Bestandesdichte

Sorte	Hyfort	Summit	Premito	Orbito
Züchter	Bejo		Seminis	
Trockenstresstoleranz ¹⁾	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein
Reife	mf		ms	
Bestandesdichte [Pfl./m ²] ²⁾	75	81	81	71

¹⁾: Einschätzung/Angabe des Züchters; ²⁾: Pfl./Netto-m², Auszählung am 2.6., 6 lfdm pro Sorte pro Wiederholung, (Unterschiede zwischen den Sorten nicht statistisch abgesichert)

Die Aussaat erfolgte am 26. März. Dabei wurde die Saat versehentlich relativ tief abgelegt, so dass die Zwiebeln, in Verbindung mit relativ kühlen Temperaturen, am 21. April nur 'verhalten' aufliefen. Am 26. und 29. April wurde mittels eines Düsenwagens jeweils 8 mm (Mindestmenge) beregnet, um so für noch auflaufende Keimlinge den verkrusteten Boden aufzuweichen.

Wie im gesamten mitteldeutschen Anbaugebiet wurde auch die weitere Entwicklung der Zwiebeln durch einen relativ kühlen Mai beeinträchtigt, so dass allgemein von einem Entwicklungsrückstand von 14 Tagen gegenüber einem 'Normaljahr' gesprochen wurde. Auf Grund dieser Widrigkeiten lag die Bestandesdichte im Mittel nur bei nicht ganz befriedigenden 77 Pfl./m² (Tab. 1). Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen und einige Jätgänge war der Zwiebelbestand bis zur Ernte praktisch unkraut- und befallsfrei.

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

2010

Kultur- und Versuchsdaten:

26. März 2010: Einzelkornaussaat der Sorten, Beetanbau (1,5 m) mit 5 Reihen, Reihenabstand 22,5 cm, Kornablageabstand 4,8 cm (92,6 Korn/m²),
21. April: Auflauf (BBCH 09)
27. April: Bodenwasserprobe, Beginn der Bilanzierung
10. Juni: Aufdüngung auf 140 kg N_{min}/ha in 0-60 cm
21. Juni: 5-Blatt-Stadium (BBCH 15)
8. Juli: 8-Blatt-Stadium (BBCH 18)
25. Aug.: Beginn Schlottenknick bei 'Hyfort' und 'Summit'
1. Sept.: Beginn Schlottenknick bei 'Premito' und 'Orbito'
Bodenart: stark lehmiger Sand (Sl4), n. 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. 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) mit den entsprechenden kc-Werten für Sommerzwiebeln (FORSCHUNGSANSTALT GEISENHEIM 2010; vgl. Abb. 2). 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 Berechnungsberatung' berechnet, dass sich ebenfalls weitestgehend am 'Geisenheimer Modell' orientiert. Abweichend von diesem wird auch hier die Bilanzierung im Falle einer Überschreitung der FK 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 %) nicht verändert, die maximale Durchwurzelungstiefe wurde aber von 55 cm (Voreinstellung) auf 60 cm erhöht.

Da für die Berechnung von 'Agrowetter' automatisch auf die ET₀-Werte (FAO Gras-Referenzverdunstung) der nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurückgegriffen wird (in diesen Falle Dresden-Hosterwitz, ca. 3 km von Versuchsstandort entfernt, ähnliche Topographie etc.) wurde die Berechnung nach 'Geisenheim' auch auf Basis dieser Werte durchgeführt. Tatsächlich basiert die 'Geisenheimer Bewässerungs-

steuerung' aber auf der (modifizierten) Verdunstungsberechnung nach PENMAN ($ET_{pPENMAN}$) (PASCHOLD et al. 2010, KLEBER 2010), die um den Faktor 1,4 höher liegt als ET_0 (KLEBER 2010). Auch diese $ET_{pPENMAN}$ -Werte der Wetterstation Dresden-Hosterwitz wurden seitens des DWD freundlicher Weise 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.

Die Beregnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt nur 2, später 3 mm ausgebracht, so dass bis zu 5 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren. Eine Beregnungsgabe von 30 mm wurde auf den 20. und 21. Juli mit je 15 mm verteilt. Die ausgebrachte Beregnungsmenge wurde jeweils mit Hilfe von bodennah aufgestellten Regenmessern überwacht.

Ergebnisse

Nach einem niederschlagsreichen Winter (156 mm Niederschlag vom 1. Nov. bis 15. März.) wurde am 18. März die FK der Versuchsfläche durch ziehen einer Bodenprobe bestimmt. Bei einer angenommen Bodendichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ wurde eine FK von 27,9 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 27,3 Vol.-% (30-60 cm) ermittelt (Tab. 2). Die Kartieranleitung (KA 5, 2005) weist dagegen für einen stark lehmigen Sand (SI4, Rohdichte $1,5 \text{ g/cm}^3$) mit 30 Vol.-% eine etwas höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der KA 5 (SI4: 12 Vol.-%) mit 11,0 Vol.-% ebenfalls leicht reduziert.

Nachdem die Masse der Zwiebeln aufgelaufen war, wurde Ende April ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-30 cm Tiefe von 93 % nFK ermittelt. Im weiteren Verlauf fielen dann bis zum 3. Juni 98,6 mm Niederschlag, so dass bis zu diesem Zeitpunkt der Boden praktisch ständig auf FK aufgefüllt war (Abb. 1 u. 2).

Anfang Juni setzten dann trockenere Witterungsbedingungen mit bis zu 5-6 mm ET_0/d ein (vgl. Abb. 3), die zu einem Absinken der Bodenfeuchte auf (rechnerisch) ca. 60 % nFK führten. Daraufhin wurde am 22. Juni in der Variante 'Intensiv' die erste (variantenspezifische) Wassergabe in Höhe von 10 mm gegeben, womit der Bodenwassergehalt wie geplant wieder auf 80 % nFK anstieg.

Da der am 10. Juni ausgebrachte N-Dünger vor der ersten Beregnungsgabe nicht vollständig aufgelöst/eingewaschen war (nur 3,5 mm Niederschlag zwischen Ausbringung und 1. Beregnungsgabe) wurden zuvor am 21. Juni alle Varianten mit 6 mm beregnet. Damit sollte sichergestellt werden, dass in allen Varianten eine einheitliche N-Versorgung gewährleistet war.

Danach folgten, ab Anfang Juli in Anlehnung an den von 'Agrowetter' kalkulierten Bodenwassergehalt, weitere Wassergaben, so dass in der Variante 'Intensiv' insgesamt 105 mm verabreicht wurden und der Boden zwischenzeitlich immer wieder auf ± 80 % FK aufgefüllt wurde.

In der Variante 'Praxis' erfolgte nur eine Beregnungsgabe mit 30 mm am 20./21. Juli. Allerdings setzte unmittelbar danach eine auch den ganzen August andauernde Regenperiode ein (297,5 mm bis Ende August = Schlottenknick), so dass sich die 'Praxis'-Variante praktisch nur durch eine 2 Tage frühere Wiederbefeuchtung des Bodens von der unberegneten Kontrolle unterschied (vgl. Abb. 5).

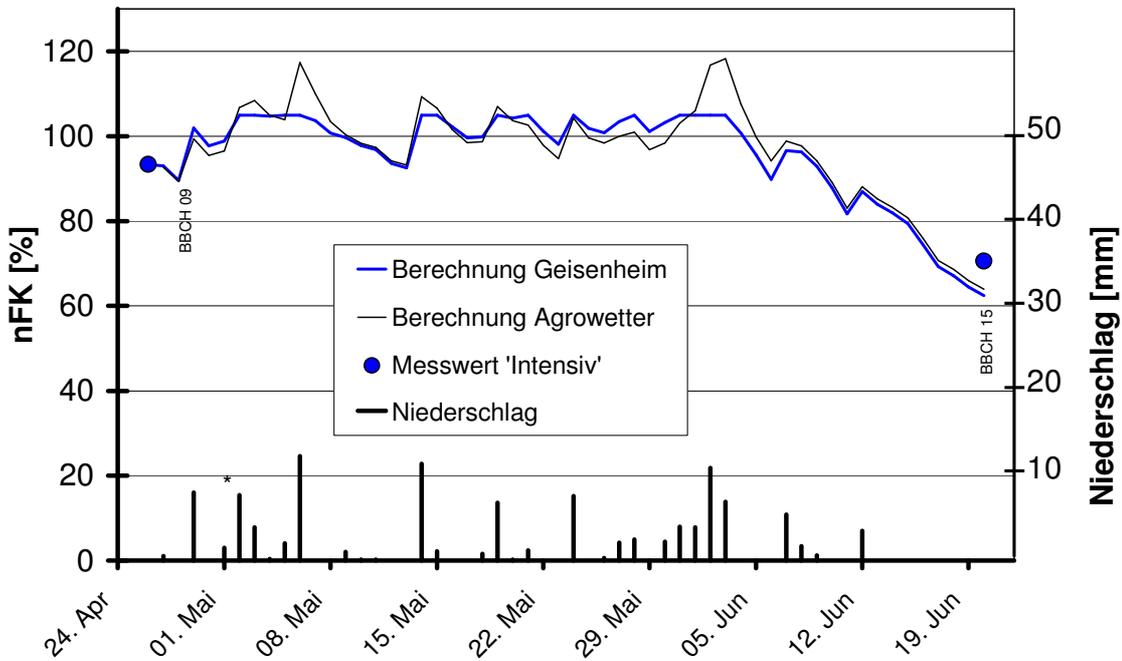


Abb. 1: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_0 bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-30 cm bei der Variante 'Intensiv' (*: 8 mm Berechnung in allen Varianten)

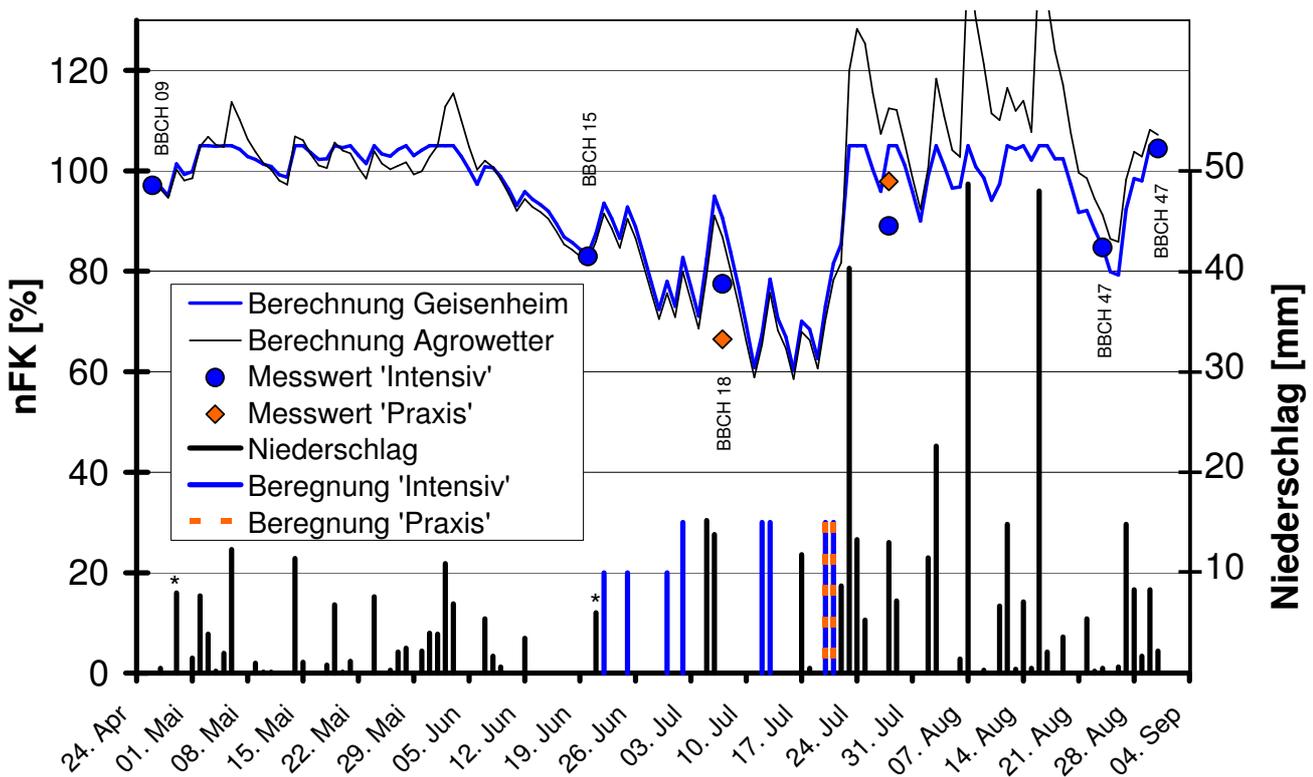


Abb. 2: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_0 bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv' (Bodenwassergehalt 'Agrowetter' = Mittelwert der separat berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe; *: 8 bzw. 6 mm Berechnung in allen Varianten)

Die auf Basis der ET_0 -Werte berechneten täglichen Verdunstungswerte nach 'Geisenheim' stimmten weitgehend mit dem 'Agrowetter'-Ansatz überein (da rechnerisch praktisch nie eine

Bodenfeuchte von 60 % nFK unterschritten wurde, war hier die berechnete $ET_{c\ adj} \approx ET_c$) (Abb. 3, dargestellt nur $ET_{c\ adj}$). Mit einer berechneten Verdunstung von 359,7 mm wies 'Agrowetter' aber einen geringfügig höheren Wert für die Kulturzeit aus als die eigene Berechnung nach 'Geisenheim', die auf 353,0 mm kam (Tab. 3). Auf Grund der eingeschränkten Wasserversorgung wurde seitens 'Agrowetter' für die Variante 'Praxis' nur eine $ET_{c\ adj}$ von 315,3 mm, für die 'Kontrolle' von 309,3 mm berechnet.

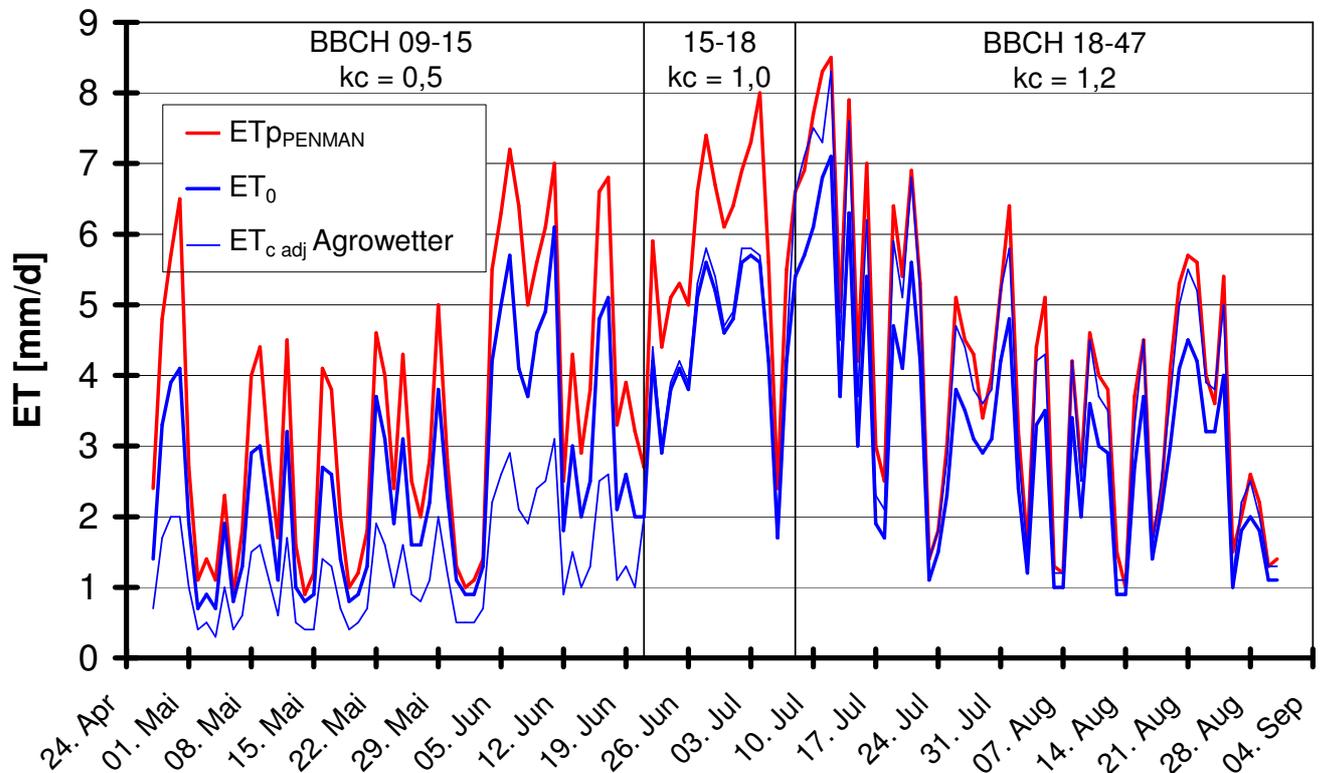


Abb. 3: Evapotranspiration nach PENMAN ($ET_{pPENMAN}$) und FAO Gras-Referenzverdunstung (ET_0) sowie aktuelle Evapotranspiration ($ET_{c\ adj}$) laut 'Agrowetter' (auf Basis ET_0) für die Variante 'Intensiv'

Entsprechend den nahezu identischen Verdunstungswerten verliefen die berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante 'Intensiv' in der mittleren Kulturphase ebenfalls sehr ähnlich (Abb. 1 u. 2). In den feuchten Kulturphasen führten die unterschiedlichen Modellansätze für die Versickerungsberechnung aber zu einem etwas unterschiedlich Verlauf: Während sich nach dem modifizierten 'Geisenheimer Modell' der Boden auf maximal 105 % nFK auffüllte (und die darüber hinaus gehende Menge von insgesamt 199,5 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 190,1 mm (Tab. 3).

Bei den jeweils beim Erreichen des nächsten Pflanzenstadiums in der Bewässerungsvariante 'Intensiv' gezogenen Bodenproben zeigte sich zumeist eine recht gute Übereinstimmung der gemessenen und der mit beiden Modellen auf Basis der ET_0 -Werte berechneten Bodenfeuchten (Abb. 1 u. 2). Nur zum BBCH-Stadium 18 und einer zwischenzeitlichen Beprobung am 28. Juli wurde der Bodenwassergehalt leicht überschätzt.

Auch MARTINS (2003) fand bei Sommerzwiebeln eine (zumeist) gute Übereinstimmung zwischen dem mit 'Agrowetter' (Basis ET_0) kalkuliertem und dem mit einer TDR-Rohrsonde (MARTINS 2010) ermitteltem Bodenwassergehalt.

Berechnet man (wie vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehen) allerdings die Verdunstung auf Basis der ET_{PENMAN} -Verdunstungswerte (für die Kulturzeit der Zwiebeln um Faktor 1,32 höher als ET_0), so wird der Bodenwassergehalt immer \pm unterschätzt (Abb. 4).

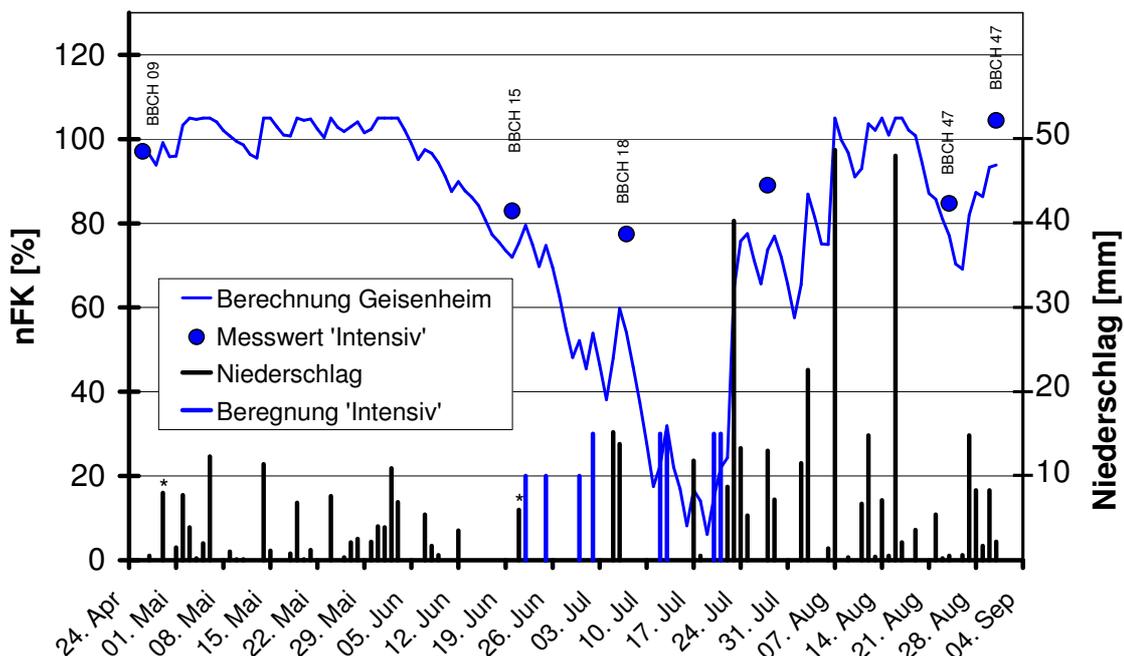


Abb. 4: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_{PENMAN} bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv' (*: 8 bzw. 6 mm Beregnung in allen Varianten)

Der Bodenfeuchtigkeitsgehalt der 'Praxis'-Variante wurde vom 'Agrowetter'-Modul ebenfalls recht gut prognostiziert. Im Gegensatz zur 'Intensiv'-Variante (vgl. Abb. 2) wurde hier die Bodenfeuchte zu BBCH 18 aber etwas unterschätzt (Abb. 5).

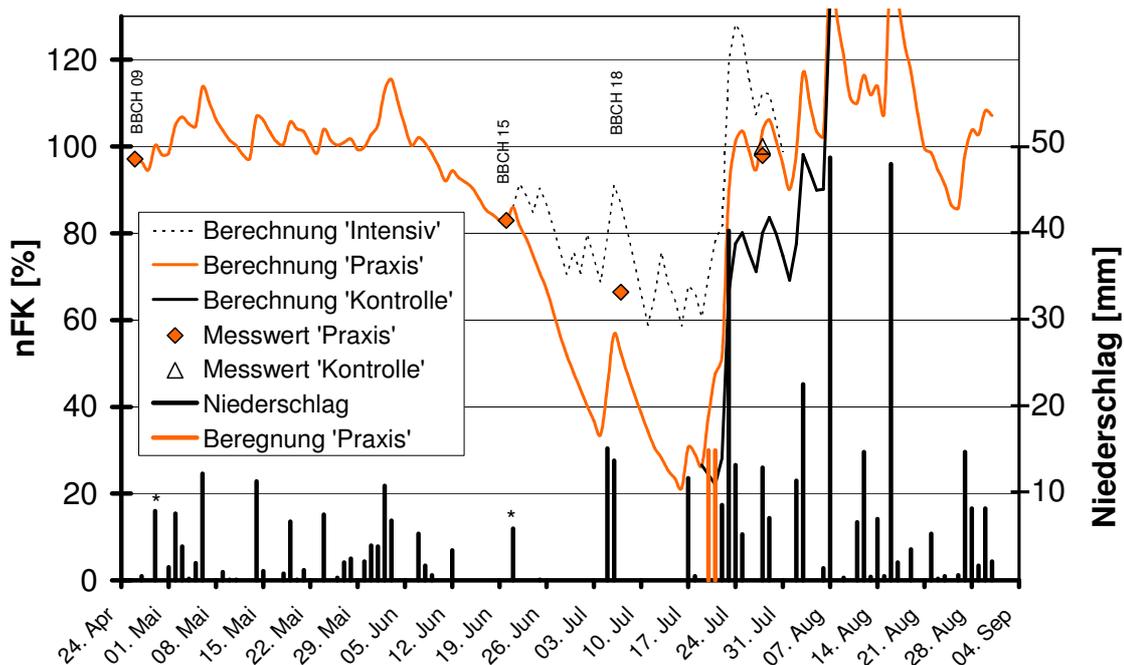


Abb. 5: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert, gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Praxis' und 'Kontrolle' laut 'Agrowetter'

Der Zwiebelbestand bzw. die unterschiedlichen Varianten zeigten während der Kulturzeit keine auffälligen Trockenstresssymptome. Optisch war nur eine etwas größere Bestandeshöhe bei der 'Intensiv'-Variante auszumachen.

Beim Gesamtertrag zeigte sich ein signifikanter Bewässerungseffekt, wobei sich auch die nur um 2 Tage früher 'wiederbefeuchtete' 'Praxis'-Variante signifikant von der 'Kontrolle' unterschied (Abb. 6). Ein Sorteneffekt oder eine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung bestand nicht.

Der Mehrertrag der 'Intensiv'-Variante gegenüber der 'Kontrolle' betrug 178 dt/ha, was bei einer Wassergabe von 105 mm einem Ertragszuwachs von 170 kg/ha pro mm Wassergabe entspricht. Von einer ähnlichen Größenordnung berichten PFLEGER und RÖBLER (2010), die in einer 7-jährigen Versuchsserie auf einem Schwarzerdestandort im Mittel einen Ertragszuwachs von 195 kg/ha pro mm Wassergabe fanden.

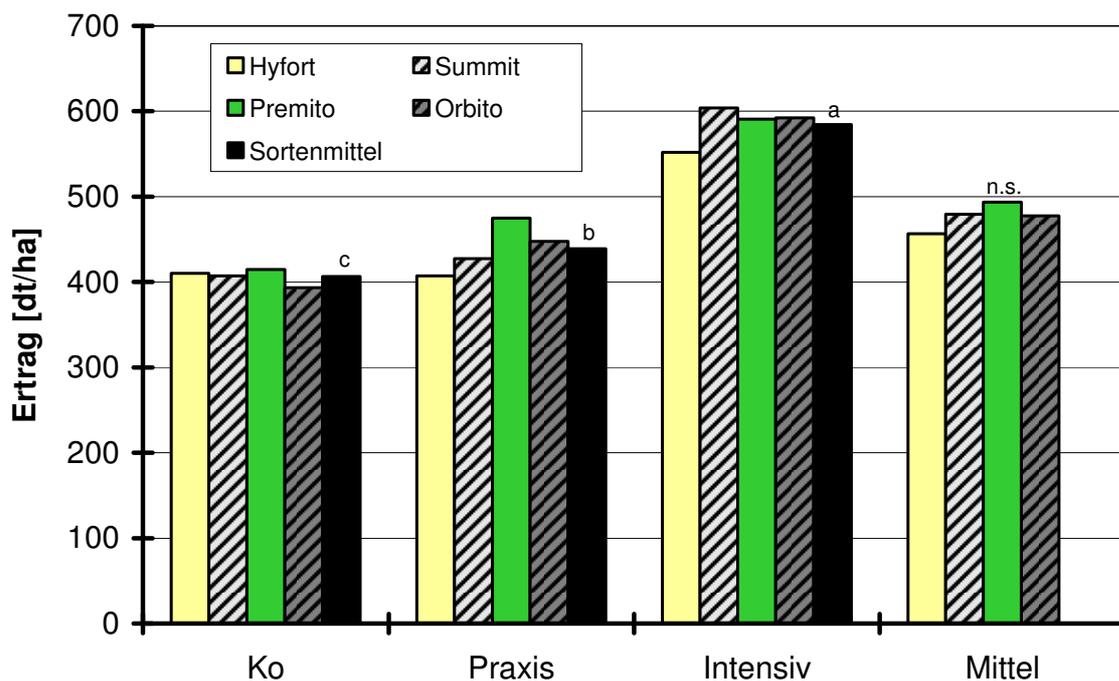


Abb. 6: Marktfähiger Ertrag an Zwiebeln > 40 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha < 0,05)}$ Bewässerungseffekt: 23,2 dt/ha)

Der Ertrag an Zwiebel der Sortierung 40-70 mm lag in allen Varianten bei rund 370 dt/ha und wurde nur tendenziell ($p = 0,08$) durch die Sorte beeinflusst (Abb. 7).

Da bei der Sortierung < 40 mm keine (in absoluten Erträgen gerechnet) wesentlichen Unterschiede zwischen den Varianten zu verzeichnen waren (vgl. Tab. 4), beruht der Ertragsunterschied vor allem auf den Zwiebeln der Größenklasse > 70 mm, die insbesondere durch die Bewässerung deutlich beeinflusst wurden (Abb. 8). Aber auch hier war keine Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung zu beobachten.

Im Vergleich zu anderen Jahren waren im Versuch auch relativ viele Dickhälse bei den Zwiebeln zu beobachten, wobei tendenziell ($p = 0,09$) diese in der 'Kontrolle' und auch 'Praxis'-Variante verstärkt auftraten. Auch ein Sorteneffekt war zu verzeichnen (o. Abb., Tab. 4).

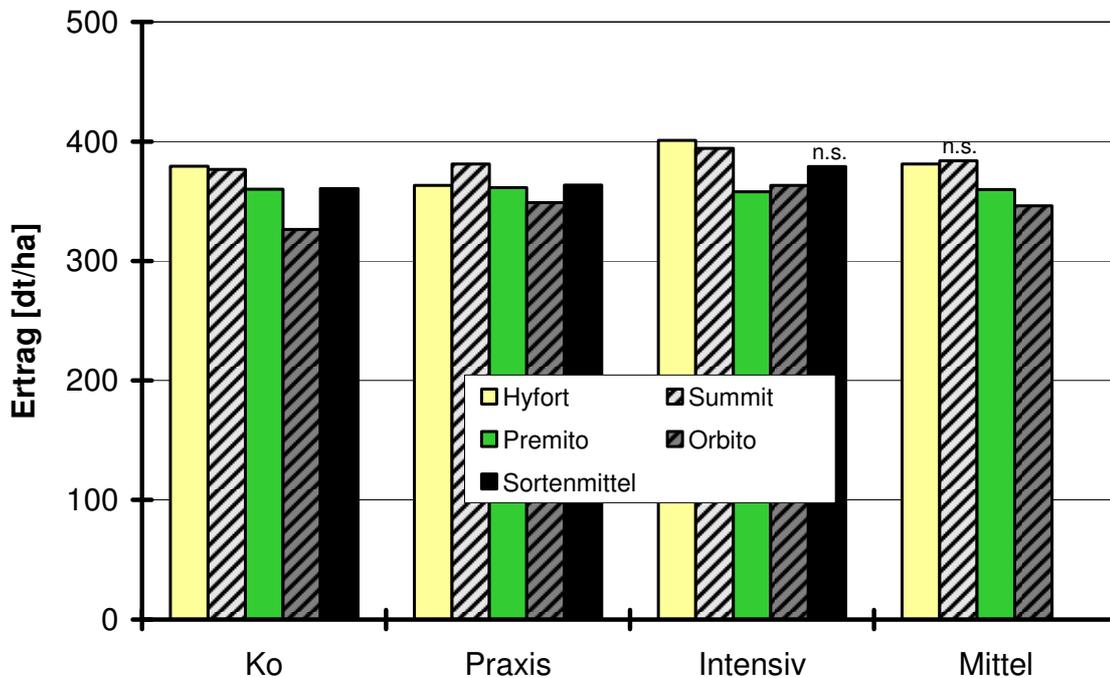


Abb. 7: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung 40-70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte

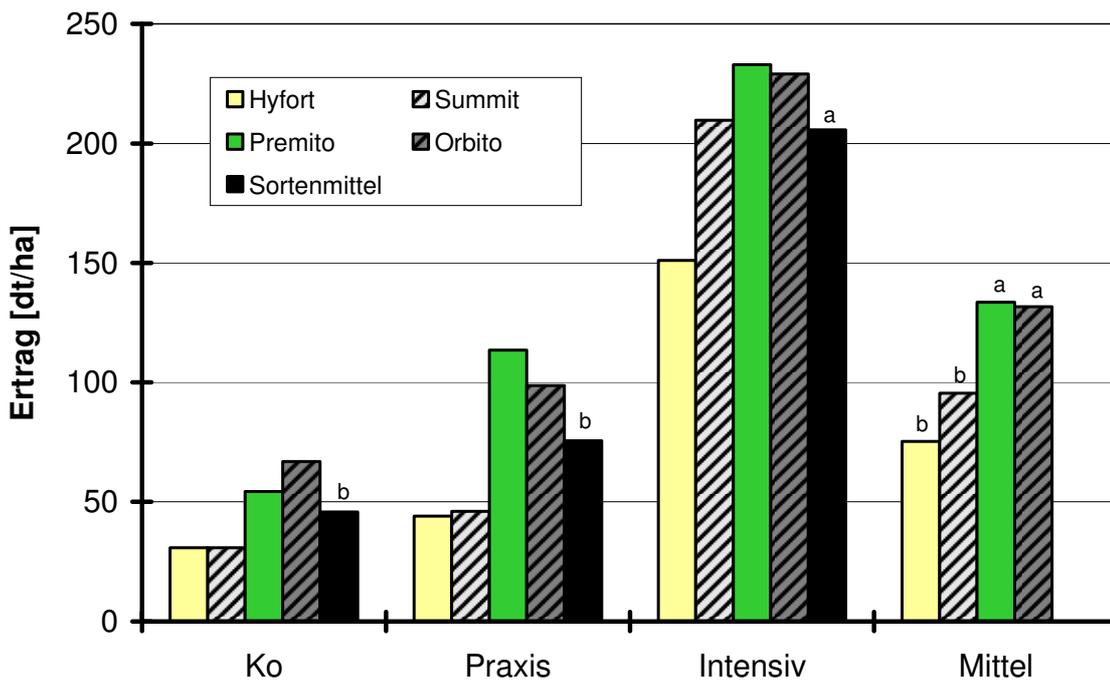


Abb. 8: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung >70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha < 0,05)}$ Bewässerungseffekt: 30,1 dt/ha; Sorteneffekt: 24,3 dt/ha)

Fazit

Vermutlich durch die relativ geringe Bestandesdichte beruhte der Ertragszuwachs durch die Berechnung vor allem auf eine Zunahme an nur begrenzt absetzbaren Zwiebeln > 70 mm, so dass sich in der 'Intensiv'-Berechnungsvariante eine höhere Bestandesdichte günstig auf den Ertrag an Zwiebeln der Größe 40-70 mm ausgewirkt hätte.

Erstaunlich sind die beobachteten Ertragszuwächse durch die 30 mm-Berechnung in der 'Praxis'-Variante, obgleich 2 Tage später auch in der 'Kontrolle' die Trockenperiode durch Niederschläge beendet wurde. Dieser Ertragszuwachs könnte ein Indiz dafür sein, dass in der Hauptwachstumszeit 'jeder Tag zählt'.

Die mit Hilfe des 'Geisenheimer Modells' prognostizierten Bodenwassergehalte stimmen mit den tatsächlichen vorgefundenen Werten gut überein, wenn die Berechnung wie auch bei der 'Agrowetter'-Berechnungsberatung auf Basis der FAO-Gras-Referenzverdunstung erfolgte.

Literatur:

- AGROWETTER 2009: Modellbeschreibung. Online-Hilfe zur Agrowetter Berechnungsberatung. auch www.dwd.de (Stand 30.01.2009)
- FORSCHUNGSANSTALT GEISENHEIM 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 6.9.2010)
- JANSSEN, W. 2010: Persönliche Mitteilung zur Berechnung der Sickerwassermenge und der Verdunstungsberechnung bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Kartieranleitung (KA 5) 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Schweizerbart, Stuttgart, 5. Aufl.
- KLEBER, J. 2010: Persönliche Mitteilung zur verwendeten Referenzverdunstung bei der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau
- MARTINS, S. 2003: Messungen in Sommerzwiebeln. ALLB Heilbronn, zit. In JANSSEN, W. 2010: Möglichkeiten einer individuellen Berechnungsberatung. Vortag 2010
- MARTINS, S. 2010: Persönliche Mitteilung zu Bestimmung der Bodenwassergehalte beim Zwiebelversuch 2003. Landratsamt Heilbronn
- 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 Berechnung? Gemüse **46** (3), S. 18-20

Tab. 2: 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
18. Mrz ¹⁾		alle	84	82	85	100	100	100
26. Apr ⁴⁾	09	alle	80	82	85	93	101	100
20. Jun ⁴⁾	15	Alle	69	80	87	71	95	105
7. Jul ⁴⁾	18	Kontr. + Prax.	68	68	78	67	66	86
		Intensiv	72	75	76	75	80	82
28. Jul ⁴⁾		Kontrolle	81	88	82	93	107	95
		Praxis	83	84	93	97	99	117
		Intensiv	78	80	81	87	91	93
24. Aug ⁴⁾	47 ⁵⁾	Intensiv	73	81	77	77	92	85
31. Aug ⁴⁾	47 ⁶⁾	Intensiv	86	87	83	103	105	96

¹⁾: Bestimmung der FK. Wasserbilanz der Vortage (Niederschlag - ET₀): 15.3.: +10,3; 16.3.: +2,5; 17.3.: -0,5;

²⁾: Bodenwassergehalt der Schicht bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³,
Ermittelt an Mischproben aus 8 Einstichen (2 Bodenproben pro Wiederholung), Trocknung bei 105 °C);

³⁾: zugrunde gelegter Totwassergehalt: 11,0 Vol.-%;

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

⁵⁾: Sorten 'Hyfort' und 'Summit'; ⁶⁾ Sorten 'Premito' und 'Orbito'

Tab. 3: Potentielle und aktuelle Verdunstung, Niederschläge und Beregnung sowie Versickerung in den verschiedenen Entwicklungsphasen

Phase	ETp ¹⁾	ET ₀ ²⁾	ET _c ³⁾		ET _{c adj} ⁴⁾			Nieder schlag	Beregnung		Versickerung	
			Geisenheim ETp	ET ₀	Intens.	Praxis	Kontr.		Intens.	Praxis	Gei- senh. ⁵⁾	Agro- wetter ⁶⁾
BBCH	[mm]											
09-15	187,3	137,3	93,7	68,7	70,6			110,3 ⁷⁾	0		54,8	54,7
15-18	97,3	73,1	97,3	73,1	75,3	65,3		35,1 ⁷⁾	45	0	0	
18-47 ⁸⁾	226,1	176,0	271,3	211,2	213,8	179,4	173,4	309,8	60	30	144,7	135,4
09-47 ⁸⁾	510,7	386,4	462,3	353,0	359,7	315,3	309,3	455,2	105	30	199,5	190,1

¹⁾: ETp_{PENMAN} = potentielle Verdunstung nach modifizierter PENMAN-Gleichung;

²⁾: FAO Gras-Referenzverdunstung;

³⁾: potentielle Evapotranspiration des Erbsenbestandes in der Variante 'Intensiv', berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell' auf Basis ETp_{PENMAN} (ursprünglicher Ansatz) als auch ET₀;

⁴⁾: aktuelle Evapotranspiration des Zwiebelbestandes laut 'Agrowetter', bei Variante 'Intensiv' ≈ ET_c;

⁵⁾: Variante 'Intensiv' auf Basis der ET₀-Verdunstung. 'Praxis' insgesamt 124,5 mm. 'Kontrolle' 94,5 mm;

⁶⁾: Variante 'Intensiv'. 'Praxis' insgesamt 159,4 mm. 'Kontrolle' 135,4 mm;

⁷⁾: inklusiv 8 bzw. 6 mm Beregnung in allen Varianten; ⁸⁾: Sorten 'Premito' und 'Orbito': bis 31. Aug.

Tab. 4: Erträge und Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten

Bewässerung Sorte ¹⁾	Kontrolle				Praxis				Intensiv			
	Hyfo	Sum	Pre	Orb	Hyfo	Sum	Pre	Orb	Hyfo	Sum	Pre	Orb
Ertrag <40 mm [dt/ha] ²⁾	17	13	9	8	10	10	9	10	7	7	7	5
Ertrag 40-70 mm [dt/ha]	379	377	360	326	363	381	361	349	401	394	358	363
Ertrag >70 mm [dt/ha]	31	31	54	67	44	46	113	99	151	210	233	229
Ertrag >40 mm [dt/ha]	410	407	415	393	407	427	475	448	552	604	591	592
nicht markt. [dt/ha] ³⁾	2	3	10	10	2	3	10	3	0	2	1	2

¹⁾: Hyfort, Summit, Premito, Orbito; ²⁾: Mischprobe über die Wiederholungen (je 3 Messwiederholung.);

²⁾: GD_(α<0,05) Bewässerungseffekt: 3,5 dt/ha; Sorteneffekt: 2,3 dt/ha;

³⁾: in erster Linie Dickhäuse, GD_(α<0,05) Sorteneffekt: 3,0 dt/ha;