

Zusammenfassung

Bei einem erneuten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Buschbohnenarten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz im Jahr 2011 fielen durchschnittlich 4,4 mm Niederschlag pro Tag, so dass keine Beregnungsgaben notwendig waren. Insofern wurde auf eine Ertragsauswertung verzichtet, der Versuch lieferte aber dennoch einige Daten zur Validierung von Verdunstungs- bzw. Bewässerungsmodellen, die den Bodenwassergehalt während der Blüte um annähernd 30 %-Punkte überschätzten.

Versuchshintergrund u. -frage

Im hiesigen Anbaugbiet mit seinen Lössböden werden Buschbohnen nur relativ extensiv bewässert. Durch den Klimawandel und dabei insbesondere die prognostizierte (Früh)Sommertrockenheit dürfte aber langfristig eine intensivere Bewässerung notwendig werden.

Neben der Überprüfung von vorhandenen Beregnungsmodellen sollen im Rahmen der Untersuchungen spezielle Sorten mit einer ggf. besseren Toleranz gegenüber Trockenstress getestet werden.

Im ersten Versuchsjahr 2010 konnte trotz massiver Austrocknung der unbewässerten Kontrolle in der ersten Kulturhälfte, dann aber einsetzender Starkniederschläge, keine Ertragseffekte einer Bewässerung beobachtet werden (LABER & BRENNER 2010).

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).

Tab. 1: Einbezogene Sorten; erreichte Bestandesdichte

Sorte	Paulista	Livorno	Konza	Bomont
Züchter	Seminis		Syngenta	
Trockenstresstoleranz ¹⁾	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein

¹⁾: Einschätzung/Angabe des Züchters

Die Aussaat erfolgte am 7. Juni. Am 14. Juni liefen die Bohnen mit hohem Feldaufgang auf. Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen und einige Jätgänge war der Bohnenbestand unkraut- und befallsfrei.

Neben einer '**Kontrolle**' (keine Beregnung), 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 damit der Bodenwassergehalt bzw. dessen Änderung über die Zeit berechnet. 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 Blühbeginn (BBCH 61) nur die Bodenschicht 0-30 cm einbezogen, danach wurde entsprechend mit 0-60 cm Tiefe kalkuliert.

Kultur- und Versuchsdaten:

- 7. Juni 2011: Einzelkornaussaat der Sorten, Reihensabstand 50 cm, Kornablageabstand 6,1 cm (32,8 Korn/m²), Aufdüngung auf 110 kg N_{min}/ha in 0-60 cm
- 14. Juni: Auflauf (BBCH 09)
- 19. Juli: Beginn der Blüte (BBCH 61)
- 2. August: Abbruch des Versuches aufgrund von Starkniederschlägen (10 % der Hülsen haben sortentypische Länge erreicht = BBCH 71)
- Bodenart: s. Tab. 2, n. Bodenschätzung: L 3 Al 73/74
- Versuchsanlage: Zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 4 Wiederholungen (Blöcken)
- Parzellengröße: 12,0 m² (Anlageparzelle)

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration des Bohnenbestandes (ET_c) und damit der Klimatischen Wasserbilanz erfolgte nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010). Dabei wurde mit den entsprechenden k_c -Werten für Buschbohnen gerechnet (vgl. Abb. 1), die entweder auf die potentielle Verdunstung nach der modifizierten 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 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 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 (65 % bis BBCH 61, danach 45 %) einheitlich auf 60 % geändert, die maximale Durchwurzelungstiefe wurde von 50 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 vom 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_{PENMAN} -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.

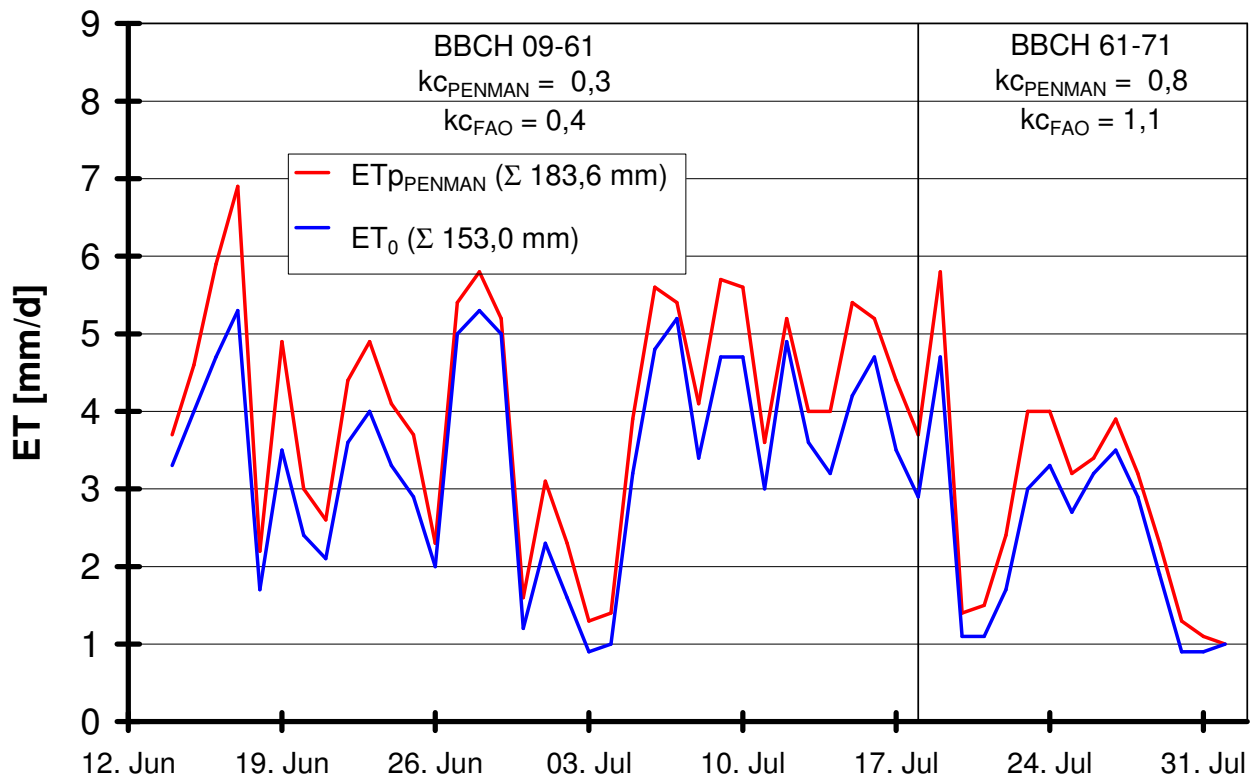


Abb. 1: Evapotranspiration nach der modifizierten PENMAN-Gleichung ($ET_{pPENMAN}$) und FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) für den Standort Dresden-Hosterwitz

Während der Kulturzeit wurden Bodenproben im 30 cm-Raster bis 60 bzw. 90 cm Tiefe entnommen. Dazu wurden in jeder Haupteinheit in 2 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 4 Wiederholungen mit insgesamt 8 Einstichen vorlag. Am jeweils gesamten Probenmaterial (ca. 500 bis 1600 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 g/cm³ wurde eine FK von 27,7 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 28,4 Vol.-% (30-60 cm) ermittelt (Tab. 3). Die Kartieranleitung (BGR 2005) weist dagegen für einen schwach sandiger Lehm (Ls2, Rohdichte 1,5 g/cm³) mit 34 Vol.-% eine höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der Kartieranleitung (Ls2: 18 Vol.-%) mit 12,0 Vol.-% ebenfalls reduziert, so dass sich eine nutzbare Feldkapazität von 16 Vol.-% errechnet (Kartieranleitung ebenfalls 16 Vol.-% nFK).

Beim Auflaufen der Bohnen (BBCH 09) Mitte Juni wurde ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von 75 % nFK ermittelt. Im weiteren Verlauf fielen dann bis zum Abbruch des Versuches am 1. August 218 mm Niederschlag, so dass nach allen Kalkulationsmodellen keine Bewässerungsgaben notwendig waren bzw. es zu einer massiven Sickerwasserbildung kam (Abb. 2 und 3, Tab. 4b).

Die auf Basis der **FAO-Gras-Referenzverdunstung** mit $ET_0 \times k_{C_{PENMAN}}$ berechneten täglichen Verdunstungswerte stimmten weitgehend mit dem 'Agrowetter'-Ansatz überein. Mit einer berechneten Gesamt-Verdunstung von 62,9 mm wies 'Agrowetter' praktisch den gleichen Wert aus wie die eigene Berechnung, die auf 61,9 mm kam (Tab. 4a).

Entsprechend den nahezu identischen Verdunstungswerten verliefen die berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante 'Intensiv' ebenfalls sehr ähnlich (Abb. 2). Nur die unterschiedlichen Modellansätze für die Versickerungsberechnung führten zwischenzeitlich zu einem unterschiedlichen Verlauf: Während sich nach dem modifizierten 'Geisenheimer Modell' der Boden auf maximal 105 % nFK auffüllte (und die darüber hinaus gehende Menge von insgesamt 147,6 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 97,9 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 59,4 mm führte, während 'Agrowetter' bis zum 1. August (= Ende der Bilanzierung) nur 31,6 mm als versickert angenommen hat. Bis zum 29. Juli wiesen 'Agrowetter' (66,3 mm) und die eigene Berechnung (68,3 mm) eine ähnlich hohe Versickerung aus.

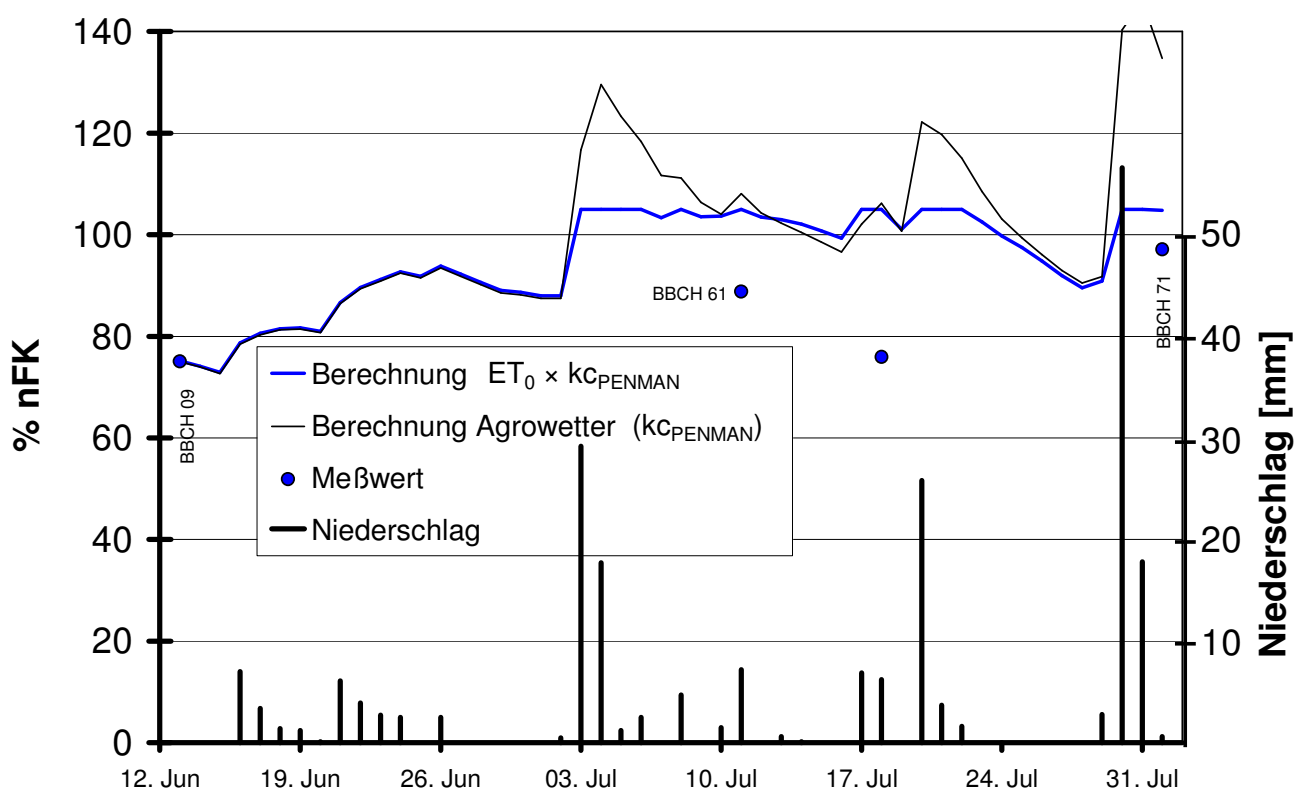


Abb.2: Niederschlagsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag - ($ET_0 \times k_{C_{PENMAN}}$); bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-60 cm** ('Agrowetter' = Mittelwert der berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Berechnet man auf Basis ET_0 die Evapotranspiration der Bohnen mit den dafür vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehenen k_{CFAO} -Werten ($ET_0 \times k_{CFAO}$), so ergibt sich insgesamt eine ET_c von 83,5 mm. Die für die **PENMAN-Verdunstungswerte** geltende Berechnung $ET_{pPENMAN} \times k_{CPENMAN}$ führte zu einer etwas geringeren ET_c von 74,3 mm (Tab. 4a). Die höhere ET_c bei der Berechnung auf Basis der ET_0 -Werte ergibt sich durch die um Faktor 1,33 bzw. 1,38 höheren k_{CFAO} -Faktoren, während die PENMAN-Verdunstung nur um den Faktor 1,23 höhere ausfiel als die FAO-Gras-Referenzverdunstung.

Mit beiden Modellansätzen errechneten sich aber nahezu identische Bodenwassergehalte, da sich diese in den zwischenzeitlichen Versickerungsphasen 'egalisierten' (Abb. 3).

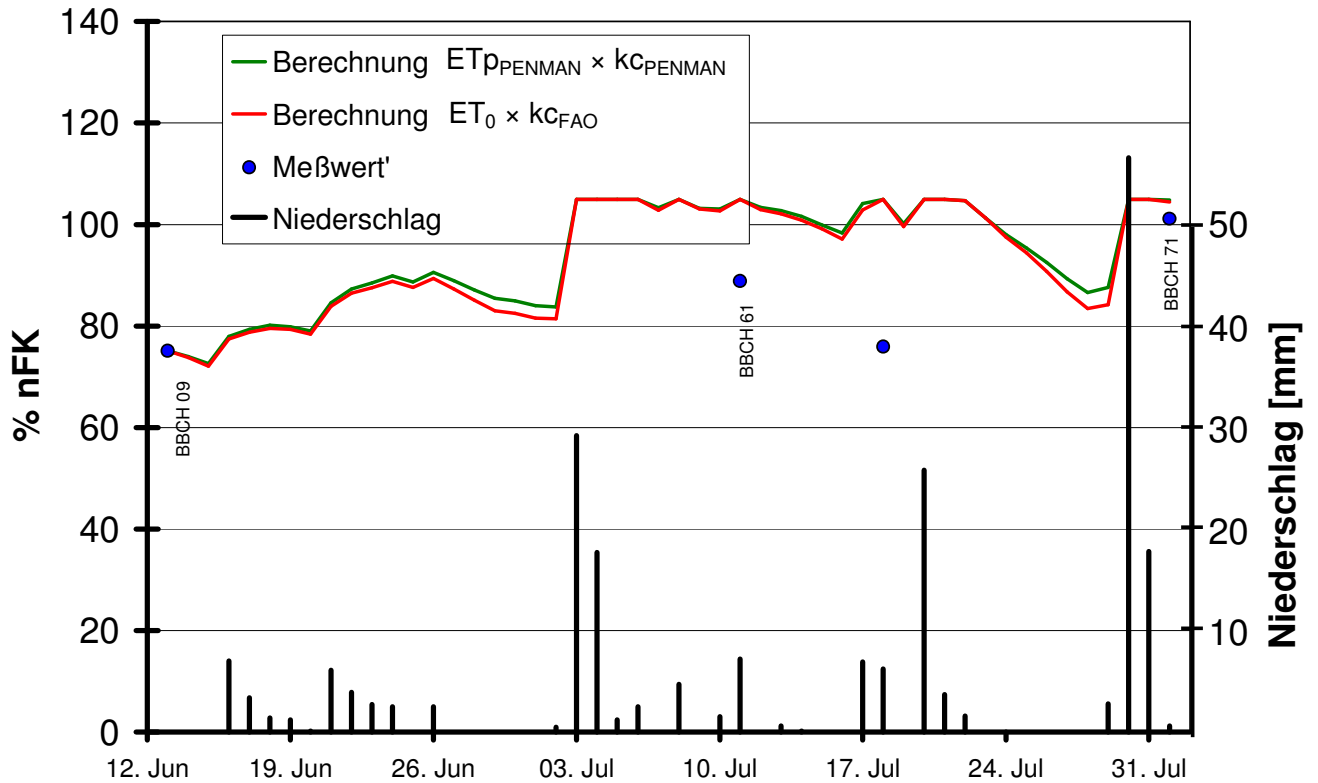


Abb. 3: Niederschlagsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Berechnung - $(ET \times kc)$; bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-60 cm**

Im Vergleich mit den tatsächlich ermittelten Bodenwassergehalten (leider wurde aber eine Bodenprobenahme vor dem ersten 'kräftigen' Regenereignis am 3. Juli versäumt) wurde der Bodenwassergehalt von allen Modellen zur Vollblüte (um den 18. Juli) um annähernd 30 %-Punkte überschätzt. Damit ergibt sich in der Tendenz ein ähnliches Ergebnis wie im Vorjahresversuch, wo ebenfalls eine zwischenzeitliche deutliche Überschätzung der Bodenwassergehalte (und damit Unterschätzung der ET_c) zu konstatieren war (LABER & BRENNER 2010). Hierbei muss man sich allerdings vor Augen halten, dass mit den vorgeschlagenen kc -Faktoren nicht zwangsläufig die ET_c (und damit die Bodenfeuchte) 'richtig' berechnet werden soll, sondern (möglicher Weise) ein stärkeres Absinken der Bodenfeuchte in Kauf genommen wird, da dieses durchaus Ertragsvorteile bringen kann (vgl. PASCHOLD & KLEBER 2004).

Tab. 2: 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	52,9	stark sandiger Lehm (Ls4)
0-60 cm	17,9	42,2	40,0	schwach sandiger Lehm (Ls2)

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	83	85	85	100	100	100
13. Juni ⁴⁾	09	alle	70	74	80	73	77	91
11. Juli ⁴⁾	61	alle	76	81		85	92	
18. Juli ⁴⁾		alle	66	79	80	65	87	91
1. Aug. ⁴⁾	71	Kontrolle	80	86	89	93	101	108
		Intensiv	83	86	90	101	101	109

¹⁾: Bestimmung der FK. Wasserbilanz der Vortage (Niederschlag - ET₀): 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: 12,0 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 Bohnenbestandes [mm]					
	ET ₀ ¹⁾ [mm]	ET _{pPEN} ²⁾	ET _{pPEN} / ET ₀ ³⁾	Geisenheim: ET _c ⁴⁾			Agrowetter: ET _{c adj} ⁵⁾		
				ET ₀ × k _{C_{PENMAN}}	ET ₀ × k _{C_{FAO}}	ET _{pPEN} × k _{C_{PENMAN}}	ET ₀ × k _{C_{PENMAN}} Intensiv	ET ₀ × k _{C_{PENMAN}} Praxis	ET ₀ × k _{C_{PENMAN}} Kontrolle
09-61	121,1	145,1	1,23	36,3	48,4	43,5	37,1		
61-71	31,9	38,5	1,23	25,5	35,1	30,8	25,8		
09-71	153,0	183,6	1,23	61,9	83,5	74,3	62,9		

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

Phase BBCH	Nieder- schlag [mm]	Beregnung [mm]		Versickerung [mm]					
		Intensiv	Praxis	Geisenheim			Agrowetter		
				ET ₀ × k _{C_{PENMAN}}	ET ₀ × k _{C_{FAO}}	ET _{pPEN} × k _{C_{PENMAN}}	ET ₀ × k _{C_{PENMAN}} Intensiv	ET ₀ × k _{C_{PENMAN}} Praxis	ET ₀ × k _{C_{PENMAN}} Kontrolle
09-61	109,1	0		44,1	31,9	36,9	42,2		
61-71	108,9	0		83,6	74,3	78,3	55,7		
09-71	218,0	0		127,6	106,3	115,2	97,9		

¹⁾: FAO Gras-Referenzverdunstung; ²⁾: Verdunstung nach modifizierter PENMAN-Gleichung (über Wasser);

³⁾: Mittelwerte der täglichen Quotienten;

⁴⁾: potentielle Evapotranspiration berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell';

⁵⁾: aktuelle Evapotranspiration des Bohnenbestandes laut 'Agrowetter', hier ≈ ET_c

Literatur:

AGROWETTER 2009: Modellbeschreibung. Online-Hilfe zur Agrowetter Berechnungsberatung.
auch www.dwd.de (Stand 30.01.2009)

FA-GM 2011a: Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2011 - für Penman-Verdunstung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 25.01.2011)

FA-GM 2011b: Geisenheimer Bewässerungssteuerung - für FAO-Grasverdunstung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 25.01.2011)

JANSSEN, W. 2010: Schriftliche Mitteilung zur Berechnung der Sickerwassermenge und der Verdunstungsberechnung bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach

BGR 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe [Hrsg.], Schweizerbart, Stuttgart, 5. Aufl.

LABER, H. und S. BRENNER 2010: Keine Bewässerungswirkung wegen Regens; Modell bildet zwischenzeitlich extrem niedrigen Bodenwassergehalt aber nicht ab. 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. und J. Kleber 2004: Mit weniger Wasser mehr Buschbohnen. Gemüse 40 (4), S. 18-20

PASCHOLD, P.-J., J. KLEBER und N. MAYER 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 4.5.2010)