

Spinat nutzte auch Bodenwasser unterhalb 30 cm Tiefe; Bodenwassergehalte durch Modelle gut prognostiziert

Spinat Bewässerung

Zusammenfassung

Bei einem ersten Bewässerungsversuch mit verschiedenen Spinatsorten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz fielen in der Kulturzeit rund 260 mm Niederschlag, so dass keine Bewässerung notwendig wurde. Der Versuch wurde aber genutzt, um das 'Geisenheimer Modell' zu verifizieren. Gleichzeitig konnte eine FDR-Rohrsonde zur Bodenwassergehaltsbestimmung auf ihre Genauigkeit hin überprüft 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. Die FDR-Rohrsonde überschätzte durchgängig den Bodenwassergehalt, wobei die Fehleinschätzung in der unteren Schicht 30-60 cm extrem hoch ausfiel.

Versuchshintergrund u. -frage

Im hiesigen Anbauggebiet mit seinen Lössböden wird Frühjahrs- und Herbstspinat nur relativ extensiv bewässert. Durch den Klimawandel 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.

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 werden (Tab. 1).

Tab. 1: Einbezogene Sorten; erreichte Bestandesdichte

Sorte	Bahamas	RS 1430	Emu	Toucan
Züchter	Seminis		Rijk Zwaan	
Trockenstresstoleranz ^{*)}	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein

^{*)}: Einschätzung/Angabe des Züchters

Die Aussaat des Spinates erfolgte am 5. Aug.. Am 7. Aug. fielen knapp 50 mm Niederschlag, so dass es zu Auflaufproblemen kam. 4 Tage nach dem Auflaufen des Spinats fielen am 16. Aug. nochmals fast 50 mm Niederschlag, so dass später nur bei den Sorten 'Emu' und 'Toucan' ausreichende Bestandesdichten vorgefunden wurden. Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen war der Spinatbestand praktisch unkraut- und befallsfrei.

Neben einer Kontrolle, in der keine Beregnung durchgeführt werden sollte, wurde in einer weiteren Variante nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010) eine Wasserbilanz erstellt, nach der etwaige Beregnungsgaben bemessen wurden. 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) ggf. erst bei ca. 60 % nFK eine Beregnung durchgeführt werden, die den Boden auf ca. 80 % nFK auffüllt.

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:

- 5. Aug. 2010: Aussaat mit 220 Korn/m², Beetanbau (1,5 m) mit 10 Reihen, Reihenabstand 11,5 cm
- 12. Aug.: Auflauf (BBCH 09)
- 1. Sept.: 6-Blatt-Stadium
- Bodenart: stark lehmiger Sand (SI4), n. Bodenschätzung: L 3 AI 73/74
- Versuchsanlage: Zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 4 Wiederholungen
- Parzellengröße: 5 lfd. m Beet
- Beregnung: keine Beregnung notwendig

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration des Spinatbestandes (ET_c) und damit der Wasserbilanz erfolgte nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010) mit den entsprechenden k_c -Werten für Spinat (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 Beregnungsberatung' 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).

Bei der Berechnung mit 'Agrowetter' wurden die Voreinstellungen bezüglich der Schwellenwerte für den Beregnungsbeginn (70 % nFK bis BBCH 16, danach 55 %) nicht verändert, die maximale Durchwurzelungstiefe wurde aber von 40 cm (Voreinstellung) auf 30 cm (entsprechend der Bodenprobenschichtdicke) vermindert. Parallel wurde das Modell aber auch mit einer maximalen Durchwurzelungstiefe von 60 cm gerechnet.

Da für die Berechnung von 'Agrowetter' automatisch auf die ET_0 -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 Bewässerungssteuerung' aber auf der (modifizierten) Verdunstungsberechnung nach PENMAN (ET_{PENMAN}) (PASCHOLD et al. 2010, KLEBER 2010), die um den Faktor 1,4 höher liegt als ET_0 (KLEBER 2010). Auch diese ET_{PENMAN} -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.

Zur Überprüfung einer FDR-Rohrsonde (Bodenfeuchtemessung in 5, 15, 25, 35, 55 und 95 cm Tiefe) wurde am 8. Sep. je Wiederholung ein Kunststoffrohr mit einem speziellen Installationsset (Nut- und Präzisionsbohrer mit Führung etc.) eingebaut. Ab dem 14. Sep. erfolgten zeitgleich mit der gravimetrischen Feuchtebestimmung Messungen, wobei je Rohr (Wiederholung) 3 Messungen nach Drehung der Sonde um jeweils ca. 120° durchgeführt wurden. Bei späteren Messungen wurde die Sonde auch 10 cm aus dem Rohr herausgezogen, so dass auch für die Tiefe 45 und 85 cm Messwerte vorliegen.

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 angenommenen Bodendichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ wurde eine FK von 27,9 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 26,9 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.

Beim Auflaufen des Spinats (BBCH 09) am 12. August wurde ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-30 cm Tiefe von knapp 100 % nFK ermittelt. Nach einer zunächst feuchten Periode herrschen dann bis etwa Anfang Oktober wechselnde Witterungsbedingungen. Der Oktober war mit 8,6 mm Niederschlag sehr trocken (Abb. 1 und 2).

Da bis Ende Oktober die Bodenfeuchte nach 'Agrowetter' allenfalls nur kurzzeitig unter 60 % nFK sank, wurden keine Bewässerungsgaben notwendig bzw. durchgeführt. Damit lagen keine unterschiedlichen Bewässerungsvarianten vor, so dass auf eine Ertragsauswertung des Spinates verzichtet wurde. Der Bestand wurde aber bis in den November hinein weiter kultiviert, um die Verdunstung bzw. den Bodenwassergehalt weiterhin zu beobachten.

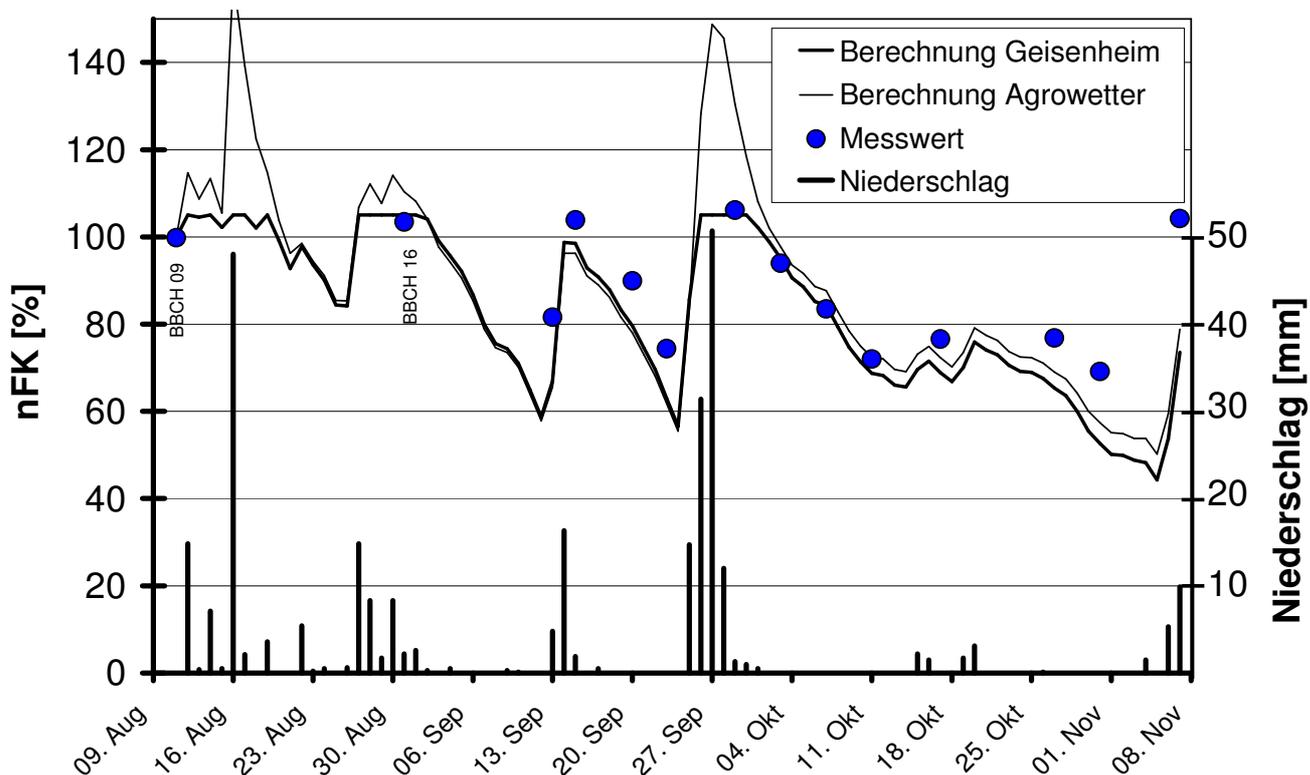


Abb. 1: Niederschlagsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_0 bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-30 cm bei einer angenommenen Durchwurzelungstiefe von 30 cm

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 $ET_{c \text{ adj}} \approx ET_c$) (Abb. 2, dargestellt nur $ET_{c \text{ adj}}$). Mit einer berechneten Verdunstung von 129,3 mm wies 'Agrowetter' einen nahezu identischen Wert für die Kulturzeit aus als die eigene Berechnung nach 'Geisenheim', die auf 129,2 mm kam (Tab. 3).

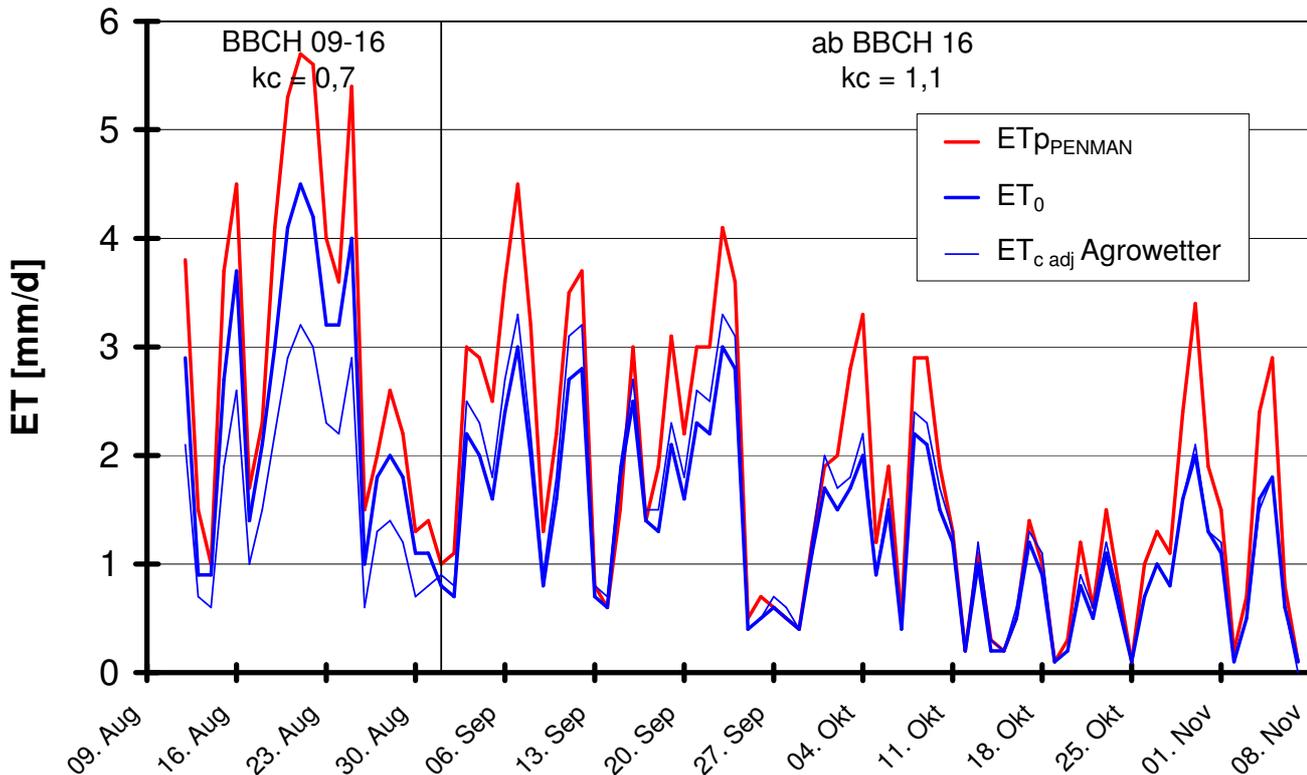


Abb. 2: Evapotranspiration nach PENMAN ($ET_{pPENMAN}$) und FAO Gras-Referenzverdunstung (ET_0) sowie aktuelle Evapotranspiration ($ET_{c\ adj}$) laut 'Agrowetter' (auf Basis ET_0)

Entsprechend den nahezu identischen Verdunstungswerten verliefen die berechneten Bodenfeuchtegehalte zumeist nahezu deckungsgleich (Abb. 1). Nur nach starken Niederschlägen führten die unterschiedlichen Modellansätze für die Versickerungsberechnung zu einem unterschiedlich Verlauf: Während sich nach dem modifizierten 'Geisenheimer Modell' der Boden auf maximal 105 % nFK auffüllte (und die darüber hinaus gehende Menge von insgesamt 167,4 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 163,6 mm (Tab. 3).

Die beim Erreichen des 6-Blatt-Stadiums (BBCH 16) gezogene Bodenprobe zeigte eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen und der mit beiden Modellen auf Basis der ET_0 -Werte berechneten Bodenfeuchte (Abb. 1). Im weiteren Verlauf bis zur nächsten Sickerperiode Ende September wurde der Bodenwassergehalt aber von beiden Modellen unterschätzt. Nach dem Wiederauffüllen des Bodens Anfang Oktober auf FK (bzw. darüber hinaus) prognostizierten beide Modelle zunächst den Bodenwassergehalt recht gut, nach weiterhin ausbleibenden Niederschlägen ab Mitte Oktober aber wiederum zu gering ein.

Die Ursache für die Unterschätzung der Bodenfeuchtigkeit liegt in der Beschränkung der Modelle auf eine angenommen Durchwurzelungstiefe von 30 cm (der Feuchtegehalt der Schicht 30-60 cm sinkt bei 'Agrowetter' durch Versickerung auf minimal 100 % nFK ab), während tatsächlich auch der Bodenwassergehalt der Schicht 30-60 cm auf zum Teil unter 80 % nFK abnahm (Abb. 3, Tab. 2); der Spinat also offensichtlich auch diese Bodenschicht bereits ab etwa dem 10. Sep., also 5 Wochen nach der Aussaat, verstärkt nutzte.

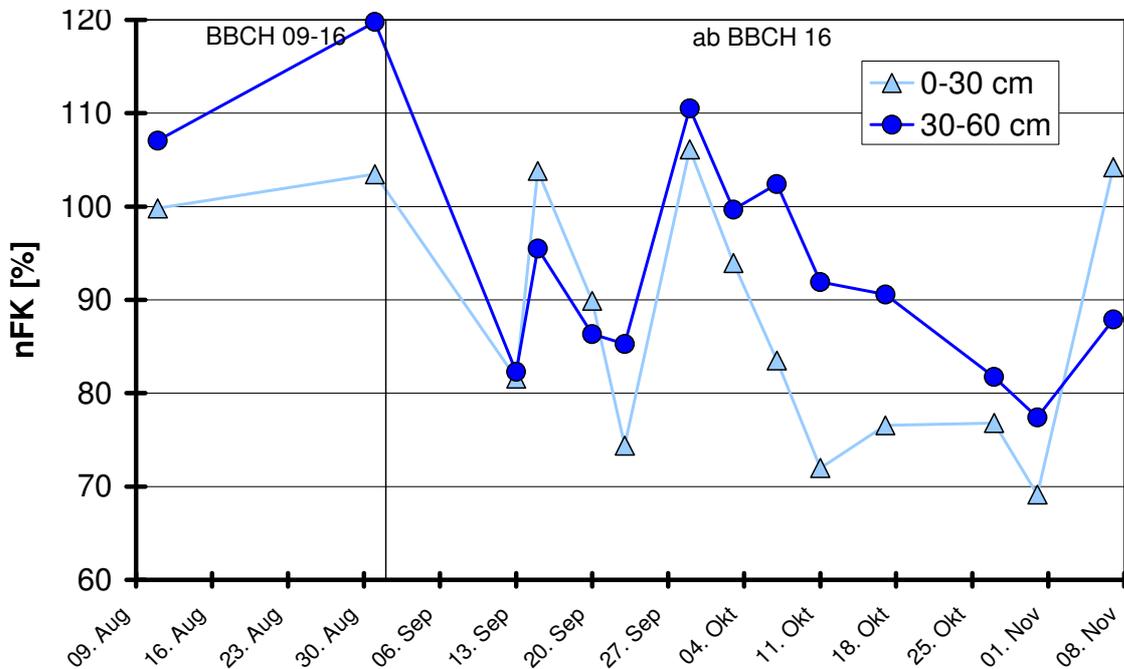


Abb. 3: Verlauf der Bodenwassergehalte in 0-30 und 30-60 cm Tiefe (gravimetische Bestimmung)

Kalkuliert man von daher mit einer Durchwurzelungstiefe von 60 cm, so zeigt sich eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen kalkulierte und tatsächlichem Bodenwassergehalt als bei einer angenommenen Durchwurzelungstiefe von 30 cm (Abb. 4). Hier wird allerdings sichtbar, dass im Laufe des Oktobers der Bodenwassergehalt etwas überschätzt, die Verdunstung somit etwas unterschätzt wurde.

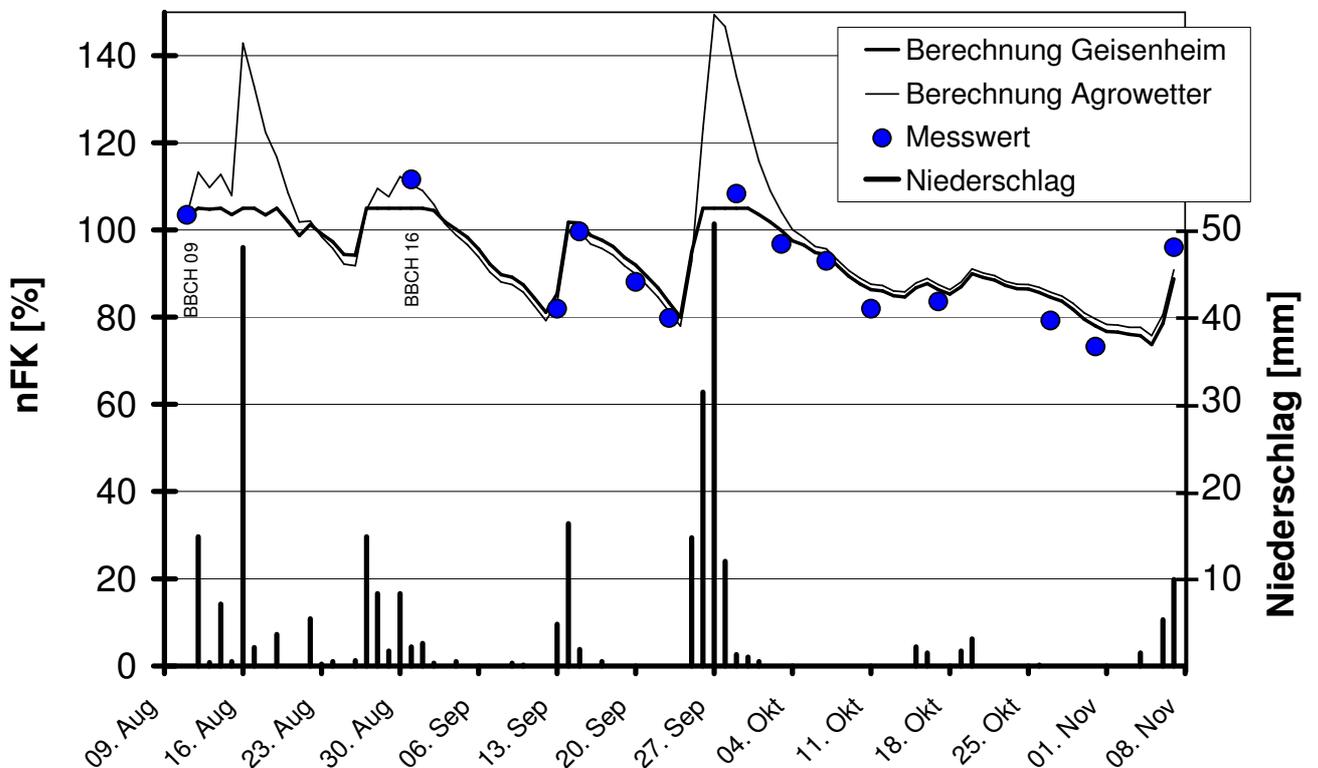


Abb. 4: Niederschlagsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_0 bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei einer angenommenen Durchwurzelungstiefe von 60 cm (Bodenwassergehalt 'Agrowetter' = Mittelwert der separat berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Berechnet man (wie vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehen) die Verdunstung auf Basis der ET_{PENMAN} -Verdunstungswerte (für die Kulturzeit des Spinates um Faktor 1,32 höher als ET_0), so ergibt sich bei einer angenommenen Durchwurzelungstiefe von 30 cm eine massive Unterschätzung der Bodenwassergehalte (Abb. 5).

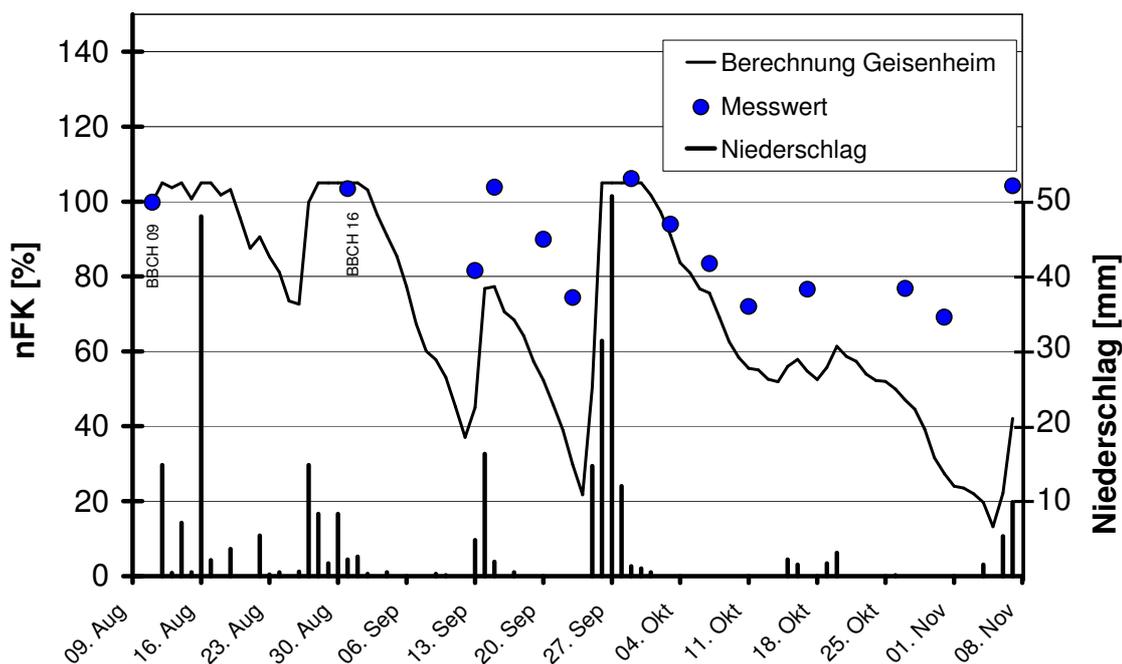


Abb. 5: Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_{PENMAN} bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-30 cm bei einer angenommenen Durchwurzelungstiefe von 30 cm

Bei Einbeziehung der Schicht 30-60 cm zeigt sich entsprechend der um den Faktor 1,3 höheren Verdunstung gegenüber ET_0 zunächst eine Unterschätzung der Bodenwassergehalte (Abb. 6); im Laufe des Oktobers ergibt sich durch diese höhere Verdunstung dann eine recht gute Prognose der Bodenwassergehalte.

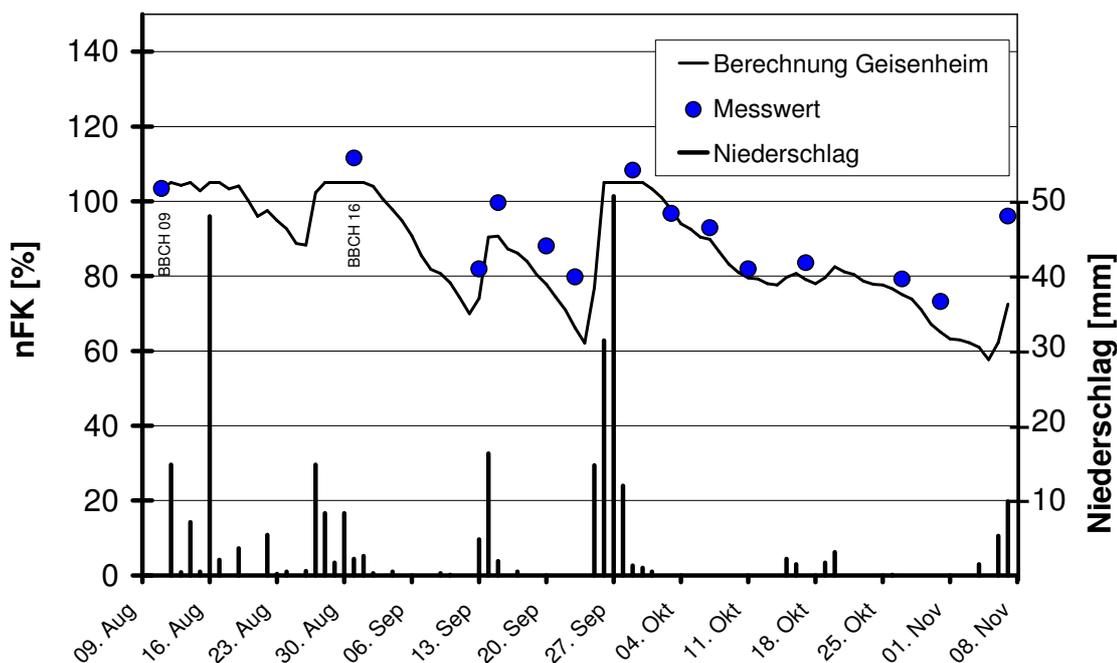


Abb. 6: Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis von ET_{PENMAN} bzw. gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei einer angenommenen Durchwurzelungstiefe von 60 cm

Bei den ab dem 13. Sep. durchgeführten Messungen der Bodenfeuchte mit der FDR-Rohrsonde zeigten sich für die obere Bodenschicht im Mittel 1,5 Vol.-% höhere Werte als bei der gravimetrischen Bestimmung (Abb. 7). Dabei betrug die maximale Abweichung 3,2 Vol.-%, so dass die angegebene Messgenauigkeit von ± 4 Vol.-% eingehalten wurde.

Gravierend waren die Abweichungen in der Schicht 30-60 cm, hier wurde im Mittel ein um 7,9 %-Punkte zu hoher volumetrischer Bodenwassergehalt gemessen. (Diese 'Fehlmesung' setzte sich in der Bodentiefe 85 und 95 cm fort, wo mit durchschnittlich 43 Vol.-% und Maximalwerten von über 50 Vol.-% offensichtlich 'überhöhte' Bodenfeuchtegehalte gemessenen wurden [gravimetrisch bestimmte Bodenfeuchtegehalte unterhalb 60 cm liegen allerdings nicht vor].)

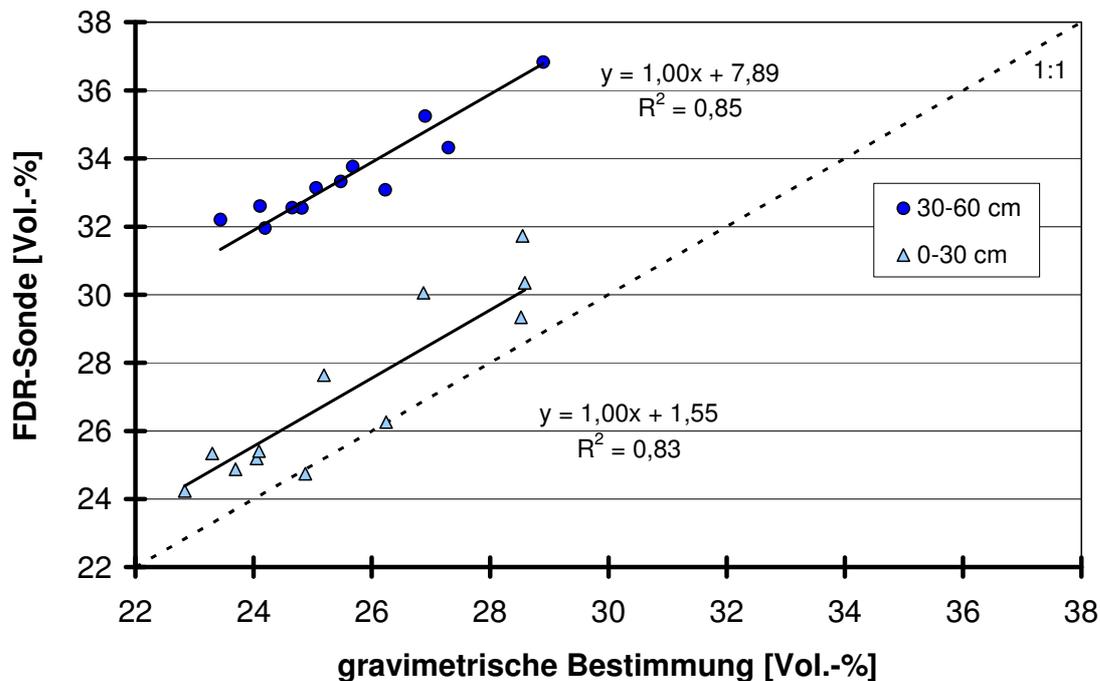


Abb. 7: Mittels FDR-Rohrsonde ermittelte Bodenwassergehalte versus gravimetrisch bestimmten Bodenwassergehalte (die Steigung der Regressionsgraden wurde auf 1,0 festgelegt)

Fazit

Auf Grund der hohen Niederschläge während der Kulturzeit des Spinates konnten zur ursprüngliche 'Hauptversuchsfrage' der Ertragseffekte einer Beregnung und etwaiger Wechselwirkungen zwischen Sorte und Bewässerungsintensität keine Ergebnisse erarbeitet werden.

Die mit Hilfe des 'Geisenheimer Modells' prognostizierten Bodenwassergehalte stimmten mit den tatsächlich vorgefundenen Werten gut überein, wenn die Berechnung für die Bodenschicht 0-60 cm erfolgte, da der Spinat offensichtlich auch unterhalb 30 cm Tiefe größere Mengen an Bodenwasser nutzt.

Die mit der FDR-Sonde ermittelten Bodenfeuchtegehalte wiesen (aus noch nicht geklärten Gründen) insbesondere für die unteren Bodenschichten zu hohe Werte aus. Nach einer entsprechenden boden- bzw. standortspezifischen Kalibrierung dürfte die Sonde aber für eine kontinuierliche 'Überprüfung' der Bodenfeuchte geeignet sein und soll daher in den Bewässerungsversuchen der kommenden Jahre am Standort Dresden-Pillnitz verstärkt eingesetzt und weiter überprüft werden.

Tab. 2: Gravimetrisch bestimmte Bodenwassergehalte und % nutzbare Feldkapazität

Datum	BBCH	Bodenwassergehalt [Vol.-%]				% nFK ⁴⁾ [mm]	
		gravimetrische Best. ²⁾		FDR-Sonde ³⁾		0-30 cm	30-60 cm
		0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm		
18. Mrz ¹⁾		27,9	26,9			100	100
11. Aug ⁵⁾	09	27,9	28,0			99,8	107,1
31. Aug	16	28,5	30,0			103,5	119,8
13. Sep		24,9	24,2	24,8	32,0 ⁶⁾	81,6	82,3
15. Sep		28,5	26,2	29,3	33,1	103,8	95,5
20. Sep		26,2	24,8	26,3	32,5	89,9	86,3
23. Sep		23,7	24,7	24,9	32,6	74,4	85,3
29. Sep		28,9	28,5	31,7	36,8	106,1	110,5
03. Okt		26,9	26,9	30,1	35,2	93,9	99,7
07. Okt		25,2	27,3	27,6	34,3	83,5	102,4
11. Okt		23,3	25,7	25,3	33,8	72,0	91,9
17. Okt		24,1	25,5	25,2	33,3	76,6	90,6
27. Okt		24,1	24,1	25,4	32,6	76,8	81,7
31. Okt		22,8	23,4	24,2	32,2	69,1	77,4
07. Nov		28,6	25,1	30,4	33,1	104,2	87,9

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 in den Sorten 'Emu' und 'Toucan'), Trocknung bei 105°C);

³⁾: Mittelwerte der Messwerte aus 5, 15 und 25 cm bzw. 35, 45 und 55 cm Tiefe;

⁴⁾: auf Basis der gravimetrisch bestimmten Wassergehalte. Zugrunde gelegter Todwassergehalt: 11,0 Vol.-%;

⁵⁾: Die Proben bzw. Messungen wurden jeweils am frühen Morgen des Folgetages durchgeführt und geben somit den Bodenwassergehalt am Ende des angegebenen Tages wieder;

⁶⁾: Mittelwert der Messwerte aus 35 und 55 cm Tiefe

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

Phase	ET _p ¹⁾	ET ₀ ²⁾	ET _c ³⁾		ET _{c adj} ⁴⁾	Nieder schlag	Versickerung ⁵⁾				
			Geisenheim				Agro- wetter	Geisenheim ⁶⁾		Agrowetter	
			ET _p	ET ₀				0-30	0-60	0-30	0-60
BBCH	[mm]										
09-16	63,2	49,6	44,2	34,7	35,1	118,5	81,2	82,2	78,1	76,6	
ab 16	116,2	85,9	127,8	94,5	94,2	163,7	86,2		85,5	87,9	
ab 09	179,4	135,5	172,1	129,2	129,3	282,2	167,4	168,3	163,6	164,5	

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

²⁾: FAO Gras-Referenzverdunstung; ³⁾: potentielle Evapotranspiration des Spinatbestandes, berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell' auf Basis ET_{pPENMAN} (ursprünglicher Ansatz) als auch ET₀;

⁴⁾: aktuelle Evapotranspiration des Spinatbestandes laut 'Agrowetter';

⁵⁾: berechnet für die Bodenschicht 0-30 bzw. 0-60 cm; ⁶⁾: auf Basis der ET₀-Verdunstung;

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)

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

KLEBER, J. 2010: Schriftliche Mitteilung zur verwendeten Referenzverdunstung bei der 'Geisenheimer
Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau

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