

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Die Ergebnisse – kurzgefasst

Bei einem Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Buschbohnenarten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz im Spätsommer 2013 waren nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' Wassergaben von insgesamt 76 mm notwendig. In einer Variante bei der die Bewässerung nach einem SVAT-Modell bemessen wurde, wurden nach Blühbeginn 30 mm verabreicht, eine Kontrolle blieb unbewässert.

Bei einem, auch in der Kontrolle, hohem Ertragsniveau wurden durch die Zusatzwassergaben signifikante Ertrags- und Aufwuchseffekte ermittelt. Die Ertragszunahme fiel mit 18 (SVAT) bzw. 36 dt/ha allerdings relativ gering aus. Pro mm Wassergabe errechnete sich ein Mehrertrag von 62 bzw. 48 kg/ha. Auffällige Wechselwirkungen zwischen Bewässerung und Sorte waren nicht zu verzeichnen.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Seit dem Versuchsjahr 2010 werden am Standort jährlich Bewässerungsversuche mit jeweils 4 verschiedenen, zum Teil als trockenstresstolerant eingestuft Buschbohnenarten durchgeführt. Leider spiegelten die bisherigen Versuche durch ausreichende, mehrmals auch übermäßige Niederschläge nicht 'typische' Sommerbedingungen wider (LABER & BRENNER 2010 und 2012, LABER & LIEBSCH 2012). Auch ein erster Versuch mit Aussaat Mitte Mai 2013 wurde durch Starkregenereignisse beeinträchtigt (LABER & BÄßLER 2013), so dass Anfang Juli kurzfristig ein weiterer Versuch angelegt wurde.

Material und Methoden

In dem Versuch konnten wiederum 4 Sorten mit ähnlicher Reifezeit geprüft werden. Aufgrund fortgeschrittener Vegetationszeit musste auf vorhandenes Saatgut zurückgegriffen werden, so dass, mit Ausnahme von 'Stanley', nur Sorten aufgenommen werden konnten, die bisher nicht in den Beregnungsversuchen einbezogen waren (Tab. 1).

Tab. 1: Einbezogene Sorten

Sorte	Stanley	Paloma	Wayatt	Caprika
Herkunft	HS	Nun	Niz	Niz

Die Aussaat erfolgte am 3. Juli mit jeweils 3 Reihen einer Sorte je Parzelle. Zum Auflauftermin (10. Juli) wurde der Ausgang-Bodenwassergehalt (Tab. 4) bestimmt und mit der Verdunstungsbilanzierung (s. u.) begonnen. Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen war der Bohnenbestand unkraut- und befallsfrei.

Um die Aufwuchsmenge jeweils der gesamten Parzelle bestimmen zu können, erfolgte die Ernte von Hand. Dazu wurden auf jeweils 3 × 5 lfdm je Parzelle die Pflanzen direkt über dem Erdboden abgeschnitten und der Aufwuchs ausgewogen. An einer Teilprobe von 2 × 2 lfdm wurden die Hülsen von Hand gepflückt und der Ertrag und die Menge an Ernterückständen ausgewogen.

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Aus diesen Daten wurde für jede Parzelle separat der Ernteindex (Anteil Erntegut am Gesamtaufwuchs) berechnet. Auf Basis des Gesamtaufwuchses und des an der Teilprobe ermittelten Ernteindizes wurde der Ertrag bzw. die Menge an Ernterückständen für jede Parzelle hochgerechnet. An Teilproben der gepflückten Hülsen und der Ernterückstände wurde zudem parzellenweise der Trockensubstanzgehalt durch Trocknung bei 105 °C ermittelt. Auf Basis dieser Werte wurde der Trockenmasseaufwuchs jeder Parzelle hochgerechnet.

Kulturdaten

- 3. Juli 2013: Einzelkornaussaat der Sorten, Reihenabstand 50 cm, Kornablageabstand 6,1 cm (32,8 Korn/m²),
- 10. Juli: Auflauf (BBCH 09), Bodenprobe: Ausgangs-Bodenwassergehalt (Tab. 4)
- 22. Juli: N_{min}-Probe: 0-30 cm: 46 kg N/ha, 30-60 cm: 33 kg N/ha
- 25. Juli: Aufdüngung auf N-Sollwert (130 kg N/ha) mit 51 N/ha als KAS-
- 6. Aug.: Beginn der Blüte (BBCH 61) bei 'Paloma'
- 9. Aug.: Beginn der Blüte (BBCH 61) bei den anderen Sorten
- 28. Aug.: erste Hülse hat volle Länge (BBCH 71)
- 5. Sept.: Ernte 'Stanley'
- 6. Sept.: Ernte 'Paloma'
- 10. Sept.: Ernte 'Wayatt' und 'Caprika'

Bodenart: s. Tab. 3, nach Bodenschätzung: L 3 Al 73/74

Versuchsanlage: zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 4 Wiederholungen (Blöcken)

Parzellengröße: Ernteparzelle: 7,5 m² (Aufwuchs)
davon 2 m² Handernte (Hülsen/Ernterückstände)

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 2013a, b) eine klimatische Wasserbilanz erstellt und damit der Bodenwassergehalt bzw. dessen Änderung über die Zeit berechnet. Allerdings sollte, abweichend von der aktuellen Empfehlung (Stand 05.09.2013) bei dem der Boden durch die Beregnungsgaben nach Absinken auf ca. 60 % nutzbare Feldkapazität (nFK) theoretisch immer wieder auf den Ausgangswassergehalt von rund 90 % nFK aufgefüllt wird, der Boden nur bis ca. 80 % nFK aufgefüllt werden. Dabei wurde zunächst bis Blühbeginn (BBCH 61) nur die Bodenschicht 0-30 cm einbezogen, danach wurde entsprechend mit 0-60 cm Tiefe kalkuliert.

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 kc-Werten für Buschbohnen gerechnet (vgl. Abb. 1), die auf die FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET₀) ausgelegt sind (k_{CFAO}, FA-GM 2013b). Im Nachgang wurde auch eine Klimatischen Wasserbilanz auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerte berechnet (k_{CPENMAN}, FA-GM 2013a).

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

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.

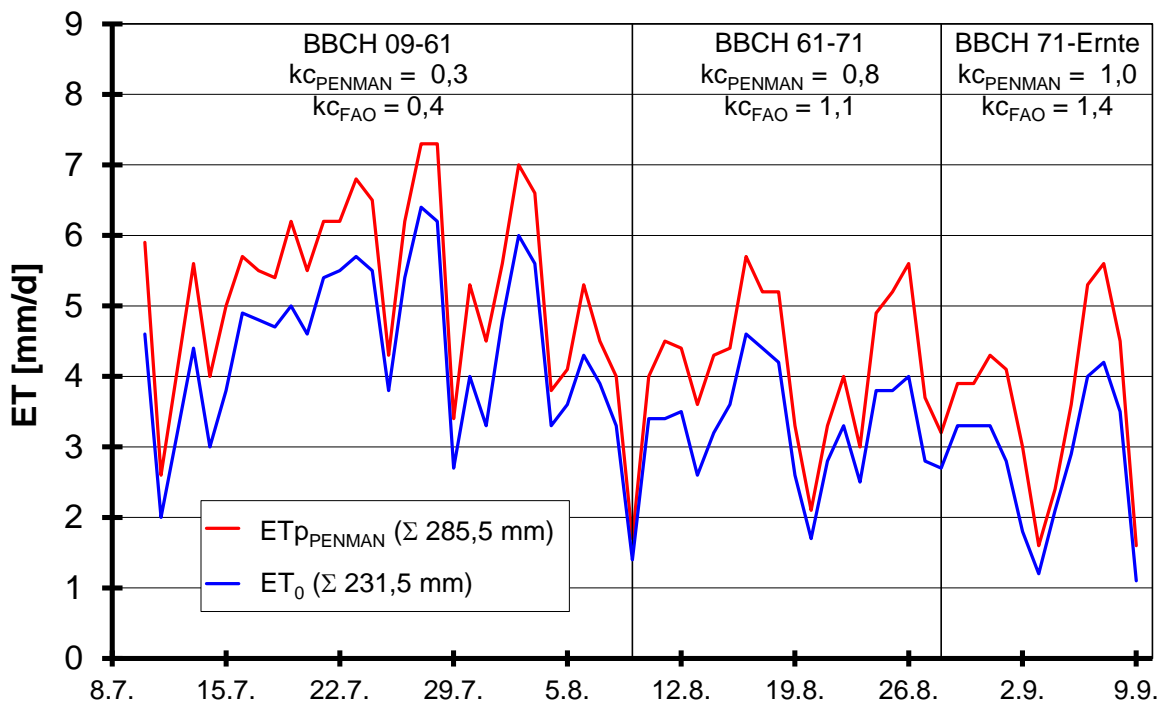


Abb. 1: Evapotranspiration nach der modifizierten PENMAN-Gleichung ($ET_{pPENMAN}$) und FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) für den Standort Dresden-Hosterwitz

In der Variante 'SVAT' (Soil-Vegetation-Atmosphäre-Transfer-Modell) erfolgte die Bewässerung nach Berechnungen/Vorgaben einer Arbeitsgruppe des SAPHIR-Projektes (saxonian platform for high performance irrigation) am Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden. Hierbei wurde das SVAT Modell Daisy (HANSEN 2002) anhand der Versuchsdaten (Erträge, Vegetationsdauer, Bodenanalysen) von 2010 bis 2012 kalibriert und anschließend mit dem kalibrierten Modell der Bewässerungsbedarf wöchentlich für die Vegetationsperiode 2013 berechnet.

Jeweils mittwochs wurden Bewässerungswasser und Wetterdaten der letzten Woche in das Modell Daisy implementiert und der Bedarf für die folgende Woche berechnet. Ein Bewässerungsbedarf von 15 mm wurde beim Erreichen der Saugspannung von -350 hPa auf 30 cm Tiefe vorab vorausgesetzt. Der Bewässerungsbedarf wurde um die Menge des fallenden Niederschlags in der folgenden Woche reduziert. Als zukünftiges Wetter wurde das Jahr 2008 (mittelfeuchtes Jahr) angenommen. Eine kontinuierliche Messung der Wassergehalte (in 30 und 60 cm Tiefe) und Saugspannungen (in 30, 60 und 90 cm Tiefe) fand in der Kontrolle und später auf 30 cm Tiefe in der Variante SVAT (nur Saugspannung) statt.

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Parallel wurde die Verdunstung/Wasserbilanz mit dem vom Deutschen Wetterdienst angebotenen Modul 'Agrowetter Berechnungsberatung' berechnet, das sich ebenfalls weitestgehend am 'Geisenheimer Modell' orientiert. Grundsätzlich wird hier mit der gegenüber der $ET_{p_{PENMAN}}$ deutlich niedrigeren FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) gerechnet. Seit Beginn der Saison 2012 wird diese ET_0 allerdings mit einem windabhängigen Faktor 'korrigiert' (JANSSEN 2012), so dass sie weniger stark von $ET_{p_{PENMAN}}$ 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 ($ET_{c\ adj}$), die im Falle einer nicht ausreichenden Wasserversorgung des Bestandes unter ET_c liegt (JANSSEN 2010). Damit kann mit 'Agrowetter' auch für die Variante 'SVAT' und 'Kontrolle' eine Abschätzung der Bodenwassergehalte vorgenommen werden.

Bei der Berechnung mit 'Agrowetter' wurden die Voreinstellungen bezüglich der Schwellenwerte für den Berechnungsbeginn (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' 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_0 - und $ET_{p_{PENMAN}}$ -Verdunstungswerte dieser Station zur Verfügung gestellt. Nach einem Hochwasserschaden in Folge der Starkregenereignisse lieferte die Station ab den 4. Juni allerdings keine Daten mehr, so dass der DWD aus Daten der deutlich weiter entfernten Stationen DD-Klotsche und Hoyerswerda Verdunstungsdaten für die Station Hosterwitz interpolieren musste (JANSSEN 2013).

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 Berechnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt anfangs nur 2 mm, später zumeist 4 mm ausgebracht, so dass bis zu 6 Überfahrten pro Berechnungsgabe erforderlich waren. Die ausgebrachte Berechnungsmenge 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 2 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 4 Wiederholungen mit insgesamt 8 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/cm³.

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Ergebnisse im Detail

Nach einem Winter mit ausreichenden Niederschlägen (191 mm Niederschlag vom 1. November bis 5. März) wurde am 6. März, zwei Tage nach dem Schmelzen des letzten Schnees die FK der Versuchsfläche durch Ziehen einer Bodenprobe bestimmt. Bei einer angenommen Bodendichte von 1,5 g/cm³ wurde als Mittel der mittlerweile vorliegenden 4 Untersuchungen eine FK von 27,2 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 27,9 Vol.-% (30-60 cm), im Mittel 27,6 Vol.-% errechnet (Tab. 4).

Die Kartieranleitung (BGR 2005) weist dagegen mit 34 Vol.-% (Ls2) eine höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK (0-60 cm) zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der Kartieranleitung (Ls2: 18 Vol.-%,) mit 14,4 Vol.-% bzw. 14,8 Vol.-% jeweils analog reduziert, so dass sich für die Schicht 0-60 cm eine mittlere nFK von 13,0 Vol.-% errechnet.

Zum Auflauffertermin (10. Juli) wurde ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von 85,6 % nFK (0-30 cm: 88,1 %) ermittelt. Bis Ende Juli fielen dann keine nennenswerten Niederschlagsmengen, so dass in der Variante 'Intensiv' zwei Bewässerungsgaben a 10 mm gegeben werden mussten (Abb. 2). Bis Blühbeginn fielen insgesamt 50,4 mm Niederschlag, gleichzeitig bestand mit einer ET₀ von 133,7 mm (durchschnittlich 4,5 mm/d, vgl. Abb. 1) aber auch ein relativ hoher Verdunstungsanspruch. Auf Grund des geringen kc-Wertes von 0,4 für diese Wachstumsphase errechnete sich aber nur eine ET_c von 53,5 mm. Für das Niederschlagsereignis am 29. Juli wurde eine Sickerwasserbildung (unterhalb 60 cm, vgl. Abb. 3) von 4,2 mm errechnet. 'Agrowetter' kommt mit einer ET_c von 51,1 mm und einer Sickerwasserbildung von 9,1 mm zu vergleichbaren Ergebnissen (Abb. 2 u. 3, Tab. 5a u. b).

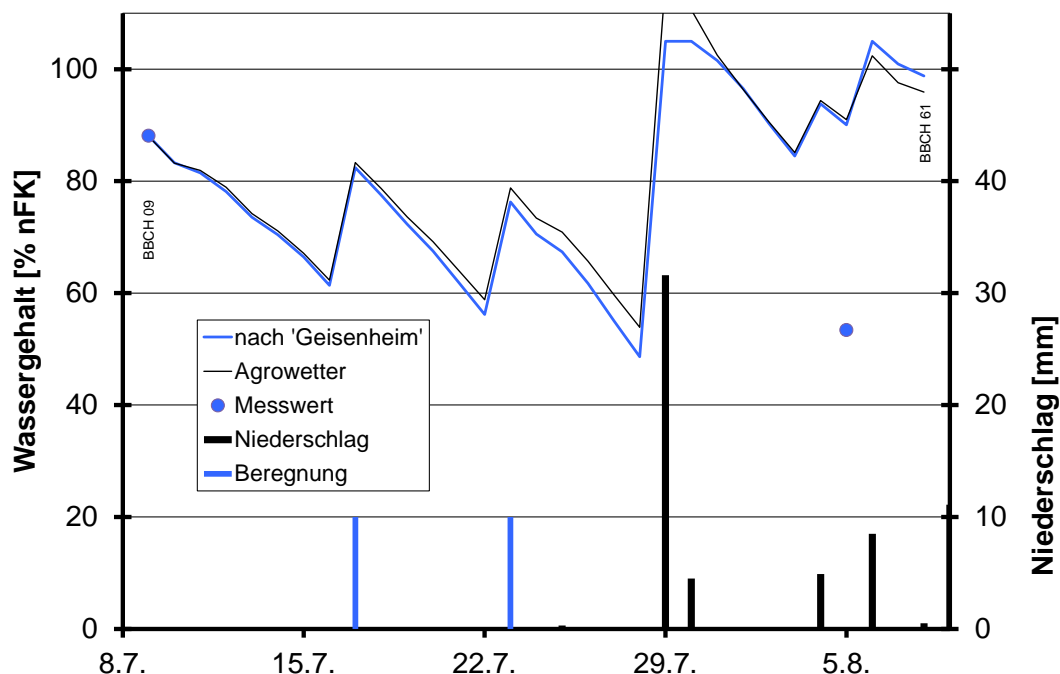


Abb. 2: Niederschlagsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-30 cm der Variante 'Intensiv' bis Blühbeginn nach 'Geisenheim' (ET₀ × kc_{FAO}) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Zu Blühbeginn (BBCH 61) errechnete sich aufgrund des hohen (berechneten) Bodenwassergehaltes eine weitere Sickerwasserbildung von 7,2 mm. Danach herrschten bis zur Ernte trockenere Witterungsbedingungen vor. Bei einer durchschnittlichen ET_0 von 3,1 mm/d (Σ 97,8 mm), nur 43,7 mm Niederschlag (davon 20,4 mm am Vortag der letzten Ernte) und steigenden k_c -Werten war in der Variante 'Intensiv' nach dem 'Geisenheimer Modell' in diesen Phasen eine Bewässerung von 56 mm notwendig (Abb. 3). In der Variante 'SVAT' wurden entsprechend der Vorgaben 30 mm Zusatzwasser gegeben (vgl. Abb. 4).

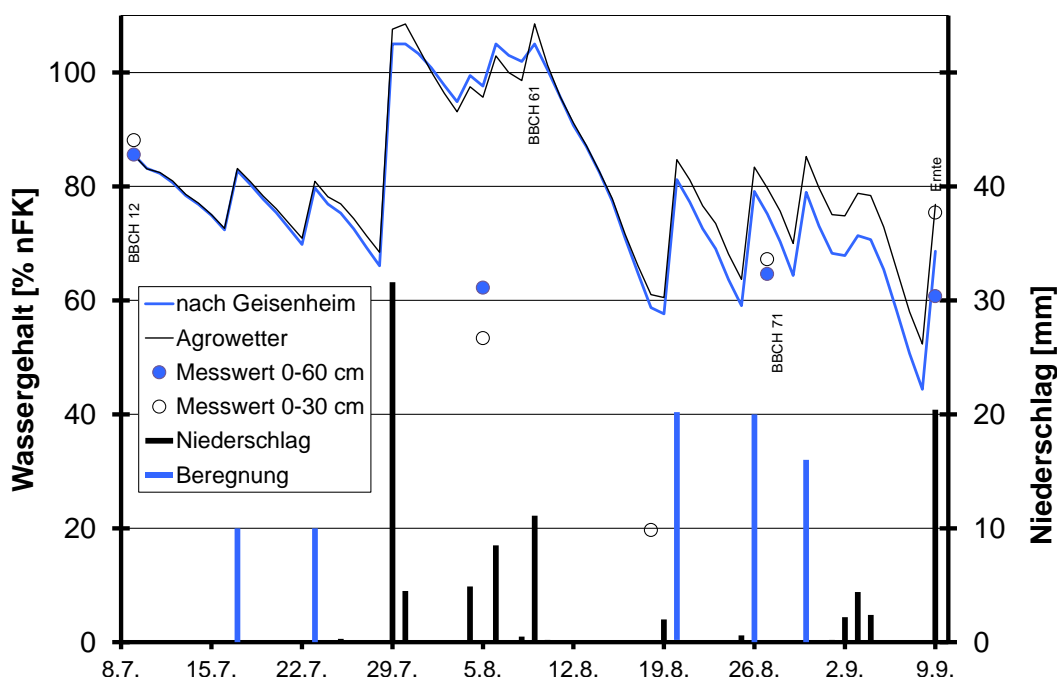


Abb. 3: Niederschlags- und Beregnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' ($ET_0 \times k_{CFAO}$) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

Für die gesamte Kulturzeit errechnete sich für die Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' auf Basis der ET_0 -Werte eine ET_c von 171,9 mm. 'Agrowetter' berechnete mit 162,7 mm eine etwas geringere Evapotranspiration, so dass die von den beiden Modellen berechneten Bodenfeuchtegehalte in der zweiten Kulturhälfte etwas auseinander liefen.

Im Vergleich mit den tatsächlich ermittelten Bodenwassergehalten wurde der Bodenwassergehalt von beiden Modellen kurz vor Blühbeginn (BBCH 61) deutlich überschätzt. Bei einer Beprobung am 19.8. wurde in der oberen Bodenschicht sogar nur ein Bodenwassergehalt von 20 % nFK ermittelt (leider liegt für diesen Termin aufgrund eines Fehlers kein Wert für die Schicht 30-60 cm vor). Kurz vor Erreichen des Stadiums BBCH 71 und zur Ernte wurde der Bodenwassergehalt von den Modellen nur noch leicht ('Geisenheim') bzw. mäßig ('Agrowetter') überschätzt.

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Berechnet man mit dem 'Geisenheimer' Modell die ET_c auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerte, so kommt man auf eine Verdunstung von 157,6 mm (Tab. 5a).

Für die Variante 'SVAT' berechnete 'Agrowetter' über längere Phasen Bodenwassergehalte von zum Teil deutlich unter 60 % nFK (Abb. 4). In der 'Kontrolle' trocknete der Boden nach dem Modell bis auf 20 % nFK aus, was mit dem Ergebnis der Bodenwasserprobe vom 27. August korrespondiert.

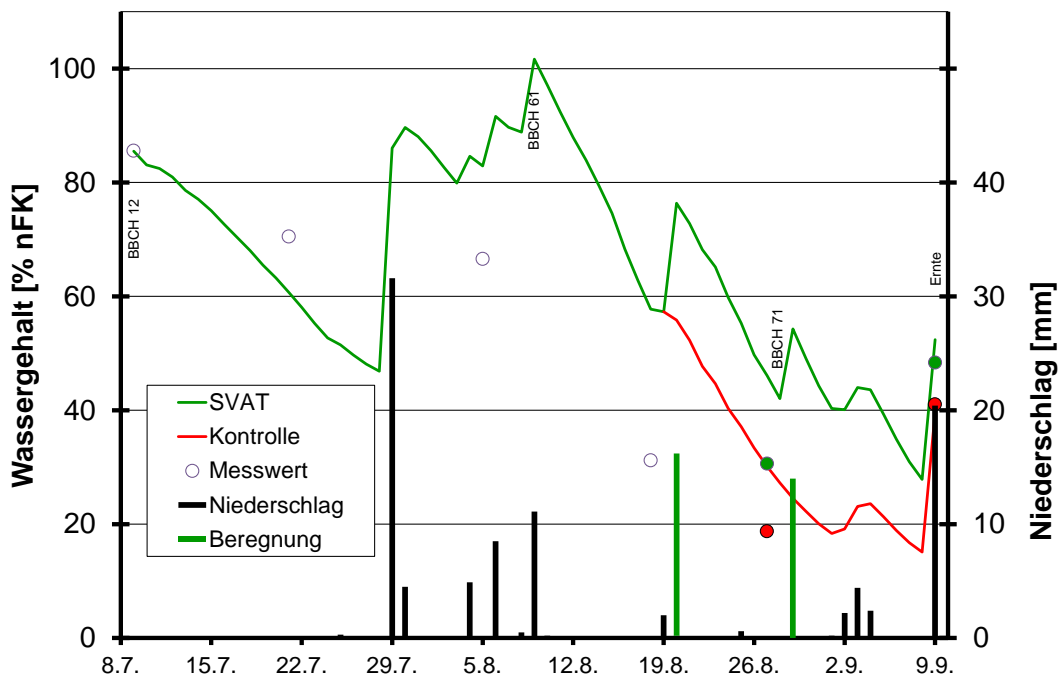


Abb. 4: Niederschlags- und Beregnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Varianten 'SVAT' und 'Kontrolle' nach 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt (leeres Symbol: Mischproben über die bis dato noch nicht differenzierten Varianten)

Wie schon in den Vorversuchen zeigten die Bohnen trotz der offensichtlich massiven Austrocknung des Bodens auch in der 'Kontrolle' keine auffälligen Trockenstresssymptome.

Bei der Ernte wurden wiederum signifikante Beregnungseffekte deutlich. (Bei allen Parametern wurden auch signifikante Sorteneffekte festgestellt, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.)

Der **FM-Ertrag** wurde, bei hohem Ertragsniveau, durch die Beregnung zwar signifikant, mit 18 bzw. 36 dt/ha aber nur vergleichsweise gering gesteigert (Abb. 5). Damit lag der Mehrertrag je mm Wassergabe bei 62 (SVAT) bzw. nur 48 kg/ha. Die Sorten reagierten weitestgehend gleichartig auf die Bewässerungsgaben, eine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte konnte wiederum nicht abgesichert werden ($p = 0,16$).

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

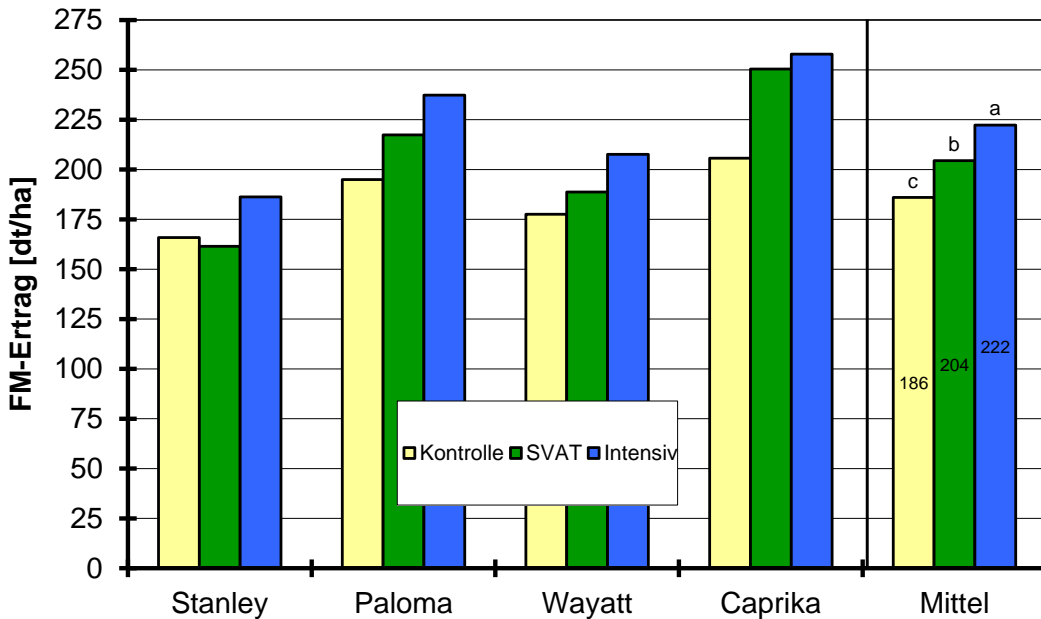


Abb. 5: Frischmasse-Ertrag in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$)
 Bewässerungseffekt: 13,1 dt/ha

‘Stanley’ wies mit durchschnittlich 8,3 % den geringsten **TS-Gehalt** der Hülsen auf, so dass hier eine im Vergleich zu den anderen Sorten (10,0-10,4 %) etwas zu frühe Ernte zu konstatieren ist, was auch das im Vergleich zu den anderen Sorte relativ geringe Ertragsniveau erklärt. Die Beregnung hatte einen deutlichen Effekt auf den TS-Gehalt, eine Wechselwirkung zur Sorte bestand nicht (Abb. 6).

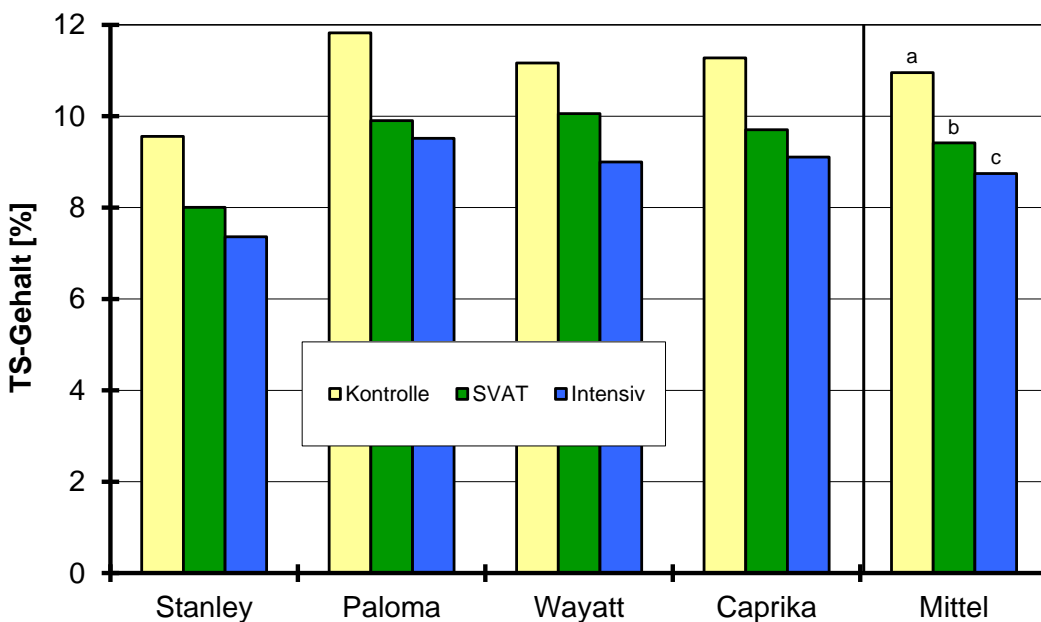


Abb. 6: Trockensubstanzgehalt der Hülsen in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$)
 Bewässerungseffekt: 0,7 %

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Wie zu erwarten wurde auch der gesamte **FM-Aufwuchs** durch die Beregnung beeinflusst (Abb. 7). Beim **Ernteindex** (Anteil Erntegut am gesamten Aufwuchs) zeigte sich eine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte, da bei 'Stanley' und 'Wayatt' der Ernteindex durch die Beregnung vermindert wurde, während bei 'Caprika' und 'Paloma' keine Beeinflussung gefunden wurde (Abb. 8).

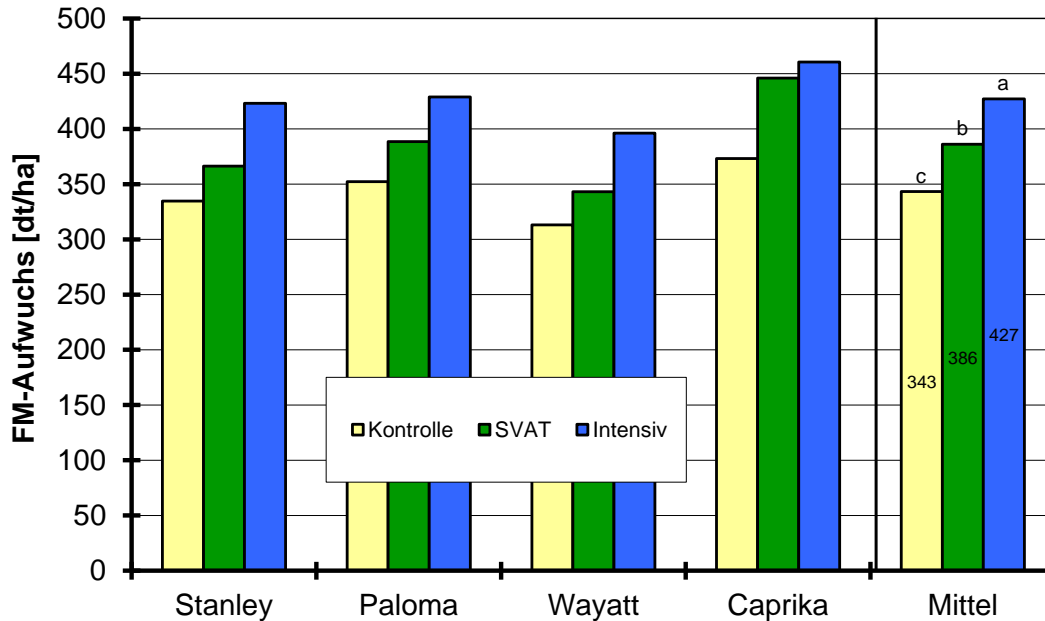


Abb. 7: Frischmasse-Aufwuchs in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte
($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 28,8 dt/ha)

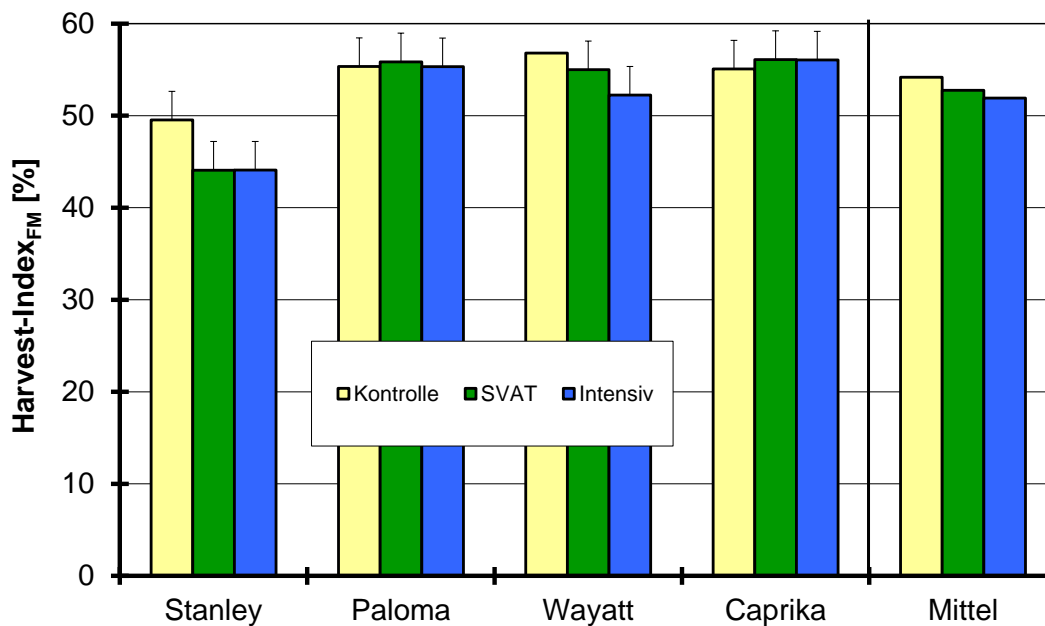


Abb. 8: Frischmasse-bezogener Ernteindex in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte
($I = GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt \times Sorte: 3,1 %)

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Beim TM-Aufwuchs war auf dem Niveau $\alpha = 0,05$ kein Beregnungseffekt abzusichern, tendenziell zeigte sich aber auch hier, wie beim FM-Aufwuchs, eine Zunahme mit steigender Bewässerung (Abb. 9).

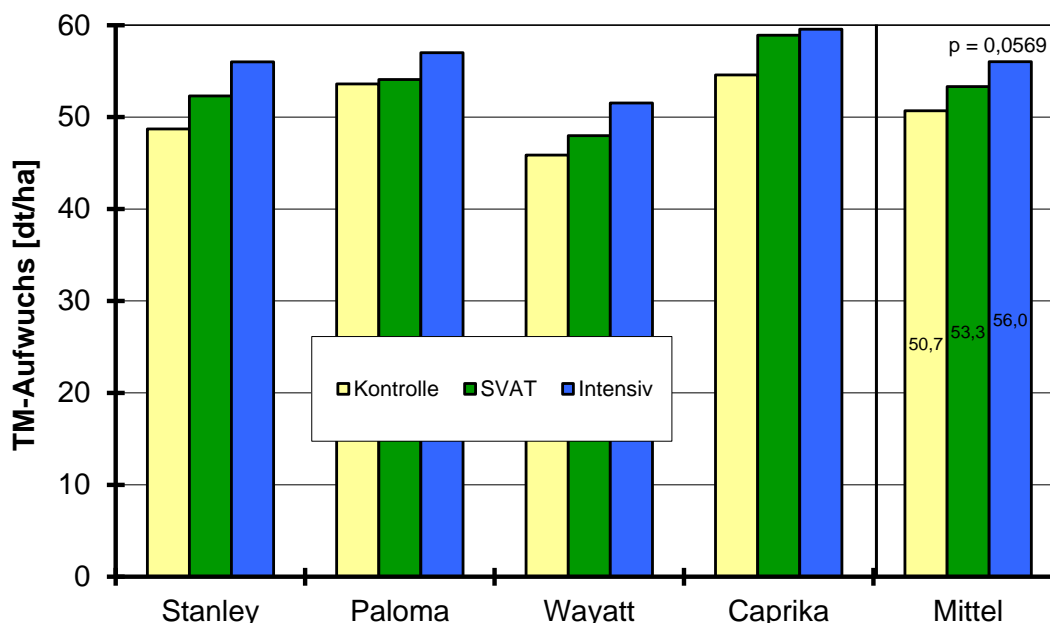


Abb. 9: Trockenmasse-Aufwuchs in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte
($GD_{(\alpha < 0,05)}$ Bewässerungseffekt: 4,2 dt/ha)

Kritische Anmerkung

Mit dem bis Blühbeginn relativ geringen k_{FAO} -Wert von 0,4 kam es auch in der ‘Intensiv’-Variante zu einer massiven Ausschöpfung der Bodenwasservorräte, die in diesem Versuch den Ertrag aber offensichtlich nicht wesentlich beeinflusst hat, da der hohe Ertrag von zumeist über 200 dt/ha bzw. eine Aufwuchsleistung von über 400 dt/ha kaum auf Trockenstress schließen lassen. Auch der nur geringe Ertragsabfall bei der weniger bewässerten ‘SVAT’-Variante bzw. der Kontrolle stützen diese These. Es ist allerdings zu vermuten, dass es auf Standorten mit deutlich geringeren Vorräten an pflanzenverfügbarem Wasser (z. B. Sandboden) zu Trockenstress und entsprechenden Ertragseinbußen kommen könnte.

Literatur:

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

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

JANSSEN, W. 2013: Mündliche/schriftliche Mitteilungen zum Ausfall der Wetterstation DD-Hosterwitz

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

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

FA-GM 2013a: Geisenheimer Bewässerungssteuerung - für Penman-Verdunstung. Hochschule Geisenheim, Institut für Gemüsebau. www.hs-geisenheim.de (Stand 5.09.2013)

FA-GM 2013b: Geisenheimer Bewässerungssteuerung - für FA056-Grasverdunstung. Hochschule Geisenheim, Institut für Gemüsebau. www.hs-geisenheim.de (Stand 25.02.2013 bzw. 5.09.2013)

HANSEN, S. 2002: Daisy, a flexible soil-plant-atmosphere system model. Technical paper, URL. www.dina.kvl.dk/~daisy/ftp/DaisyDescription.doc (18.11.2013).

LABER, H. und S. BRENNER 2010: Keine Bewässerungswirkung wegen Regens; Modell bildet zwischenzeitlich extrem niedrigen Bodenwassergehalt aber nicht ab. www.hortigate.de

LABER, H. und S. BRENNER 2012: Ergiebige Niederschläge deckten Wasserbedarf von Buschbohnen; Bodenwassergehalte durch Modelle aber allgemein überschätzt. www.hortigate.de

LABER, H. und S. LIEBSCH 2012: Moderate Bewässerung führte unabhängig von der Bohnensorte zu einer deutlichen Ertragssteigerung. www.hortigate.de

LABER, H. und G. BÄSLER 2013: Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider. www.hortigate.de

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

Tab. 2: Erträge und Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten

Bewässerung Sorte	Kontrolle				SVAT				Intensiv				GD _{0,05}
	Stanley	Paloma	Wayatt	Caprika	Stanley	Paloma	Wayatt	Caprika	Stanley	Paloma	Wayatt	Caprika	
FM-Ertrag [dt/ha]	166	195	178	206	161	217	189	250	186	237	208	258	n.s.
Mittel	186				204				222				13,1
Wassernutzung ¹⁾	-				62 kg/(ha × mm)				48 kg/(ha × mm)				-
TS-Gehalt [%]	9,6	11,8	11,2	11,3	8,0	9,9	10,1	9,7	7,4	9,5	9,0	9,1	n.s.
Mittel	11,0				9,4				8,7				0,69
FM-Aufwuchs [dt/ha] Mittel	335	352	313	373	366	389	343	446	423	429	396	461	n.s.
Mittel	343				386				427				29
Ernteindex _{FM} [%] ²⁾	49,5	55,3	56,8	55,1	44,1	55,8	55,0	56,1	44,1	55,3	52,2	56,1	3,1
Mittel	54,2				52,8				51,9				-
TM-Aufwuchs [dt/ha] Mittel	48,7	53,6	45,9	54,6	52,3	54,1	48,0	58,9	56,0	57,0	51,5	59,6	n.s.
Mittel	50,7				53,3				56,0				n.s.

GD: Grenzdifferenz ($\alpha < 0,05$); n.s.: nicht signifikant;

1) Mehrertrag je mm Bewässerung

2) Anteil Erntegut am gesamten FM-Aufwuchs (FM-Ertrag ÷ FM-Aufwuchs)

Tab. 3: Textur und Bodenart des Versuchsstandortes

Schicht	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Bodenart n. Kartieranleitung (BGR 2005)
0-30 cm	17,4	41,7	40,9	schwach sandiger Lehm (Ls2)
30-60 cm	19,4	42,7	37,9	schwach sandiger Lehm (Ls2)
60-90 cm	18,5	28,4	53,1	stark sandiger Lehm (Ls4)
0-60 cm	18,4	42,2	39,4	schwach sandiger Lehm (Ls2)

Buschbohnen reagierten unabhängig von der Sorte auf eine Bewässerung

Tab. 4: Gravimetrisch bestimmte Bodenwassergehalte und % nutzbare Feldkapazität

Datum	BBCH	Variante	Bodenwassergehalt [mm] ¹⁾			% nFK ²⁾		
			0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
6. März ³⁾		alle	83	82	88			
Mittel ⁴⁾		alle	82	84	86	100	100	100
9. Juli ⁵⁾	09	alle	77	77	79	88	83	83
21. Juli ⁵⁾		Kontrolle/SVAT	69	73		68	73	
5. Aug. ⁵⁾		Kontrolle/SVAT	62	77		50	83	
		Intensiv	64	72		53	71	
18. Aug. ⁵⁾		Kontrolle/SVAT	53	59		26	37	
		Intensiv	51	– ⁶⁾		20	– ⁶⁾	
27. Aug. ⁵⁾	≈71	Kontrolle	50	52		17	20	
		SVAT	52	59		23	38	
		Intensiv	69	69		67	62	
9. Sept. ⁵⁾	Ernte	Kontrolle	64	55	69	55	28	60
		SVAT	68	57	71	64	33	64
		Intensiv	72	63	76	75	46	75

- 1) Bodenwassergehalt der Schicht bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³;
 2) zugrunde gelegter Todwassergehalt: 9,9 Vol.-% (0-30 cm), 14,9 Vol.-% (30-60 cm), 14,4 Vol.-% (60-90 cm)
 3) aktuelle Bestimmung der FK; 4) Mittelwert der jährlich bestimmten FK (Versuchsjahre 2010-2013);
 5) Die Proben wurden jeweils am Morgen des Folgetages gezogen und geben somit den Bodenwassergehalt am Ende des angegebenen Tages wieder; 6) nicht nachvollziehbarer Fehler bei der Datenerfassung

Tab. 5a: Kalkulierte Verdunstung während der verschiedenen Entwicklungsphasen

Phase BBCH	Referenzverdunstung			Verdunstung des Bestandes [mm]				
	ET ₀ ¹⁾ [mm]	ET _{pPEN} ²⁾	ET _{pPEN} / ET ₀ ³⁾	Geisenheim: ET _c ⁴⁾		Agrowetter: ET _{c adj} ⁵⁾ (ET ₀ × w _{fak} ⁶⁾) × kc _{PENMAN}		
				ET ₀ × kc _{FAO}	ET _p × kc _p	Intensiv	SVAT	Kontrolle
09-61	133,7	160,4	1,21	53,5	48,1	51,1	47,9	
61-71	61,6	78,1	1,27	67,8	62,5	63,9	63,6	60,0
71-Ernte	36,2	47,0	1,32	50,7	47,0	47,7	38,6	22,2
09-Ernte	231,5	285,5	1,25	171,9	157,6	162,7	150,1	130,1

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

Phase BBCH	Nieder- schlag [mm]	Beregnung [mm]		Versickerung [mm] ⁷⁾				
		Intensiv	SVAT	Geisenheim Intensiv		Agrowetter (ET ₀ × w _{fak}) × kc _{PENMAN}		
				ET ₀ × kc _{FAO}	ET _p × kc _p	Intensiv	SVAT	Kontrolle
09-61	50,4	20	0	4,2	9,2	9,1	0,0	
61-71	14,1	40	16	7,2	7,7	5,1	0,0	
71-Ernte	29,6 ⁸⁾	16	14	0,0		0,0	0,0	
09-Ernte	94,1 ⁸⁾	76	30	11,4	16,9	14,2	0,0	

- 1) FAO Gras-Referenzverdunstung; 2) Verdunstung nach modifizierter PENMAN-Gleichung (nasses Gras);
 3) Mittelwerte der täglichen Quotienten; 4) potentielle Evapotranspiration berechnet nach dem 'Geisenheimer Modell';
 5) aktuelle Evapotranspiration des Bestandes laut 'Agrowetter';
 6) windabhängiger Faktor (JANSSEN 2012); 7) aus der Bodenschicht 0-60 cm; 8) davon 20,4 mm am 9. September