

## Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider

### Die Ergebnisse – kurzgefasst

Bei einem Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Buschbohnenarten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz im Frühsommer 2013 waren nach zum Teil übermäßigen Niederschlägen in der ersten Kulturhälfte erst nach Blühbeginn Berechnungsgaben notwendig.

Die durch die anfänglichen Starkniederschläge in ihrem Wachstum zurückgebliebenen Bohnen reagierten einheitlich mit einem Ertragszuwachs von knapp 75 % auf eine Zusatzbewässerung von 74 mm, die nach Berechnungen mit einem SVAT-Modell bemessen wurde. Eine weitere Steigerung der Bewässerung auf 86 mm, die auf Basis der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' kalkuliert wurde, brachte keine weitere Ertragssteigerung.

### Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Im hiesigen Anbaugebiet 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 Berechnungsmodellen sollen im Rahmen der Untersuchungen spezielle Sorten mit einer ggf. besseren Toleranz gegenüber Trockenstress getestet werden.

Im Versuchsjahr 2010 konnten trotz massiver Austrocknung der unbewässerten Kontrolle in der ersten Kulturhälfte, dann aber einsetzender Starkniederschläge, keine Ertragseffekte einer Bewässerung beobachtet werden. 2011 fielen ausreichend Niederschläge, so dass keine Berechnungsgaben notwendig waren (LABER & BRENNER 2010 bzw. 2012). Im Versuchsjahr 2012 mit trockenen Bedingungen in der zweiten Kulturhälfte reagierten die Bohnensorten einheitlich mit einem Ertragszuwachs von knapp 40 % auf eine Zusatzbewässerung von 68 mm. Eine weitere Steigerung der Bewässerung auf 100 mm brachte keine Ertragsvorteile (LABER & LIEBSCH 2012).

### Material und Methoden

In dem Versuch konnten 4 Sorten mit ähnlicher Reifezeit geprüft werden, wovon eine als 'eher wasser- bzw. beregnungsbedürftig', 2 als 'eher trockenstresstolerant' eingeschätzt werden (Tab. 1).

**Tab. 1: Einbezogene Sorten**

Sorte	Caprika	Stanley	Konza	Bomont
Herkunft	Niz	HS	S&G	
Trockenstresstoleranz*)	eher ja	–	eher ja	eher nein

\*) : Einschätzung/Angabe des Züchters

Die Aussaat erfolgte am 17. Mai mit jeweils 3 Reihen einer Sorte je Parzelle. Da zum Auflauftermin (30. Mai) sehr feuchte Bedingungen herrschten (ca. 60 mm in den 4 vorangegangenen Tagen, 15 mm am 30. Mai), wurde der Ausgang-Bodenwassergehalt erst am 11. Juni, nach weiteren 110 mm Niederschlag, bestimmt und mit der Verdunstungsbilanzierung (s. u.) begonnen.

## Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider

Vom 20. bis 29. Juni fielen weitere 112 mm Niederschlag, die zu zeitweisem Wasserüberstau führten. Die Bohnen zeigten unter diesem Wasserstress nur eine geringe vegetative Entwicklung, bei Blühbeginn wiesen sie nur eine Höhe von 15-20 cm auf. Bis Kulturende zeigte sich kein Reihenschluss. Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen war der Bohnenbestand unkraut- und befallsfrei.

Da in vielen Parzellen häufig eine Reihe im Wachstum stärker zurückgeblieben war als die anderen beiden (übersäte Fahrspur?), wurden jeweils nur die beiden besten Reihen beerntet. Dabei wurden auf jeweils 2 mal 5 lfdm die Pflanzen direkt über dem Erdboden abgeschnitten und der Aufwuchs ausgewogen. An einer Teilprobe von 2 lfdm wurden die Hülsen von Hand gepflückt und der Ertrag und die Menge an Ernterückständen ausgewogen. 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 Ernteindex wurde der Ertrag bzw. die Menge an Ernterückständen für jede Parzelle hochgerechnet. An einer Mischprobe über die Wiederholungen wurde zudem der Trockensubstanzgehalt der Hülsen und der Ernterückstände durch Trocknung bei 105 °C ermittelt.

### Kulturdaten

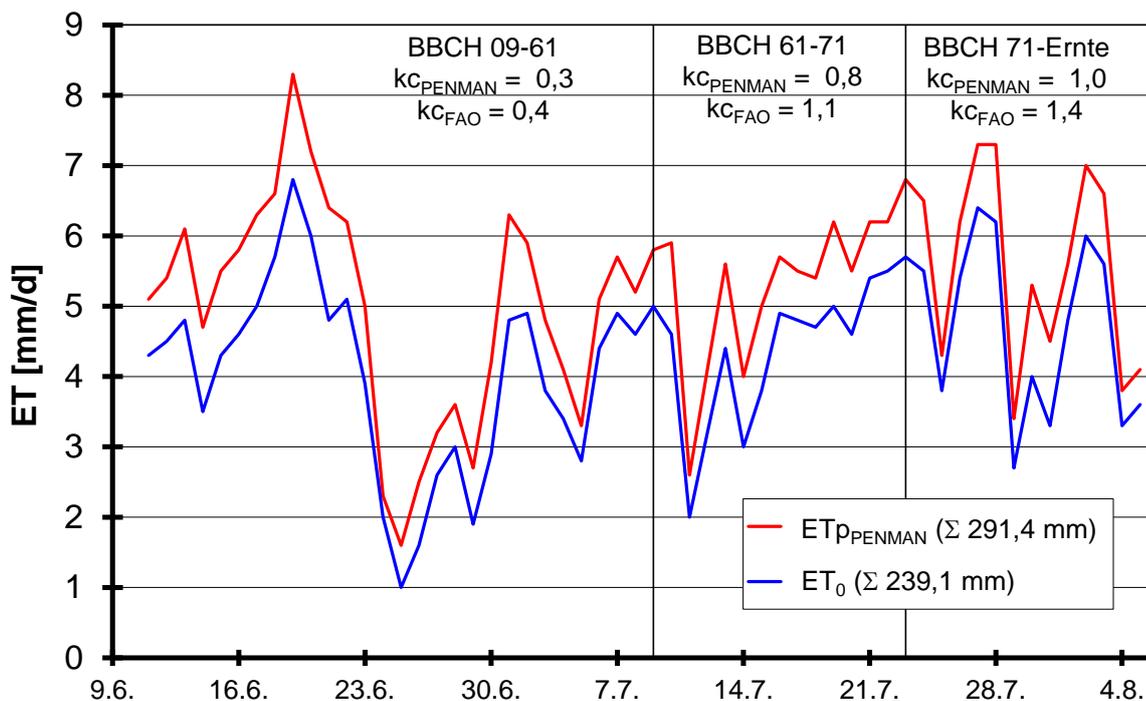
- 17. Mai 2013: Einzelkornaussaat der Sorten, Reihenabstand 50 cm, Kornablageabstand 6,1 cm (32,8 Korn/m<sup>2</sup>),
- 11. Juni: Bodenprobe: Ausgangs-Bodenwassergehalt (Tab. 4)
- 9. Juli: Beginn der Blüte (BBCH 61)
- 12. Juli: 50 kg N/ha als KAS (ohne Berücksichtigung vorheriger N<sub>min</sub>-Analyseergebnisse, da diese vor den Starkniederschlägen ermittelt wurden)
- 15. Juli: 10 mm Beregnung in allen Varianten (zum Düngereinregnen)
- 23. Juli.: erste Hülse hat volle Länge (BBCH 71)
- 6./7. Aug.: Ernte
- Bodenart: s. Tab. 3, nach Bodenschätzung: L 3 Al 73/74
- Versuchsanlage: zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 4 Wiederholungen (Blöcken)
- Parzellengröße: Ernteparzelle: 5,0 m<sup>2</sup> (Aufwuchs)  
davon 1 m<sup>2</sup> Handernte (Hülsen/Ernterückstände)
- Beregnung: Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen (Gierhake Maschinenbau)

Neben einer **'Kontrolle'** (keine Beregnung außer 10 mm zur Düngereinregnung) 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.

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**

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 auf die FAO-Gras-Referenzverdunstung ( $ET_0$ ) ausgelegt sind ( $k_{cFAO}$ , FA-GM 2013b). Im Nachgang wurde auch eine Klimatischen Wasserbilanz auf Basis der Penman-Verdunstungswerte ( $k_{cPENMAN}$ , FA-GM 2013a) berechnet.

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-Atmosphere-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.

## ***Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider***

---

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 und 90 cm Tiefe) fand in der Kontrolle und später auf 30 cm Tiefe in der Variante SVAT (nur Saugspannung) statt.

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  $ET_{PENMAN}$  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  $ET_{PENMAN}$  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  $ET_{PENMAN}$ -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 Beregnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt anfangs nur 2 mm, später teilweise auch 4 mm ausgebracht, so dass bis zu 10 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren. Die ausgebrachte Beregnungsmenge wurde jeweils mit Hilfe von bodennah aufgestellten Regennessern überwacht.

## ***Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider***

---

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/cm<sup>3</sup>.

### ***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 angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm<sup>3</sup> wurde als Mittel der mittlerweile vorliegenden 4 Untersuchungen eine FK von 27,2 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 28,2 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 g/cm<sup>3</sup>) 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.

Entsprechend der vorangegangenen Niederschläge wurde am 11. Juni ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von 105 % nFK ermittelt. Im weiteren Verlauf fielen dann bis Blühbeginn 116,6 mm Niederschlag. Gleichzeitig bestand mit einer ET<sub>0</sub> von 111,9 mm (durchschnittlich 4,0 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<sub>c</sub> von 44,8 mm, so dass sich eine Sickerwasserbildung von 85,4 mm ergibt. 'Agrowetter' kommt mit einer ET<sub>c</sub> von 43,2 mm und einer Sickerwasserbildung von 87,2 mm zu vergleichbaren Ergebnissen (Abb. 2 u. 3, Tab. 5a u. b).

Ab Blühbeginn herrschte mit einer durchschnittlichen ET<sub>0</sub> von 4,5 mm/d ( $\Sigma$  127,2 mm) weiterhin eine hohe Verdunstung. Bei dann aber nur noch 41,4 mm Niederschlag und steigenden kc-Werten war in der Variante 'Intensiv' nach dem 'Geisenheimer Modell' insgesamt eine Bewässerung von 86 mm notwendig (Abb. 3). In der Variante 'SVAT' wurden entsprechend der Vorgaben 74 mm Zusatzwasser gegeben (vgl. Abb. 4).

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**

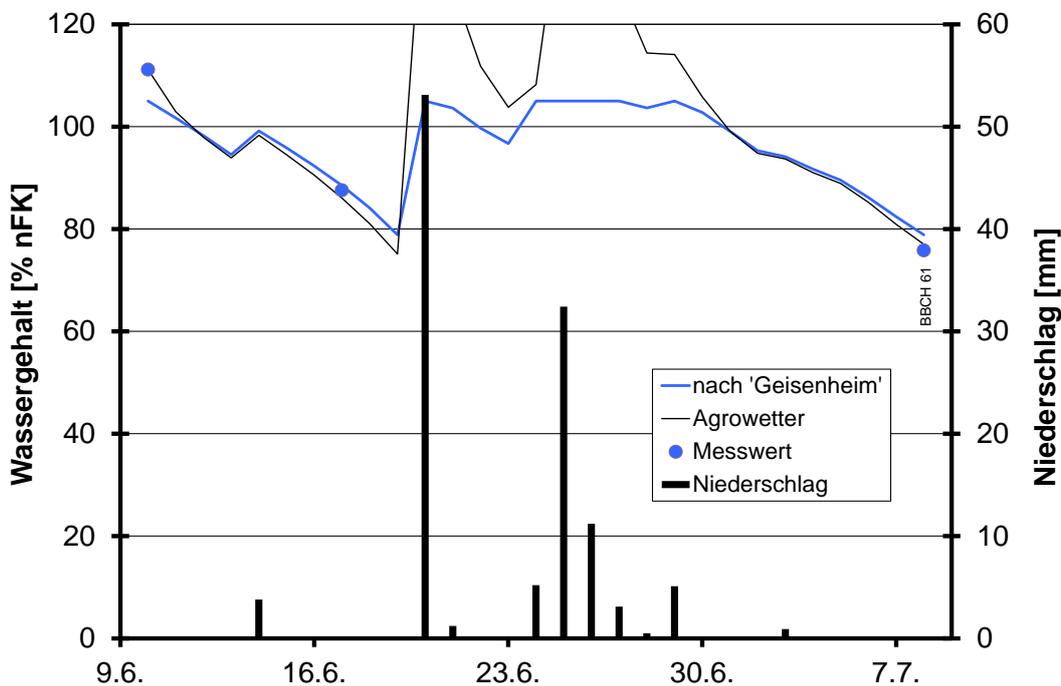


Abb. 2: Niederschlagsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-30 cm bis Blühbeginn nach 'Geisenheim' ( $ET_0 \times k_{CFAO}$ ) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt (alle Varianten)

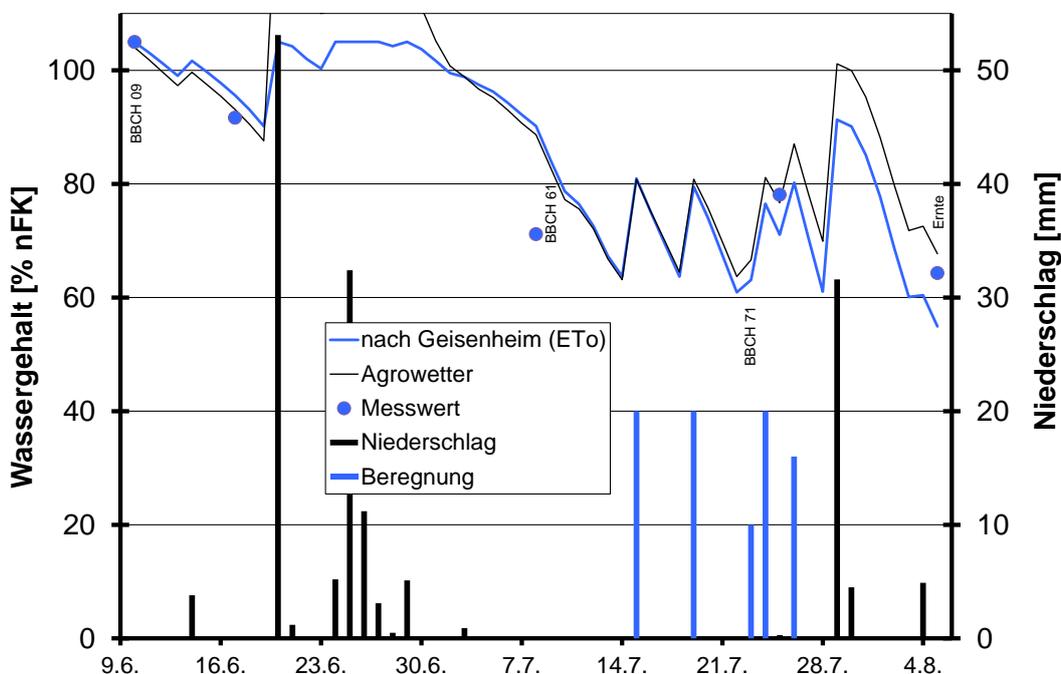


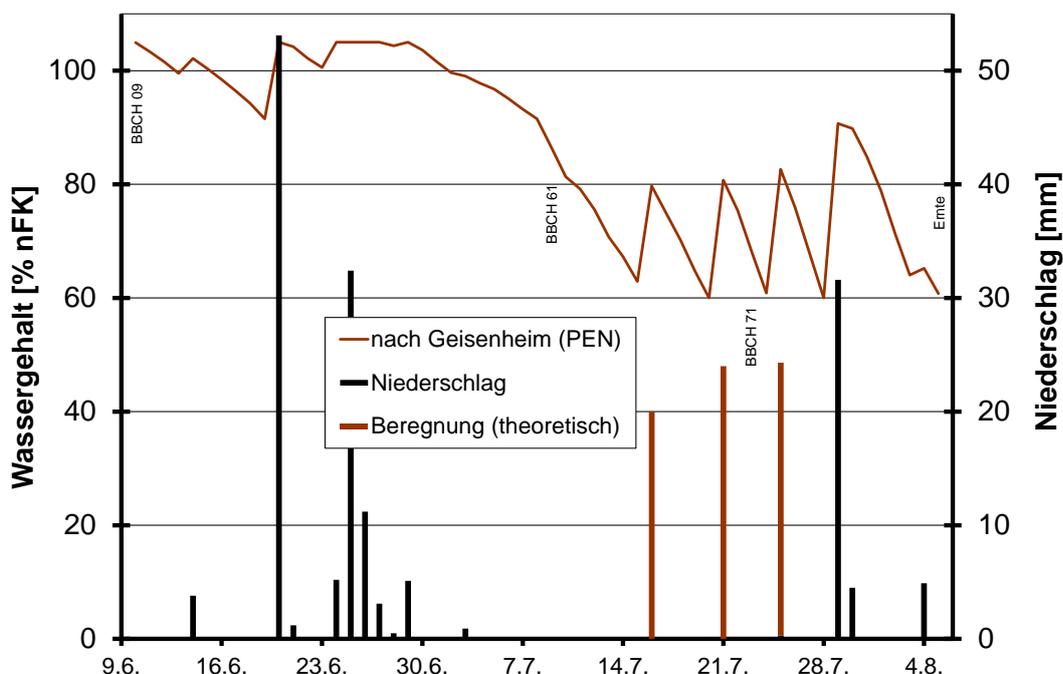
Abb. 3: Niederschlags- und Beregnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' ( $ET_0 \times k_{CFAO}$ ) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**

Für die gesamte Kulturzeit errechnete sich für die Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' auf Basis der  $ET_0$ -Werte eine  $ET_c$  von 204,6 mm. 'Agrowetter' berechnete mit 189,4 mm eine etwas geringere Evapotranspiration. Die von den beiden Modellen berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante 'Intensiv' verliefen zunächst, mit Ausnahme der unterschiedlichen Modellansätze für die Versickerungsperiode, sehr ähnlich (Abb. 3). Mit der 2. Wassergabe setzte dann aber eine zunehmende Differenzierung ein.

Im Vergleich mit den tatsächlich ermittelten Bodenwassergehalten wurde der Bodenwassergehalt von beiden Modellen kurz vor Blühbeginn deutlich überschätzt, in der Reifephase bzw. zur Ernte stimmten Modell und Realität recht gut überein.

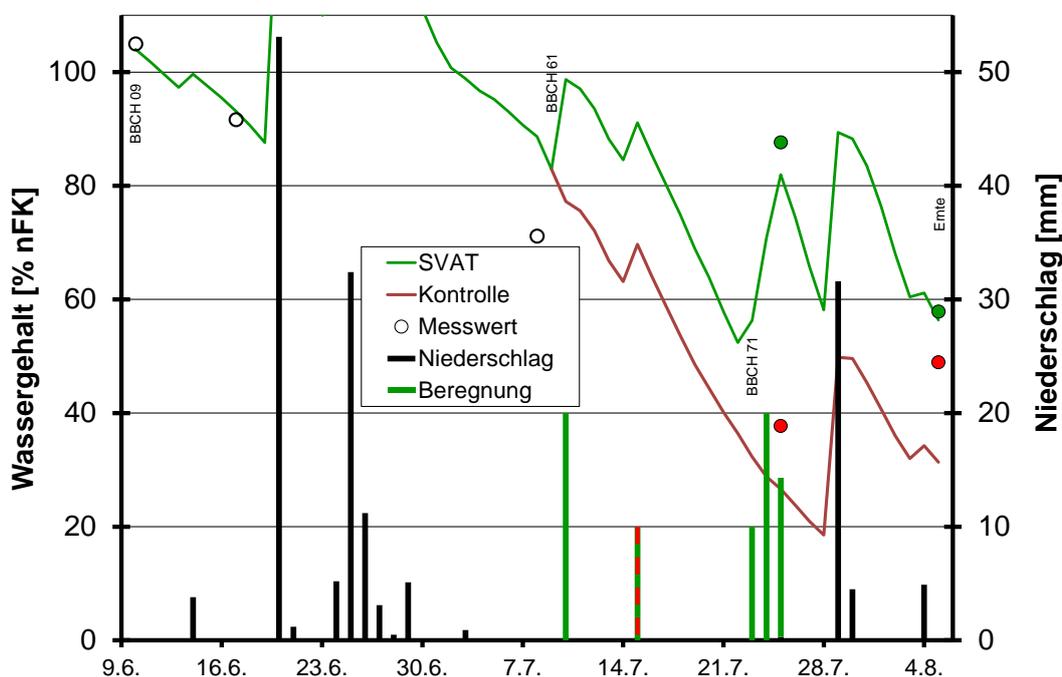
Berechnet man mit dem 'Geisenheimer' Modell die  $ET_c$  auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerte, so kommt man auf eine Verdunstung von 179,4 mm (Tab. 5a). Theoretisch wäre hier eine Bewässerung von ca. 68 mm notwendig gewesen (Abb. 4).



**Abb. 4: Niederschlags- und Beregnungsmengen (theoretisch) und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' bei Berechnung auf Basis  $ET_{pPENMAN} \times kc_{PENMAN}$**

Für die Variante 'SVAT' berechnete 'Agrowetter' Bodenwassergehalte von kurzzeitig unter 60 % nFK (Abb. 5). In der 'Kontrolle' trocknete der Boden nach dem Modell bis auf 20 % nFK aus; tatsächlich dürfte der Wert aber bei rund 30 % nFK gelegen haben, da die einige Tage vorher gezogene Bodenprobe eine Unterschätzung des Bodenwassergehaltes von rund 12 Vol.-% andeutete.

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**



**Abb. 5: 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)**

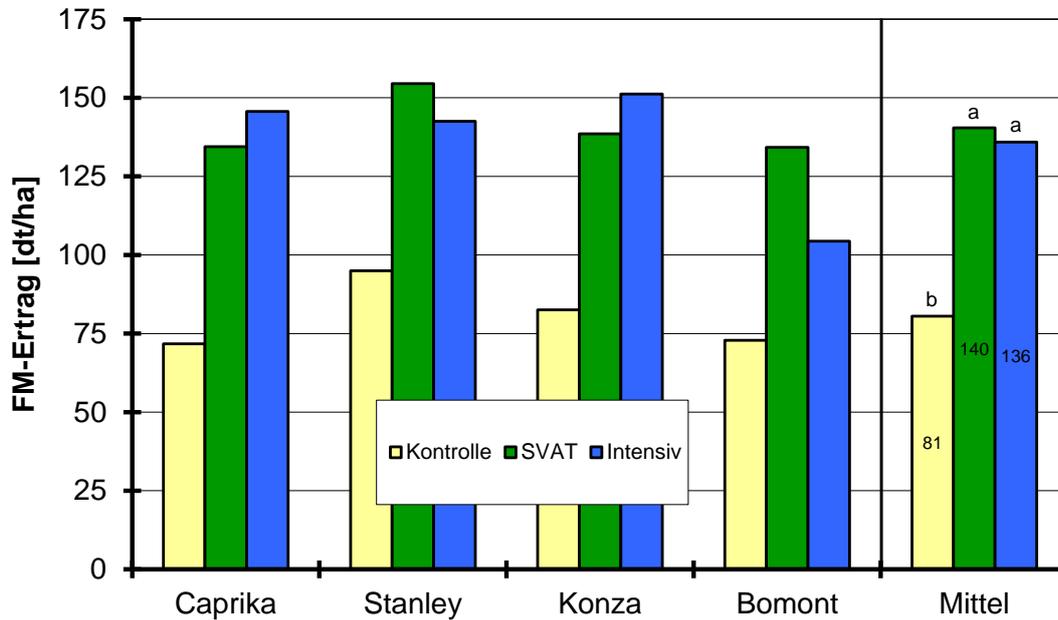
Wie schon in den Vorversuchen zeigten die Bohnen trotz der offensichtlich massiven Austrocknung des Bodens auch in der 'Kontrolle' keine auffälligen Trockenstresssymptome.

Bei der Ernte wurden wiederum signifikante Beregnungseffekte deutlich. (Bei allen Parametern wurden auch signifikante Sorteneffekte festgestellt, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.) So wurde der **FM-Ertrag** durch die Beregnung im Mittel um 58 dt/ha bzw. um 72 % gesteigert, wobei zwischen den Beregnungsvarianten 'Intensiv' (86 mm) und 'SVAT' (74 mm) kein Unterschied zu verzeichnen war (Abb. 6). In der Variante 'SVAT' wurde je mm Wassergabe ein Mehrertrag von 81 kg/ha realisiert, während dieser in der Variante 'Intensiv' mit der um 12 mm höheren Bewässerungsgabe nur 64 kg/ha je mm betrug.

Die Sorten 'Stanley', 'Caprika' und 'Konza' reagierten gleichartig positiv auf die Bewässerungsgaben, bei 'Bomont' fiel die 'Intensiv'-Variante gegenüber der 'SVAT'-Variante (auch bei Einzelauswertung allerdings nicht signifikant) ab. Insgesamt konnte aber wiederum keine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte festgestellt werden.

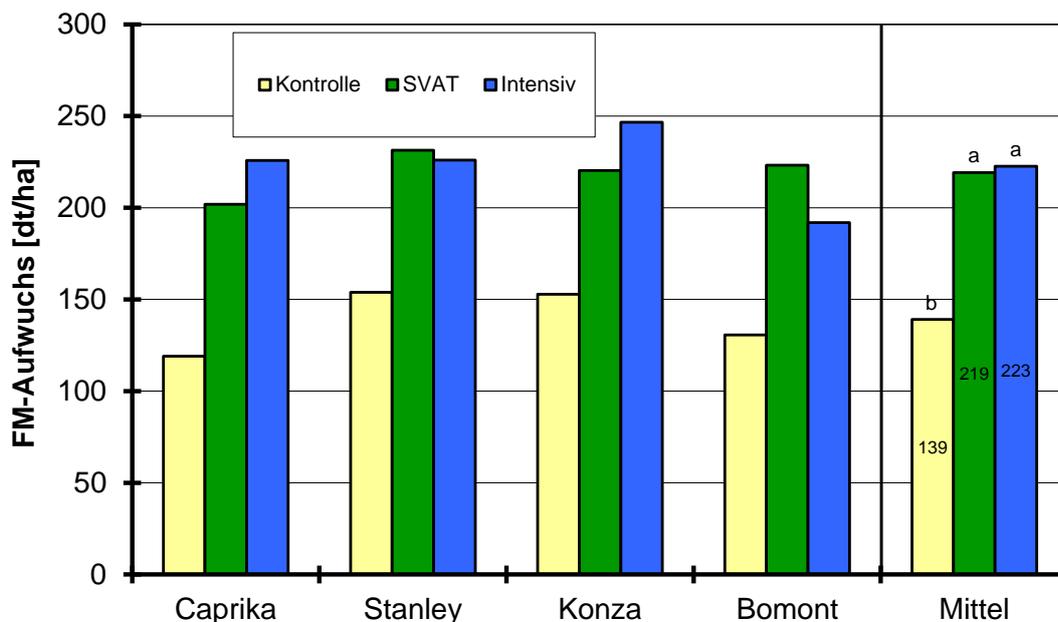
Der **TS-Gehalt** der Hülsen (ein Kriterium für die (Über)Reife von Buschbohnen) fiel in der unberegneten Kontrolle mit 13,7 % deutlich höher aus als in den beregneten Varianten (10,5 bzw. 10,6 %) (Tab. 2).

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**



**Abb. 6: Frischmasse-Ertrag in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte** ( $GD_{(\alpha<0,05)}$   
Bewässerungseffekt: 30,3 dt/ha)

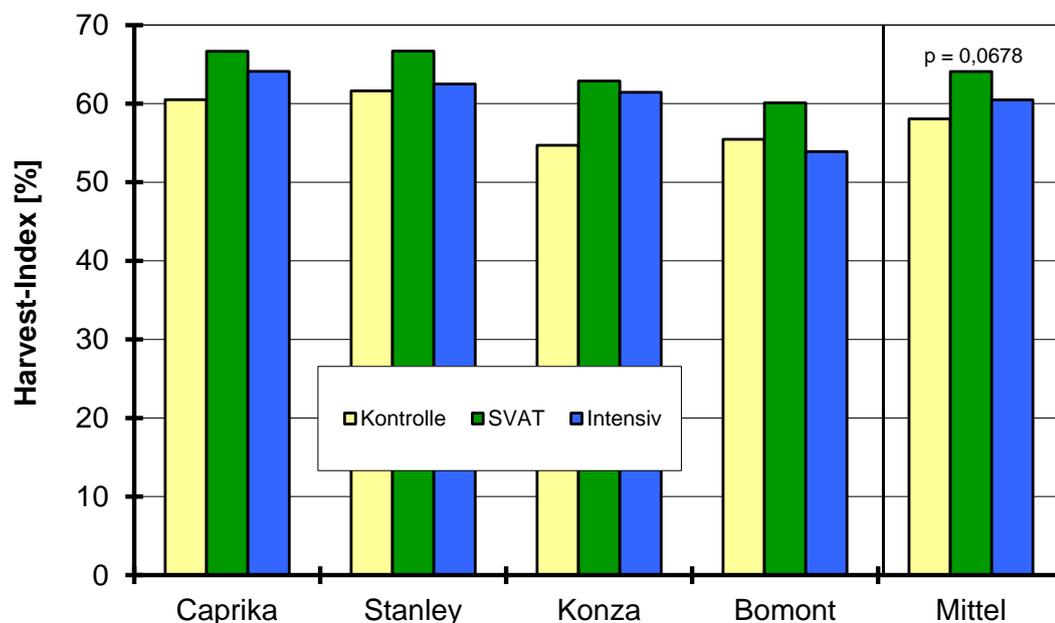
Wie zu erwarten wurde auch der gesamte Aufwuchs durch die Beregnung beeinflusst (Abb. 7). Auch war hier keine Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte zu verzeichnen. Mit maximal knapp 250 dt/ha wurde nur rund die Hälfte des FM-Aufwuchses wie im Vorjahresversuch erreicht.



**Abb. 7: Frischmasse-Aufwuchs in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte** ( $GD_{(\alpha<0,05)}$  Bewässerungseffekt: 39,6 dt/ha)

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**

Entsprechend der geringen vegetativen Entwicklung fiel der FM-bezogene Ernteindex (Anteil Erntegut am gesamten Aufwuchs) mit rund 60 % sehr hoch aus. Tendenziell lag er in der 'SVAT'-Variante am höchsten (Abb. 8).



**Abb. 8: Frischmasse-bezogener Ernteindex in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte**

**Kritische Anmerkung**

Ähnlich wie im Vorjahresversuch fielen in der ersten Kulturhälfte hohe Niederschlagsmengen, so dass die Bohnen bis Blühbeginn ausreichend bzw. zwischenzeitlich auch übermäßig mit Wasser versorgt waren. Damit liefert auch dieser Versuch keine Ergebnisse zur Reaktion von Buschbohnen auf eine Bewässerung unter durchgängig relativ trockenen Bedingungen.

**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.

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

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

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**

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

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 <sub>0,05</sub>
	Stanley	Caprika	Konza	Bomont	Stanley	Caprika	Konza	Bomont	Stanley	Caprika	Konza	Bomont	
FM-Ertrag [dt/ha]	95	72	83	73	155	134	139	134	143	146	151	104	n.s.
Mittel	81				140				136				30,3
Wassernutzung <sup>1)</sup>					81 kg/(ha × mm)				64 kg/(ha × mm)				–
TS-Gehalt [%] <sup>2)</sup>	11,7	15,2	14,7	13,1	9,9	10,0	11,9	10,4	9,5	11,8	11,1	10,1	–
Mittel	13,7				10,5				10,6				–
FM-Aufwuchs [dt/ha] Mittel	154	119	153	131	231	202	220	223	226	226	247	192	n.s.
	139				219				223				39,6
Ernteindex <sub>FM</sub> [%] <sup>3)</sup>	54,7	55,5	61,6	60,5	62,9	60,1	66,7	66,7	61,5	53,9	62,5	64,1	n.s.
Mittel	58,1				64,1				60,5				n.s.
TM-Aufwuchs [dt/ha] Mittel	23,9	22,0	29,4	24,3	32,9	28,4	36,4	34,7	31,2	35,1	38,0	29,0	–
	24,9				33,1				33,3				–

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

1) Mehrertrag je mm Bewässerung; 2) Mischproben über die Wiederholungen;

3) 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	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>

**Bewässerung in Trockenphase spiegelte sich im Buschbohnenenertrag wider**

**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
6. März <sup>3)</sup>		alle	81	86	87			
Mittel <sup>4)</sup>		alle	82	85	86	100	100	100
10. Juni <sup>5)</sup>	12	alle	88	83	83	111	97	93
17. Juni <sup>5)</sup>		alle	75	83		88	97	
8. Juli <sup>5)</sup>		alle	69	71		76	65	
25. Juli <sup>5)</sup>		Kontrolle	48	61		35	41	
		SVAT	80	75		97	76	
		Intensiv	72	75		81	75	
5. Aug. <sup>5)</sup>	Ernte	Kontrolle	56	63		51	46	
		SVAT	59	68		57	59	
		Intensiv	61	72		60	69	

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

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

Phase BBCH	Referenzverdunstung			Verdunstung des Bestandes [mm]				
	ET <sub>0</sub> <sup>1)</sup> [mm]	ET <sub>PEN</sub> <sup>2)</sup>	ET <sub>PEN</sub> /ET <sub>0</sub> <sup>3)</sup>	Geisenheim: ET <sub>c</sub> <sup>4)</sup>		Agrowetter: ET <sub>c adj</sub> <sup>5)</sup> (ET <sub>0</sub> × w <sub>fak</sub> <sup>6)</sup> ) × kc <sub>PENMAN</sub>		
				ET <sub>0</sub> × kc <sub>FAO</sub>	ET <sub>p</sub> × kc <sub>p</sub>	Intensiv	SVAT	Kontrolle
09-61	111,9	139,1	1,27	44,8	41,7	43,2		
61-71	60,9	73,7	1,22	67,0	59,0	62,5	61,9	57,1
71-Ernte	66,3	78,7	1,19	92,8	78,7	83,7	81,9	45,8
09-Ernte	239,1	291,5	1,24	204,6	179,4	189,4	187,0	146,1

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

Phase BBCH	Nieder- schlag [mm]	Beregnung [mm]		Versickerung [mm] <sup>7)</sup>				
		Intensiv	SVAT	Geisenheim Intensiv		Agrowetter (ET <sub>0</sub> × w <sub>fak</sub> ) × kc <sub>PENMAN</sub>		
				ET <sub>0</sub> × kc <sub>FAO</sub>	ET <sub>p</sub> × kc <sub>p</sub>	Intensiv	SVAT	Kontrolle
09-61	116,6	0		85,4	87,2	87,2		
61-71	0,1	40	30	0,0	0,0	0,1	0,9	0,1
71-Ernte	41,3	46	44	0,0	4,9			
09-Ernte	158,0	86	74	85,4	87,2	87,3	88,1	87,3

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