

Sortenspezifische Ertragsreaktion auf eine Bewässerung; Gute Prognose des Bodenwassergehaltes auf Basis der PENMAN-Werte

**Markerbsen
Bewässerung
Sorte**

Zusammenfassung

Bei einem erneuten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Markerbsensorten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz wurden 2011 sortenspezifisch zum Teil deutliche Ertragseffekte einer Bewässerung nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' beobachtet. Entgegen der Einschätzung der Züchter zeigte aber keine der vier untersuchten Sorten eine 'ausgeprägte' Trockenstresstoleranz mit einem speziell unter trockenen Bedingungen höherem Ertragsniveau als Vergleichssorten.

Die mit Hilfe der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' prognostizierten Bodenwassergehalte stimmen mit den tatsächlichen vorgefundenen Werten sehr gut überein, wenn die Berechnung auf Basis der PENMAN-Verdunstungswerte mit entsprechenden k_{PENMAN} -Faktoren erfolgte.

Versuchshintergrund u. -frage

Im hiesigen Anbaugbiet mit seinen Lössböden werden Markerbsen fast ausnahmslos ohne Beregnung angebaut. Der Klimawandel und dabei insbesondere die prognostizierte Fröhsommertrockenheit 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. Im ersten Versuchsjahr 2010 konnte trotz massiver Austrocknung der unbewässerten Kontrolle keine wesentlichen 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	Puget	Ambassador	Naches	Mundial
Züchter	Van Waveren		Seminis	
Trockenstresstoleranz ¹⁾	eher ja	eher nein	eher ja	eher nein
Blattform	normal	normal	semi-leafless	normal
Reifetage ¹⁾	+12	+12	+12	+13
Bestandesdichte [Pfl./m ²] ²⁾	88	107	100	95

¹⁾: Einschätzung/Angabe des Züchters ('Spring' +); ²⁾: Auszählung am 6.5., 6 lfdm pro Sorte pro Wiederholung, (Unterschiede zwischen den Sorten nicht statistisch abgesichert)

Die Aussaat erfolgte mit dem 19. April relativ spät, um möglichst trockene Boden- und Witterungsbedingungen vorzufinden. Die Erbsen liefen am 29. April auf, die erreichte Bestandesdichte war zum Teil relativ hoch (Tab. 1). Im weiteren Kulturverlauf wurden mehrere praxisübliche Fungizid- und Insektizidmaßnahmen durchgeführt, so dass der Erbsenbestand praktisch befallsfrei war.

Versuche im deutschen Gartenbau

**Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
Abteilung Gartenbau, Dresden-Pillnitz**

Bearbeiter: Hermann Laber und Sonja Brenner

2 0 1 1

Kultur- und Versuchsdaten:

- 19. April 2011: Aussaat der Sorten (90 keimfähige Körner/m²), Beetanbau (1,5 m) mit 10 Reihen, Reihenabstand 11,5 cm, keine N-Düngung
- 29. April: Auflauf (BBCH 09)
- 20. Mai: 6-Blatt-Stadium (BBCH 16)
- 7. Juni: Beginn der Blüte (BBCH 61)
- 15. Juni: Beginn Hülsenbildung (BBCH 69)
- 28. Juni: erste Ernte ('Puget')
- 4. Juli: letzte Ernte ('Naches' und 'Mundial')
- Bodenart: schwach sandiger Lehm (Ls2), n. Bodenschätzung: L 3 Al 73/74
- Versuchsanlage: Zweifaktorielle Spaltanlage (Haupteinheit Beregnung, Untereinheit Sorte) mit 4 Wiederholungen (Blöcken)
- Parzellengröße: 5,75 Netto-m² (5 lfdm Beet)
- Beregnung: Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen (Gierhake Maschinenbau)
- Drusch: Mini Sampling Viner (Tickhill Engineering Co Ltd), 2 Druschdurchläufe
- Tenderometer: TM-2 Texture Press (Food Technology Corporation)

Neben einer '**Kontrolle**' in der keine Beregnung durchgeführt wurde, 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 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 6-Blatt-Stadium (BBCH 16) nur die Bodenschicht 0-30 cm einbezogen, danach wurde entsprechend mit 0-60 cm Tiefe kalkuliert.

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration des Erbsenbestandes (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 Grünerbsen 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 (70 % bis BBCH 16, abfallend auf 50 % ab BBCH 69) einheitlich auf 60 % geändert, die maximale Durchwurzelungstiefe wurde von 40 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-Hostowitz, 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 $ET_{pPENMAN}$ -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.

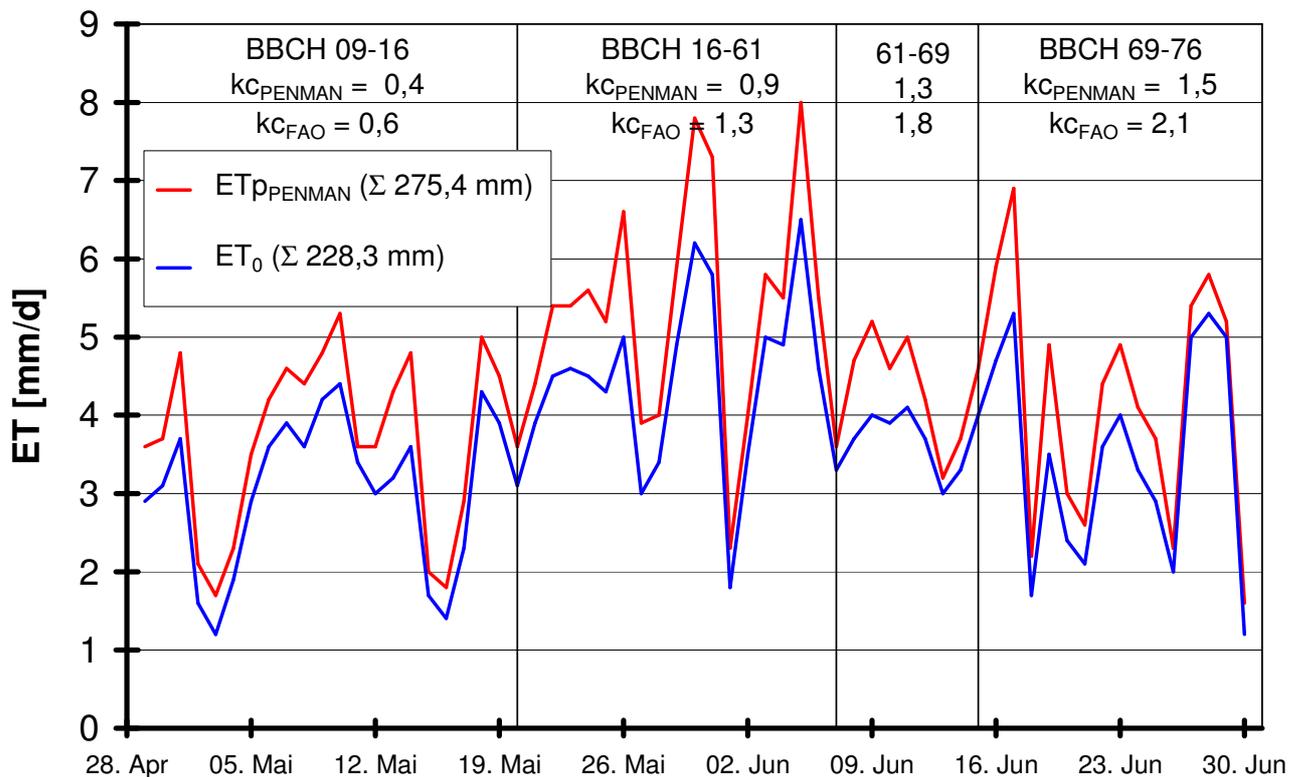


Abb. 1: Evapotranspiration nach der modifizierten PENMAN-Gleichung ($ET_{pPENMAN}$) und FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) für den Standort Dresden-Hostowitz

Die Beregnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt nur 2 bis maximal 6 mm ausgebracht, so dass bis zu 8 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren. Die ausgebrachte Beregnungsmenge wurde jeweils mit Hilfe von bodennah aufgestellten Regenmessern überwacht.

In maximal 14-tägigen Abstand wurden, möglichst an Terminen ohne direkte vorherige Niederschläge, 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. Bei der Endernte erfolgte die Bodenprobenahme nur in der Sorte 'Ambassador' mit 2 Einstichen pro Parzelle. 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 $1,5 \text{ g/cm}^3$ wurde eine FK von 27,4 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 29,8 Vol.-% (30-60 cm) ermittelt (Tab. 3). Die Kartieranleitung (BGR 2005) weist dagegen für einen schwach sandiger Lehm (Ls2, Rohdichte $1,5 \text{ g/cm}^3$) mit 34 Vol.-% eine höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der KA 5 (Ls2: 18 Vol.-%) mit 12,6 Vol.-% ebenfalls reduziert.

Beim Auflaufen der Erbsen (BBCH 09) Ende April wurde ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von knapp 89 % nFK ermittelt. Im weiteren Verlauf fielen dann bis Mitte Mai mit 25,7 mm ausreichend Niederschläge, um nach 'Agrowetter' und den eigenen Berechnungen ($ET_0 \times k_{CPENMAN}$) den Boden in 0-30 cm Tiefe im Bereich von 80 % nFK zu halten (Abb. 2).

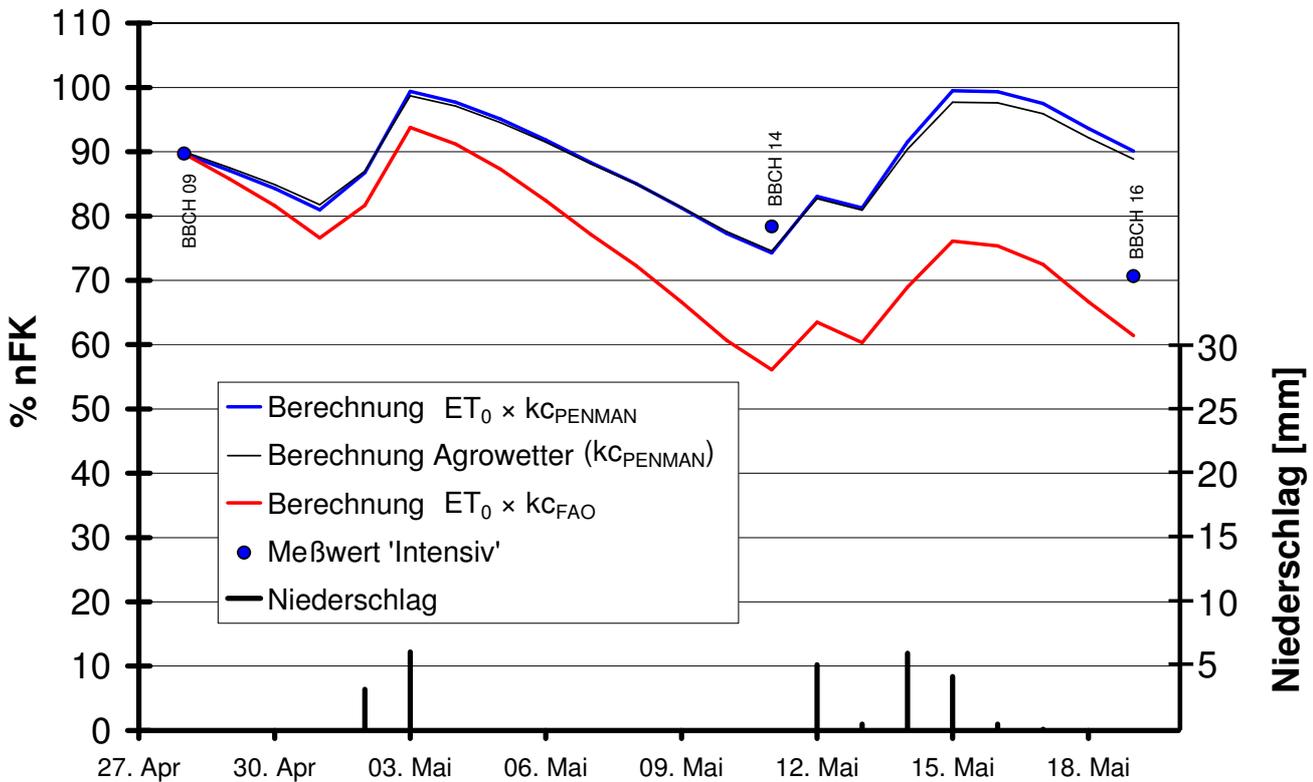


Abb. 2: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Berechnung - ($ET_0 \times k_c$); bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-30 cm bei der Variante 'Intensiv'**

Insgesamt war der Mai mit einer **FAO-Gras-Referenzverdunstung** von 111,0 mm recht trocken, die Erbsen verbrauchten aber nur 72,3 mm (ET_c nach 'Agrowetter'), so dass sich bei 55,4 mm Niederschlag über den Monat hinweg nur ein mäßiges Wasserdefizit ergibt.

Da sich Ende Mai nach 'Agrowetter' und der eigenen Berechnung ein Absinken der Bodenfeuchte andeutete und sich nach den Ergebnissen der Bodenproben zu BBCH 16 eher eine Überschätzung der Bodenfeuchtegehalte zeigte, wurde die Variante 'Intensiv' am 25. Mai zum ersten Mal mit 20 mm beregnet (Abb. 3). Allerdings fielen am folgenden Tag entgegen der Wettervorhersage noch 13 mm Niederschlag, so dass sich der Boden rechnerisch auf knapp 100 % nFK auffüllte.

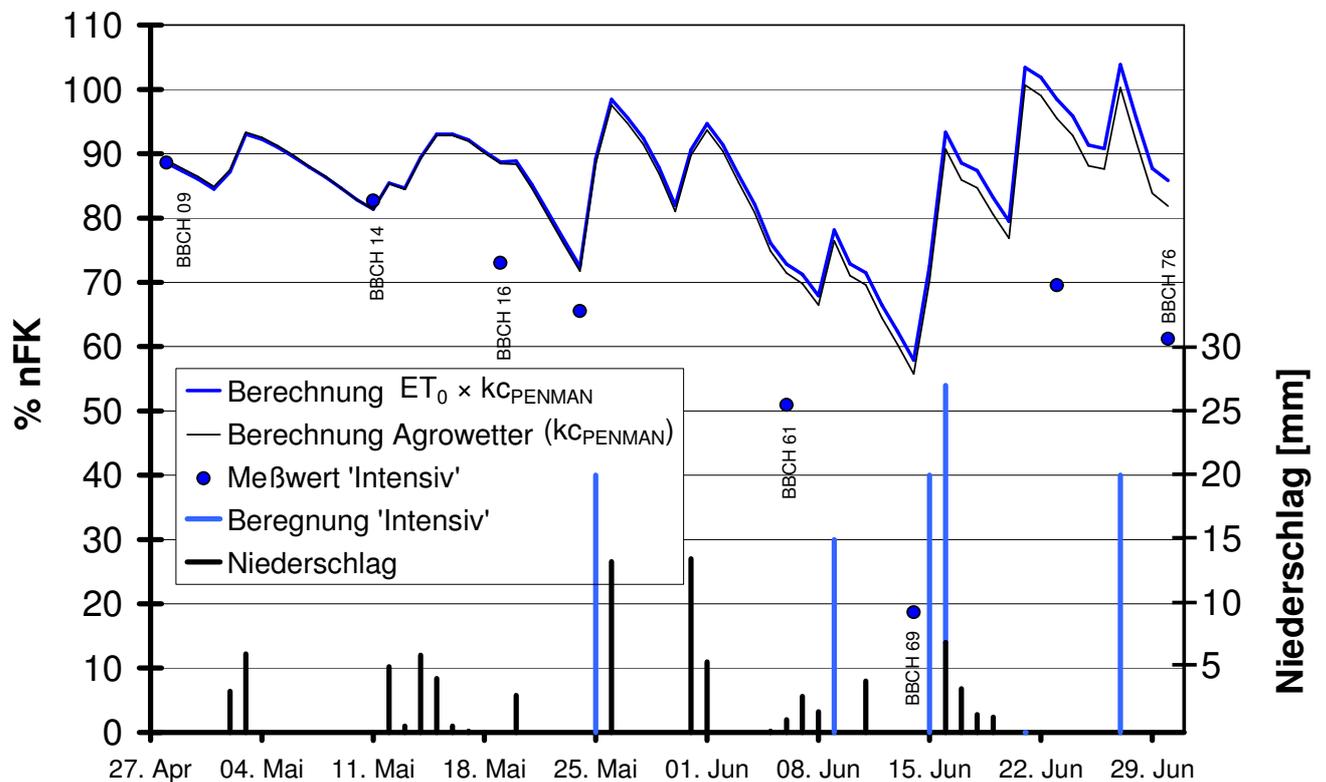


Abb. 3: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Berechnung - ($ET_0 \times k_{CPENMAN}$); bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv'** ('Agrowetter' = Mittelwert der berechneten Werte für 0-30 cm und 30-60 cm Tiefe)

Auch im Juni lag die ET_0 bei 111,3 mm. Bei einer ET_c von 148,4 mm ('Agrowetter') und nur 45,8 mm Niederschlag wurde insgesamt eine Bewässerung von 95 mm in der Variante 'Intensiv' notwendig. Mitte des Monats war auch der Schwellenwert der 'Praxis'-Variante von 40 % nFK unterschritten, so dass zunächst 20 mm beregnet wurden (vgl. Abb. 5). Eine weitere Wassergabe in Höhe von 20 mm erfolgte etwas verspätet am 27. Juni, je nach Sorte 1 bis 5 Tage vor der Ernte.

Die auf Basis der ET_0 -Werte mit $k_{CPENMAN}$ berechneten täglichen Verdunstungswerte stimmten weitgehend mit dem 'Agrowetter'-Ansatz überein (da rechnerisch nie eine Bodenfeuchte von 60 % nFK unterschritten wurde, war hier die berechnete $ET_{c,adj} \approx ET_c$). Mit einer berechneten Verdunstung von 223,1 mm wies 'Agrowetter' aber einen geringfügig höheren Wert für die Kulturzeit aus als die eigene Berechnung, die auf 218,8 mm kam (Tab. 5a). Auf Grund der eingeschränkten Wasserversorgung wurde seitens 'Agrowetter' für die Variante 'Praxis' nur eine $ET_{c,adj}$ von 190,2 mm, für die 'Kontrolle' von 169,1 mm berechnet.

Entsprechend den nahezu identischen Verdunstungswerten verliefen die berechneten Bodenfeuchtegehalte der Variante 'Intensiv' ebenfalls sehr ähnlich (Abb. 2 und 3). 'Agrowetter' berechnete zwar an mehreren Terminen für die obere Bodenschicht eine Bodenfeuchte von über 100 % nFK, zu einer Versickerung kam es aber dennoch nicht, da die Schicht 30-60 cm jeweils noch keine 100 % nFK aufwies. Bei der eigenen Berechnung ergab sich ebenfalls keine Versickerung, da mit maximal 103,8 % nFK nicht der gesetzte Schwellenwert von 105 % nFK überschritten wurde.

Berechnet man auf Basis ET_0 die Evapotranspiration der Erbsen mit den dafür vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehenen k_{CFAO} -Werten, so ergibt sich insgesamt eine ET_c von 311,4 mm. In der ersten Kulturphase errechnet sich so eine um rund 13 mm höhere ET_c (Tab. 5a), die zu einem Absinken der Bodenfeuchte in 0-30 cm auf unter 60 % nFK führte (Abb. 2). Im weiteren Kulturverlauf sank mit der so errechneten ET_c die Bodenfeuchte in 0-60 cm aber bis zum permanenten Welkepunkt (0 % nFK) ab (Abb. 4). Im Vergleich mit den in ein- bis 2-wöchigen Abstand gravimetrisch ermittelten Bodenwassergehalten ist allerdings eine deutliche Überschätzung der ET_c durch den Ansatz $ET_0 \times k_{CFAO}$ zu erkennen.

Im Gegensatz zum Ansatz $ET_0 \times k_{CFAO}$ führte der Ansatz $ET_0 \times k_{PENMAN}$ (auch 'Agrowetter') ab BBCH 14 zu einer deutlichen Unterschätzung der ET_c , so dass der Boden bis zu 40 %-Punkte trockener war als kalkuliert (Abb. 3). Damit fiel mit diesem Ansatz die Prognose der Bodenfeuchte deutlich schlechter als im Vorjahresversuch aus, wo bei zwar auch zwischenzeitlicher Unterschätzung der ET_c für den Erntetermin ein nahezu exakter Bodenwassergehalt vorhergesagt werden konnte (LABER & BRENNER 2010).

Die für die **PENMAN-Verdustungswerte** vom 'Geisenheimer Modell' vorgesehene Berechnung $ET_{PENMAN} \times k_{PENMAN}$ führte bis BBCH 61 zu einer sehr guten Übereinstimmung zwischen berechnetem und tatsächlichem Bodenwassergehalt (Abb. 4). Im letzten Kulturdrittel wurde der Boden zunächst 10 %-Punkte zu feucht, dann zu Kulturrende 10 bzw. 20 %-Punkte zu trocken eingeschätzt. Ursache hierfür könnte neben eine Überschätzung der ET_c auch die Nutzung von Bodenwasser unterhalb 60 cm durch die Erbsen gewesen sein, so dass die oberen Schichten weniger stark austrockneten. Tatsächlich nahm die nFK der Schicht 60-90 cm von anfänglich 80 % auf 48 % ab (Tab. 4).

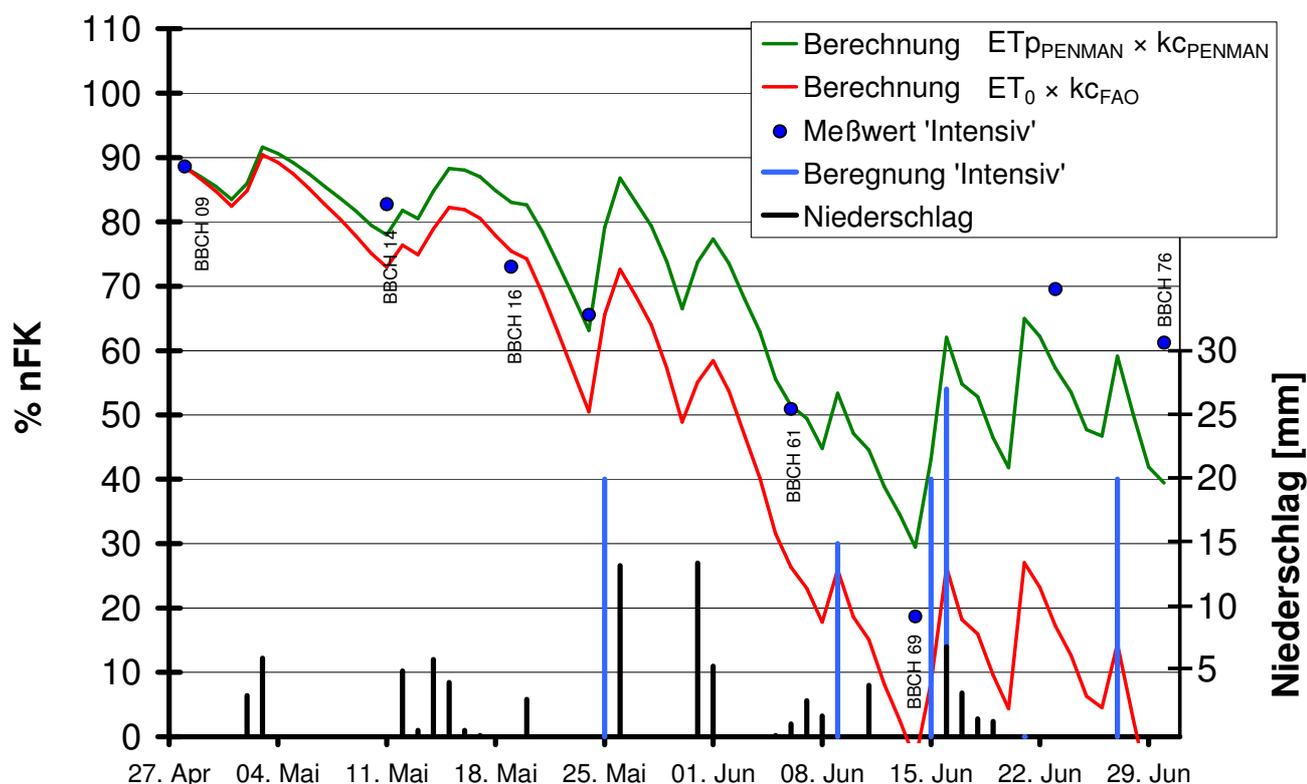


Abb. 4: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert auf Basis der täglichen Wasserbilanz: Niederschlag bzw. Berechnung - $(ET \times k)$; bzw. gravimetrisch bestimmt) **der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Intensiv'**

Auch eine Gesamtbilanzierung verdeutlicht, dass der Ansatz $ET_{pPENMAN} \times k_{CPENMAN}$ offensichtlich die ET_c der Variante 'Intensiv' für die Gesamt-Kulturzeit sehr gut abschätzte (Tab. 2): Während der Kulturzeit nahm der Bodenwassergehalt in 0-90 cm Tiefe um 43 mm ab. Dieser Wert weicht nur um 4 mm vom der Klimatischen Wasserbilanz vom -47 mm ab, so dass diese als sehr 'realitätsnah' einzustufen ist. Im Vorjahresversuch ergab der Ansatz $ET_{pPENMAN} \times k_{CPENMAN}$ allerdings eine ähnlich 'dramatische' Überschätzung der Verdunstung wie im aktuellen Versuch $ET_0 \times k_{CFAO}$ (LABER & BRENNER 2010).

Tab. 2: Bodenwassergehaltsänderung und Klimatische Wasserbilanz während der Kulturzeit der Erbsen

	Intensiv	Praxis	Kontrolle
Wassergehalt 0-90 cm BBCH 09	242		
BBCH 76	199	171	137
Wassergehaltsänderung	-43	-71	-105
ET_c bzw. ET_{c adj}	-263 ¹⁾	-190 ²⁾	-169 ²⁾
Niederschlag	101		
Berechnung	115	40	0
Klimatische Wasserbilanz	-47	-49	-68
Differenz³⁾	4	-22	-37

¹⁾: $ET_{pPENMAN} \times k_{CPENMAN}$; ²⁾ $ET_{c adj}$ laut 'Agrowetter'; ³⁾: Wassergehaltsänderung - Bilanzsaldo

Die relativ gute Anpassung von berechneter zu tatsächlicher Bodenfeuchte im Versuchsjahr 2010 bei Berechnung auf Basis $ET_0 \times k_{CPENMAN}$ bei gleichzeitiger Überschätzung der Verdunstung durch $ET_{pPENMAN} \times k_{CPENMAN}$ (LABER & BRENNER 2010) und der im aktuellen Versuch gefundenen 'Güte' der verschiedenen Modellansätze macht deutlich, dass das Verhältnis von $ET_{pPENMAN}$ zu ET_0 -Verdunstung nicht statisch sondern 'dynamisch' ist. So fließt in die ET_0 -Berechnung neben dem konstanten Bestandes(Stomata)widerstand auch der aerodynamische Widerstand ein, der wiederum von der Windgeschwindigkeit abhängig ist (ALLEN et al. 1998). Im aktuellen Versuch schwankte das Verhältnis von $ET_{pPENMAN}$ zu ET_0 -Tageswerten zwischen 1,04 und 1,42 mit einem Mittelwert von 1,21 (vgl. Abb. 1), während Im Versuch 2010 im Mittel ein Faktor von 1,32 festgestellt wurde. PASCHOLD et al. (2011) berichten von mittleren Werten über die 10 Versuchsjahre hinweg von 1,33 (Sommer) bzw. 1,54 (Frühjahr und Herbst) und setzen dementsprechend die k_{CFAO} -Werte um Faktor 1,4 höher an als die $k_{CPENMAN}$ -Werte.

Der Bodenfeuchtigkeitsgehalt der 'Praxis'-Variante wurde vom 'Agrowetter'-Modul im Gegensatz zur 'Intensiv'-Variante wie im Vorjahresversuch sehr gut prognostiziert (Abb. 5). Die Bodenwassergehaltsänderung während der Kulturzeit lag hier mit -71 mm um 22 mm über der Klimatischen Wasserbilanz von -49 mm (Tab. 2), so dass die $ET_{c adj}$ offensichtlich etwas unterschätzt wurde. Bei der 'Kontrolle', die die Berechnungsgaben in Höhe von je 20 mm am 15. und 27. Juni nicht erhielt, betrug diese Differenz allerdings schon 37 mm; offensichtlich wurde hier vom Modell die $ET_{c adj}$ auf Grund der limitierten Wasserverfügbarkeit etwas stärker eingeschränkt, als dies tatsächlich der Fall war.

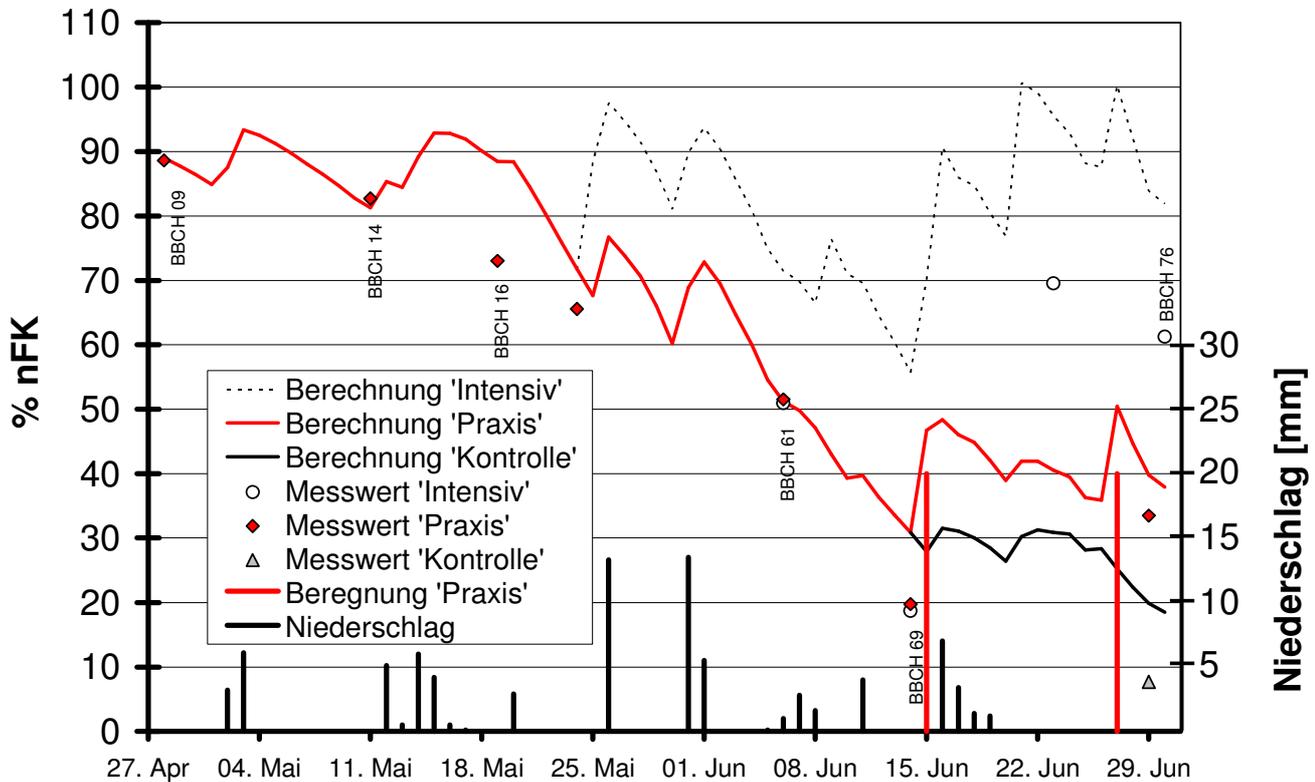


Abb. 5: Niederschlags- und Berechnungsmengen sowie Bodenwassergehalt (kalkuliert, gravimetrisch bestimmt) der Schicht 0-60 cm bei der Variante 'Praxis' und 'Kontrolle' laut 'Agrowetter'

Der Erbsenbestand bzw. die unterschiedlichen Varianten zeigten während der Kulturzeit keine auffälligen Trockenstresssymptome wie (mittägliches) Welken etc.. Optisch war nur eine größere Bestandeshöhe bei der 'Intensiv'-Variante auszumachen. Abgeschwächter als im Vorjahresversuch war in dieser Variante wiederum eine Botrytis-Fäulnis in den unteren Blättern festzustellen.

Im Gegensatz zum Vorjahresversuch mit einem für jede Sorte einheitlichen Erntetermin wurde versucht, die verschiedenen Sorten bzw. Varianten jeweils mit einem Tendometerwert (TW) von ca. 120 zu ernten. Dazu wurden, nach vorherigem Probedrusch, die 'Intensiv'-Varianten bis zu 3 Tage nach der 'Kontrolle' beerntet (Tab. 6). Bei der Sorte 'Naches' wurde die rechtzeitige Ernte der 'Kontrolle' und 'Praxis'-Variante versäumt, so dass hier mit einem TW von 152 bzw. 144 ca. zwei Tage zu spät geerntet wurde. Gleichzeitig wurde die Variante 'Intensiv' mit einem TW von 111 etwas zu früh geerntet, so dass sich auch hier für die 'Praxis'-Variante ein Reifevorsprung von ca. 3 Tagen errechnet. Bei der Sorte 'Puget' belief sich der Reifevorsprung der 'Kontrolle' nur auf maximal einem Tag.

Beim dem auf einen TW von 120 korrigierten **Frischmasseertrag** konnte keine signifikante Bewässerungswirkung ermittelt werden (Abb. 6). Allerdings errechnete sich neben einem signifikanten Sorteneffekt ($GD_{(\alpha<0,05)}$: 12,4 dt/ha) eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung. So zeigte die Sorte 'Puget' (entsprechend ihrer "Trockenstresstolerants") praktisch keine Ertragsreaktion auf die Bewässerung, während 'Ambassador' ("wasserbedürftig") und 'Naches' ("trockenstresstolerant") deutlich positiv auf die Bewässerung reagierten. 'Mundial' ("wasserbedürftig") zeigte in der 'Kontrolle' und 'Praxis'-Variante den höchsten Ertrag. Bei intensiver Bewässerung kam es aber hier zu einem massiven Ertragseinbruch, der allerdings nur 2 der 4 Wiederholungen betraf, so dass bei alleiniger Betrachtung der Sorte 'Mundial' keine Bewässerungseffekte abzusichern waren. Ursache für den starken Ertragseinbruch in den beiden Wiederholungen dürfte der hier nur geringe Harvest-Index (s. u.) gewesen sein.

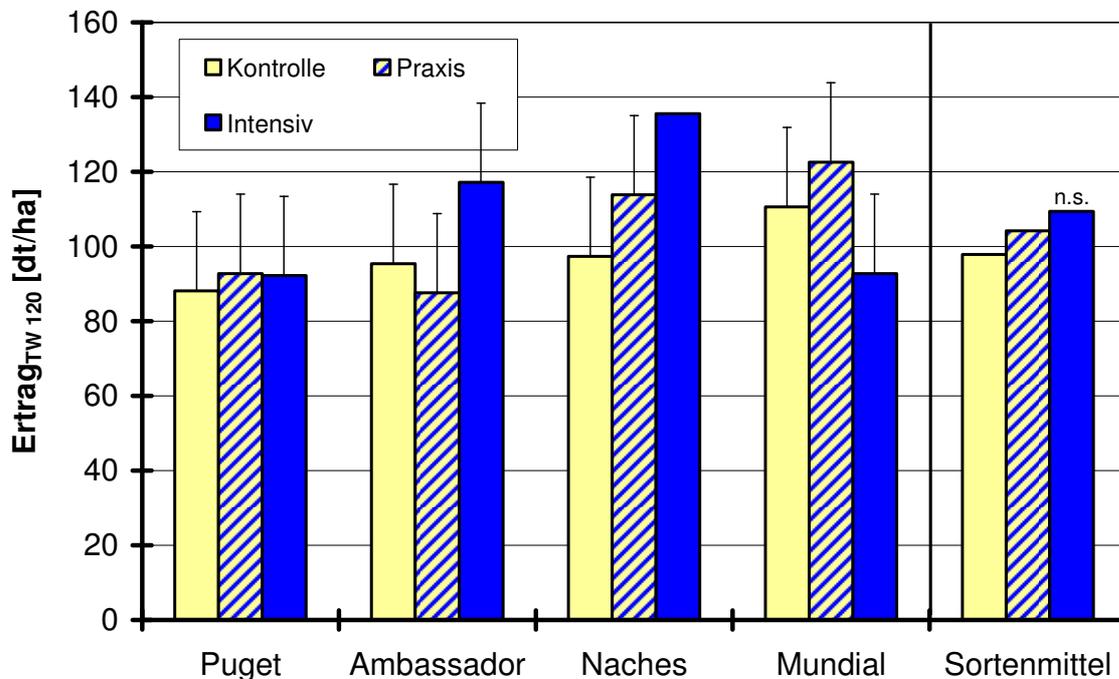


Abb. 6: Korrigierter Frischmasse-Ertrag (TW 120) der verschiedenen Sorten in Abhängigkeit von der Bewässerungsintensität
 ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Wechselwirkung: 21,3 dt/ha = I)

Im Gegensatz zum diesjährigen Ergebnis reagierte 'Puget' im Vorjahresversuch (LABER & BRENNER 2010) tendenziell mit dem größten Ertragszuwachs durch eine moderate Bewässerung, zeigte aber auch den stärksten Ertragsrückgang zwischen 'Praxis'- und 'Intensiv'-Variante.

Entsprechend der Abnahme der Ernterückstände mit abnehmender Beregnungsintensität (o. Abb., s. Tab. 6) nahm auch die gesamte **Aufwuchsmenge** sehr deutlich ab (Abb. 7). Allerdings bestand neben einem Sorteneffekt ($GD_{(\alpha<0,05)}$: 21,0 dt/ha) eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung, die sich insbesondere bei der Sorte 'Puget' zeigte, die im Gegensatz zu den drei anderen Sorten kaum auf die Wassergaben reagierte.

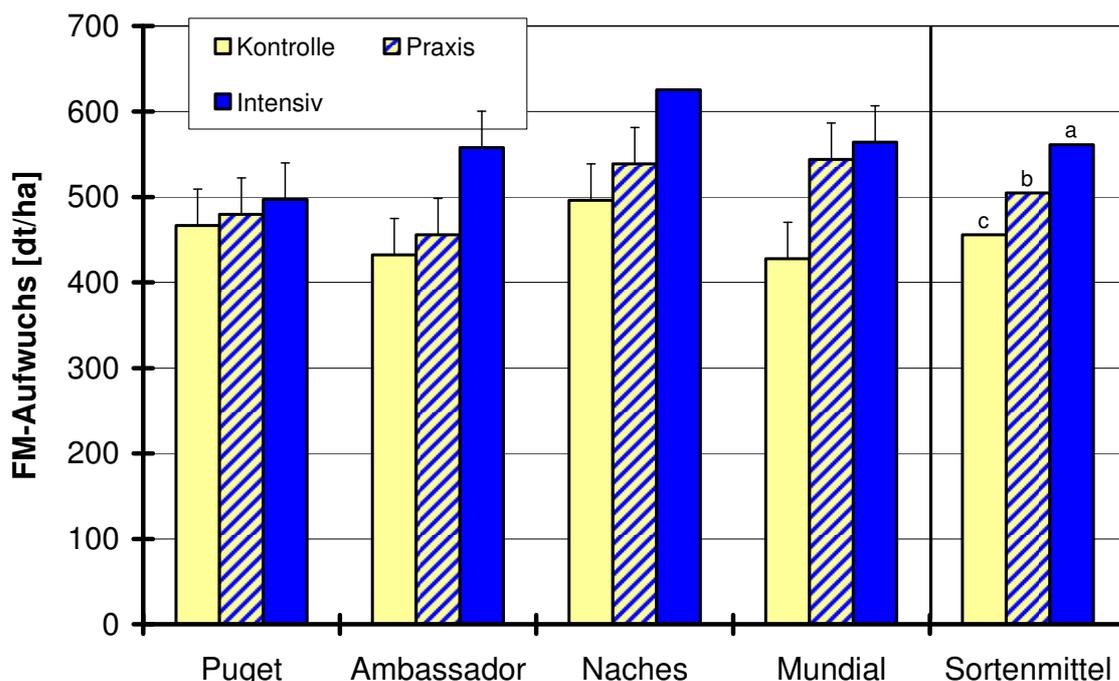


Abb. 7: Frischmasse-Aufwuchs der verschiedenen Sorten in Abhängigkeit von der Bewässerungsintensität ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 29,1 dt/ha; Wechselwirkung: 42,7 dt/ha = I)

Analog der nur geringfügigen Beeinflussung des Aufwuchses und des Ertrages durch die Bewässerung bei der Sorte 'Puget' wurde der **Harvest-Index** (HI; Anteil Markware am gesamten Aufwuchs) bei dieser Sorte nicht von der Bewässerungsintensität beeinflusst (Abb. 8). Bei den Sorten 'Ambassador' und 'Naches' fiel er mit der intensiven Wassergabe um rund 3,8 bzw. 2,5 %-Punkte ab. Bei 'Mundial' wurde in den beiden ertragsschwachen Wiederholungen nur ein HI von 11 % ermittelt, aber auch in den anderen beiden Wiederholungen fiel der HI von rund 25 ('Kontrolle'/'Praxis') auf 19 % ab. (Vermutlich beruht der starke Abfall des HI bei dieser Sorte aber nur zum Teil auf einem tatsächlich geringeren Kornanteil. Wahrscheinlich war auch die 'Dreschbarkeit' beeinträchtigt, so dass möglicherweise vermehrt Hülsen ungeöffnet blieben und/oder die Siebe durch das 'schmierigere' Dreschgut verstopften. Eine entsprechende Beobachtung wurde allerdings seitens der Arbeitskräfte nicht vermerkt.)

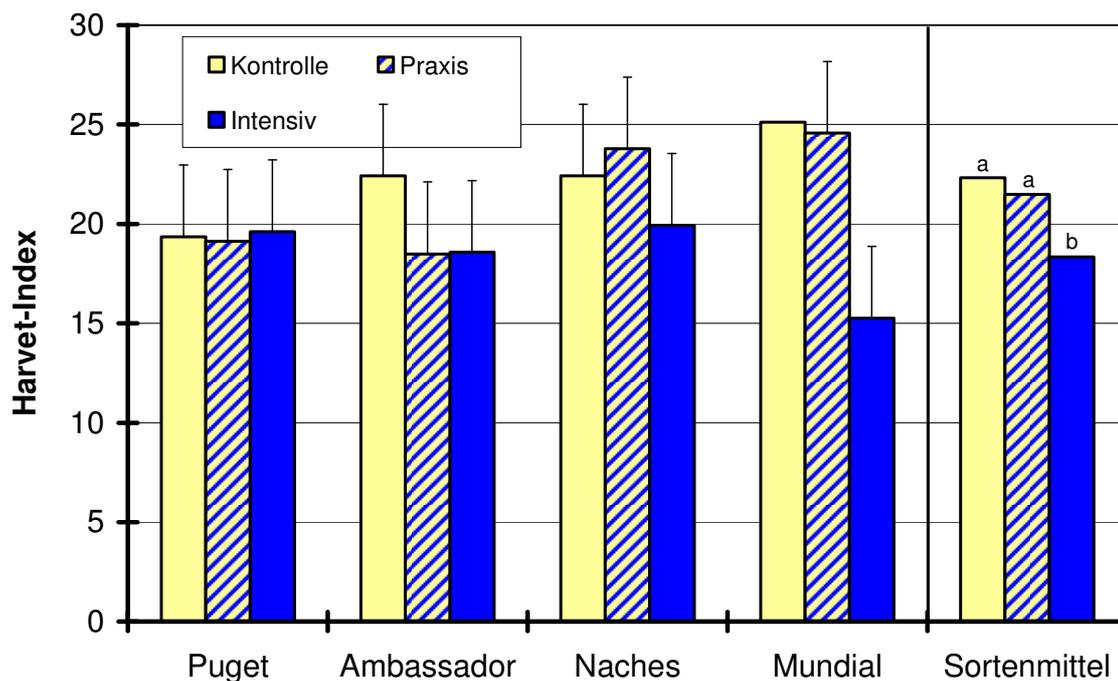


Abb. 8: Harvest-Index (Anteil Markware am gesamten Aufwuchs) **der verschiedenen Sorten in Abhängigkeit von der Bewässerungsintensität** ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 1,9 %; Wechselwirkung: 3,6 % = I)

Fazit

Die über die gesamte Kulturzeit herrschenden trockenen Bedingungen führten bei 2 der 4 untersuchten Sorten in der unberechneten Variante zu Ertragseinbußen von 22 bzw. 38 dt/ha gegenüber der mit 115 mm berechneten 'Intensiv'-Variante. Eine, vom Züchter als 'eher trocken tolerant' eingeschätzte Sorte, reagierte praktisch nicht auf die Wassergabe. Aber auch diese 'trocken tolerante' Sorte zeigte bei der massiven Austrocknung des Bodens auf unter 10 % nFK in 0-60 cm keine Ertragsvorteile gegenüber den anderen Sorten.

Die Prognose der Verdunstung des Erbsenbestandes und damit des Bodenwassergehaltes gelang mit dem 'klassischen' Modellansatz auf Basis der potentiellen Verdunstung nach PENMAN sehr gut. Da der gleiche Ansatz im Vorjahresversuch in einer Phase mit sehr hohen Verdunstungsraten die Verdunstung des Erbsenbestandes aber massiv überschätzte, kann eine alleinige Beregnungssteuerung von Erbsen nur auf Basis der Klimatischen Wasserbilanz ohne zwischenzeitliche Überprüfung des tatsächlichen Bodenwassergehaltes nicht uneingeschränkt empfohlen werden.

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)

Tab. 4: 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		alle	82	89	91	100	100	100
28. Apr	09	alle	78	83	81	90	88	80
11. Mai	14	alle	73	83		78	87	
19. Mai	16	alle	69	77	81	71	75	80
24. Mai		alle	61	78		53	78	
6. Juni	61	Kon. + Prax.	56	69	76	42	62	69
		Intensiv	58	67	77	45	57	71
14. Juni	69	Kon. + Prax.	44	51	55	15	25	26
		Intensiv	46	48	61	18	20	38
23. Juni		Intensiv	76	65		86	53	
29. Juni	76	Kontrolle	41	43	54	6	9	25
		Praxis	52	56	63	31	36	42
30. Juni	76	Intensiv	71	63	66	74	48	48

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 Todwassergehalt: 12,6 Vol.-%; ⁴⁾: Die Proben wurden jeweils am frühen 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 Erbsenbestandes [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}}	Intensiv	Praxis	Kontrolle
09-16	63,8	77,5	1,23	25,5	38,3	31,0	26,1		
16-61	79,5	96,2	1,21	71,6	103,4	86,6	72,8	72,2	
61-69	29,0	34,2	1,17	37,7	52,2	44,5	38,5	28,1	
69-76	56,0	67,5	1,22	84,0	117,6	101,3	85,7	63,8	42,7
09-76	228,3	275,4	1,21	218,8	311,4	263,3	223,1	190,2	169,1

Tab. 5b: 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
09-16	25,7	0	0	keine Versickerung					
16-61	36,3	20	0						
61-69	8,4	15	0						
69-76	30,8	80	40						
09-76	101,2	115	40						

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

³⁾: Mittelwerte der täglichen Quotienten;

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

⁵⁾: aktuelle Evapotranspiration des Erbsenbestandes laut 'Agrowetter', bei Variante 'Intensiv' ≈ ET_c;

Tab. 6: Erträge und Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten

Bewässerung Sorte ¹⁾	Kontrolle				Praxis				Intensiv			
	Pug	Amb	Nac	Mun	Pug	Amb	Nac	Mun	Pug	Amb	Nac	Mun
Erntetermin	28.6.	30.6.	4.7.	1.7.	28.6.	30.6.	4.7.	4.7.	29.6.	1.7.	4.7.	4.7.
FM-Ertrag [dt/ha] ²⁾	91	97	111	107	92	84	128	133	97	104	125	86
Tenderometerwert ³⁾	124	122	152	116	119	115	144	134	128	107	111	112
Ertrag _{TW 120} [dt/ha] ⁴⁾	88	95	97	111	93	88	114	123	92	117	136	93
Ernterückstä. [dt/ha] ⁵⁾	376	336	385	320	388	372	411	411	400	454	501	478
Aufwuchs [dt/ha]	467	432	496	428	480	456	539	544	497	558	626	564
Harvest-Index [%] ⁶⁾	19,4	22,4	22,4	25,1	19,1	18,5	23,8	24,6	19,6	18,6	19,9	15,3

¹⁾: Puget, Ambassador, Naches, Mundial;

²⁾: $GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: n.s.; Sorteneffekt: 12,0 dt/ha; Wechselwirkung: 20,8 dt/ha;

³⁾: Mischprobe über die Wiederholungen (je 3 Messwiederholung.);

⁴⁾: Ertrag korrigiert auf eine Tenderometerwert von 120 nach der Reife-Ertragsbeziehung von LABER (2011);

⁵⁾: Ernterückstände, $GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerungseffekt: 28,2 dt/ha; Sorteneff.: 17,4 dt/ha; Wechselwirkung: 38,3 dt/ha;

⁶⁾: = FM-Ertrag ÷ Aufwuchs

Literatur:

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

ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES, D., und M. SMITH. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO, Rom (I)

FA-GM 2011a: Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2011 - für Penmann-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: Trotz massiver Austrocknung des Bodens kaum Ertragseinbußen bei unberechneten Markerbsen. www.hortigate.de

LABER, H. 2011: Abreife- und Ertragsverlauf bei normalblättrigen und fiederblattlosen Markerbsen praktisch gleich; TW und AIS eng korreliert. 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., J. KLEBER und N. MAYER 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Gemüsebau. www.fa-gm.de (Stand 4.5.2010)