

Hohe Niederschlags- und Bewässerungsmengen führten zu Fäulnis und sortenabhängig zu Ertragseinbußen bei Erbsen

Markerbsen, Bewässerung, Sorte

Zusammenfassung

Bei einem erneuten Bewässerungsversuch mit vier verschiedenen Markerbsensorten am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden-Pillnitz im Jahr 2012 wurden auf Basis klimatischer Wasserbilanzen bis zu 170 mm Zusatzwasser gegeben. Bei gleichzeitig hohen Niederschlägen vor der Ernte führte die intensive Zusatzbewässerung zu einer starken Fäulnis der Erbsen, die zu Druschproblemen und damit Ertragsverlusten führte. Nur eine der vier Sorten reagierte positiv auf eine reduzierte Bewässerung von 122 mm.

Versuchshintergrund u. -frage

Im hiesigen Anbaubereich 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 Versuchsjahr 2010 konnten trotz massiver Austrocknung der unbewässerten Kontrolle im letzten Kulturdrittel keine Ertragseffekte einer Bewässerung beobachtet werden. Im Versuch 2011 setzten bereits vor Kulturmitte trockene Bedingungen ein und es zeigten sich sortenspezifisch unterschiedlich ausgeprägte Mehrerträge durch eine Bewässerung (LABER & BRENNER 2010 bzw. 2011).

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
Herkunft	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⁾	89 (a)	95 (a)	94 (a)	83 (b)

¹⁾: Einschätzung/Angabe des Züchters ('Spring' +); ²⁾: Auszählung am 9.5., 5,75 m² pro Sorte pro Wiederholung, (GD_{0,05}: 6,1 Pfl./m²)

Die Aussaat erfolgte mit dem 18. April relativ spät, um möglichst trockene Boden- und Witterungsbedingungen vorzufinden. Nach dem Auflaufen wurde am 2. Mai der Ausgang-Bodenwassergehalt bestimmt und mit der Verdunstungsbilanzierung (s. u.) begonnen.

Mit ca. 90 Pfl./m² wurde zumeist die angestrebte Bestandesdichte erreicht, aber auch 'Mundial' bildete mit 83 Pfl./m² noch einen 'ordentlichen' Bestand (Tab. 1). Durch praxisübliche Pflanzenschutzmaßnahmen war der Erbsenbestand unkraut- und, mit Ausnahme der zur Erntezeit aufgetretenen Fäulnis (s. u.), befallsfrei.

Versuche im deutschen Gartenbau

**Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
Abteilung Gartenbau, Dresden-Pillnitz**
Bearbeiter: Hermann Laber und Silvan Liebsch

2 0 1 2

Kultur- und Versuchsdaten:

18. April 2012: Aussaat der Sorten (90 keimfähige Körner/m²), Beetanbau (1,5 m) mit 10 Reihen, Reihenabstand 11,5 cm,
2. Mai: Bodenprobe: Ausgangs-Bodenwassergehalt (Tab. 3)
21. Mai: 6-Blatt-Stadium (BBCH 16)
11. Juni: Beginn der Blüte (BBCH 61)
18. Juni: Beginn Hülsenbildung (BBCH 69)
4.-6. Juli: Ernte (BBCH 76)
Bodenart: s. Tab. 2, 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**' (keine Beregnung) wurde in der Variante '**Intensiv**' nach der 'Geisenheimer Bewässerungssteuerung' (PASCHOLD et al. 2010) eine klimatische Wasserbilanz erstellt und damit der Bodenwassergehalt bzw. dessen Änderung über die Zeit berechnet. Allerdings sollte abweichend vom 'einfachen' Modellansatz (bei dem der Boden durch die Beregnungsgaben nach Absinken auf ca. 60 % nutzbare Feldkapazität (nFK) theoretisch immer wieder auf den Ausgangswassergehalt von rund 100 % nFK aufgefüllt werden soll) der Boden nur bis ca. 90 % nFK auffüllt werden (auch PASCHOLD et al. empfehlen eine ähnliche Vorgehensweise, um einen Puffer für Niederschläge zu haben). 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 in Absprache mit den Geisenheimer Kollegen mit den gleichen (z. Z. in den aktuellen Beregnungsempfehlungen nicht wiedergegebenen) kc -Werten wie in den Vorversuchen gerechnet (vgl. Abb. 1), die auf die potentielle Verdunstung nach der modifizierten PENMAN-Gleichung ($ET_{pPENMAN}$) ausgelegt sind (kc_{PENMAN}). In der Variante '**Minimiert**' wurde ab dem 6-Blatt-Stadium (BBCH 16) mit um 0,2-Punkte ab Hülsenbildung um 0,4-Punkte geringeren kc -Werten gerechnet (vgl. Abb. 1).

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.

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 mit der gegenüber der $ET_{pPENMAN}$ deutlich niedrigeren FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) gerechnet. Seit Beginn der Saison 2012 wird diese ET_0 allerdings mit einem windabhängigen Faktor 'korrigiert' (JANSSEN 2012a), so dass sie weniger stark von $ET_{pPENMAN}$ 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 Varianten 'Minimiert' und 'Kontrolle' eine Abschätzung der Bodenwassergehalte vorgenommen werden. 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' 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 $ET_{pPENMAN}$ -Verdunstungswerte dieser Station 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.

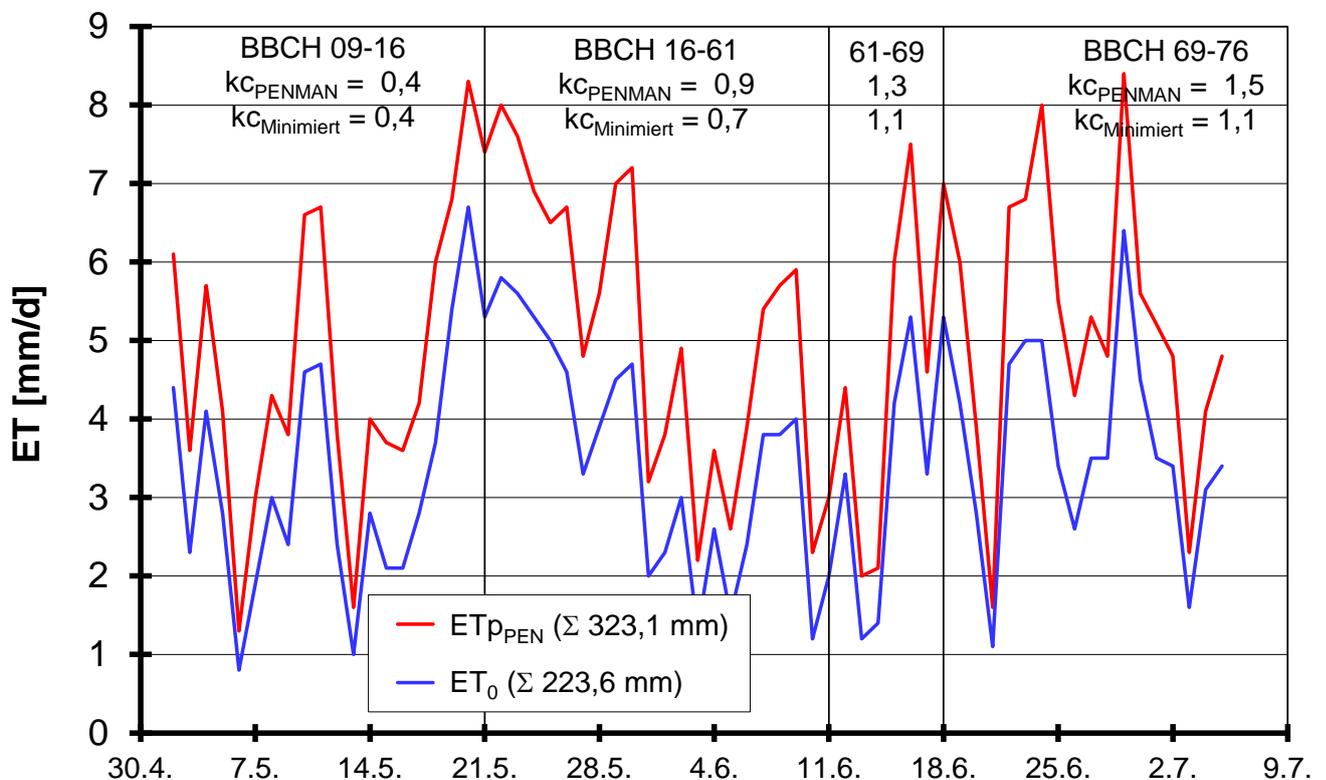


Abb. 1: Evapotranspiration nach der modifizierten PENMAN-Gleichung ($ET_{pPENMAN}$) und FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) für den Standort Dresden-Hosterwitz

Die Beregnung der entsprechenden Parzellen (Haupteinheit) erfolgte mit einem Parzellen-Gießwagen mit Flachstrahldüsen. Um eine vollständige Infiltration sicherzustellen, wurden je Überfahrt zumeist nur 4 mm ausgebracht, so dass bis zu 6 Überfahrten pro Beregnungsgabe erforderlich waren.

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.

Ergebnisse

Nach einem Winter mit ausreichenden Niederschlägen (117 mm Niederschlag vom 1. November bis 4. Februar) wurde am 5. Februar die FK der Versuchsfläche durch Ziehen einer Bodenprobe bestimmt. Bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³ wurde als Mittel der mittlerweile vorliegenden 3 Untersuchungen eine FK von 27,0 Vol.-% (0-30 cm) bzw. 27,1 Vol.-% (30-60 cm) errechnet (Tab. 3).

Die Kartieranleitung (BGR 2005) weist dagegen mit 30 Vol.-% (Sl4, Rohdichte 1,5 g/cm³) bzw. 33 Vol.-% (Ls3) eine höhere FK aus. Dementsprechend wurde der bei der Berechnung der nFK (0-60 cm) zugrunde gelegte Todwassergehalt gegenüber der Kartieranleitung (Sl4: 12 Vol.-%, Ls3: 17 Vol.-%,) mit 10,8 Vol.-% bzw. 14,0 Vol.-% jeweils analog reduziert, so dass sich für die Schicht 0-60 cm eine mittlere nFK von 14,7 Vol.-% errechnet.

Kurz nach dem Auflaufen der Erbsen (BBCH 09) wurde Anfang Mai ein Ausgangs-Bodenwassergehalt in 0-60 cm Tiefe von nur 57,5 % nFK ermittelt. Da Niederschläge nicht in der angekündigten Höhe fielen, mussten die Variante 'Intensiv' und 'Minimiert' am 8./9. Mai mit insgesamt 24 mm Zusatzwasser bis auf knapp 90 % nFK (0-30 cm: > 100 % nFK) aufgefüllt werden (Abb. 2 und 3, Tab. 4b).

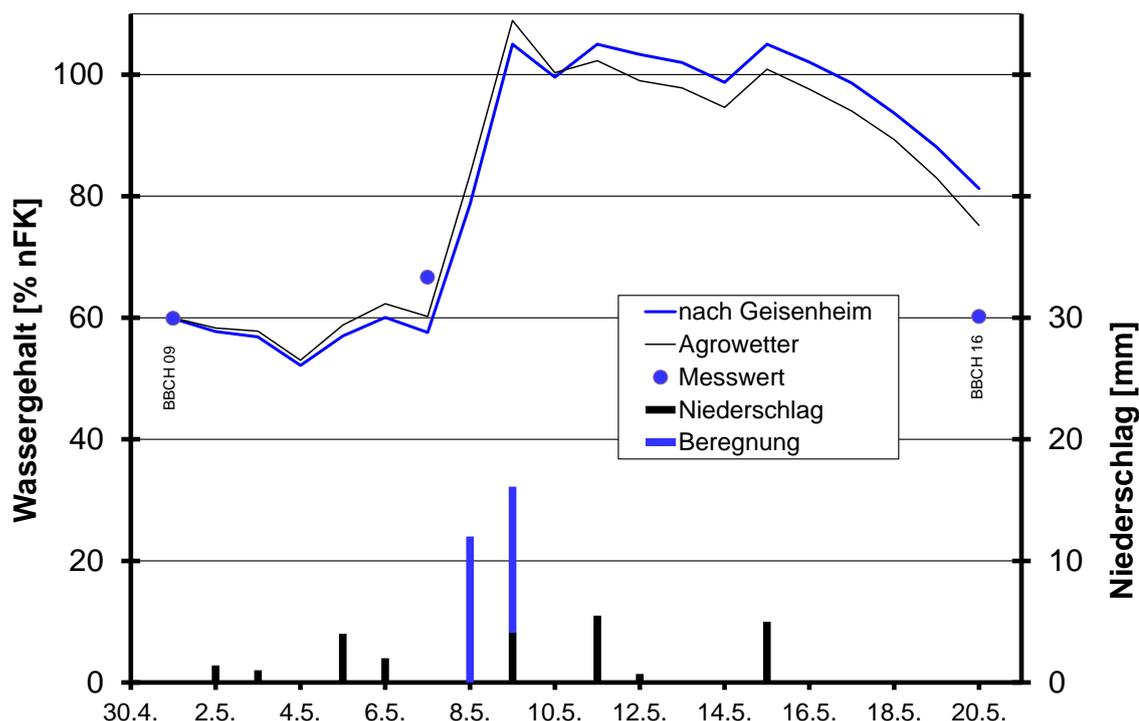


Abb. 2: Niederschlagsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-30 cm der Varianten 'Intensiv' und 'Minimiert' bis BBCH 16 nach 'Geisenheim' ($ET_{PENMAN} \times k_{CPENMAN}$) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

Um/nach dem 6-Blatt-Stadium herrschten mit ET_{PENMAN} -Werten von bis zu 8 mm/d und ausbleibenden Niederschlägen sehr trockene Bedingungen, so dass die Variante 'Intensiv' nach dem 'Geisenheimer Modell' binnen 9 Tagen mit insgesamt 74 mm beregnet werden musste. Nachfolgende Niederschläge füllten dann den Boden (rechnerisch) bis auf FK auf (Abb. 3). Nach dem Hülsenansatz (BBCH 69) mussten weitere 72 mm gegeben werden, wobei die am

23. Juni notwendig gewesene Bewässerung aus terminlichen Gründen erst am 26. Juni gegeben werden konnte. Nach dem 29. Juni blieben Niederschläge in der angekündigten Höhe zunächst aus, so dass auch hier die Bodenfeuchte (rechnerisch) kurzfristig auf 40 % nFK sank. Insgesamt wurde die Variante 'Intensiv' mit 170 mm bewässert (Tab. 4b). In der Variante 'Minimiert', bei der sich auf Grund geringer angesetzter k_c -Werte eine geringere ET_c errechnete, mussten insgesamt nur 122 mm Zusatzwasser gegeben werden (vgl. Abb. 4).

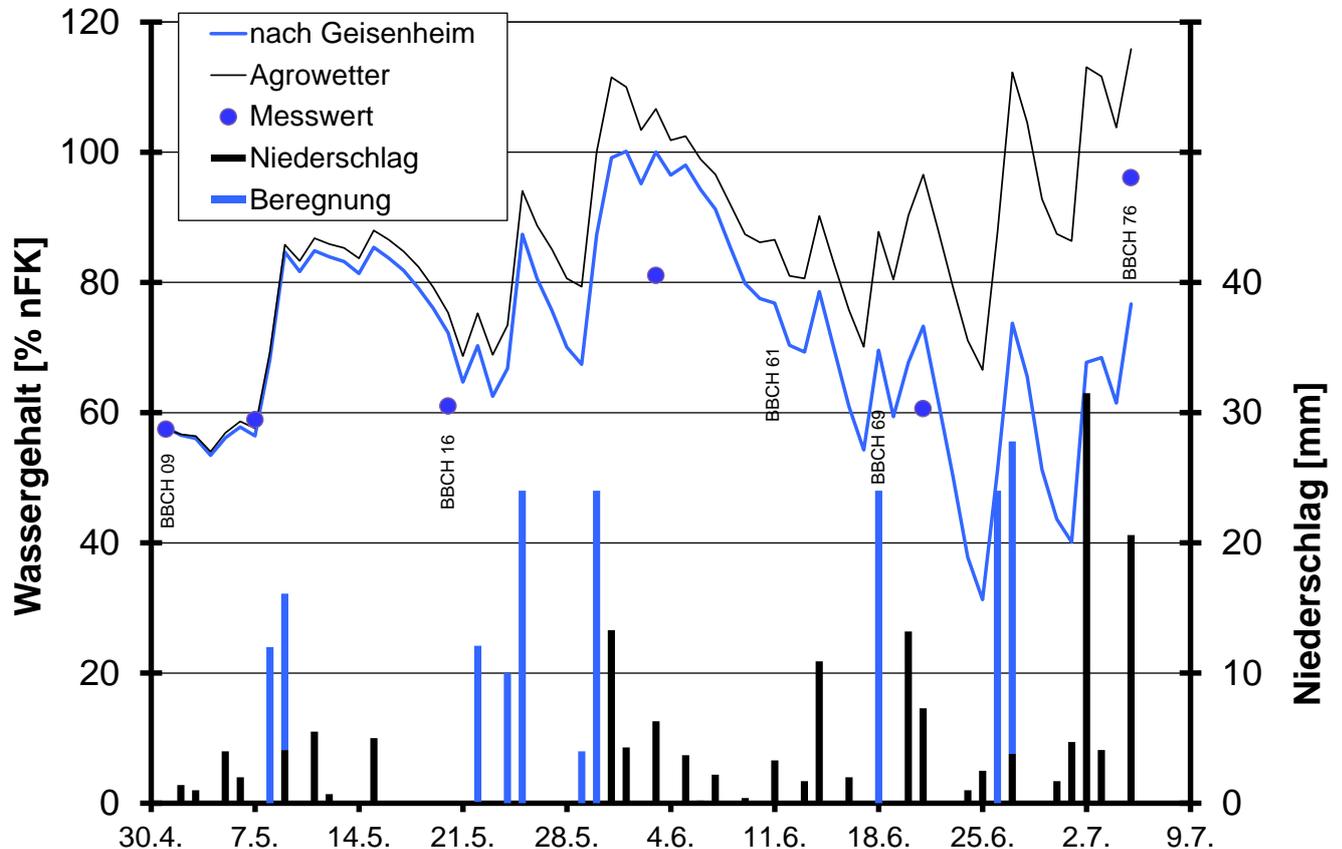


Abb. 3: Niederschlags- und Berechnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' ($ET_{pPENMAN} \times K_{CPENMAN}$) bzw. 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

Für die gesamte Kulturzeit errechnete sich für die Variante 'Intensiv' nach 'Geisenheim' eine ET_c von 316,1 mm. Obgleich 'Agrowetter' ET_c auf Basis der hier um Faktor 1,48 (vgl. Tab. 4a) geringeren FAO-Gras-Referenzverdunstung (ET_0) berechnet, kam das Modell mit 253,5 mm zu einer nur um Faktor 1,25 geringeren ET_c . Dieses ist auf die 'Windkorrektur' und die etwas geringeren k_c -Werte (0,4; 0,85; 1,25; 1,3; JANSSEN 2012b) zurückzuführen.

Entsprechend der unterschiedlichen Verdunstungswerte bei den beiden Modellen drifteten die berechneten Bodenfeuchtegehalte bei der Variante 'Intensiv' mit der Zeit auseinander (Abb. 3). Hinzu kam, dass 'Agrowetter' etwa zu Kulturmitte eine Versickerung von 11,7 mm und zu Kulturende von 15,0 mm berechnete, während sich der Boden nach dem 'Geisenheimer Modell' auf maximal 100,1 % auffüllte und damit keine Versickerung angenommen wurde.

Das tatsächlich eine Versickerung stattgefunden haben muss, lässt sich aus den Bodenwassergehalten der Schicht 60-90 cm ableiten, die zu Kulturende einen höheren Wassergehalt aufwiesen als zu Kulturbeginn (Tab. 3).

Im Vergleich mit den tatsächlich ermittelten Bodenwassergehalten wurde der Bodenwassergehalt von 'Agrowetter' zumeist deutlich überschätzt (Abb. 3). Lediglich zu Kulturrende glichen sich Modell und Realität wieder an, da sich nach 'Agrowetter' die Bodenfeuchte nach den ergiebigen Niederschlägen durch die Sickerwasserbildung auf FK-Niveau 'einpendelte', was offensichtlich auch der Realität entsprach.

Auch die Berechnung nach dem 'Geisenheimer Modell' führte zunächst zu einer mäßigen Überschätzung der Bodenwassergehalte. Wie in den vorangegangenen 2 Versuchen (LABER & BRENNER 2010 u. 2011) wurde dann aber zu Kulturrende der Bodenwassergehalt unterschätzt, so dass anzunehmen ist, dass der hier angenommene k_c -Wert von 1,5 zu hoch angesetzt ist.

Hierbei muss man allerdings berücksichtigen, dass die k_c -Werte beim 'Geisenheimer Modell', die ursprünglich aus der Relation zwischen der im Lysimeter-Versuch gemessenen ET_c und der ET_p errechnet wurden, im Laufe eines 'Evaluierungsprozesses' häufig gesenkt wurden, wenn in Feldversuchen mit entsprechend geringeren Beregnungsgaben gleich hohe oder sogar höhere Erträge erzielt werden (KLEBER 2012). Bei Erbsen ist dieser Prozess noch nicht abgeschlossen.

Für die nur moderat beregnete Variante 'Minimiert' berechnete 'Agrowetter' Bodenwassergehalte von kurzzeitig unter 60 % nFK, in einem Fall unter 50 % nFK (Abb. 4). (Die Bemessung der Beregnung erfolgte allerdings nach der eigenen Berechnung, die sich aber kaum von 'Agrowetter' unterschied.)

In der 'Kontrolle' trocknete der Boden nach dem Modell ab Kulturmitte über längere Zeit auf Werte um 30 % nFK aus; am 21. Juni wird dies auch durch eine Bodenwasserprobe bestätigt. Auch zu anderen Terminen prognostizierte 'Agrowetter' die Bodenwassergehalte dieser beiden Varianten relativ gut, nur zu Kulturmitte wurde der Wassergehalt der Variante 'Minimiert' deutlich unter-, der Wassergehalt der 'Kontrolle' deutlich überschätzt.

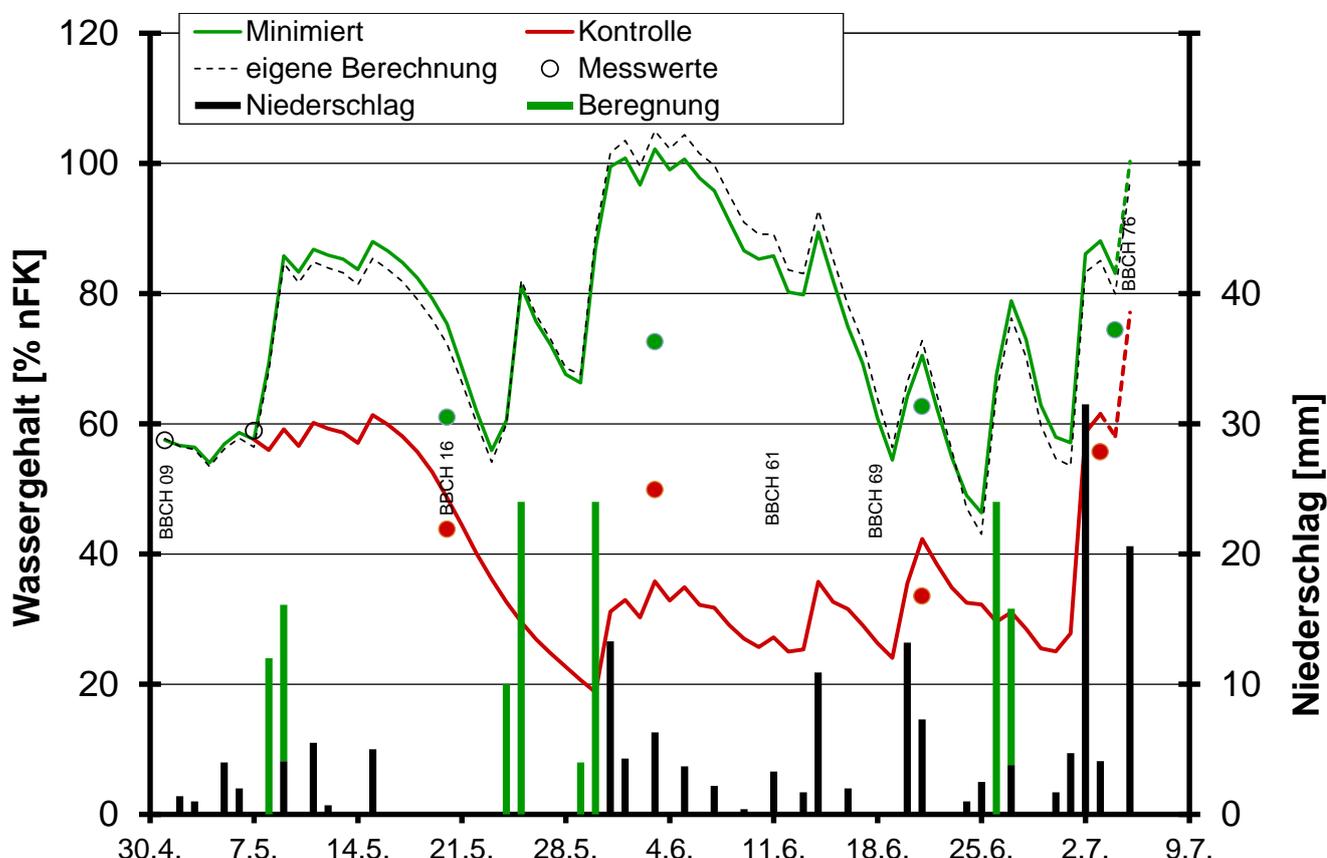


Abb. 4: Niederschlags- und Beregnungsmengen und berechneter Bodenwassergehalt der Schicht 0-60 cm der Varianten 'Minimiert' und 'Kontrolle' nach 'Agrowetter' sowie gravimetrisch bestimmter Bodenwassergehalt

Trotz der offensichtlich massiven Austrocknung des Bodens in der 'Kontrolle' zeigten die Erbsen hier auch vor den kurz vor der Ernte einsetzenden Niederschlägen keine auffälligen Trockenstresssymptome.

Signifikante Beregnungseffekte wurden aber bereits bei der Bonitur des **Blühbeginns** sichtbar. (Mit Ausnahme des Harvest-Indexes wurden bei allen Parametern auch signifikante Sorteneffekte festgestellt, auf die hier aber nicht eingegangen werden soll.) So blühten die unberegneten Erbsen in der 'Kontrolle' im Schnitt drei Tage vor den bewässerten (Abb. 5).

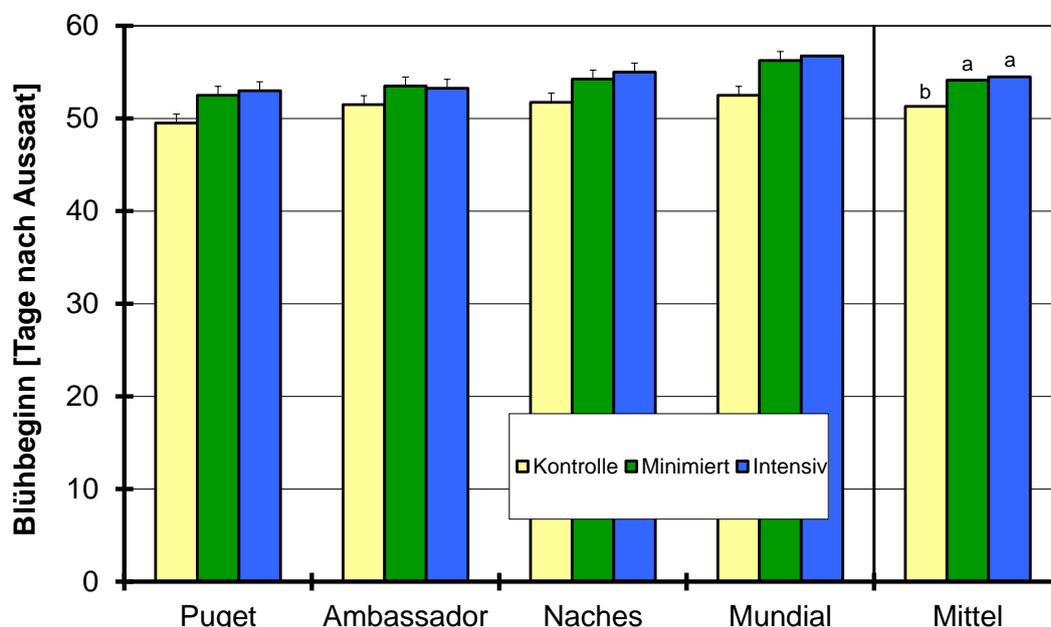


Abb. 5: Blühbeginn (Tage nach Aussaat) in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha < 0,05)}$ Bewässerung x Sorte: 1,0 Tage = 1)

Die Ernte der Erbse wurde stark von den zu diesem Zeitpunkt herrschenden Witterungsbedingungen beeinträchtigt. Nach 31,5 mm Niederschlag am 2. Juli konnte erst am 4. Juli mit der Ernte der 'Kontrolle' begonnen werden; die Sorte 'Puget' wies hier bereits einen Tenderometerwert (TW) von 183 auf (Abb. 6). An den beiden folgenden Tagen mussten die Varianten 'Minimiert' und 'Intensiv' unter dem Einfluss von weiteren 20,6 mm Niederschlag geerntet werden, ohne dass hierbei auf die aktuelle Reife der Varianten Rücksicht genommen werden konnte. Trotzdem wurden zumeist 'akzeptable' TW erzielt.

Trotz der um 1 bzw. 2 Tage früheren Ernte wiesen die Erbsen der 'Kontrolle' einen signifikant höheren TW auf als die beregneten Varianten, die auch unter Berücksichtigung des um einem Tages unterschiedlich Erntetermins, praktisch die gleiche Reife zeigten.

Wesentlich ausgeprägter als bei den vorangegangenen 2 Versuchen war in der Variante 'Intensiv' und abgeschwächt auch in der Variante 'Minimiert' eine starke Fäulnis der unteren Hälfte der Pflanzen zu verzeichnen. Dieses faulige Material verstopfte die Siebe der Dreschmaschine binnen kürzester Zeit, so dass trotz regelmäßiger Reinigung der Siebe viele Erbsen in den Ernterückständen verblieben. Bei der Variante 'Intensiv' war so ein ordnungsgemäßes Dreschen praktisch unmöglich. Erst nachdem das Pflanzenmaterial auf einer gepflasterten Fläche ausgebreitet wurde und abtrocknete, konnte 'normal' gedroschen werden. Allerdings wurde so nur bei 2 der 4 Wiederholungen dieser Variante verfahren. Durch das Antrocknen (und auch die geringeren Mengen an Erbsen) veränderte sich allerdings die Frischmasse an Ernterückständen sehr deutlich.

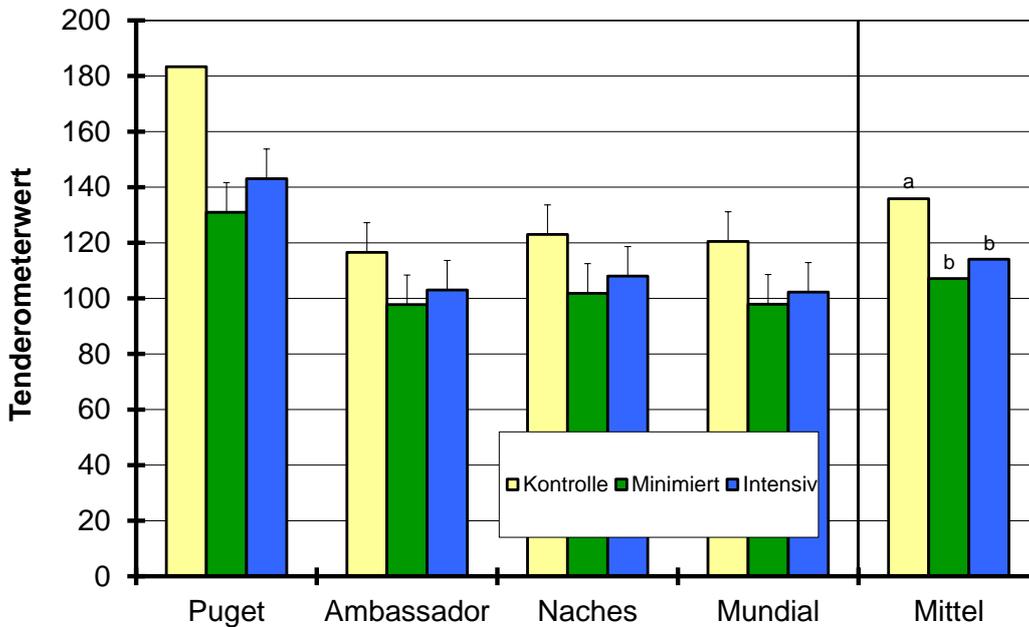


Abb. 6: Tenderometerwert in Abhängigkeit von Erntetermin, Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerung x Sorte: 10,7 = I)

Auf Grund der unterschiedlichen Reifegrade ist ein Ertragsvergleich nur mit dem auf TW 120 korrigierten **Ertrag** möglich. Hier zeigte sich, wie auch in den vorangegangenen Versuchen, keine von der Sorte unabhängige (= signifikante Wechselwirkung) Bewässerungswirkung (Abb. 7). Wie im Vorjahresversuch reagierte die Sorte 'Puget' kaum auf die Bewässerung, während 'Mundial' bei Bewässerung einen Ertragsrückgang zeigte. 'Naches' brachte in der Bewässerungsstufe 'Minimiert' den höchsten Ertrag.

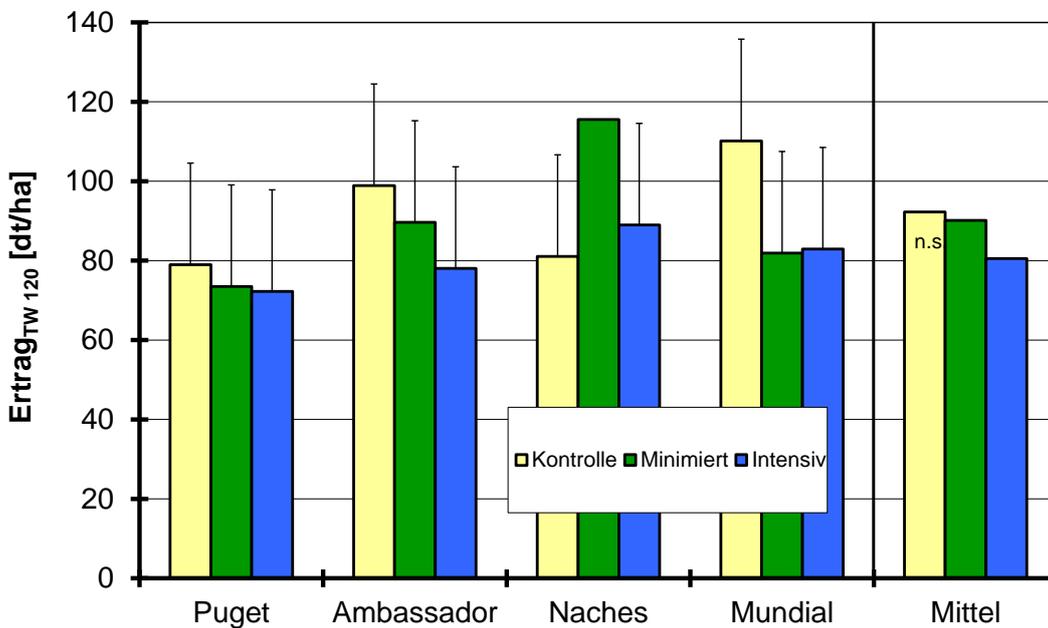


Abb. 7: Korrigierter Frischmasse-Ertrag (TW 120) in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte ($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerung x Sorte: 25,6 dt/ha = I)

Der sich abzeichnende geringere Ertrag der 'Intensiv'-Variante dürfte vor allem auf die erwähnten Druschprobleme und nicht auf einen geringeren Hülsenansatz etc. zurückzuführen sein. Betrachtet man nämlich nur die beiden Wiederholungen bei denen in der Variante 'Intensiv' das Druschgut angetrocknet wurde, so ist bei keiner der Sorten mehr ein

signifikanter Ertragsabfall zwischen der 'Kontrolle' und der 'Intensiv'-bewässerten Variante festzustellen (Abb. 8). (Auch bei praxisüblichen Erbsen-Pflückdreschern treten bei starker Fäulnis druschbedingte Ertragsverluste auf. Allerdings verfügen diese über Bürsten, die die Siebe kontinuierlich reinigen, so dass die Verluste vermutlich weniger 'dramatisch' ausgefallen wären.)

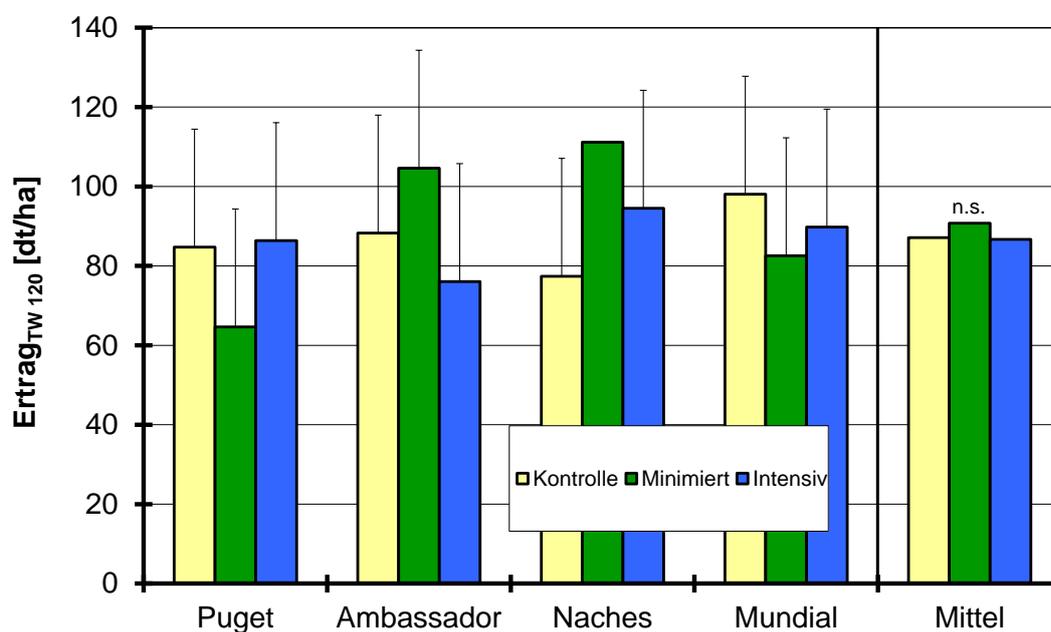


Abb. 8: Korrigierter Frischmasse-Ertrag (TW 120) der Blöcke C und D in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte
($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerung x Sorte: 29,7 dt/ha = I)

Die FM-Menge an Ernterückständen (s. Tab. 5) und damit die gesamte **Aufwuchsmenge** konnte wegen des teilweise durchgeführten Antrocknens nur in der 'Kontrolle' und der Variante 'Minimiert' ermittelt werden (Abb. 9). Wie auch beim Ertrag konnte eine höhere Aufwuchsmenge bei Zusatzbewässerung nur bei der Sorte 'Naches' statistisch abgesichert werden.

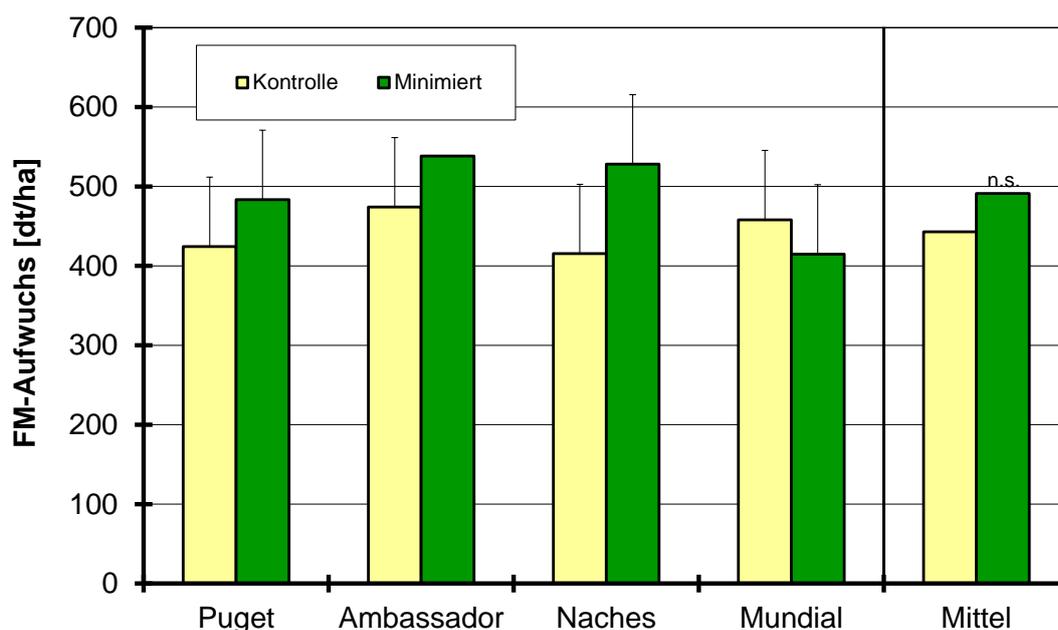


Abb. 9: Frischmasse-Aufwuchs in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte
($GD_{(\alpha<0,05)}$ Bewässerung x Sorte: 87,4 dt/ha = I)

Der **Harvest-Index** (Anteil Marktware am gesamten Aufwuchs) wurde durch eine Zusatzbewässerung wiederum negativ beeinflusst, nur bei 'Naches' war dies nicht abzusichern (Abb. 10).

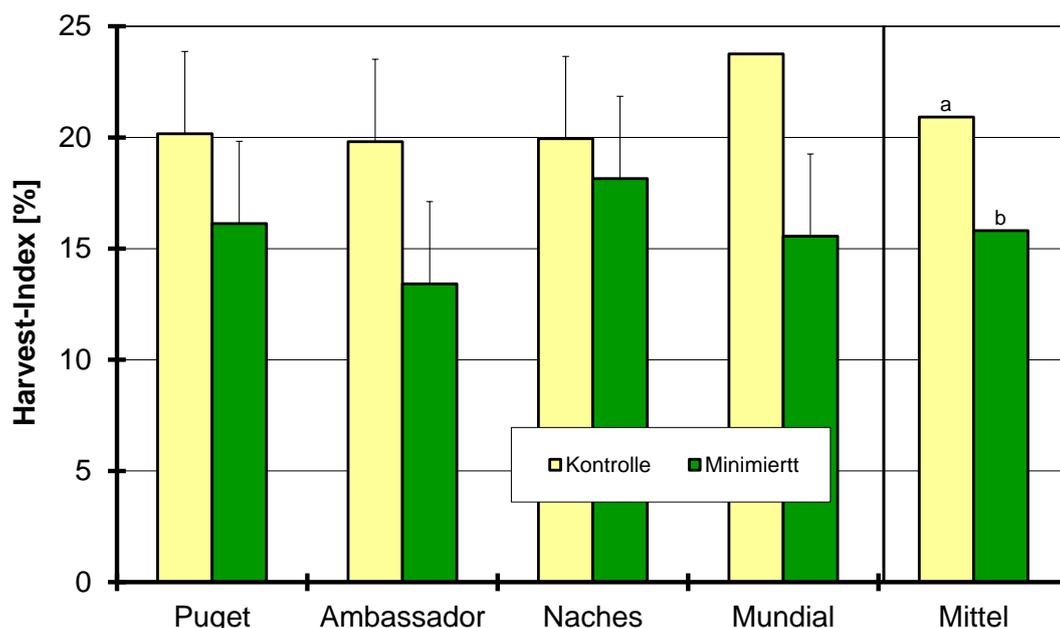


Abb. 10: Harvest-Index in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte
($GD_{(\alpha < 0,05)}$ Bewässerung x Sorte: 3,7 % = I)

Fast man die Ergebnisse der drei Versuchsjahre zusammen (wobei sich in den Versuchsjahren 2010 und 2011 die reduziert bewässerten Varianten mit 44 bzw. 40 mm Zusatzwasser deutlicher von der Variante 'Intensiv' (138 bzw. 115 mm) unterschieden als im aktuellen Versuch), so zeigen 'Puget' und 'Ambassador' praktisch keine Ertragsreaktion auf eine Bewässerung, 'Mundial' reagierte tendenziell negativ (Abb. 12). Lediglich bei der als 'eher trockenstresstolerant' eingestuft 'Naches' lässt sich deutlich eine positive Ertragsreaktion erkennen. Bei dieser Sorte konnte auch ein gewisser Zusammenhang zwischen dem Bodenwassergehalt (gemessen) und dem Ertrag festgestellt werden (Abb. 11). Hiernach deutet sich an, dass bereits ein mittlerer Bodenwassergehalt von 60 bis 65 % nFK für einen Vollertrag ausreicht.

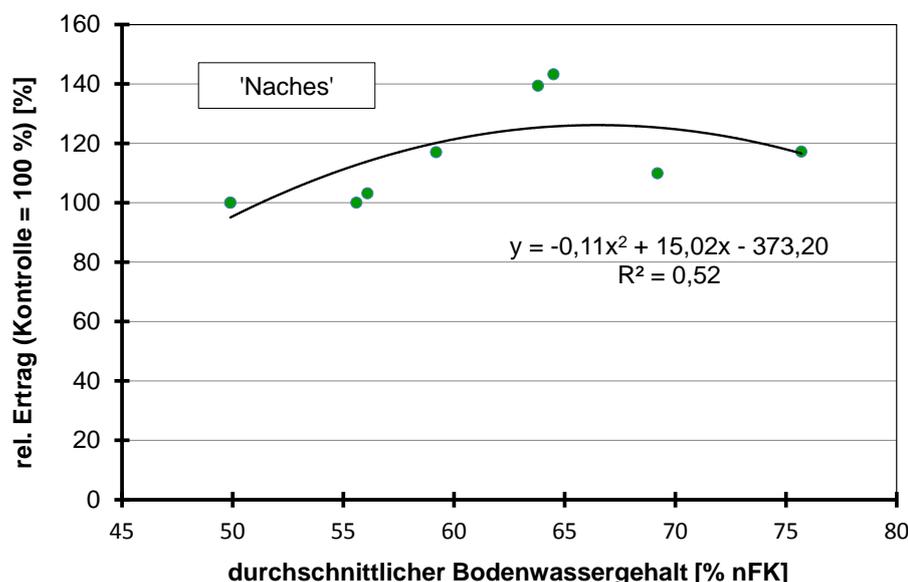


Abb. 11: Relativer Frischmasse-Ertrag der Sorte 'Naches' in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Bodenwassergehalt bei den Versuchen 2010-2012

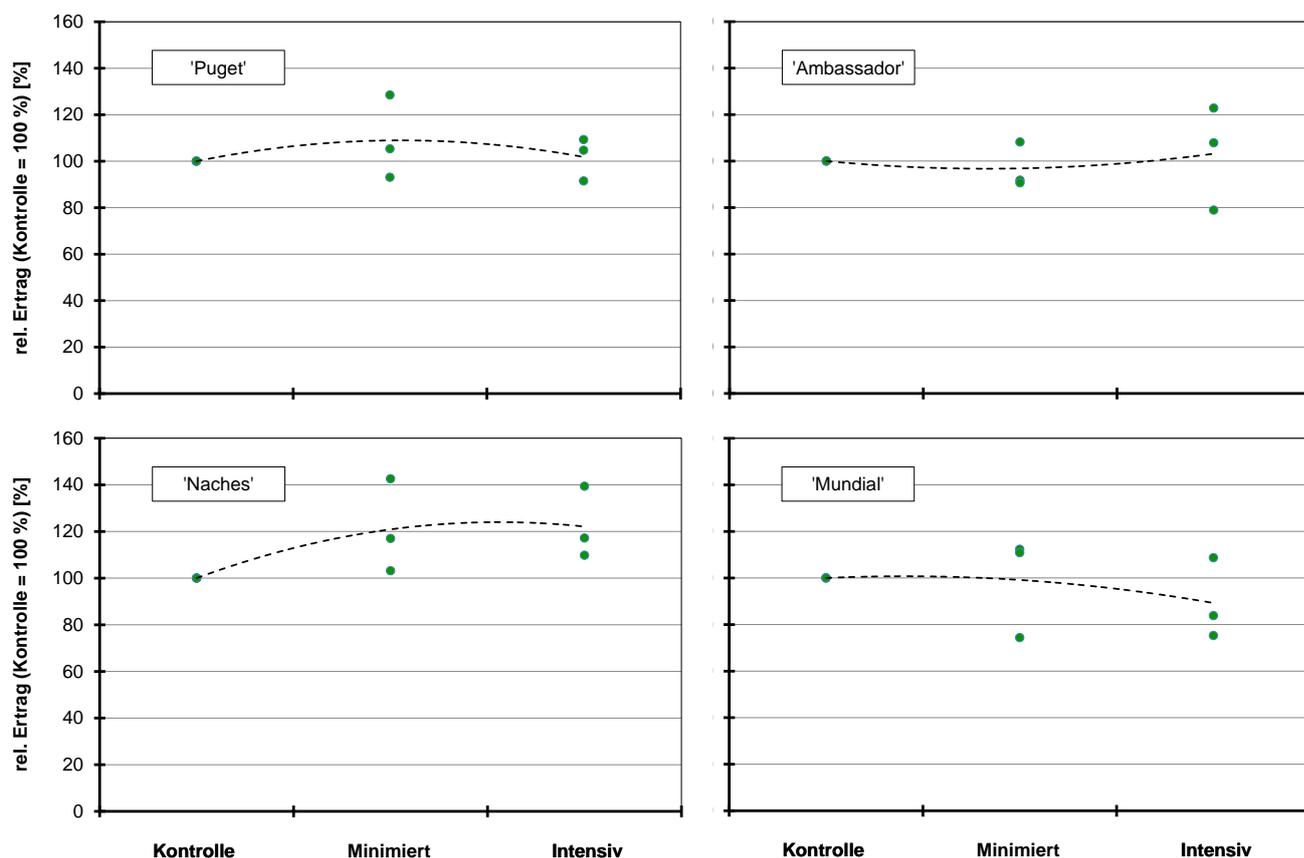


Abb. 12: Relativer Frischmasse-Ertrag (TW 120, Kontrolle = 100 %) in Abhängigkeit von der Bewässerung bei den Versuchen 2010-2012 (schematisch)

Fazit:

Die in allen drei Versuchsjahren in der Bewässerungsstufe 'Intensiv', zum Teil aber auch in der Variante 'Minimiert' aufgetretene Fäulnis, der im Mittel zumeist ausgebliebene Ertragszuwachs durch eine Zusatzbewässerung und die Unterschätzung der Bodenwassergehalte zu Kulturrende führen zu dem Schluss, dass die hier (in der Variante 'Intensiv') verwendeten kc-Werte für Gemüseerbsen (unter den vorgefundenen Witterungs- und Standortbedingungen) zu hoch angesetzt sind und reduziert werden sollten.

Tab. 2: Textur und Bodenart des Versuchsstandortes

Schicht	Ton [%]	Schluff [%]	Sand [%]	Bodenart n. Kartieranleitung (BGR 2005)
0-30 cm	16,4	34,3	49,3	stark lehmiger Sand (SI4)
30-60 cm	17,4	38,3	44,3	mittel sandiger Lehm (LS3)
60-90 cm	18,1	35,1	46,8	mittel sandiger Lehm (LS3)
0-60 cm	16,9	36,3	46,8	stark lehmiger Sand (SI4)

Tab. 3: 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
5. Febr. ³⁾		alle	78	79	82			
Mittel ⁴⁾		alle	81	81	83	100	100	100
01. Mai ⁵⁾	09	alle	62	64	73	60	55	75
07. Mai ⁵⁾		alle	65	62		67	51	
20. Mai ⁵⁾		Kontrolle	56	58		48	40	
		Inten.+Minim.	62	66		60	62	
03. Juni ⁵⁾		Kontrolle	60	59		56	44	
		Minimiert	73	67		82	63	
		Intensiv	77	69		92	70	
21. Juni ⁵⁾		Kontrolle	57	48		51	16	
		Minimiert	68	63		73	52	
		Intensiv	74	56		86	35	
03. Juli ⁵⁾	76	Kontrolle	66	59	66	68	43	56
04. Juli ⁵⁾	76	Minimiert	74	67	72	86	63	72
05. Juli ⁵⁾	76	Intensiv	84	76	82	107	86	98

¹⁾: Bodenwassergehalt der Schicht bei einer angenommenen Bodendichte von 1,5 g/cm³;

²⁾: zugrunde gelegter Totwassergehalt: 10,8 Vol.-% (0-30 cm), 14,0 Vol.-% (30-60 cm), 14,3 Vol.-% (60-90 cm)

³⁾: aktuelle Bestimmung der FK; ⁴⁾: Mittelwert der jährlich bestimmten FK (Versuchsjahre 2010-2012);

⁵⁾: Die Proben wurden jeweils am frühen Morgen des Folgetages gezogen und geben somit den Bodenwassergehalt am Ende des angegebenen Tages wieder

Tab. 4a: Kalkulierte Verdunstung während der verschiedenen Entwicklungsphasen

Phase BBCH	Referenzverdunstung			Verdunstung des Bestandes [mm]			
	ET ₀ ¹⁾ [mm]	ETp _{PEN} ²⁾	ETp _{PEN} /ET ₀ ³⁾	Geisenheim: ETp _{PEN} × kc _{PENMAN} Intensiv	Agrowetter: ET _{c adj} ⁵⁾ (ET ₀ × w _{fak} ⁶⁾) × kc _{PENMAN} Intensiv Minimiert Kontrolle		
09-16	60,0	87,2	1,50	34,9	31,6		
16-61	75,9	111,2	1,51	100,1	83,2	82,9	51,4
61-69	20,7	29,6	1,46	38,5	32,5	32,5	15,0
69-76	67,0	95,1	1,43	142,7	106,2	98,6	47,1
09-76	223,6	323,1	1,48	316,1	253,5	245,6	145,1

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

Phase BBCH	Nieder- schlag [mm]	Beregnung [mm]		Versickerung [mm] ⁷⁾			
		Intensiv	Minimiert	Geisenheim ETp _{PEN} × kc _{PENMAN} Intensiv	Agrowetter (ET ₀ × w _{fak}) × kc _{PENMAN} Intensiv Minimiert Kontrolle		
09-16	23,7	24		0,0	0,0	0,0	0,0
16-61	30,7	74	62	0,0	11,7	0,7	0,0
61-69	18,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
69-76	90,4	72	36	0,0	15,0	0,0	0,0
09-76	162,8	170	122	0,0	26,7	0,7	0,0

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

Tab. 5: Erträge und Aufwuchsmengen der verschiedenen Varianten

Bewässerung Sorte	Kontrolle				Minimiert				Intensiv				GD _{0,05}
	Pug	Amb	Nac	Mun	Pug	Amb	Nac	Mun	Pug	Amb	Nac	Mun	
Blühbeginn	6.6.	8.6.	8.6.	9.6.	9.6.	10.6.	11.6.	13.6.	10.6.	10.6.	12.6.	13.6.	1,0 ¹⁾
Mittel	8.6.				11.6				11.6..				0,7 ¹⁾
Erntetermin	4.7.				5.7.				6.7.				
FM-Ertrag [dt/ha]	85	93	82	109	78	71	96	65	81	66	79	69	
Tenderometerwert²⁾	183	117	123	121	131	98	102	98	143	103	108	102	10,7
Mittel	136				107				114				8,7
Ertrag_{TW 120} [dt/ha]³⁾	79	99	81	110	74	90	116	82	72	78	89	83	25,6
Mittel	92				90				81				n.s.
Ertrag_{TW 120} [dt/ha] (Block C+D) Mittel	85	88	77	98	65	105	111	83	86	76	95	90	29,7
Mittel	87				91				87				n.s.
Ernterückstände [dt/ha] Mittel	339	381	333	349	405	467	432	350					78,7
Mittel	351				414								n.s.
Aufwuchs [dt/ha]	424	474	415	458	483	538	528	415					87,4
Mittel	443				491								n.s.
Harvest-Index [%]⁴⁾	20,2	19,8	19,9	23,8	16,1	13,4	18,2	15,6					3,7
Mittel	20,9				15,8								2,5

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

¹⁾: Tage; ²⁾: 3 Messwiederholungen je Wiederholung;

³⁾: Ertrag korrigiert auf TW 120 nach der Reife-Ertragsbeziehung n. LABER (2011); ⁴⁾: = FM-Ertrag ÷ Aufwuchs

Literatur:

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

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

JANSSEN, W. 2012a: Mündliche Mitteilung zum aktuellen Berechnungsmodus bei der 'Agrowetter Berechnungsberatung'. Deutscher Wetterdienst, Offenbach

JANSSEN, W. 2012b: Schriftliche Mitteilung zu den aktuell in 'Agrowetter' verwendeten kc-Werte bei Erbsen.

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

KLEBER, J. 2012: Mündliche Erläuterungen zur Bestimmung der kc-Werte beim 'Geisenheimer Modell'. Versuchsansteller-Besprechung zur "Klimatischen Wasserbilanz", Erfurt, 24.01.2012

LABER, H. 2011: Abreife- und Ertragsverlauf bei normalblättrigen und fiederblattlosen Markerbsen praktisch gleich; TW und AIS eng korreliert. www.hortigate.de

LABER, H. und S. BRENNER 2011: Sortenspezifische Ertragsreaktion auf eine Bewässerung; Gute Prognose des Bodenwassergehaltes auf Basis der PENMAN-Werte. www.hortigate.de

LABER, H. und S. BRENNER 2010: Trotz massiver Austrocknung des Bodens kaum Ertragseinbußen bei unberegneten Markerbsen. 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)